



放射性廃棄物処分に関する研究開発について

野村 茂雄
日本原子力研究開発機構

目次

1. 使用済み燃料の処分方法の比較
2. 地層処分の研究開発
3. 長寿命放射性元素の分離変換研究
4. まとめ

既に発生した使用済燃料処分の技術的選択肢

使用済燃料

保管: 約17,000トン

発生量: 約20トン/年・百万kW原発

オンサイト、乾式キャスク貯蔵

現状

1) 中間貯蔵と再処理リサイクル

将来

2) 高速炉、加速器駆動システム(ADS*)
での核変換

オプション

3) 直接処分

ガラス固化体/長半減期低発熱放射性廃棄物

30~50年地上保管、地層処分

* Accelerator Driven System

廃棄物減容・有害度低減の効果

地層処分される高レベル放射性廃棄物等の比較(概略値)

□ 使用済燃料はガラス固化体と比べて

- ◆ ウラン/プルトニウムが多量に存在し、廃棄体の発熱量・放射線量が大きく、寸法も大きく重い。
- ◆ 長期間安定な物質を選択したガラス固化体と違い、直接処分は使用済燃料の形態で処分する。

技術オプション 比較項目	直接処分	再処理	
		軽水炉サイクル	高速炉/ADSサイクル
処分時の 廃棄体イメージ			
発生体積比※1	1	1/5	1/7
潜在的有害度の低減※2 (天然ウラン並)	10万年	8千年	300年
処分面積比※1	1	1/3	1/4

※1 数字は原子力機構概算例。直接処分時のキャニスターを1としたときの相対値を示す。

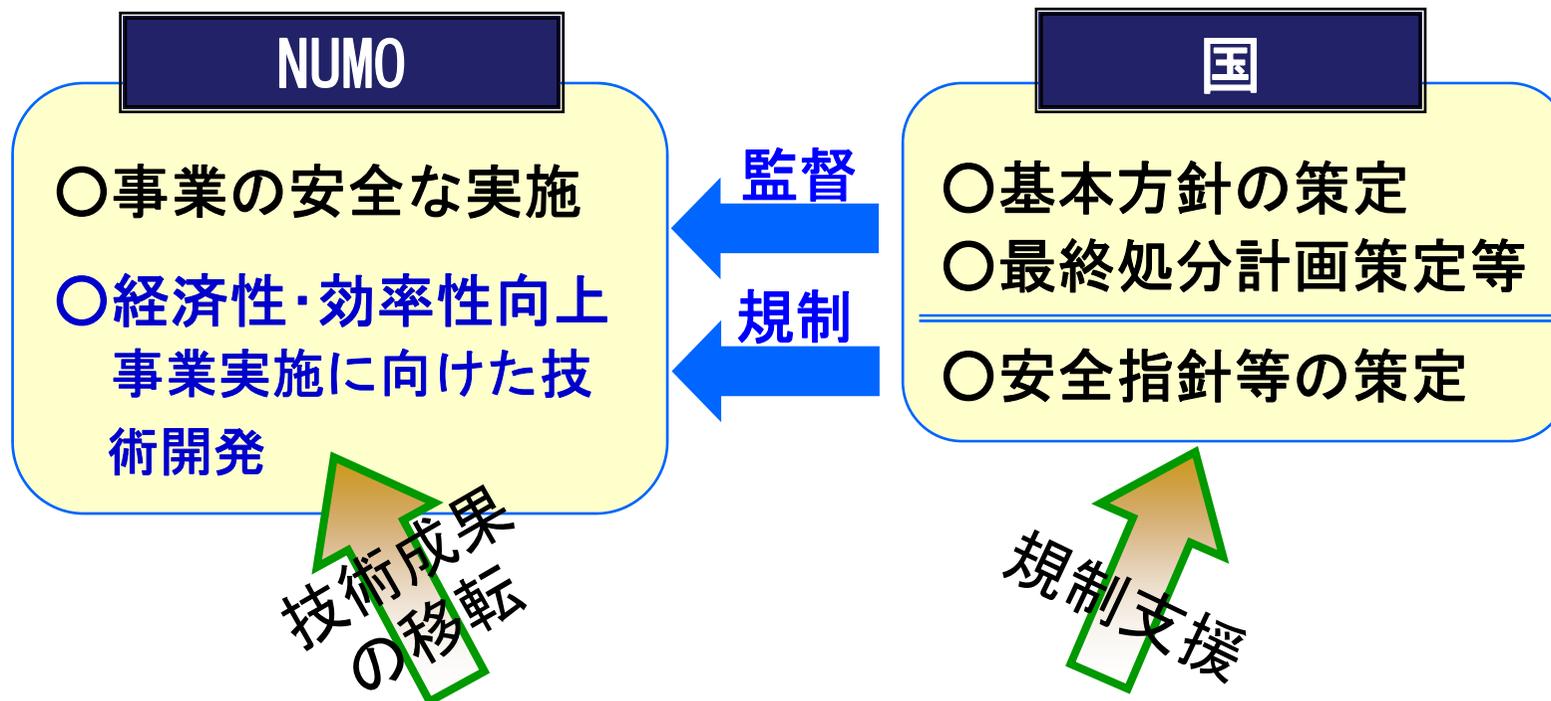
※2 1GWyを発電するために必要な天然ウラン量の潜在的有害度と等しくなる期間を示す。

出典: 原子力政策大綱、原子力委員会新計画策定会議技術検討小委員会基本シナリオの核燃料サイクルコスト資料(2011)、NUMO 高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性「処分場の概要」、原子炉安全専門審査会等

地層処分の研究開発

地層処分事業段階における研究開発の体制

- 研究開発の役割分担は、経済産業省・原子力機構等からなる「地層処分基盤研究開発調整会議」(H17.7設置)で全体計画を策定し、成果をレビュー。



原子力機構を中心とした研究開発機関

- 深地層の科学的研究
- 地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化

高レベル放射性廃棄物を安全に地層処分するための 技術確認

■ 我が国における地層処分の技術的成立性の確認

- 1976年から実施されてきた幅広い地質条件を対象とした研究開発の結果、
 - 日本においても適切なサイトを選定すれば、海外と同等の安全性を有する高レベル放射性廃棄物の地層処分が実現できるということを提示
「地層処分研究開発第2次取りまとめ(1999)」
 - 長半減期低発熱放射性(TRU)廃棄物に対して提示「第2次TRUレポート(2005)」
- 上記を技術基盤として「最終処分法」が成立 (2000年、2008年改正)

■ 事業段階におけるこれまでの研究開発

- サイトが特定された際に適用可能とするための研究開発を継続強化
 - 現実的な地質環境条件への適用性実証
 - 処分場閉鎖後の長期安全性だけでなく建設・操業等の安全性の検討、関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供と合意形成
 - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的柔軟性の確保
 - 多様な情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応可能な知識マネジメント

高レベル放射性廃棄物の地層処分研究

□ 深地層の研究施設等を活用し、深地層の科学的研究、および地層処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に関する研究開発を実施。

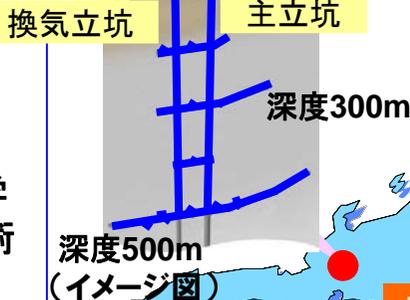


深度500m研究アクセス北坑道

「成果」

- ・大深度掘削技術の確立 (ショートステップ工法)
- ・坑道掘削に伴う水・応力・化学の変遷評価、モデル化技術の確立
- ・岩盤中の物質移動評価
- ・地層の年代測定分析、構造解析手法の開発

東濃地科学センター



幌延深地層研究センター



(イメージ図)

東海研究開発センター



エントリ



クオリティ

「成果」

- ・塩淡水境界の軟岩における大深度掘削技術の実証
- ・沿岸域における地質環境の長期変動性に係る調査・解析技術開発
- ・坑道の調査と力学安定性モデルの開発実証
- ・地球環境に優しい低アルカリ性セメントの開発と施工実証
- ・湧水・ガス抑制技術の確立



核種移行に関するデータ取得

「成果」

- ・地下模擬の実験設備の整備と核種移行試験
- ・処分場の設計技術開発
- ・処分システムの長期安全性に関する予測技術の開発
- ・技術レポート・データベースの定期公開、WEB化



掘削に伴う応力変化の測定

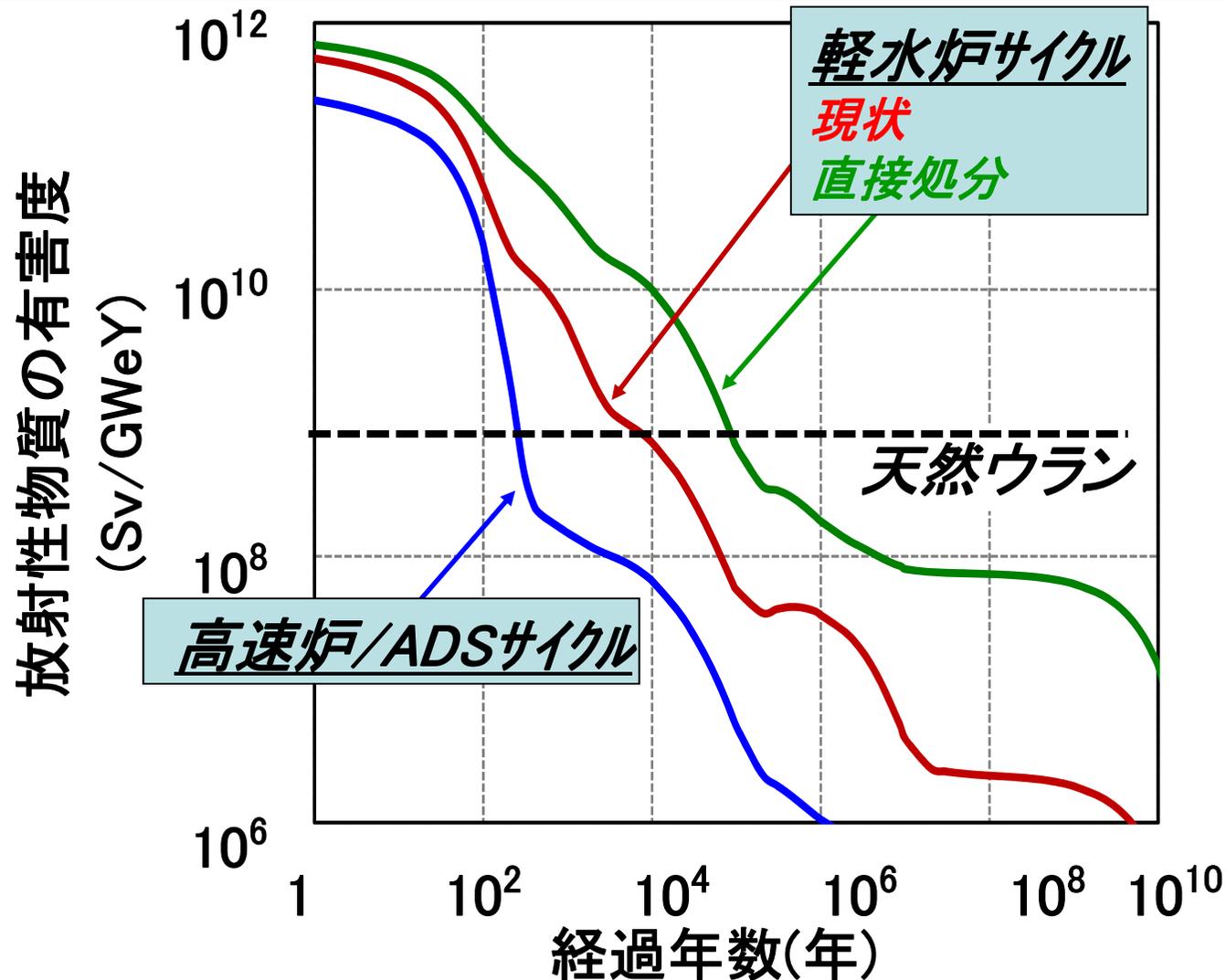


深度350m調査坑道の掘削

長寿命放射性元素の分離変換研究

分離変換技術による放射性物質の有害度低減

- 軽水炉サイクルを行うことで、有害度は十万年から千年オーダーに
- 高速炉/ADSサイクルでは、マイナーアクチノイド(MA)を燃料に混ぜることにより、核変換(短寿命化)して、さらに低減を目指す



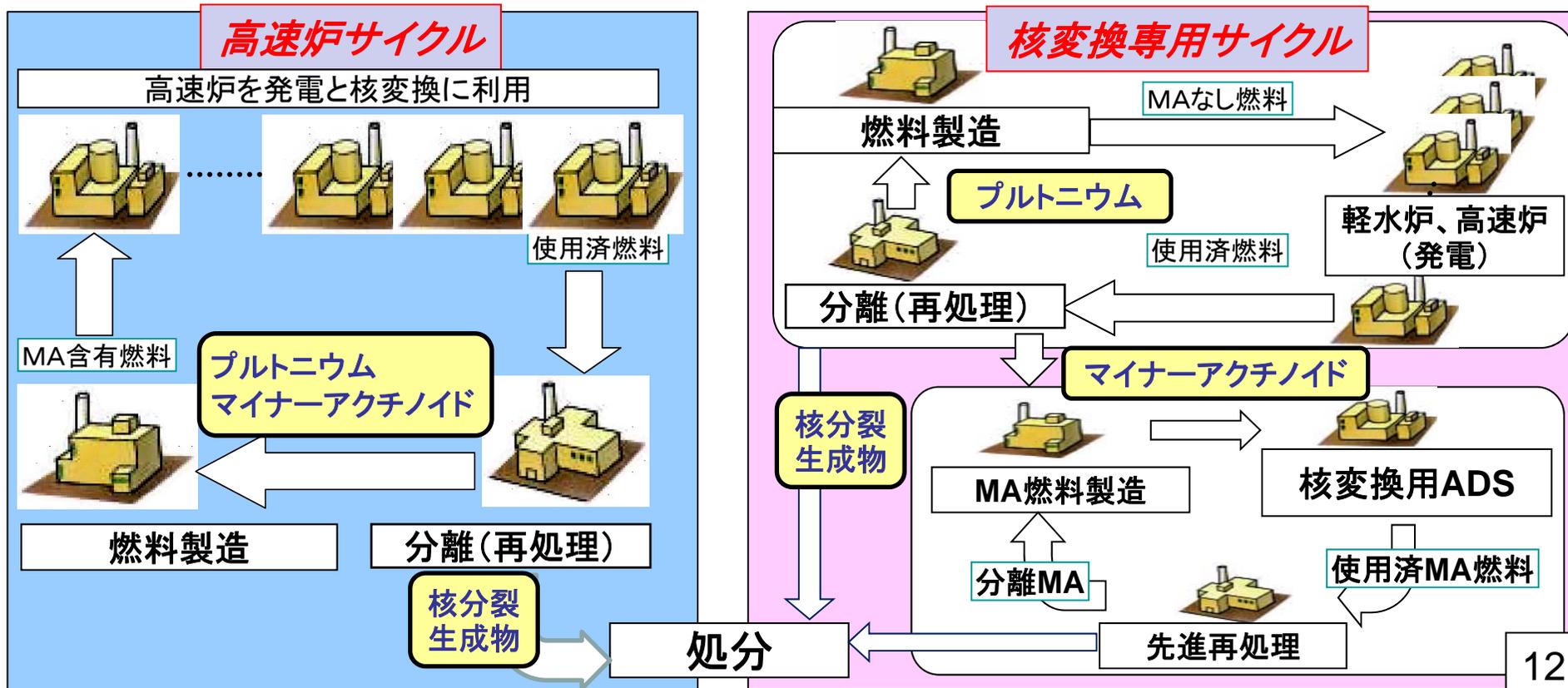
分離変換を組み込んだ核燃料サイクル

□ 高速炉サイクル

- ◆ 単一なサイクル
- ◆ 原型炉が存在し実証段階(工学規模)、実用化が見通せる研究開発段階
- ◆ マイナーアクチノイド(MA)リサイクルの技術基盤を整備中、工学的な実証データの充足が課題

□ 加速器駆動システム(ADS)を利用した核変換専用サイクル

- ◆ 発電用サイクルとは別に核変換に特化したサイクルを設ける
- ◆ 基礎的な原理実証の実施段階、工学的な実証データの充足が課題



「もんじゅ」を利用した長寿命核種の変換試験計画



□ 「もんじゅ」安全・改革本部による「もんじゅ」改革

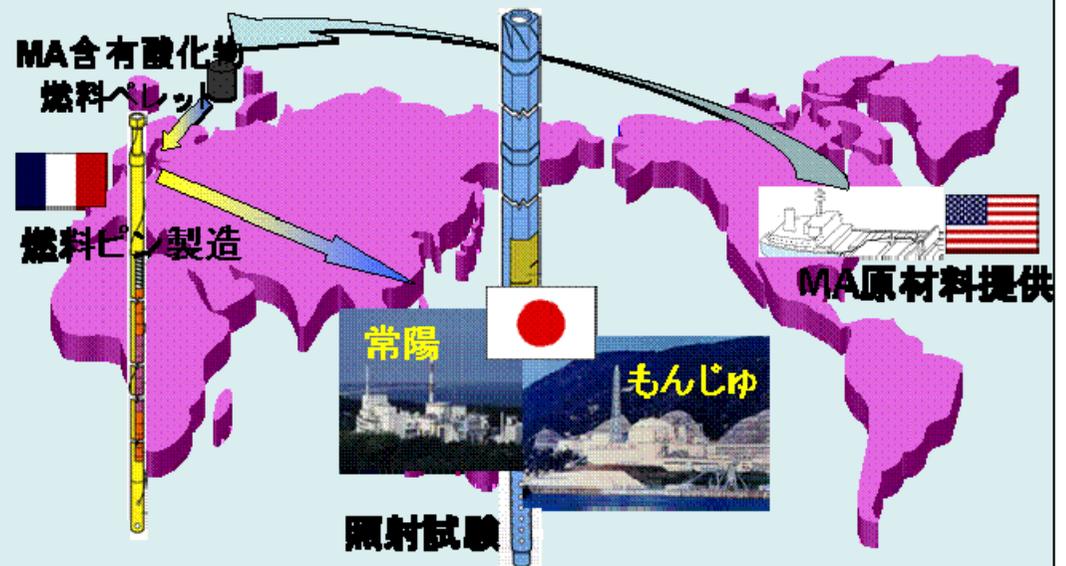
- ◆ 安全意識の改革・技術力向上、安全文化醸成、品質保証体制の向上などを実行
- ◆ 破碎帯の調査、保安措置命令の解除に向けた改善を実施し、その状況を確認した上で新規規制基準対応など、稼働までに克服すべき課題へ着実に対応

「もんじゅ」の特徴

- 軽水炉使用済燃料のプルトニウム(Pu)を本格利用し、MAの一種であるアメリシウム(Am)を相当量含む(世界初)
- 工学規模での高速中性子の燃料照射試験が可能(世界唯一)

試験計画

- Am含有MOX炉心の性能試験
- さまざまなPu原料を用いたMOX燃料の燃焼試験
- MA燃焼実証試験GACID
(仏原子力庁／米エネルギー省／原子力機構 共同研究など)



包括的アクチノイドサイクル国際実証プロジェクト (GACID)

大強度陽子加速器施設 J-PARC

□ 加速器駆動システム(ADS)による、核変換要素技術の工学規模の研究開発を行うための、核変換実験施設建設を構想

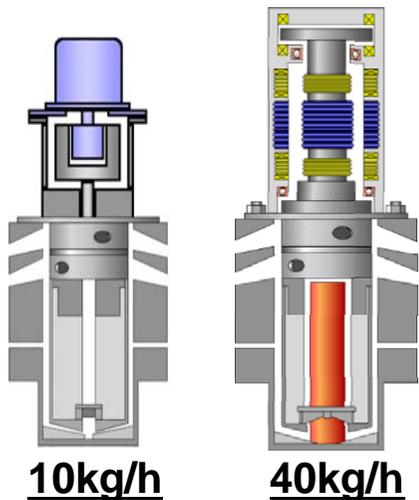
核変換物理実験施設
(臨界/未臨界実験)

ADSターゲット試験施設
(核破砕ターゲットと材料の開発)



抽出から燃料製造までの我が国独自の技術開発

□ 革新的再処理機器、抽出プロセス、核燃料製造といった分野で、高速炉サイクルと加速器駆動システム(ADS)に共通な技術基盤を開発中



大型遠心抽出器

次世代再処理 (東海、播磨)



16段型遠心速抽出器(2段)

Pu-U-Np同時抽出プロセス

次世代燃料製造 (東海、大洗)

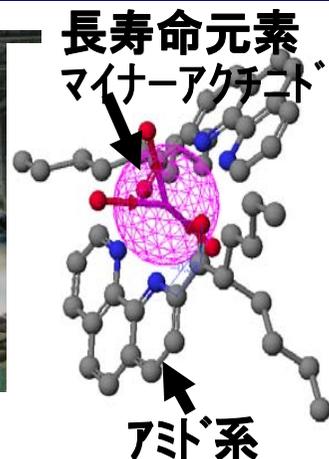


簡素化ペレット製造



加速器Spring-8
での解析

新抽出剤



5%Am-MOX燃料

遠隔燃料製造

高速炉・ADSに関するMAリサイクル試験計画

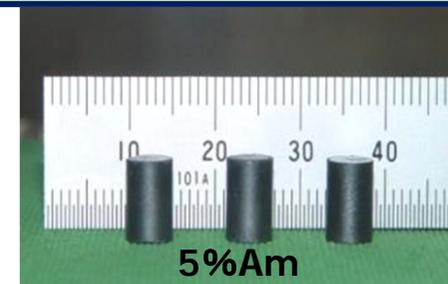
SmART (Small Amount of Reused fuel Test) サイクル

- JAEA施設において、マイナーアクチノイド(MA)の分離変換に必要な、基本要素技術(新抽出材、遠隔燃料製造、新型燃料など)を開発した。
- これらの基本要素技術を組合せて、軽水炉及び高速炉の使用済燃料又は高放射性廃液から、MAを回収、新型燃料を遠隔製造後、高速実験炉「常陽」で照射し、照射後試験を実施。分離変換に関する核燃料サイクルの基礎データを取得する。
 - ◆ 核燃料サイクル全体での分離変換を、世界に先駆け行うことで、全体の技術的整合性を図る。
 - ◆ 世界的に価値のある新しい基礎データを、可能な限り早く、提供する。

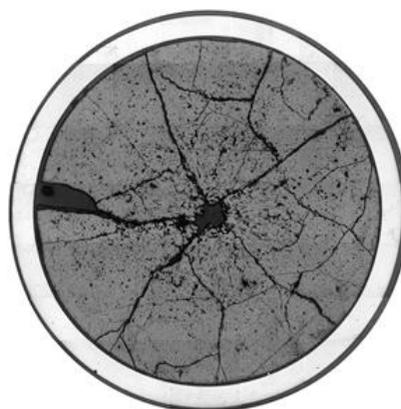


高速実験炉「常陽」を利用した長寿命核種の変換試験

- マイナーアクチノイド(MA)含有燃料を遠隔操作で製造する技術を開発し、MAの一種であるアメリシウム(Am)やネプツニウム(Np)を含有する混合酸化物(MOX)燃料を試作
- これを「常陽」で高出力で短期間照射し、AmやNpのふるまいを解明し、照射初期のMA含有MOX燃料の設計式の妥当性を検証
- 現在、炉心復旧工事中の「常陽」の再起動後に定常MA含有燃料の長期の基礎照射を予定(試験用燃料は製造済)

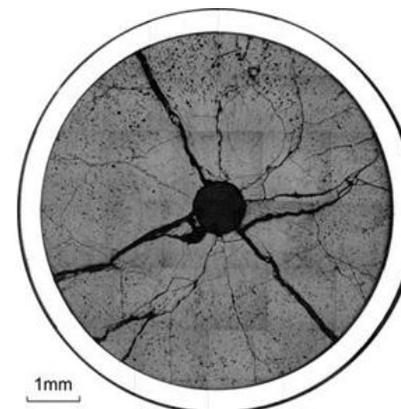


遠隔製造技術で製作したMA含有MOX燃料(照射試料)



10分間照射(5%Am-MOX)

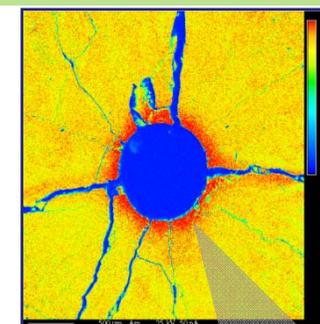
- ・燃料溶融なし
- ・通常のMOX燃料の短期照射組織と同等



24時間照射(5%Am-MOX)

- ・明瞭な中心空孔の形成
- ・照射初期の組織変化完了

中心空孔周辺のAm分布



照射に伴いAm濃度が燃料中心部で高くなることを確認(赤い部分)

まとめ

1. 今後の原子力政策如何に関わらず、既に発生した使用済燃料の処理・処分は喫緊の課題。地層処分の実施を着実に推進することが不可欠。
2. 高レベル放射性廃棄物を安全に地層処分する技術基盤は出来ており、我が国でも実現可能。
3. 将来の選択肢の拡大を図るため、様々な技術オプションを準備しておくことが必要。高速炉や加速器駆動システムの中性子を用いた、長寿命で有害度の高いマイナーアクチノイドの核変換が実現可能であるが、単に技術的な努力だけでは実現困難。実用化を担う事業者の存在や成果を活用できる原子力システムを推進する核燃料サイクル政策、廃棄物の減容化・有害度の低減を目指す社会的意識の共有が重要。
4. 我が国は、大強度加速器技術、高速炉技術、核燃料サイクル技術等を培ってきており、世界に先駆けて、原子力のより安全な利用と先進的な放射性廃棄物の処理・処分技術の実現に取り組むべき。
5. 分離・変換技術は、様々な国、分野の研究者・技術者の力を結集して、数十年かけて実現する技術であり、サイクル技術の維持・高度化、人材育成の観点からも重要である。



参考資料

核変換技術に関する世界の動向

国際協力による推進が必要、我国にはその中心的役割を果たす科学技術力がある

- ◆ 原子力利用を進める国、原子力利用を検討している国、原子力利用から撤退する国
全てで、**放射性廃棄物の安全な処理処分**は共通の懸案事項
- ◆ 核変換技術の実現には、**多くの分野の最先端科学技術の結集**が不可欠

□ 米国

- フェルミラボで、ADS研究を含む陽子加速器計画を検討中。
- ローレンス・リバモア国立研で核融合中性子を利用した処理法を検討中。
- 日米仏で「常陽」/「もんじゅ」を用いたアクチノイドサイクル国際実証を推進。

□ フランス

- 2006年の「**廃棄物管理研究法**」に基づき、FBRとADSの両方を研究。
但し、ADSは下記の欧州の枠組みが中心。
- 2012年CEA報告書では、ナトリウム冷却高速炉ASTRIDを核変換のための
実証施設主概念として位置付け。

□ ベルギー

- 陽子加速器と未臨界炉を組み合わせて、50MW程度の出力を持つ照射用
ADS「**MYRRHA**」の**2016年頃の着工**を目指している。

□ 欧州

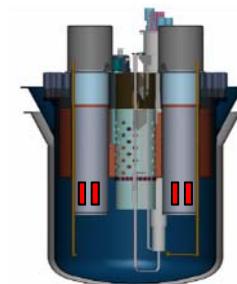
- 欧州枠組みプログラム(FP6) EUROTRANSを完了。
研究者・技術者の教育・育成にも活用。
- MYRRHAの設計を行うFP7:**Central Design Team (CDT)**を立上げ。

□ インド

- **トリウム資源**の利用を狙ったADS、高速炉を用いた核変換の研究を実施中。



ナトリウム冷却高速炉
ASTRID計画、
仏原子力・代替エネルギー庁



照射用ADS
MYRRHA計画
ベルギー原子力
研究センター