



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on Neutronics Simulation Applicable to Various Design Requirements for Fast Spectrum Reactor [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Fan, Junshuang
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15363号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89687
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Fan_Junshuang_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 Fan Junshuang

審査担当者 主査 准教授 千葉 豪
副査 教授 小崎 完
副査 教授 澤 和弘
副査 准教授 遠藤 知弘 (名古屋大学・工学研究科)

学位論文題名

Study on Neutronics Simulation Applicable to Various Design Requirements for Fast Spectrum Reactor

(高速炉の多様な設計要件に適用可能な核特性シミュレーションの研究)

世界初の商用原子力発電所である米国 SHIPPINGPORT 発電所の 1957 年の運転開始以来、人類はこれまでに 65 年以上に亘って原子力発電を利用してきた。これまでの原子力発電所の多くは低エネルギー中性子を利用した原子炉を用いたものであったが、核燃料の利用率を大幅に増加することが出来る高速中性子炉(以下、高速炉)の開発も世界各国で進められており、例えば米国では新たな高速炉 Natrium の研究開発が進められている。

高速炉などの新型原子炉の開発は、幅広い設計パラメータ空間を探索する概念設計に始まり、何段階かの設計の高度化を経て、最終的に詳細設計を行いプラントの建設へと繋がる。原子炉の設計は一般に数値シミュレーションによって行うが、膨大な計算ケースを対象とする概念設計では短い計算時間で解を得ることが重要となる一方、詳細設計では解の精度が重要となる。このように設計の段階毎に大きく異なる要件に対して、それに応えることが出来るソフトウェアは極めて有用と言える。

本論文でまとめられた研究は、この点に着目したものであり、新型原子炉である高速炉の開発の幅広い設計段階に対して適用可能な核特性解析のためのソフトウェアの開発・検証を行うとともに、概念設計と詳細設計の橋渡しとなる中間設計における有用な核特性解析手法の開発を行った。

本論文は 4 章から構成される。

第 1 章では、研究の背景と目的、概要を述べた。

第 2 章では、多様な設計要件に適用可能な核特性シミュレーションを実現するソフトウェアである「FRBurner」の開発と検証について述べた。FRBurner は、汎用炉物理計算コードシステムである「CBZ」上で動作するモジュールとして種々のモデル・ソルバーを組み込んだものであり、これを用いることにより多種多様な条件に基づく計算を実現した。FRBurner の精度の検証として、経済協力開発機構(OECD)の原子力機関(NEA)が整備した高速炉核特性ベンチマーク問題を対象とした計算を行い、中性子実効増倍率、実効遅発中性子割合、ナトリウムボイド反応度、ドップラー反応度といった核特性パラメータについて、別の研究機関が提示した参照解を良好に再現すること

を示した。加えて、多様な条件に基づく計算を実施し、計算条件の間の相関関係を明らかにするとともに、概念・中間・詳細設計の各々で望ましい計算条件を提示した。さらに、核特性シミュレーションが対象とする支配方程式である中性子輸送方程式とその近似式である中性子拡散方程式のためのソルバーに加えて、Simplified P3 方程式 (SP3 方程式) と呼ばれる、輸送・拡散方程式の中間と位置付けられる理論に着目してその導入を行い、中間設計に適した手法として SP3 方程式が有効であることを見出した。

第 3 章では、SP3 方程式を原子炉の反応度計算に適用するために、SP3 方程式に摂動理論 (perturbation theory) を組み合わせた方法 (SPP 法) を新たに提案した。SPP 法の理論式を導出するとともに、計算コードへの実装と検証を行った。摂動理論に基づく反応度計算では成分別の評価が可能となるが、通常の SP3 方程式に基づいた摂動理論では、物理的な分類が困難な成分が生じることを明らかにした。また、それに対して、通常とは異なる形式の SP3 方程式を新たに定義し、それを摂動理論に用いることで、物理的な分類が困難な成分が現れなくなることを示し、SPP 法に基づく成分別の反応度計算を世界で初めて実現した。さらに、OECD/NEA のベンチマーク問題のナトリウムボイド反応度の計算に対して SPP 法を適用し、反応度の散乱成分及び漏洩成分の予測において、拡散方程式に基づく評価よりも高い精度の解が得られることを明らかにした。

第 4 章は結論であり、得られた結果を総合し、本論文のまとめとした。

これを要するに、著者は、高速炉の多様な設計要件に適用可能な核特性シミュレーションを実現するソフトウェアの開発と検証を行うとともに、高速炉の中間設計において有用となる可能性を有する新手法 (SPP 法) の提案を行ったものであり、新型炉である高速炉の開発において有用なソフトウェアと新手法を提供したと言え、原子力工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。