



この中では、修正転換比法に基づく、局所ボイド反応度測定が特筆すべき成果である。

それぞれの測定について、詳細を以下に述べる。

1) については、エッチング加工を用いることにより、精度良く放射化箔を微細加工することができることがわかり、複数の金属箔の微細加工を行った。この微細加工放射化箔を用いて、燃料棒内の径方向位置による放射化反応率の差を明らかにすることができた。ガンマ線コリメータ法による燃料棒内反応率分布は当初測定が困難であったが、コリメータ方法、測定時間等を見直した結果、誤差は大きい有意なデータの取得に成功した。微細加工放射化箔による測定結果では、高精度での燃料棒内の放射化反応率分布を測定することができ、解析手法の検証に有効なベンチマークデータを取得することができた。

2) については、発泡ポリスチレンを用いたケース、ホウ素入りポリスチレンを用いたケースの臨界実験を実施した。発泡ポリスチレンはポリスチレンの発泡度をコントロールすることにより原子炉運転時の水と気泡の混在したボイド状態を模擬する。この発泡ポリスチレンを用いて、集合体内のボイド反応度測定を行った。ホウ素入りポリスチレンは、発泡ポリスチレンと異なり、ポリスチレン中に中性子吸収材であるホウ素を混入することにより集合体内の中性子スペクトルを変化させる技術で、臨界実験での新しいスペクトル調整手段として開発したものである。臨界実験では、集合体内の核分裂率分布、修正転換比分布、燃料棒巻付け箔の放射化反応率分布を測定した。異なるボイド状態の修正転換比分布から評価したボイド反応度からは、局所的なボイド反応度の差を測定できた。燃料棒に巻付けた箔を周方向に分割し、周方向中性子束分布測定では、大きな変化のある周方向分布が測定できた。これらの結果は、解析手法の検証に有効である。

上記2つの臨界実験について行った実験解析では、従来手法による解析、決定論的手法に基づく解析、モンテカルロ法に基づく解析を実施した。従来手法による解析では、BWR燃料集合体核設計コードTGBLAおよび公開コードSRACを用いて解析を行った。解析結果より、測定値と解析値は非均質性の高い部分では差が大きくなることがわかった。決定論的手法に基づく解析においては、燃料棒内非均質性に着目し、決定論的手法に基づく計算コードを用いて計算を行い、炉物理的メカニズムの観点から測定結果と解析結果の整合性を検証した。今回開発した決定論的手法を基に、燃料棒内の非均質性を考慮した実験解析を実施した。開発した手法では、ドライバ領域からの影響をより詳細に考慮し、ドライバ領域境界付近の解析値は従来手法より測定値と良い一致を示した。モンテカルロ法に基づく解析では、モンテカルロコードMVPを用いて計算を行い、集合体内非均質性に着目し、炉物理的メカニズムの観点から測定結果と解析結果の整合性を検証した。解析結果より、金の放射化率分布については誤差が大きいものの、全体的に解析値と測定値は良い一致を

示した。

実験評価では、臨界実験において測定された反応度係数や集合体内の詳細な中性子束分布やスペクトルの空間依存性について、従来手法による実験評価、決定論的手法に基づく実験評価、モンテカルロ法に基づく実験評価を実施した。従来手法による検討では、従来手法による実験解析結果を用いて、実験体系が解析手法の検証に有効であるかの評価を行った。検討の結果、今回のテスト領域は中性子の漏れ込みが大きく影響される体系であることがわかり、集合体内の非均質性の高い炉心を構成できており、解析手法の検証のために有効な測定結果であることがわかった。決定論的手法に基づく実験評価では、決定論的手法に基づく実験解析を用いて、燃料棒内の非均質性に着目し、中性子束分布、スペクトルの空間依存性、ボイド反応度係数について、解析手法の検証に有効であるかの評価を行った。検討の結果、十分な有効性を確認するとともに、特に非均質体系試験は、燃料棒内非均質性を考慮し開発した今回の解析手法の検証に有効であることがわかった。モンテカルロ法に基づく実験評価では、集合体内や燃料棒内の中性子束分布の変化は、体系のスペクトル変化を良く表しており、集合体内非均質性の解析手法の検証に有効であることがわかった。

この中で、当初想定して得られた成果としては以下が挙げられる。

- ・従来加工法による放射化箔を用いた燃料棒周方向放射化反応率分布、燃料棒内の放射化反応率分布
- ・燃料集合体内の核分裂率分布、修正転換比分布
- ・上記のボイド率依存性

当初想定していたが得られなかった成果としては、

- ・ガンマ線コリメータ法による燃料棒内反応率分布

当初想定していなかったが副次的に得られた成果としては以下が挙げられる。

- ・エッチング加工による微細加工放射化箔を用いた燃料棒内の放射化反応率分布
- ・ホウ素入りポリスチレンによる、集合体内スペクトル変化

新たな研究の展開としては、以下が挙げられる。

- ・ここで開発した技術は臨界実験技術として基礎的なものであり、特に非均質性の高くなる炉心の解析技術検証として有効である。一例として、今回対象とした低減速炉の他に、超高燃焼度軽水炉や、可燃性中性子吸収体を含む高速炉の試験に適用が可能である。一般に可燃性中性子吸収体を含む炉心や燃料は非均質性が強くなり、ミクロな領域での中性子束分布や反応率分布が炉心特性に与える影響が大きくなる。

本事業の成果より、従来、定量的に精度実証の困難であった低減速炉での非均質体系におけるボイド反応度係数やボイド変化が燃料棒内の中性子束分布に与える影響について予測精度をを向上させることが可能であり、今後の革新炉の設計に大きく貢献することができる。

【事業項目2】マイクロ炉物理に基づく解析手法の開発

反応度係数解析手法の開発においては、以下の2つに分けて開発を行った。

1) 解析手法の開発と検証

2) 手法評価

それぞれについて詳細を以下に述べる。

1) 解析手法の開発と検証では、中性子束やスペクトルの燃料棒内のマイクロな空間挙動を解析でき、且つ、幾何形状を厳密にモデル化できる体系計算手法としてはMOC (Method of Characteristics) を採用した。また、マイクロな空間変動を正確に考慮するためには、実効断面積の空間変動も考慮する必要があるため、実効断面積作成法としてはマルチバンド法を採用した。以上を踏まえて、マルチバンド法による実効断面積作成とMOC法による体系計算を結合した手法の低減速炉設計への有効性を検討した。手法の検討として実施した計算結果よりマルチバンド法によって計算された実効断面積には燃料棒内のマイクロな空間変動が現れていることから、マルチバンド法の妥当性を確認した。また、MOC法による計算は燃料棒内の中性子束や中性子束スペクトルのマイクロな空間変動が表現されていることから、MOC法の妥当性を確認した。

2) の手法評価では、従来手法と参照解から、さらに、開発した決定論的解析手法と参照解から手法評価を行った。また、決定論的解析手法を評価するための基準となる参照解を与え、参照解の妥当性を評価した。参照解については、当初多群モンテカルロ法の採用を検討していたが、実効断面積の評価が困難であることから連続エネルギーモンテカルロ法を採用した。従来手法と参照解の修正転換比の解析値、測定値を比較し、従来手法による計算では、非均質性によって引き起こされる中性子の漏れこみや漏れ出しによる中性子スペクトルの変化を十分正確に再現できていないことがわかった。決定論的解析手法と参照解からの手法評価では、燃料棒内を詳細に分割し、燃料棒内の実効断面積の分布を参照解と比較した。今回採用した手法はマイクロ炉物理的な空間変動を正確に考慮することができていることがわかった。

この中で、当初想定していて得られた成果としては以下が挙げられる。

- ・マルチバンド法による実効断面積作成法の有効性確認
- ・MOC法による体系計算手法の有効性確認
- ・上記を結合した低減速炉の設計手法

当初想定していたが得られなかった成果としては、

- ・多群モンテカルロ法による参照解を用いた評価

当初想定していなかったが副次的に得られた成果としては以下が挙げられる。

- ・多群モンテカルロ法に替えて使用した連続エネルギーモンテカルロ法による参照解を用いた評価
- ・放射化箔、特に金箔における実験解析において、従来より詳細な取扱法の必要性が明らかになったこと

新たな研究の展開としては、以下が挙げられる。

・ここで開発した技術は他の炉物理的分野にも応用が可能であり、測定手法の開発の項でも示したように、特に、可燃性中性子吸収体を含むなどの非均質性の強い炉心または燃料の研究への応用が期待できる。

【事業全体】を通じて

3年間の事業を通して、革新型原子炉の反応度係数を従来よりも高精度に測定できる手法を臨界実験により開発し、反応度係数の挙動をミクロな炉物理的メカニズムに基づいて解明できる決定論的に手法に基づく解析手法の開発を実施した。

本事業で得られた特長的技術としては、

・微細加工箔およびガンマ線コリメータ法による燃料棒内反応率分布測定技術

・修正転換比法に基づく、局所ボイド反応度測定技術

・マルチバンド、MOC法に基づくマイクロ炉物理解析技術

が挙げられる。

開発した手法は、特に非均質性の強い将来炉炉心設計において、反応度係数の設計精度を向上させるための評価手法として、今後利用していく。

論文、特許等については、以下のとおりである。

○学会口頭発表

日本原子力学会口頭発表

2008年春の年会

L16 ミクロ炉物理に基づく反応度係数の高精度測定手法と解析手法の開発(1)研究計画

L17 ミクロ炉物理に基づく反応度係数の高精度測定手法と解析手法の開発(2)基本体系試験

2008年秋の大会

A45 ミクロ炉物理に基づく反応度係数の高精度測定手法と解析手法の開発(3)非均質体系試験 -燃料棒内中性子束測定

A46 ミクロ炉物理に基づく反応度係数の高精度測定手法と解析手法の開発(4)非均質体系試験 -集合体内ボイド反応度測定

A47 ミクロ炉物理に基づく反応度係数の高精度測定手法と解析手法の開発(5)モンテカルロ法に基づく解析

日刊工業新聞社 原子力EYE 「革新的原子力システムの実現へー成果が出始めた文科省の研究開発ー 第7回 ミクロ炉物理に基づく反応度係数の高精度測定手法と解析手法の開発」 Vol. 54 No. 2, (2008)P46

<p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・目的・目標の設定の妥当性</li> <li>・研究計画設定の妥当性</li> <li>・研究費用の妥当性</li> <li>・研究の進捗状況</li> <li>・研究交流</li> <li>・研究者の研究能力</li> </ul>	<p>【目的・目標の設定の妥当性】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本事業は、革新型原子炉の燃料棒内の反応度係数をマイクロ炉物理に基づき高精度に測定・解析できる手法を開発するものであり、その目的および目標の設定は適切である。</li> </ul> <p>【研究計画設定の妥当性、研究の進捗状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計画と実績を比較してみると、本事業は当初計画通り進捗したものと判断する。また、プログラムオフィサーの適切なコメントにより、革新炉の設計に貢献し得る成果等が得られており評価できる。</li> </ul> <p>【研究交流、人材育成、研究者の研究能力、成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ガンマ線コリメータ法による燃料棒内反応率分布測定の結果がやや不十分であったが、マイクロ炉物理（燃料内の中性子束・スペクトルの空間依存性）に基づく燃料棒内の反応度係数の測定・解析手法を開発するという本事業で当初想定した成果はほぼ得られている。また、エッチング加工による微細加工放射化箔やホウ素入りポリスチレンを用いた臨界実験、連続エネルギーモンテカルロ法による参照解を用いた解析などにおいて副次的な成果も得られている。さらに、本事業には10名を超える多くの研究者が従事しており、試験炉を使った臨界試験と再委託先を通じての解析的手法に関する検討を通じて広く経験と理解を深めたと考えられ、人材育成においても成果があったものと思われる。ただし、得られた成果の外部発表が少ないので、今後は研究成果を積極的に、学術誌へ投稿してもらいたい。</li> </ul>
<p>4. その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・臨界体系が研究できる施設は限られており、また独法ではなく民間企業であるというポジションは、他とは異なる研究の独創性を発揮できる可能性が高い。今後に期待する。</li> <li>・燃料棒の軸方向の反応率分布に関する研究を進めてもらいたい。</li> </ul>
<p>5. 総合評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本事業で想定された成果が得られており、それにより従来定量的な精度検証が困難であった低減速炉での非均質体系におけるボイド反応度係数の予測精度の向上に寄与しており、今後革新炉の炉心設計に貢献するものと期待する。</li> <li>・本研究の解析手法が幅広い革新的原子炉に適用できる手法となることを期待する。できれば、本研究結果を、低減速炉以外の、ガス炉、高速炉全MOX炉等へ適用する場合の注意点、改良点等として指針のような形でまとめられるとよいと考える。</li> </ul> <p>A) 想定以上の成果が得られ、今後に大いに期待できる。</p> <p><b>B) 想定通りの成果が得られ、今後が期待できる。</b></p> <p>C) 想定通りの成果が一部得られなかった。</p> <p>D) 想定通りの成果が全く得られなかった。</p>