

# ナトリウム冷却高速炉における金属燃料

## 概要 / 目的:

ナトリウム冷却型高速炉(SFR)で使用されている金属燃料について紹介します。金属燃料の開発経緯及び使用経験、燃料の信頼性及び安全性における金属燃料のメリット、アクチニド核変換及び高燃焼領域における課題と開発の方向性についても紹介します。

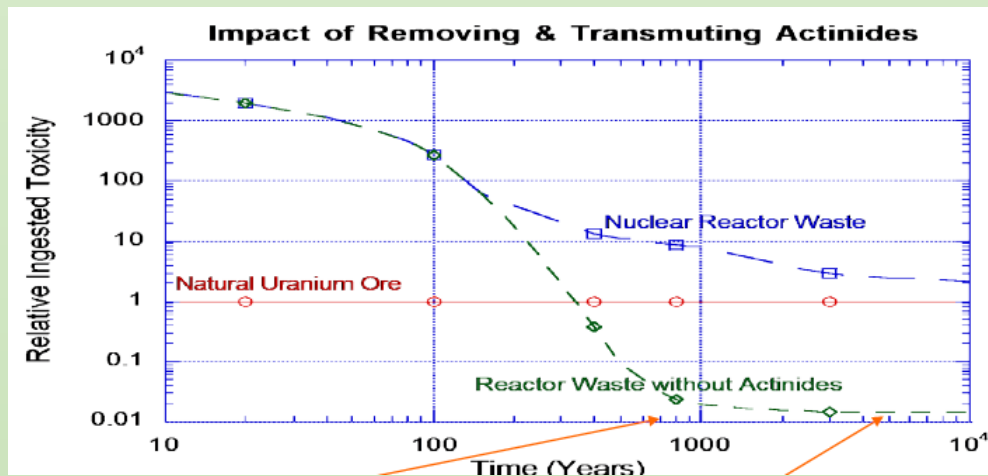
## 講演者紹介:

**スティーブン・ヘイズ博士**は原子力科学技術フェローであり、様々な種類の燃料(液体金属路のための金属、酸化物、及び窒化物燃料、並びに研究炉のための高密度分散燃料)の試験とモデリングに従事してきた。彼はシャットダウンされる前のEBR-IIにおいて多くの燃料と材料の照射試験をリードし、今日ではATRにおける試験計画を維持している。ヘイズ博士は米国DOEの先進燃料キャンペーンにおける金属燃料開発及び試験、また、米国DOEの原子力先進モデリング・シミュレーション計画におけるマルチスケール・マルチフィジクス燃料パフォーマンスコードに関する国家リーダーの一人である。



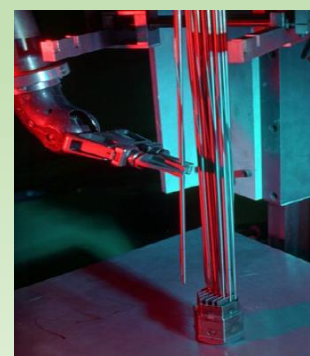
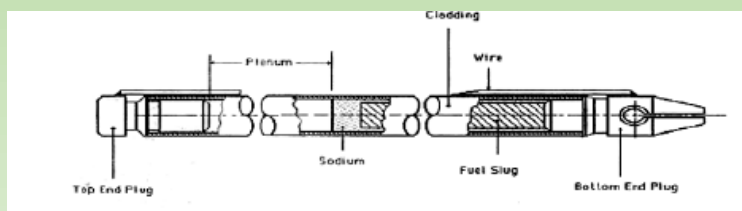
## 背景: 核変換へのモチベーション

- プルトニウムとマイナーアクチニドは、燃料使用後における、使用済み燃料貯蔵時の放射線発生的主要原因である。プルトニウム再使用やマイナーアクチニド(MA)の核変換などの手段を用いれば、貯蔵時の放射線発生量は格段に低下する。
- 余剰中性子や高エネルギー中性子が多いことから、高速炉はマイナーアクチニド変換の手段として有望と考えられている。
- そのため、プルトニウムとマイナーアクチニドを含んだ燃料に対し、適切な遮蔽手段を有する遠隔燃料再処理／製造方法を開発し、高速炉を用いて、核変換することへの期待が高まっている。



## 金属燃料: 歴史と特長

- 金属燃料は、EBR-I、英国のドンレイ高速炉、エンリコ・フェルミ高速増殖炉、EBR-II、及び FFTFで使用された。
- 金属燃料は、高燃焼度までの信頼性、核拡散抵抗性を有する電気化学的なリサイクルへの適合性、簡素でコンパクトな製造プロセス、原子炉の受動的安全性との相乗効果といった特長を伝統的に有する。
- 金属燃料の遠隔量産は歴史的に比較的容易である。金属燃料は高燃焼度信頼性の実証されており、核変換のための合金密度を低下させることにより、さらに高燃焼度に対応できるポテンシャルを有する。



## マイナーアクチニドを含む金属燃料の製造方法

- 基本となる鑄造法(射出鑄造：反重力方向)は、1960年代には開発されており、EBR-IIの金属燃料ピン39,000本は、本鑄造法を用いて製造された(遠隔手法により組み立て)。
- マイナーアクチニドを含む金属燃料の製造に、本製造法を応用し、高放射性量、るつぼのクリーニングとコーティング等の課題を解決し、アメリシウム(Am)などのマイナーアクチニドを有効活用することができる。
- 新しい鑄造プロセス(下注鑄造)を採用することにより、燃料製造中のマイナーアクチニド(Am)の損失をほとんどゼロにすることができることがわかった。
- 鑄造中のAmの揮発性の課題についても、卓上サイズの模擬システムでは解決方法を得ており、現在、Amを用いた確証試験を実施中である。



## マイナーアクチニドを含む金属燃料のパフォーマンス

- 米国の照射炉(ATR)において、複数の組成の U-Pu-Am-Zr 燃料合金の照射が行われた。
- EBR-II、FFTF、及びPhenixで照射されたデータとの比較検討も予定されており、マイナーアクチニドを含む金属燃料はリサイクル可能な見通しを得ている。

|               | AFC-1                       | AFC-2                          | AFC-3/4                                                    | IRT                                |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Test Strategy | Scoping – Many compositions | Scoping – Focused compositions | Focused compositions                                       | Focused compositions               |
|               | Nominal conditions          | Nominal conditions             | Nominal+ conditions                                        | Nominal+ conditions                |
| Capsule Type  | Drop-in                     | Drop-in                        | Drop-in                                                    | Drop-in                            |
| Fuel Types    | Metallic Nitrides           | Metallic Oxides                | Advanced Metallic Concepts                                 | Metallic                           |
| Key Features  | Baseline + MA               | Baseline + MA + RE             | FP control, annular fuel, FCCI barriers, ultra-high burnup | Recycle feed<br>Remote fabrication |
| Time Frame    | FY 2003 – FY 2008           | FY 2008 – FY 2012              | FY 2011 – FY 2017 +                                        | FY 2018 – 2020                     |

☐ Past test series

☐ Test series in progress

☐ Future test series

## 革新的な先進金属燃料概念に関する将来の方向性

- 先進的な金属燃料概念の開発
- ランタニド核分裂性生成物の安定化と不動化のための添加物
- 被覆管のコーティングとライナーC
- 押し出し法による低スミア密度中空燃料の製造
- 超高燃焼度(30－40%)の信頼性ある燃料パフォーマンスの実証

