

Title	3次元核熱結合コードの開発とPWR炉心への適用性評価
Author(s)	青木, 繁明
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49556">https://hdl.handle.net/11094/49556</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

氏名	あおき しげあき 青木 繁 明
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 22972 号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科原子力工学専攻
学位論文名	3次元核熱結合コードの開発とPWR炉心への適用性評価
論文審査委員	(主査) 教授 竹田 敏一 (副査) 教授 堀池 寛 教授 山口 彰

## 論文内容の要旨

PWRプラントは、燃料の高燃焼度化を継続的に実施してきており、今後も長サイクル炉心、出力アップなど炉心運用の高度化を検討しているが、これに伴い安全性評価値と制限値との間の余裕が減少する可能性がある。安全評価でも、より精緻な評価を実施し、過度の保守性を排除しなければ炉心の自由度を損ない、経済性を圧迫する可能性が生じる。このため、安全解析の高度化を行うため、最適評価が要求される。この様な状況を踏まえ、最適評価が可能な3次元核熱結合コードの開発を行い、PWR炉心への適用性評価を行った。

3次元核熱結合コードは、核設計コードの動特性化及び熱水力コードとの結合が開発要素となる。本論文では、動特性化手法の調査を行い、動特性方程式を直接評価できる手法を検討し、 $\theta$ オプション法とSCM法が工学的に妥当であると判断した。これらの手法を3次元ノードルコードに適用し、従来のノード解法に大きな変更を与えることなく過渡解析に対応できることを確認した。また、熱水力コードとの結合においては、3次元動特性コード側から、炉心出力、入口温度等を熱水力コードに提供し、熱水力コード側から水密度分布、燃料温度分布などをフィードバックさせることで、核と熱との結合を行い正確な炉心状態の予測を可能とした。この様な核熱結合コードを安全解析に適用することで、主蒸気管破断事象などをより正確に評価することができた。また、ノードルコードを動特性化したことで、燃料棒単位でのエンタルピー計算を全燃料棒に適用することが可能になり、制御棒飛出し事象での燃料棒の破損をより詳細に評価できた。

開発した3次元核熱結合コードの妥当性を示すためには、炉心出力の急峻な変化や緩慢な変化の取り扱いに加え、主蒸気管破断など、炉心圧力や減速材密度の大幅な変化に対応する必要がある。静特性コードの計算精度の妥当性評価は、実験値や実機の測定値との比較により行われるが、3次元核熱結合コードの場合、核加熱を伴う過渡解析評価が対象となるため、静特性の様な実験データは乏しい。このため、核熱結合コードの適用性評価のため、国際ベンチマーク問題による制御棒飛び出し事象、異常な制御棒の引き抜き事象により、動特性の妥当性を評価した。また、主蒸気管破断ベンチマーク問題により、核熱結合コードとしての成立性を示した。

さらに、SPERT-III E炉心の実験データを評価することで、フィードバックモデル等の処理が適切であることを示した。これらの種々のベンチマークや実験解析及び実機評価を行った結果、開発した3次元核熱結合コードは現行のPWR炉心に対して、十分な適用性があることを確認した。特に、主蒸気管破断では、局所部分での炉心出力評価や実効燃料温度の評価を行う際には、3次元核熱結合コードによる評価が最適であることを示した。

PWRプラントは、燃料の高燃焼度化を継続的に実施してきており、今後も長サイクル炉心、出力アップなど炉心運用の高度化を検討しているが、これに伴い安全性評価値と制限値との間の余裕が減少する可能性がある。安全評価でも、より精緻な評価を実施し、過度の保守性を排除しなければ炉心設計の自由度を損ない、経済性を圧迫する。安全解析の高度化を行うためには、最適評価が要求される。この様な状況を踏まえ、最適評価が可能な3次元核熱結合コードの開発を行い、PWR炉心への適用性評価を行っている。

3次元核熱結合コードは、核設計コードの動特性化及び熱水力コードとの結合が開発要素となる。本論文では、動特性手法の調査を行い、動特性方程式を直接評価できる方法を検討し、 $\theta$ オプション法とSCM法が工学的に妥当であると判断している。これらの方法を3次元ノードルコードに適用し、従来のノード解法に大きな変更を与えることなく過渡解析に適用できることを確認している。また、熱水力コードとの結合においては、3次元動特性コード側から、炉心出力、炉心入口温度等を熱水力コードに提供し、熱水力コード側から水密度分布、燃料温度分布などをフィードバックさせることで、核と熱との結合を行い、正確な炉心状態の予測を可能としている。この様な核熱結合コードを安全解析に適用することで、主蒸気管破断事象などをより正確に評価している。また、ノードルコードを動特性解析に拡張したことで、燃料棒単位でのエンタルピー計算を全燃料棒に適用することが可能になり、制御棒飛出し事象での燃料棒の破損をより詳細に評価している。

開発した3次元核熱結合コードの妥当性を示すためには、炉心出力の急峻な変化や緩慢な変化の取り扱いに加え、主蒸気管破断など、炉心圧力や減速材密度の大幅な変化に対応する必要がある。静特性コードの計算精度の妥当性は、実験値や実機の測定値との比較により行われるが、3次元核熱結合コードの場合、核加熱を伴う過渡解析評価が対象となるため、静特性の様な実験データは乏しい。このため、核熱結合コードの適用性評価のため、国際ベンチマーク問題による制御棒飛び出し事象、異常な制御棒の引き抜き事象により、動特性の妥当性を評価している。また、主蒸気管破断ベンチマーク問題により、核熱結合コードとしての成立性を示している。

さらに、SPERT-III E炉心の実験データを評価することで、フィードバックモデル等の処理が適切であることを示し、これらの種々のベンチマークや実験解析及び実機評価を行った結果、開発した3次元核熱結合コードは現行のPWR炉心に対して、十分な適用性があることを確認している。特に、主蒸気管破断では、局所部分での炉心出力評価や実効燃料温度の評価を行う際には、3次元核熱結合コードによる解析が適切であることを示している。

以上のように、本論文は、安全設計における最適計算を可能とするために、核設計と安全設計を同一の手法で解析を行い、十分精度のある、かつ高速なコードを作り上げるための手法開発を行い、さらにPWR炉心への適用性を評価している。この開発により、一貫性のある同一コードで、現在懸案となっている制御棒飛び出し事象や、主蒸気管破断事故事象の様な幅広い炉心状態を解析することを可能としている。これにより、安全余裕及び不確定性の低減の観点から大きな効果が得られると期待される。また、主蒸気管破断事象の詳細解析では、核熱結合コードが最適であることを示したことで、今後の炉心及び安全解析コードの開発に1つの方向性を示し、今後の炉心の高度化に核熱結合コードが必要であることを示している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。