



Title	核特性予測値の不確かさの低減と信頼性向上のための 拡張炉定数調整法に関する研究
Author(s)	横山, 賢治
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/73446
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (横 山 賢 治)

論文題名 核特性予測値の不確かさの低減と信頼性向上のための拡張炉定数調整法に関する研究

論文内容の要旨

本論文では、原子炉の核特性の計算予測精度を向上させる二つの設計手法である炉定数調整法と拡張バイアス因子法の理論統合を検討した。炉定数調整法と拡張バイアス因子法は異なる考え方に基づいて導出されるが、両者は設計手法としてそれぞれに長所を持っている。炉定数調整法の長所としては、調整された炉定数セットが得られるため、この調整後の炉定数セットを使って計算するだけで設計値が得られるという利便性が挙げられる。また、導出はベイズの定理に基づいており、その理論的基盤は明確である。一方、拡張バイアス因子法の長所としては、炉定数調整法よりも僅かながらも設計予測精度を向上できることと、正規分布の仮定を用いる必要がないことが挙げられる。ただし、導出では半仮想的な実験値・計算値という概念が用いられており、その理論的基盤は必ずしも明確ではない。このため、本研究では、この二つの手法を理論的に統合した新しい手法を開発し、拡張炉定数調整法と名付けた。また、従来の炉定数調整法では、臨界実験で得られた積分実験データを使って炉定数セットに含まれる核データを調整するが、調整すべき核データの数は非常に多く、調整に用いる積分実験データの数を核データの数より多くすることは困難である。このように、炉定数調整法は、少ない情報量から多くの情報量を決定しなければならない劣決定問題の条件下で適用されるが、この点についてはこれまで詳細な議論は行われていなかった。このため、新しく開発した手法を使って、正規分布を仮定することや劣決定問題の条件下で炉定数調整法を適用することの妥当性について検討した。

第1章では、本研究の目的と背景、本論文の構成について述べた。第2章では、二つの理論を統合することを目的として、既存の手法の導出方法を詳細に分析した。この結果として、従来炉定数調整法がベイズの定理に基づいて導出されているのに対して、拡張バイアス因子法は最小分散不偏線形推定の考え方に基づいて導出されていると理解できることを示した。また、従来炉定数調整法が核データを最適化するように炉定数セットを調整するのにに対して、拡張バイアス因子法は設計対象炉心核特性を最適化するようにバイアス因子を求めていることを示した。更に、従来炉定数調整法は、最小分散不偏線形推定に基づいて導出される拡張カルマンフィルタと等価であることを示した。

第3章では、この分析結果に基づいて、新しい手法の開発方針について説明した。ここで、最適化する対象の違いにより、従来炉定数調整法、拡張炉定数調整法、回帰炉定数調整法の3種類の炉定数調整法を提案した。また、従来から知られているベイズの定理に基づく導出ではなく、最小分散不偏線形推定に基づいて炉定数調整法と拡張バイアス因子法の理論を統合することを提案した。更に、最小分散不偏線形推定に基づく導出では正規分布の仮定が不要なことを利用して、正規分布を仮定することや劣決定問題の条件下で従来炉定数調整法を適用することの妥当性を検討するための新しい手法として次元削減炉定数調整法等を提案した。

第4章では、この開発方針及び提案に基づき、実際に、新しい炉定数調整法の理論式を導出した。第5章では、導出した複数の新しい理論式を統一的な表記で整理し、導出した理論式が正しいことを数値計算により確認した。また、導出した式について理論的な検討を行い、拡張炉定数調整法は、拡張バイアス因子法と等価な設計予測値及び設計予測精度を提供する炉定数セットを作成できることを示した。また、拡張バイアス因子法において従来炉定数調整法よりも設計予測精度が向上する理由は、積分実験データと設計対象炉心核特性の間の解析モデルに起因する不確かさの相関の考慮にあることを示した。更に、最小分散不偏線形推定に基づく導出方法を応用した次元削減炉定数調整法等を利用して、ベイズの定理に基づく従来炉定数調整法における正規分布の仮定の役割について検討した。

第6章では、これらの手法の適用性確認として、実際の高速炉の設計予測精度評価の問題に適用し、新手法の効果を検討した。この結果、期待されたとおりに、拡張炉定数調整法を適用した場合には、拡張バイアス因子法と同等の設計予測精度向上の効果が得られることを確認した。また、次元削減炉定数調整法等を応用することで、炉定数調整法において正規分布の仮定が採用できない場合の影響評価が可能であることを示した。これらの手法を活用することにより、炉定数調整法を用いた設計予測解析の信頼性向上に資することができると考えられる。更に、これらの適用性検討の結果を踏まえて、新しく開発した手法を適切に使い分ける方法を提案した。最後に、第7章では、本研究で得られた結論を述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (横 山 賢 治)			
論文審査担当者	(職)	氏	名
	主 査	教授	北田 孝典
	副 査	教授	福田 武司
	副 査	教授	村田 勲

論文審査の結果の要旨

本論文では、原子炉の核特性の計算予測精度を向上させる二つの設計手法である炉定数調整法と拡張バイアス因子法の理論統合を検討している。炉定数調整法と拡張バイアス因子法は異なる考え方に基づいて導出されるが、両者は設計手法としてそれぞれに長所を持っている。炉定数調整法の長所としては、調整された炉定数セットが得られるため、この調整後の炉定数セットを使って計算するだけで設計値が得られるという利便性が挙げられる。また、導出はベイズの定理に基づいており、その理論的基盤は明確である。一方、拡張バイアス因子法の長所としては、炉定数調整法よりも僅かながらも設計予測精度を向上できることと、正規分布の仮定を用いる必要がないことが挙げられる。ただし、導出では半仮想的な実験値・計算値という概念が用いられており、その理論的基盤は必ずしも明確ではない。このため、本研究では、この二つの手法を理論的に統合した新しい手法を開発し、拡張炉定数調整法と名付けている。また、従来の炉定数調整法では、臨界実験で得られた積分実験データを使って炉定数セットに含まれる核データを調整するが、調整すべき核データの数は非常に多く、調整に用いる積分実験データの数を核データの数より多くすることは困難である。このように、炉定数調整法は、少ない情報量から多くの情報量を決定しなければならない劣決定問題の条件下で適用されるが、この点についてはこれまで詳細な議論は行われていなかった。このため、新しく開発した手法を使って、正規分布を仮定することや劣決定問題の条件下で炉定数調整法を適用することの妥当性について検討している。

第1章では、本研究の目的と背景、本論文の構成について述べている。

第2章では、二つの理論を統合することを目的として、既存の手法の導出方法を詳細に分析している。この結果として、従来炉定数調整法がベイズの定理に基づいて導出されているのに対して、拡張バイアス因子法は最小分散不偏線形推定の考え方に基づいて導出されていると理解できることを示した。また、従来炉定数調整法が核データを最適化するように炉定数セットを調整するのに対して、拡張バイアス因子法は設計対象炉心核特性を最適化するようにバイアス因子を求めていることを示している。更に、従来炉定数調整法は、最小分散不偏線形推定に基づいて導出される拡張カルマンフィルタと等価であることを示している。

第3章では、この分析結果に基づいて、新しい手法の開発方針について説明している。ここで、最適化する対象の違いにより、従来炉定数調整法、拡張炉定数調整法、回帰炉定数調整法の3種類の炉定数調整法を提案している。また、従来から知られているベイズの定理に基づく導出ではなく、最小分散不偏線形推定に基づいて炉定数調整法と拡張バイアス因子法の理論を統合することを提案している。更に、最小分散不偏線形推定に基づく導出では正規分布の仮定が不要なことを利用して、正規分布を仮定することや劣決定問題の条件下で従来炉定数調整法を適用することの妥当性を検討するための新しい手法として次元削減炉定数調整法等を提案している。

第4章では、この開発方針及び提案に基づき、実際に、新しい炉定数調整法の理論式を導出している。

第5章では、導出した複数の新しい理論式を統一的な表記で整理し、導出した理論式が正しいことを数値計算により確認している。また、導出した式について理論的な検討を行い、拡張炉定数調整法は、拡張バイアス因子法と等価な設計予測値及び設計予測精度を提供する炉定数セットを作成できることを示している。また、拡張バイアス因子法において従来炉定数調整法よりも設計予測精度が向上する理由は、積分実験データと設計対象炉心核特性の間の解析モデルに起因する不確かさの相関の考慮にあることを示している。更に、最小分散不偏線形推定に基づく導出方法を応用した次元削減炉定数調整法等を利用して、ベイズの定理に基づく従来炉定数調整法における正規分

布の仮定の役割について検討している。

第6章では、これらの手法の適用性確認として、実際の高速炉の設計予測精度評価の問題に適用し、新手法の効果を検討している。この結果、期待されたとおりに、拡張炉定数調整法を適用した場合には、拡張バイアス因子法と同等の設計予測精度向上の効果が得られることを確認している。また、次元削減炉定数調整法等を応用することで、炉定数調整法において正規分布の仮定が採用できない場合の影響評価が可能であることを示している。これらの手法を活用することにより、炉定数調整法を用いた設計予測解析の信頼性向上に資することができると考えられる。更に、これらの適用性検討の結果を踏まえて、新しく開発した手法を適切に使い分ける方法を提案している。

最後に、第7章では、本研究で得られた結論を述べている。

以上のように、本論文は、原子炉の核特性の計算予測精度を向上させる二つの設計手法である炉定数調整法と拡張バイアス因子法の理論統合を行い、炉定数調整法を用いた設計予測解析の信頼性向上に資する手法だけでなく、新しく開発した手法を適切に使い分ける方法を明らかにしている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。