

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19760612
 研究課題名 (和文) 効率的な高エネルギー中性子・ガンマ線生成断面積同時測定手法の開発
 研究課題名 (英文) Development of Effective Simultaneous Measurement Method for High Energy Neutron and Photon Production Cross Section
 研究代表者
 執行 信寛 (SHIGYO NOBUHIRO)
 九州大学・大学院工学研究院・助教
 研究者番号：40304836

研究成果の概要 (和文)：数 100MeV 領域の核反応からの中性子とガンマ線生成断面積を高効率で測定するためのシステムを開発した。検出器には直径 5.08cm、長さが 5.08cm の BGO 無機シンチレータを採用し、中性子とガンマ線の弁別には検出器信号の減衰時定数の差を利用した。このシステムはより大型の液体有機シンチレータと比較して、約 1.8 倍の高い測定効率を得られた。

研究成果の概要 (英文)：The measurement system for neutron and photon production cross section for several hundred MeV region with high efficiency has been developed. The BGO inorganic scintillator 5.08 cm long and 5.08 cm in thickness was adopted as a detector. The difference of signal decay time of the detector was utilized to separate neutron and photon events. The measurement system had higher efficiency of about 1.8 times than the system with the larger liquid organic scintillator.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,600,000	0	1,600,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	480,000	3,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：高エネルギー、中性子、ガンマ線、無機シンチレータ、断面積

1. 研究開始当初の背景

入射陽子エネルギーが 1 から 3 GeV 程度で加速器駆動システム(ADS)を構築し、原子核破砕反応により放出される中性子を利用して、長寿命放射性廃棄物の核変換処理や加速器駆動未臨界原子炉、大強度中性子源などへの応用が検討されており、実際に J-PARC な

どが建設されてきた。これらの施設の核設計や遮蔽設計に必要な入射粒子エネルギー 100 MeV 以上の領域では、実験データが少ないため、JENDL のような核データライブラリが望まれているが、日本においては JENDL-HE として一部の核種に対して部分的に公開されているにすぎず、海外でも一部

の核種に対して入射エネルギーの上限値が 150 MeV から 200 MeV までの領域で公開されてきた。しかしこれだけでは不十分であるため、工学的設計では PHITS などのモンテカルロ計算コードが用いられている。

ADS の核破砕ターゲットでの中性子生成量を評価する上で不可欠な陽子入射中性子生成断面積は、実験データを用いて計算コードの検証と改良が行われてきたが、中性子入射中性子生成反応も頻繁に起こる反応であり、入射エネルギーが 100 MeV 以上になると効率は低いが測定可能であることが分かっていた。よって、幅広い入射エネルギーと核種に対して中性子入射中性子生成断面積を効率良く測定ができるようなれば、計算コードの改良に知見を与え、核データライブラリの整備に繋がることが期待された。

また、核破砕反応では多数のガンマ線も放出され、核破砕ターゲットなどの発熱量を評価する上で、高エネルギー核子入射ガンマ線生成断面積のデータも重要である。しかし 100 MeV 以上の中性子入射に対するガンマ線生成断面積は測定されておらず、計算コードの精度検証ができていなかった。

高エネルギー色中性子源として核破砕中性子源を利用した連続エネルギー中性子源が、米国の Los Alamos 国立研究所にあり、高強度中性子を約 20 から約 600 MeV の領域でパルスとして利用できる。高エネルギー中性子入射に対する中性子およびガンマ線生成断面積測定のための入射中性子源として、連続エネルギー大強度パルス中性子を利用することは極めて適切な手法であった。

核破砕中性子源からの高強度パルス型連続エネルギー中性子を入射エネルギーとして用いた中性子生成断面積の測定では、入射粒子のエネルギーが一定ではないため、飛行時間法が使用できない。そこで、無機シンチレータを反跳陽子検出器として用いて生成中性子のエネルギーを求めるとする。この手法は液体有機シンチレータを利用する方法と比較して実効的な測定効率が低い。また、中性子と同時にガンマ線を有機シンチレータよりも効率良く、かつより高いエネルギー分解能で測定できることが期待できた。

2. 研究の目的

本研究では、ガンマ線測定を考慮した反跳陽子型高エネルギー中性子検出器を用いた約 600 MeV までの連続エネルギー中性子入射に対する中性子及びガンマ線生成断面積測定を効率よく行うための手法を開発することを目的とした。特に高エネルギー中性子生成断面積の測定を高効率で行うことを主眼とした。

3. 研究の方法

100 MeV 以上の高エネルギー中性子を測定する際、液体有機シンチレータを利用すれば、測定データをアンフォールディングすることで中性子のエネルギーを求めることができるが、高エネルギー中性子を測定するためには大容量を必要とし、エネルギー分解能が低下し、疑似弾性散乱などのピーク構造を検出することが困難である。また、一般的に利用される長さ 12.7 cm 程度の液体有機シンチレータの場合、100 MeV を越えるような高エネルギー領域では中性子のエネルギーに対する応答関数の変化が小さくなり、エネルギー分解能が低くなる。液体有機シンチレータはガンマ線に対しても有感ではあるが、検出効率は低くエネルギー分解能も高くないことがわかっている。

そこで、本研究では中性子を反跳陽子ラディエータに衝突させ反跳される陽子のエネルギーを無機シンチレータで測定することで、実効的な測定効率を向上させる方針とした。

初めに高エネルギー中性子検出器としての設計を行った。反跳陽子ラディエータと反跳陽子検出器の間には荷電粒子を弁別するための薄いプラスチックシンチレータをAE検出器として設置することを想定した。計算コードにより最適な大きさや形状を求めるとした。この際、複数の放出角度にこの検出器体系を配置でき、サンプルから検出器までの距離を短くすることで立体角を大きくし実効的な測定効率を向上させる点を考慮し、できるだけ小型となるようにした。

次にガンマ線に対する応答を計算した。中性子とガンマ線は2ゲート積分法で弁別することとした。

計算により適切な形状を求めた後、一般的な光電子増倍管、電子回路を用いて測定系を構築し、中性子およびガンマ線源を用いて中性子とガンマ線に対する特性を測定した。

検出器体系を米国ロスアラモス国立研究所に持ち込み、大強度中性子源からの連続エネルギー中性子を利用して、さまざまなエネルギーに対する検出器の応答特性等を一度に測定した。中性子源からの中性子及びガンマ線ビームを直接、検出器体系に入射させ、中性子及びガンマ線の応答を測定することとした。

検出器の特性を比較するために、液体有機シンチレータに対しても応答関数の測定を行った。入射中性子束を把握するために、現有のプラスチックシンチレータと同研究所の²³⁸U核分裂電離箱と2枚の薄いプラスチックシンチレータを使用した。

4. 研究成果

はじめに、検出器として無機シンチレータ

NaI (Tl)検出器を想定した。計算の結果、検出器の大きさは直径 5.08cm、長さ 5.08cm の円筒形とした。これは従来使用していた液体有機シンチレータよりも直径や長さが 40 % と小型化した物であった。固体シンチレータとしたことで、液体有機シンチレータのように輸送の問題を低減できた。また、 ΔE 検出器を使うこと無しに NaI (Tl) 検出器のみで検出器を構成することとし、検出器体系全体を小型化し、サンプルにより近づけることで実効的な立体角を大きくするとともに、電子回路等の簡素化を図れることがわかった。 ΔE 検出器を使用しないために、より測定を単純化するために荷電粒子除去用のプラスチックシンチレータを使用しない状態で応答関数を測定した。中性子とガンマ線は電子回路系が単純な 2 ゲート積分法で弁別することとした。

この検出器を米国ロスアラモス国立研究所ロスアラモス中性子科学センターWNR 施設に持ち込み、数十 MeV から数 100 MeV までの連続エネルギー中性子およびガンマ線照射場を利用して、応答特性などを調べた。電子回路の時定数などを調整した結果、この検出器は中性子とガンマ線を弁別できることが実験的に確認された。しかしながら、測定条件が最適化されていたとは言えないので、今後、最適化された条件で再実験を行う必要があることが分かった。

次に前述の NaI (Tl) シンチレータよりも密度が高く高エネルギーガンマ線に対する感度がより高い BGO シンチレータを想定した。計算の結果、 ΔE 検出器を使うこと無しに直径 5.08cm、長さ 5.08cm とすることとした。この大きさの BGO 無機シンチレーション検出器を作製し、ガンマ線源および中性子源を利用した特性を測定した。

その後、米国ロスアラモス国立研究所中性子科学研究センターにおいて、約 20 MeV から 800 MeV までの連続エネルギー中性子ビームを利用した特性試験を実施した。その様子を図 1 に示す。この実験では直径 12.7 cm、

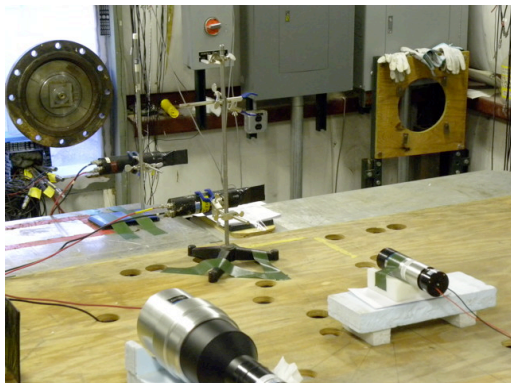


図 1 ロスアラモス国立研究所での検出器応答測定の様子

厚さ 12.7 cm の NE213 液体有機シンチレータに対しても特性を測定し、両者の特性を比較した。

今回使用したシンチレーション検出器は直径、長さとも 5.08 cm と小型の物を使用した。約 700 MeV までの中性子が入射しても中性子のエネルギーに応じて検出器の応答が異なることが確認でき、有機液体シンチレータよりも中性子エネルギーの同定が容易であることが分かった。図 2 に連続エネルギー中性子に対する BGO シンチレータの応答関数の測定結果を示す。

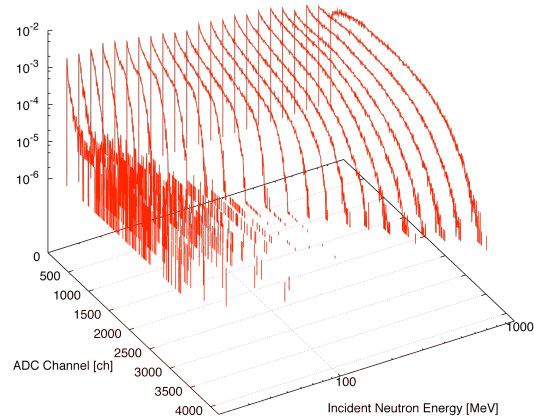


図 2 連続エネルギー中性子を利用した BGO シンチレータの中性子に関する応答関数の測定結果

また、検出効率についても、直径 12.7 cm、長さ 12.7 cm の NE213 有機液体シンチレータが 300 MeV の中性子に対して 8 % 程度であるのに対して、BGO シンチレータは約 15 % と約 1.8 倍の効率を持つことがわかった。図 3 にこの BGO シンチレータの検出効率の実験値と PHITS コードによる計算結果を示す。

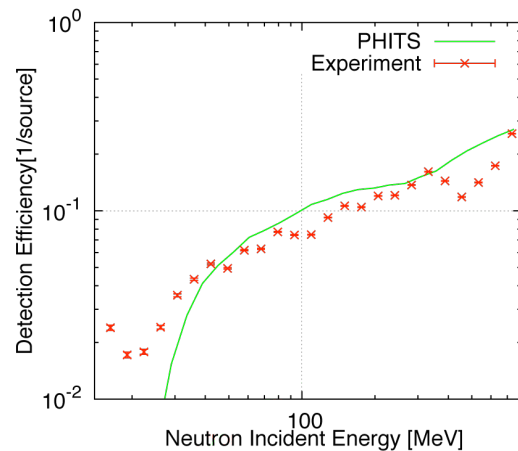


図 3 BGO シンチレータの検出効率の実験値と PHITS コードによる計算との比較

以上の結果を用いて、中性子生成量測定の場合としてBGOシンチレータに入射する中性子束の測定値を図4に示す。

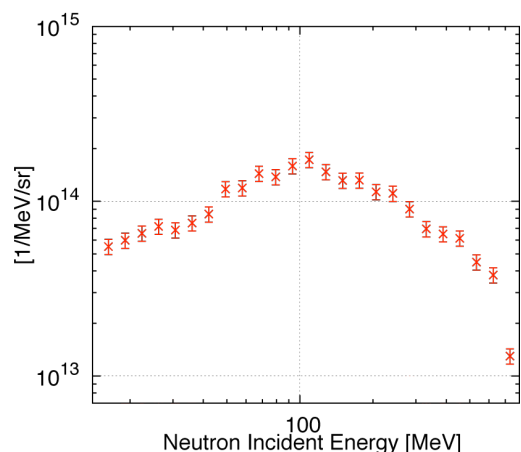


図4 BGOシンチレータに入射する中性子束の測定値

実効的な測定効率を上昇させるためには、直径5.08cm、長さ5.08cmよりも大型の検出器の必要性が示された。中性子とガンマ線の弁別については数十MeV以下のエネルギー領域に関してはシンチレーションの波高による粒子弁別は困難であったが、300MeV以上の中性子とガンマ線が混在する条件では中性子とガンマ線の粒子弁別を行うことが可能であることが分かった。以上のことから、BGOシンチレーション検出器を利用することで高エネルギー中性子とガンマ線の両者を高い効率で測定できることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

[その他]
 ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

執行 信寛 (SHIGYO NOBUHIRO)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：40304836

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：