

氏 名	亀 井 孝 信 かめ い たか のぶ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 848 号
学位授与の日付	昭 和 51 年 1 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	Study on Calculational Method of the Slowing-Down of Neutrons for Fast Reactor Analysis (高速炉の解析のための中性子の減速の計算手法に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 西 原 宏 教 授 岐 美 格 教 授 柴 田 俊 一

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、高速中性子増殖炉における中性子のエネルギースペクトルを詳細に解析して多群実効断面積を求めるための一連の計算のなかで、特に中性子の減速方程式を精度よく、また効率よく解くための計算法について、著者の行った研究をまとめたものであって、5章及び附録から成っている。

第Ⅰ章は緒論で、今日まで広く使われて来た計算法を概観したうえで、(i)非弾性散乱による中性子減速の起る領域、(ii)燃料核種間の共鳴の重なりによる干渉効果の生じる領域、及び(iii)燃料核種の共鳴と構造・冷却材の大きな共鳴の共存する領域、を3つの問題領域と名付け、これらの領域に対しては、それぞれ新しい計算法の開発が必要であることが指摘されている。

第Ⅱ章は問題領域(i)における中性子の漸近スペクトルを、連続減速理論によって求める新しい方法を導いたものである。中性子のエネルギースペクトルの満足する積分方程式、すなわち減速方程式、はそのままの形では解くことが困難なので、減速密度に関する微分方程式に、近似的に交換して解く。GoertzerとGreulingによるGG近似では、散乱密度をTaylor展開して1次の項までとる。これを改善したIGG近似法では、全衝突密度に同様の近似を行う。非弾性散乱の起る高速中性子領域では、1回の散乱による減速幅が広く、両近似とも適用できないため、組分け法を併用しなければならない。著者の方法は、求めるスペクトルと、適当に選んだ近似関数との比をTaylor展開して1次の項までをとり、逐次近似によって精度を上げるもので、収束が速く、非弾性散乱による減速も一括して取り扱うことができる。近似関数について予備知識のないときは、核分裂中性子の累積スペクトルから出発するが、第2近似ですでに実用上十分な精度が得られる。この第2近似に含まれる核種ごとのスペクトル・パラメータを集録したものは、ライブラリとして高い実用性をもつ。著者は多くの数値例によってこの方法の有効さを立証している。

第Ⅲ章では、問題領域(ii)が取り扱われている。2種類の燃料核種、たとえばU238とPu239、が共存する場合に、吸収相対分布パラメータと称する量を用いると、2核種が共存する場合と、単独に存在する場合の吸収量の差を、中性子束の平均レベルの低下による因子と、平均のまわりの歪みによる因子とに分

解して評価することができる。著者がこの領域の計算のために作成したプログラム RICH2 では、分離共鳴については既知の共鳴パラメータを用い、非分離共鳴に対しては乱数による共鳴列の発生法を用いて断面積を発生し、Doppler 巾の数分の一のエネルギーメッシュをとり、空間的には2領域衝突確率法を用いている。この方法で著者の行った多くの計算結果から見て、代表的な高速炉の組成については、増倍係数等の積分量に対する干渉効果は無視できる程度に小さい。最後に、著者は干渉効果の計算時間を短縮する目的で、半解析的な計算法を提案し、共鳴しやへい因子について、RICH2 による結果と比較し、実用に堪えると結論している。

第IV章は問題領域(i)における実効断面積を精度よく、短時間に計算する方法を記述したものである。Chernick による領域の脱出確率法に基づく減速方程式を用いる。エネルギーについては、構造・冷却材の大きな共鳴を再現できる程度の粗メッシュと、燃料核の狭い共鳴を再現できる微細メッシュの2重構造をとる。粗メッシュを用いて計算した中性子のスペクトルは、部分的に2次曲線による内挿を行って、微細メッシュの計算に用いる。燃料核の個々の共鳴にはNR近似を用いて計算時間の短縮をはかる。微細メッシュ計算で得られたスペクトルを重みとして、粗メッシュに対する燃料核種の実効断面積を求める。これを用いて、再び上記の2重メッシュ計算を行って精度を上げる。著者はこの方法によるプログラム EXRE2 を作成し、Na の2.85keV における共鳴附近の数値解析を行って、(1)炉心の非均質効果は、Na の共鳴レベルの極く近傍を除けば無視できること、(2) Na の共鳴にも NR 近似を用いると、燃料核種の実効断面積にも Doppler 効果にも大きな誤差を生ずること、等を明らかにし、併せてこの方法の有用なことを示している。

第V章は、主な結果を要約したものである。また、本文中で省略した式が附録に示されている。

論文審査の結果の要旨

高速中性子増殖炉（高速炉）の設計には、核特性の詳細な数値解析が必要である。この解析に用いる実効断面積は、中性子反応断面積を中性子のエネルギースペクトルの重みで平均して得られるものである。中性子スペクトルは減速方程式を数値的に解いて求めねばならない。この論文は、上述の一連の計算のなかで、特に減速方程式を精度よく速かに解くための計算法について著者の行った研究を述べたものである。

著者は高速炉における中性子スペクトルを(i)非弾性散乱による中性子減速の起る領域、(ii)燃料核種間の共鳴の重なりによる干渉の起る領域、及び(iii)燃料核種の共鳴と構造・冷却材の大きな共鳴の共存する領域に分け、これらの領域について、それぞれ新しい計算方法を研究している。得られた主な成果はつぎの通りである。

(1) 減速方程式は積分方程式の形で与えられるが、これを直接解くことは困難であり、減速密度に関する微分方程式に近似的に変換する連続減速理論が用いられる。従来は、散乱密度または全衝突密度を Taylor 展開して1次の項までをとる GG 近似またはその改良形が用いられて来たが、非弾性散乱による強い減速が起る領域(i)では近似が非常に悪く適用できない。著者の方法は、中性子スペクトルとその近似関数の比を Taylor 展開し、逐次近似で精度を上げるもので、少数回で速かに収束し、得られた結果は正確で、展開の打ち切りによる誤差を含まない点ですぐれている。

(2) 上記(1)の計算の際に得られる核種ごとの減速パラメータを集録、整備したライブラリを用いると、高速炉のスペクトル計算を短時間で実行でき、従って実効断面積を求めるのに甚だ有用であり、また多領域炉の超多群計算が可能となる。

(3) 2種類の燃料核種の共鳴列が共存する領域(Ⅱ)において、空間2領域格子の中性子スペクトルの超多群計算を行う方法を導き、計算コード RICH2 を作成した。そのなかで、吸収相対分布パラメータを導入することによって、2核種が共存する場合の共鳴吸収に対する、中性子束の平均値の傾斜の影響と平均値のまわりの歪の影響とを分離することに成功し、核種間の共鳴の重なりによる干渉効果を評価する明確な方法を与えた。また、U238 と Pu239 を含む典型的な高速炉では、干渉効果が実用上無視できる程度であることを明らかにした。

(4) 同じく領域(Ⅱ)に対して、計算の所要時間を短縮するため、Rowland の展開と乱数による非分離共鳴列発生法を組み合わせた計算法を考案し、数値例によってその有用性を示した。

(5) 構造・冷却材の大きな共鳴と燃料核の共鳴の重なる領域(Ⅲ)に対しては、エネルギー粗メッシュと2次曲線補間及び微細メッシュと燃料核の共鳴に対する NR 近似を組み合わせた計算法を提案し、計算コード EXRE2 を作成し、Na の 2.85keV における大きな共鳴の附近について詳しい計算を行って非均質効果を検討し、さらに Doppler 効果に対する Na の共鳴の影響を明らかにした。この方法は、ナトリウム・ボイドの発生に伴う高速炉の安全性の解析にも有用と考えられる。

これらの方法は、現在わが国で設計の進められている高速原型炉「もんじゅ」の核設計に、炉心モックアップ実験の結果を反映するために活用され、成果をあげている。

以上述べたように、この論文の内容は高速炉における中性子減速の計算法について研究し、実用性の高い新しい方法を導いたもので、学術上、實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があると認める。