

マイナーアクチニド元素を添加した金属燃料の照射試験 —フェニックス炉における照射の完了と低燃焼度燃料の非破壊試験—

背景

日本原子力研究開発機構と電気事業者が進めている高速増殖炉サイクル実用化研究開発や米国のグローバル原子力エネルギーパートナーシップ (GNEP) 等においては、放射性廃棄物の放射能を低減し、原子力発電の環境への負荷を軽減するため、軽水炉の使用済燃料に含まれるマイナーアクチニド元素 (MA) : ネプツニウム (Np)、アメリシウム (Am) およびキュリウム (Cm) をウラン (U) およびプルトニウム (Pu) とともに回収し、これらを高速炉で燃焼することが提案されている。当所は、金属燃料高速炉を用いればMAを効率的に燃焼できることに早くから着目し、MA燃焼の実証とMA添加金属燃料の成立性確認を目的とした照射試験を計画した。ヨーロッパ連合の超ウラン元素研究所と共同で、従来のU-Pu-Zr合金にMAを最大5重量% (wt.%) まで添加した合金を装填した試験燃料を1994年までに製造し、仏国の高速炉フェニックスの長期運転停止による約9年の待機期間を経て、2003年10月に照射試験を開始した。

目的

MAを添加した金属燃料を最大燃焼度10.5at.% (1at.%は約10,000MWd/tに相当) まで照射して健全性を確認するとともに、約2.5at.%まで照射したMA添加金属燃料の非破壊試験を実施して、従来のU-Pu-Zr金属燃料ピンと同等の照射挙動を示すことを確認する。

主な成果

1. MA添加金属燃料の概要とフェニックス炉照射による健全性確認

フェニックス炉で照射したMA添加金属燃料の種類と構造を図1に示す。燃料部は、外径4.9mm長さ20～50mmの棒状に成型したU-19Pu-10Zr (wt.%) 燃料合金を全高485mmとなるように積み重ねたもの (燃料スタック) で、高さ285から385mmまでの部分にMAおよび希土類元素を最大5wt.%添加した。この部分のMAおよび希土類元素の濃度が異なる3種類の試験燃料 (No.1、1No.2、No.3 : 図1参照) を1本ずつ含む試験燃料集合体を3体製造した。照射期間中の試験燃料の被覆管最高温度は約570℃、最大線出力は約330W/cmとし、ピーク燃焼度2.5at.%、7at.%および10at.%で1体ずつ炉から取り出した。いずれの試験燃料にも破損は起こらず、10at.%までの健全性が確認された。

2. 低燃焼度試験燃料の非破壊試験

照射を完了した試験燃料のうち、ピーク燃焼度2.5at.%の試験燃料3本に対して非破壊検査を実施した結果、以下のように、照射による過大な変形等は無く、MA添加に起因した特異な照射挙動は見出されなかった。

- (1) レーザによる被覆管外径測定の結果、3本の試験燃料とも被覆管の外径変化量は最大0.2%以下であり、燃料の健全性上問題のないレベルに留まった (図2)。
- (2) 燃料スタックと被覆管との隙間には、熱伝達の促進のためのナトリウム (Na) を充填している (ボンドナトリウム) が、核分裂生成物のひとつであるセシウム (Cs) はNaに溶解するため¹³⁷Csのγ線強度はボンドナトリウムの存在量に概ね比例する。¹³⁷Csのγ線強度の軸方向分布の測定結果 (図3) から、燃料スタックの照射による膨らみ (スエリング) に伴って燃料スタックと被覆管との隙間に充填されたボンドナトリウムの約80%が燃料スタック上部に排出されたことがわかった。これは従来のU-Pu-Zr金属燃料の照射挙動から評価される値と同程度であった。
- (3) Naに溶解しないルテニウム (Ru) のγ線強度の軸方向分布 (図3) から照射後の燃料スタックの長さを測定した結果、いずれの試験燃料でも照射による燃料スタックの軸方向膨張量は1.9～2.3%と大差なく、従来のU-Pu-Zr金属燃料と同程度であることが確認された。

今後の展開

照射した試験燃料の非破壊検査および破壊検査を継続して照射挙動データを蓄積し、MA燃焼の実証を行うとともに、MA添加金属燃料の成立性を確認する。

主担当者 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

関連報告書 H. OHTA, et al., 'Irradiation Experiment on Fast Reactor Metal Fuels Containing Minor Actinides up to 7at.% Burnup', Proc. Int. Conf. Advanced Nuclear Fuel Cycles and Systems, Sep. 9-13. 2007.

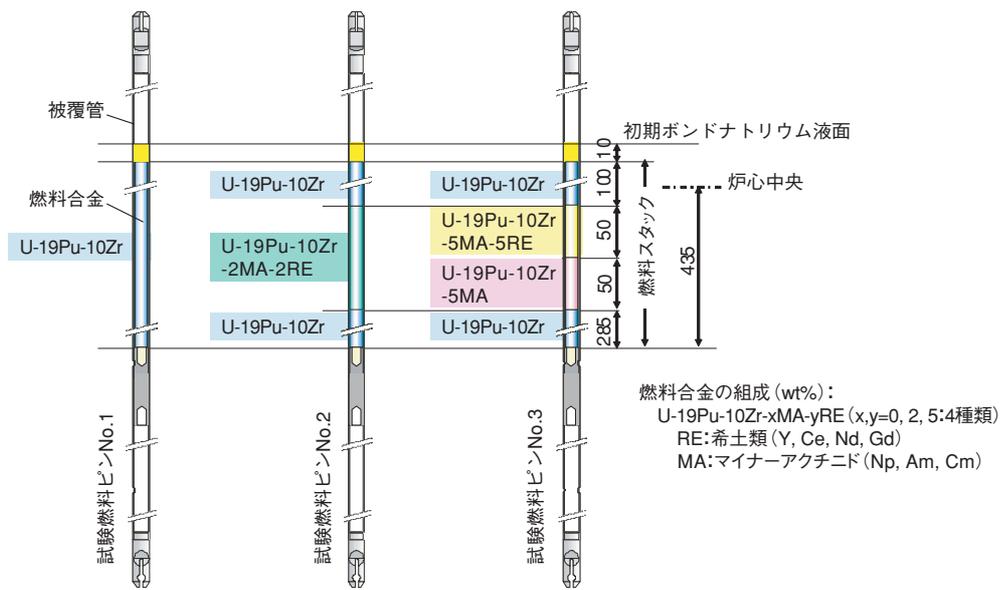


図1 フェニックス炉で照射したMA添加金属燃料の種類と構造

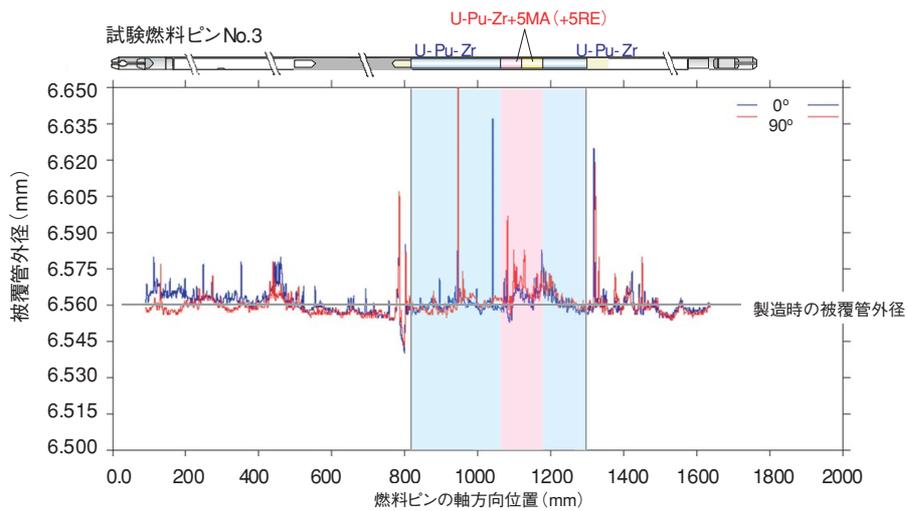


図2 被覆管の外径変化量

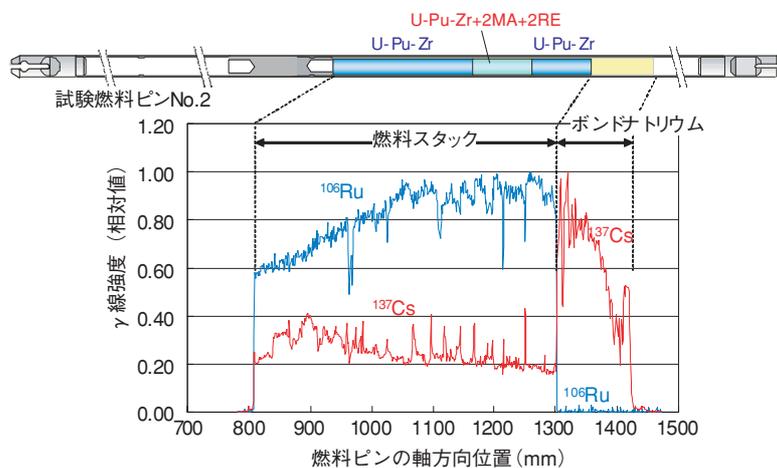


図3 ¹³⁷Csおよび¹⁰⁶Ruのγ線強度の軸方向分布