

高温ガス炉の核特性解析手法と核設計に関する研究

後藤, 実

<https://hdl.handle.net/2324/1470572>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 後藤 実

論文題名 : 高温ガス炉の核特性解析手法と核設計に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

原子炉の建設コストや運転コストの削減および高性能炉心の設計のためには、適切な燃料の装荷や反応度制御設備の設置が不可欠であり、これらは核設計を精度良く行うことで実現可能となる。そのためには、核特性解析に用いる核データライブラリの適用性および解析手法の妥当性を示す必要がある。軽水炉に関しては、これらの検討が精力的に行われて来たが、同じ熱中性子炉である高温ガス炉に関しては、検討に用いる臨界データが少ないこともあって殆ど行われておらず、特に実機の測定データを用いた検討は行われていなかった。また、高温ガス炉の核設計を行う上で重要な可燃性毒物 (BP) を用いた反応度制御の有効性についても、実機の測定データを用いた検討は行われていなかった。

高温工学試験研究炉 (HTTR、熱出力 30 MW) は我が国初の高温ガス炉であり、1999 年に初臨界に到達し、臨界データの取得に成功した。その後も運転を継続し、2010 年に燃焼中期 (10 GWd/t) に到達し、臨界性の燃焼変化を表すデータの取得にも成功した。これらにより、実機の測定データを用いた高温ガス炉の核特性解析に対する核データライブラリの適用性の検討、BP の有効性の検討、および核特性解析手法の妥当性の検討が可能となった。

本研究では、HTTR で測定した臨界データを用いて、主要な核データライブラリの高温ガス炉の核特性解析に対する適用性の検討、棒状 BP の高温ガス炉における反応度制御に対する有効性の検討、高温ガス炉の核特性解析手法の改良とその妥当性の検討を行った。そしてそれらの結果を用いて HTTR をベースとする小型高温ガス炉 (HTR50S、熱出力 50 MW) の核設計を行った。ここでは、低コストで高性能な炉心の設計を可能とする反応度制御設備の設置方法や燃料の装荷方法を見出すことを目的とした。

本論文の第 1 章では、研究の背景および高温ガス炉の概要を述べるとともに研究の目的を明らかにした。

第 2 章では、世界 3 大核データライブラリと呼ばれる JENDL (日本)、ENDF (米国) および JEFF (欧州) の最新版について、高温ガス炉の核特性解析への適用性を HTTR の臨界近接試験で取得した臨界データを用いて検討した。これまで全く注目されていなかった熱領域での炭素の中性子捕獲断面積の精度が、高温ガス炉の核特性解析を精度良く行う上で特に重要であることを示した。また、熱領域の炭素の捕獲断面積が長期にわたり更新されていないことと HTTR の臨界近接試験の解析結果から従来の値に比べ 10%程度大きく更新される可能性があることを示し、データの見直しを提言した。JENDL の最新版である JENDL-4.0 では、この提言を支持する最新の測定値に基づいて熱領域の炭素の捕獲断面積が従来値よりも 9%大きい値に見直され、JENDL-4.0 の公開に貢献した。JENDL-4.0 を用いることで、従来からの問題であった HTTR 臨界近接試験における試験結果と解析結果の不一致を解決するとともに、高温ガス炉の核特性解析に対する適用性の面で

JENDL-4.0 が他のライブラリに比べて優れることを明らかにした。

第 3 章では、棒状 BP の高温ガス炉における反応度制御に対する有効性を HTTR の過剰反応度の燃焼変化を表す制御棒位置の測定値を用いて検討した。HTR50S の反応度制御には HTTR の場合と同様に棒状 BP を用いるが、高温ガス炉におけるその有効性は実証されていなかった。HTTR の燃焼に伴い変化する制御棒位置の測定データを解析した結果、燃焼期間 660 EFPD (Effective Full Power Days) にわたって過剰反応度が設計通りに小さく保たれることが確認できた。これにより、高温ガス炉の反応度制御における棒状 BP の有効性を実証することができた。

第 4 章では、高温ガス炉の核特性解析手法の改良とその妥当性の検討を行った。HTR50S の核設計では、HTTR の核設計と同様に、中性子拡散コードを用いた全炉心計算を行って核特性を評価した。従来の HTTR の核特性解析では、全炉心計算に用いる少数群定数の作成は燃料ピンセルモデルを用いたセル計算の値を用いて行われていた。しかしながら、燃料ピンセルモデルでは、燃料ブロックの外周部に偏在する黒鉛の中性子減速に及ぼす影響を精度良く取り扱うことができなかった。この問題を解決するために、燃料ブロックを単位セルとするブロックセルモデルを導入してセル計算手法の改良を図った。その妥当性は、モンテカルロ計算コードによる精密計算値と比較することで定量的に示せた。また、国内で広く用いられている核特性解析コードシステム SRAC を改造し、本システムでは従来できなかった被覆燃料粒子に起因する二重非均質性（燃料コンパクト構造と燃料ブロック構造）を考慮した炉心燃焼計算を行えるようにした。ブロックセルモデルと改造した SRAC コードシステムを用いて HTTR の炉心燃焼計算を行い、燃焼に伴う過剰反応度の変化を表す臨界制御棒位置の変化を推算した。推算結果は HTTR の測定された制御棒位置の変化を精度良く再現した。これにより、高温ガス炉の核特性解析手法の妥当性を示すことができた。

第 5 章では、改良した核特性解析手法を用いて HTTR をベースとする HTR50S の核設計を行った。ここでは、HTTR と比較して燃料濃縮度の種類および制御棒本数を減らすことによるコスト削減と出力密度の向上による高性能化を目標とし、燃料および BP の配置等の改善を検討した。具体的には、HTTR の設計技術を基盤として、出力密度分布が炉心径方向には均一で、軸方向には冷却材温度が低い炉心上部で高くなるように燃料の配置とその濃縮度を決め、さらに、この出力密度分布が運転期間にわたって保たれるように BP の配置とその濃度および形状を決めた。その結果、HTTR では 12 種類あった燃料濃縮度を 3 種類に、制御棒を HTTR に比べて 6 本削減した上で、出力密度は約 1.4 倍、燃焼度は約 1.5 倍で、2 年間の長期連続運転が可能な炉心を設計することができた。

第 6 章では、本研究で得られた成果および今後の展望をまとめた。