

レベル3PSAの現状

日本原子力研究開発機構
安全研究センター
本間俊充

IAEA技術会合(2012年7月)の結論

■ レベル3PSA(L3PSA)実施の現状

L1&2 PSAと比べ、L3PSA実施は限られ、しかも、そのほとんどは10～20年前のもの。僅かな最近の例としてKoeberg NPP(南アフリカ)と進行中の米国のL3PSA研究がある。

■ 手法の現状

一般的手法は十分確立している。IAEA文書(1992)は最新技術と福島事故の教訓を入れて改善すべき。改善点はL3PSAのモデルやアプローチに影響するであろうし、既に陳腐となった計算コードもある可能性がある。

■ 研究と開発

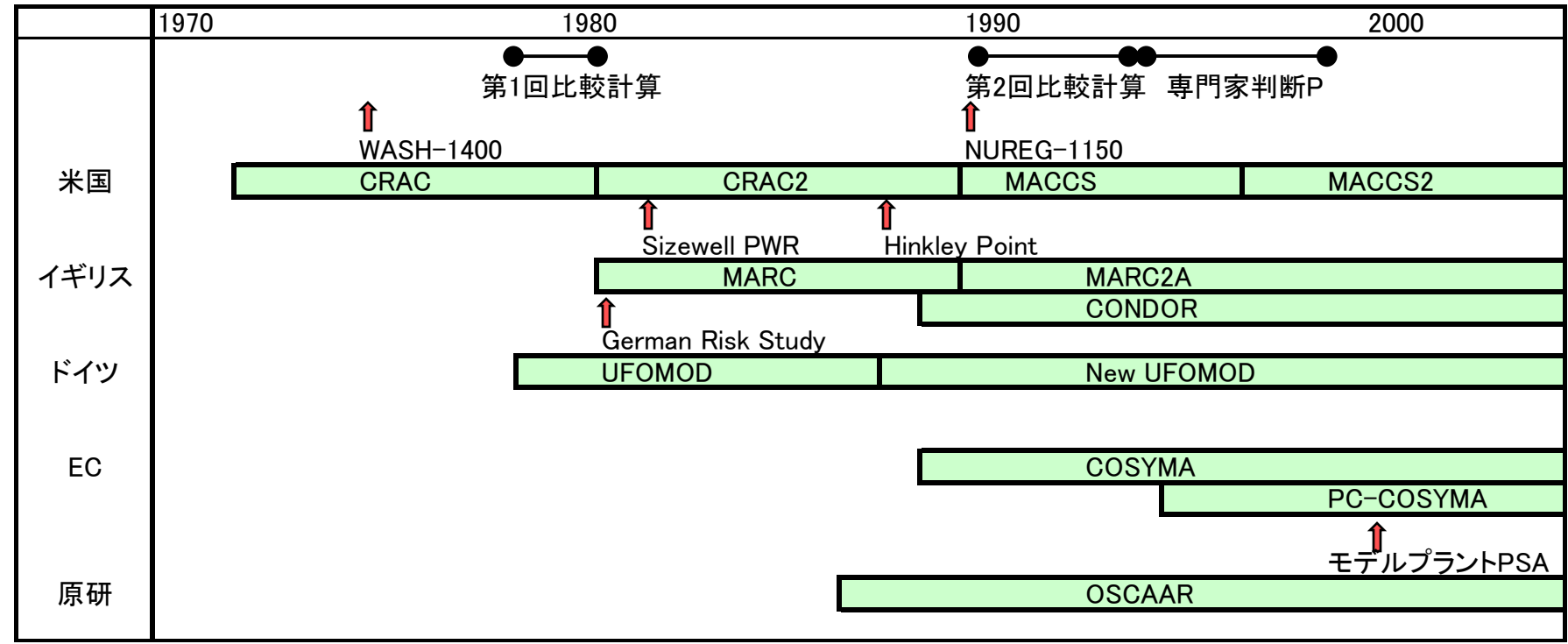
現在進行中のプロジェクトは、最新の標準手法の提供(ASME PRA標準)、現状の課題を対処するためのL3PSAの実施例である。研究は他の技術分野(環境中の核種移行、経済影響)で進行中である。

■ L3PSAの方向性

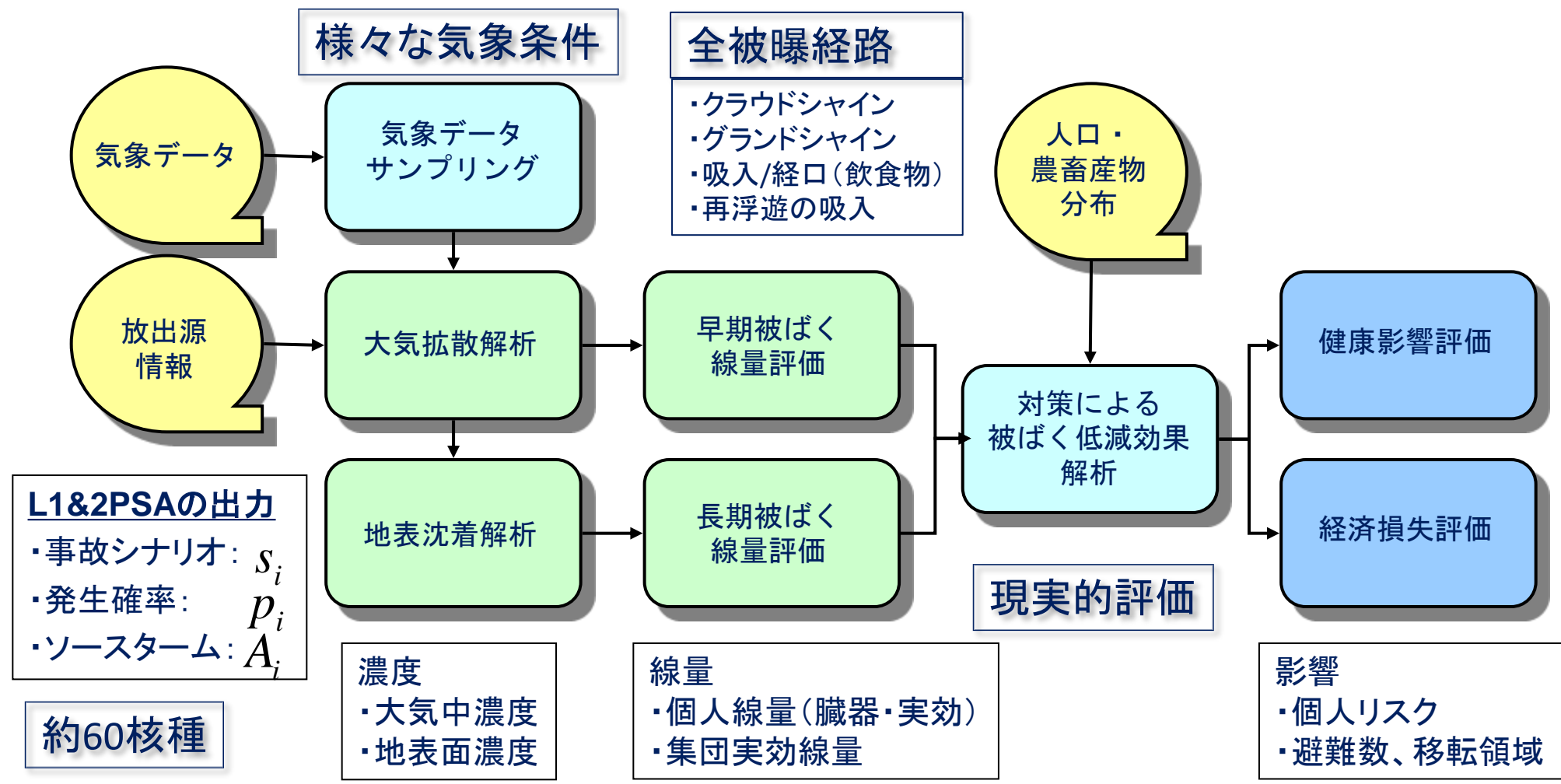
厳密な規制上の要求はないので、多くの国でL3PSAは実施していない。それでも、参加者は多くの有用な規制上、その他の適用可能分野を確認した。

L3PSAの背景

- 1975年、米国のWASH-1400報告以後、欧米でいくつかのL3PSAコードが開発され、シビアアクシデントのリスク評価に用いられた。
- L3PSA部分(確率論的事故影響評価)は、従来の被ばく線量評価の延長上にあり、主要部分である核種の環境中移行及び線量評価は、フォールアウト研究、チェルノブイリ事故関連研究等に支えられ、かなり確立された技術である。
- 近年、リスク評価にとどまらず、緊急時計画の策定や原子力の外部性(外部コスト)評価等、応用範囲が広がっている。



L3PSA (確率論的事故影響評価) の手順



$$A_i \longrightarrow \chi_{i,j}(\vec{r}) \longrightarrow D_{i,j}(\vec{r}) \longrightarrow C_{i,j}(\vec{r})$$

OSCAARコードの構成

$$R = \{ \{ s_i, p_i, C_i \} \}, i = 1, 2, \dots, N$$

L3PSAコードの国際比較計算

■ 概要

- OECD/NEAとCECの共催で、1991-1994年に実施された。
- 参加コードの予測結果を比較し、相違の原因を明らかにすると共に、コードのQA(品質保証)に役立てることを主たる目的とした。
- 欧州の仮想サイトを対象に、5つのソースチームや防護対策の有無等、複数の計算条件について、評価手順全体を対象とし、結果を確率論的な形式で(CCDF)で比較する。

■ 参加コード

- ARANO(フィンランドVTT)、CONDOR(英国SRD, NRPB)、COSYMA(独KFK, 英NRPB)、LENA(スウェーデンSSI)、MACCS(米国SNL)、OSGAAR(原研)

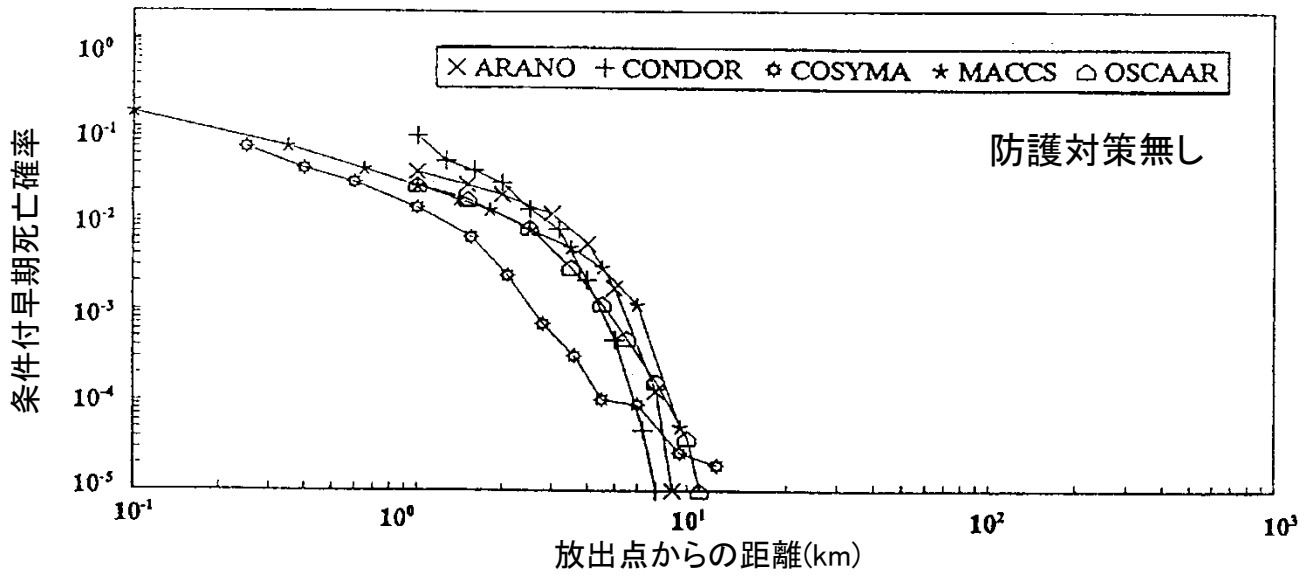
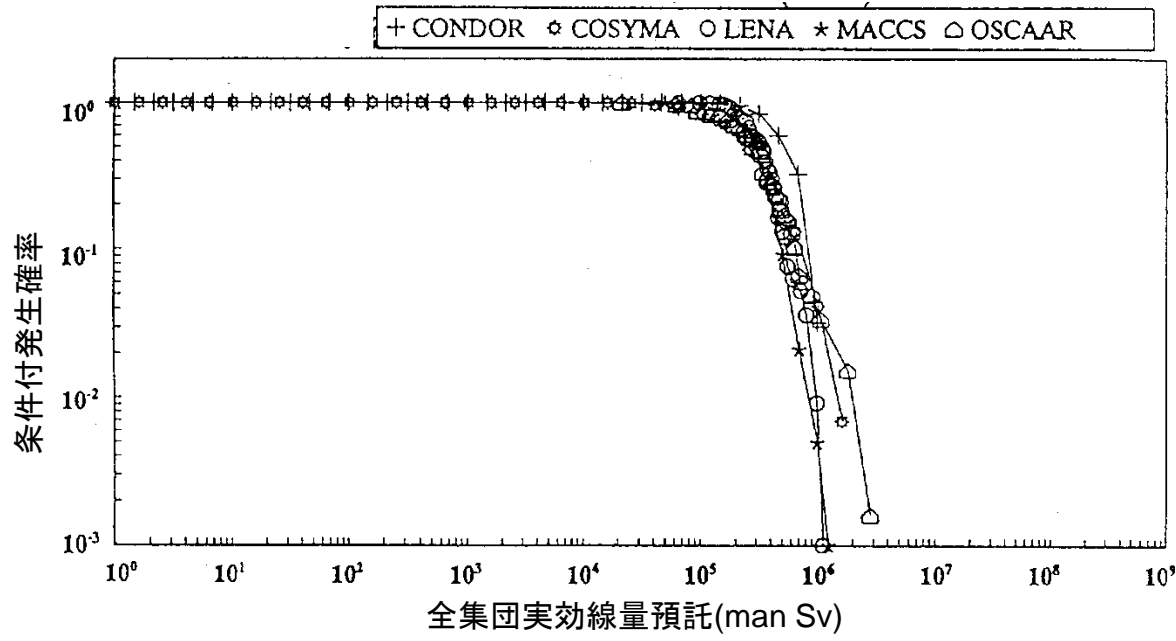
■ 結論と勧告

- コード間の評価結果の相違の程度は、評価項目で異なっていたが、一般的には数ファクター以内であった。主たる相違の原因は、モデル構造と採用された仮定の相違による。
- コード間の評価結果の相違は、リスク推定に付随するトータルな不確実さと比べれば小さく、参加コードを総合的なリスク評価に用いる上で、支障となるものではない。
- 今後は、レベル3PSAコードの結果の不確実さ及びリスク推定全体の不確実さに対する相対的寄与に対する理解が必要である。

コード比較結果(例)

(例) 計算課題1

- ・ソースターム
- 放出開始時間: 2時間
- 放出継続時間: 1時間
- 放出高さ: 10m
- 警告時間: 1時間
- 放出比: Xe-Kr: 1.0, Org-I: 0.001, I: 0.1, Cs-Rb: 0.1, Te-Sb: 0.1, Ba-Sr, Ru: 0.01, La: 0.001
- ・防護対策
- 屋内退避、避難、移転、食物摂取制限



L3PSAに関連した信頼性評価研究

評価対象	プロジェクト名	概要	実施及び参加機関
移行モデル検証	BIOMOVS (1986-1990, 1992-1996)	実測データによる生態圏移行モデルの妥当性検証 ・Chernobyl 事故による ^{131}I , ^{137}Cs の作物汚染	スウェーデン SSI JAERI, 米 ORNL, 英 NRPB, 独 GSF 等
移行・線量評価モデル検証	IAEA-VAMP (1988-1994)	陸圏、都市域及び水圏における核種移行モデルの検証 ・Chernobyl 事故による ^{137}Cs 起因の移行経路及び線量評価(中央ボヘミア地域、フィンランド)	IAEA カナダ CRNL, 米 PNL, 英 MAFF, 独 GSF 等
コード比較	NEA/CEC 国際比較計算 (1991-1994)	レベル 3PSA コードの包括的なコード比較	JAERI, フィンランド VTT, スウェーデン SSI, 英 SRD, NRPB, 独 KFK, 米 SNL
不確かさ評価	EC/NRC 不確かさ評価 (1993-1999)	環境影響評価に係わるパラメータについての専門家判断情報の収集及びレベル 3PSA の入力パラメータ起因の不確かさ評価	EC, 米 NRC
移行・線量評価モデル検証	IAEA-BIOMASS (1996-2001)	過去の環境放出に関連した線量再構築 ・Hanford 再処理プラントからの ^{131}I 事故放出 ・Chernobyl 事故による Iput 河流域の ^{137}Cs 汚染	IAEA JAERI, 米 PNL, 英 MAFF, ノルウェー IFE 等
移行・線量評価モデル検証	IAEA-EMRAS (2002-)	Chernobyl 事故による ^{131}I 放出 ・ロシア Tura 地域の甲状腺負荷量 ・ポーランドにおける安定ヨウ素剤配布の効果	IAEA JAERI, 英 BNFL, 米 NCI, ポーランド CLRP 等

L3PSAに係わる不確実さ評価

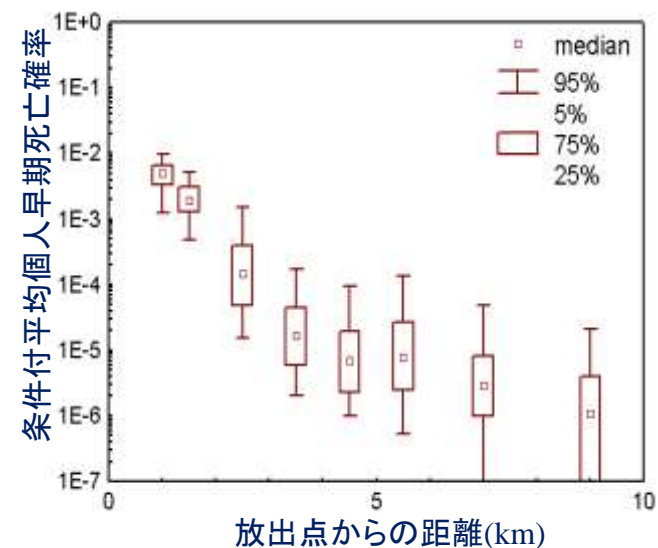
■ EC/USNRCの専門家判断情報に関するプロジェクト(1993-1999年)

- 背景: 米国のシビアアクシデントリスク評価(NUREG-1150)では、不確実さを総合的に評価することを目指したが、レベル3PSAの不確実さ評価は含まれていない
- 8つの専門家パネル(大気拡散、沈着、外部被曝、内部被曝、食物連鎖(直接)、食物連鎖(間接)、早期影響、晩発性影響)に、欧米の専門家約70名が参加
- COSYMA、MACCSコードの入力パラメータの不確実さを対象にするが、モデルに依存しない、基本的に測定可能な量の不確実さ分布を専門家に質問し、パラメータの不確実さ分布を作成(例: 核種の体内残留量の不確実さから代謝パラメータの不確実さを求める)

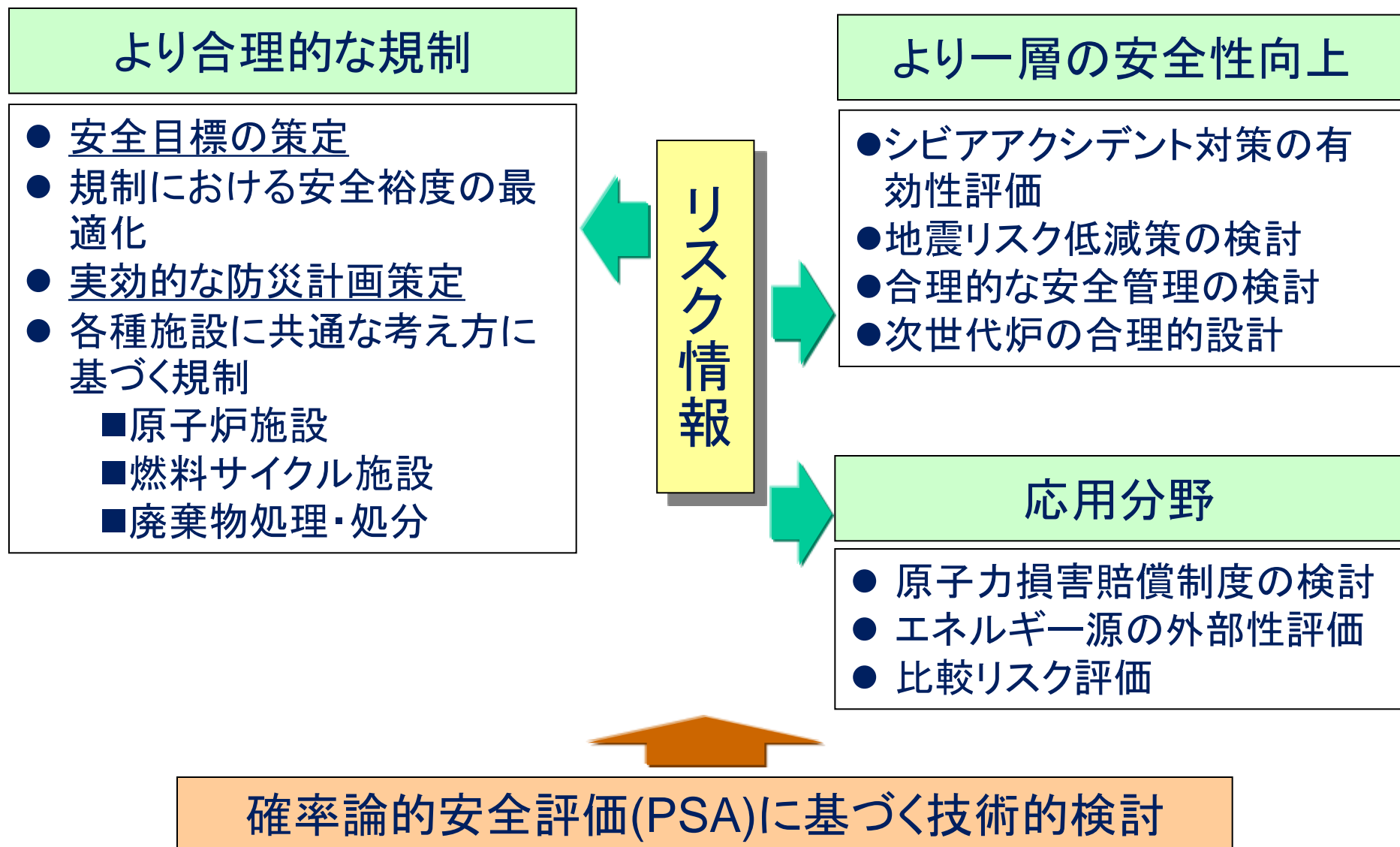
個人リスクの不確実さ評価(原研計算例)

■ ECのCOSYMAコードによる不確実さ評価

- 大気拡散・沈着、線量算定、食物連鎖、健康影響のプロセス毎に不確実さ解析を実施し、主要なパラメータを導出
- レベル3PSA全体の不確実さ解析を実施し、評価項目毎に不確実さを定量化
- 評価結果の不確実さに寄与するパラメータを同定



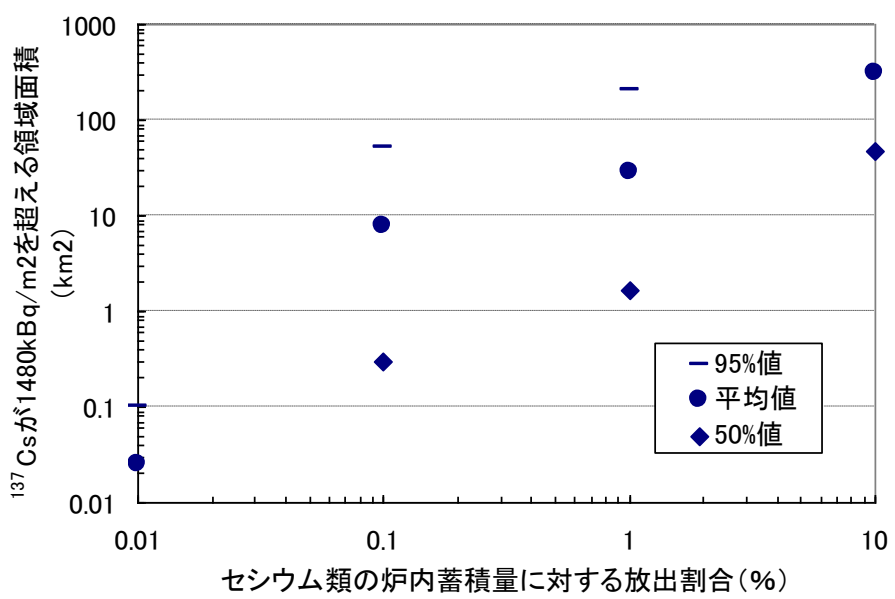
リスク情報の活用



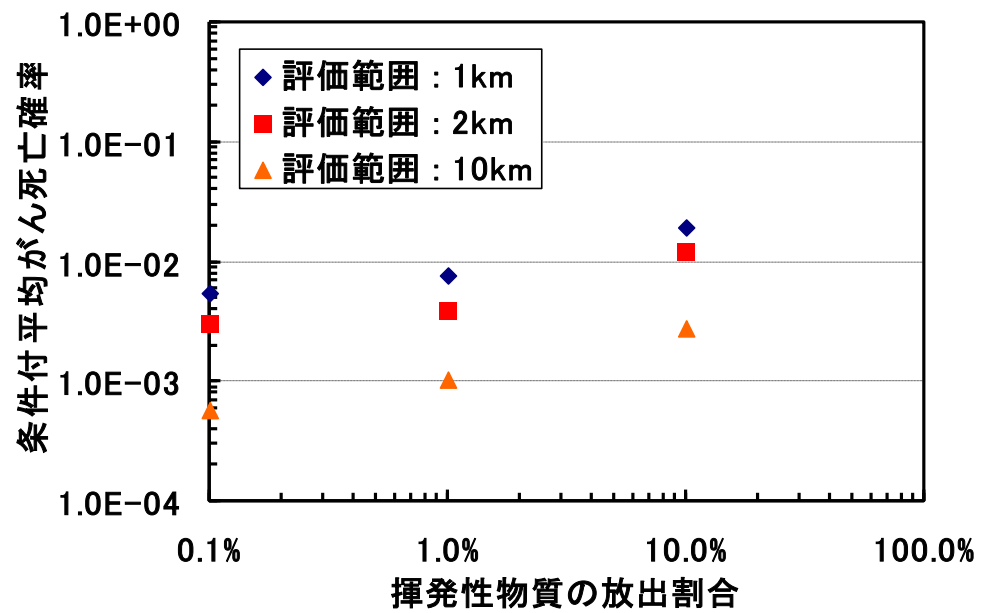
安全目標・性能目標の策定

- **定量的目標の指標**: 本来リスクの抑制を図ることは、様々な様態の被害それぞれの発生可能性を適切に抑制することでなければならない。個人に対するリスクを抑制することにより、その他のリスクも、抑制の水準が妥当かどうかは別としても、おのずから抑制される。
- **集団の健康リスク**: 大きな被害をもたらす事故の発生確率は被害の規模に応じて抑制されるべきであり、施設特性や施設の立地条件にこの方針を反映させるべき
- **社会的リスク**: 社会的影響は、定量化が困難である上に、目標とすべきリスクの抑制水準についての議論が進んでいない。

放出量と移転領域の関係(安全目標専門部会17-3)



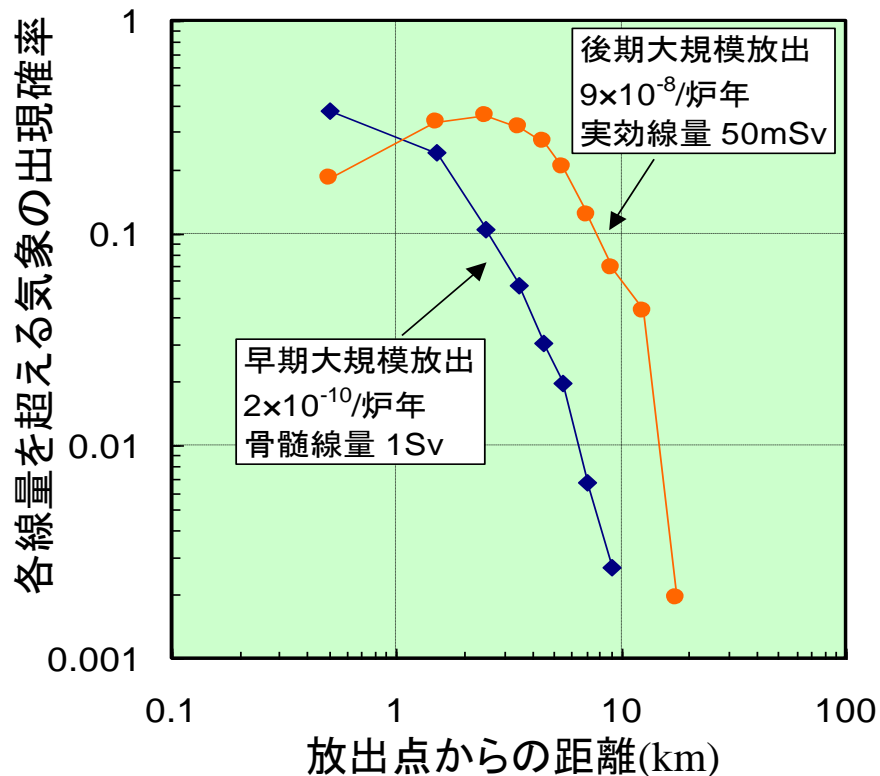
条件付き死亡確率(性能目標検討分科会7-3)



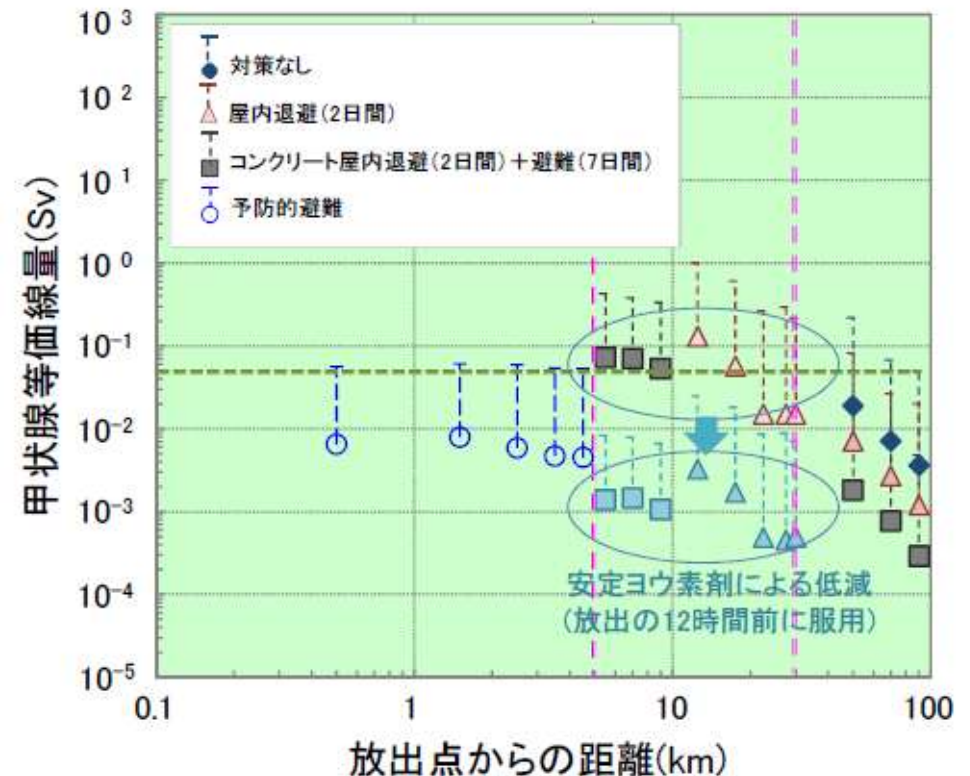
原子力防災に関する研究

- PSA研究、シビアアクシデント研究、防護対策最適化手法研究などの成果を基に、より一層合理的な防護対策のあり方を検討する

緊急時計画範囲(EPZ)の検討



防護措置の被ばく低減効果の分析 (第2回災害事前対策検討チーム)

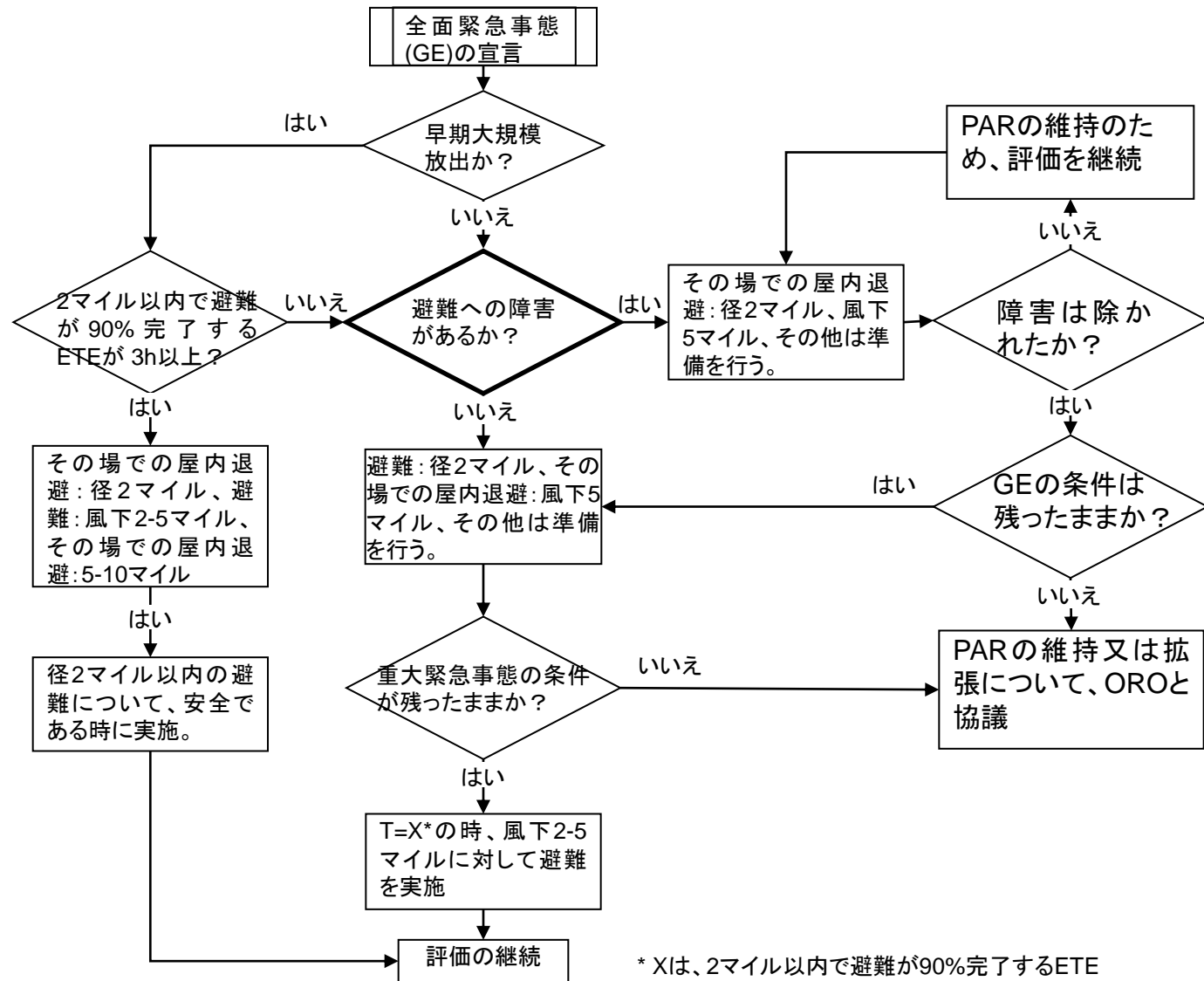


米国におけるL3PSAの適用

- 原子炉安全研究(WASH-1400, 1975)
- 立地判断基準作成のための技術ガイダンス(NUREG/CR-2239, 1982)
- シビアアクシデントリスク(NUREG-1150, 1990)
- 立地に及ぼす選択要因の再評価(NUREG/CR-6295, 1997)
- 防護措置勧告(PAR)研究(NUREG/CR-6953 Vol. 1, 2007)
- State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses(SOARCA) (NUREG-1935, 2012) (NUREG/CR-7110 Vol. 1&2, 2013)
- SOARCA 不確かさ解析
- 使用済み燃料プールのスコーピング解析
- 格納容器フィルターベント解析
- 包括的サイトL3PRA

短期防護措置のガイダンスへの適用 (NUREG-0654, Rev.1, ドラフト版, 2009)

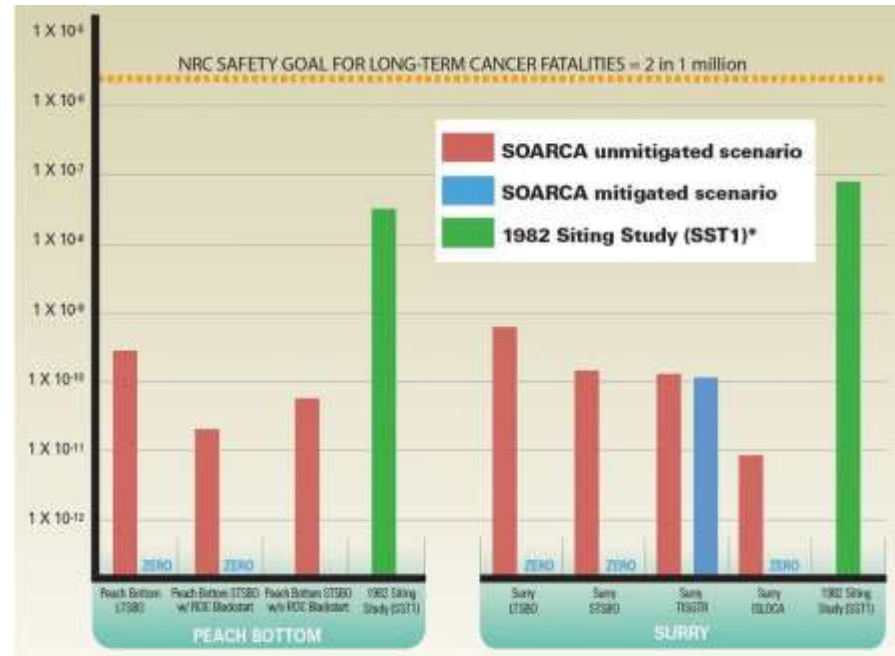
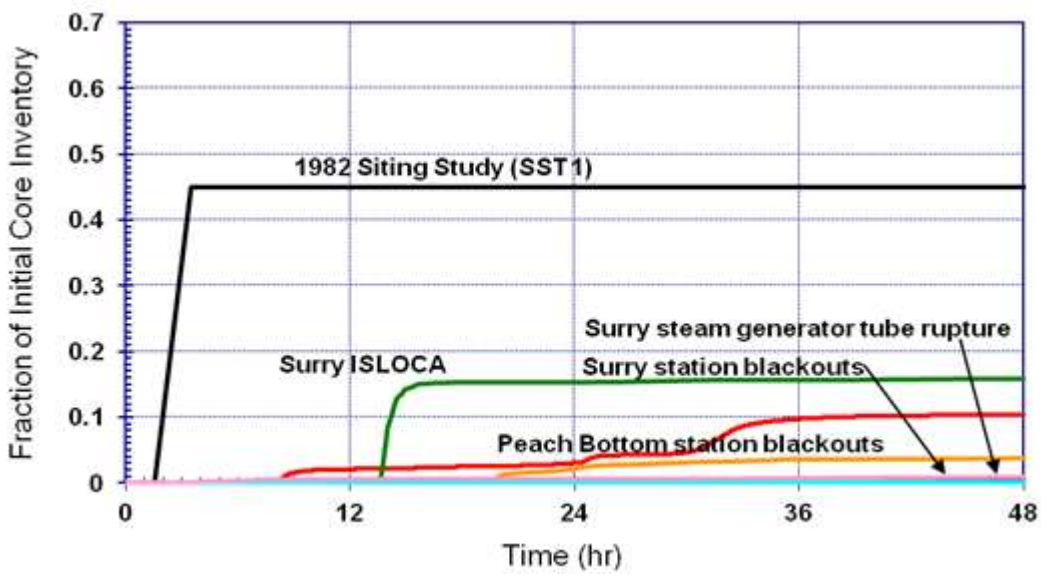
- 2004年、NRCはこれまでの防護措置(屋内退避、避難)の実施方法に代わる別の方法について検討を実施した(PAR研究、NUREG/CR6953 Vol.1)。
- その結果、NUREG-0654, Rev.1, Supp.3(シビアアクシデントに対するPAR)を見直す必要が生じた。
- 緊急時計画策定の際に評価しなければならない避難時間推定(ETE)が防護措置実施の上で考慮されている。



* Xは、2マイル以内で避難が90%完了するETE

SOARCA(NUREG-1935, 2012)

- 2プラント(Peach Bottom, Surry)のシビアアクシデントによるオフサイトの放射線健康影響の最適評価を行う。
- 目的
 - シビアアクシデント影響の評価を改訂する(特に、1982立地研究)
 - プラントの変更やセキュリティ関連の改善を反映
 - 最新モデル(MELCOR, MACCS2)を使用
 - 様々なステークホルダーとのコミュニケーションの改善



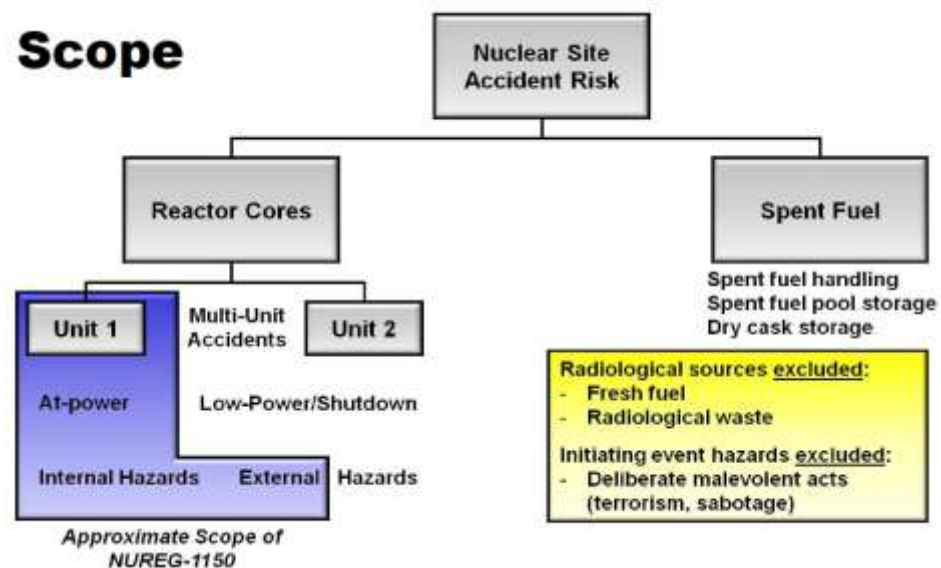
フルスコープ包括的サイトL3PRA

- NRCは運転中プラントに対するフルスコープの包括的サイトL3PRAを指示 (SECY-11-0089)

- Vogtle Unit 1&2

■ 目的

- PRAモデリング、プラント運転・安全・セキュリティの技術的進展を反映。(マルチユニット、SFP事故、ドライキャスク事故)
- NRCスタッフのPRA技術の向上
- 規制の意思決定を強化するため新たな知見の抽出
- L3PRAの技術的可能性とコストの評価



L3PSAの適用分野

■ 規制上の適用

- 安全目標の完全な範囲を確立し、どう満足されるか検証する
- 国の他の機関(環境保護や緊急事態準備等の所掌)や公衆とのリスクコミュニケーション
- 安全問題の優先度

■ 産業界での適用

- 設計変更や運転に関する決定支援
- シビアアクシデントマネジメント戦略の最適化
- 緊急時計画やその準備
- 環境影響評価書の作成
- 財政的な賠償限度の確立

L3PSA実施の便益

- L3PSAは、事故時のオフサイトの放射線影響を定量化し、原子力施設に伴うリスクの包括的な理解を可能にする。L2PSAに比較すれば小さいコストで可能。
- L3PSAは、他分野（環境保護、緊急時対応）とのリスクコミュニケーションに非常に重要なだけでなく、公衆とのリスクコミュニケーションにも有用である（L1&2PSAのリスク指標CDF, LERFと比較し）。
- L3PSAは、アクシデントマネジメント策や緊急事態への準備と対応のリスク情報を活用した最適化を支援する。
- L3PSAは、実際の緊急事態対応の展開に関する有用な情報も提供できる。
- L3PSAは、原子力施設の立地に関するリスク情報を活用した決定にも有用。
- また、立地周辺の土地利用計画やインフラ整備にも有用な情報を提供できる。

L3PSAのリスク指標

- L3PSAで用いるリスク指標は、健康影響（個人・集団、短期・長期の線量、健康影響）、環境影響（媒体汚染）、経済影響（防護対策の領域・人数、農畜産物制限）など幅広い事故影響を扱う。
- リスク指標は、規制側、産業界、公衆にとって意味のある有用なものであるべき。選択は評価対象に依存する。
- 環境の防護、緊急事態への準備と対応、土地利用計画等の意思決定に重要な関連情報を提供する。
- リスク指標によるコミュニケーションは、安全への懸念を喚起し産業界における責任感覚を高め、安全文化の改善に寄与できる可能性がある。
- 公衆とのリスクコミュニケーションでは、リスク指標は有用となるが、議論でどのように扱うかに注意すべき。
 - チェルノブイリや福島事故のように、放射線影響より非放射線の影響が甚大。
 - 期待値か、リスク曲線（頻度/影響のスペクトル）か？
 - 低頻度/高影響の扱い。
 - 不確実さの扱い。