

氏名	やまもとあきお 山本 章 夫
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	博 第 3 号
学位授与の日付	平成 10 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻
学位論文題目	Study on Advanced In-Core Fuel Management for Pressurized Water Reactors Using Loading Pattern Optimization Methods (装荷パターン最適化手法を用いた PWR 炉心燃料管理の高度化に関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 神田 啓治 教授 吉川 榮和 教授 代谷 誠治

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、加圧水型軽水炉の燃料装荷パターンの最適化問題を論じた結果をまとめたもので、6章からなっている。

第1章は緒言であり、本研究の背景、目的、意義などについて記述している。

原子力発電が、LNG火力など他の電源と競争力を維持していくためには、発電費用の20%強を占める燃料費（燃料サイクルコスト）を低減することが一つの重要な要因となる。また、燃料サイクルコストを低減することは、原子燃料に使用されるウラン資源を有効利用することにもつながるため、省資源の観点からも好ましい。本論文は、燃料サイクルコスト低減のため、国内の商業用発電炉の約半分を占める加圧水型軽水炉（PWR）における原子燃料集合体の配置方法（燃料装荷パターン）の最適化およびその応用について研究したものである。

PWRでは、制御棒は原子炉停止の際に使用され、運転中の炉心内出力分布のコントロールには使用しない。従って、燃料装荷パターンが炉心の安全性および経済性に大きな影響を持つことになり、その良し悪しが炉心の性能を大きく左右することとなるので、燃料装荷パターンの最適化（燃料最適配置方法の検討）が極めて重要となる。

第2章は、燃料装荷パターンの最適化に用いる手法に関するものである。

燃料装荷パターンは、炉心内における燃料の配置方法を示すものである。従って、その最適配置の計算は、炉心位置毎の燃料の組み合わせを最適化する問題として捉えることができる。しかし、燃料装荷パターンの最適化は、①燃料の配置方法（組み合わせ数）が $10^{20} \sim 10^{30}$ という膨大なものとなること、②炉心の安全性を確保するため炉心内の最大出力密度など多数の安全性に関するパラメータの制限値を満足する必要があること、③擬似的な最適解（局所最適解）が多数存在するため真の最適解（大局最適解）を見つけ出しにくいこと、④炉心特性の評価を複雑な計算プログラムを用いて行うため計算時間がかかること、などの問題があった。

そこで、このような性質を持つ最適化問題に対して有効である遺伝的アルゴリズムを燃料装荷パターン最適化に適用することを試みた。さらに、遺伝的アルゴリズムと、燃料集合体を2体ずつ交換する局所探索法を組み合わせた新しいハイブリッド最適化手法を提案した。その結果、このハイブリッド最適化手法は、計算時間は従来手法の1/3以下で、かつ安全性および経済性の観点から、より高度な装荷パターンを探索可能であることを確認した。

第3章は、ハイブリッド最適化手法の有効性の検証に関するものである。

PWR実機に装荷されている燃料構成を簡略化し、燃料配置に関するいくつかの制約条件を付加することにより、解を計算可能な標準的問題を設定した。その問題に含まれる全ての装荷パターンを評価し、最適解を求めた後に、ここで提案したハイブリッド最適化手法が、同じ最適解に到達可能であるかどうかを検討した。その結果、ハイブリッド最適化手法は、真の最適解に到達可能であり、またその探索効率が極めて高いことを確認した。

第4章は、実機の装荷パターン最適化を行うソフトウェアの開発および実機への適用に関するものである。

実機の炉心管理において、炉心特性解析から得られる膨大なデータを統一的に扱うことのできるソフトウェア、すなわち、

ハイブリッド最適化手法をベースとして、実機の燃料・炉心管理を行うためのソフトウェア“INSIGHT”を開発した。さらに、INSIGHTを実機へ適用し、従来手法では作業量の面から困難であった詳細な装荷パターンの検討も行えることを確認した。これにより、安全性・経済性に優れたより高度な装荷パターンの作成が可能となった。

第5章は、複数サイクルを考慮した装荷パターン最適化に関するものである。

複数サイクルの経済性を同時に考慮できる典型的なケースとして、平衡サイクルに着目し、複数サイクルを対象とする場合の経済的な装荷パターン作成方針について検討を行った。その結果、従来経済的と考えられていた中性子漏れを少なくする装荷パターンよりも、使用済み燃料の取り出し燃焼度を高める装荷パターンの方が経済的に有利であることが明らかになった。

第6章は結論で、本研究により得られた成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、燃料装荷パターンを研究した結果をまとめたものである。原子燃料費低減のため、国内の商業用発電炉の約半分を占める加圧水型軽水炉（PWR）における原子燃料集合体の配置方法（燃料装荷パターン）の最適化及びその応用について検討したもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. PWRの燃料装荷パターンの最適化手法について種々の角度から検討した。その結果、局所探索法と生物進化を模倣した遺伝的アルゴリズム法を組み合わせた新提案のハイブリッド手法が、燃料装荷パターン最適化においてきわめて有効であることを明らかにした。
2. 上記のハイブリッド手法をベースにした炉心管理用ソフトウェアを開発した。実プラントへの適用の結果、これまでは作業量の面から困難であった燃料装荷パターンの詳細な検討が可能になることが明らかになった。またこれにより、安全性・経済性に優れた高度な燃料装荷パターンの作成が可能となった。
3. 複数のサイクルにわたる燃料装荷パターンの最適化方針について新たに検討を行った。これまで、燃料装荷パターンは炉心からの中性子漏れ量を低減するよう作成されてきたが、使用済み燃料の燃焼度を増加させるようにすることで、経済性がより向上することを明らかにした。

以上要するに、本論文は最適化手法の応用により原子燃料の有効利用法に関して新たな知見を与えるとともに、原子燃料費低減について具体的方法を示したものであり、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成10年2月12日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。