

報告番号

※ 21907 号

主論文の要旨

題名 減速材領域応答関数法による
原子炉動特性の研究

氏名 山根義宏

主論文の要旨

1.

報告番号

※²第1907号

氏名

山根義宏

研究の背景 原子炉の中性子増倍が関与する現象を調べる炉物理のうち、中性子集団の時間的挙動を扱う分野を原子炉動特性の研究という。この動特性を扱う手法の1つにモード法とよばれる方法がある。これは、原子炉を多数の小領域(モード)に分割し、その小領域を代表する量(例えば、小領域毎に積分した中性子数)の収支を表わす連立方程式を解く事により動特性を扱う。このモード法は、同じ動特性を固有値問題の1種として扱うモード法よりは、物理的に取りえ易く、また比較的容易に測定できるパラメータで方程式が記述されているので、実験的側面からはこの方法が良く使われる。

このモード法の代表に“1点炉近似動特性方程式”がある。これは制御の分野の“集中定数近似”に相当する。この方程式は、空間・時間依存中性子束 $\phi(x,t)$ を空間の関数 $R(x)$ と時間の関数 $T(t)$ とに変数分離した後に、原子炉全体を1領域とみなして全空間にわたって積分する手続きで導かれる。従って、1点炉近似は原子炉のいかなる場所も同じ時間挙動を示すと仮定している。

ところで、一般に原子炉は中性子増倍物質を含む領域(以下炉心とよぶ)を中性子経済を有利にする目的で反射体(主に中性子減速材からなり、炉心から洩れ出た中性子を炉心に戻す効果がある)で囲んだ、いわゆる反射体付原子炉が大部分である。この様に中生子に關する性質の異なる領域から構成される多領域体系を、先の1点炉近似で

主論文の要旨

2.

報告番号	※甲第	号	氏名	山根義宏
------	-----	---	----	------

扱う事は厳密には誤りである。しかし、動特性パラメータの中性子生成時間（核分裂から次の世代の核分裂までの平均時間）を反射体の無い裸炉のそれに比べて長くなる様に修正すれば、反射体付炉の動特性も裸炉の1点炉近似動特性方程式と同じ型の方程式で扱えるとされている。ところが、この根拠および生成時間修正方法の手続きは明確ではない。

またこれとは別に、複数個の炉心が結合領域（主に中性子減速材からなる）を介して互に影響しあい全体として原子炉を構成している結合型原子炉の動特性は、各炉心を1点炉近似で扱い、別の炉心の影響を“結合係数”を使って1点炉近似方程式に取り込む方法で扱われて来た。これを Baldwin 型方程式と総称している。ところで、この結合の効果は物理的洞察にたよって附加した項である為には、Baldwin 型方程式には、そこに含まれる結合係数などの動特性パラメータを予め理論計算で決め得ないという欠点がある。

新しい方程式 本研究では動特性方程式を導くのに、炉心には1点炉近似を、また反射体、結合領域の減速材領域には中性子の伝播効果（空間依存性）を含んだ応答関数を各々適用し、これを炉心・減速材領域境界で結びつける両領域の違いを意識した、減速材領域応答関数法を提案した。

具体的には2つの炉心からなる結合炉の時間依存中性子束 $\psi(x,t)$ を時間関数 $P(t)$ と形状関数 $\phi(x,t)$ の積で表現した後に、上の方法

報告番号	※甲第	号	氏名	山根義宏
------	-----	---	----	------

を使い時間関数に対する方程式を導く。するとこの方程式は結合係数に相当する項が周波数依存になっているなどの点で、Baldwin型方程式より一般化された方程式になっている。また同手法で反射体付炉の方程式を導くと、裸炉の1点炉近似方程式とは異なり、反射体効果を陽に含む表式になっている。

ところで、減速材領域応答関数法で重要な役割をする応答関数のラプラス変換型は今迄に導かれているが、これの逆変換を興行し時間領域表現を導いた。この表現をもとにして、結合を表現する関数の性質を調べ、結合の遅れ時間は結合領域を透過する時間依存中性子流の時間1次モーメントで定義するのが、物理的に妥当であると結論した。

次に、一般化した方程式は①体系に加える擾動が小さく、②かつ臨界に近い体系の動特性を扱う場合には、従来のBaldwin型方程式に帰着できる事を示し、今迄物理的洞察にたよって導いていたBaldwin型方程式の根拠を明らかにした。

また、この過程で今迄には明確に定義できなかった結合炉動特性パラメータ（結合係数、各炉心の反射体効果を含めた中性子生成時間、結合の遅れ時間）にはっきりした定義と表式を与え、これらの理論値の計算を可能にした。この表式を用いて結合領域幅に対するパラメータの依存性を調べた。その結果、結合領域幅がその物質で決まる拡散距離の約2倍以上に増加すると、結合係数は単一指数関数で減少する事が

報告番号	※甲第	号	氏名	山根義宏
------	-----	---	----	------

わかった。そして、この性質が従来あいまいな内容のまま使用されていた“弱結合”の定義に關係する事を指摘した。

また Baldwin 型に近似した方程式には「結合炉体系が臨界に近い場合には、結合係数と各炉心の未臨界度が等しい」という結合係数の物理的意味を考える上で重要な關係が含まれている。

結合炉の周波数応答測定 京都大学原子炉実験所の臨界集合体装置に軽水結合領域幅が 7, 10, 14 cm の結合炉体系を構成し、パイルオシレータ法で周波数応答測定を実施した。従来、ほとんどの研究者は 3 つの結合炉動特性パラメータの内わずかに 1 つを決めており、2 つの値を評価しているのは数人にすぎない。その上、ある目的とするパラメータを決定するデータ処理に必要な目的以外の残りのパラメータ値には、同様の体系に対する別の研究者の測定値、あるいは単純化した体系（例えば結合炉の片側炉心だけに着目する）に關する計算値を借用している。これは評価したいパラメータ値が借用した値に依存しており望ましくない。そこで、周波数応答測定値から 3 つのパラメータ値を矛盾なく評価する方法を新に考案した。

さらに、“分割積分法”と名付けた周波数応答測定データ処理法を利用すれば、簡単な原理と演算にもかかわらず Fast Fourier Transform 法と同程度の精度が期待できる事を示し、この処理法を使用した。

上の方法で評価した周波数応答、結合係数、中性子生成時間、結合の遅れ時間の測定値を、結合領域幅依存性の計算値と比較した。

報告番号	※甲第	号	氏名	山根義宏
------	-----	---	----	------

この結果、熱外中性子の影響が顕著にあらわれる折点周波数以上の高周波数域では、熱中性子だけを考慮するエネルギー一群に基づく理論値は測定値を完全には再現しない事がはっきりした。

ただし、折点周波数以下の測定値から評価できる結合係数はこの影響を受けず、一群計算値で充分測定値が再現できる。また結合の遅れ時間の理論値は、折点周波数より高い周波数域の測定値より評価された測定値と良く一致していた。しかしこれは、熱外中性子を無視した効果と、炉心内領域の遅れ時間を無視している効果とが互に打ち消し合う関係にあるので、これにより測定値に一致する理論値が得られたものと考えている。さらに、中性子生成時間の理論値は測定値(約40 μ s)より約20 μ s程長い値にはなったが、この差は熱外中性子の効果だけでは説明しきれない事が解った。

反射体付炉の中性子生成時間 反射体付炉に対する一般化された動特性方程式を、結合炉のBaldwin型方程式を導くのと同じ手続きで近似すると、裸炉の1点炉近似動特性方程式と同型の方程式に帰着する。但し中性子生成時間は反射体効果を陽に含む従来とは異なる表式となる。これは従来の経験則の正当性を示している。

また中性子が生成から消滅までに経験する素過程を考え、その素過程の経過時間とそれをとる確率とから中性子生成時間を計算する方法で、反射体効果を含む中性子生成時間の表式を調べ、これが物理的には炉心の核

主論文の要旨

6.

報告番号	※甲第	号	氏名	山根義宏
------	-----	---	----	------

分裂断面積で決まる項と、反射体における中性子平均滞在時間と平均反射因数の積で決まる項との和になっている事を確めた。

また素過程をとる確率は中性子インポートスの収支を基にして決めたが、ここで随伴中性子流が中性子流に伴うインポートスの意味を持つ事をはきりさせた。原研平均質臨界集合体のパルス中性子減衰実験データから評価した中性子生成時間の測定値を理論値と比較した所、呈示した中性子生成時間の表式は1群計算の単純化した扱いにもかかわらず、定量的にも従来他の方法(時間固有値から評価する方法、エネルギー2群の素過程の確率計算を基にする方法)と同程度の精度を与える事が明らかとなった。

2群計算法と非対称性 エネルギー2群の減速材領域応答関数法への拡張を試みた。この拡張によって得られる動特性パラメータの2群理論式に基づき計算値と測定値との定量的比較を論ずる為には、測定に使用する検出器のエネルギー感度依存性を理論式にさらに考慮する必要がある事を指摘し、その向題点を整理した。

次にパイルオシレータ測定の様強い吸収体が局在している場合には、この吸収効果の為に中性子束分布に歪みが生ずる。これによる非対称性の影響が結合炉動特性パラメータに及ぼす効果の評価を、簡単な1群モデル計算で試みた。そして、中性子生成時間は非対称性の影響をほとんど受けない事、また周波数応答測定から得られる結合係数はパイ

主論文の要旨

7.

報告番号	※甲第	号	氏名	山根義宏
------	-----	---	----	------

ルオシレータを設置した炉心からもう一方の炉心への結合係数である事を明らかにした。

まとめ 本論文は結合型および反射体付原子炉の動特性方程式導出の基礎理論を与えるものであり、従来経験的事実や裸炉からの類推にたよって導出していた方程式が、拡散方程式から論理的に導出できる事を示した。そして同時に、動特性パラメータにはっきりした定義と予め理論計算可能な表式を与える事に成功した。この表式による計算値の精度を良くするには、検出器応答のエネルギー依存性を取り込んだ2群計算法の確立など残された問題はあるが、少なくともロード法表現による動特性方程式の基礎づけに関する研究はこれで一段落した。