



|              |                                                                                                                                                                    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | ミクロ炉物理の観点に基づく軽水炉用実効共鳴断面積<br>計算法の開発とその応用                                                                                                                            |
| Author(s)    | 松本, 英樹                                                                                                                                                             |
| Citation     | 大阪大学, 2007, 博士論文                                                                                                                                                   |
| Version Type |                                                                                                                                                                    |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/48433">https://hdl.handle.net/11094/48433</a>                                                                                |
| rights       |                                                                                                                                                                    |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていない<br>ため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利<br>用をご希望の場合は、<a<br>href="https://www.library.osaka-<br>u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文につい<br>て</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

|               |                                                        |
|---------------|--------------------------------------------------------|
| 氏 名           | まつ 松 もと 本 ひで 英 き 樹                                     |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)                                              |
| 学 位 記 番 号     | 第 2 0 7 5 8 号                                          |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 19 年 1 月 15 日                                       |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>工学研究科原子力工学専攻                       |
| 学 位 論 文 名     | ミクロ炉物理の観点に基づく軽水炉用実効共鳴断面積計算法の開発とその応用                    |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 竹 田 敏 一<br><br>(副査)<br>教 授 堀 池 寛 教 授 山 口 彰 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、燃料健全性評価に用いるペレット内径方向出力分布計算機能を従来から用いられている核設計システムに取り込むことを目的として実施した。このために、ミクロ炉物理、すなわち、燃料内の中性子束分布、スペクトル分布を考慮した核特性を正確に把握する炉物理の観点から、種々の共鳴断面積計算手法を調査し、現在の核設計システムに柔軟に適合し且つミクロ炉物理に基づく新しい軽水炉用共鳴断面積計算手法を開発した。

燃料健全性評価には、ペレット径方向の出力分布が必要である。この出力分布を精度良く算出するためには、燃料ペレットを多領域に分割した体系による中性子束計算と各領域に割り当てる実効断面積計算が重要である。従来、WIMS-E が採用するサブグループ法や連続エネルギーとみなせる超多群計算法によって各領域の断面積を計算していた。一方、1996 年に Stoker 氏、Weiss 氏らの提案した方法は、現在の核設計における核定数計算に用いられる方法を発展させた方法であり、現行核設計手法との整合性の観点からサブグループ法や超多群法に対する利点がある。特にサブグループ法は、ドップラー反応度の計算精度に問題があるとのが知られており、超多群法の場合は計算時間の問題が生じる。このため、この Stoker と Weiss のアイデアを基本とし、Stammler らが PHOENIX コードで用いた集合体体系における共鳴計算手法を多領域体系に一般化した空間依存共鳴断面積計算法 (SDDM) を新しく開発した。SDDM を PARAGON コード (Westinghouse と三菱重工の共同開発コード) に組み込み、連続エネルギーモンテカルロコードとの比較、照射後試験データとの比較を通して、SDDM の有用性を確認した。

燃料ペレットは従来一様に扱ってきたので、燃料棒内の径方向分布を持つパラメータとして、共鳴の空間依存性、燃焼に伴う原子数密度の空間依存性及びを温度の空間依存性を考慮していなかった。SDDM によって、前者 2 つを取り扱えることになったことから、更に開発を進め、温度分布を直接取り扱える手法を開発した。

燃料内の径方向温度分布は、核計算によって得られる出力分布を入力として計算されるが、出力分布の計算には径方向の温度分布が必要である。SDDM ではこれらを直接的に結合させることができるようになった。

また、SDDM の核設計における直接的な応用として可燃性吸収体を含む燃料、例えばガドリニア入り燃料の計算効率を大幅に上げることを可能にした。熱中性子の強吸収体であるガドリニアは、径方向の外側から内側に燃焼するため、空間的な実効断面積を事前に準備する必要があった。SDDM では、通常の集合体燃焼計算の中で直接取り扱うことができ、更にこれまで無視してきた共鳴の空間依存性と熱中性子の空間遮蔽を同時に取り扱うことを可能にした。

SDDM の応用として重要な点は、安全解析における反応度投入事象（RIA）において活用できることである。断熱状態で出力上昇した燃料の最高温度は、燃料棒の中心ではなく外周部で発生する。特に燃焼の進んだ燃料においてはリム効果（外周部の燃焼が加速する効果）によって当該領域の燃焼度は非常に高くなっており、出力分布及び燃焼度分布双方の詳細な解析が必要である。SDDM はこれら状態を模擬した予測が可能とした。その他、現行炉心設計における燃料棒単位出力分布算出への適用による、炉心規模の計算から局所ペレット内出力分布を算出することを可能とした。

炉心設計は燃料健全性や安全解析に対する保守性を含む境界条件を与えていたが、今後、詳細な情報を提供することによって過度な余裕を排除していくことを可能とした。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、燃料健全性評価や安全解析評価に必要な燃料棒内の径方向出力分布に対して、マイクロ炉物理の観点に基づく新しい実効共鳴断面積計算手法を提供するものである。

商業用軽水炉の炉心設計で従来から用いられている手法と整合性があり、実用性の高い手法を開発している。軽水炉の燃料集合体内の各燃料棒に対してマイクロ炉物理の考え方に従い、径方向の共鳴自己遮蔽効果、燃料棒内の温度分布の効果、及び燃焼に伴う核種組成分布の効果を同時に考慮できる新しい手法を導出している。

近年、実験代替として用いられることもある連続エネルギーモンテカルロ計算との比較によって詳細な検証を行っており、また、商業用軽水炉燃料の照射後試験結果から得られる燃料棒内の核種濃度分布や燃焼度分布との比較による検証も実施している。これらを通して、新しく開発した手法の実証性を示し、十分な実用性を有することを明らかにしている。また、新しく開発した手法の応用として、加圧水型軽水炉の燃料集合体内の強吸収体に対し、核設計計算の精度と効率に関する最適化を行い推奨される計算モデルを提案している。更に、軽水炉燃料において、燃焼が加速する燃料棒周辺領域の出力分布や燃焼度分布の算出や、3次元炉心計算から燃料棒1本毎の径方向出力分布を計算する手法についても述べられている。これらは、従来から炉心設計で用いられてきた手法では対応できないものであるが、新しい手法では、従来から用いられてきた手法と整合性のある手法として、これら进行评估できることを理論的にも数値的にも示している。

以上のように、本論文は、マイクロ炉物理の観点に基づく新しい実効共鳴断面積計算手法を開発することによって、炉心設計の手法の精緻化に加え、炉心設計と燃料健全性評価、及び炉心設計と安全解析評価のそれぞれに対して、合理的に余裕を排除することに資するものであり、また、それぞれの解析評価を密接に関連付ける有用な方法を提供するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。