OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Thermophysical properties of advanced fuels and high-burnup fuels
Author(s)	Adachi, Jun
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/23432
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏　　名	安達　淳（あだち　じゅん）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学 位 記 番 号	第　２２０７３　号
学 位 授 与 年 月 日	平成 20 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学 位 論 文 名	Thermophysical properties of advanced fuels and high-burnup fuels （新型燃料および高燃焼度燃料の熱物理的性質）
論 文 審 査 委 員	（主査） 教　授　山中　伸介 （副査） 教　授　竹田　敏一　　教　授　山本　孝夫　　教　授　山口　　彰 准教授　宇埜　正美

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、従来の酸化物燃料に比べ優れた燃料特性を有するため、高速増殖炉（FBR）や加速器駆動消滅処理炉（ADS）の燃料候補となっている窒化物燃料と、FBR サイクルの実用化戦略調査研究－フェーズⅡ最終報告書－において主な概念として選定されたマイナーアクチニド（MA）含有混合酸化物（MOX）燃料に注目し、実験的及び解析的にまとめた。本論文は、以下の六章から構成されている。

第一章では、序論として、高レベル放射性廃棄物の環境負荷低減の観点から、MA の分離・変換の重要性を述べた。そして、MA の分離・変換のための燃料形態は未だ決まっておらず、その決定の際には、MA 含有 MOX 燃料や窒化物燃料の結晶学・機械・熱・電気的性質の評価が必要であることを論じた。

第二章では、ADS ターゲット燃料に注目した。ADS ターゲット燃料では、ウランに変わる不活性マトリックスを用いることが有力であるとされている。窒化物ベースの燃料の場合は、不活性マトリックスは均質型では ZrN が、分散型では TiN が有力視されている。そこで、模擬 ADS ターゲット燃料として、$U_{0.4}Zr_{0.6}N$、UN＋60 mol%TiN を作成し、その結晶学・機械・熱・電気的性質と多岐に渡る特性を評価した。また、UN と ZrN または TiN との相互作用を詳しく理解するため、物性データの乏しい TiN、ZrN の評価も行った。この研究において、不活性マトリックスが ZrN の場合は、ZrN の添加により焼結性が極端に悪くなる、固溶体を形成するため物性の予測が困難であるなど、ZrN の添加による悪影響も見られる一方、TiN の場合は、２相混合材料となり、UN-TiN 間の相互作用も小さいため、あらゆる燃料組成における物性の予測が容易であることなど ZrN の場合に比べ、優位な点が多く見られた。

第三章では、MA を含んだ燃料（MA 含有 MOX 燃料や窒化物不活性マトリックス燃料）に注目した。実験的に MA を使用することは非常に困難であるため、分子動力学（MD）法を用いて MA 含有 MOX（$U_{0.7-x}Np_xPu_{0.3}O_2$ 及び $U_{0.7-x}Pu_{0.3}Am_xO_2$）、窒化物不活性マトリックス燃料（$Pu_{0.4-x}Np_xZr_{0.6}N$ および $Pu_{0.4-x}Am_xZr_{0.6}N$）の熱物性（熱膨張・比熱容量、熱伝導率）を評価し、Np や Am の添加が燃料に及ぼす影響について考察した。

第四章では、高燃焼度下での窒化物燃料の特性に注目した。高燃焼度燃料を実際に用いるのは非常に困難である。高燃焼度酸化物燃料の特性を予測する際、非放射性 FP 元素を添加し、高燃焼度燃料の特性予測を行う模擬高燃焼度燃料という概念が広く用いられてきたが、本研究では、模擬高燃焼度燃料の概念を窒化物燃料にも適用した。非放射

性 FP 元素としては Pd、Nd、Mo が代表として選ばれ、それぞれの FP が窒化物燃料に与える影響を、結晶学・機械・熱・電気的性質に対して評価した。加えて、模擬高燃焼度燃料と実際の高燃焼度燃料では、微細構造に大きな違いが生じる場合があり、これは物性に対して影響を及ぼす場合がある。そこで、EBSP やナノインデンテーションにより、微小領域での特性を評価することで、より実燃料に近いモデルの構築を試みた。

第五章では、熱力学的観点からの研究として、U-N、Pu-N 二元系のギブス自由エネルギーを整備し、相状態図を評価した。今回、評価・整備したギブス自由エネルギーを基に、U-Pu-N 三元系などの複雑な系に対する状態図などの熱力学的性質を予測することが可能である。

第六章は結論であり、本研究で得られた成果を総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高速増殖炉（FBR）や加速器駆動消滅処理炉（ADS）の燃料候補となっている窒化物燃料とマイナーアクチニド（MA）含有混合酸化物（MOX）燃料に注目し、それらの結晶学・機械・熱・電気特性について実験的及び解析的にまとめたものである。主な成果は以下のように要約できる。

窒化物燃料については、TiN と ZrN を不活性マトリックスとして用いた窒化物不活性マトリックスと、高燃焼度化における特性を理解するために模擬高燃焼度窒化物燃料について実験的評価を行っている。不活性マトリックスとアクチニド窒化物間の相互作用を評価し TiN の方が ZrN よりも不活性マトリックスとして優れていること、また高燃焼度下でも窒化物燃料は従来の酸化物燃料に比べ、核燃料として格段に高い性能を有することを明らかにしている。

酸化物燃料については、FBR 燃料候補として最も有力な MA 含有 MOX 燃料の特性を分子動力学（MD）法により解析的評価を行っている。この結果より、核燃料の特性として最も重要な熱伝導率、比熱容量、熱膨張率について、MA 含有 MOX 燃料と MOX 燃料では差異はほとんどないことが MD 法より明らかにされている。この結果は、従来 MOX 燃料に対して用いられてきた燃料ふるまいコードが MA 含有 MOX 燃料に対しても適用できるという可能性を示唆している。

MSA（Minimum Solid Area）という新概念を物性の気孔率依存性の評価に用いることにより、試験回数を格段に減らすことのできる手法を開発された。インデンテーション法や ESBP 法といった近年開発された手法を核燃料工学分野において世界で初めて用いることにより、それまで不明とされていた微小領域における燃料母相と核分裂生成物間の相互作用を解明すると同時に、微小試験片からの弾性特性評価という新しい手法が提案されている。このような試験回数や試料寸法を削減できる手法は取扱量が制限されている核燃料研究を劇的に改善させうるものである。

以上のように、本論文は核燃料の物性の予測・評価に対して重要な知見を与えている。特に、FBR や ADS 燃料の選定の際に極めて重要な判断材料を提供している点、核燃料の研究に最適な新たな手法を開発している点は注目に値する。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。