

氏名	尾形孝成
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第3515号
学位授与の日付	平成12年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Performance of Metallic Fast Reactor Fuel 高速炉用金属燃料の性能

論文調査委員	(主査) 教授 芹澤昭示	教授 東 邦夫	教授 小岩昌宏
--------	-----------------	---------	---------

論文内容の要旨

本論文は、高速炉炉心の高性能化、受動的安全性の向上、簡便で安価な乾式再処理法の適用による燃料サイクルコストの低減、核拡散に対する抵抗性の向上などの点から実用化が望まれている高速炉用金属燃料について燃料設計の観点からその性能を評価し、その実用性を論じた結果をまとめたものであって、5章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、従来の研究との関連から見た本論文の位置づけを明らかにし、また、研究全体の構成を説明したものである。

第2章は被覆管応力歪みを適切に解析するため、種々の照射挙動の相互関係を包括的に考慮した金属燃料挙動解析コードALFUSを開発し、またコードの妥当性検証のため、米国アルゴンヌ国立研究所で行われた仕様や照射条件の異なる金属燃料ピンを実験炉 EBR-II で照射した試験結果と比較検討を行い、核分裂生成ガスの放出率、燃料スラグの軸方向伸び、被覆管外径変化量の軸方向分布とそのスミア密度依存性などについて優れた予測性を明らかにした。また、この解析コードを用いて、燃料スラグのスエリング成分の履歴から燃料—被覆管機械的相互作用を定量的に評価し、そのメカニズムを考察した。特に、この解析機能は既存の解析コードにはなく、本論文で開発した ALFUS によってはじめて可能となったものである。

第3章は、被覆管として HT 9 鋼の約 2 倍のクリープ破断強度を有する新型フェライト鋼を想定した実用的仕様の金属燃料ピンの照射挙動解析を行った結果をまとめたものである。ALFUS コードによる解析結果から、ピーク線出力約 500 W/cm の高出力を 3 年間維持し、燃料ピン平均燃焼度が約 15 at. % に達しても、過大な被覆管外径変化が生じることなく、クリープ破損まで余裕がある事、燃料スラグの実効熱伝導率が最も劣化する時点で出力が定格時の 160% (ピーク線出力 800 W/cm) まで増大しても、燃料スラグ中心線上の最高温度が燃料合金の固相線温度 1155°C より低い 1100°C にとどまり、燃料中心部の溶融に対して十分な裕度をもつことを明らかにした。これらの解析から、高燃焼度まで被覆管の健全性が確保できる実用的仕様の金属燃料ピンが設計可能である事を実証した。

第4章は、燃料スラグがスエリングして被覆管と接触した場合の燃料スラグ外周部の液相化に関する実験結果とその解析結果をまとめたものである。燃料スラグがスエリングして被覆管と接触すると、燃料合金と被覆管との間で相互拡散が生じ、燃料スラグ外周部の反応層に被覆管を侵食する融点の低い液相が形成されることがある。原子炉の通常運転時において、この液相形成は絶対に避けるべきものであるが、その機構は明らかにされていない。第4章では、プルトニウム濃度の異なる 2 種類の (U-Pu-Zr) 燃料合金を純鉄 Fe と 650°C で接触させた実験を行い、U-Zr-Fe 系状態図及び U-Pu-Fe 系状態図を用いて、形成された反応層の組成を同定し、この液相形成の条件(温度及び燃料合金中のプルトニウム濃度)を実験的に調べ、(U, Pu)₂Fe 相中の Pu 濃度が溶解度を越えたときに液相が形成されることを明らかにした。

第5章では、本研究で得られた成果をまとめて結論とし、今後の展望についても言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高速炉における増殖率および安全性の向上など炉心の高性能化、ならびに乾式再処理法の適用による燃料サイ

クルコストの低減、高速炉燃料サイクルの実現に向けた技術革新を可能とする U-Pu-Zr 合金を燃料体とする金属燃料の炉内性能を、被覆管の応力ひずみ、燃料中心溶融に対する裕度、および燃料体-被覆管接触界面近傍における液相形成条件の 3 つの観点から評価・検討したものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 被覆管の応力歪み及び燃料中心溶融に対する裕度の評価に必要な金属燃料照射挙動解析コード「ALFUS」を開発し、従来の解析コードでは解析が不可能であった高スミア密度燃料の被覆管外径変化量などの照射挙動解析を可能とした。

2. 既存の U-Pu-Zr 燃料照射試験を模擬した解析を実施し、ALFUS コードの妥当性を確認するとともに、約 10 at.% 以上の高燃焼度における被覆管外径変化が主として固体状の核分裂生成物の蓄積によること等を定量的に示した。

3. 実用的仕様の金属燃料の照射挙動解析を行い、約 500 W/cm の高線出力を 3 年間維持し、燃料ピン平均燃焼度が約 15 at.% に到達しても、被覆管の破損までには十分な余裕があること、さらに、燃料中心部の溶融に対しても十分な余裕があること等を明らかにした。

4. 燃料体と被覆管との接触界面近傍において液相が生じる条件を、U-Pu-Zr 合金と Fe との反応実験（拡散実験）により検討し、液相形成が反応層に含まれる (U, Pu)₂Fe 相の Pu 濃度によって決まることを明らかにした。

以上を要するに、本論文は、高速炉用金属燃料が十分高い燃焼度まで健全性を有し、かつ、高い実用性を有することを実験的及び解析的に実証するとともに、数多くの新しい知見を提示したものであり、解析コードの開発とともに高速増殖炉技術開発に大きく貢献するもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 12 年 2 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

1/1