

## 審査の結果の要旨

氏 名 山路 哲史

本論文はスーパー軽水炉の炉心及び燃料を設計検討したもので論文は 7 章より構成されている。

第 1 章は序論でスーパー軽水炉の炉心・燃料設計の課題について述べている。先行研究の R-Z 二次元炉心計算による設計では、燃料集合体毎にモデル化した非均質炉心の計算が不可能であったため、主要な設計及び研究開発要素を考慮して、炉心設計で最も重要である炉心平均出口温度を示すことができなかつたとしている。また、設計の熱的制限値やプラントの異常な過渡変化時における基準が保守的であったため、燃料被覆管の候補材料の選択や開発、炉心平均出口温度等の炉心性能、安全系の設計等が過度に制限されてしまう可能性があるとしている。そこで炉心・燃料設計の考え方と手法を確立し、主要な設計及び研究開発要素を考慮して炉心平均出口温度を示す必要があるとしている。

第 2 章は本研究で確立された炉心・燃料設計の考え方と平衡炉心の設計手法について述べている。設計の考え方は、目標とする炉心平均出口温度を達成するために必要となる主要な設計及び研究開発要素を炉心及び燃料の設計と、三次元炉心計算、サブチャンネル解析、統計的熱設計、燃料棒解析によって定量的に示すというものであるとしている。設計目標は炉心平均出口温度 500 以上としている。設計手法は、汎用の炉心核計算コードと先行研究で開発された熱計算コードを結合した三次元炉心計算を用いたものであるとしている。

第 3 章は平衡炉心設計について述べている。炉心設計における主要な設計要素は冷却材の炉内流動と炉心出力分布であることが定量的に示されている。炉内流動は、炉心の外側に装荷されている燃料集合体を下降流で冷却した後に、炉心下部プレナムで折り返し、中央部に装荷されている燃料集合体を上昇流で冷却して、タービンへと冷却材を送る方式が、炉心平均出口温度の高温化に適していることが示されている。効果的な燃料の冷却のためには、炉心の径方向出力分布は平坦で且つ、運転中の変動が小さいことが望ましいとされている。軸方向の出力分布は、炉内の冷却材温度上昇が大きいため、下部ピークで運転すると熱的な余裕が増すとされている。一方で、超臨界水の伝熱流動の研究により、バンドル体系でスペーサによる伝熱促進効果も考慮した伝熱相関式を上昇流と下降流に対してそれぞれ新たに開発する必要があると指摘されている。

第 4 章は炉心設計の熱的制限となる被覆管表面最高温度の評価手法と結果について述べている。通常運転時の炉心のふるまいと燃料集合体の熱流動特性の考慮が可能となる、炉心計算とサブチャンネル解析を結合した評価手法が述べられている。この手法による評価結果に、先行研究から得られている工学的不確実性が被覆管温度に及ぼす影響の知見を合わせることで、主要な設計及び研究開発要素を考慮した被覆管表面最高温度と炉心平均出

口温度が示されている。燃料集合体中に生じるホットスポットを低減するためには、燃料装荷パターン、制御棒パターン、集合対中のガドリニア入り燃料棒の配置の改善が効果的であるとされている。

第5章は目標とされる炉心平均出口温度を達成するために、通常運転時に被覆管に期待される機械的強度要求について述べている。被覆管は炉心上部で高温となるため、期待される機械的強度要求で支配的となるのはクリープ破断強度であるとしている。クリープ破断強度に対する要求は燃料棒設計により大幅に低減できることができ、特に燃料棒ガスプレナムの下部設置や、燃料棒の内圧高設計が効果的であることが示されている。また、炉内冷却材温度上昇が大きいため、下部出力ピーク運転とすることで、燃料最高温度を低減し、PCMIを低減できるとしている。商用のステンレス鋼のクリープ破断強度を上回る高クリープ強度の被覆材料を開発する必要があるが、近年は高温クリープ強度に優れた改良ステンレス鋼が開発されており、これらと類似のステンレス鋼の改良により、必要となるクリープ強度が得られる可能性があるとしている。

第6章は通常運転時の異常な過渡変化時の基準合理化について述べている。被覆管の機械的破損をその塑性歪みで判断し、異常な過渡変化事象の時間スケールを考慮することで基準を合理化する考え方が、燃料棒解析によって示されている。実際の基準合理化には、異常な過渡変化事象の時間スケールを考慮した燃料棒の破損実験が必要と指摘されている。

第7章は結論であり、本研究のまとめが述べられている。

以上を要するに本論文はスーパー軽水炉の炉心及び燃料設計を研究し、主要な設計及び研究開発要素を明らかにしている。この成果はシステム量子工学の進歩に貢献することが少なくない。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。