

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	マイナーアクチニドリサイクル高速炉金属燃料の開発
Title(English)	
著者(和文)	太田宏一
Author(English)	Hirokazu Ohta
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9799号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小原 徹,矢野 豊彦,井頭 政之,千葉 敏,高橋 実
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9799号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：原子核工学 専攻
Department of
学生氏名：太田宏一
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)：小原 徹
Academic Advisor(main)
指導教員(副)：井頭政之
Academic Advisor(sub)

要旨(和文 2000 字程度)
Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

将来の金属燃料高速炉サイクルにおいて、軽水炉の燃焼によって生成するマイナーアクチニド (MA) を含むすべての MA をリサイクルすることを目標に MA 添加金属燃料の照射および照射後試験を実施した。

エネルギーセキュリティの確保や放射性廃棄物量の低減に有効な高速炉燃料サイクルは、臨界管理や放射線遮蔽、除熱などの技術的負担が大きい。これに対し「金属燃料サイクル」は、燃料の高燃焼度化と施設のコンパクト化、燃料取扱の遠隔化が実現でき、高い経済性と安全性、信頼性の確保が期待されている。さらに近年では、放射性廃棄物の長期的な放射毒性や発熱を低減するため、使用済燃料から Np、Am、Cm といった MA も回収し、リサイクルすることによって処分場の負荷を軽減することが求められている。一方で、MA 含有燃料の実用化に必要な照射試験データは少なく、特にリサイクル技術との整合を踏まえ、希土類元素 (RE) の混入を考慮した MA 含有金属燃料の照射挙動を観察した例はほとんどない。そこで本研究では、金属燃料サイクルによる MA リサイクル概念の成立性を確認し、MA 変換特性を実証するため、MA や RE を添加した金属燃料の照射および照射後試験を行った。

MA や RE を添加した U-Pu-Zr 合金の物性や特性評価に関する先行試験の結果から、U-19Pu-10Zr-2MA-2RE 合金および U-19Pu-10Zr-5MA-5RE 合金の他、RE の影響を除いた U-19Pu-10Zr-5MA 合金および参照試料として U-19Pu-10Zr 合金が照射試料に選定された。照射は、フランスの高速炉フェニックスで行われ、取出最高燃焼度は $\sim 2.5\text{at}\%$ 、 $\sim 7.0\text{at}\%$ 、 $\sim 10.0\text{at}\%$ の 3 通りとした。

照射後の燃料ピンの外径変化率や放出ガンマ線の軸方向分布の測定の結果、 $\sim 10\text{at}\%$ 以下の燃焼度において、被覆管の外径変化や燃料の照射スエリング、ボンドナトリウムの移動といったマクロな照射挙動が、5wt% 以下の MA や RE の添加によってほとんど影響されず、MA 含有燃料ピンの健全性が確保されることが明らかとなった。

また、プレナムガス分析によって、FP ガスの放出率は MA や RE の添加によって影響を受けず、MA 核種のアルファ崩壊等による生成 He ガスの放出率も FP ガスと同程度であることが明らかとなった。これは、5wt% の MA 添加燃料の場合、プレナムガス圧が約 1.2 倍に増大し得ることを意味している。

中燃焼度まで照射した U-19Pu-10Zr、U-19Pu-10Zr-2MA-2RE、U-19Pu-10Zr-5MA-5RE 合金燃料の断面観察の結果、MA や RE 添加による母相組織の径方向分布や U、Pu、Zr の移動挙動に顕著な変化は見られなかった。一方で、MA や RE 析出物が一部で照射成長することが確認された。MA や RE 析出物の過剰な集中は局所的な融点低下などの物性変化をもたらすと予測されるが、本照射試料には溶融の痕跡等はなく、中燃焼度まで燃料健全性が確保されることが確認できた。

照射燃料の化学分析結果をもとに、MA 核変換率を評価し、燃焼解析結果と比較した結果、Pu、Am、Cm の同位体比の変化が解析によって正しく評価できることが分かった。また、中燃焼度まで照射され

た U-19Pu-10Zr-5MA 合金では、全 MA 装荷量の約 20wt%が変換され、各 MA 元素の変換率が、不確かさを含め±20-25%の精度で予測可能であることが明らかとなった。したがって、燃料ピン最高で約 7at.%の中燃焼度まで照射された金属燃料による MA 変換が解析による予測に従って進んでいることが確認できた。

以上の結果から、中燃焼度までの範囲で金属燃料高速炉サイクルによる MA リサイクル概念の成立性が確認され、金属燃料による MA 変換特性を実証することができた。

これらの結果を踏まえ、MA 含有燃料による燃焼特性の向上を利用した超高燃焼度金属燃料および炉心の設計について検討を行った。従来概念を上回る高燃焼度化を達成する燃料設計方策を提案し、金属燃料照射挙動の機構論解析によって、約 42at.%の燃焼度が達成できる見通しを得た。さらに燃料に 5wt%の MA を添加することで、燃焼反応度を通常炉心並に抑えながら、ピークで 40at.%を上回る超高燃焼度金属燃料炉心の成立性を確認した。また、MA 変換率は 65%を上回り、効率的に MA 変換できることが分かった。ただし、高燃焼度に向けた被覆管の照射データの拡充を継続する必要がある。

以上より、燃料ピン最高で～7at.%の中燃焼度までの範囲で MA リサイクル高速炉金属燃料が成立し得ることが確認でき、金属燃料による MA 変換性能を実証できた。また、MA リサイクル金属燃料による超高燃焼度炉心の成立が明らかとなった。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	原子核工学	専攻
Department of		
学生氏名：	太田宏一	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	小原 徹	
Academic Advisor(main)		
指導教員 (副)：	井頭政之	
Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

An irradiation experiment on U-Pu-Zr alloys bearing minor actinides (MAs) and rare earth (RE) elements of ≤ 5 wt% or less was carried out in the Phénix fast reactor (FR). The irradiated metal fuel pins were subjected to nondestructive tests such as cladding profilometry and gamma spectroscopy. Then, cross-sectional metallography of the low-burnup and medium-burnup fuel alloys was performed, and the redistribution of the U, Pu, and Zr in the low-burnup fuels was analyzed by energy dispersive X-ray spectroscopy. As a result, the irradiation growth of MA- and RE-rich precipitates was observed especially in the high-temperature phase region. Although the solidus temperature might locally decrease by excessive accumulation of MAs and REs, no sign of local melting has been found in the present observation. From the postirradiation examinations carried out so far, it was confirmed that the irradiation swelling, the crosssectional structures, and the migration of matrix constituent in metal fuels containing 5 wt% or less MAs and REs are almost the same as those in conventional U-Pu-Zr fuels. The changes in the isotope ratios of Pu, Am and Cm during the irradiation experiment were assessed to discuss the transmutation performance of MAs in metal fuels. As a results, it was confirmed the MAs are transmuted in the FR as predicted by a burnup calculation of U-Pu-Zr-MA(-RE) alloys. On the basis of the innovative fuel design measures, an ultra-high burnup FR core with 5wt% MA-containing fuel was designed. The neutronic analysis revealed that a high burnup of >40 at.% at the peak and efficient MA burnup of $\sim 65\%$ can be attained while suppressing the burnup reactivity swing to almost the same level as that of conventional cores. These results indicate that the MA-bearing metal fuels are applicable to efficient recycling of MAs recovered from light water reactor spent fuels.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).