



TSO*としての事故耐性燃料研究

日本原子力研究開発機構
安全研究センター
杉山 智之

2022年3月11日 事故耐性燃料開発に関するワークショップ

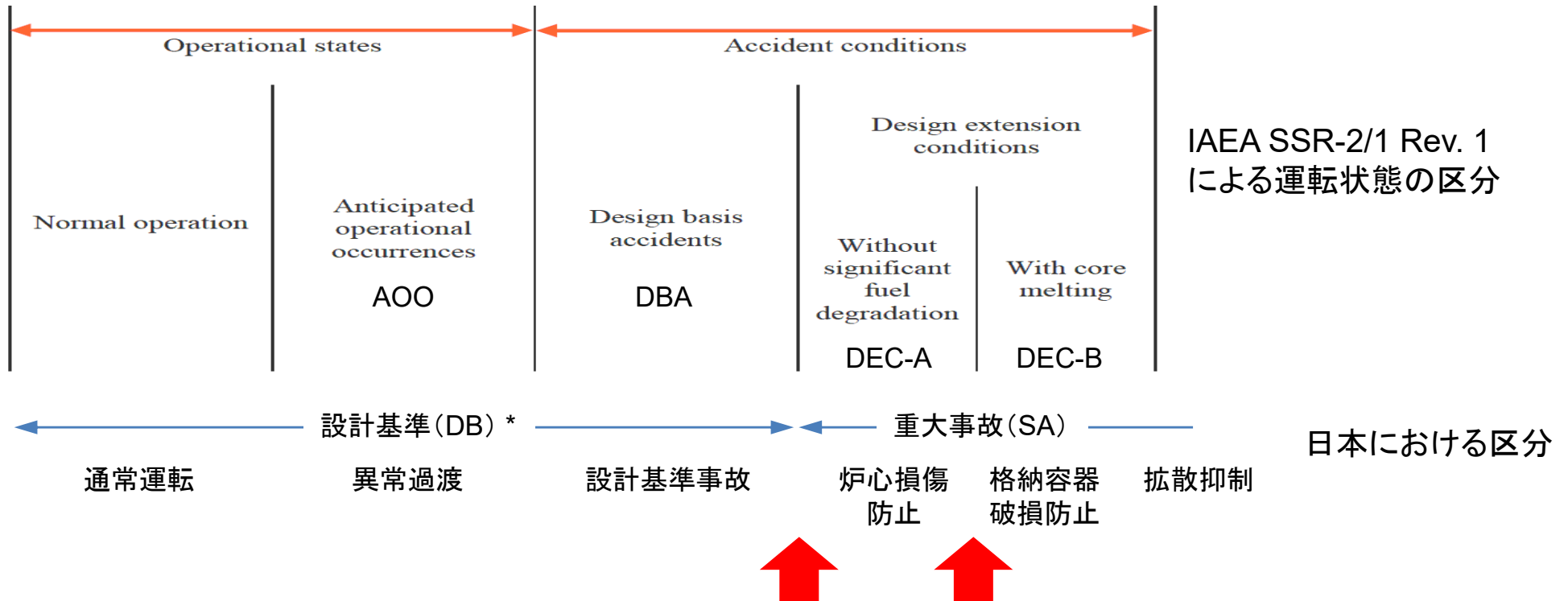
* Technical support organization, 規制を技術的に支援する機関

- ✓ 既設軽水炉への導入に向けて、事故耐性を強化した燃料の開発が各国で進められている。
- ✓ 原子力規制庁の「今後推進すべき安全研究の分野及びその実施方針」(令和3年7月)では「事故耐性の向上を目指した新しい燃料に関する知見や、設計基準事故を超える条件での燃料損傷状態の判断基準の検討に資する知見を取得する」とされている。
- ✓ 国内外の状況を踏まえ安全研究センターがTSOの立場で進めている事故耐性燃料(ATF)に係る取組みを紹介する。

発表内容

- ATFの評価で考慮すべきこと
- 安全研究センターにおけるATF研究

【深層防護】

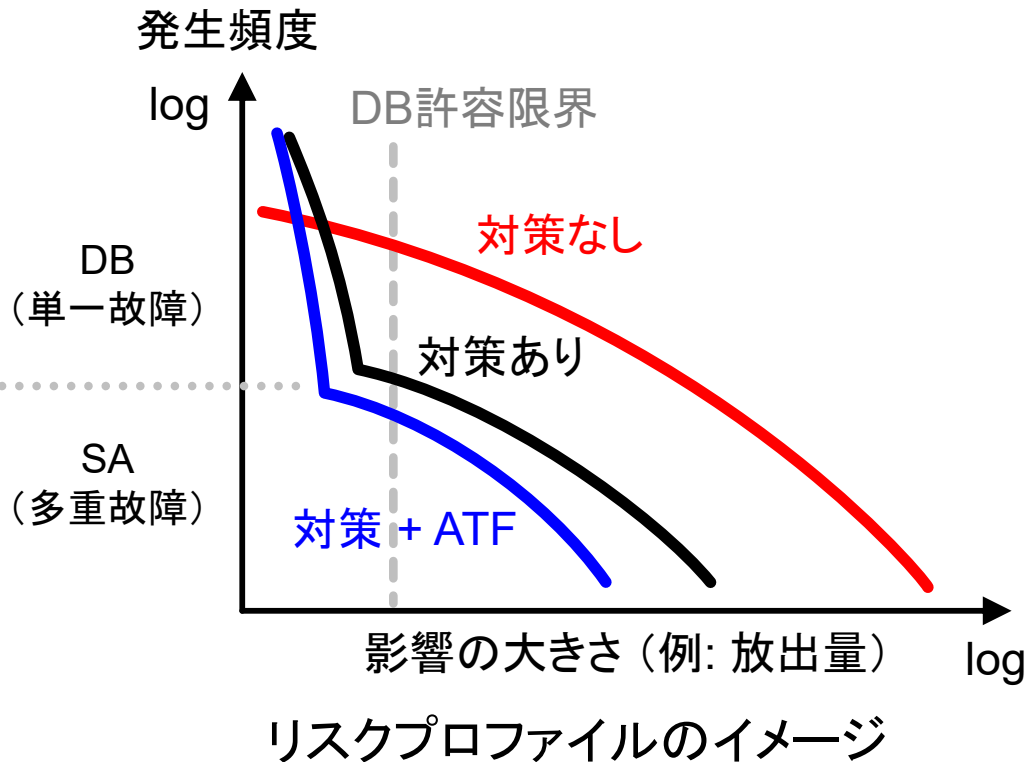


- DBA及びDEC-Aの上限は燃料の性能に依存する。
- ATFは、Zr基合金被覆管に対して定められたDBAの上限(1,200°C、15%ECR)を変え得る。
- ECCS性能要求にも影響を及ぼし得る。

→ 新設炉の設計に影響

* 単一故障の範囲。多重故障は即SA

【リスク評価】



- ・ 酸化しにくい被覆材の導入により水素発生量や酸化反応熱の低減が期待できる。
- ・ 加えて、水素発生や炉心損傷の開始を遅らせる効果が期待できる。
- ・ 時間を稼ぐことで実施可能な対策の種類が増え、また、対策の信頼性が高まる。
- ・ これらの効果がリスクを低減する。
- ・ 但し、DBについては、単一故障であるため対策の信頼性が高く、対策の効果を検討したリスクが元よりほぼゼロである。
- ・ よって、DB耐性の向上は、レベル1リスク評価には効くが、レベル2リスク評価上の効果は限定的である。

影響の指標の例

- 放射性核種の環境放出量
- 炉心損傷開始までの時間(の逆数)
- 可燃性ガス(主として水素)の発生量
- 溶融炉心コンクリート反応(MCCI)の程度
- etc.

【深層防護及びリスクの観点から】

- ・ 深層防護の考え方に基づき、ATFのSA耐性の向上とは独立に、DB耐性を確保することは必須である。
- ・ 即ち、SA耐性とDB耐性の優先度を論ずることは出来ない。
- ・ しかしながら、
 - 長い歴史のあるDB対策に対し、規制要件化から日が浅いSA対策及びその評価手法は完成度が低い
 - 新規制基準に準拠したSA対策により確実にリスクは低減されたが、外部事象に起因するリスクのさらなる低減には引き続き様々な努力が必要
 - 福島第一原子力発電所事故はDBから段階的に拡大した結果ではないといった日本の状況を考慮した場合、SA時の静的・受動的な安全系としてのATFの役割により多くの期待が集まることは当然である。
- ・ ATFのDB耐性は必要条件であっても十分条件ではなく、その価値はSA耐性で示され、リスク評価により定量化されるべきと考える。

× 「ジルカロイ被覆管を前提に定められた現行DB基準を満足するか？」

○ 「事故耐性燃料がもたらす価値とは？ 前提条件の何が変わるか？」

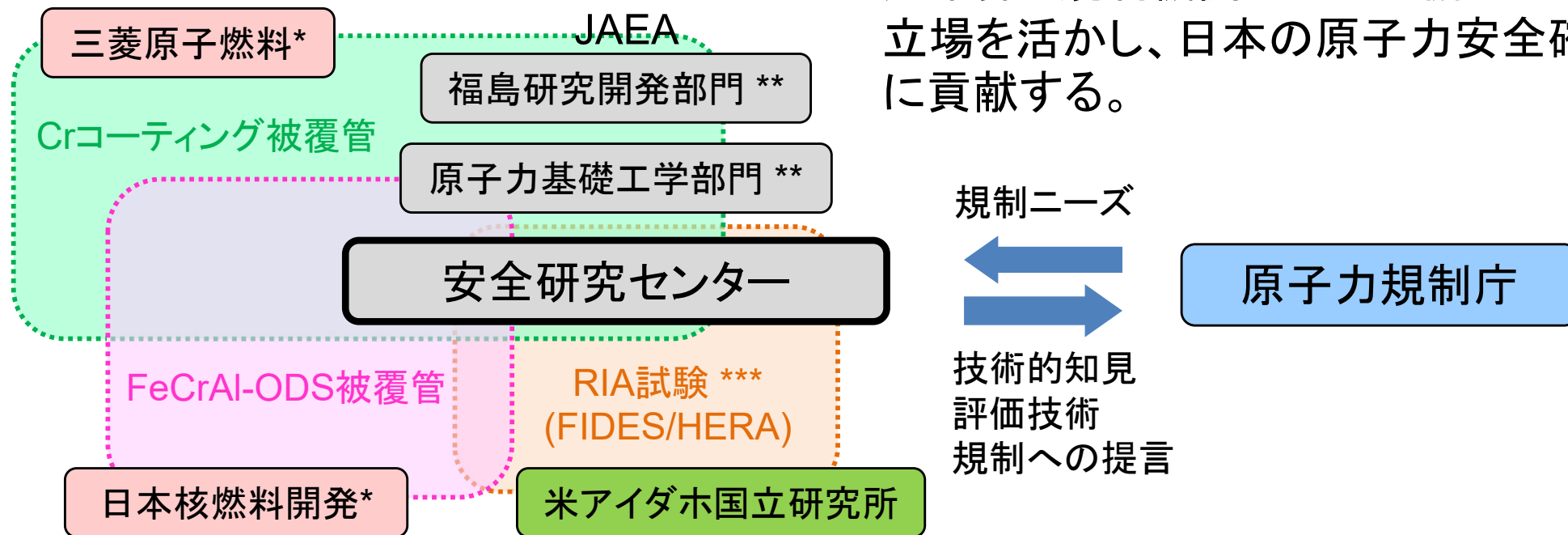
=> より広い視野を持ち、DBとSAを連続的に捉え、特にSA領域の知見を取得することが重要

安全研究センターの活動

- 研究協力
- LOCA試験、RIA試験、コード開発
- 国際プロジェクト、検討会等への参加
- SA耐性に関する評価手法の開発

研究協力

- 産業界と規制機関の双方と協力できる立場を活かし、日本の原子力安全確保に貢献する。



2022年3月現在

共同研究・プロジェクト

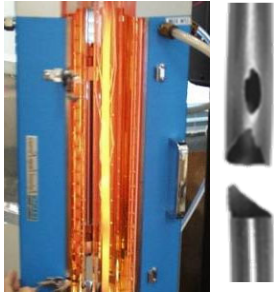
* 試料提供

** 分析/試験項目を充実、解析評価促進

*** 将来的にATF試験実施も検討

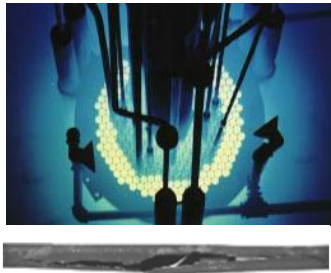
安全研究センターの試験設備や技術を活用した研究

LOCA試験



- ATF被覆管を対象に、膨れ・破裂、高温水蒸気中酸化及び急冷の一連のLOCA時の燃料挙動を適切に模擬出来る**LOCA模擬試験及び高温水蒸気中酸化速度評価試験実施し、変形挙動、破裂条件、酸化速度、急冷破断限界等を評価**する。
- 被覆管温度1200°Cが必ずしも意味を成さなくなり、SAコードモデル類等への反映も念頭に、より高温条件での挙動評価が相対的な重要度を増す
⇒ R2-R3年度にかけ試験装置類の機能強化を実施（1700°Cまでの温度に対応）

RIA試験



- ATF被覆燃料を対象に、RIA条件を模擬可能な研究炉での**パルス照射試験等を実施し、伝熱・変形・酸化挙動、破裂・破断破断条件、破壊力発生条件を評価**する。
- 試験条件範囲（発熱量）の点では従来よりSA条件を包含している
⇒ 発熱量を主パラメータとする同様の試験アプローチが適用可能、ただし発熱量評価や一部計装技術の適用性、照射後試験項目は材料毎に検討要

コード開発/ モデリング

- 共研の枠組みを活用し、試験後試料の詳細分析で得られた知見や提案された要素モデルを**公開燃料コードのATFモジュールとして適時集約、破綻なく一元化し、協力機関へ展開**することで、国内のATF挙動評価技術基盤の強化に貢献
- 上記のLOCA、RIA試験で解明されるSA時のATF挙動に対して、影響緩和対策の多重故障がプラント挙動に及ぼす影響の評価が必要

国際活動への参加

- OECD/NEA/FIDES下の照射試験
 - INCA: チェコLVR-15におけるATF被覆管照射
 - HERA: 米INLにおけるRIA試験(次期フェーズでATFを追加予定)
- OECD/NEA/QUENCH-ATFプロジェクト
 - 独QUENCH施設における集合体規模の被覆管試験
(METI支援の下で原子力基礎工学研究センターが参加し、安全研究センターが協力)
- OECD/NEA/WGFS(燃料安全WG)における検討
- 米NRCによるPIRT(現象重要度ランク表)

SA耐性に関する評価手法の開発(計画段階)

- ATFからのFP放出モデルの検討
- ATFの特性を反映したプラント挙動及びソースターム評価手法の開発
(SA総合解析コードの拡張)

- 事故耐性燃料(ATF)は「安全性が向上した燃料」に留まらず、原子炉施設の安全評価、リスク評価、機器設計、新設炉の設計、防災計画などに影響を及ぼし得る重要な技術である。
- 安全研究センターは、保有する研究リソースを活用して中立的な立場でATFに係る技術的知見の取得を推進することで、規制を支援するとともに、産業界が実現する原子力安全性の向上に間接的に貢献する。