

学位論文題名

高・中速中性子スペクトルの飛行時間測定法に関する研究

学位論文内容の要旨

原子炉炉心における中性子スペクトルは、臨界質量、中性子束分子、制御棒効果、反応度の温度係数、増殖比等の原子炉のほとんど総ての核的特性に影響を与える因子である。高速中性子体系においては、体系の組成、断面積に強く依存し、体系毎に異なった形をしている。従って高速中性子スペクトルの把握は、核特性計算の最も重要な要素である。しかし設計に用いられる各核データライブラリー間には食い違いもあり、未だ実験結果と計算結果の完全な一致にはいたっていない。原子炉材料体系内の中性子の集団的振舞いを反映する中性子スペクトルで核データを評価することは、微分断面積データを直接求めるなどの微分測定とは原理の異なる実験による評価という意味があり、併せて計算コードの精度の検証にも有効である。

パルス状中性子源を用いて、単純な形状の単一材料集合体中の中性子スペクトルを、飛行時間法(TOF法)で測定し理論解析の結果と比較するベンチマーク実験が開発され、核データの評価等が進められている。数 keV から十数 MeV の中性子スペクトルを対象にしたベンチマーク実験は、核データの評価はもとより、遮蔽設計や核融合炉中性子工学においても重要になってきた。高・中速中性子スペクトル測定は正確な検出器効率の把握や、中性子が γ 線と混在することや高速領域には有効な中性子吸収体が無く SN 比向上のための困難さを伴う等、技術的に難しい実験である。

本論文は、高速炉材料、核融合炉材料の核データの評価や遮蔽設計のためのベンチマーク実験、高・中速中性子標準場の作成等を目的として開発した、高・中速中性子を対象にした飛行時間分析装置を中心としたスペクトル測定法について書かれたものである。時間分析器における計数損失補正、高速マルチチャンネルスケーラ(MCS)の開発、2次元波高分析器の開発と検出器効率の校正実験や時間依存スペクトルの測定への応用等について述べるもので8章からなる。

第1章は序論であり、高・中速中性子スペクトル研究の意義、本研究の目的などについて述べる。

第2章では、高・中速中性子スペクトル測定法の全般について概説を行い、本研究で主に使用

する中性子飛行時間法の測定の原理などについて述べる。

第3章では、電子線型加速器（LINAC）を利用した黒鉛体系の漏洩中性子スペクトルの測定を通して、中性子コリメータや検出器の効率、時間分析器における計数損失等に留意して開発した高・中速中性子スペクトル用飛行時間分析装置の概要、測定法、データ処理法について述べる。ついで、実験対象体系の中性子スペクトル計算について述べ、実験結果との比較検討を行う。

数 MeV 以下の中性子スペクトルは5%以下の精度で求めることができ、パルス中性子法による高・中速中性子に関する飛行時間実験を対象にした総合的なシステムが完成した。飛行時間分析器には、通常MCSは、時間分解能の点から適さず、時間波高変換器（TPHC）と多重波高分析器（PHA）を組み合わせた時間分析器が使われる。ただ1パルス1計数型であるので、高強度パルス源を利用した飛行時間実験に使用するには制約がある。しかし本分析装置のために作成した、トリガ信号入力後任意の時間入力信号を除去できるアンチコインシデンス・ゲート回路は、測定データに対する計数損失補正式と相まって有効であった。

第4章では、LINAC-TOF法の時間分析器に、TPHC-PHA時間分析器を使用した場合の計数損失補正式を求めるとともに、実験的にこの補正式の妥当性を検証する。測定時間中に発生した全リニアックパルスに対する、ある飛行時間チャンネルの計数の寄与するパルスの割合の物理的考察から計数損失補正式を求めた。補正式の妥当性の検証にアンチコインシデンス・ゲート回路のゲート幅を適宜変えて実験を行った。TPHC-PHA時間分析器は、この回路の採用のもとに本補正式の適用により、本来低計数率でしか使用できないという欠点を補い、1パルスあたり1以上の高強度にも適用できる。

第5章では、高・中速中性子スペクトル測定に適応できる、高時間分解能を有するMCSの開発について述べる。TOF法による高速中性子スペクトルの測定には、極めて高速な時間分解能が要求される。到来信号を時系列に記録していくメモリに画像処理用の高速シリアルアクセスメモリを用いて、パソコンをベースにした高速中性子TOF測定用高速MCSシステムを開発した。このMCSはドウェルタイムは50nsで、15m程度の短い飛行距離でも、数MeV以下のエネルギーの中性子が分析可能である。またラインメモリを2バンク構成にし、交互に切り換えて使用することにより実質的なサイクルタイムを短縮しパルスの高い繰り返しにも適応できるようにした。

第6章では、パルス中性子源法による飛行時間スペクトル測定には本質的につきまとう時間依存性を検討する目的で開発した、時間とエネルギー等の2次元測定のための、パソコンをベースにした2次元多重波高分析システムについて述べる。

このシステムは、セグメントレジスタの動的な活用による大容量の配列データの容易な取扱や、

座標に対応したビットデータを直接グラフィックメモリへ書き込む方法によるグラフィック表示の高速化等、パソコンの処理速度やメモリ容量等の機能を有効に利用した高性能で簡便なシステムである。さらにこのシステムを2台のパソコンにより構成し、それぞれのCPUが資源を共有しながら、独立に動作し、リアルタイム処理を行うマルチタスクのシステムに拡張し、さらに安定なシステムとした。

第7章では、パソコンをベースにして開発した2次元多重高分析システムの高・中速中性子スペクトル測定への応用について述べる。第1は中性子検出器の効率および応答関数の測定への利用である。高速中性子スペクトルの標準スペクトルとみなせる ^{252}Cf 自発核分裂中性子源を、個々の核分裂事象に着目しパルス源とみなし利用した、液体シンチレータNE213の検出器応答関数の実験的評価で、中性子エネルギーと検出器出力波高の2次元測定である。これにより通常バンデグラフ加速器等からの単色中性子ビームで行っているこの種の実験に連続中性子ビームの利用の道を開いた。

第2の適用例は高速炉材料体系内の時間依存スペクトルの測定である。理論計算により時間依存スペクトルは非弾性散乱断面積等の変化に敏感であり、群構造にも依存することがわかった。2次元多重波高分析システムを用いて、飛行時間法と波高分布測定法の組合せによる方法によって、空間と角度に関する時間依存スペクトルのような2パラメータの同時測定が可能になった。

第8章では、得られた結論をまとめて述べる。

以上、高・中速中性子エネルギースペクトル測定用飛行時間分析システムを開発し、測定法を検討した。さらに時間依存スペクトル測定技術への発展を試み、有用な結果を得た。

学位論文審査の要旨

主査	教授	成田正邦
副査	教授	山崎初男
副査	教授	阿部寛
副査	教授	榎戸武揚

中性子エネルギースペクトルの研究は原子炉の核設計、遮蔽設計、核融合炉ブランケット設計等で極めて重要な役割を担っている。特に、高・中速中性子のスペクトルは、核反応断面積の評

価、高速炉の炉心設計、構成材料の中性子損傷などに多くの影響を与えるものである。またこれは中性子遮蔽設計に重要であるばかりではなく、将来の核融合炉のトリチウム生成率の評価などのためにも重要性を増してきている。

高・中速中性子スペクトルの実験的研究は、スペクトル測定のための良好な検出器の不足、 γ 線との混在などのため難しい技術が要求される。このため実験で得られたスペクトルは、理論計算結果と比較検討するためには十分な精度とはいえなかった。

本論文は、理論解析と実験結果を比較検討する目的で、電子線形加速器を使って原子炉材料などの高・中速中性子スペクトルを飛行時間測定で決定するための装置の製作および測定法の改良に関するものである。全体は8章から構成され、主な研究成果は以下のように要約される。

1章および2章は、高・中速中性子スペクトル測定研究の現状と電子線形加速器をパルス中性子源とする飛行時間測定法を概説したものである。

3章では、北海道大学45MeV電子線形加速器の飛行時間分析装置の概要、黒鉛体系の中性子スペクトルを測定したとき発生した諸問題、中性子コリメータの製作法、検出器効率、時間分析器の計数損出補正公式、データ処理法など本研究の先駆けとなる問題を提起している。さらに時間波高変換による飛行時間分析器にアンチコインシデンス・ゲート回路の使用など2、3の問題に対する有効な解決法を提示している。

4章では、前章で提起した時間波高変換-時間分析器の計数損出補正問題に理論的解決法を提供し、実験的に補正公式およびアンチコインシデンス・ゲート回路の使用の有効性を確認している。その結果、飛行時間分析に必要な測時間を減少させることに成功している。

5章では、新しい考えに基づく飛行時間分析のための装置、40ナノ秒ドエルタイム高速マルチチャンネル・スケーラを製作し、その性能を確認している。これは現在、市販されているものより1桁高速のマルチチャンネル・スケーラである。これにより15mの飛行距離で数MeVの中性子エネルギーが測定可能になったことが示されている。

6章では、時間とエネルギー等の2次元測定のための、パソコンをベースにした2次元多重波高分析システムの製作と性能について述べている。これは飛行時間スペクトル(エネルギースペクトル)の時間依存性を検討する目的で開発された。

このシステムは、パソコンの処理速度やメモリ容量等の機能を有効に利用した高性能で簡便なシステムである。さらにこのシステムを2台のパソコンにより構成することによって、それぞれのCPUが情報を共有しながら、独立に動作し、リアルタイム処理を行うマルチタスクのシステムに拡張した。この結果従来、極めて高度の技術を要した時間的に変化するエネルギースペクトル

ルの測定が比較的簡便なものとなった。

7章では、2次元多重波高分析システムの高・中速中性子スペクトル測定への応用を2つ記述してある。

第1は ^{252}Cf 自発核分裂中性子源を、高速中性子スペクトルの標準スペクトルとみなして、液体シンチレータの検出器応答関数を2次元測定で行って成功している。これは単色中性子ビームで行っているこの種の実験に連続中性子ビームの利用の道を開いた極めてユニークな方法である。

第2は2次元多重波高分析システムの本来の利用方法である時間依存スペクトルの測定である。これにより時間依存スペクトルは非弾性散乱断面積等の変化に敏感であり、原子炉解析で使用するエネルギー群構造にも依存することを明らかにしている。

8章は、結果と結論をまとめてある。

以上のように、本論文は、北海道大学45MeV電子線形加速器に、飛行時間法による高・中速中性子スペクトル測定システムを完成させ、いくつかの新しい測定法と分析装置を開発し、それらの有用性を示したもので、放射線計測学および原子炉工学に対して貢献すること大いなるものがある。

よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。