

計算科学技術部会, 熱流動部会合同セッション

「軽水炉分野におけるモデリング & シミュレーションの国際情勢と我が国の課題」

今後の安全評価要件と国産の安全解析コードの役割

2011年9月20日

日本原子力学会「2011年の秋の大会」, 北九州国際会議場

宇井 淳 (JNES)

発表内容

1. 原子力安全規制の世界の潮流
2. 福島事故の教訓を踏まえた今後の安全評価要件
3. 我が国の安全解析コードの現状と課題

世界の規制の潮流

● 設計基準の範囲を拡大してきた

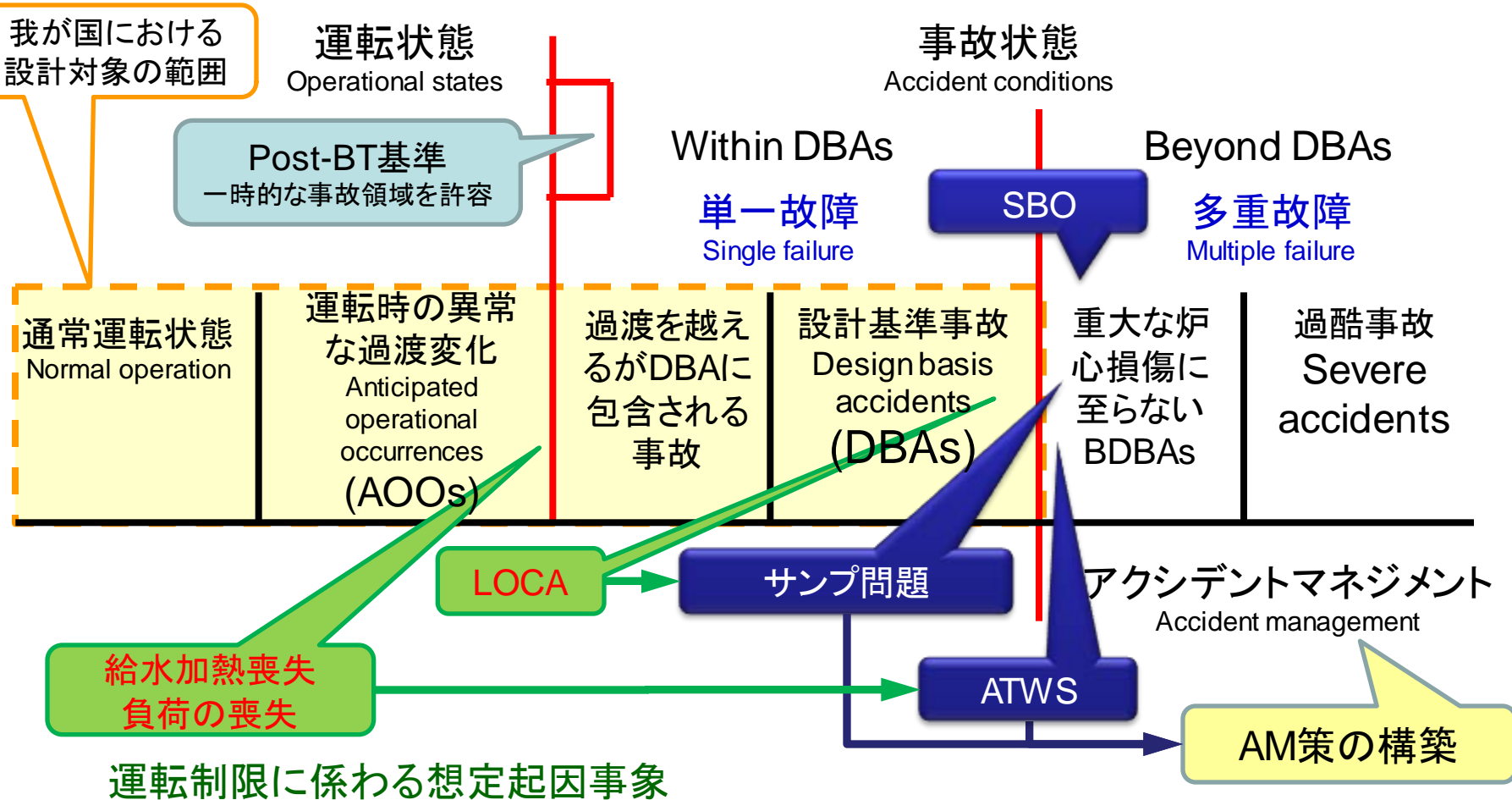
- DBAの拡大
 - かつてのBeyond DBAまで設計で対応 (IAEA NS-R-1改定 (DS414))
 - WENRAやフィンランドのDesign Extension Condition (DEC)
 - NISA/JNESもシビアアクシデントの規制要件化を検討(完成間近だった)
- 東電福島事故とその教訓を踏まえた対応が始まっている
 - 緊急安全対策, ストレステスト, 他

● IAEA基準の影響力は今後増大していく

- 福島事故を受けてIAEA閣僚会議(6月)で運用強化の議論が活発に
- IAEA基準は本来拘束力のないルールだが, 原子力新興国が導入すれば, ベンダーにとっては遵守すべきルールとなる
- IRRS(統合規制情報サービス)
 - NRCでも, 2010年10月に受けた
 - 韓国は今年7月に受け高評価得た(お墨付き). 直後にインドと協定締結

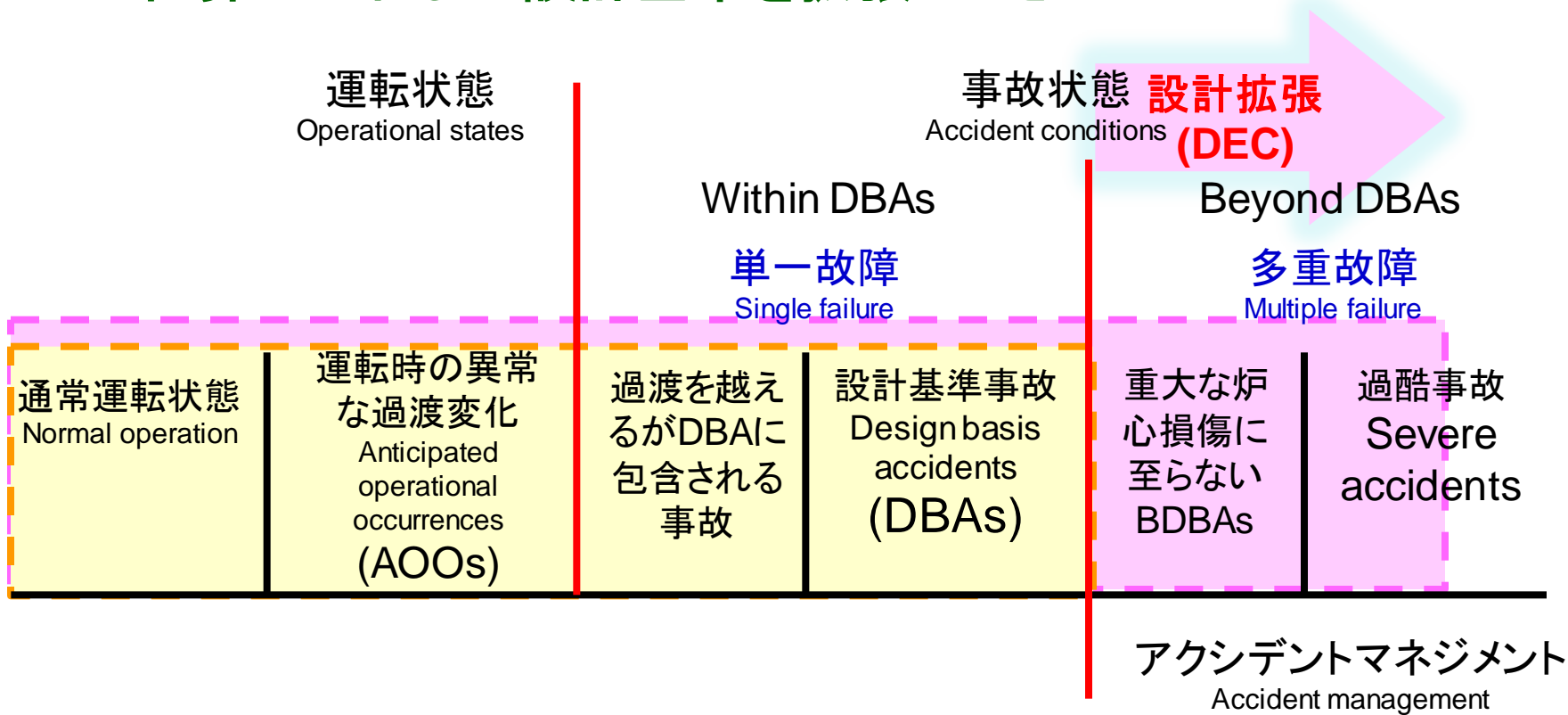
プラント状態 IAEAの定義(2007)

- 我が国では多重故障やSBOは設計基準の対象外としてきた



設計基準の範囲の拡大

- 世界はこれまで設計基準を拡張してきた



- なお、設計基準を拡張するとはいえ、全てを設計で対応しようとするれば青天井となり、事実上対応は不可能になる
- 設計で守る上限を設定し、それを越える場合はアクシデントマネジメントで緩和するというアプローチは今後も必要(すなわちDefense-in-Depthの考え方)

福島事故以前から、世界の潮流は設計対象の範囲を拡大(IAEA, WENRA, YVL...)

東京電力福島第一原子力発電所事故

● 事故の直接原因

- 最終ヒートシンク喪失 (LUHS)
- 地震・津波による全交流電源喪失 (SBO)
- 「冷やす＝崩壊熱除去」をできなかったことが事故進展の主要因

● 安全評価要件に係る論点

- 「設計基準」の範囲は十分であったか？
- “How safe is safe enough (against design-basis)?”

● 今後の安全評価のツールは？

福島事故の教訓

- **日本国政府, 日本原子力学会, 海外の規制機関等が, 福島事故を分析し, 教訓をまとめている**
- **深層防護の観点で, それらの教訓を整理してみると...**
 1. 原子力災害対策本部, “原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—,” 平成23年6月
 2. 原子力災害対策本部, “国際原子力機関に対する日本国政府の追加報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—(第2報), ” 平成23年9月
 - 28の教訓を4つのグループで整理
 3. 日本原子力学会原子力安全調査専門委員会技術分析分科会, “福島第一原子力発電所事故からの教訓,” 2011年5月9日
 - 地震, 津波, SBO, 全冷却系喪失, アクシデントマネジメント, 水素爆発, 燃料プール, 安全研究, 安全規制と安全設計, 組織・危機管理, 情報公開, 緊急時安全管理
 4. U.S.NRC Task Force, “Recommendations for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century,” July 12, 2011
 - 12の勧告

深層防護と教訓（IAEAへの日本国政府報告書）

Defense-in-Depth のレベル	レベル1 異常運転 及び故障 の防止	レベル2 異常運転の 制御及び故 障の検出	レベル3 設計基準内の 事故の制御	レベル4 事故の進展防 止及びシビアア クシデントの影 響緩和	レベル5 緊急時対応
運転状態	通常運転	過渡変化	DBAに含まれる 事故	シビアアクシデ ント	シビアアクシデ ント後の状況
ハード面 (設計・設備)			(1)地震(2)電源確保(3) 冷却機能の確保 (4)SFP冷却確保(6)複 数基立地(7)施設の配 置(8)水密性 (14)計装系強化 (26)安全系の多様性	(5)AM対策の徹底 (9)水素爆発 (10)格納容器ベント (11)事故対応環境強化 (17)環境モニタリング	(5)AM対策の徹底 (11)事故対応環境強化 (17)環境モニタリング (21)放射性物質放出の 予測
ソフト面 (運用, マネ ジメント)				(5)AM対策の徹底 (12)事故時被ばく管理 (13)SA対応訓練 (15)緊急時対応レス キュー (16)自然・原子炉複合事 態 (17)環境モニタリング (18)中央と現地役割 (19)事故コミュニケーション	(5)AM対策の徹底 (12)事故時被ばく管理 (13)SA対応訓練 (15)緊急時対応レス キュー (16)自然・原子炉複合事 態 (17)環境モニタリング (18)中央と現地役割 (22)災害時広域避難, 放 射線防護基準

(20)海外支援への対応, 国際社会への情報提供強化

(23)安全規制行政体制の強化(原子力安全庁)

(24)基準・指針類の整備・強化 (25)人材の確保 (26)リスクインフォームド (28)安全文化

深層防護と教訓（日本原子力学会）

Defense-in-Depth のレベル	レベル1 異常運転 及び故障 の防止	レベル2 異常運転の 制御及び故 障の検出	レベル3 設計基準内の 事故の制御	レベル4 事故の進展防 止及びシビアア クシデントの影 響緩和	レベル5 緊急時対応
運転状態	通常運転	過渡変化	DBAに含まれる 事故	シビアアクシデ ント	シビアアクシデ ント後の状況
ハード面 (設計・設備)			(1)地震 (2)津波 (3)SBO	(3)SBO (4)全冷却系喪失 (5)AMベント強化 (5)炉心損傷後の冷却・ 閉じ込めハード対応 (6)水素爆発対策(静的 再結合器) (7)燃料プール電源準備	
ソフト面 (運用, マネ ジメント)			(3)SBO指針見直し	(4)全冷却系喪失 (5)AM対策の訓練 (5)複数機立地のAM同時 対応策 (6)水素対策(ベント訓練) (7)燃料プールAM見直し (9)津波AM策を評価	(12)緊急時安全管理
(8)安全研究推進(シビアアクシデント研究成果の規制への反映, 人材育成, モデリング・シミュレーション技術の推進) (9)安全規制と安全設計 (10)組織, 危機管理 (11)情報公開					

深層防護と教訓（NRC勧告）

Defense-in-Depth のレベル	レベル1 異常運転 及び故障 の防止	レベル2 異常運転の 制御及び故 障の検出	レベル3 設計基準内の 事故の制御	レベル4 事故の進展防 止及びシビアア クシデントの影 響緩和	レベル5 緊急時対応
運転状態	通常運転	過渡変化	DBAに含まれる 事故	シビアアクシデ ント	シビアアクシデ ント後の状況
ハード面 (設計・設備)			(2)設計基準地震と洪水の条件の再評価と更新 (4)SBO (6)水素の制御と緩和 (7)燃料プールの給水能力と計装設備の強化	(3)地震による火災と洪水の防止または緩和の能力強化 (4)SBO (5)格納容器ベント (6)水素の制御と緩和	
ソフト面 (運用, マネジメント)				(8)緊急時手順, SAMG	(8)緊急時手順, SAMG (9)長時間SBOと複数号機への緊急時対応計画 (10)追加的な緊急事態策
(1) 深層防護とリスクを踏まえた一貫性のある規制の枠組みの確立 (12) 深層防護の要件をこれまで以上に重視し, 規制の監視体制を強化する					

深層防護と教訓

- いずれも、**設計の強化とシビアアクシデントの緩和策の強化**が多くを占めている
- これは、**Beyond DBAの設計対応**、**DiDのレベル4の強化**に相当する
- したがって今後の安全規制は、これまでBeyond DBAとしていた領域(すなわちDEC:SBOやATWS等)についても、**設計対応とともに安全評価が必要になるだろう**
- では、その手段となる**安全解析コード(システムコード)の我が国の現状はどうか?**

安全解析コード(システムコード)に関する我が国の現状

- **海外から導入したコードに依存**
 - RISTやCAMPの協定でコードを導入
 - RELAP, SCALE, MCNP, ORIGEN, NJOY, MELCOR, MAAPなど
 - 規制支援をしていた旧原研で開発経験がある
 - 開発者以外にユーザは少なく, 継続的な保守が困難であった
- **産業界(メーカ)は提携先から導入後, それぞれ整備**
 - TRACG, TRACT, MCOBRA/TRAC, etc
- **電気事業者の安全解析業務はアウトソーシングが中心**

米国の原子力コード管理政策の変化と影響

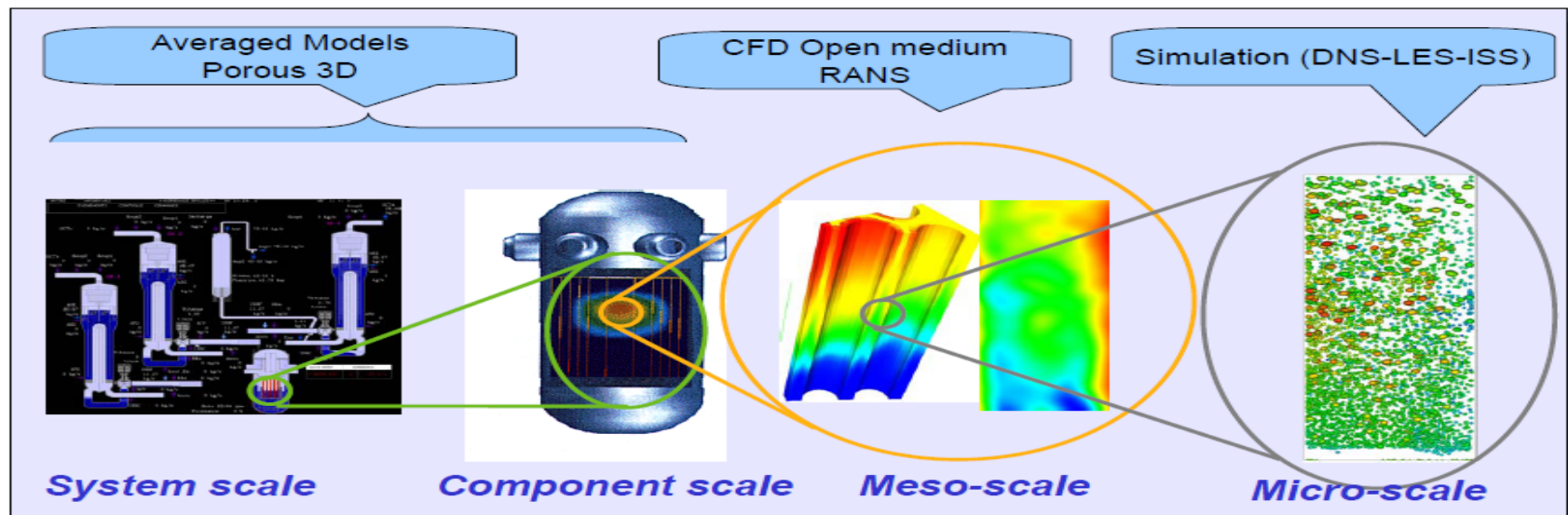
- **これまでORNL/RSICCからRISTを通じて解析コードを入手**
 - RELAP, SCALE, MCNP, ORIGEN, NJOYなど
- **米DOEがRELAPとMCNPを輸出規制対象に（'08/8~）**
 - 核拡散防止
 - 米国の経済権益保護のための政策（国際競争の切り札）
- **我が国への影響**
 - 「日本での安全評価は使用実績のある原子力ソフトが尊重されてきた... この判断は国際的には通用しない」
 - 「実行形式で入手してもブラックボックス化しアルゴリズムの正当性、信頼性を検証できなくなり、適用範囲が限定的となる」
- **なすべきこと**
 - 「国が中核となって、戦略的、計画的に独自の原子力ソフトの開発・整備を急ぐ必要がある」

田中俊一，佐藤治，石島清見，“我が国での米国製原子力ソフトウェアの利用と課題 ー米国の管理政策に変化の兆しー，”原子力eye, Vol.56, No.11 から引用

二相熱流動のスケールとコード

- ソースにアクセス可の(海外の制約のない)国産コードの有無

原子炉システム スケール	コンポーネント スケール	メゾスケール	ミクروسケール
ない	単相流コードはあるが二相流コードはない。V&V必要。	同左	大学や研究所にある(研究段階)



NURISP OPEN SEMINAR, Dresden, Nov.30-Dec.1, 2009

海外のひもつきでないシステムコードを現在所有していない

システム解析コードの開発が必要と考える理由

1. 世界的な設計要件拡大・規制ハーモナイゼーション及び福島 の教訓を踏まえ、設計基準の見直しとその安全評価が必要

- 今後、SBOやATWS等のBDBAについて最適評価の必要性が増す
- 加えて、外的事象や多重故障など様々なシーケンスの評価が必要
- 海外支援(ベトナム等)には、国産システムコードが必要

2. コードは熱水力試験やスケーリングの検討の集約先(資産)

- ユーザ効果の考慮やV&Vが必要
- 使えるまでに多くの労力が必要であり、諸外国に遅れることなく計画的に実施する必要がある

3. 人材育成・技術継承

- コード開発を、人材育成・技術継承の機会に活用すべき

まとめ

- 海外の規制の潮流や福島事故の教訓を踏まえると、従来の Beyond DBA (DEC) の設計対応や DiD のレベル4 の強化が必要となり、その評価のためのシステム解析コードの必要性が増してくる。
- システム解析コードは、熱水力試験やスケーリングの検討等の主要な反映先であり、その国の研究成果・知識の集約先。その集約先となる国産コードがない状況。整備されたシステム解析コード(ソフトウェア資産)の有無が、その国の安全評価能力や技術力を示す一つの尺度。
- システム解析コードを戦略的に開発する必要がある。