

氏名	おおいがわ ひろ ゆき 大井川 宏 之
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第3592号
学位授与の日付	平成13年5月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	多様な高度炉の反応度効果に関する臨界実験と予測精度の向上

論文調査委員 (主査) 教授 藤田 薫 顕 教授 芹澤 昭 示 教授 代谷 誠 治

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高速炉の反応度効果、特に原子炉の緊急停止に失敗した場合等において安全確保上期待し得る反応度抑制効果に関し、高速炉臨界実験装置を用いて取り組んだ実験的研究の成果をまとめたものであって、反応度及び炉心に多様性を持たせ、できる限り一般性のある知見を得ることに留意している。

第1章は序論として、高速炉の新しい概念を追求する近年の研究動向を概観し、この状況下にあつては、高速炉の反応度効果に関して、特定の炉形式に限定せずに予測精度を向上させることが極めて重要な研究課題であること、及び本研究の目的が、臨界実験を主体として、当該課題に取り組むことにあるとしている。続いて、反応度効果としてナトリウムボイド反応度、燃料膨張・湾曲反応度、ドップラー反応度及びガス膨張機構反応度を取り上げること、またこれらの反応度について物理現象としての説明及びこれまでの研究の経緯に関する説明がある。

第2章では、実施した4種類の実験に共通した実験面での諸事項をまとめてあり、日本原子力研究所にある高速炉臨界実験装置 FCA の概要並びに多様性に留意して構築した濃縮ウラン併用プルトニウム金属燃料炉心、天然ウラン併用プルトニウム金属燃料炉心、プルトニウム酸化物燃料炉心及びプルトニウム窒化物燃料炉心の構成を説明し、さらに中性子束及び随伴中性子束のエネルギースペクトル等を示して、これらの炉心の特徴を述べている。続いて、各反応度係数の測定法、測定範囲及び実験誤差についての説明がある。

第3章では、本研究全般を通じて用いた計算手法を、核データファイル及び群定数ライブラリー、セル計算、体系計算、摂動計算及び輸送補正という流れに沿って解説してある。但し、各反応度係数の実験解析で用いた特殊な計算手法については、以降の章において個別に詳述してある。

第4章から第7章までは、本研究で対象とした4種類の反応度係数に関する実験結果を順次提示し、それらに対する予測の精度を評価して、その結果に基づき計算手法を見直して予測精度を向上させる方向性について述べている。

第4章では、ナトリウムボイド反応度値についての測定結果を示し、反応度値を非漏洩項(中性子の散乱、核分裂、捕獲等に直接関係する成分)と漏洩項(中性子の流れと体系外への漏れに関係する成分)に分離して検討している。非漏洩項に関しては、従前の評価済み核データファイル(JENDL-2)に代わって最新のファイル(JENDL-3.2)を用いると、実験と計算の一致度は相当に改善されることを定量的に示し、また、その一致度は炉心のプルトニウム同位体組成には依存しないが、濃縮ウランを含む炉心の場合にはなお不十分なことを示した。

漏洩項に関しては、JENDL-2とJENDL-3.2の間で差異はなく、予測と実験の一致については、プルトニウム金属炉心で5~7%の不一致が残り、酸化物炉心の場合にはほぼ一致する。また、漏洩項が顕著に効く方向性を持つボイドに対しては、Benoistの異方性拡散係数を用いることにより、ナトリウムボイド反応度を低減化する目的のプレナム構造に対しても、現計算手法により適切に中性子漏洩を予測できることを示した。

第5章では、燃料集合体の軸方向の膨張に対する反応度値を測定して計算と比較検討したが、最新のデータファイル(JENDL-3.2)に基づく厳密摂動理論に輸送補正を適用した計算であっても、計算結果は最大20%の過小評価となった。ま

た、径方向湾曲反応度値についても最大15%の過小評価になり、予測精度に軸方向の依存性があることを示した。予測精度を向上させるには、計算手法の一層の高度化が必要である。

第6章では、 ^{238}U 試料についてドップラー効果の直接的な指標となる物理量として、 1500°C までの温度上昇による反応度値の変化及び 2000°C までの中性子捕獲に伴う放射化量の変化を測定し、その結果を JENDL-2 及び JENDL-3.2 を用いた計算結果と定量的に比較した。いずれの計算結果も過小評価になるが、JENDL-2 では一層の過小評価になり、その原因は共鳴自己遮蔽効果の取り扱いにおいて、中性子エネルギー領域を 50keV 以下に限っていることにあり、中性子エネルギースペクトルの硬い金属燃料炉心設計では注意すべきことを指摘している。JENDL-3.2 を用いた場合にもなお残る過小評価に関しては、中性子エネルギースペクトルの計算を連続エネルギーモンテカルロ法により精密化することにより相当な改善が計り得ることを示した。

第7章では、ガス膨張機構による反応度値について実験して計算結果と比較したが、計算には最大24%の過大評価が見られた。炉外に設置したガス膨張機構の場合には、構造材の共鳴自己遮蔽効果を適切に評価し、モンテカルロ法を採用することにより過大評価を概ね半減できること、炉内に設置した場合には、ボイドに沿った方向の中性子ストリーミングの扱いに注意を払う必要があること、及び結果的には非漏洩項の計算に問題があり、漏洩項は適切に計算されていることを示した。

第8章では、本研究を総合的にまとめてあり、第7章までに得られた結論を順次まとめるとともに、最後に今後の課題と展望として、高速炉実機設計への反映段階の課題を抽出し、多様な高速炉炉心へと臨界実験を拡げるべき展望を述べ、さらには計算手法改良に対する方向性について言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高速炉の反応度効果、すなわち原子炉の緊急停止に失敗した場合等に安全確保上期待し得る反応度抑制効果に関し、高速炉臨界実験装置を用いて行った実験的研究の成果をまとめたものである。研究対象とする反応度効果及び炉心構成の種類選択にあたっては、高速炉の炉型選択に新しい展開が予想されていることを受けて多様性を持たせるよう配慮し、特定の炉心に限定することなく、一般性を持つ結果を得るように努力している。実験結果と、近年整備された評価済み核データファイルを用いた中性子輸送計算の結果とを比較・検討し、次のような知見を得ている。

- (1) ナトリウムボイド反応度値については、測定結果を非漏洩項と漏洩項に分離して定量的に検討を行った結果、例えば非漏洩成分に関しては、従前の我が国における評価済み核データファイル (JENDL-2) に代わって最新のファイル (JENDL-3.2) を用いると、実験と計算の一致度は相当に改善される。また、その一致度は炉心の Pu 同位体組成には依存しないが、U 炉心の場合にはなお不十分であり、改善に向けたさらなる努力が必要である。
- (2) 燃料集合体の膨張及び湾曲により生じる反応度値については、JENDL-3.2 に基づく厳密摂動理論に輸送補正を施した計算であっても、計算結果は最大20%の過小評価となり、今後、計算手法の高度化が必要である。
- (3) ^{238}U 試料のドップラー効果に関して、 1500°C までの温度上昇による反応度値の変化及び 2000°C までの中性子捕獲に伴う放射化量の変化については、JENDL-2 の問題点の一つは共鳴自己遮蔽効果を取り入れる中性子エネルギーが 50keV 以下に限定されていることであり、JENDL-3.2 を用いることにより相当の改善がはかられる。
- (4) ガス膨張機構による反応度抑制効果については、決定論的計算法では最大24%の過大評価が見られたが、中性子ストリーミング効果のより詳細な扱いが可能なモンテカルロ法を用いることにより改善された結果が得られる。

以上要するに、本論文は、多様な高速炉炉心における反応度効果に関する臨界実験と予測精度向上に関する研究をまとめており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年3月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。