

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

# 国研として取り組むATF関連基盤技術開発

日本原子力研究開発機構  
原子力基礎工学研究センター

## ○ 共通基盤技術の開発・整備と継続的高度化

- 照射試験の円滑な遂行と継続的な照射／照射後試験技術整備や高度化の検討
  - － 二国間協定や国際的枠組みを活用した照射試験推進
- 燃料ふるまい解析手法の高度化による各社開発支援
  - － 許認可参照用コード（FEMAXI）の継続的アップデート
  - － 長期照射や過渡時等ふるまい予測への活用検討

## ● 基礎基盤研究の推進（←具体的な取組みのイメージを後のスライドで紹介）

○ JAEAの専門性、知識・経験等を活かし、国内ATF開発の加速に資する以下2項目の実施を検討中

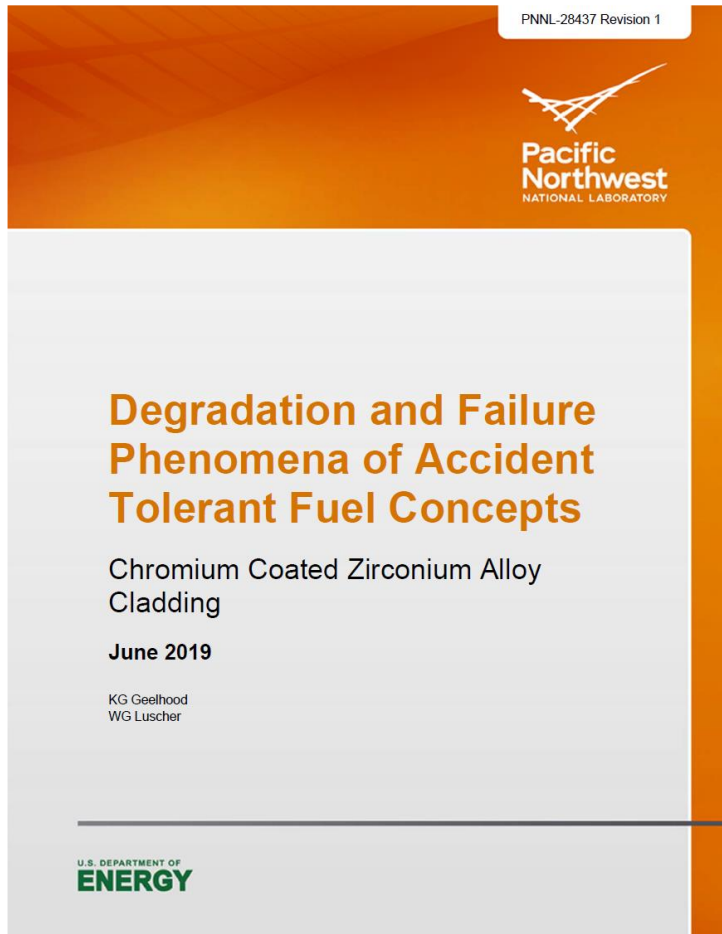
### － 代替照射技術開発による長期ふるまい予測手法の検討

←海外炉照射試験の現状を踏まえて、ATFの照射挙動のうち、特に試験炉照射データの解釈や長期照射下でのふるまい予測に資する代替照射試験技術を開発し、試験炉照射のデータ取得に先立ち、照射データ・知見の取得・拡充を行う。

### － LOCA等事故時挙動評価手法の検討（国際Pjも活用）

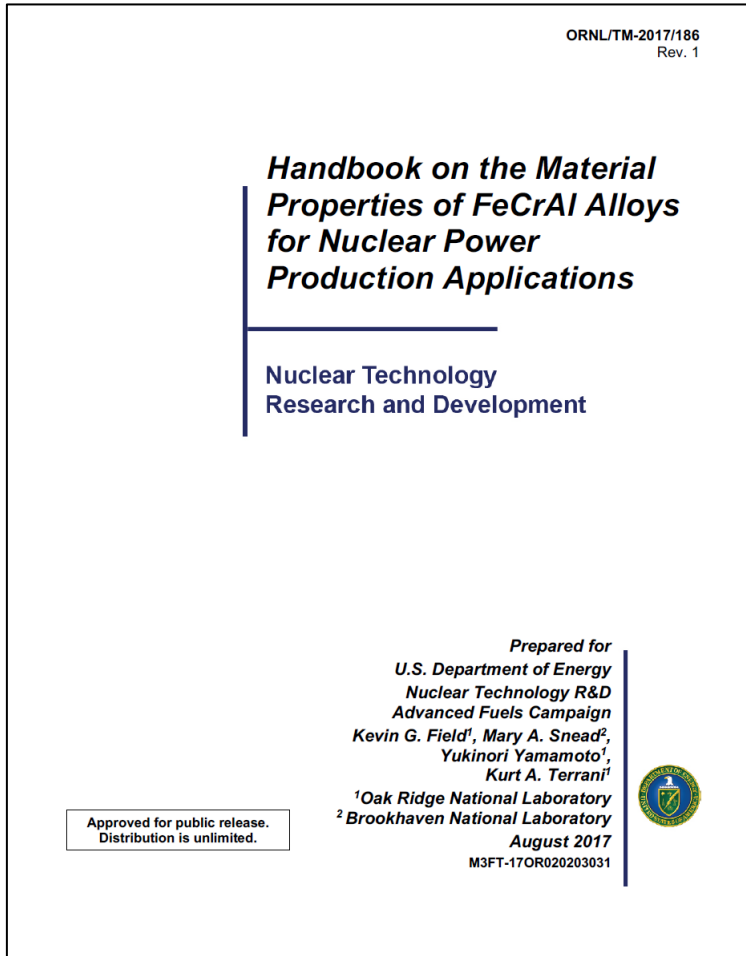
←冷却材喪失事故時におけるATF被覆管の変形挙動等の詳細評価モデル構築に向けたLOCA試験装置の開発を行う。構築したモデルを燃料ふるまい解析コードFEMAXIやSA解析コードに組み込み、国際Pjでの模擬バンドルの試験結果との比較、検証を行うことで、ATFによる安全性向上効果を精緻に評価可能な解析手法を開発する。

- 上記を通じた照射／照射後試験技術、燃料技術の醸成・人材育成への貢献



- PNNLはATF導入に関してNRCの技術支援
- コーティング被覆管の特性及び燃料ふるまいについて、米国内外の産業界情報と技術的議論を提供
  - 被覆技術
  - Cr-Zr相状態
  - 通常時及び事故時の燃料ふるまいコード・方法・設計基準
- 特に、現在の規制に無い固有の劣化・破損様式を特定し、それについて議論
  - 設計基準とそれに必要なデータについての議論
  - 炉外・炉内試験データの充足状況と、不足データ取得の推奨
- 専門家によるPIRT

【PNNL】 : Pacific Northwest National Laboratory    【NRC】 : Nuclear Regulatory Commission  
 【PIRT】 : Phenomena Identification Ranking Table



- ORNLは、ATFを含めた様々な原子力用途への関心が高まっているFeCrAl合金の材料特性に関して、2017年時点におけるデータを纏めハンドブックを作成
- 本ハンドブックに含まれるFeCrAl合金のデータベースには、以下の材料製造パラメータによってふるまいが異なることが記されている
  - 化学組成
  - 熱処理や加工
  - 微細組織
- 現状では、著しい知見のギャップ（特に、様々な単独試験や統合試験を含めた照射効果に関する知見の欠如）が残されている

【ORNL】 : Oak Ridge National Laboratory

## 【NRCにおけるSAの観点でのレビューの概要】

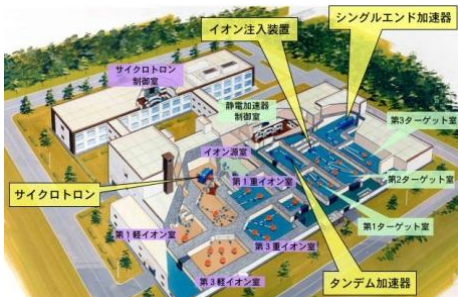
- シビアアクシデント下で、ATF設計／濃縮度／燃焼度によって影響を受け得る燃料・被覆管のふるまい、破損、FP放出・移行挙動を特定することにより、後段に行われるPIRTのベースとする
  - Near term :  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 及び $\text{Al}_2\text{O}_3$ ドープ $\text{UO}_2$ 、Crコーテッドジルカロイ被覆管、FeCrAl被覆管
  - Long term : SiC被覆管、シリサイド燃料、窒化物燃料、金属燃料（U-Zr合金、Zr組成50%超）
- ATF開発モチベーションとして、（Fe等による）非効率な中性子経済克服（箔肉化、USi、UN等高HM燃料使用）、ドープ元素による事故時FPトラップ、高熱伝導率化による燃料温度低減等
- 既存燃料に対するFPインベントリーと放出の変化についてはあまり述べられていない
- 代表的な少数ケースのSA解析結果（早期in-vessel事象）では、ある程度の対処時間（coping time）延伸と $\text{H}_2$ 発生低減示す
- 本レビューとSA解析モデルをベースとして、PIRTにて議論すべきATF用SAモデリングニーズ、高燃焼度及び高濃縮化に関する候補事象を抽出

## 【目的】

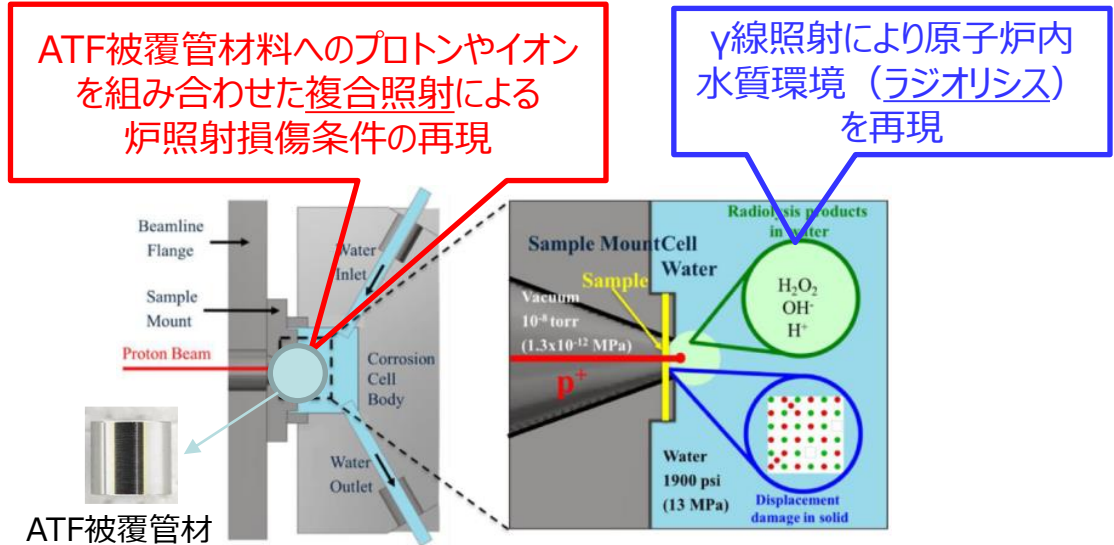
- ATFの実機環境下健全性評価に資することを目的に、高温高压水環境や応力負荷条件下での照射実験実施が可能なイオン照射用試験装置を開発し、照射下での表面組織の安定性に及ぼす照射と環境／応力等の重畳影響を評価する。これらの影響評価を行うことで、試験炉照射データの解釈や長期照射下でのふるまい予測に資する。



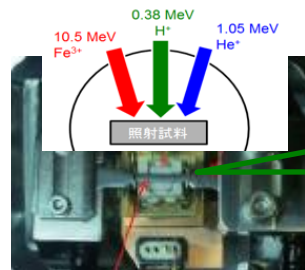
JAEA原科研のタンデム加速器



QST高崎研のイオン照射研究施設 (TIARA) 鳥観図



P. Wang et al, Journal of Nuclear Materials 533 (2020) 152108

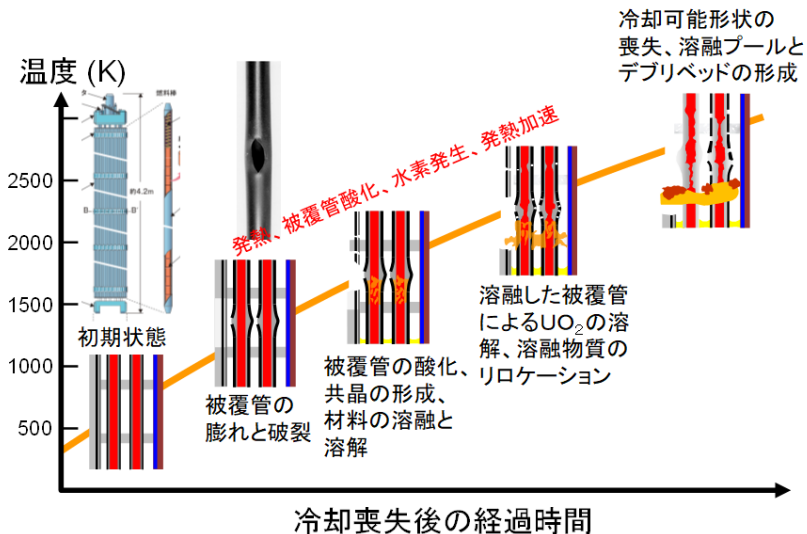
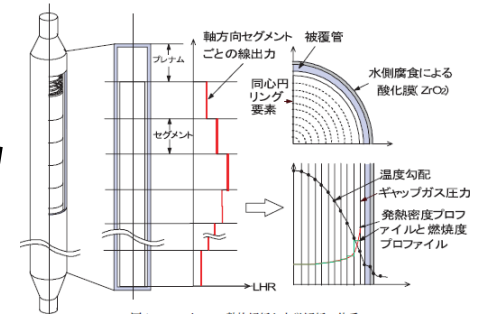
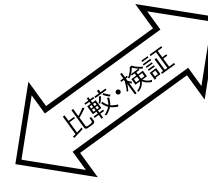


材料への実機相当の応力負荷を模擬しながら、核変換ガス (He、H) 及び照射損傷の影響を評価

## 【目的】

- 冷却材喪失事故時におけるATF被覆管の変形挙動等の詳細評価モデル構築などを目的に、LOCA試験装置の開発を行う。構築したモデルを燃料ふるまい解析コードFEMAXIやSA解析コードに組み込み、OECD/NEA、ドイツKITが主体となって進めている国際プロジェクト（QUENCH-ATF）での模擬バンドルの試験結果との比較、検証を行うことで、ATFによる安全性向上効果を精緻に評価可能な解析手法を開発し、事業者等に事故時挙動に係る基礎的知見や比較参照解を提供する。

ふるまい解析コードのATF-LOCA条件までの拡張、改良、解析



FICHOT et al., Nucl. Eng. Technol. 38(8) (2006).

## LOCA試験

## 集合体でのLOCA試験

