

# 早期実用化を目指した MA-Zr 水素化物を用いた核変換処理に関する研究開発

(受託者) 国立大学法人東北大学

(研究代表者) 小無健司 金属材料研究所

(再委託先) 日本核燃料開発株式会社、国立大学法人大阪大学、三菱 FBR システムズ株式会社、  
ニュークリア・デベロップメント株式会社

(研究期間) 平成 28 年度～31 年度

## 1. 研究の背景とねらい

原子力発電が今後日本社会で受け入れられるためには、高い安全性の確保とともに、長寿命放射性廃棄物を可能な限り低減し、その処分が現実的に可能であることを明らかにすることで一般社会の理解を得ることが緊急の課題である。長寿命放射性廃棄物の地層処分の負担を低減するために多くの核変換処理方法が検討されている。本課題では、早期の実現化達成するため、既存の技術の延長線上の技術で開発出来る既存の高速炉技術を最大限に利用出来る方法を選択する。この方法は、早期に実現出来るばかりで無く、既存の設備を多く活用できるため経済的な負担も少なく実施出来るという特徴も有している。

高速炉を利用する方法には、次の 2 種類の方法がある。

① 炉心燃料に MA (マイナーアクチノイド) を含有させる方法

② ブランケット領域に MA をターゲットとして配置する方法

① の方法は、炉心の安全特性の制限から含有できる MA の量が 5% 程度に制限される。本課題では、より多くの MA を配置出来る②の方法を選択する (図 1)。

本課題では、核変換割合を大きくするためにターゲットの化学形態として酸化物、金属では無く水素化物を選定する。本提案で開発する MA-Zr 水素化物ターゲットを用いれば、ターゲットに入射した高速中性子は水素と衝突し効率よく減速される (図 2)。減速された中性子は、もとの高速中性子より MA に対して大きい中性子吸収断面積を持っているため核変換を起こす確率が増加する。そのためターゲットに水素化物を用いた場合は、金属や酸化物を用いた場合よりも核変換効率がそれぞれ約 3 倍から 4 倍増加する (図 3)。

我が国のエネルギー基本計画では、2030 年に原子力による発電量を電源構成の比率で 22～20% に増加させるとしている。このために稼働する原子力発電所からの廃棄物発生量を本提案の核変換炉を使ってゼロにするための核変換炉の導入計画を検討する。本提案の核変換方法は既存の技術を最大限に有効活用しているため短期間で目標を達成できるシナリオを提供することが出来る。また既存の原子力開発計画と適合性が良いために、これまでの開発した資源を無駄にすることなく開発を進めることが出来る。

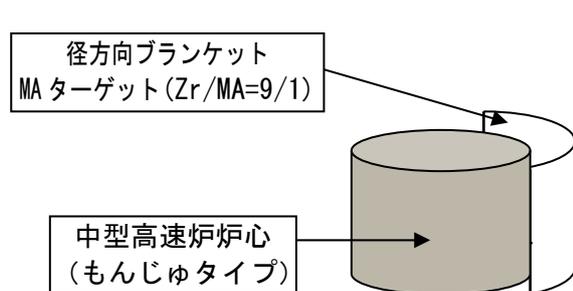


図 1 核変換効率の比較計算条件

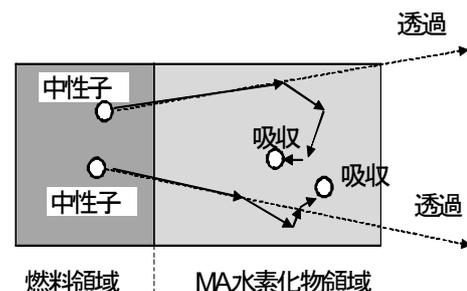


図 2 水素化物による効率的な高速中性子の吸収

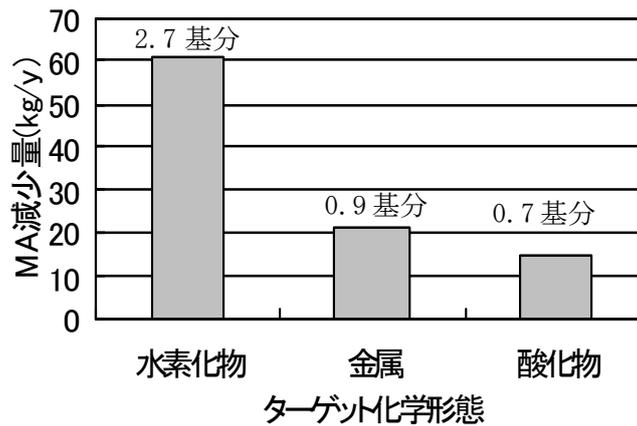


図3 ターゲットの化学形態による核変換効率の比較

2035年にMA低減化の実施が開始されることを想定した核変換技術開発のロードマップを図4に示す。本提案では、MA-Zr水素化物の要素技術開発を実施する。その後、照射試験において安定性、有効性を確認した後に技術を完成させる。図4中の2014年までは、高速炉用の長寿命制御棒のための技術開発である。この技術開発で得られたノウハウを基に本課題の技術開発を効率的に進める。

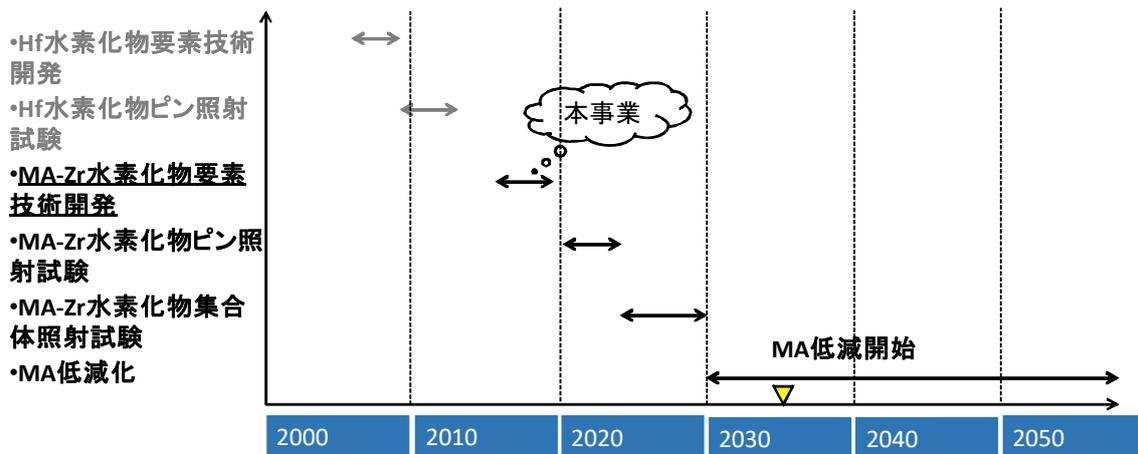


図4 MA-Zr水素化物による廃棄物低減化技術開発ロードマップ

本課題での研究内容は、MA-Zr水素化物の作製を中心課題に据え、次のフェーズの照射試験にスムーズに入れるために現在入手可能な情報をとりまとめる。また、水素化物を高速炉に導入するために不可欠な安全性技術を確立する。システム評価として、この課題の基礎となる原子炉設計研究をもとに核燃料サイクルへ適用した際の効果について定量的に評価する。

## 2. これまでの研究成果

### 2-1. MA-Zr水素化物の作成

図5にMA-Zr水素化物の作製とその特性評価試験の手順を示す。MA酸化物については、既に高レベル廃液から湿式法を用いて分離抽出される技術が別途開発されている。MA金属についても既に熔融塩電解法によって金属を作製する技術が別途開発されている。Zrとの合金作製については

まだ技術が開発されておらず本課題で開発する。

MA の中で特に Am は高温での蒸気圧が高いために高融点の Zr (1852℃) との合金は作製が難しい。即ち、Am-Zr の合金作製が出来れば他の MA は比較的容易に作製出来る。本課題では Am-Zr の合金を水素化して Am-Zr 水素化物を作製する。

図 5 中の左側の項目は、希土類 (Ln) 模擬試料を用いて国内で実施する。一方、右側の Am を用いる試験項目はロシア原子炉科学研究所 (RIAR) で実施する。RIAR は、研究用 Am を保有し、世界でも有数のホットラボを持っており Am を用いた様々な試験を実施している。

これまでに、Am-Zr 合金の模擬物質として Nd-Zr 合金を作成した。さらにこれを水素化して Nd-Zr 水素化物を作成した (図 6)。Am-Zr 水素化物もこれと同様な組織をしているものと考えられる。

さらに Nd-Zr 合金を水素化して Nd-Zr 水素化物を作成した (図 6)。Am-Zr 水素化物もこれと同様な組織をしているものと考えられる。即ち、合金作成時に二相に分離しており、水素化しても合金時の組織をそのまま維持した二相の水素化物の組織をしているものと考えられる。また、作成した Nd-Zr 水素化物の物性試験を実施している。RIAR のホットラボでは、このコールド試験の結果に基づいて、ホットラボの中に Am を扱える不活性雰囲気型のグローブボックスを設置し、研究設備を整備した。

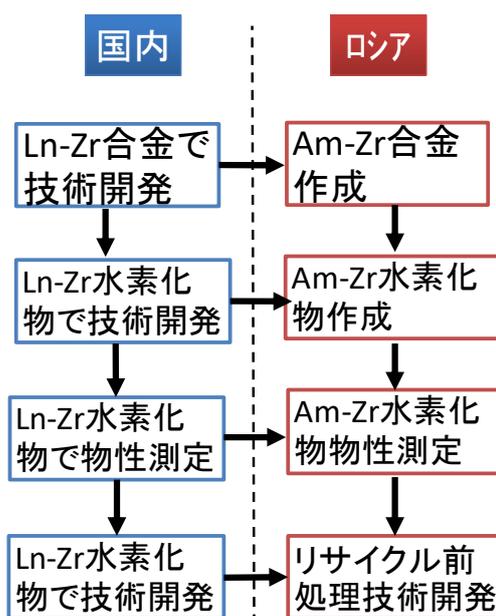


図 5 Am-Zr 水素化物の作成手順

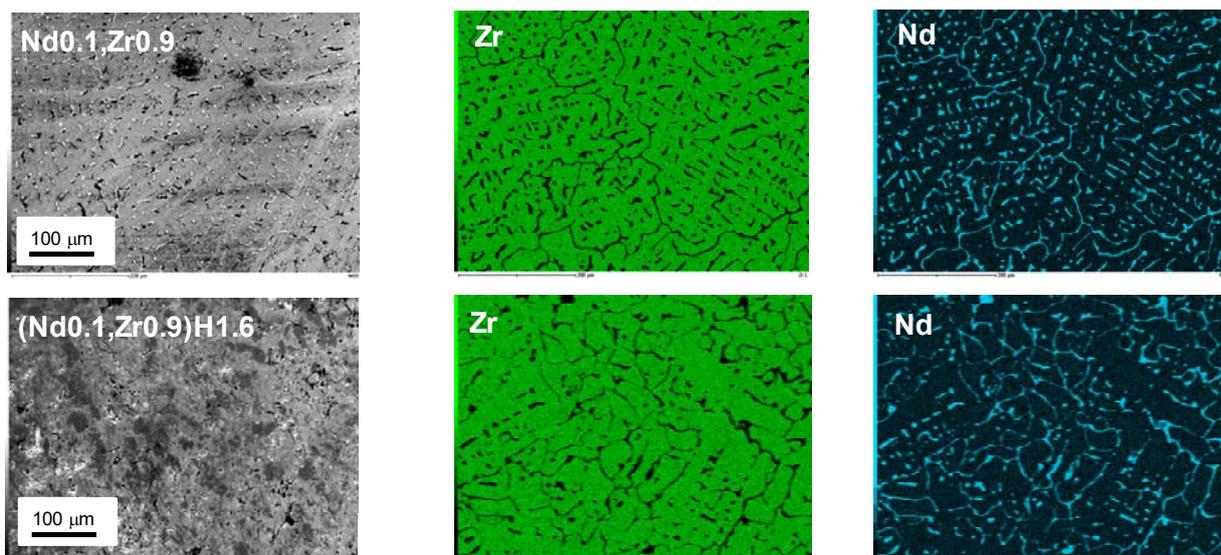


図 6 模擬水素化物 (Nd<sub>0.1</sub>Zr<sub>0.9</sub>) H<sub>1.6</sub> の作成

## 2-2. 安全性技術開発

水素化物を高速炉内で安全に使用するために、定常運転時の被覆管を通しての水素の透過現象

を調べる。本提案では、この水素透過抑制のために被覆管-ペレット間に Na を充填した Na ボンドピンを用いる。この効果を実験的に確認する。また、事故時に想定される高温において MA-Zr 水素化物ペレットからの水素放出現象について調べる。特にペレット表面の酸素分圧が水素放出挙動に与える影響について調べる。これまでに装置を整備し、予備試験を実施することにより装置性能を確認した。

### 2-3. システム評価

高速炉炉心設計の観点から、水素化物の導入に際して懸念される局所発熱などの技術的な問題に対する成立性を評価する。また、高速炉を用いた他の提案と比較して核変換効率の点で優位で有る事を示す。

さらに、核燃料サイクルシステムの観点からも既存の施設、設備への適合性を評価する。特に核変換処理用の燃料ピンでは、MA からの発熱および放射線量が大きく、ターゲット集合体製作時の対策が必要と指摘されている。本課題では、実用化を考える際に重要な発熱対策を具体的に示す。図 7 は、Na ボンドピンを取り扱うための立てた状態による空気強制冷却方式を示す。また、核変換炉の導入シナリオの諸量計算を実施し MA のマテリアルバランスを正確に計算する。これまでに軽水炉のみ稼働した場合の MA 量の推移（蓄積量）について評価した。

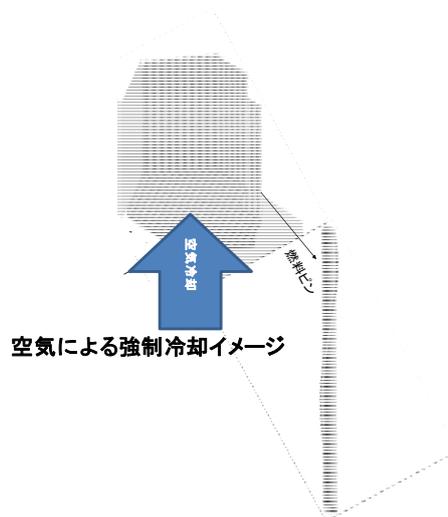


図 7 MA 集合体の空気強制冷却

### 3. 今後の研究（継続課題の場合）

RIAR において Am を用いた実験を開始する。Am に関しては、材料を手に入れることが難しいため、これまで実験データが不足していた。本実験によって貴重なデータが得られるものと期待される。安全性技術開発については、水素検出に関する設備が整ったため、高温での水素のステンレス鋼透過試験データや水素放出試験データを取得する。炉心設計研究では、非均質効果を考慮したより詳細な解析を進める。ターゲット集合体製作時の発熱等の課題に対応するため、技術的な対策、必要設備仕様、構造概念を検討する。核変換炉の導入シナリオの諸量計算に関しては、MA 変換システム導入シナリオを検討する。

### 4. 参考文献

- (1) Enhancing MA Transmutation by Irradiation of (MA, Zr)Hx in FBR Blanket Region, K. Konashi, K. Ikeda, K. Itoh, M. Hirai, T. Koyama and K. Kurosaki, Proceedings of Global 2015, September 20-24, 2015 - Paris (France) Paper 5383
- (2) Feasibility of MA Transmutation by (MA, Zr)Hx in Radial Blanket Region of Fast Reactor and Plan of Technology Development  
K. Ikeda, K. Konashi, K. Ikeda, K. Itoh, F. Mizusako, M. Hirai, H. Muta, K. Kurosaki  
International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles: Next Generation Nuclear Systems for Sustainable Development (FR17) Yekaterinburg, Russian Federation 26 - 29 June 2017