

新型炉用MOX燃料

概要/目的:

現在の高速炉MOX燃料挙動に関する知識は主に、これまでSFRを運転してきた欧州、米国、日本、及び現在運転中のロシア、インド、中国からのフィードバックから得たものです。第4世代システム(SFR、GFR、LFR、FSMR等)は、安全性、核拡散抵抗性、持続性、廃棄物最小化の要件に対応するシステムとして選定されています。高速中性子を用いたシステムでは、使用済燃料から取り出されるプルトニウムとウランを再利用し、廃棄物を減らして資源を最大限に活用することができ、また(U,Pu)O2は原子炉中及び燃料サイクルにおいて、これらの実現に必要な性能の達成に最も近い燃料候補であることが証明されています。これらのシステムで用いるMOX燃料は、Pu濃度を調整すれば、プルトニウムの多重リサイクル、消費量と生成量の平衡、燃焼又は増殖等に適した燃料です。今回は、幅広い燃料組成(Pu含有量:20~45%)、照射条件を持つMOX燃料の知見及び燃料設計コードの検証に関する最新の状況をご紹介します。

照射後試験とモデル化による照射中の材料特性及び燃料挙動の観点からみた (U,Pu)O2に関する知見、また、MOX燃料の燃料設計コードの検証の手法について、技術成熟度レベル評価と上記の全ての設計、燃料組成、状態に対処するためのMOX燃料の検証領域の拡張の必要性と共に詳細をご紹介します。

国際機関(GIF、OECD/NEA、IAEA、EURATOM)による科学的・技術的問題に対するサポートについても取り上げます。

講演者紹介:

ナタリー・ショーヴァン博士はCEAカダラッシのIRESNEの燃料研究部で高速炉燃料の国際的な専門家として勤務している。彼女は、マイナーアクチニド核変換計画に長期間携わっており、燃料設計の見述は、四別支援をはなるおり、

の最適化、照射試験、統合報告書作成に貢献している。彼女は、 酸化物/炭化物燃料を用いるガス冷却高速炉について、ピン型



又は平板型燃料要素のためのセラミックス複合燃料と事故耐性被覆管から成る 非常に革新的な燃料の開発プロジェクトリーダーであった。現在の彼女の担当 業務は、高速炉燃料の国際協力である。



新型炉用MOX燃料

照射中のMOX燃料物性の比較

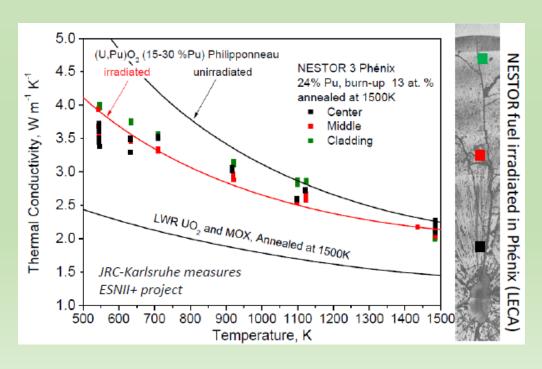
MOX燃料は、融点が高い、熱伝導率が低い、溶融までの尤度が大きい、熱的クリープが大きい(被覆管との機械的相互作用が小さい)、スエリングが小さい(燃料要素の設計が容易)といった特徴がある。

Properties	(U0.8Pu0.2)O2	(U0.8 Pu0.2)C	(U0.8Pu0.2)N	U-19Pu-10Zr
Theoretical density, g·cc	11.04	13.58	14.32	15.73
Melting point, K	3083	2750	3070	1400
Thermal conductivity, (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹) at 1000–2000 K	2.6–2.4	18.8–21.2	15.8–20.1	40–40
Crystal structure	Fluoride	Nacl	Nacl	Alfa
Breeding ratio	1.1-1.15	1.2-1.25	1.2-1.25	1.35-1.4
Swelling	Moderate	High	Moderate	High
Handling	Easy	Pyrophoric	Inert	Inert
Compatibility: clad	Average	Carburisation	Good	Eutectics
Compatibility: coolant	Average	Good	Good	Good
Dissolution and reprocessing	Good	Demonstrated	Risk of C14	Amenable for pyro reprocessing
Fabrication/irradiation experience	Large and good	Limited	Very little	Limited

GIF - "Advanced Sodium Fast Reactor (SFR) Fuel Comparison », March 2009

(U, Pu)O₂の物性

- 融点については、Pu富化度60%以上で文献間の測定値が不一致。
- 熱伝導率は温度、O/M、Pu富化度、密度、照射による影響が大。
- 欧州において、燃料物性について新しい測定を行うための計画 (PUUMA)が実施されている。

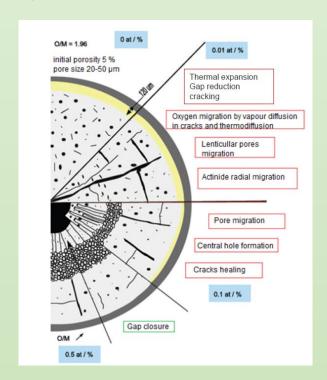




新型炉用MOX燃料(続き)

MOXの挙動:微細構造と組成変化

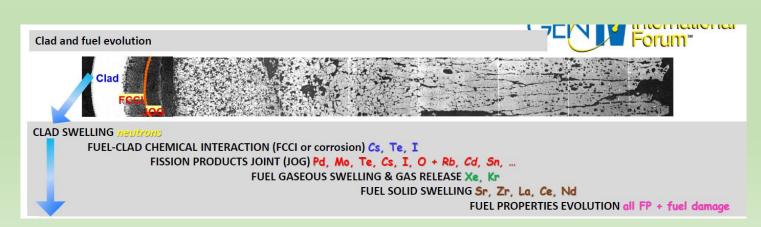
微細構造と組成は燃焼度の増加に伴って変化していく。





MOXの挙動:照射による影響

- ・ 燃料の化学的状態は照射中に増加する $(U_{1-y}Pu_y)O_{2-x}$ の化学ポテンシャルに強く依存する。核分裂により酸化する。
- 照射燃料の物理化学的な性質は変化する。(固溶FP、酸化物析出物、 金属析出物)
- JOG (酸化物/被覆管結合)の形成:: Cs₂MoO₄+ その他化合物
- FCCI(燃料被覆管化学的相互作用) すなわち腐食: Te, I, Cs は被覆管 (Fe, Ni, Cr)と反応: Cs₂CrO4, FeTe_{0.9}, NiTe_{0.6}.

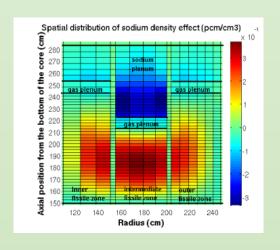


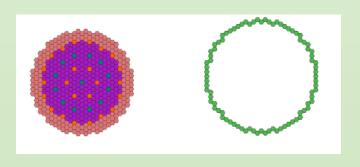


新型炉用MOX燃料(続き)

燃料要素設計の改良

燃料要素の設計において、形状、組成範囲、仕様の改良が行われている。





燃料要素の品質保証

燃料要素の品質保証のエッセンスは、燃料性能を確認するとともに、燃料設計コードの検証を行うために、期待される運転、過渡、事故時の条件をカバーする試験を定義することである。

