

加速器駆動型黒鉛減速未臨界原子炉の 空間依存動特性の研究

学位論文内容の要旨

大強度陽子加速器を外部線源として未臨界原子炉の核分裂連鎖反応を維持する加速器駆動未臨界炉が、核的暴走の危険性を著しく低減することが可能な、新しい原子力エネルギーシステムとして世界各国で研究されている。

現状では、メガワットクラスの定常陽子ビームを生成することは、未だできていない。そのため、ミリ秒オーダーの陽子ビームの周期的入射により、未臨界炉心を駆動する方法が現実的である。

黒鉛減速高温ガス炉は高い固有安全性を有する。これを加速器駆動未臨界炉の炉形式として用いた場合、炉心の出力密度を低くすることにより、黒鉛減速型臨界炉と比較して格段の固有安全性を達成することができ、エネルギー需要地にたいする近接立地及び都市近郊立地も考えられ、広範な核熱利用が期待できる。また、 ^{233}U -トリウム燃料を用いることにより、高い転換比を達成することが可能である。

パルス中性子源により駆動される未臨界原子炉では、中性子密度の空間高調波の発生により、パルス中性子源の近傍において瞬間的な出力ピーキングが生じることが予想される。また、パルス状高速中性子入射に伴ない、炉心の熱中性子スペクトルに瞬間的な硬化が生じ、中性子吸収や熱中性子により引き起こされる核分裂などの核反応率を左右し、出力密度の瞬間的なピーキングに影響を及ぼすことが予想される。

近年、加速器駆動未臨界炉に関する研究が盛んに行われている。しかし、その多くはシステムを構成する個別要素の性能評価や、その評価に必要な核データを取得することを目的としている。加速器駆動未臨界炉の操作特性や安全性を左右する炉心の動力学の研究は未開拓の分野であり、今後の発展が待たれている。

本研究の目的は、パルス状高速中性子の周期的入射に伴う空間高調波の発生と熱中性子スペクトルの時空間変化を考慮して黒鉛減速型未臨界炉の出力密度の瞬間的なピーキン

グを調べ、空間依存動特性の特徴を定量的に示すことである。

第1章では、黒鉛減速型未臨界炉の空間依存動特性研究の必要性和意義を記し、第2章以下で取り上げられる種々の問題点について予備的な考察を行った。

第2章では、黒鉛減速型未臨界炉の特徴について記した。

第3章では、円筒形状の均質一領域炉心モデルと、熱中性子スペクトルの時空間変化を考慮した時間・エネルギー依存拡散方程式の高調波解析に基づく解法について記した。これによって、均質一領域問題にたいして熱中性子スペクトルが時空間で変動する問題を、高い精度で取り扱うことが可能になった。

第4章では、パルス状高速中性子入射に伴う熱中性子スペクトルの瞬間的な硬化が出力密度分布に及ぼす影響を調べ、さらに瞬間的な出力ピーキングに及ぼす増倍係数と世代時間の影響を調べることにより、黒鉛減速型未臨界炉の空間依存動特性を解析した。

炉心の瞬間最大出力密度と平均出力密度の比として定義した瞬間出力ピーキング因子の値は、3 ms の入射パルス幅の場合には 50 近くに達し、炉心の増倍係数と世代時間の大きさに強く依存することがわかった。また、入射されるパルス状高速中性子のパルス幅が小さく瞬間最大輝度が大きい場合には、パルス中性子源の近傍における熱中性子スペクトルが著しく硬化し、瞬間出力ピーキング因子の値に 10% を超える影響を及ぼす場合があることがわかった。

しかし、ここでの黒鉛減速型未臨界炉は、臨界炉と比較して炉心の出力密度を 1/10 以下に抑制して運転するとしており、瞬間的な出力ピーキングに伴う燃料温度の変動は小さく、安全上の問題にはならないことが分かった。また、 ^{233}U -トリウム燃料を用いた黒鉛減速型未臨界炉の世代時間の燃焼に伴う変化は小さく、このことは、増倍係数を一定に維持するように制御して燃焼させることにより、燃焼期間にわたり炉心の空間依存動特性をほぼ一定に制御できることを示唆しており、黒鉛減速型未臨界炉の操作特性上の長所であることが明らかになった。

第5章では、第3章で開発した高調波解析法の検証を行うために実施した、黒鉛減速材体系内の熱中性子束の測定について記し、パルス状高速中性子の入射により引き起こされる空間高調波が、熱中性子スペクトルに及ぼす影響について議論した。本研究で開発された手法による計算結果は、測定された飛行時間スペクトルを 10 % 以内の精度で再現できることがわかった。

第6章には、結論を記した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 鬼 柳 善 明

副 査 教 授 澤 村 貞 史

副 査 教 授 澤 村 晃 子

副 査 教 授 島 津 洋一郎

学 位 論 文 題 名

加速器駆動型黒鉛減速未臨界原子炉の 空間依存動特性の研究

大強度陽子加速器中性子源を外部中性子源として未臨界原子炉の核分裂連鎖反応を維持する加速器駆動未臨界炉が、核的暴走の危険性を著しく低減することが可能な、新しい原子力エネルギーシステムとして世界各国で研究されている。また、黒鉛減速高温ガス炉は高い固有安全性を有する。これと加速器中性子源を結び付け、加速器駆動未臨界炉とした場合、黒鉛減速型臨界炉と比較して格段の固有安全性を達成することができ、エネルギー需要地にたいする近接立地及び都市近郊立地も考えられ、広範な核熱利用が期待できる。また、 ^{233}U -トリウム燃料を用いることにより、高い転換比を達成することが可能である。

このようなシステムを考える場合、外部中性子源としてメガワットクラスの陽子加速器が必要となる。しかし、このパワーの定常ビームを生成することはまだできておらず、現状では、パルス状に運転を行う陽子線型加速器が最も可能性が高いと考えられる。そのためミリ秒オーダーの陽子ビームの周期的入射により、未臨界炉心を駆動する方法が現実的である。この場合、パルス中性子源の近傍において瞬間的な出力ピーキングが生じることが予想される。また、炉心の熱中性子スペクトルに瞬間的な硬化が生じ、中性子吸収や熱中性子により引き起こされる核分裂などの核反応率を左右し、出力密度の瞬間的なピーキングに影響を及ぼすことが予想される。

このような問題を調べるため、本論文では、時間・エネルギー依存拡散方程式の高調波解析に基づく解法を開発し、簡単化した加速器駆動未臨界炉について、空間依存動特性を明らかにした。特に、出力密度の瞬間的なピーキングは、システムの成立性にも関る問題であり、それを定量的に調べている。

本論文で得られた成果は以下のようにまとめられる。

1) 時間・エネルギー依存拡散方程式の高調波解析に基づく解法を開発し、実測した黒鉛減速材の飛行時間スペクトルデータを用いて、その妥当性を評価し、10 % 以内の精度で再現できることが分かった。これによって、均質一領域炉心の熱中性子束の強度とスペクト

ルが時空間で変化する問題を高い精度で取り扱うことが可能となった。

2) プルトニウムを装荷した炉心では、3 ms の入射パルス幅の場合には、瞬間的出力ピーキング因子が 50 近くに達し、炉心の増倍係数と世代時間の大きさに強く依存することが明らかとなった。3) パルス中性子源の近傍における熱中性子束のスペクトルの瞬間的な硬化は瞬間的出力ピーキング因子の値に 10% を超える影響を及ぼす場合があることを示した。4) 大きな瞬間的な出力ピーキングがあるが、それに伴う燃料温度の変動は小さく、温度変動の観点からは安全上の問題にはならないことが分かった。従って、ここで仮定した出力レベルならば、加速器は定常ビームである必要は無く、パルス中性子源でも運転が可能であり、加速器選択の幅を広げることができた。5) ^{233}U -トリウム燃料を用いた黒鉛減速型未臨界炉の世代時間の燃焼に伴う変化は小さいことを示し、黒鉛減速型未臨界炉の操作特性上の長所となることを明らかにした。

以上要するに、本論文は加速器パルス中性子源で駆動される黒鉛減速未臨界炉について、その空間依存動特性を調べ、出力ピーキングに関して詳細な知見を得たものであり、原子力工学の発展に貢献すること大である。よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。