

氏 名	ひ の よし お 檜 野 良 穂
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 54 年 3 月 27 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 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) 原子核工学専攻
学 位 論 文 題 目	高速中性子による炉構成物質からのガンマ線生成断面積に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 梶山 一典
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 梶山 一典    東北大学教授 長尾 重夫 東北大学教授 瀬戸 邦夫    東北大学助教授 古田島久哉

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

近年, 高速中性子による, ガンマ線生成断面積値に関する要求が増加してきている<sup>(1)</sup>。これらのデータは, 原子力プラント等の中中性子を取扱う施設の遮蔽計算, 及び核融合ブランケット中での発熱計算等に用いられるもので, 計算コードが整備され, それらの計算がより精密化するに従い, いよいよ重要性を増す傾向にある。一方, これまでに得られたこの種のデータは, 質・量ともに満足ゆくものではない<sup>(2)</sup>。従って, より多くの測定実験, 及び測定法の確立が望まれている。本研究は, この様な要請に応え, 高精度のガンマ線生成断面積を得るための測定法を確立し, いくつかの炉構成物質として重要な核種について, 精密な測定を行ない, 断面積値について, データの評価・予測の上で有益な知見を与える, 定性的かつ定量的な検討を行なったものである。

以下, 本論文では第 2 章において, 従来の測定法とその問題点, 並びに本研究において行なわれた測定実験について述べた。続いて第 3 章においては, 得られたデータの解析法に関して, 第 4 章では, それらの結果と他のデータとの比較, 及び断面積値を記述する半径験式の検証等について述べた。第 5 章は, 以上の結果を総括した結論である。

### 第 2 章 高速中性子による放出ガンマ線波高分布の測定

本章では, 従来諸々で試みられた測定法と, 本研究で行なった測定実験等について述べた。高

速中性子によるガンマ線生成断面積測定上の困難な点は多々あるが、最も重要でかつ困難な点は、S-N比と収率の両面を向上せねばならない点である。従来の測定実験例でも、この点に多くの努力が払われているが、本研究では、収率向上のため、取扱いの簡単で実用的なガスターゲットを製作する一方、効果的な遮蔽体、エネルギー分解能の優れたGe(Li)検出器等を製作し、S-N比向上に努めた。さらに、測定上問題となるバックグラウンドを、その発生因に応じて、合計6種の成分に分割し、それぞれに適した除去法を考案した。その結果、中性子をパルス化して発生させ、検出器シグナルとの同時測定を行なう手法が最も効果的な測定法であることが確かめられた。この測定法を用いて得られたガンマ線スペクトルの例を、図1、2に示した。

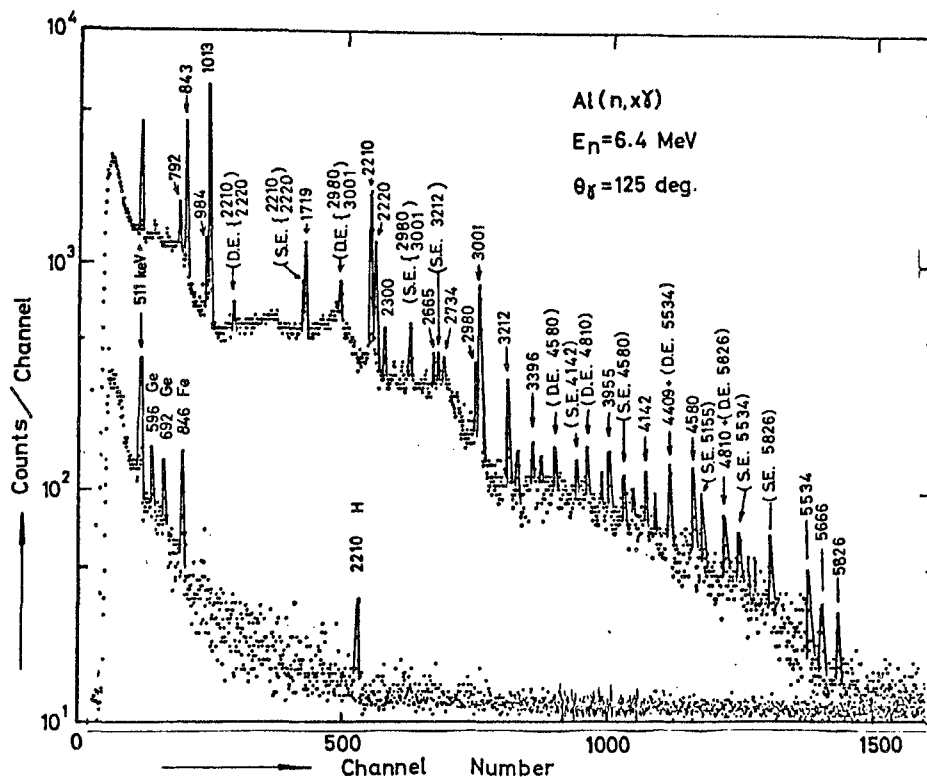


図1 中性子エネルギー6.4 MeVにおけるAlからのガンマ線スペクトル

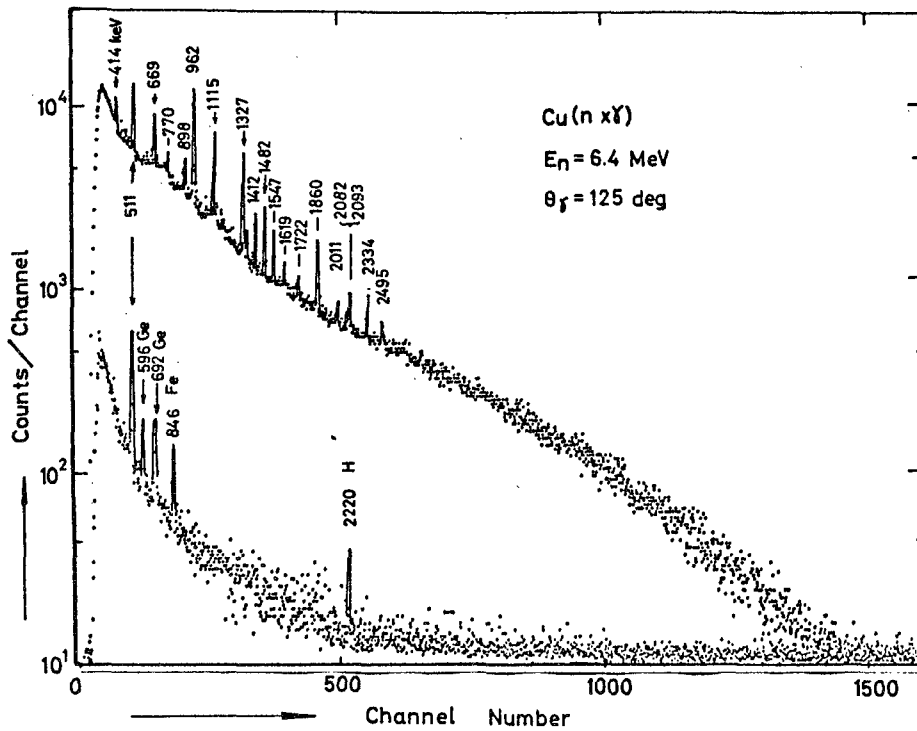


図2 中性子エネルギー 6.4 MeVにおけるCuからのガンマ線スペクトル

### 第3章 ガンマ線スペクトル解析法の開発

本章では、Ge (Li) 検出器により測定された (n,  $\gamma$ ) 反応からのガンマ線スペクトルの解析法、並びに断面積の算出法について述べた。

ガンマ線生成断面積は、簡略化した式で表わせば、

$$\sigma = \frac{N_r(E)}{N_n \cdot N_s} \quad (1)$$

但し、 $N_r(E)$  = エネルギー E における生成ガンマ線数

$N_n$  = サンプル入射中性子数

$N_s$  = 単位面積当りのサンプル原子数

と表わされる。このとき、 $N_r(E)$  は測定スペクトル中に、全吸収ピークが認められる成分と、ピークとして現われない、いわゆる連続成分とに分けられる。ピーク成分に対しては

$$N_r(E) = \frac{P}{\epsilon_r(E)} \quad (2)$$

但し、 $P$  = ピーク面積

$N_r(E)$  = エネルギー E における全吸収ピーク検出効率

として求めることが可能である。一方、連続成分は、次の関係式から逆算しなければならない。

$$C(\xi) = A(\xi, E) \cdot N_T(E) \quad (3)$$

但し、 $C(\xi)$  = 測定されたスペクトル

$A(\xi, E)$  = 測定に用いた検出器のレスポンス

そこで、本研究では、得られたガンマ線スペクトルの解析を、2段階に分けて取扱うことにした。すなわち、第1段階として、ガンマ線スペクトル中に認められた、全吸収ピーク成分の解析、続いて第2段階として、スペクトルよりピーク成分を除き、残差成分をアンフォールドすることとした。これらの解析を行なうため、ピーク解析コード「TIZZY」<sup>(3)</sup>、アンフォールディングコード「GFERDO」等の計算コードを整備し、計算機処理化を進めた。

#### 第4章 ガンマ線生成断面積測定結果と討論

本章では、2章及び3章で述べた、測定実験とデータ解析の結果得られた、いくつかの核種についてのガンマ線生成断面積値と、他のこれまでに報告された値との比較、及びガンマ線生成断面積を良く表わすと言われている、Howerton<sup>(4)</sup>の半経験式を用いた検討等の結果を述べた。得られた断面積値の例を図3に示す。

本研究におけるデータ解析の一つの特色は、この図3にも示した様にガンマ線生成断面積を、ピークとして分離可能な成分と連続なガンマ線の成分に分けて解析したことにある。本研究では、Al, Ni, Cu, Nbの4核種について、中性子エネルギー5.3~7.0 MeVの範囲におけるガンマ線生成断面積が上述のごとくして求められ、詳細な検討が行なわれた。又、Be, Cについて、13.5~15.0 MeVの範囲で測定を行なった結果、この様に軽く軽い核では連続成分は存在せず、それぞれ特有のガンマ線を放出するのみであることが確かめられた。

これらの結果、特に連続成分について、入射中性子エネルギー及びサンプル核質量数への強い依存性が認

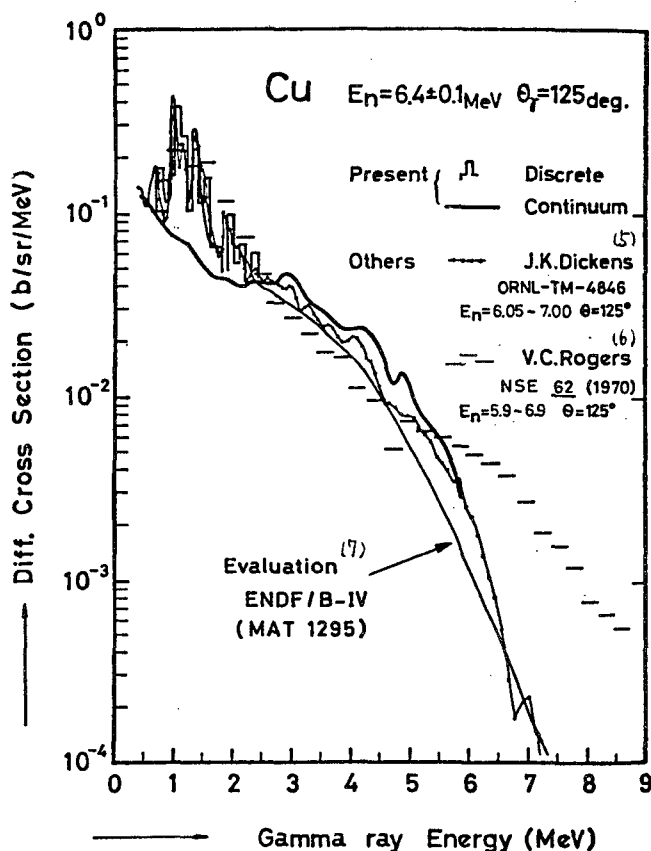


図3 中性子エネルギー6.4MeVにおけるCuのガンマ線生成断面積

められた。そこで、本研究では、この様な断面値の入射中性子エネルギー等への依存性を調べるため、Howertonの経験式に基く検討を行なった。Howertonの経験式は、簡単なものであるが、タングステン等のガンマ線生成断面値を良く記述することで知られており、次の様なものである。

$$\sigma(E_T) = \sigma_0 \cdot E_T \cdot \exp[-R \cdot E_T] \quad (4)$$

但し、 $\sigma(E_T)$  = エネルギー  $E_T$  のガンマ線生成断面値

本研究で得られた実験値を、 $\sigma(E_T)/E_T$  としてプロットした結果の一例を図4に示す。この結果、ガンマ線生成断面値は、Howertonの式でかなり良く記述されることが確かめられた。さらに、パラメータ  $\sigma_0$ 、 $R$  について、以下の様な一般的傾向のあることが分かった。

- ① 中性子エネルギーが5.3~7.0の範囲では  $\sigma_0$  はさほど変化しない。
  - ②  $\sigma_0$  は、その対数値が質量数に比例して増加する傾向を示す。
  - ③  $R$  は、中性子エネルギー増加に反比例して減少する傾向を示す。
  - ④  $R$  はサンプル核の質量数に比例し、増加する傾向を示す。
- $\sigma_0$  及び  $R$  の入射中性子エネルギーに対する変化を、図5及び図6に示す。

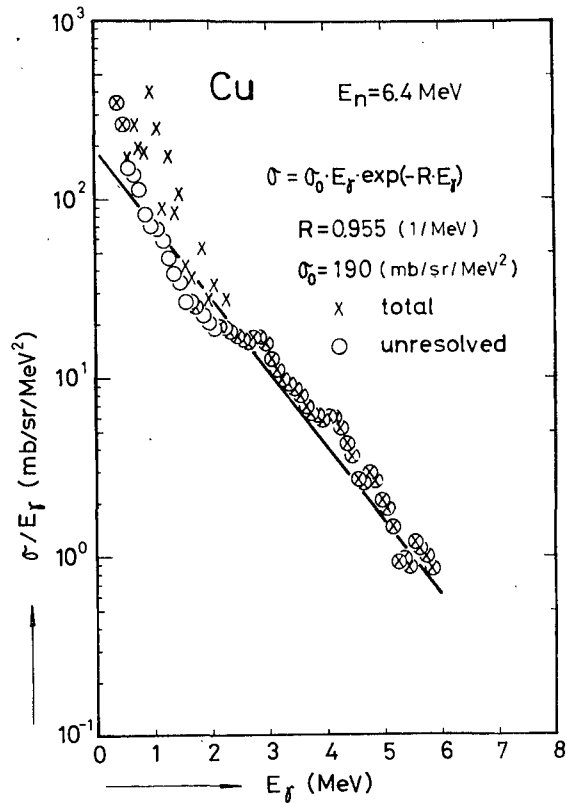


図4 中性子エネルギー 6.4 MeV における Cu のガンマ線生成断面値を  $\sigma/E_T$  の形で表示した結果

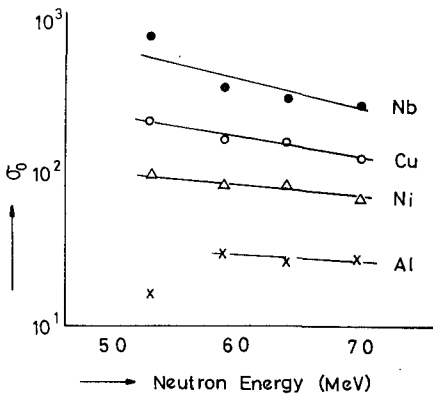


図5 入射中性子エネルギー変化に対する  $\sigma_0$  の変化

この様に、本研究の結果、ガンマ線生成量を予測する上で非常に便利な、経験式の有効性が確かめられ、さらに式中のパラメータの、入射中性子エネルギー及びサンプル核の質量数等に対する依存性が明らかにされた。

## 第5章 結 論

本章は以上の結果を総括した結論である。

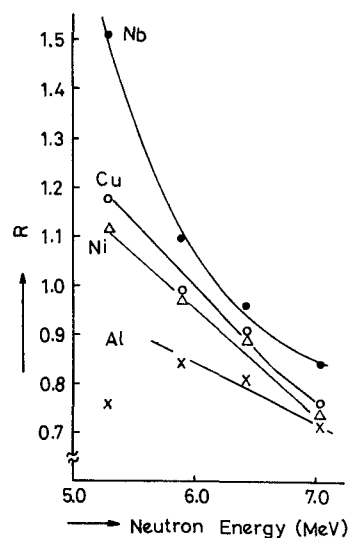


図6 入射中性子エネルギー変化に対するパラメータRの変化

## 参 考 文 献

- 1) R.M. Lessler, ed. : WRENDA 76/77, INDC (SEC)-55/URSF (1976).
- 2) J. K. Dickens, G. L. Morgan, G. T. Chapman, T. A. Love, E. Newman and F. G. Perey : Nucl. Sci. Eng., 62, 515 (1977).
- 3) W. T. Milner : private communication, (1975).
- 4) R. J. Howerton and E. F. Plechaty : Nucl. Sci. Eng., 32, 178 (1968).
- 5) J. K. Dickens, T. A. Love and G. L. Morgan : ORNL-4846 (1973).
- 6) V. C. Rogers, D. R. Dixon, C. G. Hoot and V. V. Verbinski : Nucl. Sci. Eng., 62, 716 (1977).
- 7) G. T. Chapman : ORNL-TM-5215 (1976).

## 審査結果の要旨

高速炉、核融合炉の開発が進むとともに、熱中性子炉では問題とならなかった高速中性子による核反応現象が注目されるようになってきた。高速中性子による物質からのガンマ線生成もその一つで、炉構成材における発熱量の評価や放射線遮蔽など原子炉設計上重要な量として精度の高い生成断面積のデータが要求されている。著者は数MeVおよび14 MeV領域の中性子によるガンマ線生成断面積を高い精度でうるための測定方法と測定量の解析方法について詳細に研究を行ってきた。本論文はこれらの研究成果をまとめたもので、全編5章よりなる。

第1章は序論で、従来の研究の概要と本研究の目的を明らかにしている。

第2章ではダイナミロンおよびコッククロフト加速器により発生させた中性子を種々の物質に衝撃させ生成するガンマ線のエネルギーおよび強度分布を測定した経過について述べている。その際、精度を上げるための条件を種々研究し、著者の提案する方法により従来にくらべて高分解能で高精度な結果が得られることを明らかにしている。

第3章では、前章でえられた実験値からガンマ線生成断面積を導出するため開発した解析法について述べている。これによって線スペクトルとして分解可能な成分と連続スペクトルとなる成分について個々に解析し結果を求めており、これは従来行われていなかったもので新しい手法といえる。

第4章では、第2章の測定値を第3章に述べられた方法で解析しC, Be, Al, Ni, CuおよびNbに対する断面積を求め従来値と比較して問題点を論じている。離散ガンマ線と同時に連続ガンマ線の生成断面積に新しい知見を加えたことは本研究の成果である。また、実験値のない領域での評価に用いられている半経験式の妥当性についても検討を行っている。

第5章は結論である。

以上要するに、本論文は高速中性子によるガンマ線生成断面積を高精度で求める手法を確立し高速炉、核融合炉の設計のために重要な基礎的資料を提供し新しい知見を与えたもので、原子核工学に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合格と認める。