

審査の結果の要旨

氏名 鈴木勝男

本論文は原子炉の反応度推定器と異常反応度検知システムの開発についてまとめたものであり、7章より構成されている。

序論では原子炉プラントをより安全に運転するために、運転の基本量である正味反応度をオンライン・リアルタイムで監視することがのぞましく、なんらかの反応度異常が生じた場合には、それを早期に検知するシステムの開発が望まれるとしている。既存の逆動特性方程式法による推定反応度には大きな揺らぎを伴うという欠点があり、この欠点を補うため開発されたカルマン反応度推定器設計には、極めて煩雑で見通しの悪い試行錯誤的な繰返し計算が伴うとしている。そこで本論文の第1の研究目的は、反応度推定器の簡潔で見通しよい設計法を開発することであり、第2の研究目的は、周期的あるいは持続的に変化する原子炉の異常反応度を早期検知するシステムを開発することであるとしている。

第2章は最適 H_{∞} 推定器の設計法の導出について述べている。

Nagpal らは3つの仮定の下で最適 H_{∞} 推定問題の基本的解法を与えたが、実用上の困難がある。本章では、著者が考案したその拡張解法を用いて、システム雑音から推定誤差への伝達関数と計測雑音からの伝達関数に対し適当な周波数重みを与え構成したシステムの最適 H_{∞} 推定器の設計法を導出している。この設計法では、ひとつの実数パラメータに対する単純な繰返しにより、最適 H_{∞} 推定器が設計される。この簡潔さは、カルマン推定器設計法における雑音共分散行列をパラメータとする煩雑な繰返し設計に比べると、設計の実際上、大きな利点であるとしている。

第3章は最適 H_{∞} 反応度推定器の設計と反応度推定実験について述べている。

高速実験炉「常陽」炉心の最適 H_{∞} 反応度推定器を、通常の変換中性子6群・一点炉近似原子炉動特性モデルに反応度状態方程式を追加した設計モデルに基づき、設計している。次に、数値実験を行い、2章で述べた設計法が簡潔で実用的であること、最適 H_{∞} 推定器は全周波数通過特性をもつこと、小さい反応度外乱に対して良好な推定特性を示すが、大きな外乱に対しては定常オフセットが生じることなどを明らかにしていた。

第4章は非線形 H_{∞} 反応度推定器の開発について述べている。

定常オフセットを解消するため、拡張カルマン推定器の構成法を参考とし、最適 H_{∞} 反応度推定器から非線形推定器を構成する方法を考案している。数値実験により、通常運転における反応度変化の範囲では、非線形 H_{∞} 反応度推定器は安定であり、非線形 H_{∞} 反応度推定器により定常オフセットが解消されることを確認している。

第5章は VHTRC における反応度推定実験について述べている。

開発した H_{∞} 反応度推定器の実機適用性を検討するため、原研の臨界実験装置 VHTRC を

用い、制御棒手動操作法、アンチ・エリアシング・フィルタ仕様、VHTRC 核動特性の非線形性などをオフライン予備実験で検討した後、オンライン・リアルタイム反応度推定実験を行っている。その結果、逆動特性方程式法やカルマン反応度推定器と比較して、 H_{∞} 反応度推定法が即応性、推定精度とも良好であることを確認し実機適用の見通しを得たとしている。

第6章は H_{∞} 推定器を応用した異常反応度検知システムの開発について述べている。

これまでに開発された異常反応度検知システムでは、動的に推定された正味反応度と静的に推定された温度フィードバック反応度に基づき、異常反応度検知が行われた。しかし、このような静的推定法を用いた検知法では、原子炉出力や原子炉冷却材温度が周期的あるいは持続的に変動する原子炉の異常反応度の検知性能には限界がある。そこで、正味反応度と温度フィードバック反応度を最適 H_{∞} 推定器を用いて動的推定する異常反応度検知システムを提案している。このシステムを高速実験炉「常陽」を対象として構築し、その数値実験を行っている。その結果、ステップ状の反応度外乱や温度外乱に対して、定常偏差ゼロ、揺らぎ標準偏差 0.1% の精度で数秒以内に異常反応度を検知するとして持続的に変動する異常反応度外乱や冷却材温度外乱およびこれらの複合外乱の発生時にも異常反応度を良好な精度で早期に検知できることを示せたとしている。

第7章は結論を述べている。原子炉運転の基本量である正味反応度に対する新しい H_{∞} 推定器の設計法を開発すると共に、それを応用した反応度異常検知システムを開発し、数値実験および実機試験に基づく特性評価により、それらの実機適用の見通しを得たとしている。

本論文は原子炉の反応度推定と異常検知について新たな方法を開発しておりシステム量子工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。