

氏名	佐々木 道也
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 量子エネルギー工学専攻
学位論文題目	高エネルギー中性子検出器の開発と遮蔽実験への応用に関する研究
指導教官	東北大学教授 中村 尚司
論文審査委員	主査 東北大学教授 中村 尚司 東北大学教授 内田 俊介 東北大学教授 馬場 護 高エネルギー加速器研究機構教授 柴田 徳思

論文内容要旨

現在医学、理工学研究を目的として、高エネルギー加速器施設が建設されている。これら高エネルギー加速器施設においては発生する2次粒子、特に透過力が強く周辺機器を放射化させ、人体に被曝を与える中性子の遮蔽が重要になる。しかし、高エネルギー中性子は遮蔽体透過後のエネルギー測定が困難であるため、その遮蔽データが非常に乏しい。過去の遮蔽実験では主に多減速材付検出器が使用されてきたが、この検出器は20MeV以上の中性子に対して応答関数に変化しなくなり、測定精度が悪化する上に、初期推定値に依存するという短所を持っている。

本研究では高エネルギー中性子に関する遮蔽データの取得を目的として、新型の高エネルギー中性子検出器である自己TOF型検出器の開発および研究を行なった。自己TOF型検出器は入射粒子識別用のベト検出器、中性子と核反応を起こし荷電粒子を発生させる20組のラジエータ検出器、そして発生した荷電粒子の飛行時間を測定するスタート検出器、9対のストップ検出器から構成される。自己TOF型検出器の概観図を図1に示す。

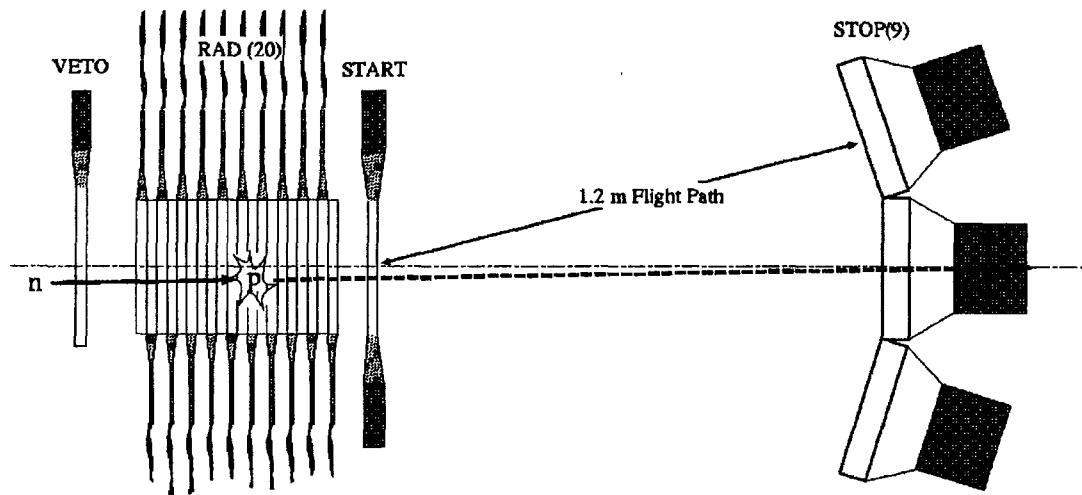


図1. 自己TOF型検出器の概観図

本検出器の応答関数測定を、放射線医学総合研究所の重イオン加速器HIMAC(Heavy-Ion Medical Accelerator in Chiba)を用いて行なった。測定データから、陽子エネルギースペクトルを求め、アンフォールディング法を用いることで中性子エネルギースペクトルが測定可能であることを検証した。本検出器の中性子検出効率を求め、高エネルギー中性子に対して極めて高感度であり、遮蔽実験に非常に期待できることが判明した。

一方、NE213有機液体シンチレータを用いることで、より広いエネルギー範囲で中性子スペクトルの導出を試みた。NE213有機液体シンチレータはこれまでも多くの特性評価、応答関数の測定、計算による評価が行われてきたが、いずれも20MeV以下の中性子に対するものが大半で、数10MeVから数100MeVのエネルギー領域では測定値が非常に少ない。そこで本研究では12.7cm直径、12.7cm厚さの大きさを持つ円筒型NE213有機液体シンチレータの20MeVから800MeVまでの中性子に対する応答関数測定を、同じくHIMACを用いて行なった。実験では核子あたり400MeVに加速されたCイオンをCターゲットに入射されることで中性子を発生させた。ビームピックアップシンチレータとの飛行時間法を用いて、本研究では初めて800MeVまでの中性子に対する応答関数の測定を行ない、貴重な実験値を得ることが出来た。また応答関数シミュレーションモンテカルロコードであるSCINFUL-QMDコード及びCECILコードによる計算値と比較し、問題点を検証した。一例として400-800MeV中性子に対する応答関数の実験値と計算値の比較を図2に示す。図から明らかなように高エネルギー中性子に対してはSCINFUL-QMDコードのほうが応答関数の再現性が優れている。

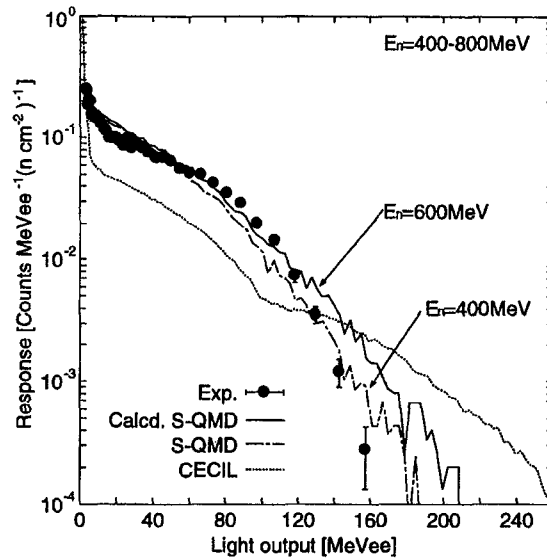


図 2. 400-800MeV 中性子に対する NE213 検出器の応答関数の比較

以上の検出器と実験的に測定された応答関数値、及び近年放射化断面積が整備された Bi 放射化検出器を用いて、放射線医学総合研究所重粒子加速器 HIMAC の炭素イオン照射により銅から放出された中性子を線源として、コンクリート及び鉄遮蔽体透過後の中性子エネルギースペクトル測定を行なった。FORIST コードと SAND-II アンフォールディングコードを用いることで中性子エネルギースペクトルを求め、ロスアラモス国立研究所のグループによって開発が進められている MCNPX モンテカルロコードと LA150 断面積ライブラリーを組合せた計算値と比較した。3 種類の異なる中性子検出器を用いることにより、中性子スペクトル評価、減弱距離評価を様々な視点から行なうことが出来た。

本研究により、遮蔽体透過後の数 100MeV に至る高エネルギー中性子スペクトル測定法を確立した。これは世界的にも他に類を見ない新しい技術開発である。特に自己 TOF 型検出器は初期推定値を必要としない新型の高エネルギー中性子スペクトロメータであり、従来の検出器と比べ、測定値の信頼性が大幅に向上した。また TOF 法を用いることで、検出器サイズのコンパクト化にも成功している。

この新しい測定技術を用いて行なった高エネルギー加速器施設の遮蔽データ取得を目的とした実験、解析手法及び実測値は遮蔽実験のベンチマーク実験として非常に期待出来るものである。それは減弱距離としてのデータとしての活用のみならず、中性子エネルギースペクトルのデータは遮蔽計算で用いられる計算コードの輸送過程の精度にも非常に有用である。その他にも NE213 有機液体シンシレータの 800MeV までの中性子に対する応答関数は、高エネルギー中性子に対する発光モデル、核反応モデルの評価においても参考となる実験値である。本研究により、検出器の物理学と高エネルギー加速器遮蔽、モンテカルロコードの発展に役立つ貴重な実験データを提供する成果を得た。

論文審査結果の要旨

現在医学、理工学研究を目的として、高エネルギー加速器施設が建設されている。これら高エネルギー加速器施設においては発生する2次粒子、特に透過力が強く周辺機器を放射化させ、人体に被曝を与える中性子の遮蔽が重要になる。しかし、高エネルギー中性子は遮蔽体透過後のエネルギー測定が困難であるため、その遮蔽データが非常に乏しい。本論文は高エネルギー中性子に関する遮蔽データの取得を目的として、新型の高エネルギー中性子検出器である自己TOF型検出器の開発を行うとともに、NE213有機液体シンチレータを併用することにより、20MeVから800MeVに至る広いエネルギー範囲で遮蔽体透過後の中性子スペクトルを測定したもので、全編5章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、新しく開発した、20個のラジエータ検出器、1個のスタート検出器、9個のストップ検出器から構成される自己TOF型検出器の測定原理、構成、特性について詳述している。この検出器は遮蔽体背後において、検出器自身がTOF測定を行なう全く新しいタイプの検出器であり、その高エネルギー中性子に対する応答関数を、放射線医学総合研究所の重イオン加速器HIMACを用いて測定している。この応答関数を用いて、アンフォールディング法により100MeV以上の中性子エネルギースペクトルが精度よく得られることを検証した。

第3章では、より広いエネルギー範囲で中性子スペクトルを得ることを目標として100MeV以下に感度の良いNE213有機液体シンチレータの併用を試みている。このために、NE213有機液体シンチレータの応答関数の取得を、同じく放射線医学総合研究所の重イオン加速器HIMACを用いて行なった結果、世界で初めて20MeVから800MeVまでの中性子に対する応答関数マトリクスを作成することが出来た。

第4章では、本研究で開発した自己TOF型検出器、NE213有機液体シンチレータに加えてBi放射化検出器を用いて、コンクリート及び鉄遮蔽体透過後及び遮蔽体内部の中性子エネルギースペクトル測定を行なっており、その結果を計算値と比較検討している。

第5章は総括である。

以上要するに、本論文は新たに開発した高エネルギー中性子検出器を用いて、高エネルギー加速器の遮蔽設計上極めて重要な、中性子エネルギースペクトルと減弱距離を得たものであり、放射線工学、加速器工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。