

報告番号	甲 第 12979 号
------	-------------

主論文の要旨

論文題目 直接応答行列法による BWR 炉心解析手法
の開発
(DEVELOPMENT OF BWR CORE
ANALYSIS METHOD BY DIRECT
RESPONSE MATRIX METHOD)

氏 名 光安 岳

論文内容の要旨

本研究は、沸騰水型原子炉(BWR)において、燃料棒単位の解析精度を向上する直接応答行列法を用いた炉心解析手法の開発についてまとめたものである。本研究では、1)直接応答行列法を実機炉心解析に適用するために必要な燃焼履歴モデル、2)サブチャンネル解析と結合して燃料集合体内のサブチャンネルボイド分布の効果を核特性に反映するサブチャンネルボイド結合解析手法、3)燃料棒単位の評価手法である直接応答行列法を時間依存領域まで拡張する直接応答行列法の動特性モデルに関する研究について述べている。本研究は、BWR の炉心解析手法を高度化することで、炉心の安全余裕を向上させることを目的としている。

本論文は全5章で構成されており、第1章では本研究の背景及び目的について述べている。第2章では直接応答行列法の燃焼補正モデルの開発と計算効率化、第3章では直接応答行列法のサブチャンネルボイド結合解析手法の開発、第4章では、直接応答行列法の動特性モデルの開発について述べている。最後に、第5章で本論文の結論を述べている。

第1章では本研究に至る背景及び目的を述べている。沸騰水型原子炉(BWR)において、炉心設計で評価される代表的な安全指標は炉停止余裕、最小限界出力比、最大線出力密度である。従来手法による炉心設計から安全余裕を向上するためには、燃料集合体に対する中性子の流れ込みの大きい炉心、燃料棒単位の出力分布、過渡特性の3点について評価精度を向上する必要がある。

燃料集合体に対する中性子の流れ込みの大きい炉心および燃料棒単位の出力分布の評

価精度を向上するために、中性子の4つの主な応答で定式化した直接応答行列法が開発されている。直接応答行列法は、従来の一般的なBWRの解析手順である1段目の燃料集合体解析と2段目の炉心解析からなる2段階のBWR解析手順を踏襲している。しかし、燃料集合体解析では、従来の均質化断面積に代えて固有値非依存で燃料棒及び燃料集合体境界の応答を示す4つの部分応答行列を評価することにより、炉心解析において燃料棒単位の出力分布を評価することができる。これまでの開発では、小規模体系および未燃焼状態での評価のみに適用されており、BWR実機体系への適用や燃焼時の補正モデルの開発が課題であった。

BWRは炉心内のボイドの影響を大きく受けるため、燃料棒単位の炉心解析手法に対して、熱水力解析も同スケールである燃料棒間の冷却材領域(サブチャンネル)毎の解析と結合することが望ましい。この対策として、熱水力解析部分をサブチャンネル解析で置き換える方法があるが、BWRの実機適用のためには、実験相関式を用いた限界出力相関式およびそれにパラメータを与える従来の1次元熱水力解析を用いる必要があり、サブチャンネル解析で完全に置き換えるには課題がある。しかし、従来の熱水力解析を活用しながら、サブチャンネル解析を適用する方法は開発されていない。

前記限界出力の制限値を決めるためには過渡解析による安全評価において、過渡変化中の限界出力の変化量を評価する必要がある。これまで、直接応答行列法は静特性解析のみに適用されており、過渡特性解析のために新たに動特性モデルを構築する必要がある。直接応答行列法の燃料棒単位の評価手法を維持しながら、動特性評価手法を構築することが課題である。

これらの課題を解決するため、本研究では、直接応答行列法の燃焼補正モデルの開発と計算効率化、直接応答行列法のサブチャンネルボイド結合解析手法の開発、直接応答行列法の動特性モデルの開発を実施した。

第2章では、直接応答行列法の燃焼補正モデルの開発と計算効率化に関する研究について述べている。

本研究では、従来の中性子束を用いたスペクトル履歴指標と、直接応答行列法で用いられる境界の流出中性子流によるスペクトル履歴指標が同等であることを見出し、スペクトル履歴補正法を確立した。燃料棒出力に対して、燃料集合体解析と炉心解析における燃料棒の燃焼度の差は、予め評価した核分裂性物質の個数密度差に比例するとして燃料棒出力補正法を開発した。これにより、燃焼時の評価誤差を低減した。

さらに、直接応答行列法のBWR実機体系への適用に向けて、計算を効率化した。特に、3次元の燃料集合体解析では、燃料集合体の軸方向の均質性が高いことに着目して、軸方向の応答の対称性を利用して計算量を1/2とした。

本手法を直接応答行列法に適用することにより、従来の適用範囲が小規模体系や未燃焼体系であったのに対して、燃焼体系にも適用できることで、BWR実機体系解析が可能であることを示した。

第3章では、直接応答行列法のサブチャンネルボイド結合解析手法の開発に関する研究

について述べている。

本研究では、2段階のBWR解析手順において、従来の熱水力モデルを活用しながらサブチャンネル解析を適用する方法として、1段目の燃料集合体解析においてサブチャンネル解析と結合して核定数テーブルを作成し、2段目の炉心解析では従来どおり1次元の熱水力解析を用いるモデルを開発した。この手法の課題は、燃料集合体解析において、2次元の核計算と3次元の熱水力計算を結合する方法と、炉心解析において、無限体系仮定の燃料集合体解析とサブチャンネルポイド分布の差異を補正する方法である。

前者の課題に対して、3次元の熱水力計算の軸方向出力分布の影響が小さいことを見出し、2次元の核計算との結合に成功した。後者の課題に対して、BWR炉心の出力分布の傾きは四角の燃料集合体断面の2つの対角線に沿ったサブチャンネルポイド分布の傾きで補正できることに着目し、2つの補正項を導入することでサブチャンネルポイド分布補正法を開発した。

これにより、炉心解析において従来の1次元熱水力解析を用いながら、サブチャンネルポイド分布の効果を炉心解析に反映することができるようになった。本手法は、直接応答行列法だけでなく、従来のBWRの解析手法にも適用できる。

第4章では、直接応答行列法の動特性モデルの開発に関する研究について述べている。

本研究では、直接応答行列法の静特性の式が短い計算時間ステップにおいて各中性子応答の式に分解できることに着目し、応答要素毎に動特性モデルを構築した。さらに、直接応答行列法の応答要素毎の中性子の平均飛行時間は、応答要素の応答の時間遅れとみなせることに着目し、時間依存の応答評価手法を構築した。

本手法の適用により、原子炉の過渡変化実験に対して実験誤差以内で原子炉出力を予測可能であることを確認した。これにより燃料棒単位で原子炉動特性の評価が可能になった。

最後に第5章では、第1章から第4章の要約を示すとともに、各章で得られた成果をまとめた。本研究により炉心設計の安全余裕向上に必要な燃料集合体に対する中性子の流れ込みの大きい炉心、燃料棒単位の出力分布、過渡特性の評価精度向上の3つの目的に対し、直接応答行列法の持つモデルの課題を解決し、開発手法の適用性を確認した。第2,3章では、燃料集合体に対する中性子の流れ込みの大きい炉心における燃料棒の出力分布の評価精度向上を実現した。第4章では、直接応答行列法による動特性モデルを構築した。これらの研究により、BWRの安全余裕向上に資する炉心解析手法を確立できた。