

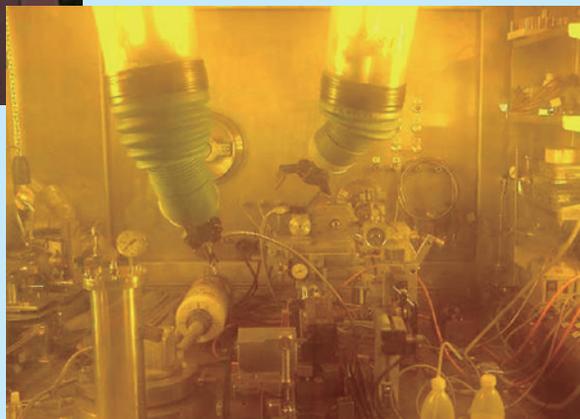


仏フェニックス炉から
超ウラン元素研究所へ
照射燃料ピンを輸送

燃焼後分析を行うホットセル



燃焼試験後の金属燃料断面



将来の放射性廃棄物処分の負荷を軽減するために(その2)

——高速炉用金属燃料を用いたマイナーアクチニドの燃焼試験の実施——

- 放射性廃棄物の毒性と処分場負担の軽減に向けて
- 金属燃料を用いたマイナーアクチニドの燃焼
- 効率的な MA 燃焼の実証に向けて

● ひとつこと 原子力技術研究所 次世代サイクル領域 主任研究員 太田 宏一

放射性廃棄物の毒性と処分場負担の軽減に向けて

原子力発電所で使用した原子燃料の再処理で発生する高レベル廃液には、長期間にわたって放射能や発熱性を持ち続けるマイナーアクチニド（MA）と呼ばれる元素が含まれています。特に将来、プルトニウムが広く利用されるようになると、使用済燃料中の MA 量が増加するため、高レベル廃液を安定固化した高レベル廃棄物を埋設する廃棄物処分場の負担はより大きくなることが予想されます。しかし、高レベル廃液から MA を回収し原子燃料として再び利用することができれば、高レベル廃棄物の放射能や発熱量を減らすことができ、高レベル廃棄物の毒性と処分場の負担を小さくすることが期待できます。

電力中央研究所では 1986 年より、MA を金属燃料高速炉により効率的に燃焼するための研究開発を進めています。これまでに、EU・超ウラン元素研究所と共同で、ウラン-プルトニウム-ジルコニウム合金に MA を添加した金属燃料を世界で初めて製造し、フランスの高速炉「フェニックス」で照射する試験を行いました。

■厄介者のマイナーアクチニド

原子力発電所から取り出される使用済みの原子燃料には、ウランやプルトニウム、およびこれらが核分裂することで生ずる様々な元素（核分裂生成物）の他に、少量ながらもネプツニウム、アメリシウム、キュリウムといった「マイナーアクチニド」（以下、MA）と呼ばれる元素類が含まれています。MA には非常に長期にわたって放射能を持ち、発熱し続けるものが多く存在します。

使用済燃料を再処理することで発生する高レベル廃液は、ガラスと混ぜて高レベル廃棄物固化体としますが、これらを地層処分する際には、周囲の温度が上がりすぎないように固化体どうしを十分離して置くなどの措置が取られます。特に、プルトニウムを燃料として積極的に利用する将来においては、使用済燃料中の MA 量が増加し、MA が高レベル廃液中の発熱の大半を占めるようになります（図 1）。このため、処分場の負担がより大きくなることが見込まれています。

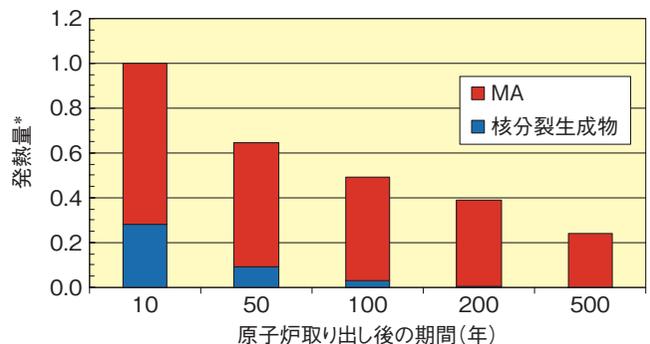
そこで、使用済燃料の再処理時に生じる高レベル廃液からあらかじめ MA を分離し、高レベル廃棄物の長期的な放射能・発熱量を少なくすることにより、処分場の負担を小さくすることが期待できます*。

*：「分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」、原子力委員会 研究開発専門部会 分離変換技術検討会、2009 年 4 月

■高速炉による MA の燃焼

MA には、ウランやプルトニウム同様、原子炉の中で燃焼する特性があり、特に高速炉で効率的に燃焼します。そのため、将来高速炉が実用化されれば、使用済燃料からウランやプルトニウムだけでなく、MA も回収して燃焼させることが可能になります。そこで、使用済燃料から MA を分離・回収する技術や、回収した MA を高速炉燃料に混ぜて燃焼させる技術などの開発が国内外で進められています。

当研究所は、ウラン-プルトニウム-ジルコニウム（U-Pu-Zr）合金からなる金属燃料に MA を混ぜると高速炉で最も効率的に燃焼することに着目し、1988 年より EU・超ウラン元素研究所（ITU）と共同で、MA を添加した燃料合金を製造し、フェニックスで照射する研究に着手しました。



*原子炉取り出し後10年での発熱量を1とする

図 1 プルトニウム利用時代の高レベル廃棄物中の発熱量

金属燃料を用いたマイナーアクチニドの燃焼

■ 金属燃料高速炉の特長

U-Pu-Zr 合金を用いる金属燃料高速炉には、燃料の熱伝導率が高いため、運転中に冷却材の流れが低下した場合にも自然に原子炉を停止できるといった安全上の特長が期待できます。また、燃料中に占めるウランやプルトニウムの密度が高いため炉心の大きさをコンパクトにできるだけでなく、中性子を減速させる酸素を含まないため中性子のエネルギーが高く維持され、増殖率や MA 燃焼率などの炉心の性能を向上させることが見込まれます。

金属燃料高速炉で MA を燃焼させる場合には、MA を U-Pu-Zr 合金に溶かした合金を燃料として使用することになります。しかしながら、このような燃料を原子炉内で照射した経験は国外でも非常に少ないのが現状です。

■ MA 添加金属燃料の高速炉での照射

金属燃料高速炉を用いて効率的に MA を燃焼するには、(1)計算どおりに MA を効率良く燃焼できるか、(2) MA を添加することで金属燃料の特性が変化しないか、などについて実際に高速炉を用いた照射試験によって確認する必要があります。そこで、当所は ITU と共同で U-Pu-Zr 合金に 0%、2%、5% の MA を添加した合金を含む 3 種類の金属燃料ピン (図 2) を各々 3 本ずつ、計 9 本作製しました。

3 種類の金属燃料ピンを 1 本ずつ図 3 のように組み入れた試験燃料集合体を 3 体製造し、これらをフランスの高速炉「フェニックス」に装荷して、2003 年 12 月から照射を開始しました。そして、燃焼の進行による燃料の特性の変化を観察するため、低燃焼度 (～ 2.5at.%)、中燃焼度 (～ 7at.%)、高燃焼度 (～ 10at.%) の各段階で 1 体ずつ試験燃料集合体を取り出し、2008 年 5 月までに全ての試験燃料集合体を取り出しました。

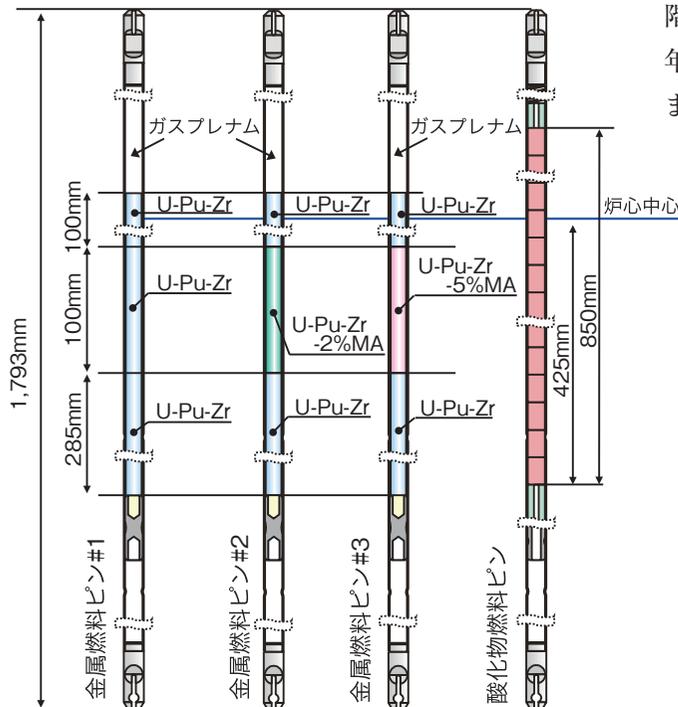


図 2 フェニックス炉で照射した MA 添加金属燃料ピンの構成 (2%MA、5%MA : 金属燃料中の MA の重量割合)

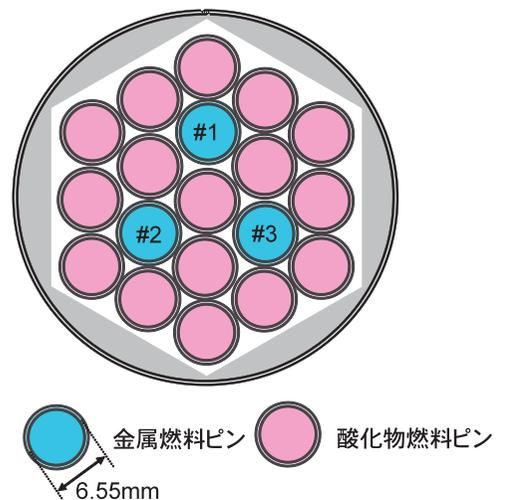


図 3 フェニックス炉の照射リグ内の燃料ピンの配置

効率的なMA燃焼の実証に向けて

■照射したMA添加金属燃料の観察

照射した MA 添加金属燃料には破損等の異常は見られず、燃焼度 10at.% までの健全性が確認できました。燃料の特性を評価するため、今後、被覆管の変形、燃料内部における核分裂生成物の分布、核分裂生成ガスの放出率、燃料断面の観察と径方向元素分布などを調べます。特に、燃料内での物質の移動やそれによる被覆管との相互作用などについて詳しく調べ、MA の添加による影響を明らかにします。さらに、燃焼後に残された MA の濃度と同位体組成を分析し、MA の核変換特性も調べます。

現在、ITU において、低燃焼度まで照射した MA 添加金属燃料の断面の観察や MA 濃度の分析を進めています。これまでの分析や観察の結果からは、MA を添加したことによる異常な挙動は見出されていません。

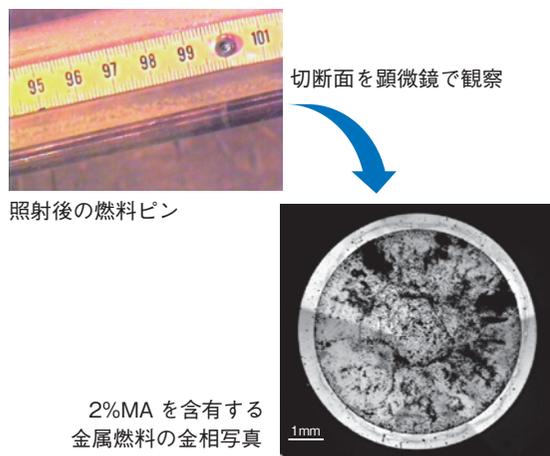


図 4 MA を添加した金属燃料ピンの照射後観察

関連 報告書

- 「マイナーアクチニドを含有する高速炉用金属燃料の照射試験
— 低・中燃焼度燃料ピンの照射後非破壊試験および照射挙動評価 —」 電力中央研究所報告：L08005

■注目されるデータ

この照射試験では、MAの一部にキュリウム(Cm)が含まれている点が重要です。Cmは放射能や発熱量が高いため、微量でも取り扱いが特に困難な物質です。そのため、Cmを添加した燃料の照射試験は世界でも類がなく、本照射試験やそこから得られるデータは各国から注目を集めています。今後、中燃焼度や高燃焼度まで照射したMA添加金属燃料の観察や分析を進める予定ですが、貴重な照射試験燃料を有効に利用し、最大限の成果が得られるように工夫して行く必要があります。最終的には、低～高燃焼度に至る系統的な燃料の挙動やMAの燃焼特性データを集め、金属燃料高速炉による効率的なMA燃焼技術の成立性を実証する予定です。

●ひとこと



原子力技術研究所
次世代サイクル領域
主任研究員
太田 宏一

MAはそのまま捨ててしまうと「百害あって一利なし」とも言うべき廃棄物ですが、高速炉燃料に混ぜて使えば、処分場に与える「百害」を大幅に軽減できるだけでなく、新たなエネルギー（一利）を生み出します。本研究には、核物質の取り扱いを伴うため、多くの核施設や技術者の協力が必要な上、クリアしなければならない国際的な規制もあり、これまでに長い時間と労力を要しました。しかし、世界に先駆けて始めたこの研究には、多くの注目が集まっており、今後もMA元素の核変換技術の成立性や有効性の実証に鋭意取り組んでいくつもりです。