

氏 名	牧 野 格 次
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 236 号
学位授与の日付	昭 和 43 年 11 月 25 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	輸送拡散法による中性子の振舞の取扱いに関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 西 原 宏 教授 岐 美 格 教授 向 坂 正 雄

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は中性子輸送理論とその漸近形式である拡散理論との組み合わせによって原子炉解析を行なう新しい方法についての著者の研究をまとめたもので、緒言、2章、結言および付録から成っている。

著者は先ず緒言において、原子炉内の中性子の振舞を解析する際、体系を媒質の境界から十分遠くて拡散理論のよく成立する拡散領域と、境界に近い拡散理論の適用できない輸送領域とに分け、それぞれ拡散理論および輸送理論を用いて中性子束分布を解析する方法を提案し、これを輸送拡散法と名付けている。また実験室系において中性子の等分散乱を仮定し、輸送領域の解析に衝突確率法を採用することなど研究方針の概要を示している。

第1章は輸送拡散法を板状一次元の体系に適用したものである。第1節では輸送領域における中性子の平衡式が導かれている。輸送領域を小区間に分割し、各区間では中性子源、全断面積および散乱断面積が一定とする。各区間内での単位時間当りの衝突回数、領域内全区間における最終散乱と中性子発生の密度、および領域外からの中性子流入量にそれぞれの衝突確率を乗じて総和をとったものに等しい。また領域外へ単位時間当り流出する中性子数は、領域内全区間での最終散乱と中性子発生の密度、および反対側の境界面からの流入量にそれぞれの通過確率を乗じて総和したもので与えられる。輸送領域に隣接するのは拡散領域であるから、領域境界面における中性子束の角度分布はいわゆる拡散近似で十分よく表わすことができる。著者は上記の衝突確率および通過確率を E_3 関数および E_4 関数の組み合わせで表現する公式を導いている。第2節では拡散領域を小区間に分け、拡散方程式の形に変形し、拡散領域に対する中性子の平衡式を導いている。第3節では以上のようにして求めた中性子平衡式が、領域の境界における中性子流と、各小区間における中性子束についての連立一次方程式であって、体系内の中性子束分布は、この連立方程式を解いて求めうることが述べてある。

第4節は輸送拡散法を適用できる条件を検討する目的で、均質平板に対する反射係数、透過係数および漏洩係数を、輸送理論と拡散理論とで求めその結果を比較したもので、媒質の吸収が強く散乱比の値が1

より小あるいは大となるに従って拡散理論が不正確な係数を与えることが示されている。また原子炉の解析においては、輸送領域の境界における中性子束角度分布に対する拡散近似が非常によく成り立つことが示されている。

第5節では半無限均質平板に外部から中性子が入射した場合、および内部に一様で等方的な中性子源が分布している場合について、境界面からどれだけ離れると拡散理論が成り立つか、すなわち輸送領域の厚さをどのように選べばよいかを数値的に検討したものである。散乱比の3種の値について、それぞれ輸送領域の厚さを変えて輸送拡散法による計算を行なった結果によれば、特に散乱比が小さい場合、輸送領域の厚さが十分でないと拡散領域との境界面で中性子束に顕著な不連続があらわれる。一方厚さを増すところの不連続は減少するが計算量は増加するから適当な厚さを選ばねばならない。著者は平均自由行程の2ないし3倍という常識的な厚さがよいとしている。

第6節は B,C に不銹鋼を被覆した制御棒を板状に配列した制御板の反応度効果を輸送拡散法によって求めたものである。この型の制御板は沸騰軽水型発電用原子炉に用いられている。制御板の幾何学的形状が複雑なため、中性子平衡式に含まれる衝突確率および通過確率の表式を得るのにかなりの努力を要する。著者は指数積分、BICKLEY 関数などを用いて実用計算に堪える多数の公式を導き、さらに計算コード ARAY を作成して DRESDEN 2号炉の制御板効果を求めている。

第2章では、いわゆる D 格子状に規則正しく配列された十字形制御板の反応度効果が輸送拡散法によって解析されている。著者は先ず第1節で、解析の対象となる二次元体系および輸送領域と拡散領域の選り方を記述し、第2節では十字形制御板近傍にとった輸送領域における二次元中性子平衡式を、また第3節では制御板から遠い拡散領域における中性子平衡式を導いている。第4節は格子内中性子束分布の求め方を記したものである。

第5節は輸送領域における平衡式に含まれる18種の確率の計算式を導いたものである。著者によれば、これらの確率は3種の衝突確率と6種の通過確率をあらかじめ求めておけば、適当な座標変換によってすべての確率を計算できるのであり、さらにこれら9種の確率のうちで直接計算を必要とするのは5種で、残りはそれらの組み合わせで容易に求めることができるのである。著者は上記の確率を小区間の組み合わせについてさらに分類し、それぞれ計算式を導いている。それらの式は BICKLEY 関数を被積分項に含むただか2重の積分の形で与えられており、著者が見出した BICKLEY 関数の有理近似式を用いて精度よく数値計算することができる。

第6節では十字形制御板が隙間をあけずに配列されている場合の制御板による吸収量を輸送理論、拡散理論および輸送拡散法で求めた結果が比較され、最も正確であると考えられる輸送理論による結果に比較して拡散理論はかなり大きすぎる値を示すのに対し、輸送拡散法の結果はよい一致を示すことが明らかにされている。輸送拡散法による計算は著者の作成した CROS コードを用いて行なわれている。

第7節は Cd 十字形制御板をもつ臨界集合体 NCA の制御板効果を拡散理論および輸送拡散法で求めて比較したもので、エネルギー組み合わせは2組および4組の2通りを試みている。拡散理論による2組計算と4組計算の結果の比較から、減速による熱中性子源分布の形が制御板効果に強く影響することが見出されている。輸送拡散法の適用にあたっては、速い中性子の Cd による吸収が弱いことに着目し、2組計

算の場合には速い中性子には拡散理論が用いられている。4組計算には各組とも輸送拡散法を用いている。結論としては熱中性子の組に対してのみ輸送拡散法を適用すればよいと考えられる。NCA で行なわれたパルス中性子実験によって測定した減衰定数と計算値を比較すると、輸送拡散法は拡散理論より遙かにより一致を示している。

第8節では全領域を輸送理論で取扱うと輸送拡散法の数倍の計算時間を要することが示されている。最後に著者は、この方法が特に二次元問題に有用であることおよび軽水間隙に生ずる熱中性子束のピーキングその他の問題にも応用できることを述べて結言としている。

付録Aは拡散方程式の階差表示式から求めた漏洩係数、付録BはNCA標準炉心の組定数、付録CはCd制御板によるスペクトル硬化の組定数への影響、付録Dは制御板とその近傍の炉心の均質化法について記述したものである。

論文審査の結果の要旨

原子炉における中性子の振舞は Boltzmann の輸送方程式に従うのであるが、Boltzmann の方程式は特別な場合を除けば解析的に解くことが困難であり、数値解を求めるには長い計算時間が必要である。そのため、原子炉の設計あるいは解析には、輸送理論の漸近形式である拡散理論が用いられている。拡散理論は媒質の境界面や中性子源から中性子平均自由行程のおよそ3倍以上離れたところで成り立つものであるから、幾何学的に複雑な炉心構造をもつ動力炉の解析に直ちに適用することはできない。従って微細構造は輸送理論によって解析し、その結果を用いて炉心を均質化した上で拡散理論を適用しなければならない。

そこで著者は、媒質の境界に近い部分（輸送領域）では輸送理論を、境界から遠い部分（拡散領域）では拡散理論を適用する方法を提案し輸送拡散法と名付けている。このような着想は多くの人がもっていたものと思われるが、他にこれを実現した例は見当たらない。著者は輸送領域の解を求めるのに衝突確率法を用いて成功している。衝突確率法では、領域の内部で発生しあるいは外部から入射した中性子が領域内の各所で衝突しあるいは衝突せずに通過する確率を求めるのに多くの手数を要するのであるが、一たんこれらの確率が求まれば中性子束分布を計算することは容易である。この論文には、沸騰軽水炉のかなり複雑な断面構造をもつ制御板や十字制御板のD格子配列などの二次元問題について、上記の衝突確率と通過確率を計算するための実用的な公式が数多く示されている。この論文で取扱われている適用例は主として制御板の反応度効果に限定されているが、この輸送拡散法は水間隙における熱中性子束ピーキングその他の種々の問題にも広く応用することができる。

以上述べたように、この論文は原子炉における中性子の振舞や反応度効果などを求めるのに非常に広い適用性を備えた新しい方法を開発し、計算に必要な数多くの公式を導いたものであって学術上、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。