

氏 名	下 桶 敬 則 しも おけ たか のり
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 794 号
学位授与の日付	昭 和 50 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	沸騰水型動力試験炉の特性試験と燃焼特性に関する研究

(主 査)
論文調査委員 教 授 若 林 二 郎 教 授 岐 美 格 教 授 柴 田 俊 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は沸騰水型動力試験炉 JPDR の核特性および燃焼特性を、実験的ならびに解析的に研究した結果をまとめたもので、3部15章からなっている。

第1部では、JPDR について行われた一連の特性試験のうち、核特性および燃焼特性に関連するものをまとめている。

第1章では、炉心設計の概要と第1炉心について行った特性試験の経過を説明している。

第2章では、ヒートバランス法による原子炉熱出力の測定試験の結果をまとめている。測定精度を向上させるためには、初期の出力上昇試験の際に原子炉の雑熱損失をできるだけ詳しく測定しておき、これを常に補正項として用いること、蒸気流量計の較正を頻繁に行ってその測定精度を上げること、流量計をバイパスする蒸気流量の推定を正しく行うことなどに、特に注意すべきであることを示している。

第3章では、種々の平均燃焼度の時点において行った、 γ プローブ試験による軸方向出力分布の測定試験の結果をまとめている。燃焼が進むにつれてホット・チャンネル係数が大きくなることを見出し、沸騰水型原子炉(BWR)では、余剰反応度の減少による制限に達する前に、最大限界熱流束の制限のため原子炉を停止しなければならなくなる可能性があるため、制御棒計画が運転上非常に重要であることを示唆している。また制御棒と気泡の相互作用により、ある条件の下では炉心上部に出力ピーキングが現われることを見出し、その条件を解析的に求めている。一方測定技術の面では、検出器の軸方向コリメーションの補正方法を確立している。

第4章では、種々の平均燃焼度の時点において行った、インコアワイヤーの照射試験による軸方向中性子束分布の測定試験の結果をまとめている。軸方向中性子束分布のピーク点の位置は、燃焼度約 1500 MWD/T を $\frac{1}{2}$ 周期として上下に長期的な振動をすることを見出し、その理由を制御棒の挿入位置、ボイド分布、燃焼度分布などから物理的に説明している。

第5章では、計装燃料による炉内の熱水力特性の測定試験および、ボイドメータによる炉内のボイド分

布の測定試験の結果をまとめている。計装燃料チャンネルにおけるサブクール温度、質量流量、出口蒸気体積率、出口蒸気クオリティなどと原子炉出力の関係を明らかにしている。また計装燃料チャンネルではタービン流量計が取付けられているため、圧力損失が大きくなって蒸気体積率が増大し、出力分布が小さくなるなどの影響が現われるが、これらを考慮して、計装燃料チャンネルよりえられた測定データより、全炉心に対するデータを類推するための補正方法を与えている。

第6章では、出力密度の低い JPDR を用いて、通常の BWR 型動力炉の出力密度条件下での燃料照射試験を可能にするため、局所的な一本の燃料棒で出力密度が2倍程度に大きくなるような、モンキー型燃料集合体を開発し、これを用いて照射試験を行ったときの、モンキー型燃料集合体および炉心全体の核特性を、解析的および実験的に検討している。なおこの燃料集合体の開発によって、国産の BWR 用燃料棒の照射試験がわが国で初めて可能になった。

第7章では、JPDR の運転記録より制御棒の引抜距離を抽出し、これとこれ迄の実測結果を総合して、JPDR の運転期間中における燃料の燃焼状況を求めている。

第2部では、一群粗メッシュ三次元近似計算により、JPDR の炉心特性および燃焼特性を解析し、第1部の特性試験の結果と比較検討している。

第1章では、米国 GE 社で開発された一群粗メッシュ三次元近似計算コード FLARE について、これに用いられている物理モデルおよび熱水力モデルを説明するとともに、これに用いられる中性子移動カーネルおよび反射体と接したノードにおけるアルベドの決め方に、経験的および実験的要素が含まれる点が問題であると指摘している。

第2、3章では、FLARE の核的および熱水力的入力データを、JPDR 炉心について求めている。ここで中性子移動カーネルとアルベドを除く入力データは、理論計算および JPDR の設計データより導いた定数を、初期炉心の実測結果にもとづいて修正することにより求めている。一方中性子移動カーネルを決めるパラメータ g およびアルベドは、初期炉心の実測結果から半実験的に求めている。

第4章では、JPDR の種々の運転条件および燃焼条件における試験結果は、FLARE を用いて行った計算結果と可成り良く一致することを示して、第2、3章に示した入力データの決定法の妥当性を実証している。しかし燃焼が進むにつれて試験結果と計算結果の差が徐々に大きくなることは事実で、これを改善するには、燃焼計算の基礎になる入力データに、燃料集合体内部における、局所的な出力および燃焼分布の効果を考慮する必要があると結論している。

第3部では、FLARE モデルの修正を行い、それにもとづく計算コードを開発して、これによる計算結果、FLARE による計算結果および実測結果などを比較検討している。

第1、2章では、6個の周辺ノードを考慮している FLARE モデルを、18個の周辺ノードを考慮するように修正し、各ノードへ中性子移動カーネルおよび、反射体に隣接している場合のアルベドを近似計算する一般式を導出している。

第3章では、ノード数の打ち切りによって現われる誤差を、パラメータ α を用いて軽減する手法を導き、JPDR および原子力船「むつ」の炉心では、このパラメータを近似的に1にすればよいことを数値実験的に示している。

第4章では、第1, 2, 3章に述べた手法にもとづいて開発した計算コード SCOPERS について、その特徴と計算機能を説明している。

論文審査の結果の要旨

動力炉の燃料管理および制御棒計画を行う際に、燃料の燃焼に伴う炉心の核特性の変化を正しく予測する手法を確立することが必要である。これについて米国 GE 社では、一群粗メッシュ三次元近似計算コード FLARE を開発しているが、その入力データは個々の原子炉について理論的および実験的に決める必要がある。本研究は、わが国で初めて発電を行った沸騰水型動力試験炉 JPDR について、燃料の燃焼に伴う核特性の変化に関する一連の特性試験を行って、JPDR の燃焼特性を検討するとともに、これより FLARE の入力データを決定する一般的な方法を確立したもので、その主な成果は次のとおりである。

1. 沸騰水型原子炉 (BWR) では、燃料の燃焼が進むにつれてホット・チャンネル係数が大きくなり、余剰反応度の制限に達する前に最大限界熱流束の制限のため、原子炉を停止しなければならない可能性のあることを実証している。

2. BWR では制御棒と気泡の相互作用のため、炉心上部に出力ピーキングが現れることのあることを見出し、その現れる条件を数値解析により明らかにしている。

3. JPDR では燃焼の進行に伴って軸方向中性子束分布に燃焼度約 1500 MWD/T を 1/4 周期とする振動が現われることを見出し、この現象に物理的な説明を与えている。

4. 出力密度の低い JPDR を用いて、約 2 倍の出力密度すなわち通常の動力用 BWR と同程度の出力密度で燃料棒の照射試験が行えるような、モンキー型燃料集合体を開発している。これによって、国産の動力用 BWR 燃料棒の照射試験がわが国で初めて行えるようになった。

5. 種々の平均燃焼度の時点で行った一連の特性試験の結果と、FLARE による計算結果を比較検討し、理論解析と初期炉心に対する実測結果のみを用いて、燃焼が可成り進んでも十分な精度で特性を計算できるような、FLARE の入力データの決定方法を確立している。この方法はその後 JPDR-II の設計、現在建設中の ATR の概念設計および敦賀原子力発電所の運転管理などに実用されている。

6. FLARE では 6 個の周辺ノードの結合を考慮するようになっているが、これを 18 個の周辺ノードとの結合を考慮するように修正するとともに、FLARE では実験的に決めるようになっている中性子移動カーネルおよびアルベドを、中性子の拡散および減速の理論を用いて近似的に計算する手法を与えている。

以上要するに本論文は、JPDR について一連の特性試験を行い、その結果を基礎として、BWR の運転管理に広く用いられる計算コード FLARE の入力データを、理論計算と初期炉心に対する実測データのみから決定する手法を確立するとともに、特性試験の過程で BWR に特有ないくつかの性質について新しい知見を与えたもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。