

JNC TJ 4440 2003-001

**環境放射線の測定手法に関する研究  
(中性子測定技術の開発)**

**(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)**

**2003年3月**

**(財)若狭湾エネルギー研究センター**

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

**核燃料サイクル開発機構**

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2002

# 環境放射線の測定手法に関する研究<sup>1</sup> (中性子測定技術の開発)

久米 恒<sup>2</sup>

## 要旨

現在、放射線利用は原子力分野をはじめ幅広い産業分野での応用が進んでいる。放射線測定技術の開発はそれらの分野において一定の波及効果が見込める課題である。

本研究では、前年度に引き続き、検出技術の困難さから開発余地の大きく残る中性子測定技術の開発を行った。本年度は、熱中性子測定に使用した液体シンチレータ検出器を速中性子測定に応用する技術開発を行った。その結果、速中性子測定において感度の高いシステムの開発が可能となった。また、シミュレーション計算により実験値の検証を行い、検出器素材についての考察及び簡便な測定回路の構築を行った。

更に、液体シンチレータ使用時に発生する設置場所や容器等の問題をクリアするため、中性子線束測定器としての無機シンチレータの性能評価も実施した。

<sup>1</sup>本報告書は(財)若狭湾エネルギー研究センターが核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務の成果である。

サイクル機構担当課及び担当者:敦賀本部 技術企画部 環境監視課野崎達夫

<sup>2</sup>(財)若狭湾エネルギー研究センター 粒子線医療研究室

# Development of the Environmental Neutron Detection System<sup>3</sup>

Kyo Kume<sup>4</sup>

## Abstract

Environmental neutron detection system is proposed. The main goal of this system was set to detect fast and thermal neutrons with the identical detector setup without degraders.

A detector setup for the system with a  $^{10}\text{B}$  doped liquid scintillator, which had been optimized for thermal neutron counting in last year, was developed first. For optimization of for fast neutron counting, density of  $^{10}\text{B}$  and the size of the detector were fixed by measurement of fast neutrons, with help of the Monte Carlo calculation.

In the meantime, possibility of the use of inorganic scintillators in neutron counting were verified, to solve the problem occurring at the long term use of the organic liquid scintillators. The detectors checked were LSO, BaF<sub>2</sub>, BGO and GSO. LSO and BaF<sub>2</sub> have much more difficulties in neutron counting such as background counting rates and BGO has some unclear signals at neutron measurements. GSO was shown to be the most probable candidate among them at the measurement of neutrons, and it is worth continuing the furthur improvements.

---

<sup>3</sup>This work was performed by the Wakasa Wan Energy Research Center under Contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison : JNC Tsuruga Head Office, Planning Division, Environmental Monitoring Section, Tatsuo Nozaki

<sup>4</sup>Medical Division, the Wakasa Wan Energy Research Center

## 目 次

第 I 部 序論	8
第 II 部 液体シンチレータを利用した環境中性子モニタ技術の開発	9
1 有機液体シンチレータを使用した中性子測定技術	9
1.1 中性子測定の原理	9
1.1.1 中性子の性質	9
1.1.2 熱中性子測定方法	10
1.1.3 高速中性子測定方法	13
1.1.4 熱・速中性子同時測定の原理	14
1.2 有機液体シンチレータ	15
1.2.1 蛍光過程	15
1.2.2 クエンチング	16
1.2.3 濃縮 <sup>10</sup> B混入有機液体シンチレータ	17
1.3 液体シンチレータによる熱中性子束検出器開発状況概説	17
2 液体シンチレータを使用した熱・速中性子束同時測定システム開発	21
2.1 濃縮 <sup>10</sup> B混入液体シンチレータの速中性子束測定への最適化の試み	21
2.1.1 液体シンチレータの改良	22
2.1.2 エネルギー較正	27
2.2 CsIシンチレーター	27
2.3 簡便なデータ収集系の構築	31
2.3.1 データ収集システム	31
2.3.2 遅延同時計数法	31
2.4 テスト測定	36
2.4.1 回路調整のための箱型容器でのテスト測定	36
2.4.2 速中性子測定用の大型容器によるテスト測定	43
2.5 速中性子場における検出器性能検証	58
2.5.1 多目的イオン加速器システム	58
2.5.2 実験準備	64
2.5.3 実験結果	70
2.5.4 考察	81
2.6 シミュレーション計算による特性評価	91
2.6.1 <sup>10</sup> B濃度、素材の変化に対する特性評価	91
2.6.2 <sup>252</sup> Cf中性子線源に対する特性評価	92
2.6.3 入射中性子エネルギーの変化に対する特性評価	99

2.6.4 検出器寸法に対する特性評価 . . . . .	119
<b>3 結果・考察</b>	<b>138</b>
<b>第III部 無機シンチレータを利用した環境中性子モニタ技術の開発 139</b>	
4 無機シンチレータを利用した環境中性子モニタ技術開発研究実施の動機	139
5 中性子と原子核との反応	140
5.1 熱中性子と原子核との反応 . . . . .	140
5.2 高速中性子と原子核との反応 . . . . .	140
5.3 本研究で注目した中性子検出の原理 . . . . .	142
6 無機シンチレーターの利点と各特性	142
7 測定回路の構成	144
8 エネルギー較正	145
9 バックグラウンドの計測	148
9.1 GSO シンチレーター . . . . .	148
9.2 LSO シンチレーター . . . . .	154
9.3 BaF <sub>2</sub> . . . . .	158
9.4 BGO シンチレーター . . . . .	161
10 中性子の測定実験	164
10.1 GSO . . . . .	166
10.2 BaF <sub>2</sub> . . . . .	171
10.3 BGO . . . . .	175
11 測定結果の検討	179
11.1 LSO,BaF <sub>2</sub> . . . . .	179
11.2 BGO . . . . .	181
11.3 GSO . . . . .	183
11.4 GSO による環境中性子モニターの提案 . . . . .	185
12 まとめと展望	187
<b>第IV部 結語 189</b>	
A BC523A 仕様	192

B データ収集システム KODAQ	198
B.1 KODAQ 概説	198
B.2 解析プログラム	199
B.3 取得データ	203

## 第I部

### 序論

本報告は、核燃料サイクル開発機構との契約により、平成14年度に実施された業務の成果を記述するものである。核燃料サイクル開発に代表される放射線発生によって経済活動を行う際に、避けて通れない放射線測定技術開発について、研究業務を実施した。本業務実施の背景には、基幹エネルギーの一つである原子力発電とその燃料サイクルについて、その安全性を更に保証する技術を開発することにより、その有用性が一般社会に受容される必要性があることがあげられる。また現代社会においては、原子力産業以外の産業分野においても、放射線発生装置は経済活動と切り離せなくなりつつあり、それらの分野においても原子力技術の応用が避けられないことも見逃せない。

原子炉で発生する多量の高速中性子は、通常の運転においては十分な遮蔽材によって外部への漏れを防いでいる。しかし、異常時においては、外部への中性子の漏れが発生することが予想される。原子炉外部への中性子の漏れは、周辺環境及び人体に大きな悪影響を及ぼすため、わずかな異常を検出し、迅速に対応する体勢を整える事は緊急かつ重要な課題である。中性子線束を高感度かつ高精度に計測し、モニターするシステムを開発することによって緊急事態の迅速な発見を目指す姿勢は、原子力技術の普遍化には欠かせない。

本報告の目標とする放射線測定技術開発については、昨年度に引き続き、今回の業務では開発余地の大きく残る中性子測定技術の開発を主目標においた。中性子測定については、熱中性子と速中性子の同一システムにおける測定には困難が伴うため、作業環境中の中性子を測定する際にはどちらかに測定目標を絞って測定せざるを得なかった。今回開発業務を実施した検出概念では、熱中性子と速中性子を基本的に同一のシステムにより測定可能であり、応用範囲が広いことが予想される。

以下、本報告書では、第I部においては有機液体シンチレータを利用した熱中性子・速中性子同時測定システムの開発状況について述べた。特に、昨年度に本研究で熱中性子束測定の成果を得た検出システムの拡張により、速中性子測定が可能である事を示した。同時に、シンチレータ素材についての検討、簡便な計測回路の開発についても述べた。また、シミュレーション計算を実施し、本システムで得られた実験値の検証、本システムの検出特性、熱中性子と速中性子に対する検出特性の比較調査を実施し、その結果を述べた。

第II部においては、長期保守の比較的容易な無機シンチレータを用いた環境中性子モニタシステムの開発研究について述べた。今回は、LSO、BaF<sub>2</sub>、BGO、そしてGSOについて中性子線に対する応答を測定した。

## 第II部

# 液体シンチレータを利用した環境中性子モニタ技術の開発

## 1 有機液体シンチレータを使用した中性子測定技術

本章においては、熱中性子と速中性子を同一システムで測定する技術の開発について述べる。ただし、まず本章では熱中性子に対して最適化した検出システムについて論じるものとし、そのシステムによる速中性子測定への応用についても述べる。

### 1.1 中性子測定の原理

#### 1.1.1 中性子の性質

自然界に存在する物質には重力相互作用、電磁相互作用、弱い相互作用、強い相互作用の4つの相互作用が作用することが知られている。放射線の測定は、これらの相互作用を利用して行われるのであるが、例えば荷電粒子を測定する時には電磁相互作用により、物質を構成する原子核との散乱(弾性散乱、非弾性散乱)、制動放射などによって得られる情報を電気的な信号に変換し測定することになる。

荷電粒子に対し、中性子は電気的に中性であるため、相互作用は原子核との強い相互作用のみ受ける。中性子測定では物質との相互作用によっていったん中性子が荷電粒子にエネルギーを与え、その荷電粒子を通して放射線検出器で検出することになる。また、強い相互作用の及ぶ範囲は中性子の大きさ程度であり、原子核に非常に近づかない限り中性子は強い相互作用を受けずに通過してしまう。

中性子をエネルギーによって分類すると、以下のカテゴリーに分類することができる。

- 冷中性子 (cold neutron)  $\Rightarrow$  meV 以下
- 熱中性子 (thermal neutron)  $\Rightarrow$  0.025eV
- 低速中性子 (epi-thermal neutron)  $\Rightarrow$  0.1eV~100keV
- 高速中性子 (fast neutron)  $\Rightarrow$  100keV~数 10MeV

中性子測定においては中性子の持つ運動エネルギーによって測定方法が変わってくる。運動エネルギーによる中性子の分類を測定の便宜に沿って分けると、一般的に冷中性子は別として熱中性子と高速中性子に大きく二つに分類することで、大まかな中性子の測定にはさらに便利になる。つまり、低速中性子は速中性子に含まれるが、測定においては熱中

性子と同じ区分に分類するのが便利なので、これらの中性子を大別して熱中性子と高速中性子と呼称する事がある。

強い相互作用によって引き起こされる反応の種類は、中性子のエネルギーによって様々である。

- 原子核との弾性散乱 :  $A(n,n)A$  [MeV のエネルギー領域での主なエネルギー損失要因]
- 非弾性散乱 :  $A(n,n')A^*, A(n,2n')B^*, \dots$  [残りの原子核は、その励起状態に残され、 $\gamma$ 線などの放出を通じてエネルギーを失う。このときの中性子は励起エネルギーに相当する数 MeV 程度のエネルギーが必要になる]
- 中性子捕獲 :  $n + (Z,A) \rightarrow \gamma + (Z,A+1)$  [断面積は中性子の速度に対して  $1/v$  の依存性を持つので、低エネルギーにおいて重要になる]
- そのほか :  $(n,p), (n,d), (n,t), (n,\alpha)$  反応 [中性子捕獲反応と同様、低速中性子に対して重要である]
- 核分裂 : 热中性子に対して重要
- ハドロンシャワー : 100MeV を超えるような高エネルギーの中性子で起こる反応。1回の原子核との反応で、多くの高エネルギーの  $\pi$  中間子、陽子、中性子などを発生させ、これらの発生粒子が更に他の原子核と反応して多くの粒子を発生させることができることが連続的に起こる。

中性子の測定は、一般的に以上の反応を利用して行われる。次の節以降で、熱中性子と高速中性子に対して、その性質と実際の測定方法をいくつか紹介する。

### 1.1.2 热中性子測定方法

熱中性子とは、周囲の媒質の温度  $T$  と熱平衡に達した中性子を指す。したがってその運動エネルギー分布はマクスウェルの速度分布に従う。熱中性子 1 個が持つ平均の運動エネルギー  $\frac{1}{2}mv^2$  は  $\frac{3}{2}kT$  ( $k$  はボルツマン定数) になる。熱中性子の運動エネルギーは、以下のように表現できる。

マクスウェル分布でもっとも確からしい速さ  $v_0$  (速さの分布で最大値を示すときの速さ)、それに対応する運動エネルギー  $E_0$  の相関は、

$$E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2 = kT \quad (1)$$

である。これより、 $T=293$  K とすると、熱中性子のエネルギーは  $E_0=0.0252\text{eV}$  となる。

熱中性子や中性子の測定でまず考慮される項目は、中性子と相互作用する物質中の原子核と中性子の反応断面積が大きいかどうかである。中性子捕獲反応時に放出されるエネルギーを決めるのは  $Q$  値であり、 $Q$  値が高いほど放出される荷電粒子のエネルギーは大きく

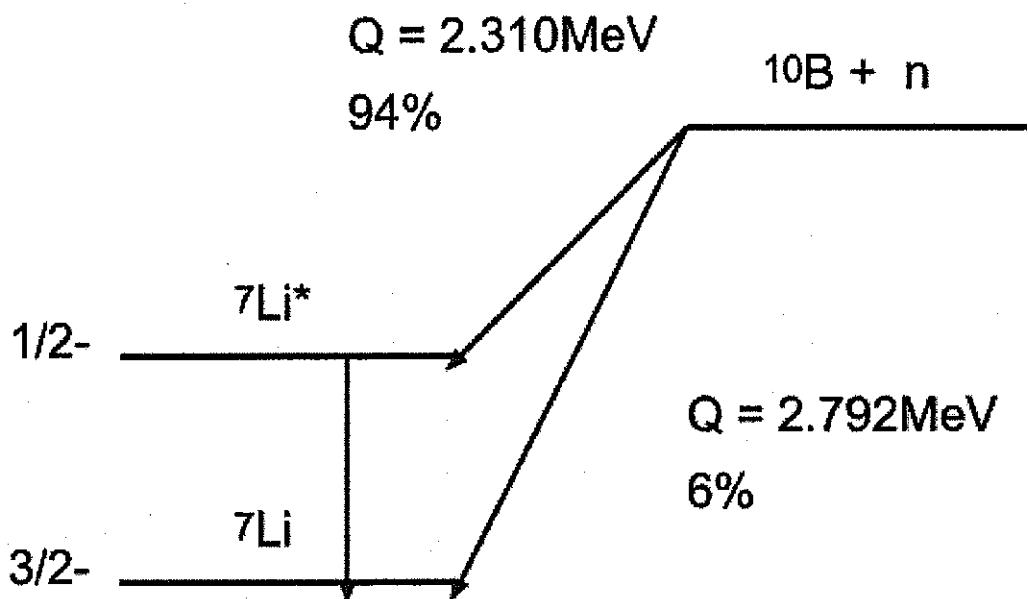
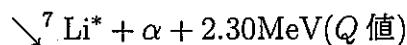
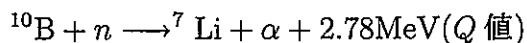


図 1:  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  崩壊図

なり、検出が容易となる。またほとんどの測定方法では、反応後に $\gamma$ 線も放出するため、この $\gamma$ 線を同時係数に利用することも測定感度向上に寄与する点となる。 $\gamma$ 線検出技術においては、 $\gamma$ 線エネルギーが大きい方が信号雑音比の関係から検出が容易となる事から、 $Q$ 値が大きく放出 $\gamma$ 線のエネルギーも大きいことは重要な点となる。

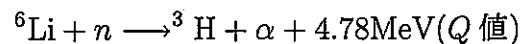
熱中性子の捕獲反応断面積が大きな原子核反応として、 $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ 、 $^{6}\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ 、 $^{3}\text{He}(n,p)^3\text{H}$ などが挙げられる。

この中の一つで $^{10}\text{B}$ の反応過程を下に述べる。 $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ の反応と $Q$ 値は以下のように書ける。



この反応の場合、94%の確率で娘核励起状態への崩壊となるが(図1)、基底状態あるいは励起状態どちらへの崩壊でも $Q$ 値は大きく熱中性子測定に有利である。

また、 $^{6}\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ の場合は、



となる。

以上の反応は大きな $Q$ 値(数MeV)を持つ発熱反応であるために、低エネルギー中性子による反応でも放出される荷電粒子は大きなエネルギーをもち、検出することが容易である。 $^{10}\text{B}$ 、 $^{6}\text{Li}$ 、 $^{3}\text{He}$ の反応断面積を図2に示す。 $^{10}\text{B}$ の場合、捕獲反応断面積は非常に大きく熱中性子に対しては4000barnにもなる。

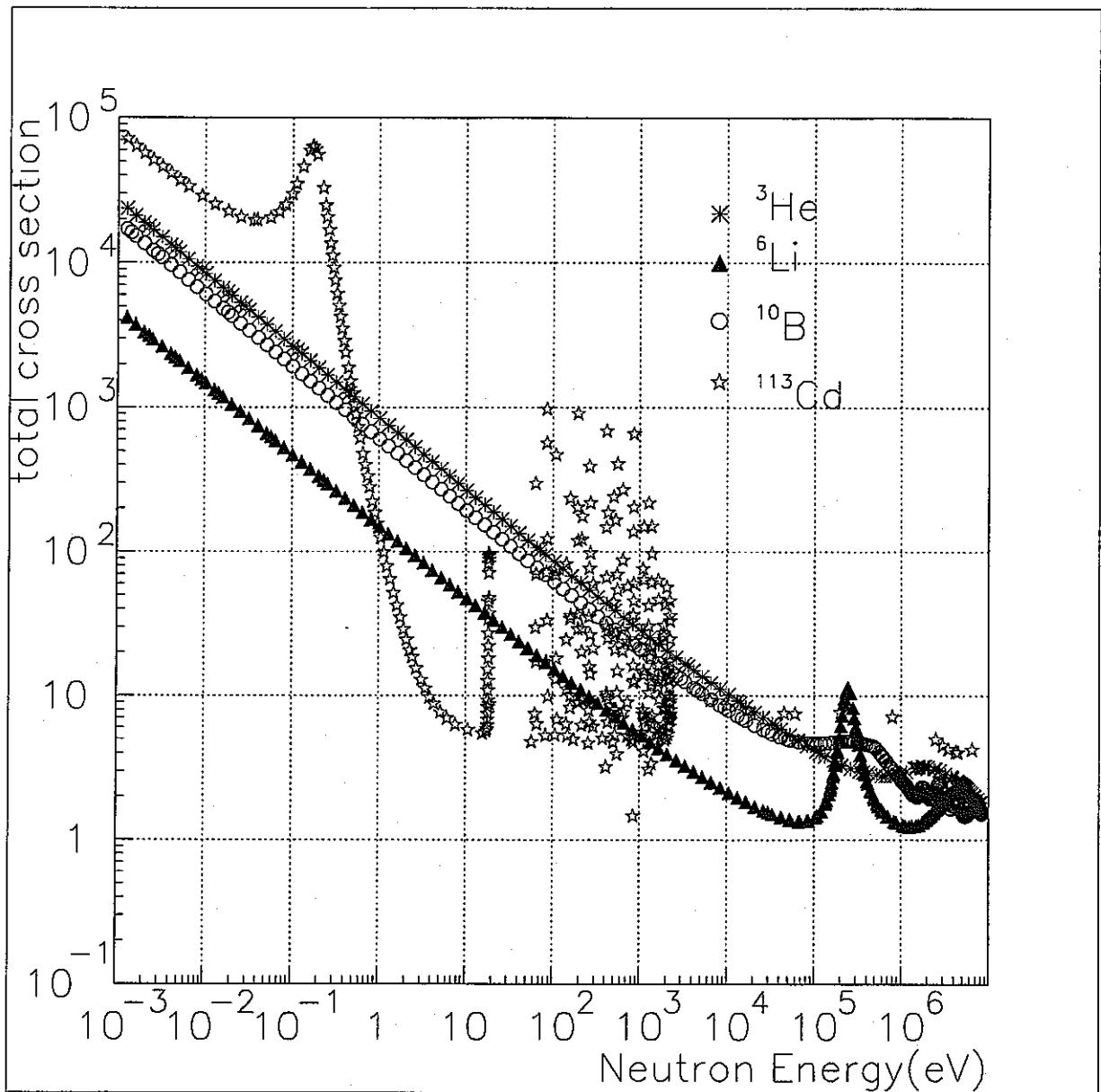


図 2: 热中性子と、热中性子に敏感な代表的原子核との捕获反応断面積

$^{10}\text{B}$  を例に取ると、図 2 からもわかるように 100eV 以下のかなり広いエネルギー範囲で  $1/v$  法則に従う。この法則により  $E_n$  のエネルギーをもつ中性子の断面積は、

$$\sigma(E_n) = \frac{\sigma_{th} \cdot v_{th}}{v} (E_n < 100\text{eV})$$

と書くことができる。

また、 $\alpha$  粒子や Li 核の大部分が持てる運動エネルギーは熱中性子に対して、

$$E_{\text{Li}} = \frac{E_{\text{kinetic}} \cdot M_{\alpha}}{M_{\alpha} + M_{\text{Li}}} = 0.83\text{MeV}$$

$$E_{\alpha} = \frac{E_{\text{kinetic}} \cdot M_{\text{Li}}}{M_{\alpha} + M_{\text{Li}}} = 1.47\text{MeV}$$

と計算できる（ただし、 $^7\text{Li}$  が励起状態へ崩壊する場合を考慮した）。

その他の測定方法として以下のようなものがある。

1.  ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$  反応を利用する方法
2.  ${}^3\text{H}(n,p){}^3\text{H}$  反応を利用する方法
3. 核分裂電離箱、核分裂計数管

### 1.1.3 高速中性子測定方法

熱中性子の測定は、捕獲反応断面積が大きい利点により、荷電粒子に変換し測定することで直接検出可能だが、高速中性子の測定の場合は捕獲反応断面積は非常に小さくなるためこの方法のみでは測定することは難しい。高速中性子測定に有効な手段は弾性散乱を利用することである。高速中性子が検出器内部の原子核と弾性散乱を起こし、運動エネルギーの一部を反跳核に与え、その反跳核の運動エネルギーを検出器で測定することにより、高速中性子の存在を測定できる。

高速中性子の測定方法でよく用いられるのは、陽子を反跳させて測定する方法である。この方法は、高速中性子が陽子と衝突することで運動エネルギーを失い、逆に陽子は運動エネルギーを与えられる。このように高速中性子と陽子とが弾性散乱をし、それによってエネルギーを得た陽子はもちろん荷電粒子であるので通常の放射線検出器で容易に検出できる。

高速中性子と原子核との相互作用を下で述べる。高速中性子は特に弾性散乱で多くのエネルギーを失う。高速中性子のエネルギー領域では非相対論的に扱っても十分であることから、中性子の速度を  $v_0$  とすると中性子のエネルギー  $E_0$  は  $E_0 = m_n v_0^2 / 2$  と書ける。中性子の質量を  $m_n = 1$  とすれば、質量数 A の原子核の質量は A となり、重心系の散乱角を  $\theta_{cm}$  とすると、散乱後の中性子の持つ運動エネルギーは、

$$E = E_0 \frac{A^2 + 1 + 2A \cos \theta_{cm}}{(A + 1)^2}$$

と計算される（図 4）。

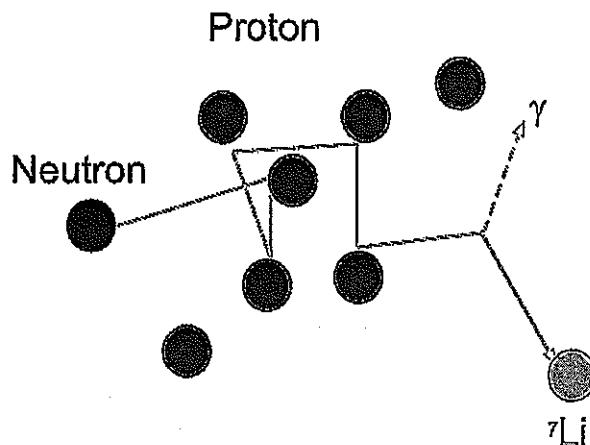


図 3:  $^{10}\text{B}$  を混入した液体シンチレータ中における中性子と物質との相互作用の概念図

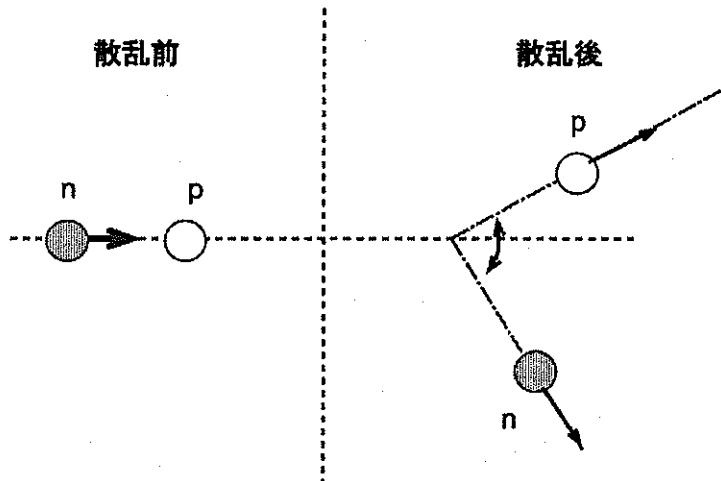


図 4: 速中性子と陽子との相互作用の運動学的概念図

#### 1.1.4 热・速中性子同时測定の原理

前節で述べたように中性子と原子核との弾性散乱を考えれば、原子核の質量数  $A$  が小さい程、中性子が失う運動エネルギーは大きくなる。したがって、中性子は  $A = 1$  の陽子との衝突で運動エネルギーをもつとも大きく失うので、高速の中性子は水やパラフィンのような水素を含む物質の中を拡散して行く間にどんどん減速されて、数十回の衝突で熱中性子になる。

よって、热・速中性子同時測定システムの可能性の 1 つとして、下に挙げる条件を満たしたシステムが考えられる。

1. 速中性子検出に適した検出器材料を選択し、速中性子検出にはこの材料からの反跳核信号を利用する。加えて、測定精度を高めるため、速中性子が熱中性子領域まで減速

された後に、検出器内に混入された熱中性子捕獲反応断面積の大きな原子核によって捕獲反応を発生させ、崩壊後に発生する $\gamma$ 線、 $\alpha$ 線の運動エネルギーをも測定する。ただし、検出器中で速中性子が熱中性子領域まで減速されるよう、充分な大きさを有する必要がある。

## 2. 热中性子検出には捕獲反応で発生する $\gamma$ 線、 $\alpha$ 線の運動エネルギーのみ測定する。

昨年度の本研究においては、主として熱中性子測定を主眼に性能を検証した。本報告書においては、上記の発想によって速中性子の測定可能性を検証した。測定可能であれば、さらに細部を考慮することにより、熱・速中性子同時測定システムの実現が可能となる。

## 1.2 有機液体シンチレータ

有機シンチレータには結晶やプラスチック、液体などの種類がある。無機シンチレータでの発光の減衰時間が数 $\mu s$ であるのに対し、有機シンチレータ中では一般に数nsと短く、非常に短時間に光を放出するために、高い計数率を得ることができる。一方、有機シンチレータは主にC,H,Oなどの原子番号が小さい元素で構成されているため、光子( $\gamma$ 線)に対しては光電ピークは形成せず、コンプトン効果による連続スペクトルのみが観測される。これに対し、無機シンチレータはNa,Ge,I,Ge等のZの大きな元素を材料とするため、光子に対して光電ピークを形成する。

このように有機シンチレーターは $\gamma$ 線のエネルギーの直接測定はできないという短所はあるものの、プラスチックや液体の場合、形を自由な形状を取ることができる、 $\gamma$ 線、 $\beta$ 線に対して高い検出効率を持った検出器を比較的安価に作ることができるなどの長所が有る。特に、速中性子の測定に際しては、有機シンチレータの主原料の1つである水素(=陽子1つ)の弾性散乱断面積が他の元素に比べて非常に大きく、有機シンチレータは速中性子線の重要な測定手段となっている。

### 1.2.1 蛍光過程

有機液体シンチレーターは、蛍光を発する溶質と荷電粒子のエネルギーを獲得して蛍光体(溶質)に渡す溶媒とからなる溶液である。また、溶質は蛍光を発する第一溶質とその蛍光を吸収して光電面が敏感な波長の光を再放出する波長変換体として働く第二溶質からなることが多い。有機物質中の蛍光過程は単一分子のエネルギー順位間での遷移によって生じるため、分子の種類に依存し物理的状態には依存しない。

図5はJablinski図と呼ばれている図で、励起状態の分子の挙動を模式的に示すものである。この中の図のSは一重項状態でTは三重項状態を示している。

$S_2$ 、 $S_1$ 、Tの中だけで起こる遷移は振動によるエネルギー消費によるもので、 $S_2 \rightarrow S_1$ の遷移は内部転換である。また、 $S_2 \rightarrow T_1$ は系間交差と呼ばれるもので、多重度の違った準位への遷移である。 $S_0 \rightarrow S_1$ は励起を表している。 $S_1 \rightarrow S_0$ は発光でこのとき出る光を検出することにより放射線の測定ができる。

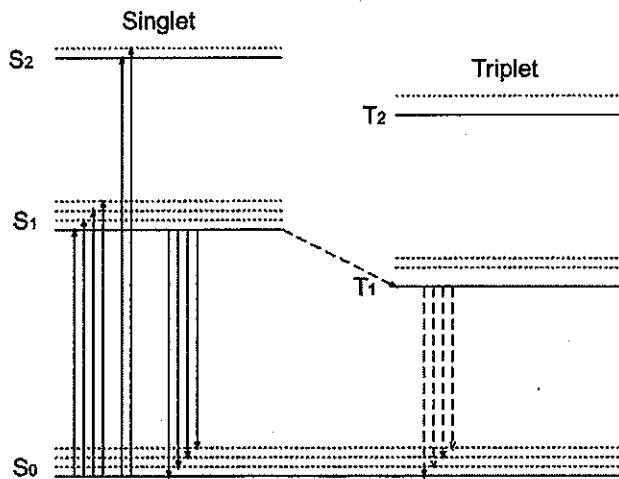


図 5: Jablinski 図

### 1.2.2 クエンチング

試料などを直接シンチレーターに溶かすために、純粋なシンチレーターに比べてシンチレーション光が減衰するクエンチング（消光）という現象が起こる。クエンチングはシンチレーターが直接の原因になる場合と、それ以外の原因がある。シンチレーターに原因がある場合以下の4つがあげられる。

- 化学クエンチング
- 色クエンチング
- 酸素クエンチング
- 濃度クエンチング

化学クエンチングは、溶媒の励起エネルギーが溶質に移行される過程で起こってしまう発光量減少の事を指す。

色クエンチングは溶質の中に発光スペクトルと重複するような吸収スペクトルをもつ物質がシンチレーターに混入しているために起こることで、純度を上げることにより解決できる。

酸素クエンチングは、酸素分子が強い電子受容性を持つために、励起された一重項状態の溶媒分子とエキシプレックスを形成しやすいことと、基底状態が三重項であるために三重項に励起された分子に対して禁止遷移が解けてしまい、遅い蛍光までクエンチングしてしまう状態である。

濃度クエンチングは溶質の濃度が高すぎるために起こるクエンチングである。溶質の濃度が高すぎると、励起状態の溶質分子と基底状態の溶質分子が接触して、エキシマーを形成する確率が高くなってしまう。そして、エキシマーは光を出さずに内部転換でエネルギーを失ってしまう。

表 1: BC-523A の物性的及び光学的性質

<sup>10</sup> B Content	4.41%
Density	0.916 g/cm <sup>3</sup>
Light output	65% anthracene
Decay time, short component	3.7 ns
Wavelength of maximum emission	424 nm
Bulk light attenuation	> 4 m
Refractive	1.415

表 2: BC523, BC523A の元素及び B 同位体組成比

atoms(per cc/10 <sup>22</sup> )	BC523A	BC523
<sup>10</sup> B	0.216	0.027
<sup>11</sup> B	0.053	0.243
Hydrogen	4.97	4.98
Carbon	2.86	2.86
Oxygen	0.808	0.811

### 1.2.3 濃縮 <sup>10</sup>B 混入有機液体シンチレータ

本研究では、中性子検出器として BICRON 社製の有機液体シンチレータ BC523A を使用した。本節においては、BC523A の性能を概略にて説明する。

BC-523A(付録 A に製品カタログ [16] を再録した) は濃縮 <sup>10</sup>B を多量に含んだ 1,2,4-トリメチルベンゼン (以下 プソイドクメン) ベースの液体シンチレータである (表 1,2)。同じ BICRON 社製の液体シンチレーターで天然同位体比の B を含む BC-523 と比較し、<sup>10</sup>B の濃度は BC-523A では BC-523 の約 5 倍に濃縮されている。

有機液体シンチレータは、前節までの議論通り速中性子測定に適した検出器であり、ここに熱中性子捕獲断面積が大きい <sup>10</sup>B が大量に混入していることから、この BC523A は熱・速中性子束の同時検出システムの実現に近い液体シンチレータである。以下、検出システム開発の詳報を述べる。

## 1.3 液体シンチレータによる熱中性子束検出器開発状況概説

昨年度実施した熱・速中性子同時検出器の開発について以下で簡単に解説する。

BC-523A を使用した熱中性子束検出器の開発状況については昨年度の研究報告書に述べた [9]。その中で、波形弁別法 (Pulse Shape Discrimination, PSD 法) によって熱中性子束を測定できることを示した。PSD 法とは、測定信号の減衰時間の違いに起因する波形の違いにより、信号を識別する方法である。中性子検出の場合、中性子が陽子を反蹴する時の陽子などイオンから得られる測定信号の減衰時間と  $\gamma$  線などの軽い粒子から得られる測定

信号の減衰時間には差がある。この差によって、陽子などの粒子による信号と $\gamma$ 線による信号を識別できる。

液体シンチレーターの性質の一つとして、信号減衰時間は20~30nsであり、検出器として減衰時間が非常に早い(図6,7)ことから、PSD法による粒子識別には液体シンチレータが適している事が挙げられる。この性質を利用し、 $\gamma$ 線に感度のあるヨウ化セシウム(CsI)検出器を周囲に置き、478 keVの $\gamma$ 線と液体シンチレータによる崩壊粒子との同時計測を行うことにより、信号対雑音比(S/N比)の良い測定を行った。さらにCsI検出器を外部からの $\gamma$ 線に対するベトー検出器としても利用する・液体シンチレータの粒子識別能を利用して崩壊粒子と外部からの $\gamma$ 線とを識別することにより、S/N比を上げた測定を行なった。この利点を活かし、図8,9に示す検出システムを構築し、 $^{10}\text{B}$ 混入済みの液体シンチレータBC523Aが熱中性子測定に対して感度が高い事を実証した。

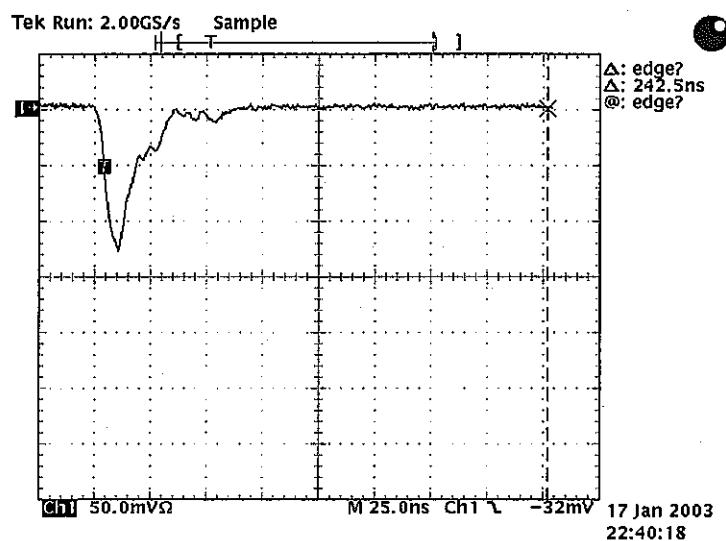


図6:  $\gamma$ 線測定時にオシロスコープで観察したBC-523Aからの測定信号出力

この検出方法と、その他の中性子束測定方法による感度の比較を表3に示した。

表3: 様々な検出器の比較

	Gran Sasso	INS	OULNS	LiH	BC-523A
形状	円筒形	球形	円筒形	円筒形	箱型
大きさ	$5\phi \times 1\text{m}$	$5\phi$	$2.5\phi \times 34.8\text{cm}$	$2.54\phi \times 2.54\text{cm}$	$4.5\text{cm} \times 4.5\text{cm} \times 6\text{cm} \times 6\text{cm}$
検出器	$^3\text{He}$ (気体)	$^3\text{He}$ (気体)	$\text{BF}^3$ (気体)	LiH(固体)	$^{10}\text{B}$ (液体)
圧力	3atom	10atom	0.789atom		
感度	844.3	93.9	13.8	2195.6	1070
参照	[12]	[13]	[14]	[8]	[9]

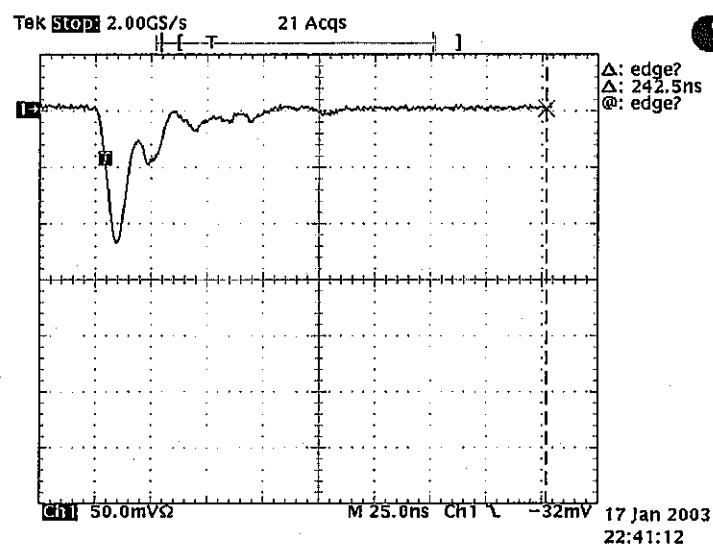


図 7: 热中性子線測定時にオシロスコープで観察した BC-523A からの測定信号出力

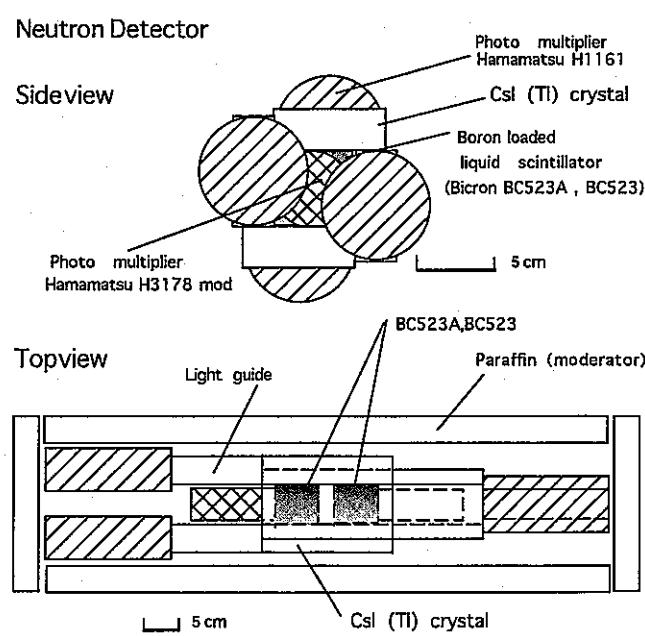


図 8: 中性子検出システム構成図

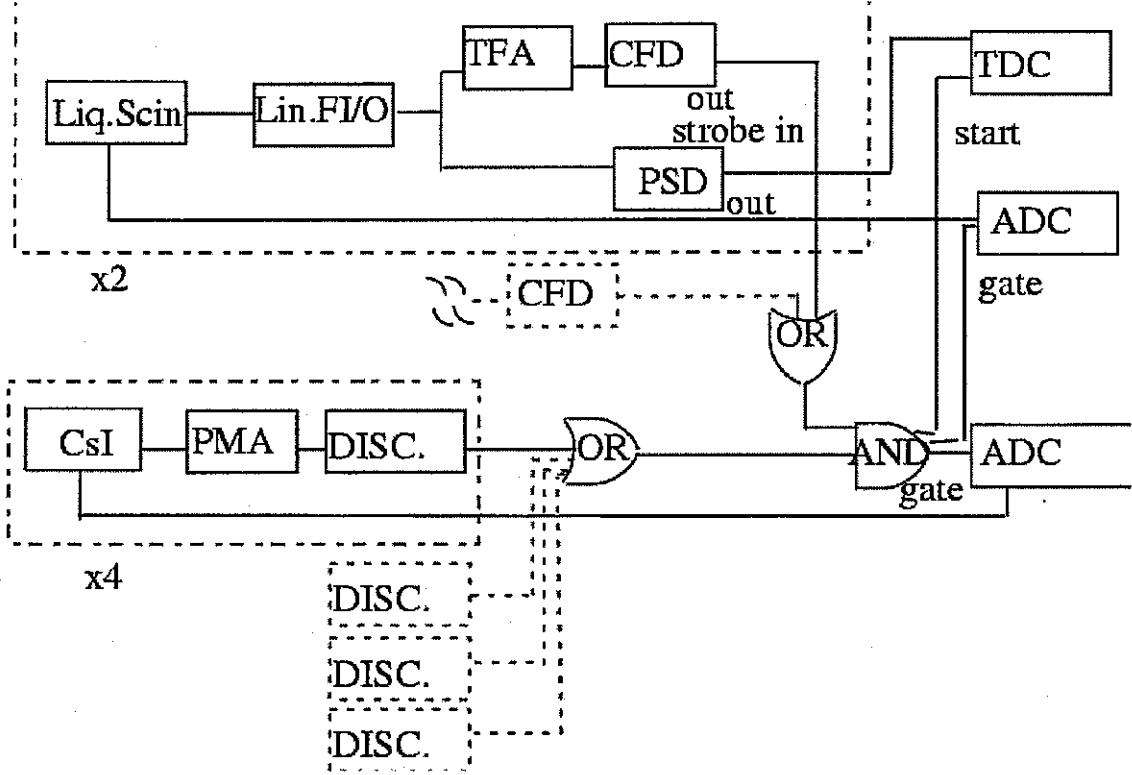


図 9: データ収集系回路図

## 2 液体シンチレータを使用した熱・速中性子束同時測定システム開発

前章に BC523A を使用した昨年度の熱中性子束測定方法を概説したが、ここからは今年度実施した速中性子束測定の開発状況を報告する。

昨年度に開発された装置は、主に熱中性子測定への原理の応用を試験したものであり、速中性子測定については必ずしも最適化されたものではなかった。つまり外部からの $\gamma$ 線に対して偶然同時計数した液体シンチレータ中での陽子反跳の事象を選び出すことにより、速中性子束の値も同時に求めたが、この速中性子による事象は偶然同時係数による物であり、検出効率は低く、実際得られた中性子束の値にはかなり大きな誤差が伴っていた。

今年度は速中性子束測定に適した検出器を開発し測定を行っていくことを主目的とした。将来的には熱中性子から速中性子まで同時に同一の検出器で測定できることが望ましい。よって、主となる検出器は熱中性子束測定に用いた物のうち、 $^{10}\text{B}$  を濃縮してある液体シンチレータ BC-523A を使用する事とし、速中性子束測定に適した手法を開発した上で、先に述べた熱中性子測定手法との統合を目指すものとした。

今年度の試験目標として、同じ液体シンチレータに幾何学的及び回路的な考察を加え、速中性子束測定に最適化する試みを行った。そのためには、次の各項目の調査が必要であると考えられた。本章ではこれらについて述べた。

1. 热中性子束測定に利用した液体シンチレータ検出器の利用
2. 速中性子束測定に向けた測定回路系の開発 (中性子線源 ( $^{252}\text{Cf}$ ) を用いてこの測定手法の妥当性を確認)  
簡便な計測回路の構築
3. 遅延同時計測における重要なパラメータである同時計数ゲートの時間幅の速中性子束測定への最適化
4. 検出効率向上のための検出器の大型化  
 $^{10}\text{B}$  の濃度、シンチレータの素材検討を実施した
5. 検出効率の検出器体積依存性を調べる為の加速器を用いた実験
6. シミュレーション計算による検出特性の評価

### 2.1 濃縮 $^{10}\text{B}$ 混入液体シンチレータの速中性子束測定への最適化の試み

本節では、最適化の試みの一環として実施した、

1. 液体シンチレータの改良
  - (a) 検出器サイズの検証

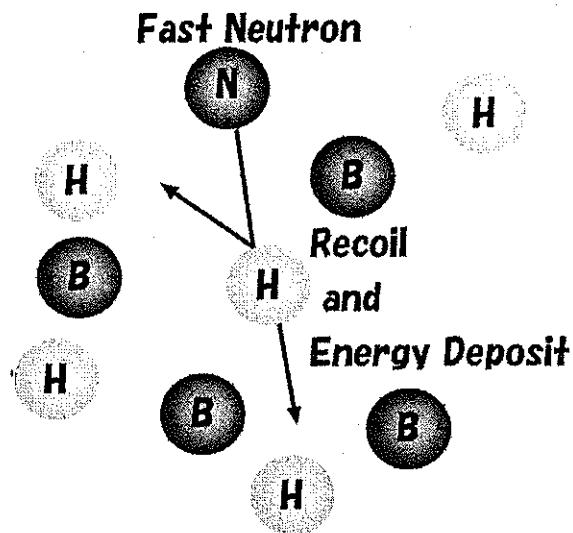


図 10: BC523A における速中性子の相互作用概念図

- (b) 将来の安価なシステム構築を目指した  $^{10}\text{B}$  濃度の希釈化
- 2.  $\gamma$  線同時計測用無機シンチレータの特性評価
- 3. 速中性子測定への回路最適化の試み
- 4. 簡便なデータ収集系の構築

について述べる。

### 2.1.1 液体シンチレータの改良

今回の研究では精度良く速中性子束を測定するため、

- 1. 速中性子と陽子の弾性散乱
- 2. 速中性子が減速された後の熱中性子の  $^{10}\text{B}$  による捕獲反応

以上の二段階の反応の利用を考えた。この際に発生する反蹴陽子からのシンチレーション信号、捕獲反応時に娘核から発生する  $\alpha$  線(図 1,3)からのシンチレーション信号を光電子増倍管(PMT)で観測できる。最初の信号(速中性子の陽子による弾性散乱)と、遅れて測定できる信号(捕獲反応崩壊時に発生する  $\alpha$  線)とを同時計測することから、この測定方法を遅延  $\alpha$  線同時計数測定法と呼ぶこととし、この検出法による速中性子束測定を行うものとした。

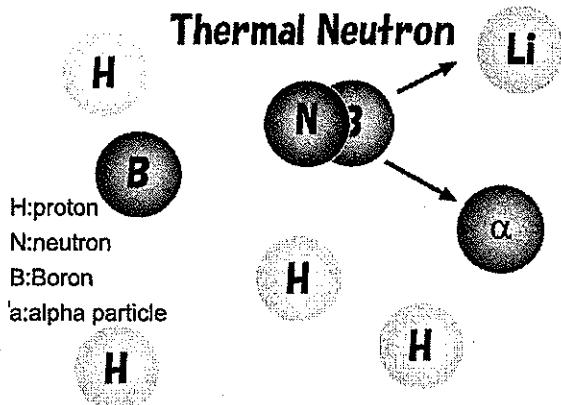


図 11: BC523A における熱中性子の相互作用概念図

**検出器サイズ** 検出器サイズは、目的とする物理現象を発生させるのに充分な寸法を必要とする。今回の場合、速中性子を熱中性子領域まで減速させるのに充分な寸法を考慮した。以下にその条件を示す。

速中性子と陽子の弾性散乱断面積は、次の式で表される [27]。

$$\sigma_s(E_n) = \frac{4.83}{\sqrt{E_n}} - 0.578 \text{ barns}$$

中性子の運動エネルギー  $E_n$  を  $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$  とすれば、 $\sigma_s \sim 4 \text{ barns}$  となる。熱中性子のエネルギーは  $10^{-2} \text{ eV}$  のオーダーなので、運動エネルギーを熱領域までに減速するには弾性散乱すべき回数は約 17 回となる [34]。この回数中に液体シンチレータ中を移動する平均距離は、次に弾性散乱を起こすまでの平均自由行程を考慮すると、7 cm 以内となる。実際には、中性子はランダムウォークにより、次の相互作用点までは距離をあまり進まない事が知られており、この寸法があれば、1 MeV の速中性子を熱領域まで減速しつつ測定することが可能である。

検出器の形状としては、等方的な測定を実施するには本来は球状が最善ではあるが、装置の形状よりは寸法の方が測定効率に関わるとの予測から、製作、保管、他の部分との組み立ての容易な円筒形を選択した。

これらの検討により、前回の研究において報告した熱中性子測定に有利な  $4.5 \times 4.5 \times 6.0 \text{ cm}$  の箱型容器(図 12)の他に、直径 5 inch(12.7 cm)、長さ 7.5 cm のパイレックス製円筒形容器(図 13)を製作した。なお、大型(5 インチ)光電子増倍管には浜松ホトニクス社製 H6257 を使用した。そして、小型箱型容器により検出システムの基本動作の検証を行い、実際の速中性子場においては、円筒形容器を使用して測定を行った。

なお、シミュレーション計算による容器寸法の検討については、2.6 節に述べた。

**$^{10}\text{B}$  濃度及び液体シンチレータ素材の検討と検出器寸法** 本研究では最終的には熱・速中性子の同時測定システム開発を目指している。汎用性を持った測定システム構築には、低コスト化が避けられないため、今回の研究中でも、低コスト化に向け、 $^{10}\text{B}$  濃度及び液体シ

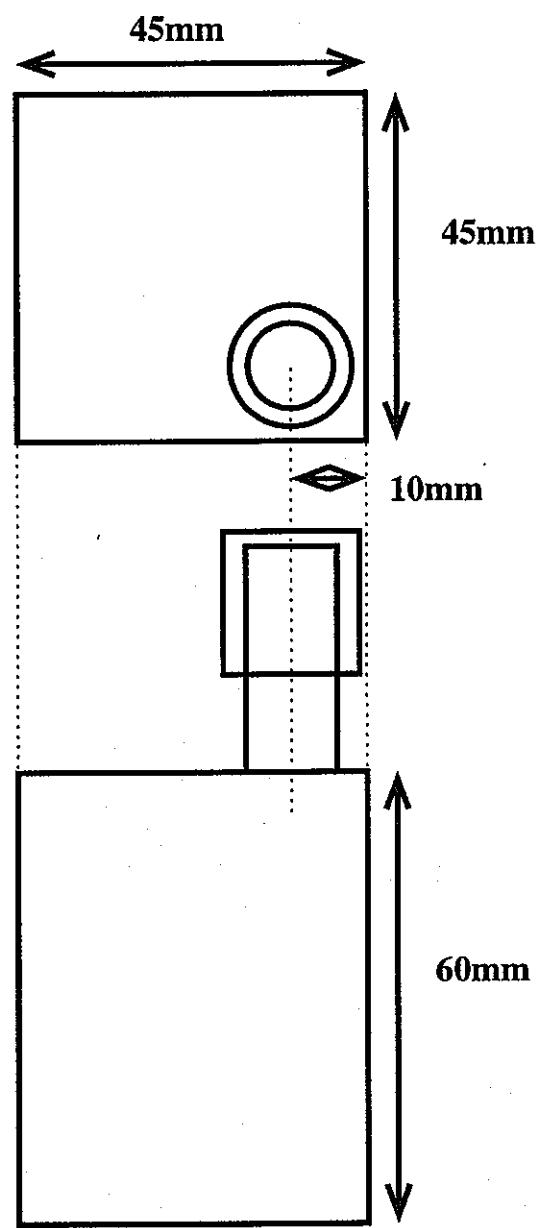


図 12: BC523A 検出器（箱型容器）

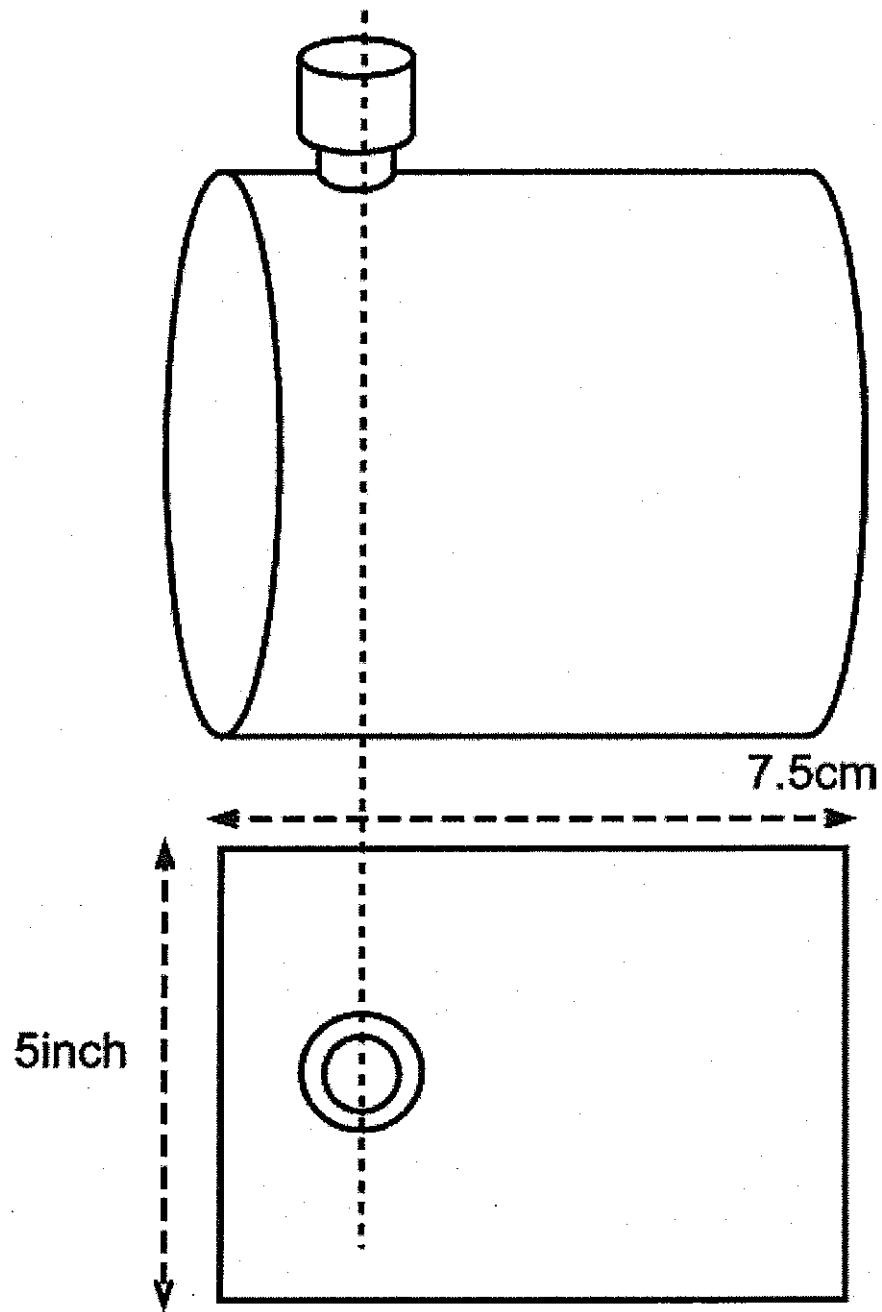


図 13: BC523A 検出器（円筒型容器）

ンチレータ素材の検討を盛り込んだ。その結果、BC523A は プソイドクメンをベースとした液体シンチレータであり、この溶媒 プソイドクメンで希釈することで低コスト化の検討を図るものとした。この際、

1. 検出器表面から平均自由行程分の厚さの層が、(運動方向が容器外部へと向いている) 熱中性子捕獲反応に対して不感層になると考えられる。検出器全体の体積に対して不感層の体積が十分小さいこと。
2. 陽子や他の原子核による吸収確率に比して  $^{10}\text{B}$  の吸収確率が十分大きいこと。
3. 平均捕獲時間  $\tau$  は濃度が薄くなれば長くなる。偶然同時計数による S/N 比の低下が顕著にならない程度に短い平均捕獲時間であること。

を考慮した。

条件 1 については、平均自由行程が容器の典型的な長さ  $l \sim 10\text{ cm}$  の  $1/10$  にすれば、検出器の全体積に対する不感層体積の割合は  $1/2$  以下に抑えられる。尚、この不感層は捕獲反応に対してあって散乱信号に対してでは無いことを強調しておく。

条件 2 については、測定すべき熱中性子が、 $^{10}\text{B}$  に捕獲されるか、あるいは陽子に吸収されるか、どちらの確率が大きくなるかが設計上の問題となる。陽子による熱中性子の捕獲反応断面積は  $3 \times 10^{-3}\text{b}$  であり、 $^{10}\text{B}$  の熱中性子捕獲反応断面積 ( $4000\text{b}$ ) とは実に 6 枠の差がある。表 2 に挙げた BC523A 中の元素組成に挙げた水素と  $^{10}\text{B}$  の存在比を考慮しても、平均自由行程で  $^{10}\text{B}$  の捕獲反応の確率が 5 枠大きいことがわかる。よって、BC523A を 500 倍希釈すれば、 $^{10}\text{B}$  による捕獲反応の確率が水素による吸収反応と同程度になる。

条件 3 に関しては測定条件にもよるが、低雑音環境においては偶然同時計数自体が低い為ほぼ無視出来、一方加速器ビームを利用した実験などでは  $T_w$  を調整して対処できると考えられる。

実際には、溶媒については PPO 等の波長変換剤の混入が必要であるため、溶媒のみを混入するのは発光量との兼ね合いとなる。こうして希釈した液体シンチレータを、前述の円筒型容器に挿入して測定を行った。なお、箱型容器には従来の BC523A を挿入した。

ここで重要なのは、シンチレーターの消光 (クエンチング) である。クエンチングとは何らかの原因によってシンチレーターの発行量が減少することである。この原因として、

#### • 酸素クエンチング

があげられる。この中でも酸素によるクエンチングは、酸素分子の電子受容性が強いために起こる。製品のシンチレーターに溶媒を溶かすことにより、これらのクエンチング効果を考慮使用予定の測定に入れて研究を進めなくてはならない。本研究では、以上のこと考慮した測定を行ったので、2.4.2 節において報告する。

なお、BC523A と プソイドクメンの濃度比、検出器寸法については、シミュレーション計算によっても検証を実施した。これについては 2.6 節において述べる。

### 2.1.2 エネルギー較正

BC-523A の含有物は表 1、2 に示したが、ほとんどが H,C,O などの原子番号 Z の小さな物質のみで形成されている。このことにより、高いエネルギーを持つた  $\gamma$  線などの放射線に対して全エネルギー吸収ピーク (photo peak) の測定はほとんど不可能になるため、約 100keV 以上のキャリブレーションにはコンプトンエッジの測定により行わなければならぬ。この場合のエネルギー較正線源として  $^{22}\text{Na}$  と  $^{60}\text{Co}$  を用いた (表 4 に代表的な  $\gamma$  線源のエネルギーとその最大コンプトン端エネルギーを紹介した)。

表 4:  $\gamma$  線エネルギーとコンプトン端エネルギー

source	Energy(keV)	compton edge(keV)
$^{241}\text{Am}$	60	
$^{137}\text{Cs}$	622	477.7
$^{22}\text{Na}$	511	340.1
	1274	1060
$^{60}\text{Co}$	1173	963.2
	1333	1117.6

$\gamma$  線源に対してエネルギー較正を行ったため、測定で得られるエネルギー分布は電子換算エネルギー (e.e.) に対するものとなる。そこで、電子換算エネルギーに対する分布として得られたエネルギー分布を、[10] から引用したグラフ (図 14) を使用し、中性子のエネルギーに換算するものとした。

## 2.2 CsI シンチレーター

$^{10}\text{B}(\text{n},\alpha)^7\text{Li}$  反応において、94% の確率で  $^7\text{Li}$  の励起状態へ崩壊し、そこから基底状態に更に崩壊する時に 478keV の  $\gamma$  線を放出する。この  $\gamma$  線を同時に測定することにより、熱中性子及び熱化された速中性子を明らかに測定している条件の一つとなり、また偽事象を弁別する強力な条件ともできる。そこで、今回  $3 \times 6 \times 20\text{cm}$  の CsI シンチレーター (図 16) を使用し、この  $\gamma$  線も同時に遅延同時計数するものとした。

そのため、使用する CsI シンチレーターのエネルギー較正のエネルギーに対する直線性を検証した。 $\gamma$  線源として、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  を使用し、そのエネルギーは表 4 に示した。

図 17 は、ADC に記録された波高と  $\gamma$  線エネルギーをプロットしたもので、直線性は保たれている。またこれらの測定から、CsI シンチレーターのエネルギー分解能は 511keV で 6.7% であった。

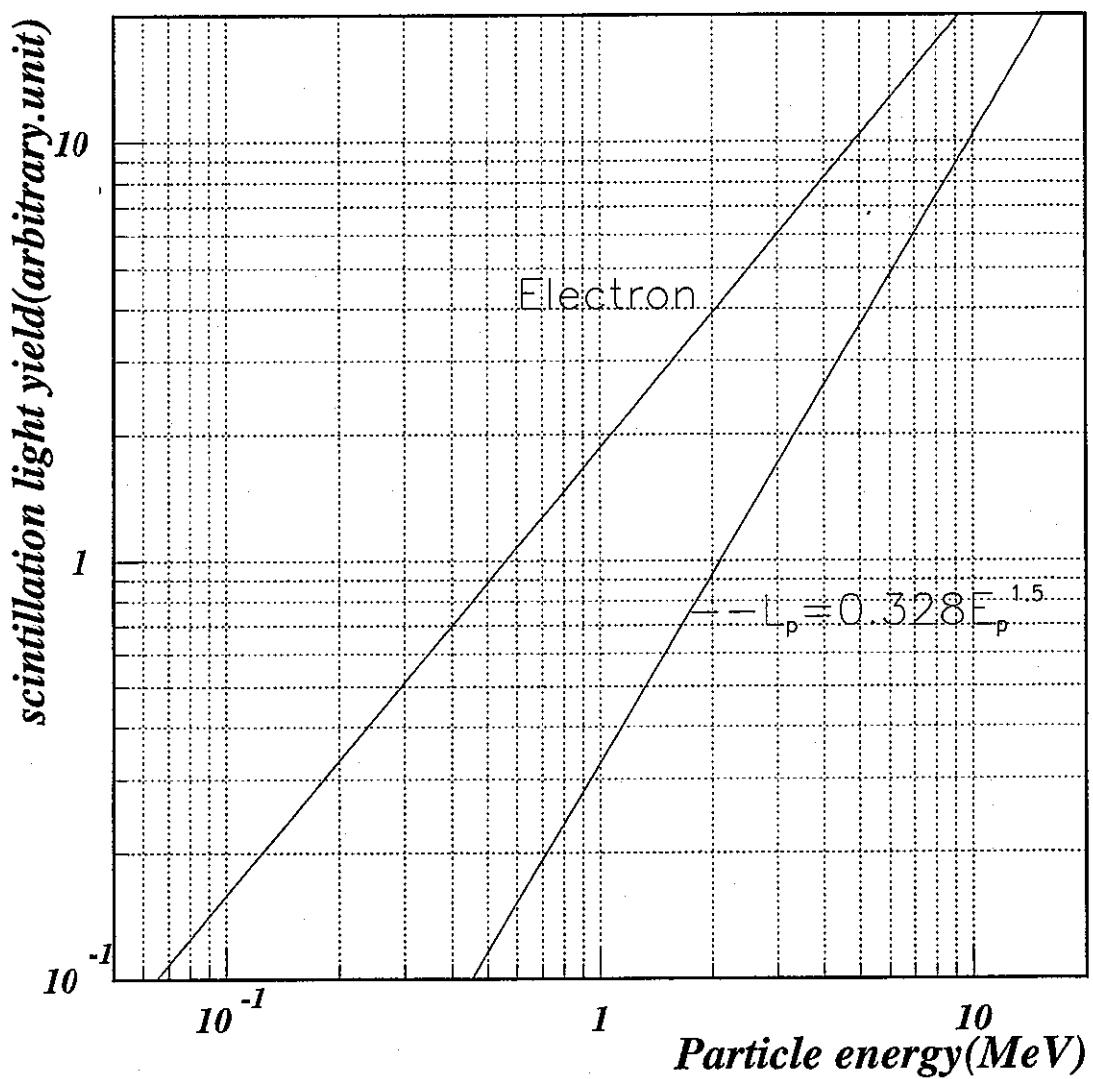


図 14: 液体シンチレータ BC-523 における電子と中性子の光量相対比

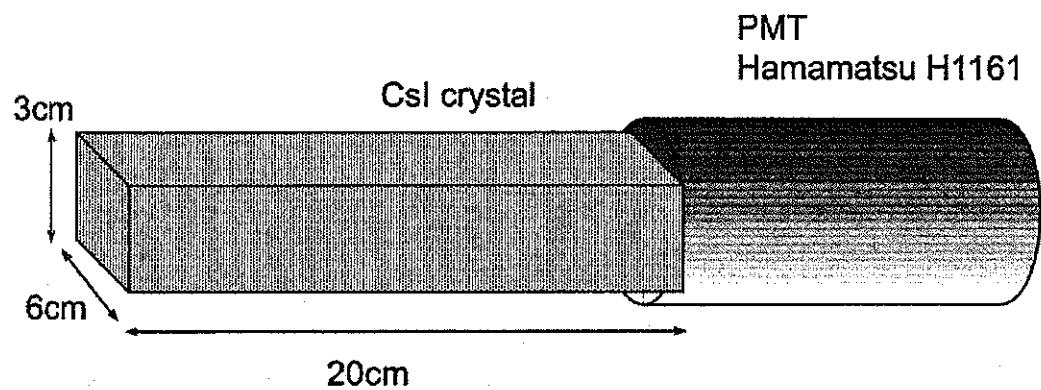


図 15: CsI 検出器の構成

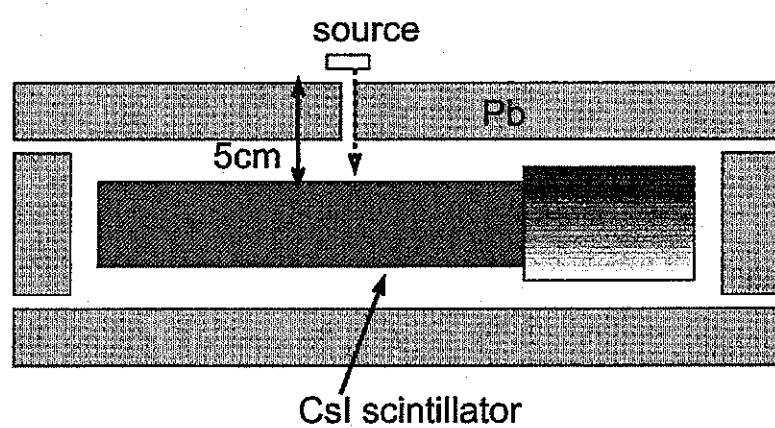


図 16: CsI エネルギー較正の構成図

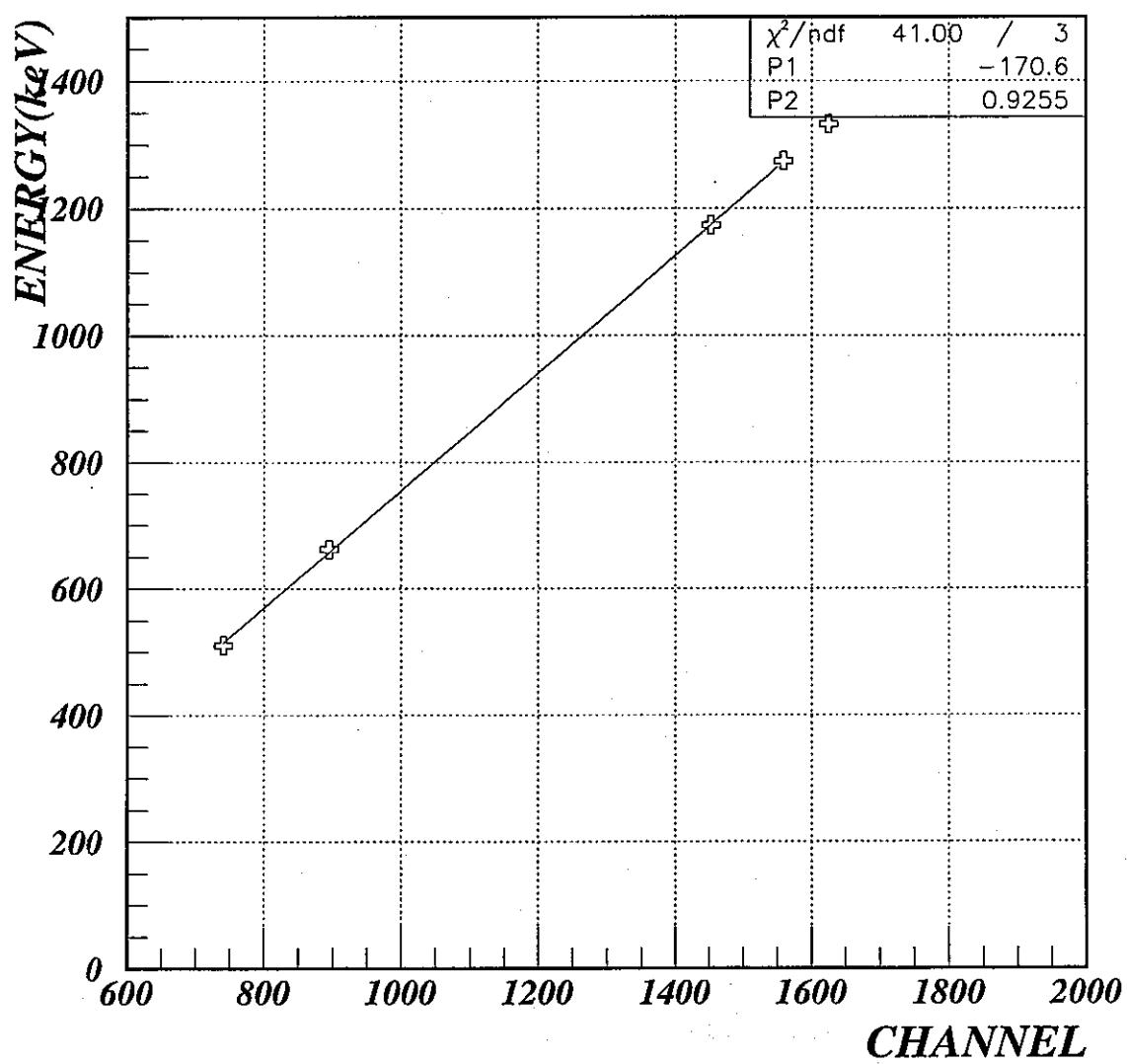


図 17:  $\gamma$  線源を使用した CsI のエネルギー較正 (波高=ADC チャンネル数 vs  $\gamma$  線エネルギー)

表 5: 測定システムに使用した回路等の主要構成

CAMAC	豊伸電子 クレートコントローラ (CCP-F) 林栄精器 ハーフクレート
PC	シャープ メビウス
OS	Windows98 Me
DAQ	KODAQ [17]

## 2.3 簡便なデータ収集系の構築

### 2.3.1 データ収集システム

今回の中性子束測定システム開発研究では、コンパクトで簡便な測定装置の開発を実施した。そのために、データ収集計算機にはノート型 PC を選択し、CAMAC クレートにはハーフクレートを選択した(図 18、表 5)。また、データ収集システムとして KODAQ[17] を採用した。KODAQについては、付録 B に解説を加えた。

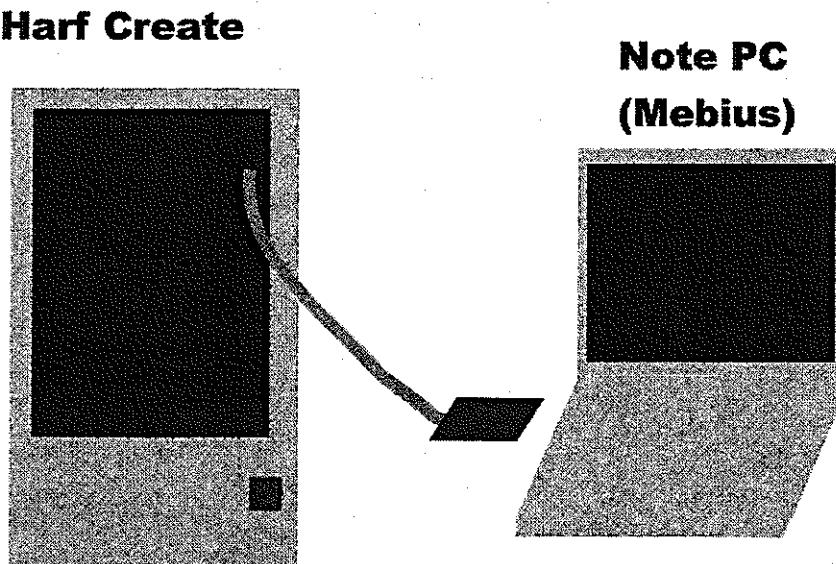


図 18: 簡便な計測回路 (データ収集システム KODAQ を使用した測定システム)

### 2.3.2 遅延同時計数法

速中性子束測定用遅延同時計数法に適した回路を以下の方針に基づき開発した。

1. 入射速中性子と検出器中の陽子 (もしくは他の原子核) との散乱信号をプロンプト信号とする。

2. プロンプト信号から続いて起こる熱化までの散乱信号全てを積分し、これを電荷積分型 ADC に入力する。この ADC のゲートの時間幅を  $t_{gate}$  とする。
3. 散乱により熱化した中性子の  $^{10}\text{B}$  による捕獲信号(遅延  $\alpha$  信号)は、 $Q$  値に相当する波高の信号をもってそれと考える。
4. ある遅延時間後( $T_d$ )に開く同時計数用ゲートの時間幅( $T_w$ )内に、delayed 信号が入ってきた場合、速中性子による信号と同定し、ADC のデータを計算機上に記録する。
5. 上で delayed 信号が入ってこなかった場合には、雑音と考えデータは棄却する(first clear)。

基本的には上記条件により速中性子と考えるわけであるが、先ずはその妥当性を確認する為、以下のような補助的な測定装置も組み込むこととした。

1. 遅延  $\alpha$  信号の妥当性を検証する為、熱中性子束測定で行ったように CsI 検出器を付加し、励起状態の  $^7\text{Li}$  から放出される 478 keV の  $\gamma$  線を測定する。
2. 測定は  $\gamma$  線のエネルギーを ADC で、液体シンチレータでの吸収信号と CsI での  $\gamma$  線検出信号とのタイミングを TDC で測定する。

以下に遅延  $\alpha$  線同時計数測定回路の詳細を述べる。

この遅延  $\alpha$  線同時計数測定法を実現する回路を図 19 に示した。 $(n,\alpha)$  反応により発生した二次粒子の  $\alpha$  は前年度の研究により電子換算エネルギーで約 60keV の運動エネルギーを持っていることが予想される。よって、この約 60keV のエネルギーを持つ事象を選定する部分を Discri.(Low) と Discri.(High) とし、

$$40\text{keV} \leq Threshold \leq 80\text{keV}$$

という事象を弁別できるものとした。

また、この二次粒子が一次粒子(反跳陽子)によって作られた信号と遅延同時計数回路で計数するよう Interval generator や Delay, OR, AND 回路等を組み合わせ、一次粒子による信号測定の後、ある時間内に約 60keV の信号が来た時だけ一次粒子による信号を測定する回路とした。これらの回路によって、60keV 付近の  $\alpha$  線事象を選ぶことを可能とした。

さらに、反跳陽子の信号と、上記の Discri. によってエネルギー選定した二次粒子( $\alpha$  線)を同時計数する遅延  $\alpha$  測定法により高速中性子を測定するため、反跳陽子の計測信号と  $\alpha$  線の計測信号の遅延タイミング調整を行った。これを図 20 に示した。つまり、二次粒子が約 60keV の  $\alpha$  線の信号で同時計数ゲート幅の中に入ってくるような場合に、ADC で一次粒子を測定するようにした。同時計数ゲートと 60keV の信号が遅延同時計数するような場合、ADC 信号を測定する(図 20)。もし二次粒子として 60keV の信号を得られない場合、ADC をクリアするようにした(図 21)。

表 6: 回路説明

回路	説明
Divider	信号を分ける
Discri.	閾値を決める
Logic Unit	AND 回路
OR	OR 回路
Int.Gen.	Interval 作成回路
Gate Gen.	Gate 作成回路
OutPut Gen.	LAM を立てる
Delay	信号を遅らせる
ADC	アナログ信号をデジタル信号に変える

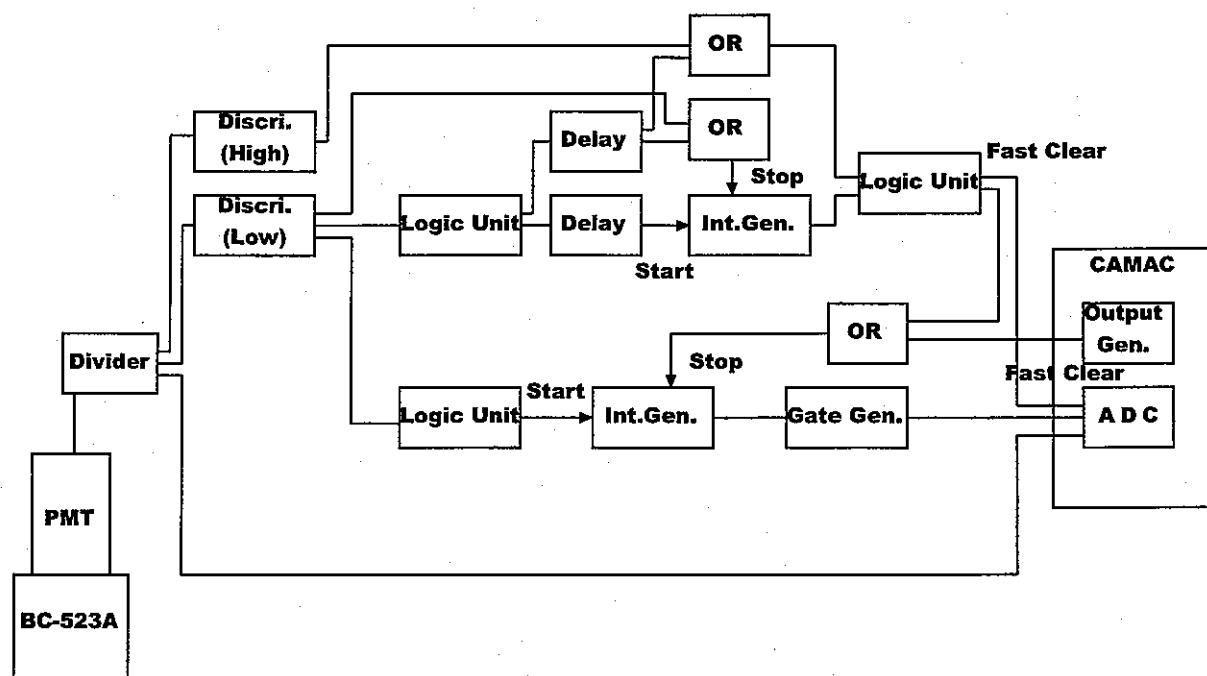


図 19: 速中性子測定用回路図

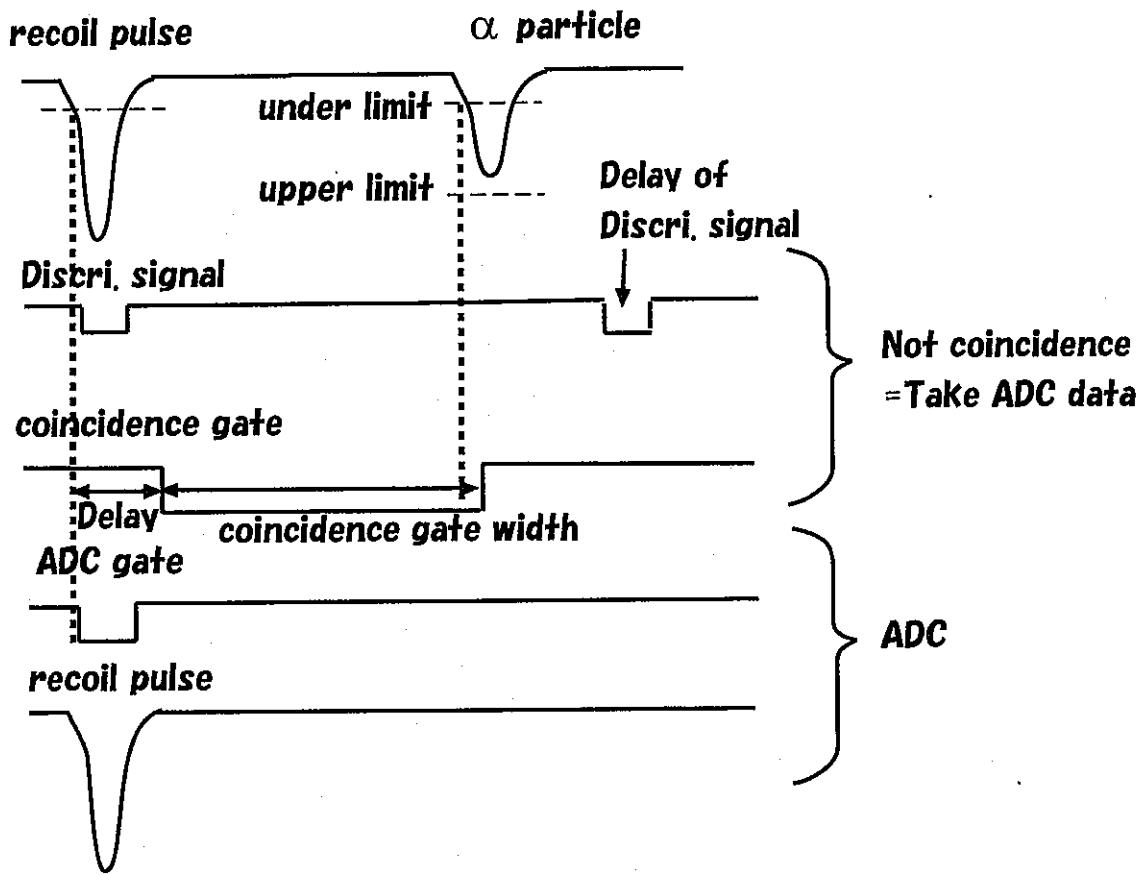


図 20: 1st pulse を ADC でとる場合

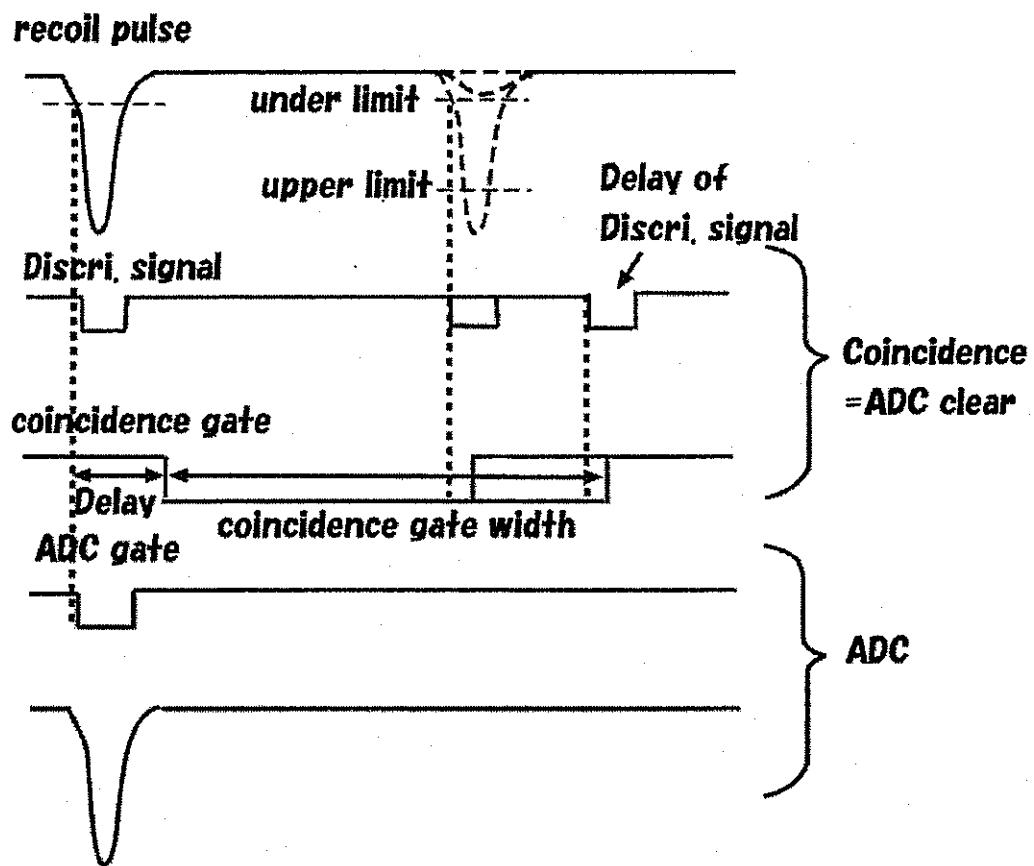


図 21: 1st pulse をクリアする場合

## 2.4 テスト測定

### 2.4.1 回路調整のための箱型容器でのテスト測定

**遅延同時計数タイミングの決定方法** 遅延  $\alpha$  同時計数法によって中性子測定を行うにあたり、遅延時間間隔 ( $T_d$ ) の決定は重要な要素となる。 $t_{gate}$  は、数 MeV 程度のエネルギーを持つ入射中性子が陽子等との散乱により prompt 信号を引き起こしてから、検出器内部で散乱を繰り返した後散乱確率に比して  $^{10}\text{B}$  による吸収確率が上回るまでの時間を考えて決定した。同時計数ゲートは検出効率の点からはこの直後に開くのが望ましい。よって  $T_d = t_{gate}$  とした。この値も将来的にはより詳しい研究が必要である。 $T_w$  については後述する。

熱中性子捕獲反応及び吸収反応において、散乱断面積は  $E \leq 100\text{keV}$  なら中性子の速度の逆数 ( $1/v$ ) に比例するので、熱中性子に対しての巨視的捕獲反応断面積と熱中性子を捕獲する原子核の密度  $N$  の関係は、次式で与えられる。

$$\sigma(E_n) = \frac{\sigma_{th} v_{th}}{N(^{10}\text{B}) \sigma(E_n) v}$$

$\sigma(E_n)$  : エネルギー  $E_n$  を持った中性子の反応断面積

$\sigma_{th}$  : 热中性子の反応断面積 = 4010b

$v_{th}$  : 热中性子の速度

反応全確率は巨視的断面積  $\sigma(E_n)$  によって表現される。

表 7: 热中性子と BC-523A の巨視的断面積

	個数密度 [個/barn · cm]	$\sigma_a$ [barn]	$\sigma_s$ [barn]	$\Sigma_a$ [cm $^{-1}$ ]	$\Sigma_s$ [cm $^{-1}$ ]	$\Sigma$ [cm $^{-1}$ ]
$^1\text{H}$	0.0498	0.332	20.47	0.01653	1.0194	1.03593
$^{12}\text{C}$	0.0286	0.0003	4.746	$8.5 \times 10^{-6}$	0.1357	0.1357
$^{16}\text{O}$	0.00811	0.0002	3.87	~0	~0	~0
$^{10}\text{B}$	0.00243	3837	2.144	9.3239	$5.23 \times 10^{-3}$	9.4601
合計				9.340	1.156	10.496

表 7 に粒子密度を考慮した巨視的反応断面積を挙げた。ここで、BC-523A 中の熱中性子の平均自由行程  $\lambda$  は巨視的反応断面積の逆数に等しい。つまり、

$$\lambda = \frac{1}{\Sigma} = 0.09527[\text{cm}]$$

また吸収されるまでの平均飛行距離  $\lambda_a$  は、

$$\lambda_a = \frac{1}{\Sigma_a} = 0.10707[\text{cm}]$$

となる。

また、これにより中性子が  $^{10}B$  に捕獲されるまでの時間 mean capture lifetime( $\tau$ ) は、

$$\tau = \frac{1}{N(^{10}B)\sigma(E_n)v}$$

が成り立つと考えられる。ここで、 $N(^{10}B)$  は  $^{10}B$  の密度で、BC-523Aにおいては  $0.243 \times 10^{22}/cm^2$  であり、また熱中性子の速度は  $v = 2.2 \times 10^5 cm/s$  であるから、このときの mean capture lifetime  $\tau$  は、

$$\tau_{BC-523A} = 0.466 \mu s$$

となる。

また、今回は BC-523A を希釈して測定に使用するので、このときの mean capture lifetime を同時にここで求めておくと、

$$\tau_{BC-523A(10\%)} = 4.66 \mu s$$

を得る（なお、BC523A 濃度を 10% と仮定した）。これらの計算結果を考慮に入れながら、遅延  $\alpha$  線同時係数ゲート幅  $t_{gate}$  を決定した。

**Delay 幅の決定** 高速中性子は BC-523A 中で、主に減速素材原子核（ほぼ Proton）との弹性散乱により減速する。この解析のため、次の三つの仮説を設けた。

1. 原子核は、実験質系で静止している。
2. 原子核は、化学結合によって束縛されない。
3. 散乱は重心系で等方である。

以上の仮説が成り立てば、減速方法は次の式で表される。エネルギー  $E$  で散乱された中性子が、散乱直後に区間  $(E', E' + dE')$  に入る確率を  $P(E \rightarrow E')$  で表すとき、 $P$  は次式で表される。

$$P(E \rightarrow E') = \begin{cases} \frac{1}{E(1-\alpha)} & \alpha E \leq E' \leq E \\ 0 & \text{それ以外のとき} \end{cases}$$

$$\left(\text{ただし } \alpha \equiv \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \right) A \text{ は減速材の質量}$$

このように、運動エネルギー  $E$  を持った中性子は、散乱された後に運動エネルギー  $\alpha E$  から  $E$  までの区間に確率的に一様に分配される。

ところで、遅延  $\alpha$  線同時係数ゲート幅と同様に遅延時間幅  $T_d$  も測定に影響を与える重要な要因の一つである。遅延時間幅決定には、速中性子が熱領域まで減速される時間が関係する。速中性子の BC523A 中での減速過程を含んだ平均飛行時間を図 22 に示した。箱型容器においては容量が小さいこともあり、Delay 幅は数 10ns 程でほとんどの高速中性子が熱中性子化することから 50ns に設定して測定することとした。

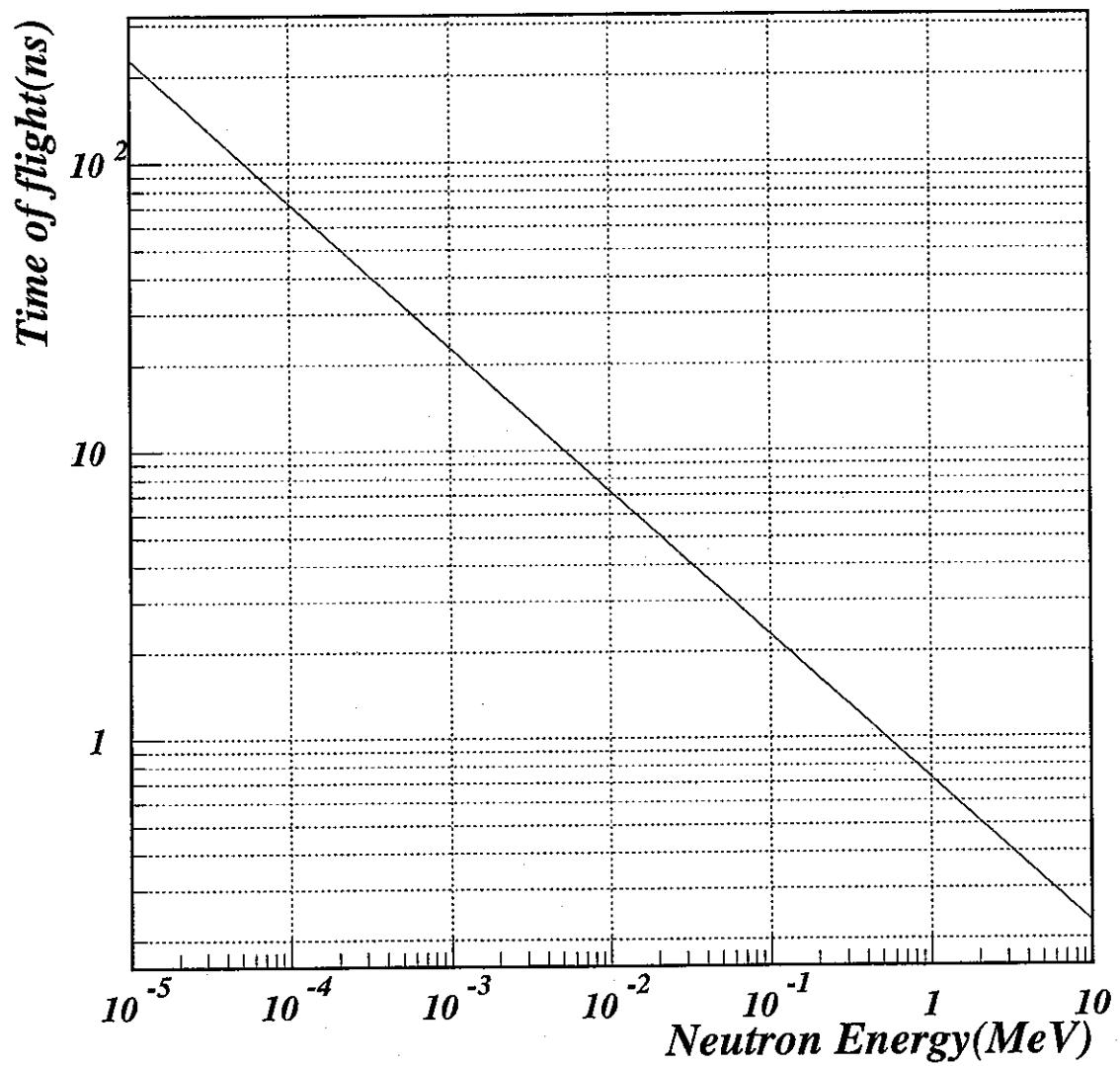


図 22: BC-523 中における中性子の平均飛行時間

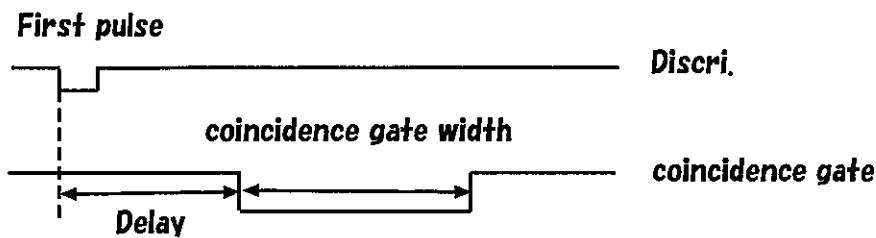


図 23: ゲート幅の概略図

**遅延  $\alpha$  線同時係数ゲート幅の決定** 前節までにあげた実験条件のうち、 $T_d$ について、検出効率・S/N 比の観点から最適値を求めた。同時計数ゲートの時間幅  $T_d$  は検出効率の点からは、長ければ長いほど良い。しかし一方、同一の電子換算エネルギー値を持った雑音信号によって偶然同時計数が起こる確率は、時間幅に比例して大きくなる。

平均捕獲時間;mean capture life-time ( $\tau$ ) は、数密度  $n$ ・吸収断面積  $\sigma_a(E_n)$ ・中性子速度  $v_n$  を用いて

$$\tau = \frac{1}{n\sigma_a(E_n)v_n} \quad (2)$$

で表せる。BC-523A ( $n(^{10}\text{B}) = 2.43 \times 10^{21}$ ) での熱中性子 ( $E_n = 0.025$  eV) の  $\tau_{\text{BC523A}}$  は

$$\tau_{\text{BC523A}} = 0.466 \mu\text{s} \quad (3)$$

となる。但し、今回使用した液体シンチレータは、揮発性の高い溶媒であるブソイドクメンの蒸発などによって  $^{10}\text{B}$  の数密度が上がっている可能性があること、完全に熱化する以前 ( $E_n > 0.025$  eV) に吸収される確率もかなり高いことなどから、実際の測定においては  $\tau$  が (3) 式よりも小さくなる可能性がある。

よって、実際の装置を用いて平均捕獲時間  $\tau$  の測定を行い、その結果を基に  $T_w$  を決定することとした。(図 23)。BC-523A の濃度から得た計算による予測から、ゲート幅を 500ns に固定し遅延時間幅を変化させて測定を行った結果を図 24 に示した。

この測定結果を見ると、Mean capture lifetime  $\tau$  は、

$$A = A_0 e^{-4.126t}, A : \text{計数率 (cps)}$$

より、

$$\tau_{\text{exp}} = 0.24 \mu\text{s} \quad (4)$$

と表される。この値から、検出効率を 90 %以上として  $T_w = 0.6 \mu\text{s}$  とした。雑音環境の異なる本測定では、偶然同時計測の計数率も考慮して決定するのが望ましい。

これにより、液体シンチレーター中の  $^{10}\text{B}$  の密度が  $0.47 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  であることが判明した。

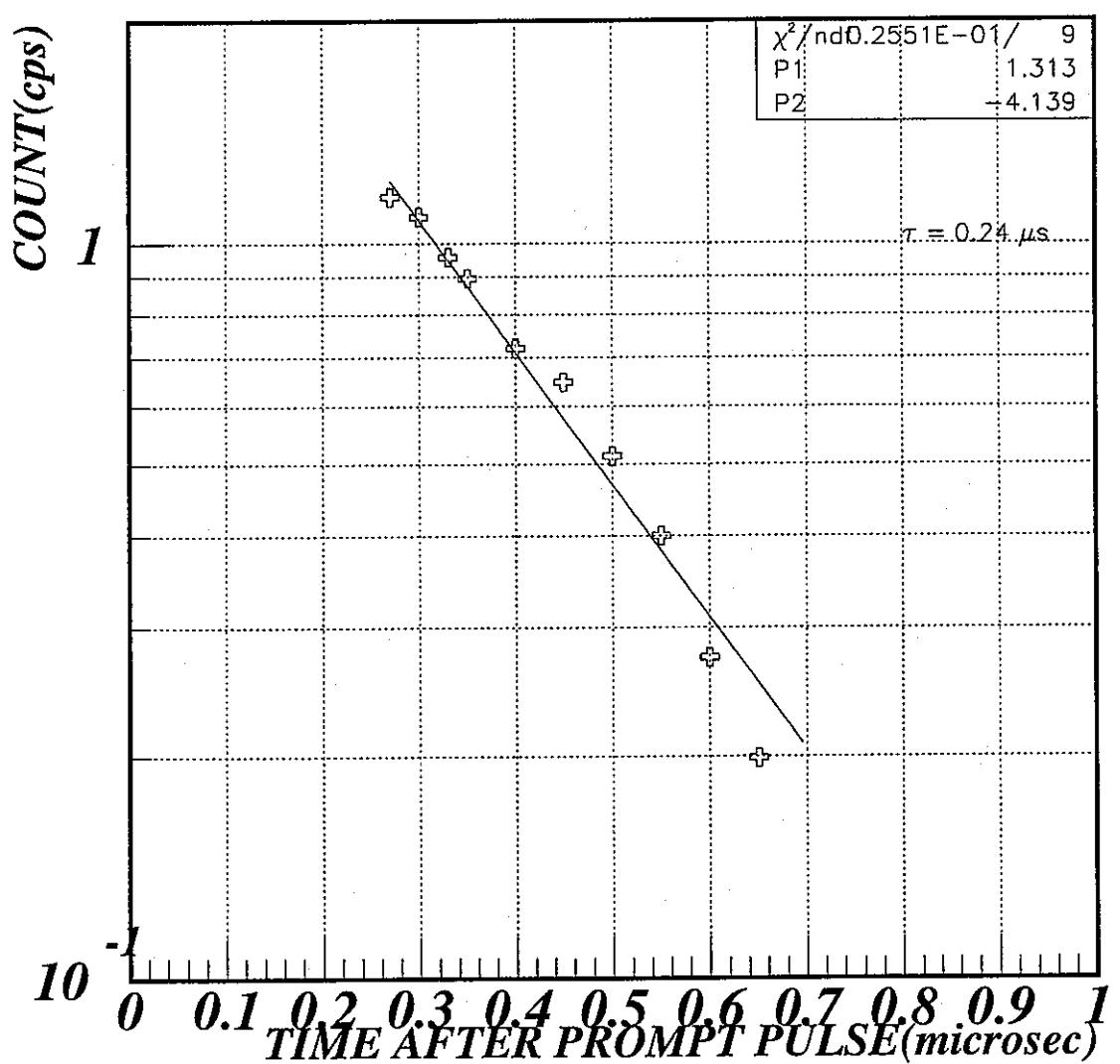


図 24: 遅延時間幅 対 計数率

BC-523A 中の  $^{10}\text{B}$  の密度はもともとは  $0.243 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  であるので、それから比べると倍の密度になったことになる。また、得られた結果を計算すると遅延  $\alpha$  線信号の 90% が  $0.54\mu\text{s}$  の間にくることが判明したため、これ以降の実験で同じ条件(容器、液体シンチレーターの濃度)で行う場合は同時係数ゲート幅を  $0.6\mu\text{s}$  に設定するものとした。

$^{252}\text{Cf}$  中性子線源を使用したテスト測定  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を使用し、前項までで遅延時間を設定した検出システムの動作試験を行い、中性子線のエネルギー分布を測定した。今回使用した線源強度は、 $2\text{MBq}$  である。

中性子測定の際にバックグラウンド起源の事象を同時計数回路で誤って同時計数せずに S/N 比を向上させ、また娘核  $^7\text{Li}$  からの  $478\text{keV}$   $\gamma$  線も遅延同時計数することで精度の高い測定を行うため、CsI シンチレータを組み込み(図 25)、さらに TDC 回路を導入する事で、 $478\text{keV}$   $\gamma$  線が確実に  $\alpha$  線と同時に測定された事象のみを計測した(TDC cut)。また、検出器の周囲は  $5\text{cm}$  の鉛で遮蔽した。 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源はこの鉛の外側に設置し、線源や外から来る  $\gamma$  線を排除した(図 26)。

本セットアップにより測定されたエネルギー分布は図 27~30 に示した。また、2nd pulse で測定されたエネルギー分布を図 31 に示した。

$478\text{keV}$  のガンマ線が得られる確率は、熱中性子が  $^{10}\text{B}$  に吸収されるときに励起状態に行く確率が 94%、また CsI の密度は  $4.53\text{g/cm}^3$ 、 $500\text{keV}$  での光電効果の断面積は  $9.2\text{barn}$ 、分子量は 260 であることと、立体角を考えて以下のように計算され、

$$\frac{1}{6} \times 9.2 \times 10^{-24} \times \frac{4.53}{260} \times 6.02 \times 10^{22} \times 0.9 \times 3.0(\text{cm}) = 0.004$$

0.4%となることが既にわかっている。今回の測定結果から、液体シンチレーターによる中性子のイベント数と CsI シンチレーターの  $478\text{keV}$  の  $\gamma$  線のイベント数(TDC cut)の比が、

$$\text{Count}_{BC-523A} : \text{Count}_{CsI} = 1 : 0.004$$

であり、本測定システムによる速中性子束の測定可能性が検証された。

以上の測定事実を以下にまとめた。

- 遅延信号のエネルギー分布では電子換算エネルギーにして  $60\text{ keV}$  付近にピークを作った。
- CsI 検出器で得られたエネルギー分布では捕獲  $\gamma$  線の信号を示す  $478\text{ keV}$  付近にピークを形成した。
- TDC によるタイミング信号分布では雑音による信号の上に、遅延信号として同時計測されたことを示すピークを形成した。
- TDC 信号を用いて遅延信号との同時計測された事象のみを選び出すと、CsI のエネルギースペクトルで、より S/N 比の向上した  $478\text{ keV}$   $\gamma$  線のエネルギースペクトルが得られた。

BC-523A

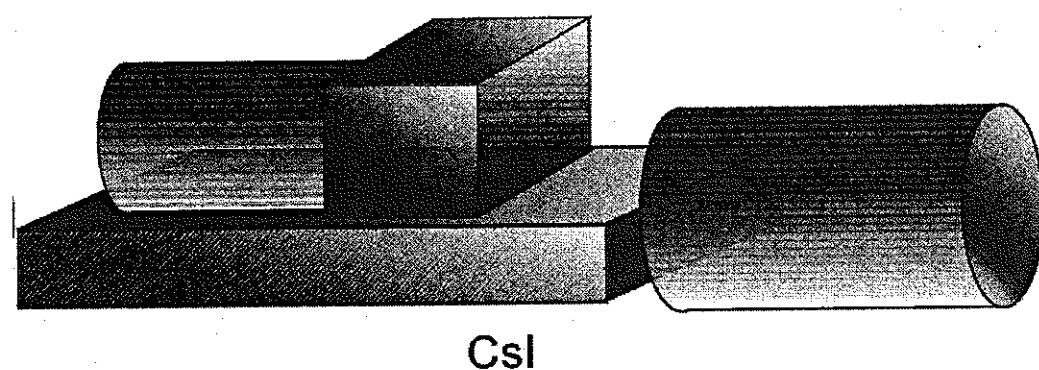


図 25: 箱型容器を検出器として用いた構成図

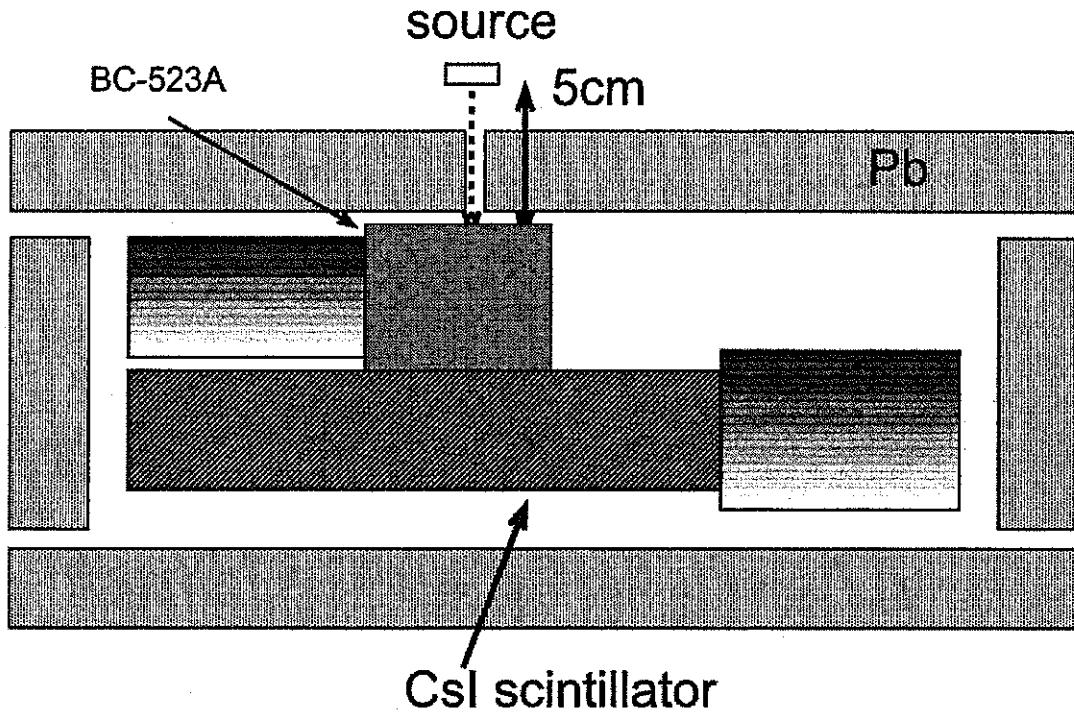


図 26: 箱型容器を検出器として用いた構成図

- 上記で選び出された事象数は、 $\gamma$ 線の放出確率・立体角・CsIでの光電効果の確率などから予想される事象数にほぼ一致した。

よって、この検出装置により速中性子束の測定が行われていることを確認した。

#### 2.4.2 速中性子測定用の大型容器によるテスト測定

箱型容器でのテスト測定により、この測定システムによる中性子測定が可能であることが実証された。次に、検出効率向上を目指して製作した円筒型容器でのテスト測定を行った。配置図は図 32、33 に示した。

**液体シンチレータの評価** 円筒型容器では、BC523A の希釈による発光量への影響を評価するものとした。

BC523A と新たに付加する プソイドクメン の比を 100:0、90:10、67:33、50:50、30:70、10:90 と濃度を変更していく、 $^{22}\text{Na}$ からの $\gamma$ 線に対するコンプトン端に相当する波高を測定し、BC523A 濃度と光量の相関を得た。この時の液体シンチレータ中の波高分布は図 34~39 に示した。そして、BC523A 濃度と光量の相関は図 40 に示した。この測定により、濃度が薄くなるにつれて発光量の低下が認められたが、濃度 100 %での発光量を 1 とすると、10 倍に薄めた時点での発光量は 0.42 程度であり、十分測定可能であることが判明した。以上の測定の結果、プソイドクメン を BC523A に対して 10 倍混入するものとした。

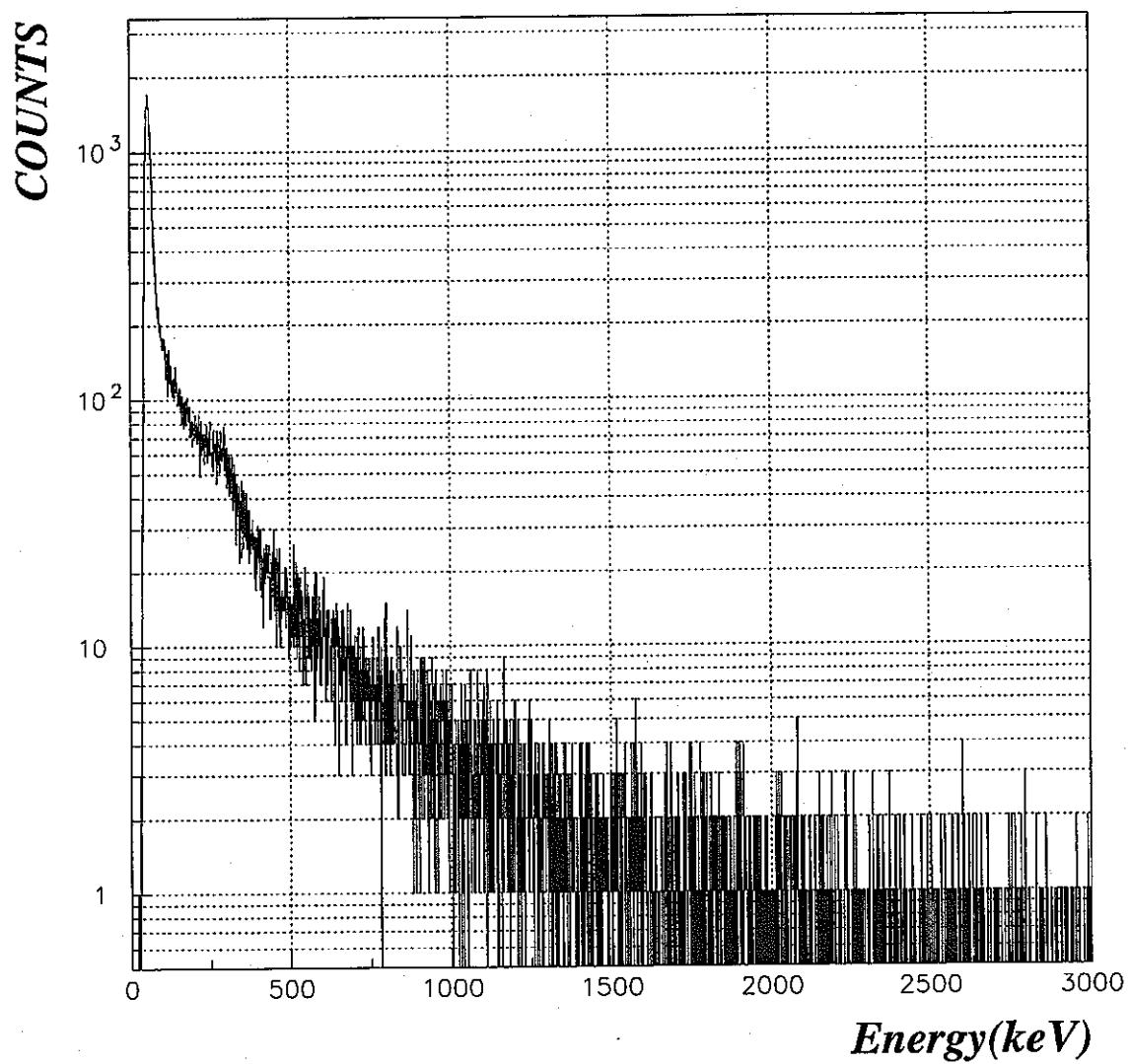


図 27: 箱型容器中の BC523A で測定した  $^{252}\text{Cf}$  線源に対するエネルギー分布

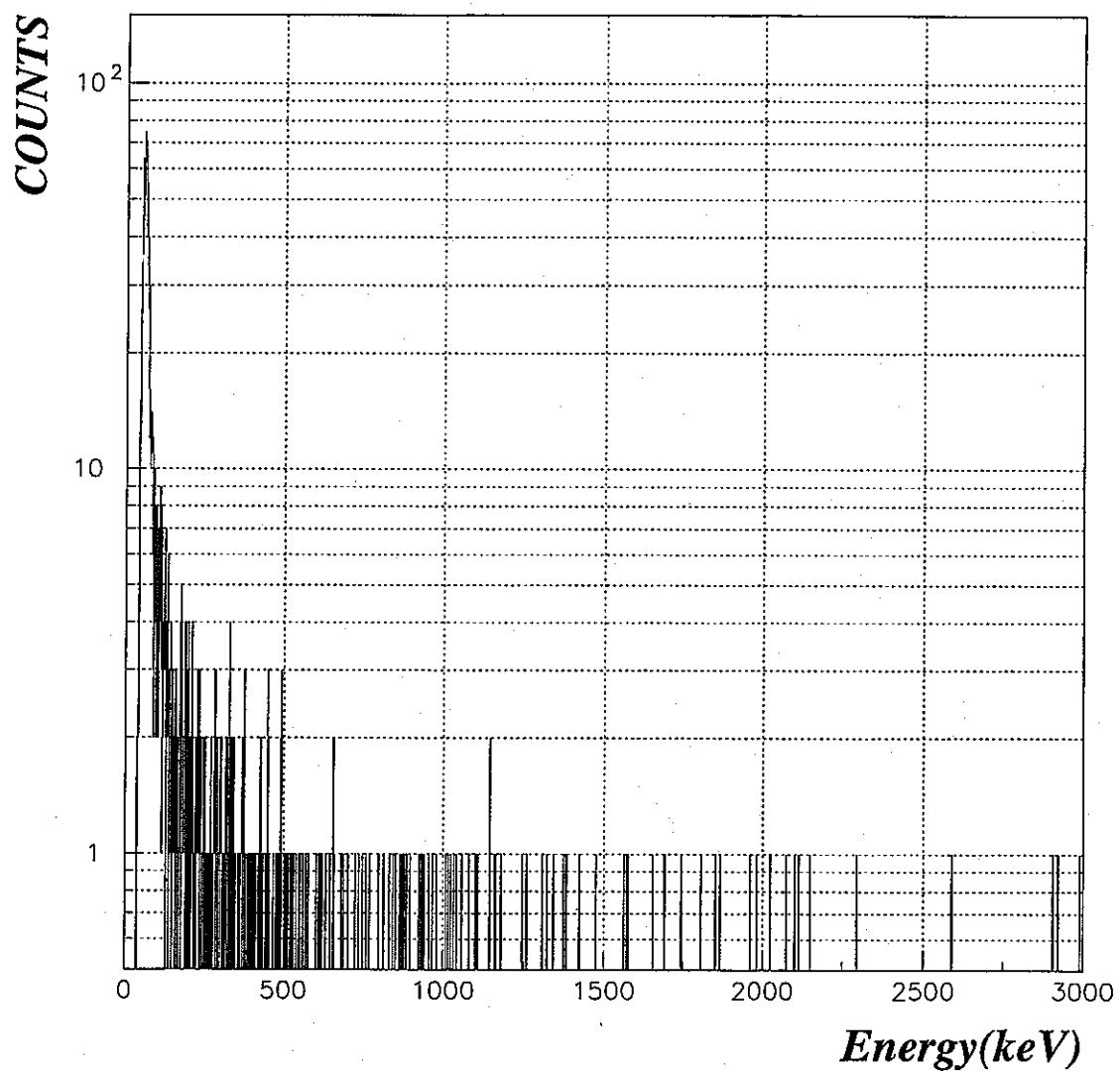


図 28: 箱型容器中の BC523A で測定した  $^{252}\text{Cf}$  線源に対するエネルギー分布 (TDC CUT)

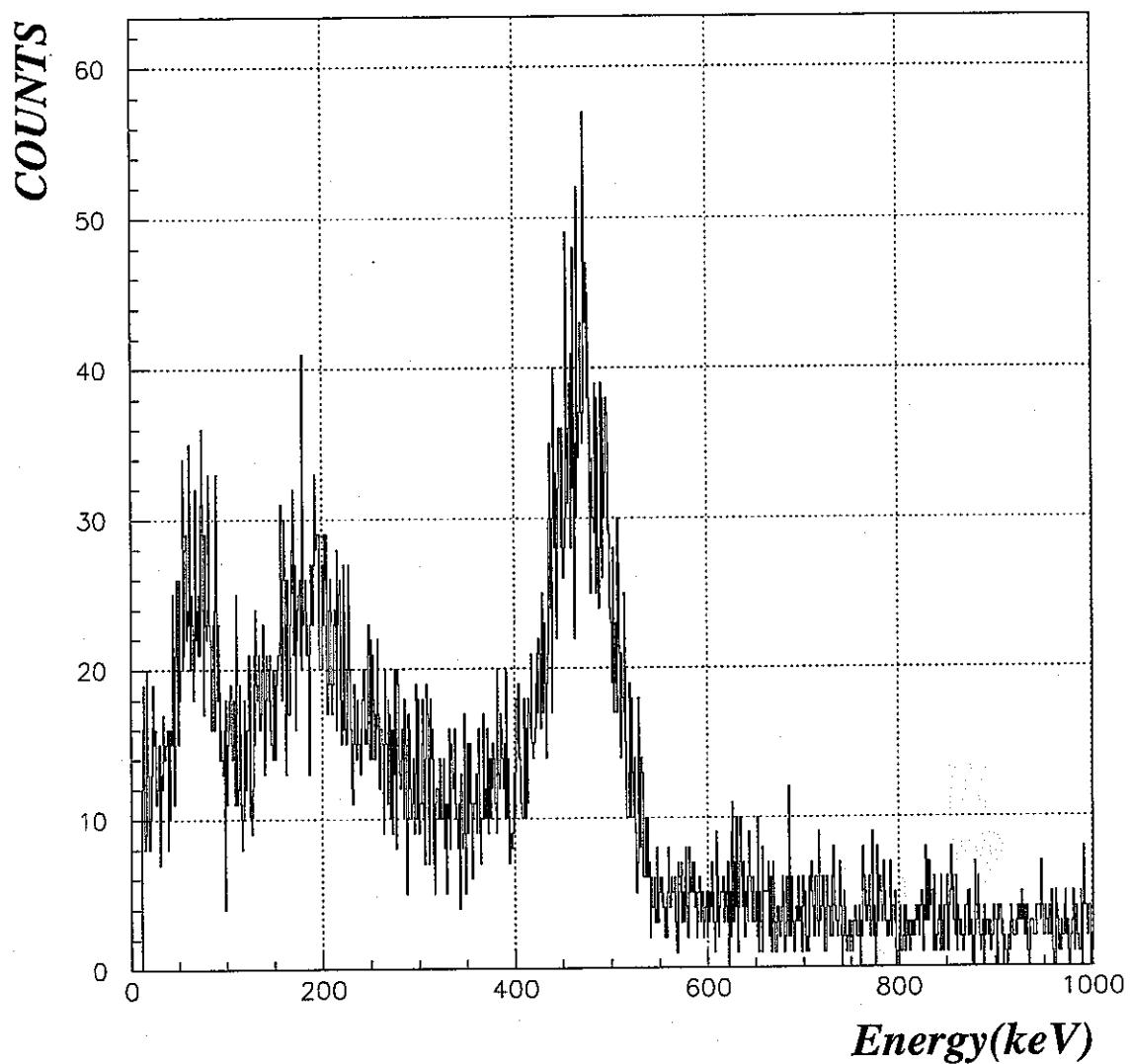


図 29: CsI 検出器で測定した  $^{252}\text{Cf}$  線源に対するエネルギー分布

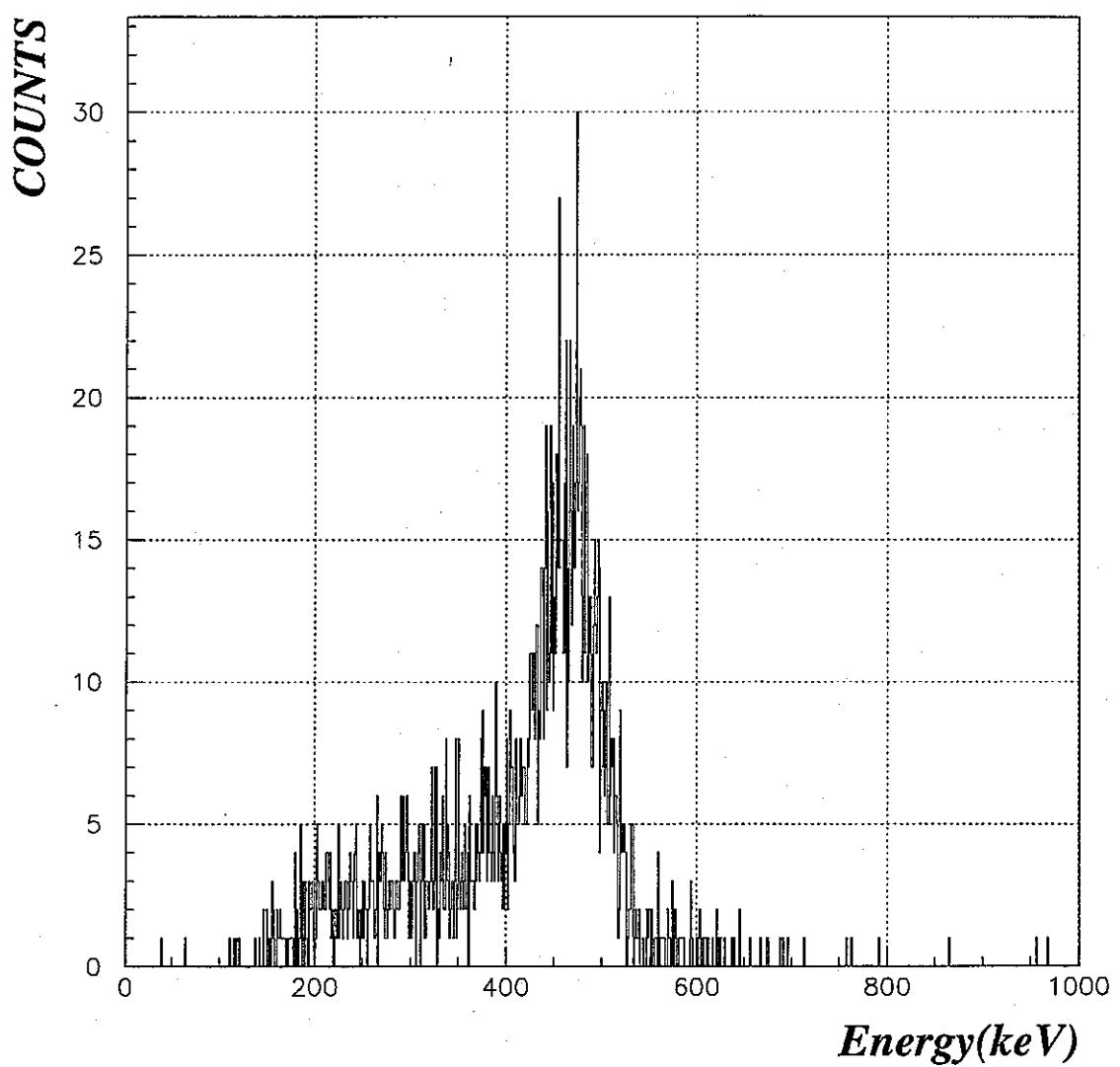


図 30: CsI 検出器で測定した  $^{252}\text{Cf}$  線源に対するエネルギー分布 (TDC CUT)

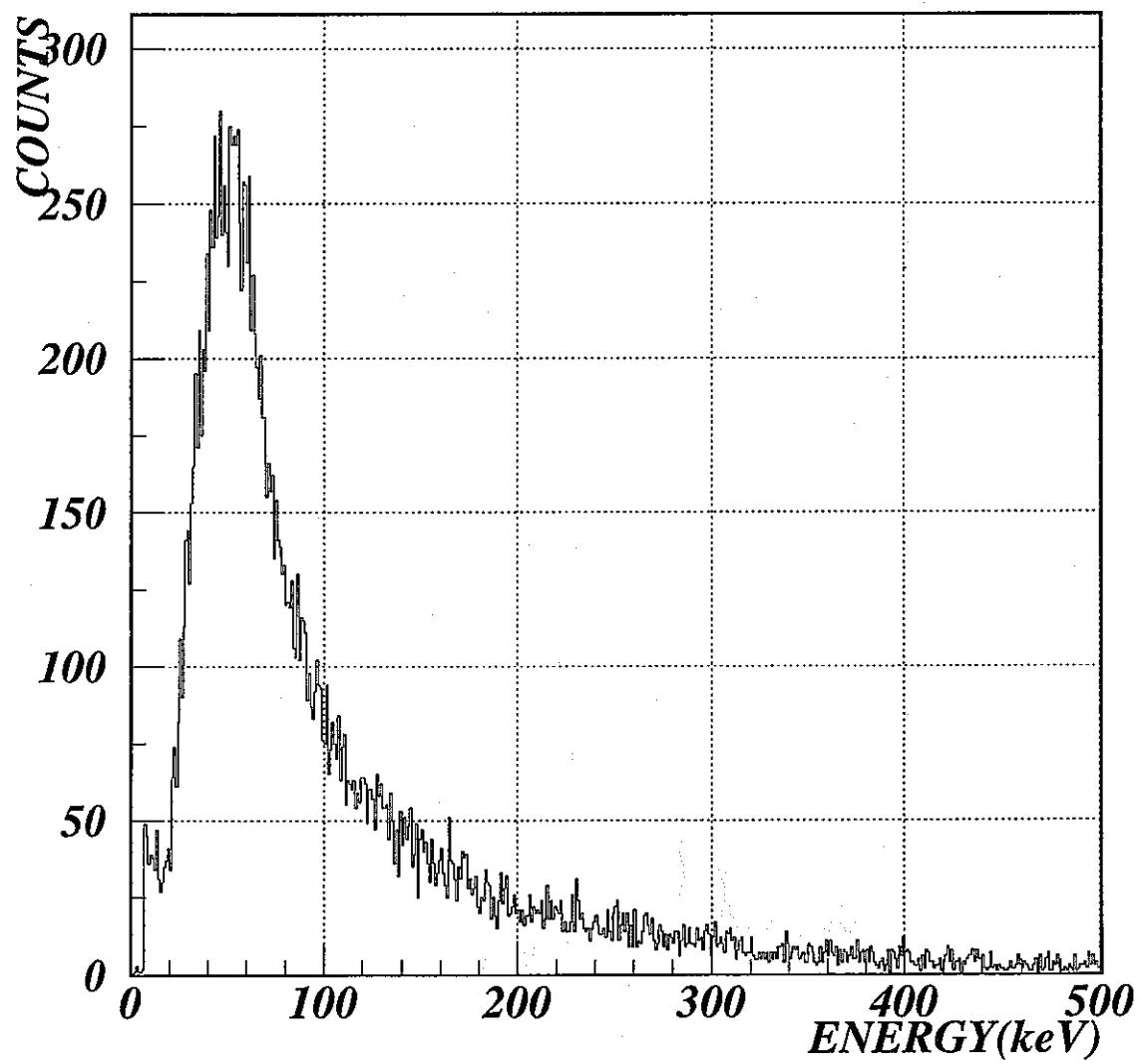


図 31: 遅延  $\alpha$  同時計数で選択された 2nd pulse 信号のエネルギー分布

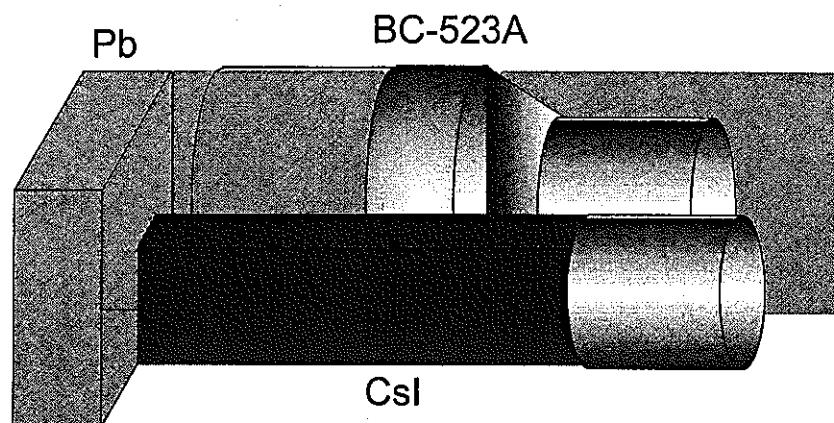


図 32: 円筒型検出容器配置図

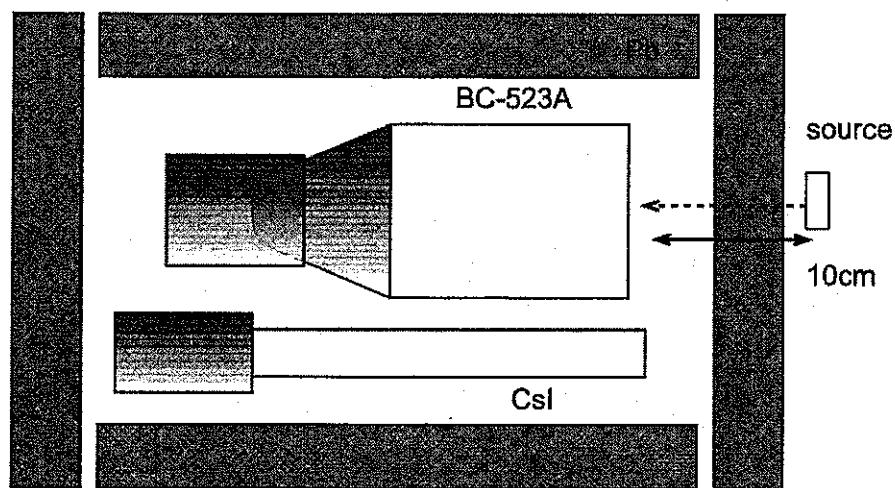


図 33: 円筒型検出容器配置図(上から見た図)

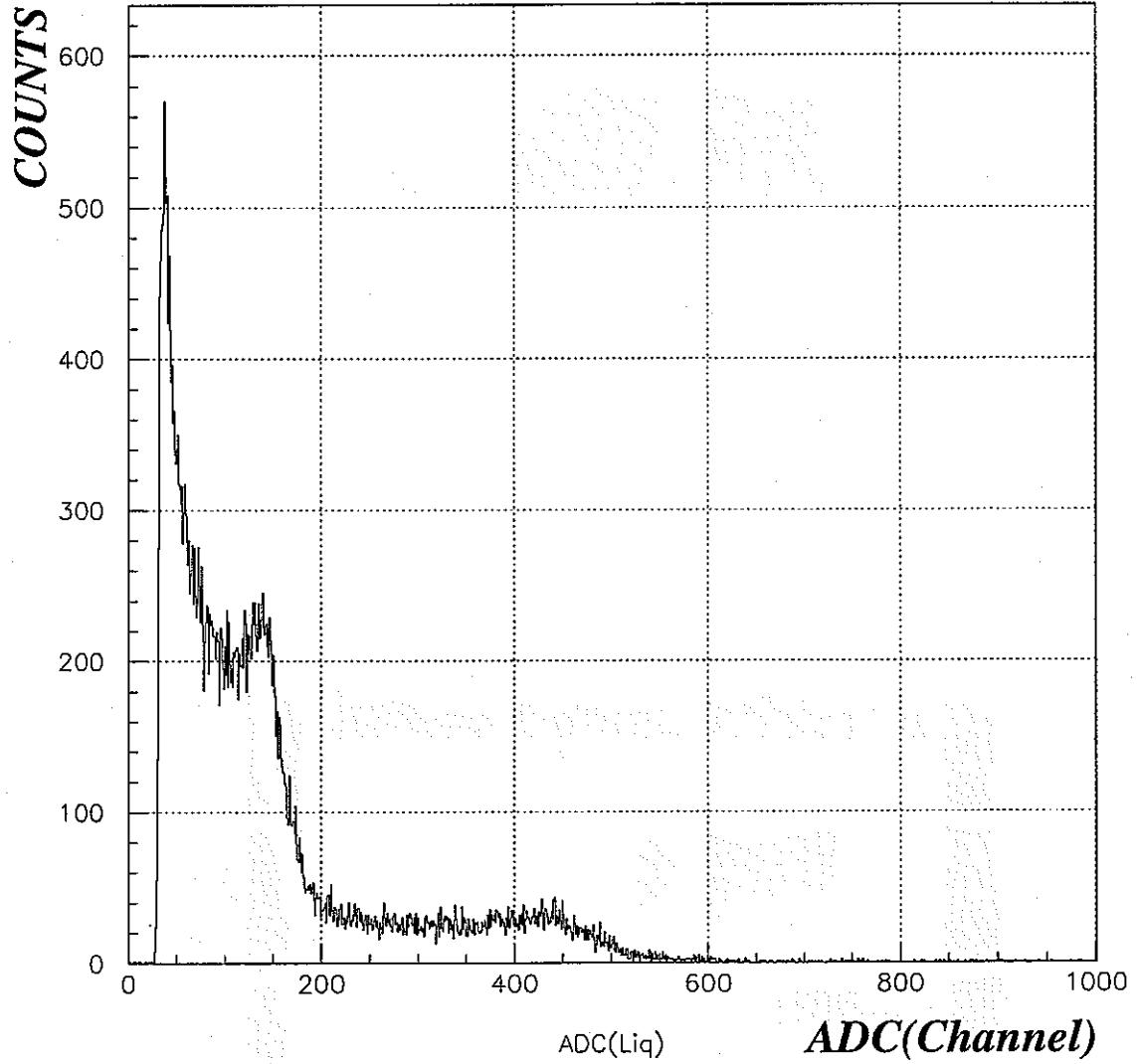


図 34: BC-523A(濃度 100%) を使用して測定した  $^{22}\text{Na}$  の波高分布

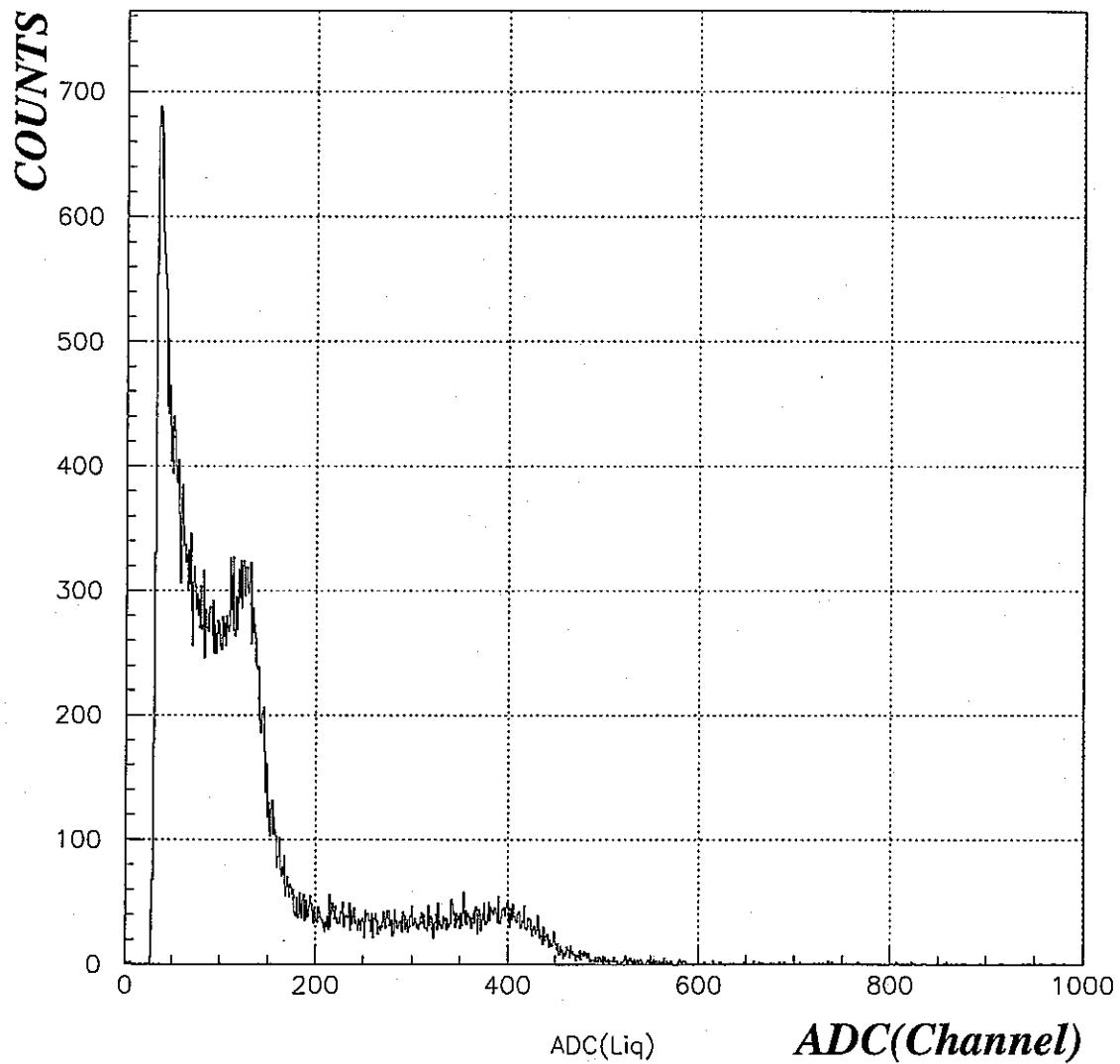


図 35: BC-523A(濃度 90%) を使用して測定した  $^{22}\text{Na}$  の波高分布

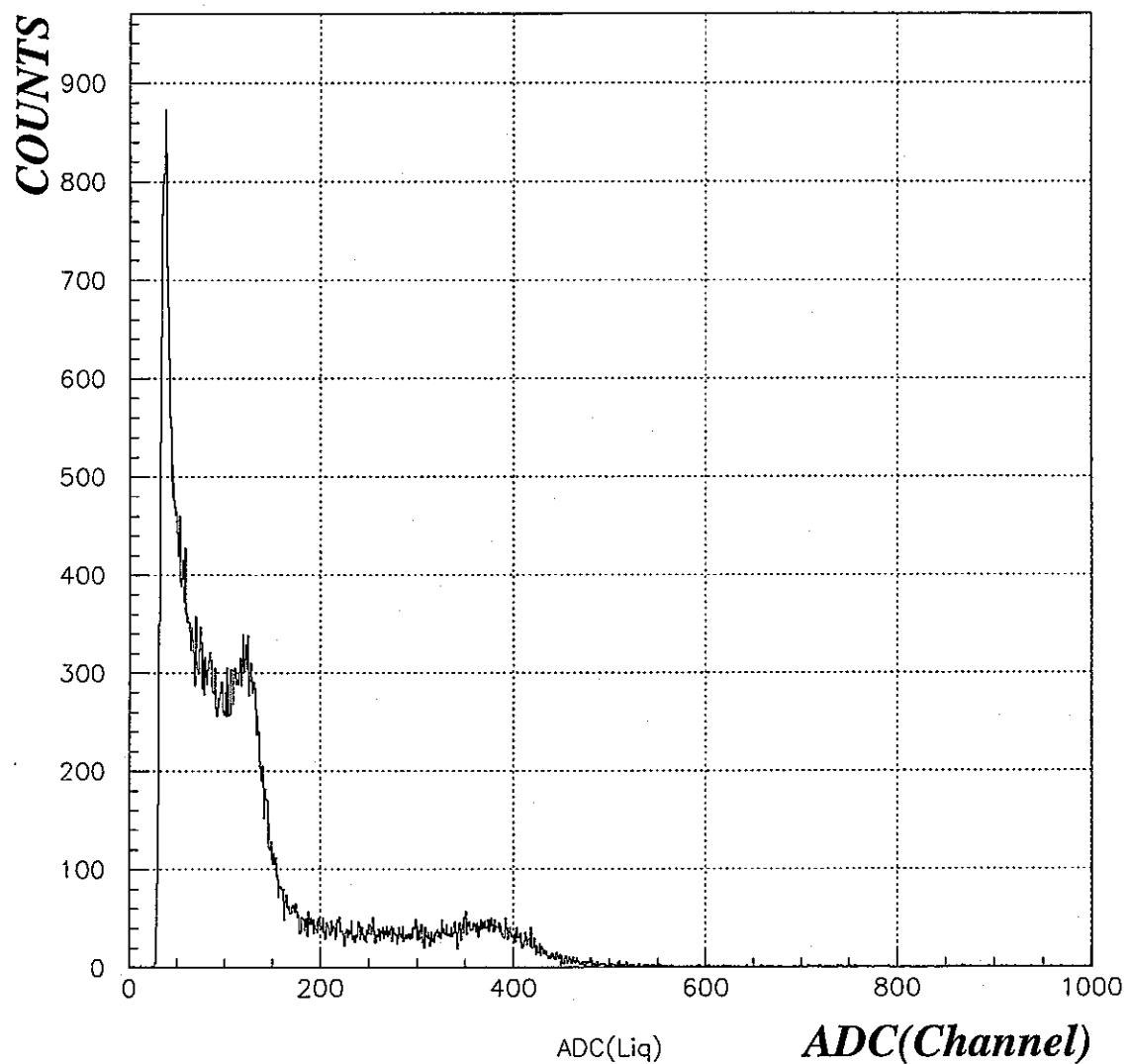


図 36: BC-523A(濃度 67%) を使用して測定した  $^{22}\text{Na}$  の波高分布

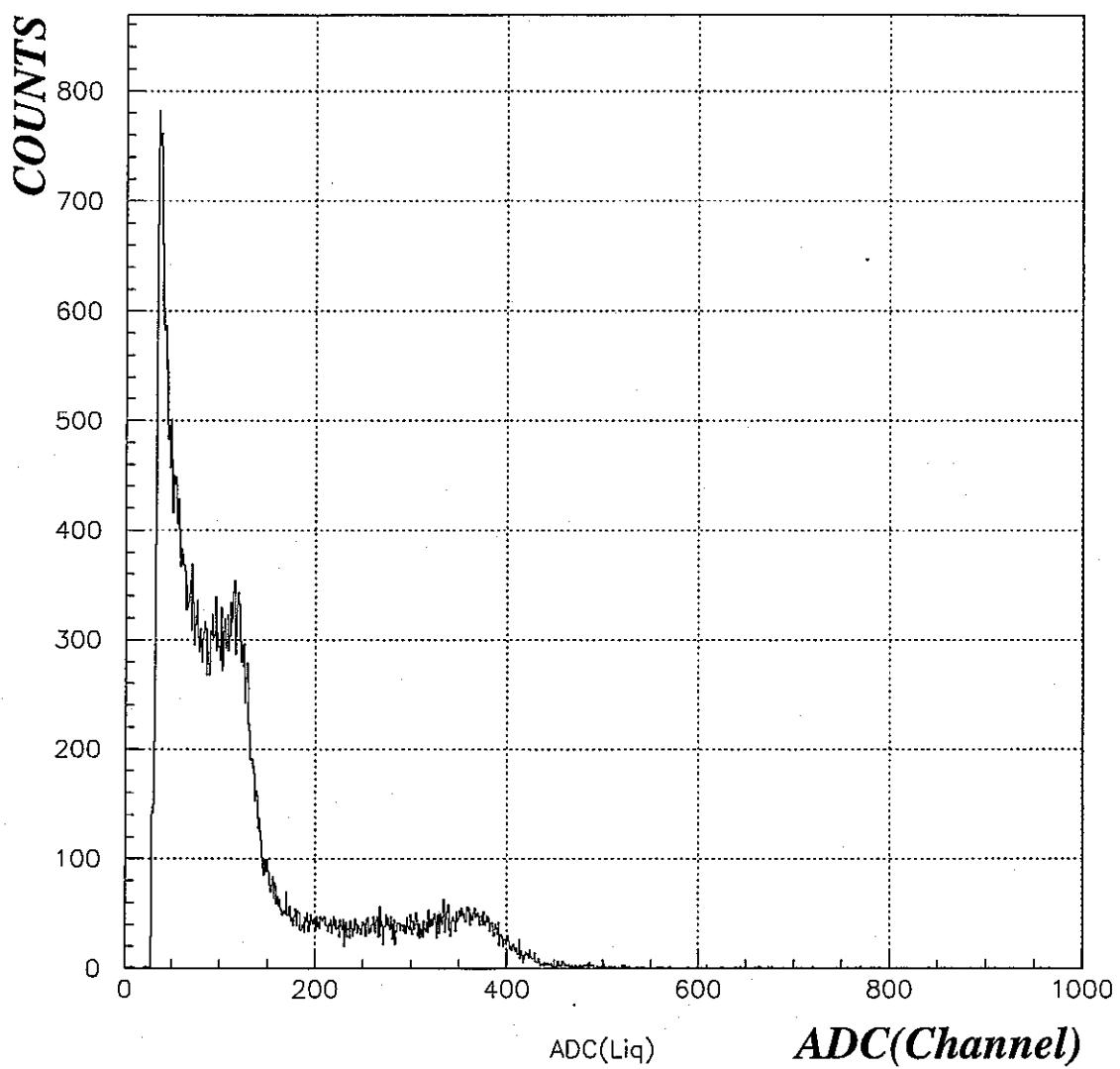


図 37: BC-523A(濃度 50%) を使用して測定した  $^{22}\text{Na}$  の波高分布

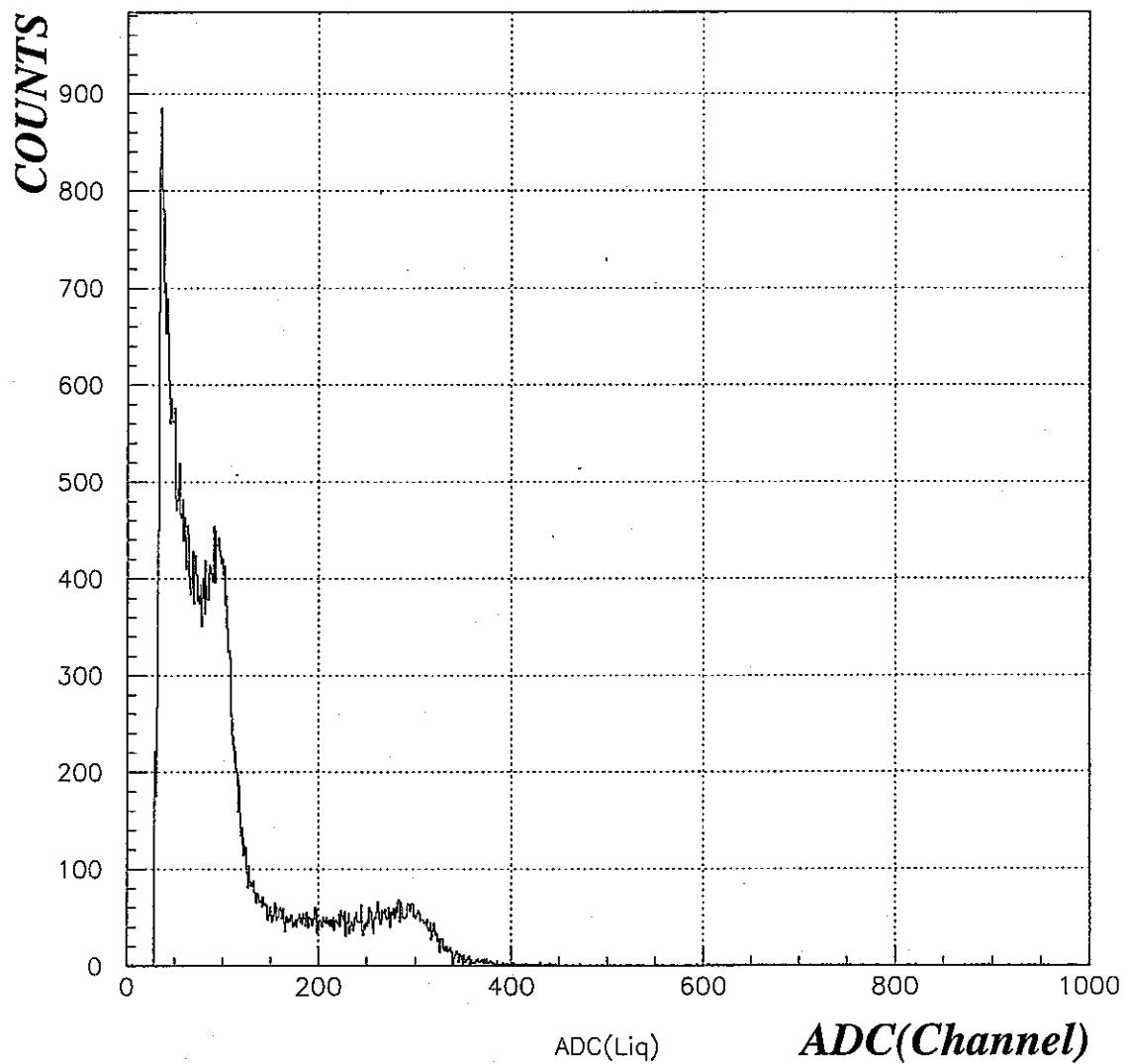


図 38: BC-523A(濃度 30%) を使用して測定した  $^{22}\text{Na}$  の波高分布

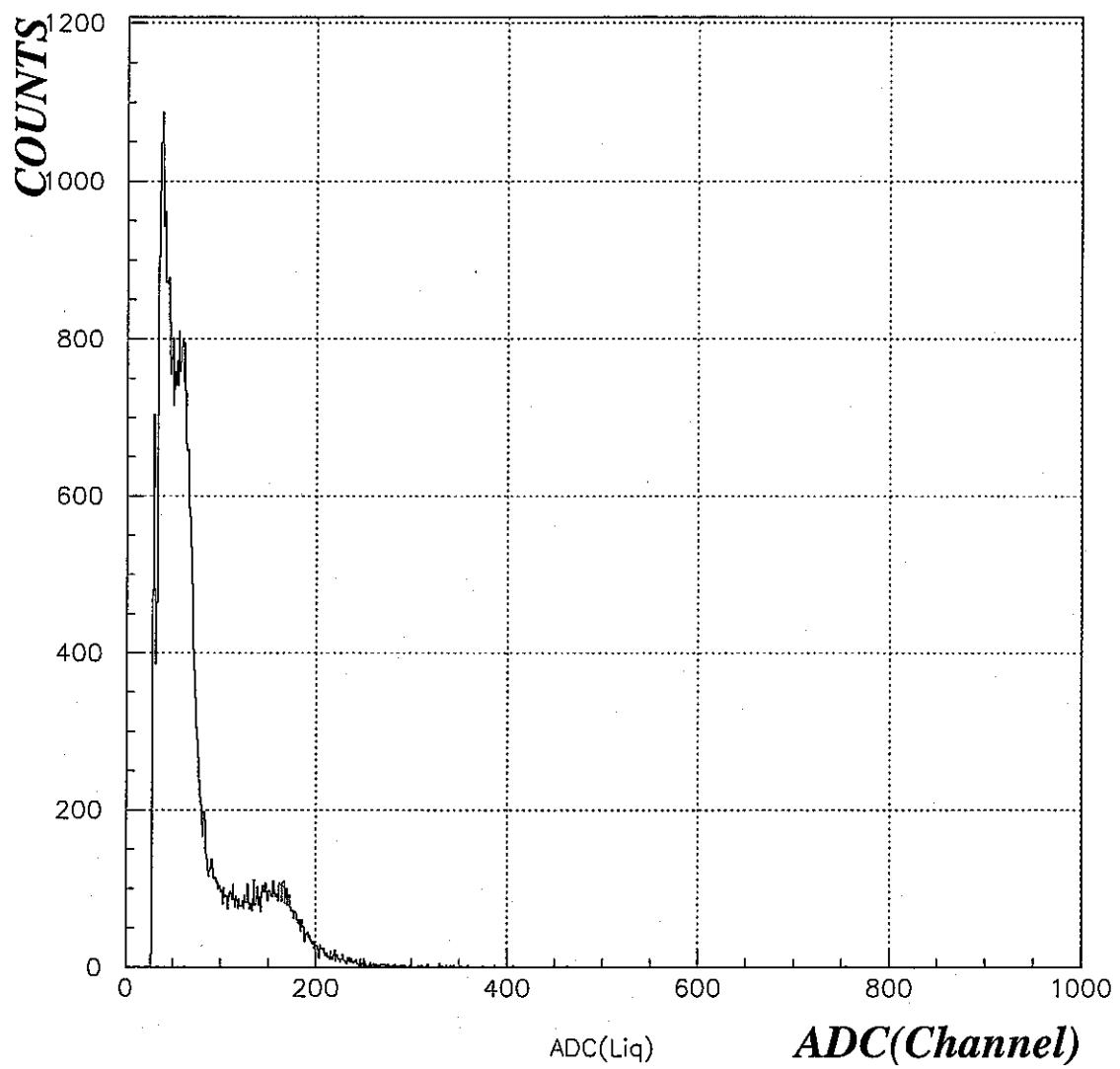


図 39: BC-523A(濃度 10%) を使用して測定した  $^{22}\text{Na}$  の波高分布

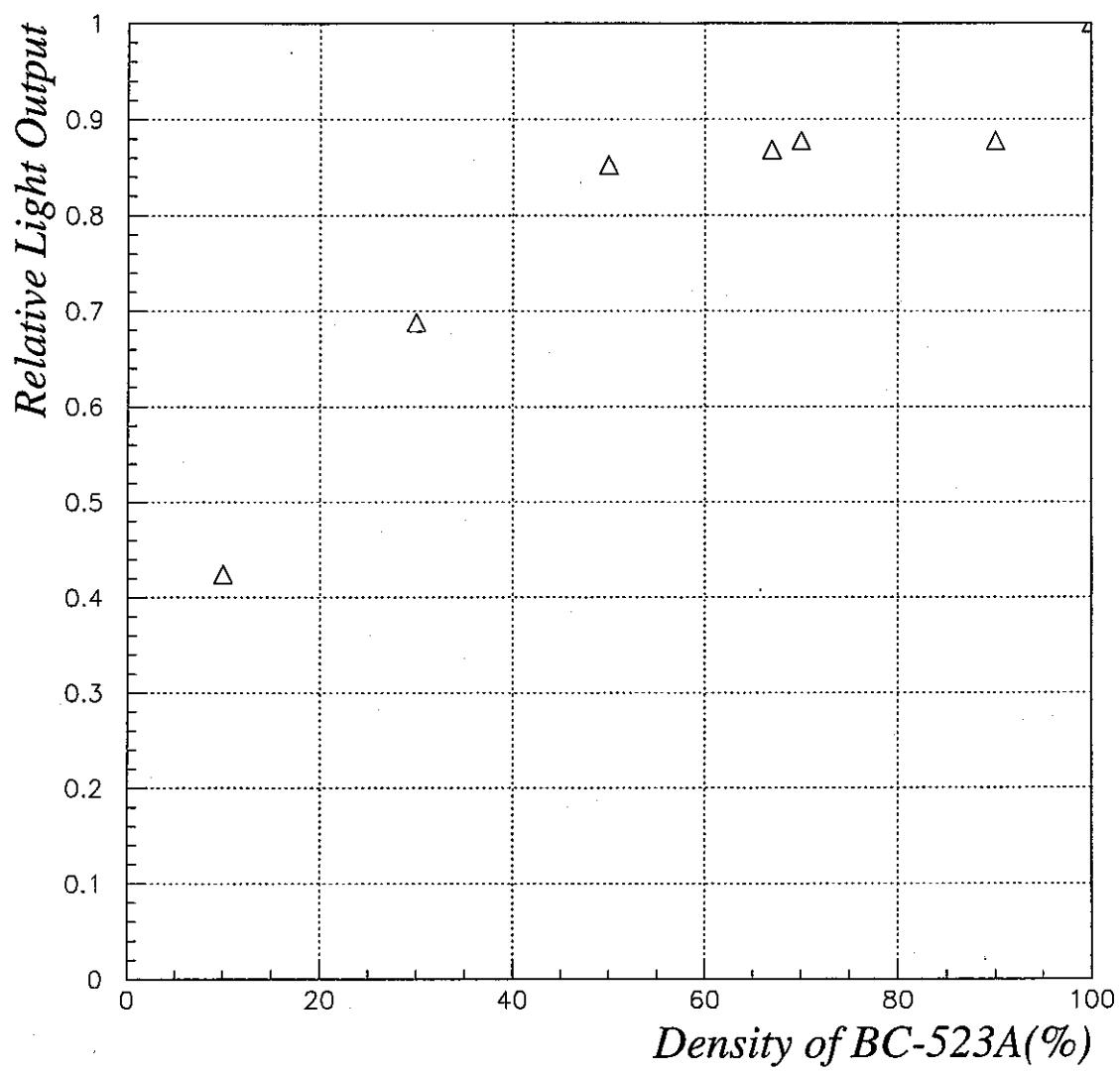


図 40: 発光量 対 BC523A 濃度

**遅延時間設定** 円筒型容器での測定では、希釈されたBC-523A使用を前提としたので、揮発性の高い溶媒（プソイドクメン）の蒸発などによって<sup>10</sup>B数密度が相対的に上がっている可能性があること、完全に熱化する以前 ( $E_n > 0.025$  eV) に吸収される確率もかなり高いことなどから、実際の測定においては $\tau$ が(3)式よりも小さくなる可能性が考えられた。よって、実際の装置を用いて平均捕獲時間 $\tau$ の測定を行い、その結果を基に $T_w$ を決定することとし、ゲート幅 $T_w$ を一定にして遅延時間 $T_d$ を変えながら計数率の測定を行った。この時の同時計数率の時間分布を図41に示した。

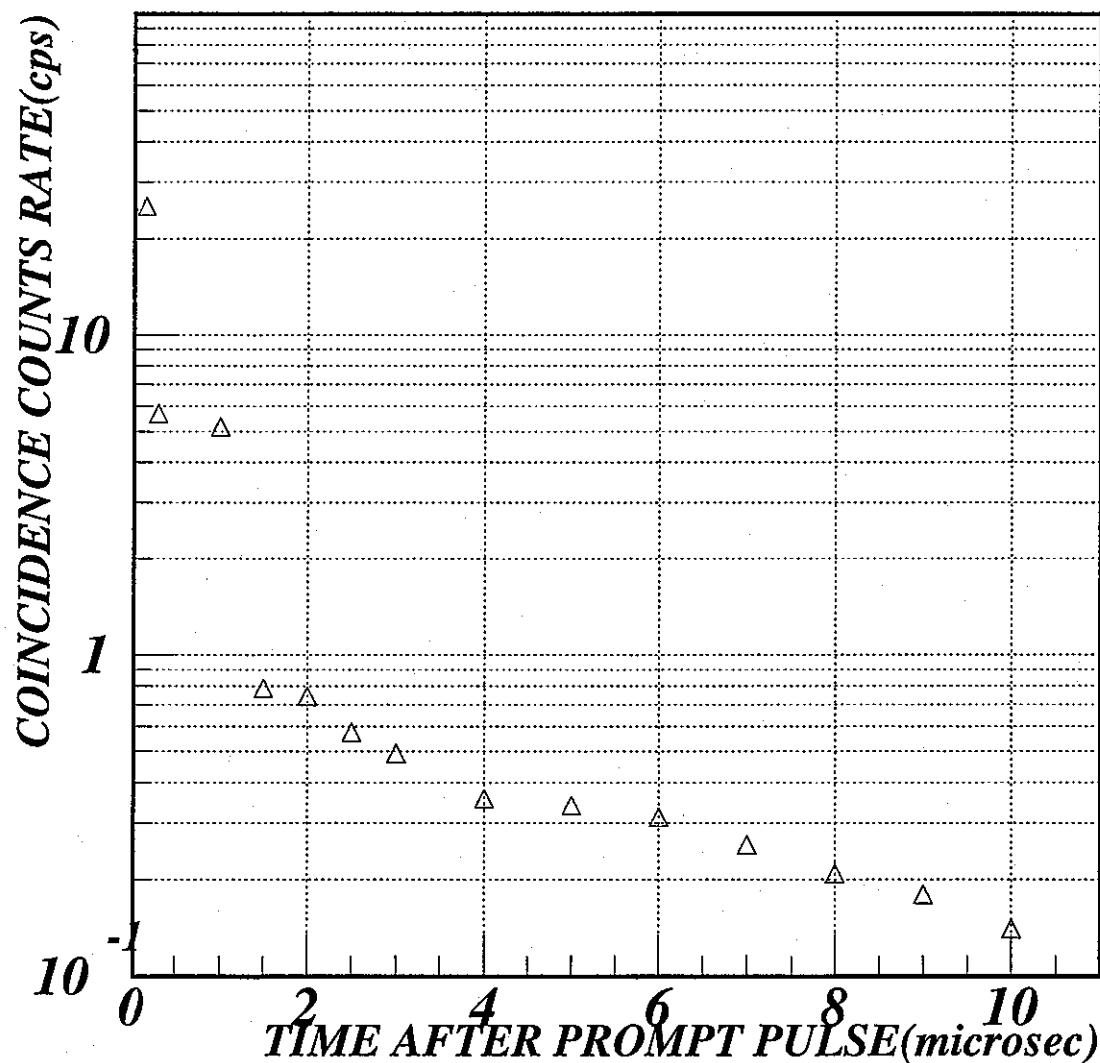


図41：円筒形検出器使用時の同時計数率の時間分布

図41では $1\mu\text{s}$ のところにピークが立っているが、この原因は分かっていない。このピー

ク以降の部分では、傾きから

$$\tau_{exp} = 0.24 \mu s \quad (5)$$

を得た。

平均捕獲時間について、前節と同様の測定を行い、計算値 ( $\tau_{calc} = 4.67 \mu s$ ) に対し、実測値 ( $\tau_{exp} = 6.67 \mu s$ ) がほぼ一致することを確認した。これを基に  $T_w = 10 \mu s$  と決定した。

**速中性子束測定** 前段落までの設定の後、速中性子束測定を実施した。箱型容器でのテスト測定同様、 $^{252}\text{Cf}$  線源を使用してエネルギー分布を測定した（図 42~45）。さらにこの測定では、スケーラを導入し遅延同時係数をするタイミングを同時に測定することにより、 $1\mu s$  のところにピークが立つ原因を探れるような測定時の情報を追加した（図 46）。

この測定においても、CsI 検出器中の  $\gamma$  線エネルギー分布測定図 44,45 に示されるように、娘核  $^7\text{Li}$  から放出される 478keV  $\gamma$  線の光電ピークが明確に測定されており、本検出システムの動作が検証された。これらにより、大型化した検出器でも問題なく速中性子束の測定が可能なことを確認した。

## 2.5 速中性子場における検出器性能検証

前節での考察によれば容器の大きさが増加することにより、検出効率が変わってくることが予想される。これは図 47 でもわかるように、容量が増加することによって液体シンチレーター内に入射した高速中性子が散乱によって検出器外に逃げてしまう確率が変わってくると考えられるからである。

つまり、容量が大きくなればそれだけ中性子に対して感度が上がると考えられるが、中性子と  $^{10}\text{B}$  との断面積との関係により容量を増やしてもカウントされる数は有る程度の検出器の容量で頭打ちになると考えられる。これを調べるために、加速器施設の速中性子場において今まで使用した容器を組み合わせて、この依存性を測定するものとした（図 48）。容器を組み合わせること（小型容器 2 個+大型容器 1 個）により体積を変化させ、検出効率の変化を測定した。

### 2.5.1 多目的イオン加速器システム

この測定は、若狭湾エネルギーセンター設置の多目的イオン加速器システムを使用した加速器実験により実施した。本加速器システムは、水素負イオンを負イオン源で生成して 200keV まで静電的に加速し、入射器として使用しているタンデム加速器中（ターミナル電圧 5MV）で荷電交換するとともに陽子のエネルギーを 10MeV まで加速させ、陽子シンクロトロン中で最大 200MeV まで高周波加速するシステムである。本システムの概要図を図 49 に示した。

実験では、シンクロトロンからのビームを大気中に取り出す照射室 4（高エネルギー生物照射コース）を使用した（図 50,51,52）。

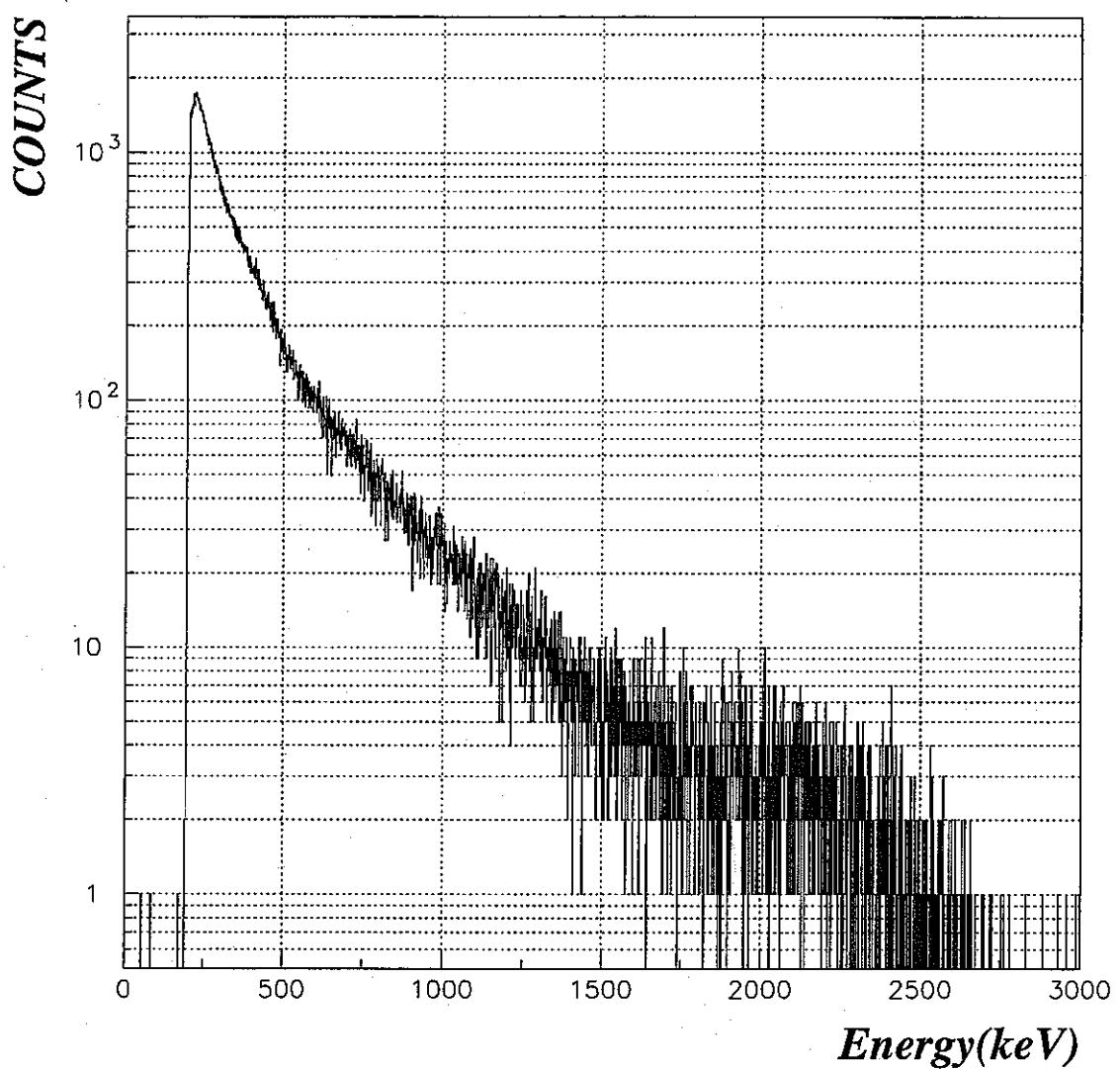


図 42: 大型円筒容器中の希釈 BC523A で測定した  $^{252}\text{Cf}$  線源のエネルギー分布

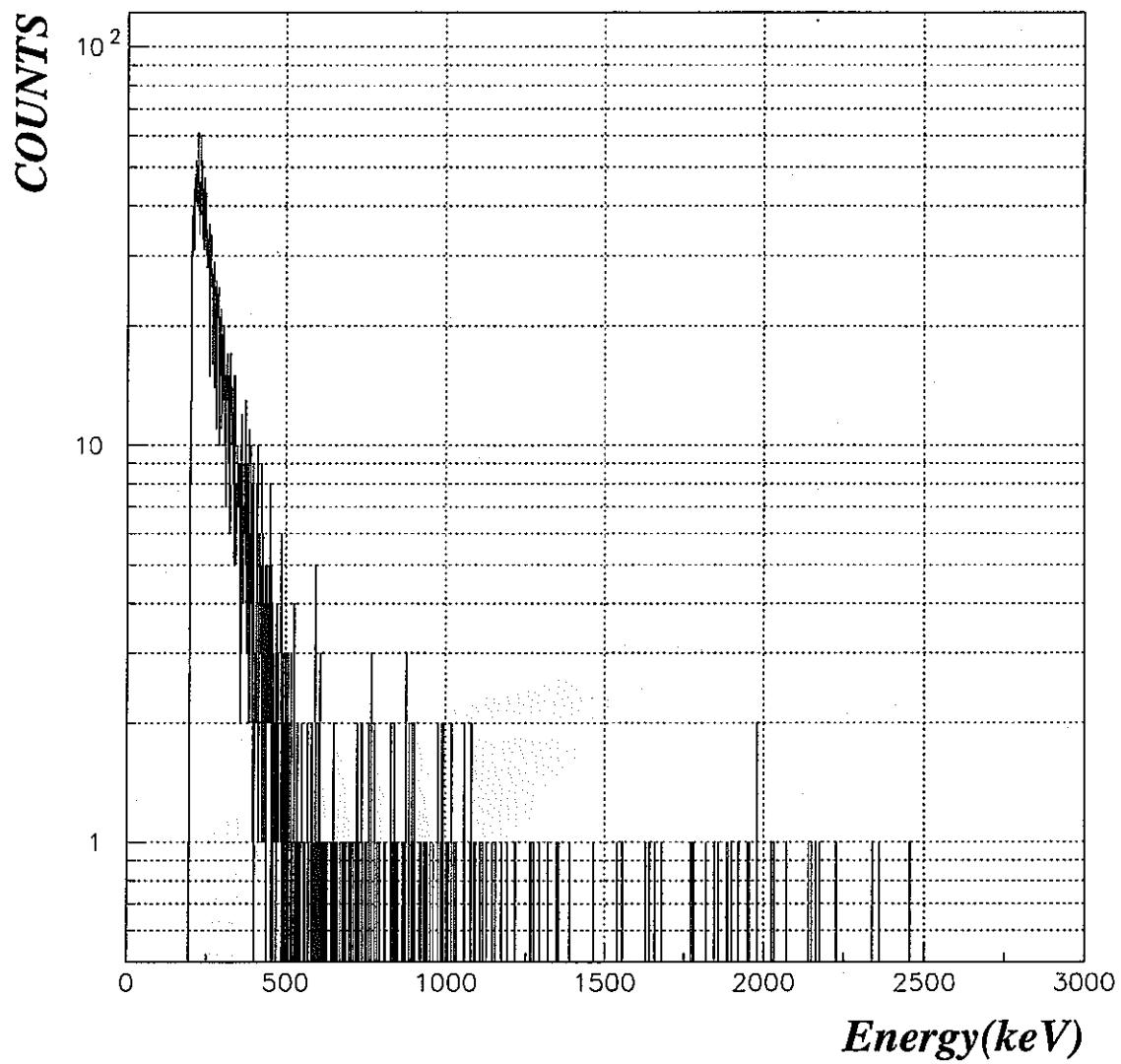


図 43: 大型円筒容器中の希釈 BC523A で測定した  $^{252}\text{Cf}$  線源のエネルギー分布 (TDC CUT)

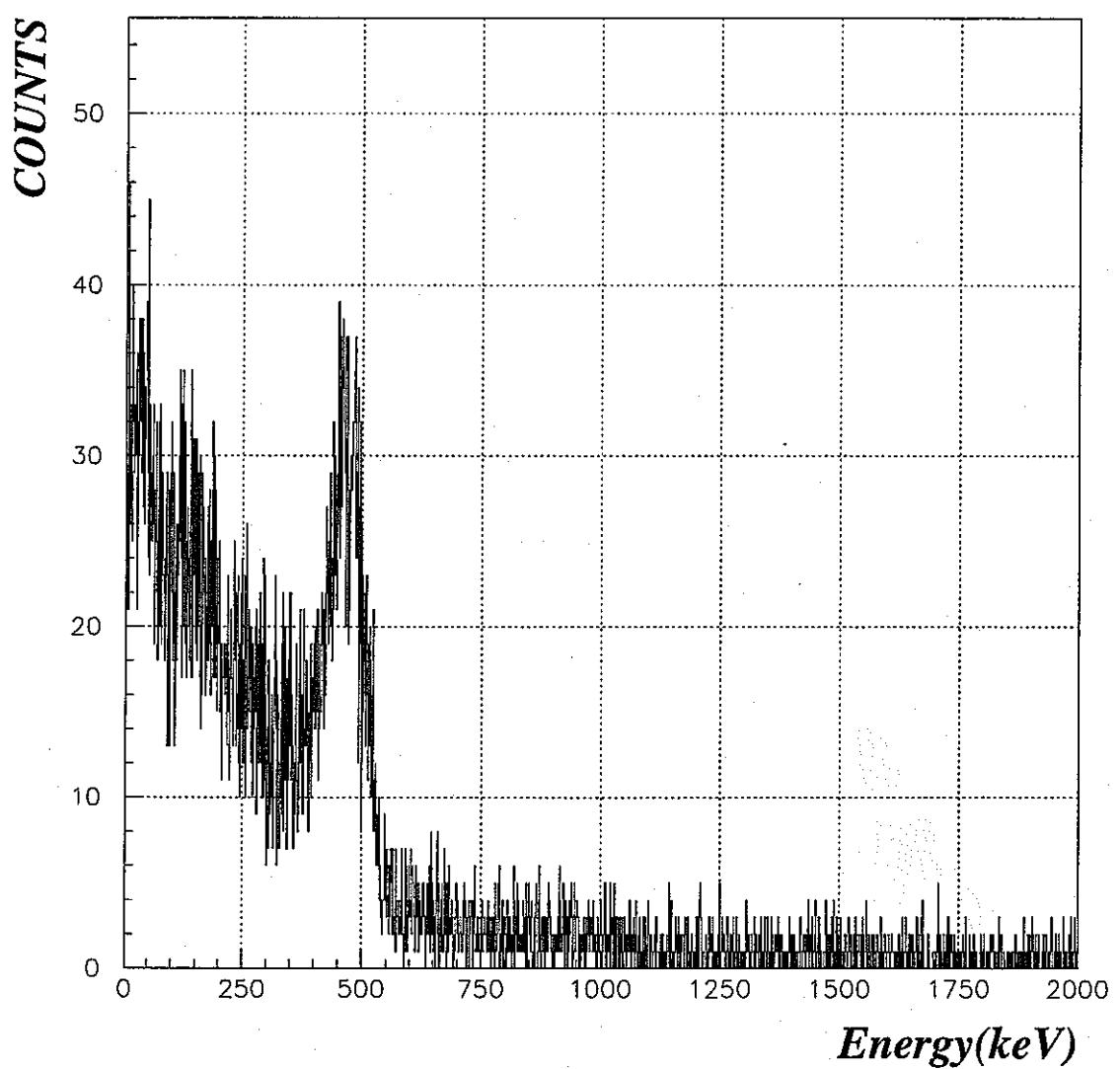


図 44: CsI 検出器で測定した  $^{252}\text{Cf}$  線源使用時の  $\gamma$  線エネルギー分布

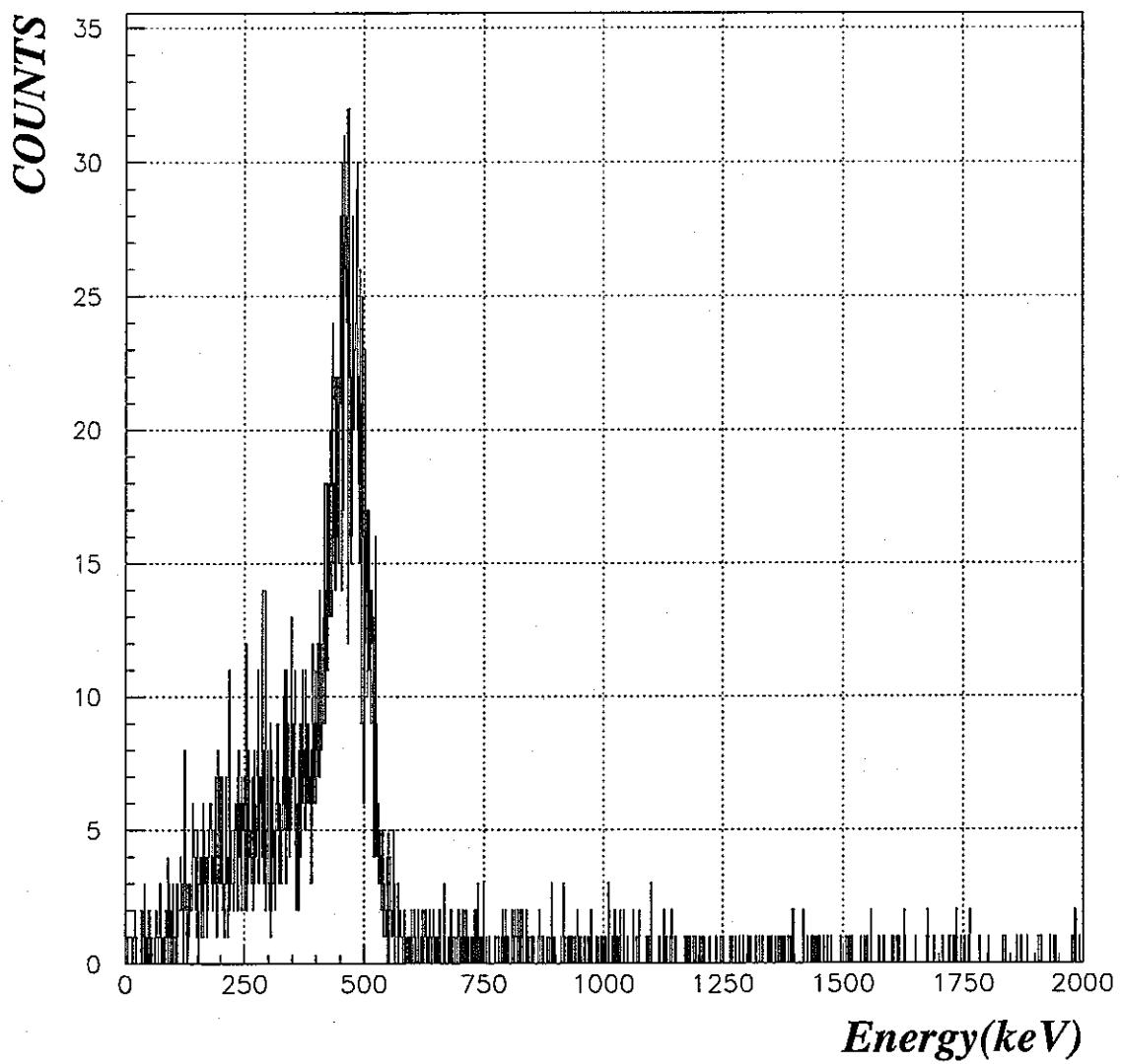


図 45: CsI 検出器で測定した  $^{252}\text{Cf}$  線源使用時の  $\gamma$  線エネルギー分布 (TDC CUT)

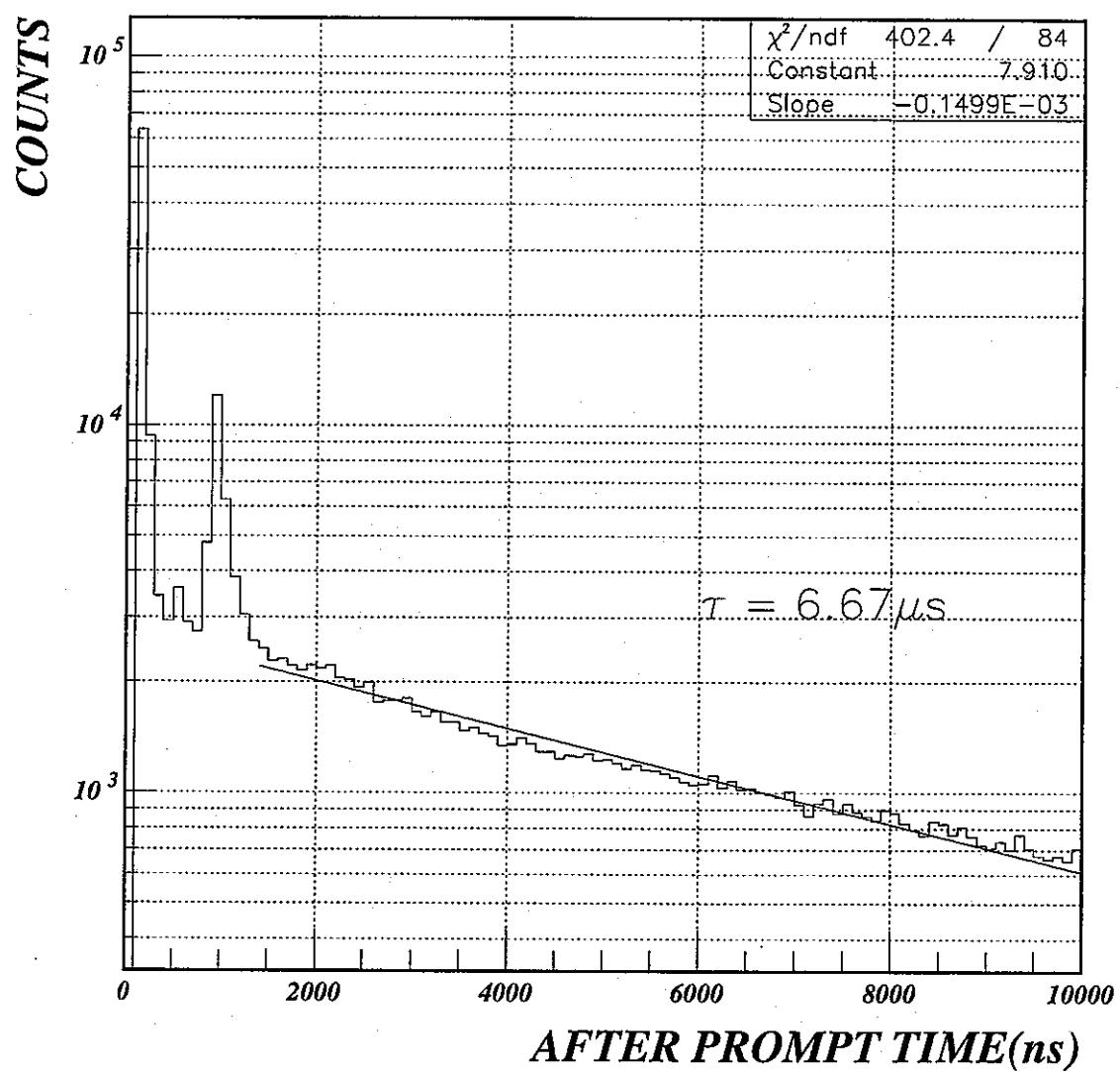


図 46: スケーラによる遅延同時計数の計測

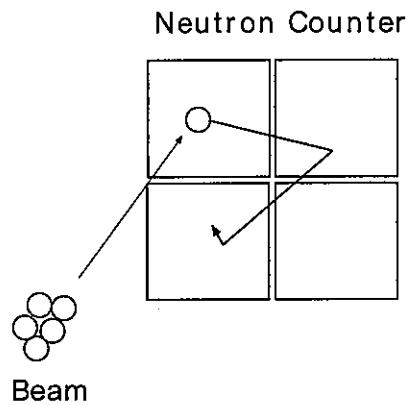


図 47: 容量依存性

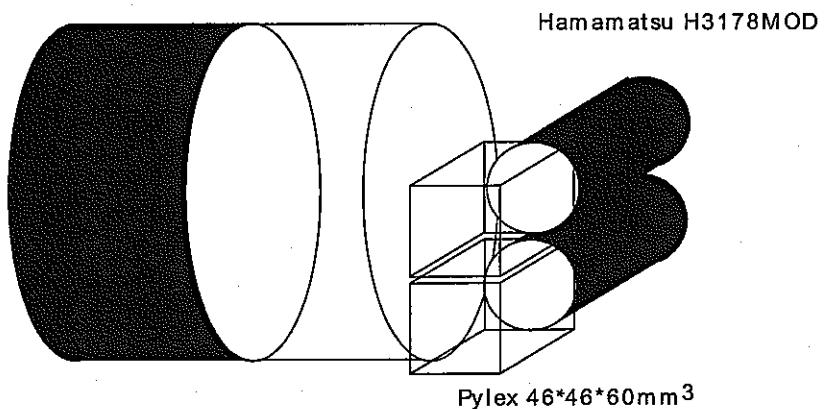


図 48: 検出器配置図

### 2.5.2 実験準備

ビームラインにおける検出器、ターゲットの配置図は図 54、55 に示した。

実験では、陽子の加速エネルギーを 80MeV とした。また、ターゲットとしては鉄を使用し、破碎反応で放出される中性子束を利用した。80MeV 陽子ビームの飛程 7.5mm を考慮し、またビームの幾何学的寸法が半値全幅で 10mm 程度である事から、ターゲット寸法は 50mm×50mm×10mm とした。なお、ターゲットからの荷電粒子が直接検出器に入射しないよう、ターゲットと検出器の間には 5 cm 厚の鉛ブロックを置いて遮蔽を行った。表 8 にビーム輸送状況を示した。

測定時のビーム強度は、KODAQ の測定限界が 2000cps ぐらいであることから計数率を見ながら決定し、概ね、DC 換算電流値で 0.02nA のビーム強度の供給を受けた。

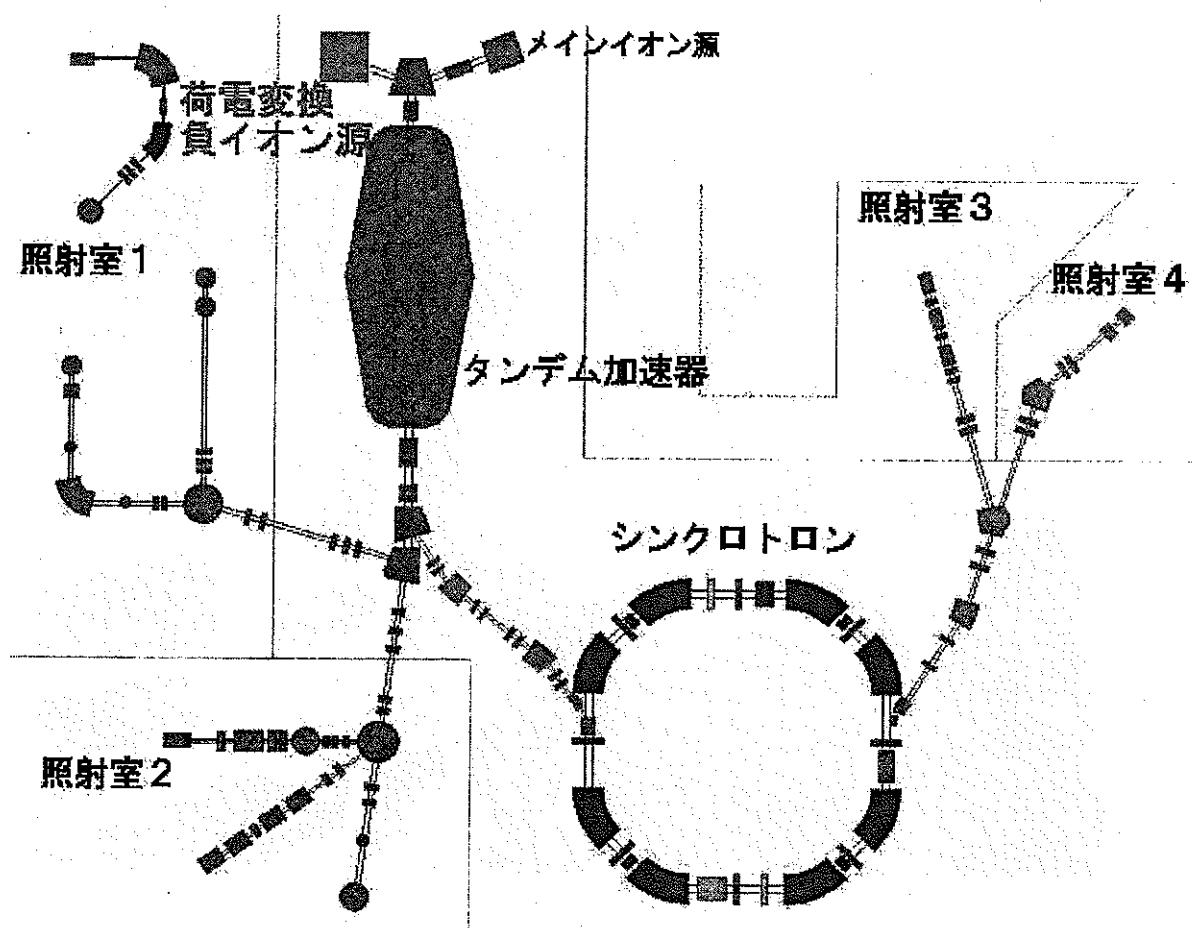


図 49: 若狭湾エネルギー研究センター 多目的イオン加速器システム [19]

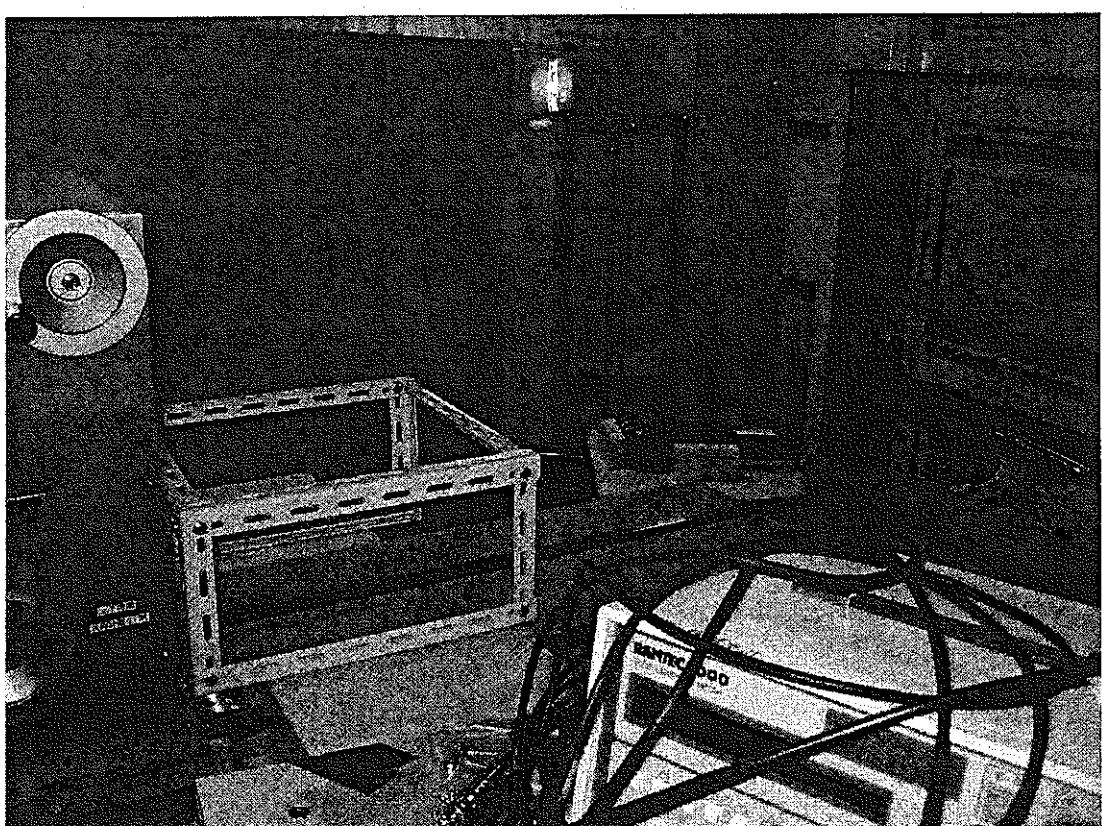


図 50: 照射室の風景 1



図 51: 照射室の風景 2

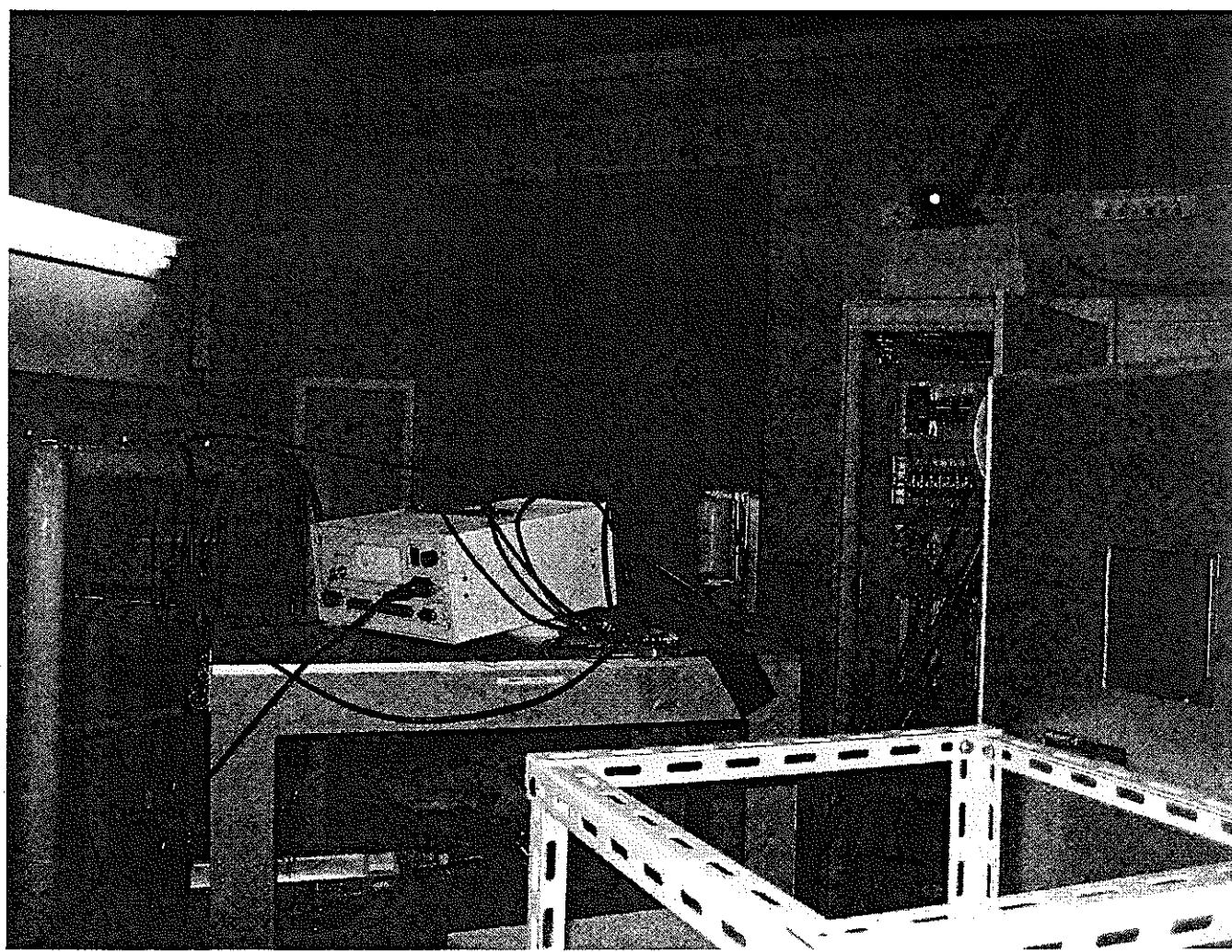


図 52: 照射室の風景 3

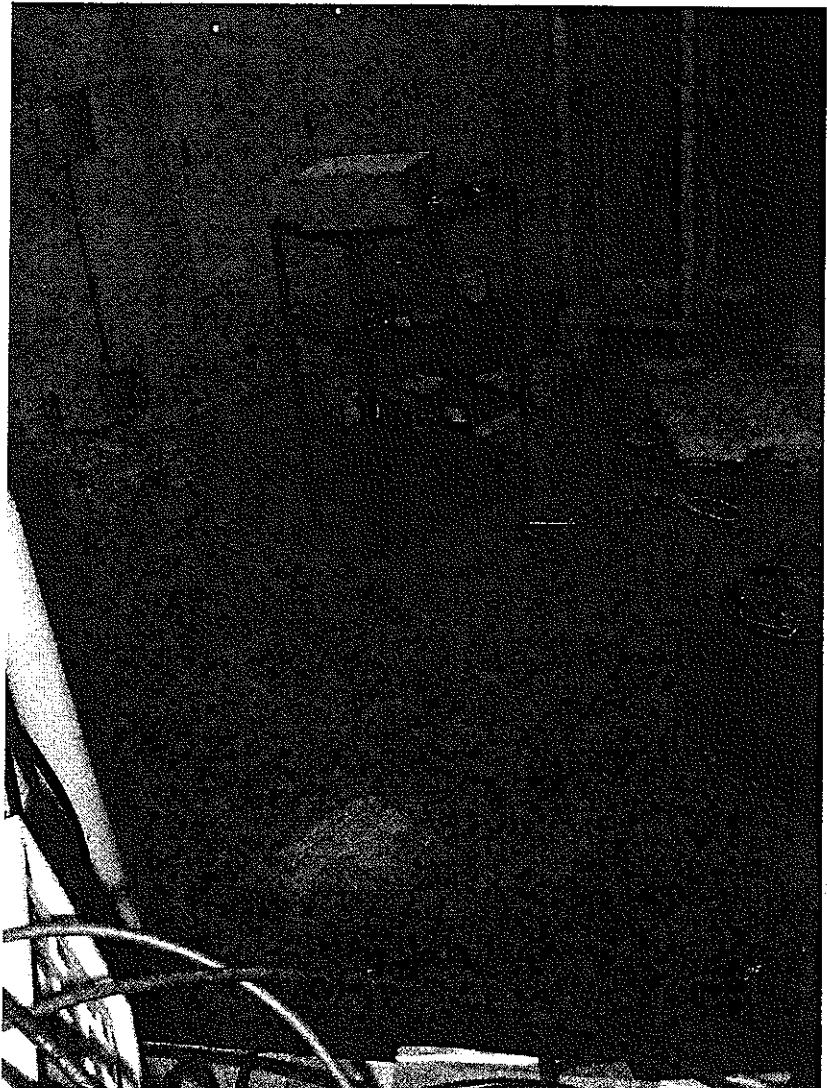


図 53: 照射室の風景 4

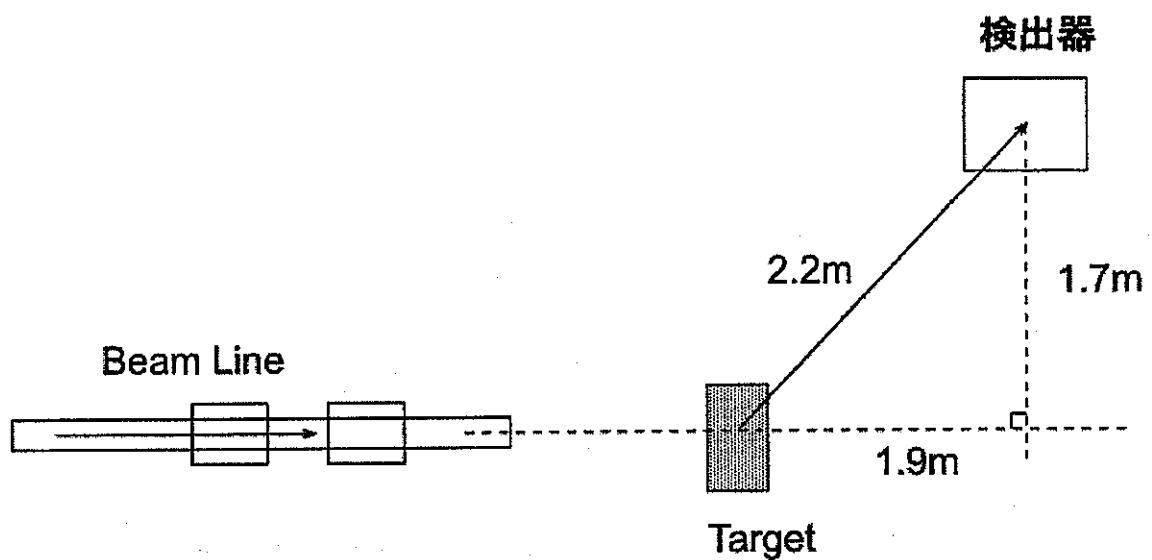


図 54: beam コースの概念図 1

表 8: ビーム輸送状況

反応	Fe(p,n)
粒子	陽子
加速エネルギー	80MeV
ビーム取り出し時間	400ms
ビーム取り出し間隔	2s
ビーム強度 (DC 换算)	0.02nA

### 2.5.3 実験結果

測定結果を図 56~68 に示した。便宜上、箱型容器によるデータを BC1、BC2、円筒形容器によるデータを BC3 とし CsI シンチレーターによるものを CsI とした。

これらの測定結果の詳細なデータは表 9 に示した。

図 71、表 10、11 にこれらの測定結果をまとめて表した。

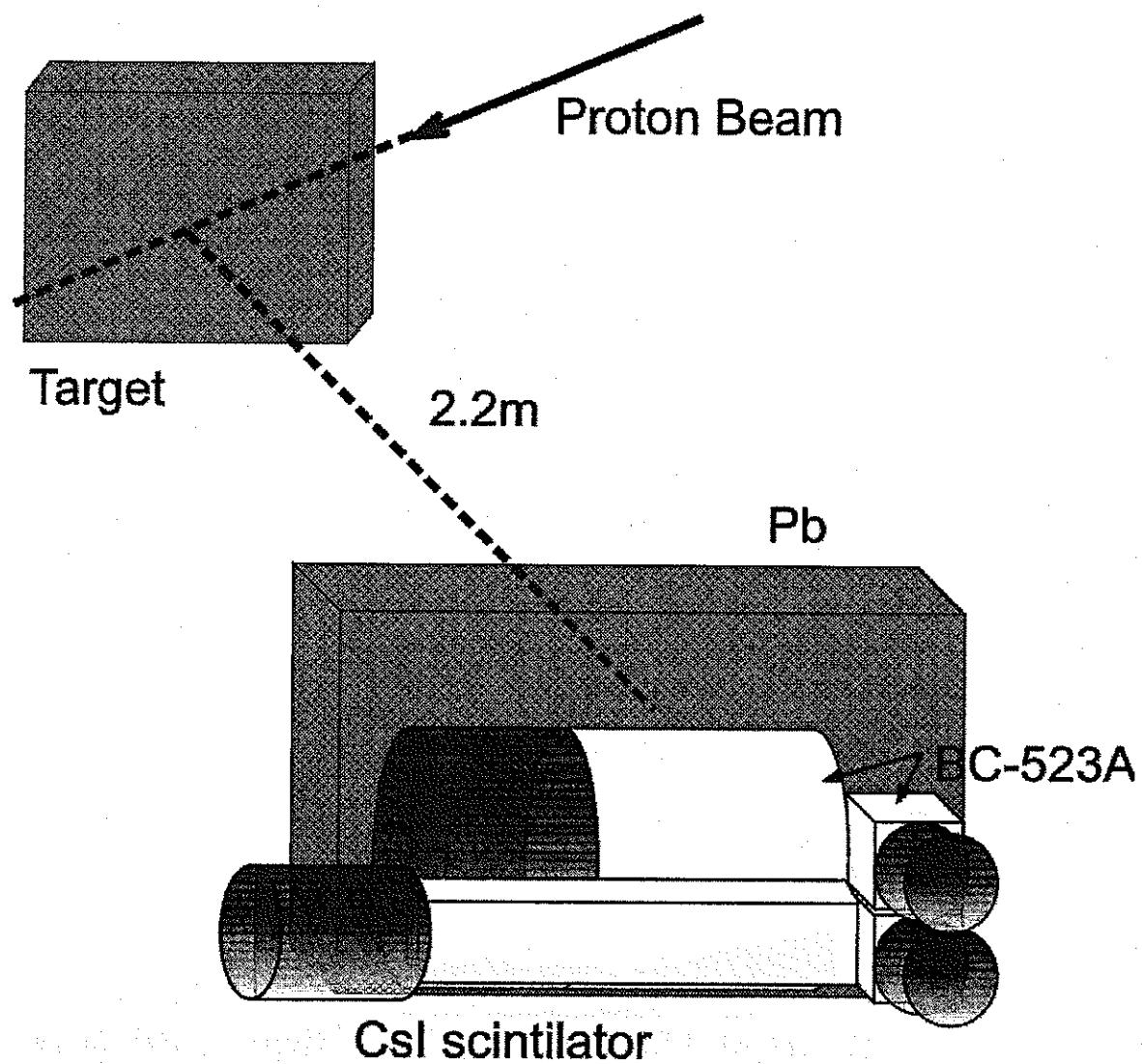


図 55: beam コースの概念図 2

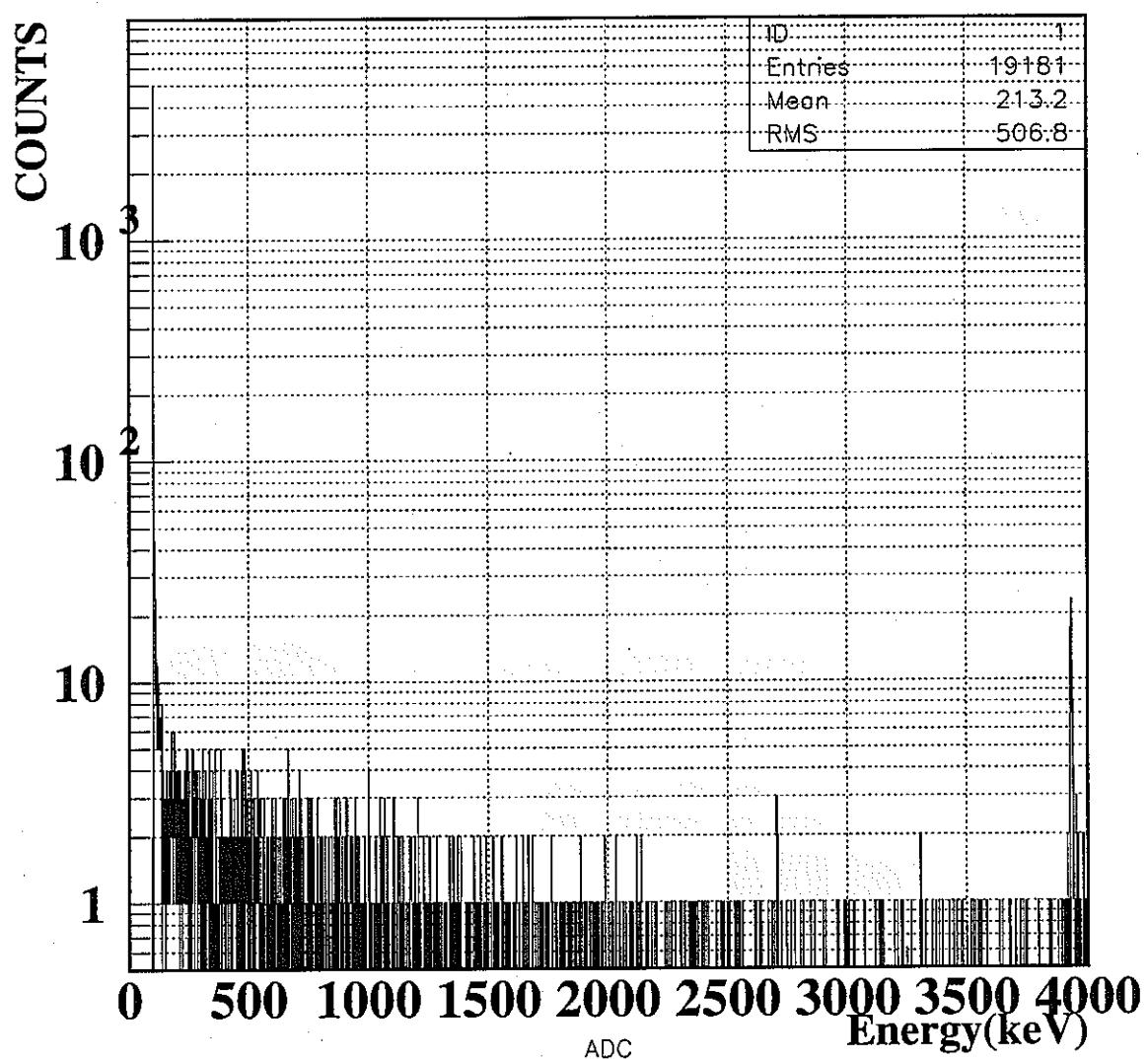


図 56: BC1 で測定した実験 1 での速中性子事象のエネルギー分布

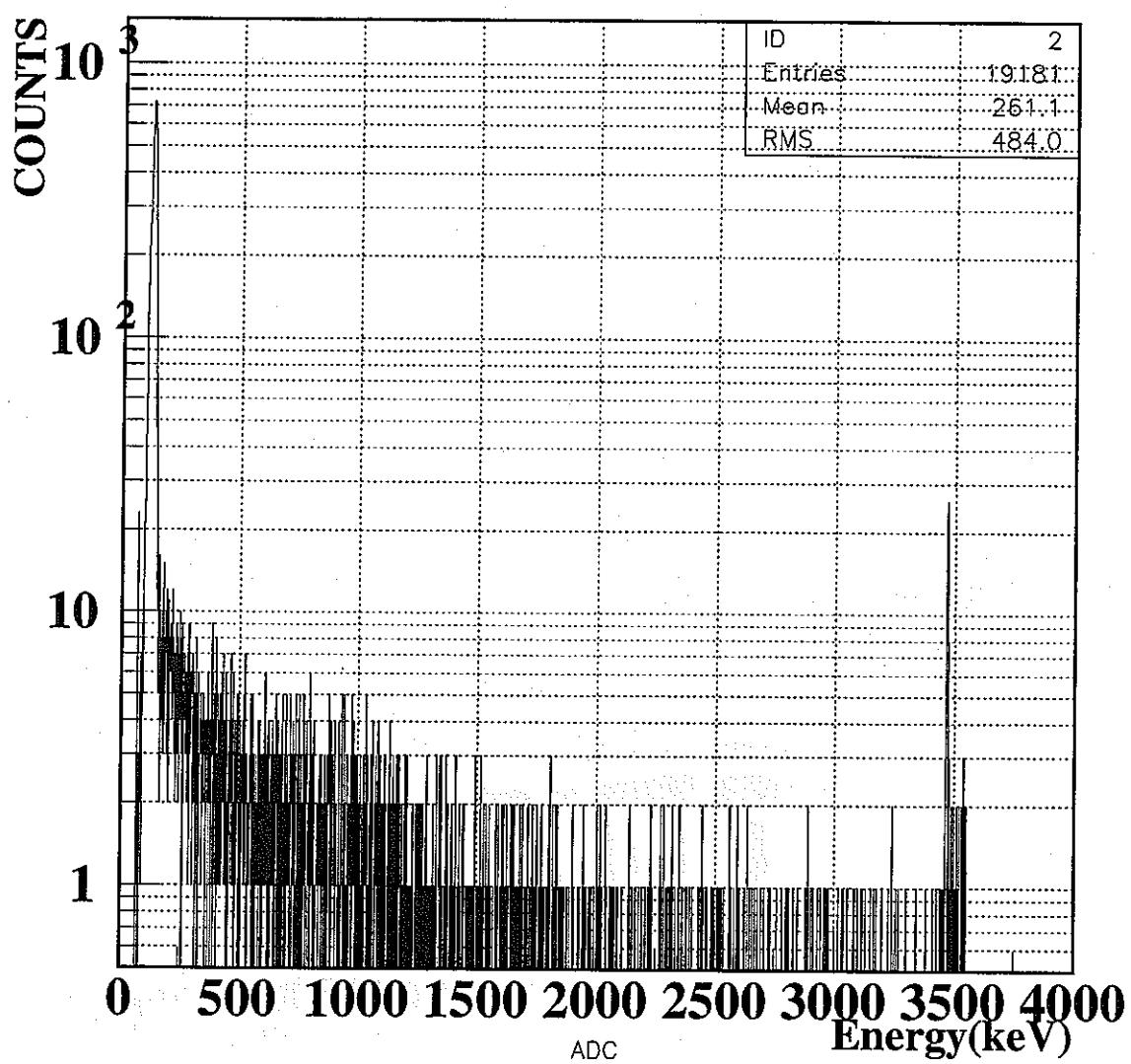


図 57: BC2 で測定した実験 1 での速中性子事象のエネルギー分布

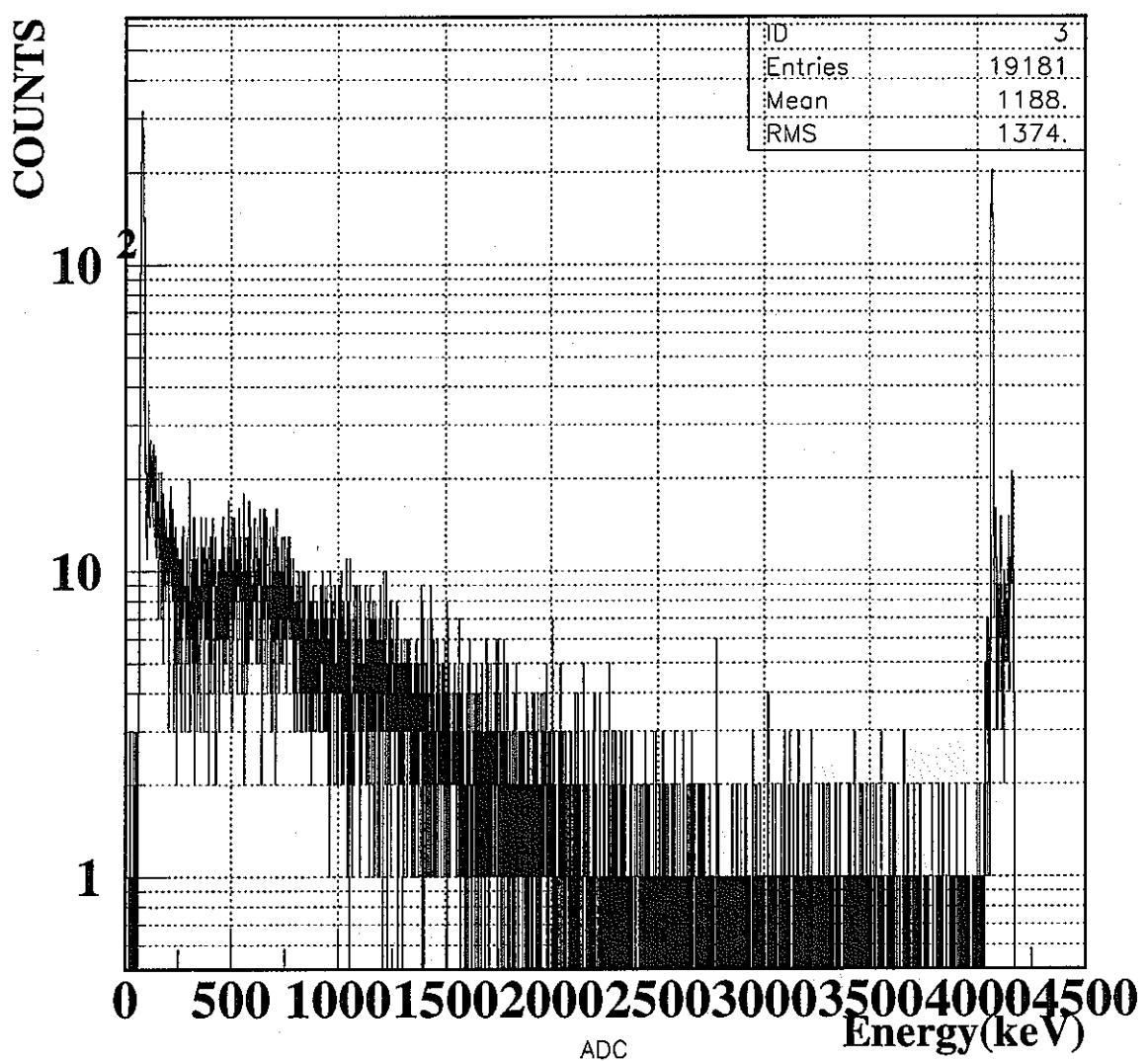


図 58: BC3 で測定した実験 1 での速中性子事象のエネルギー分布

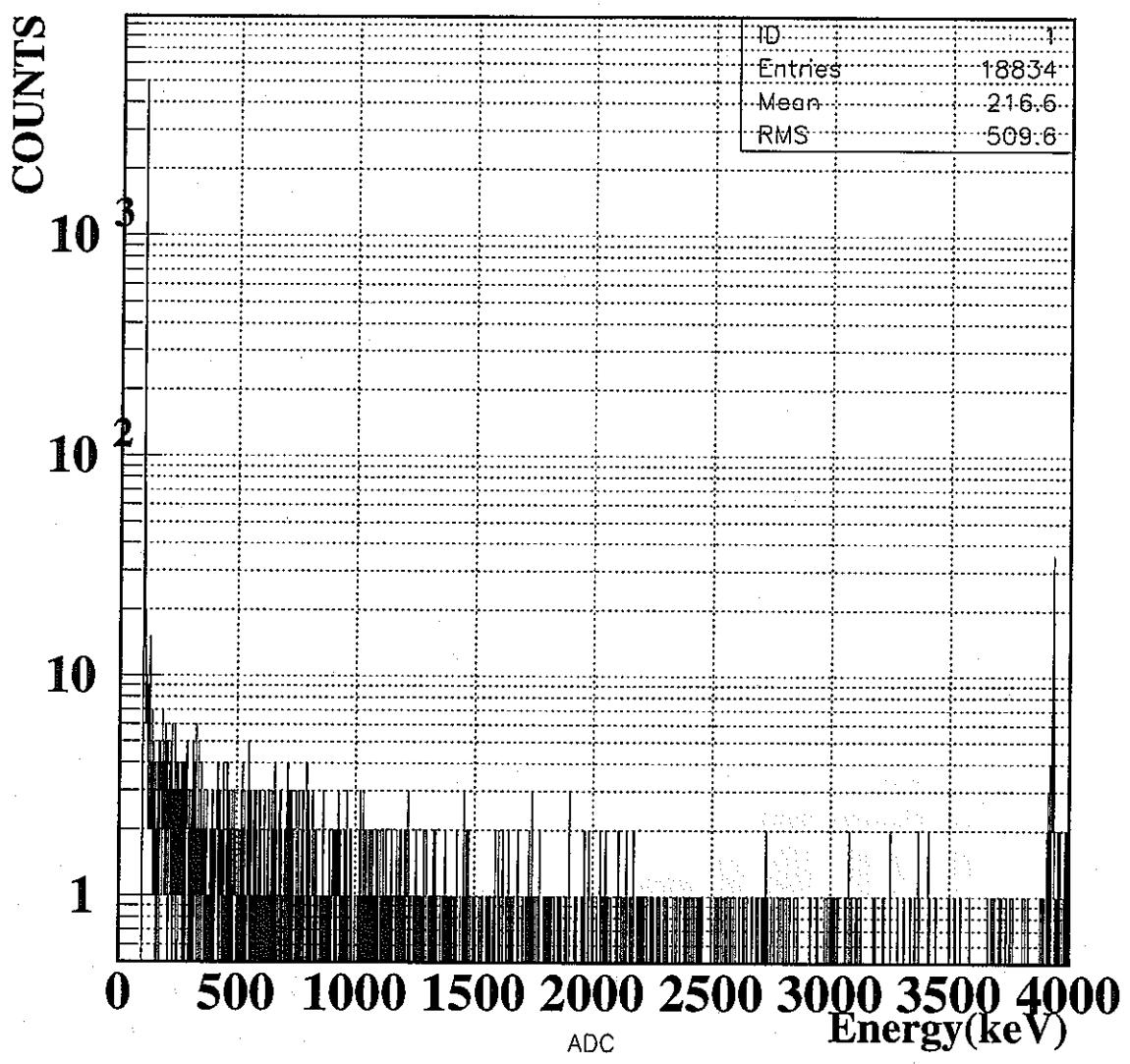


図 59: BC1 で測定した実験 2 での速中性子事象のエネルギー分布

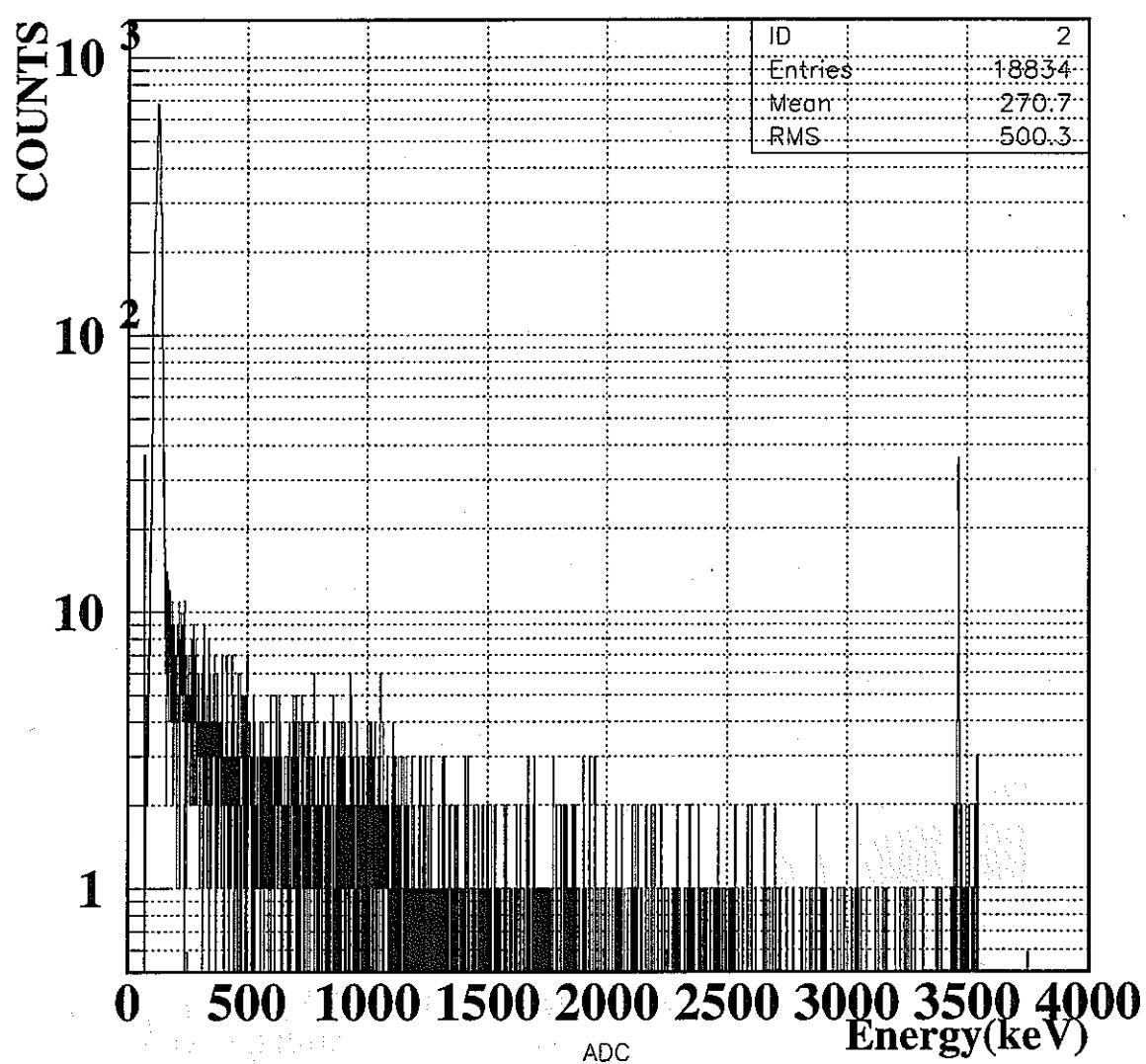


図 60: BC2 で測定した実験 2 での速中性子事象のエネルギー分布

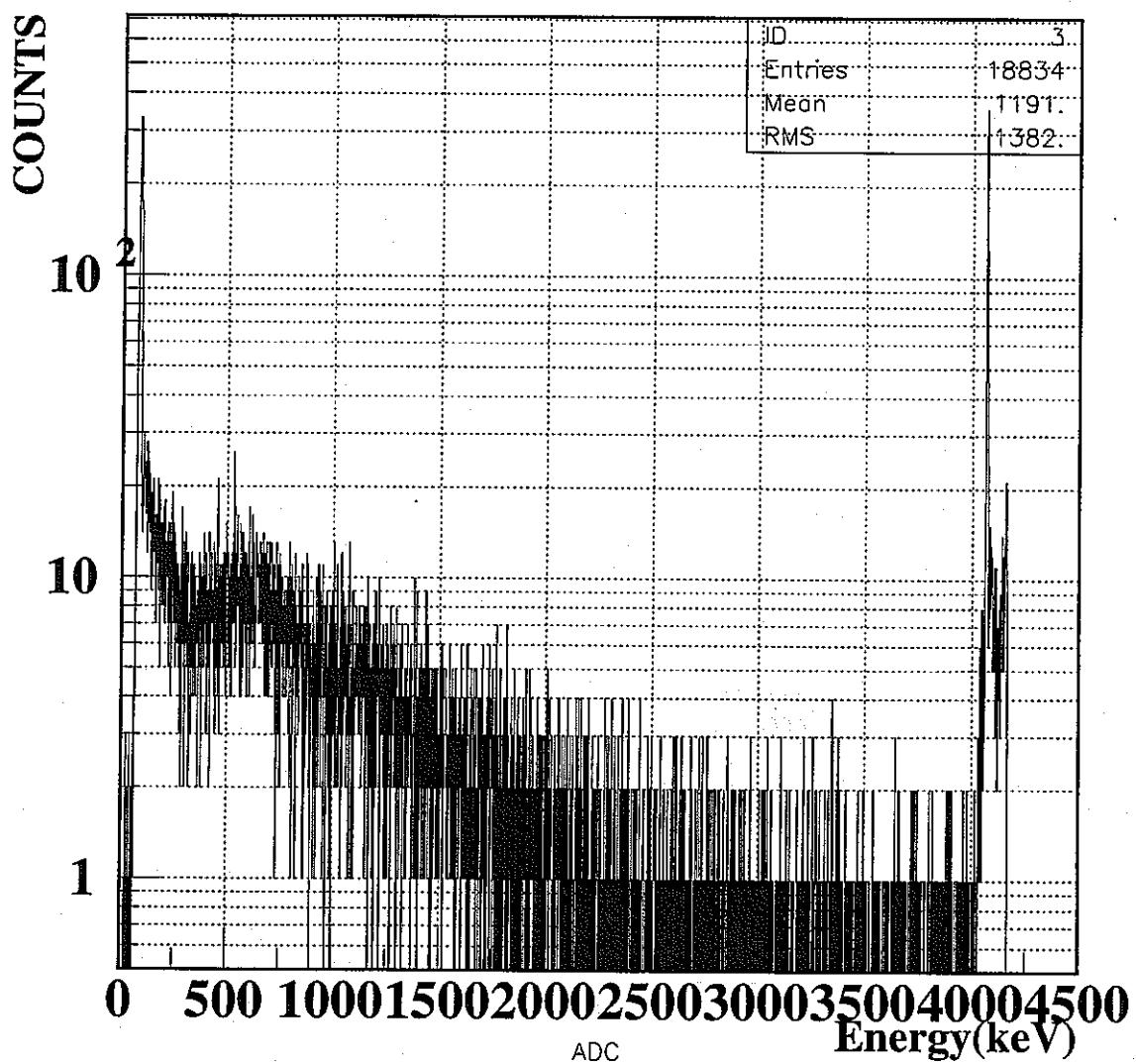


図 61: BC3 で測定した実験 2 での速中性子事象のエネルギー分布

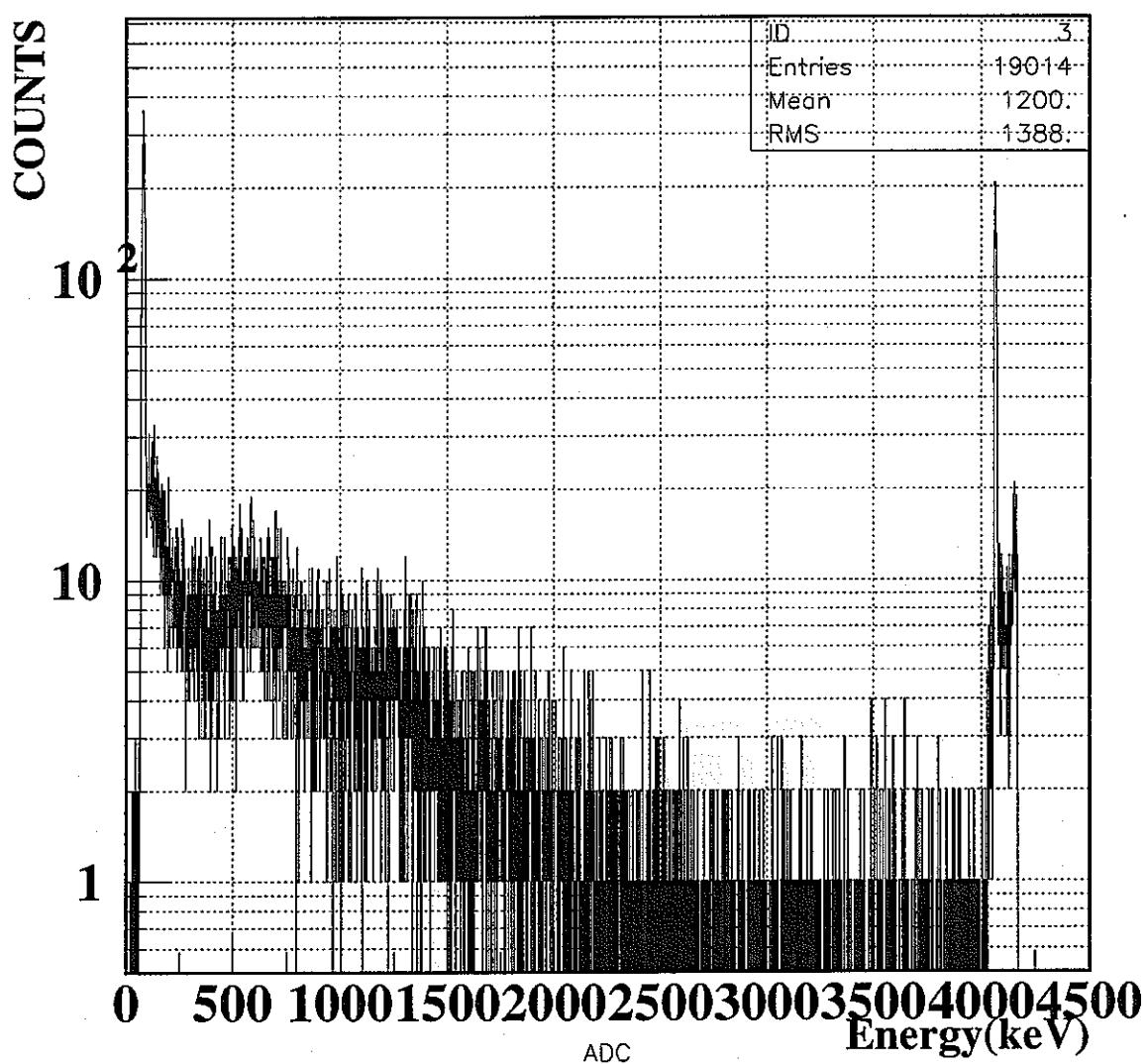


図 62: BC1 で測定した実験 3 での速中性子事象のエネルギー分布

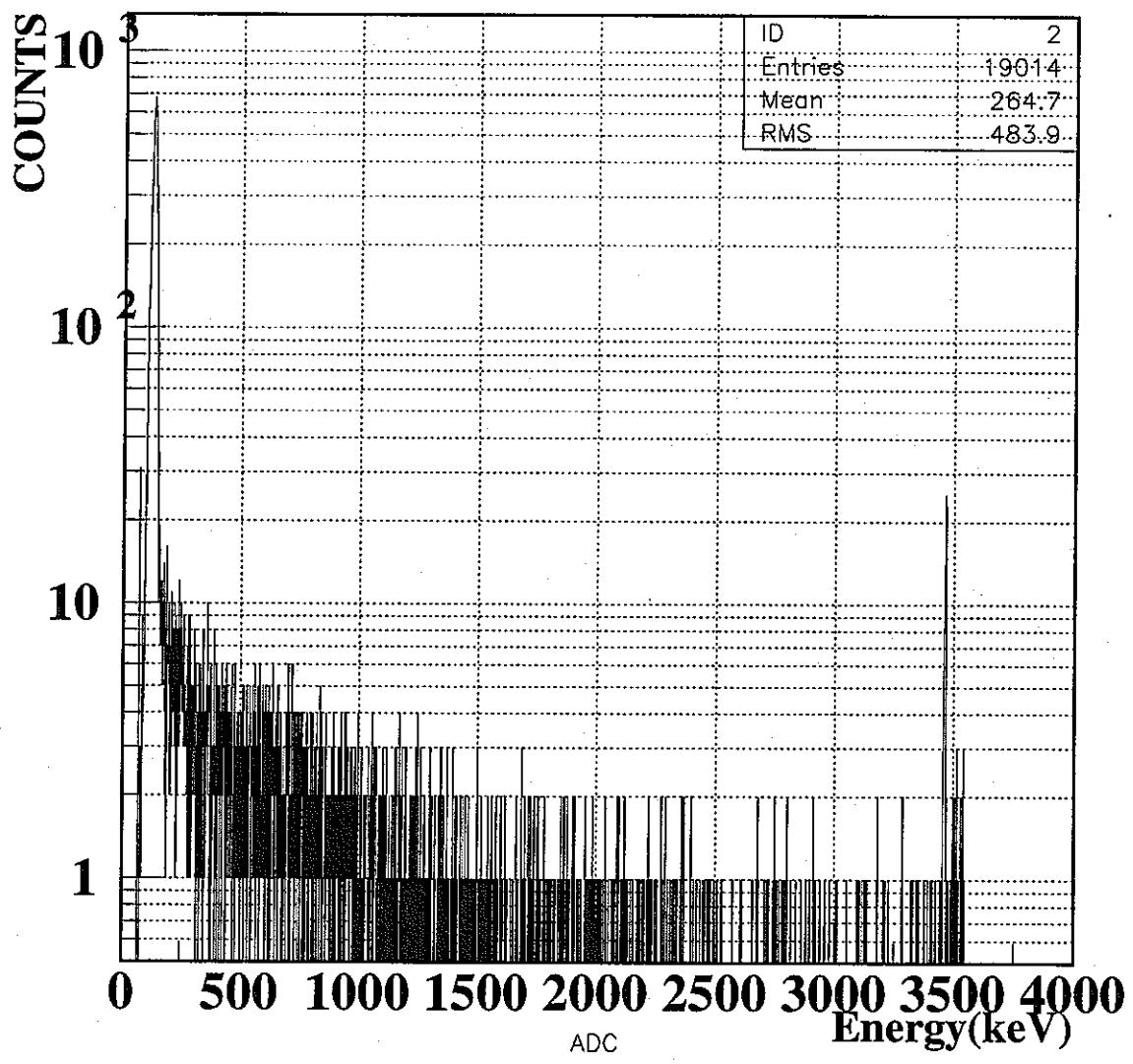


図 63: BC2 で測定した実験 3 での速中性子事象のエネルギー分布

表 9: 加速器測定による測定結果

	Triger	Veto(counts)	Fast Clear(counts)	Times(sec)
測定結果 1	6083669	475025	444415	1800
測定結果 2	6225624	465517	435519	1800
測定結果 3	6276451	468658	438531	1800
測定結果 4	6953246	474974	444427	1800

表 10: 容量依存性測定の測定結果 1

	BC1(counts)	BC2(counts)	BC3(counts)
測定結果 1	2047	3337	16975
測定結果 2	2075	3382	16915
測定結果 3	2107	3415	16909
測定結果 4	2083	3587	17194
測定結果 5	2183	3488	17199
Total	10495	17202	85192

表 11: 容量依存性測定の測定結果 2

Volume(ml)	Counts
100	10495
126	17202
226	27697
730	85192
830	95687
856	102394
956	112789

#### 2.5.4 考察

ターゲットと検出器の間の距離は 2.2 m であり、検出器程度の大きさ ( $l \sim 10$  cm) の領域では中性子束はほぼ一定になっていると考えてよい。

よって、中性子の単位時間当たりの入射量はターゲット側から見た検出器の投影面積に比例する。ビーム強度は一定であり、各容器の組み合わせで得られた統計量を単位時間・単位投影面積あたりに変換することにより、図 72 を得た。

この図からわかるように、体積変化に対する計数率の変化はすでに今回製作した容器において頭打ちになっている。よって、速中性子束測定に対しては十分な大きさの体積を持つ容器であると結論できる。

今回の報告では近似的な解析を行ったが、入射中性子束の検出器上でより詳細な分布や、ビーム強度の時間変化まで含めた解析は今後の課題である。

なお、シミュレーション計算による単色速中性子に対する応答関数を 2.6 節において得た。

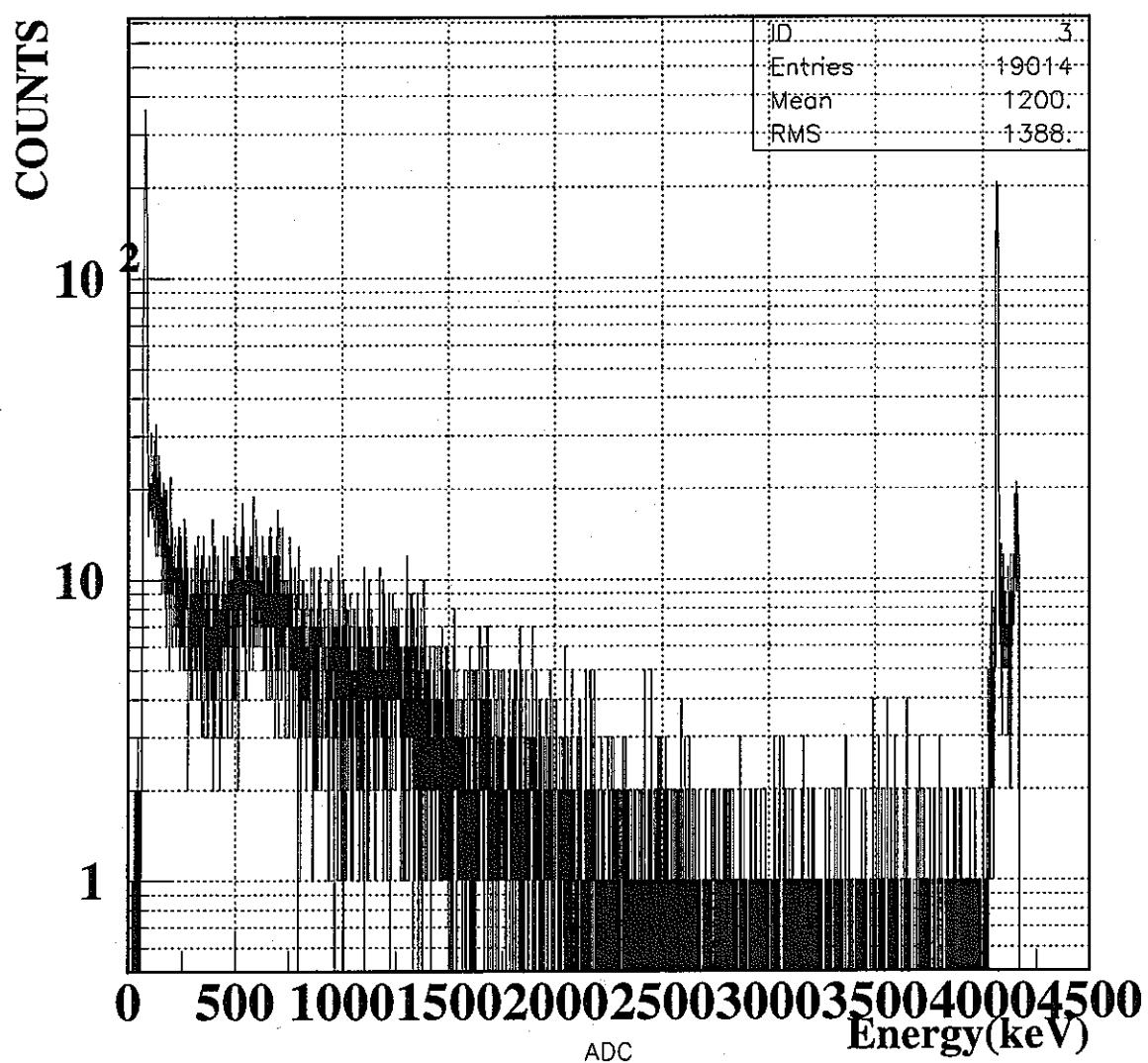


図 64: BC3 で測定した実験 3 での速中性子事象のエネルギー分布

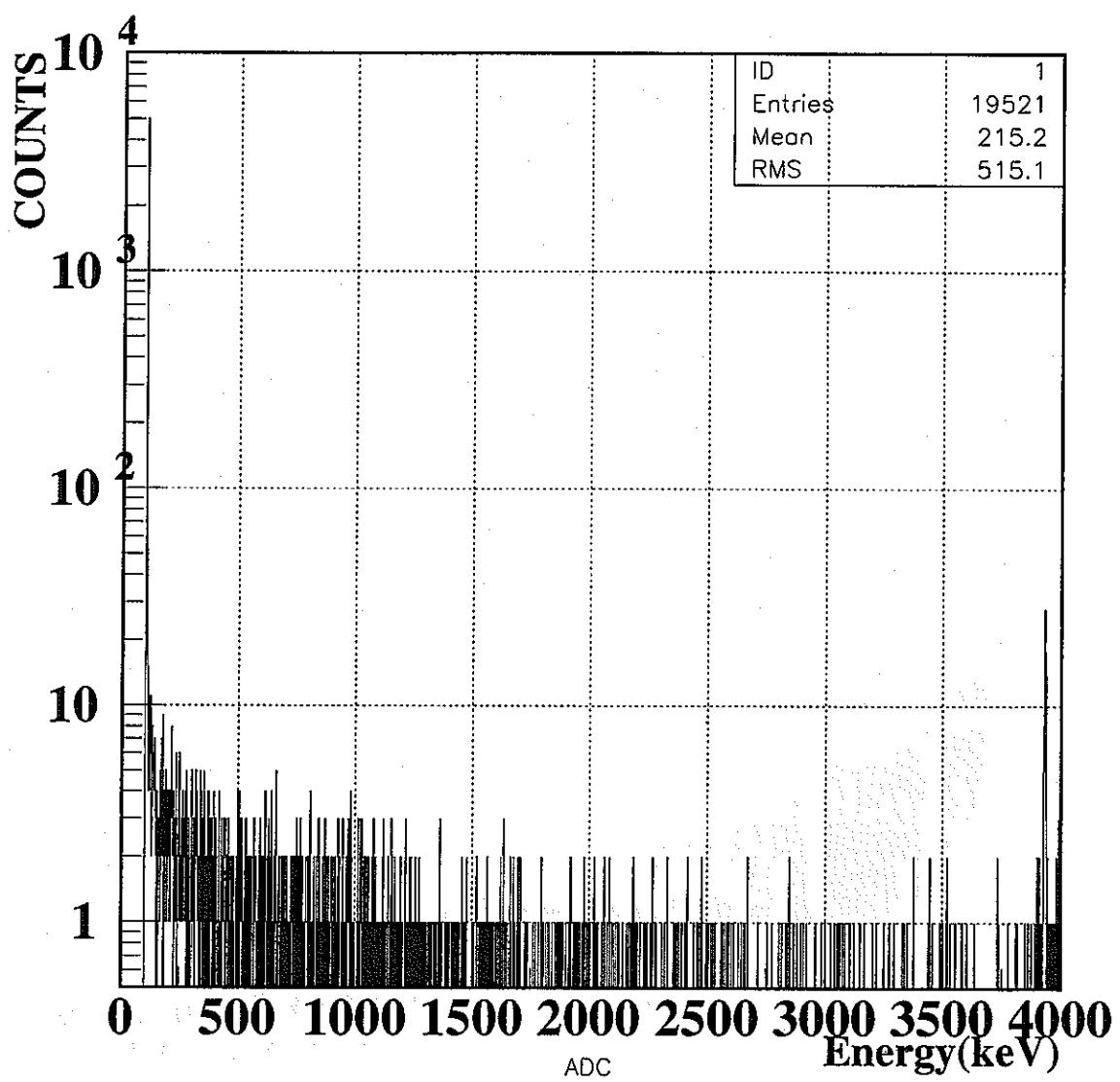


図 65: BC1 で測定した実験 4 での速中性子事象のエネルギー分布

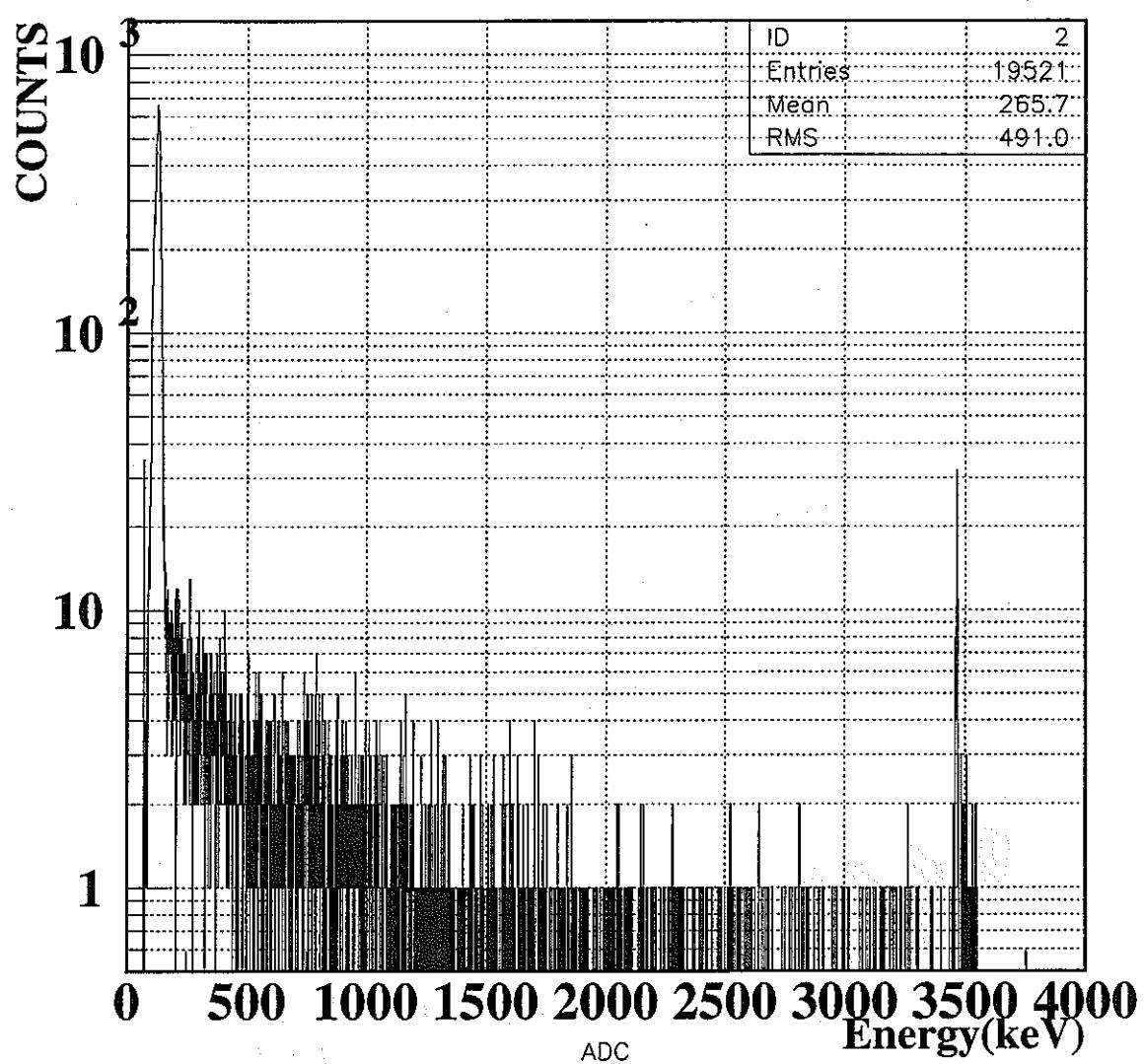


図 66: BC2 で測定した実験 4 での速中性子事象のエネルギー分布

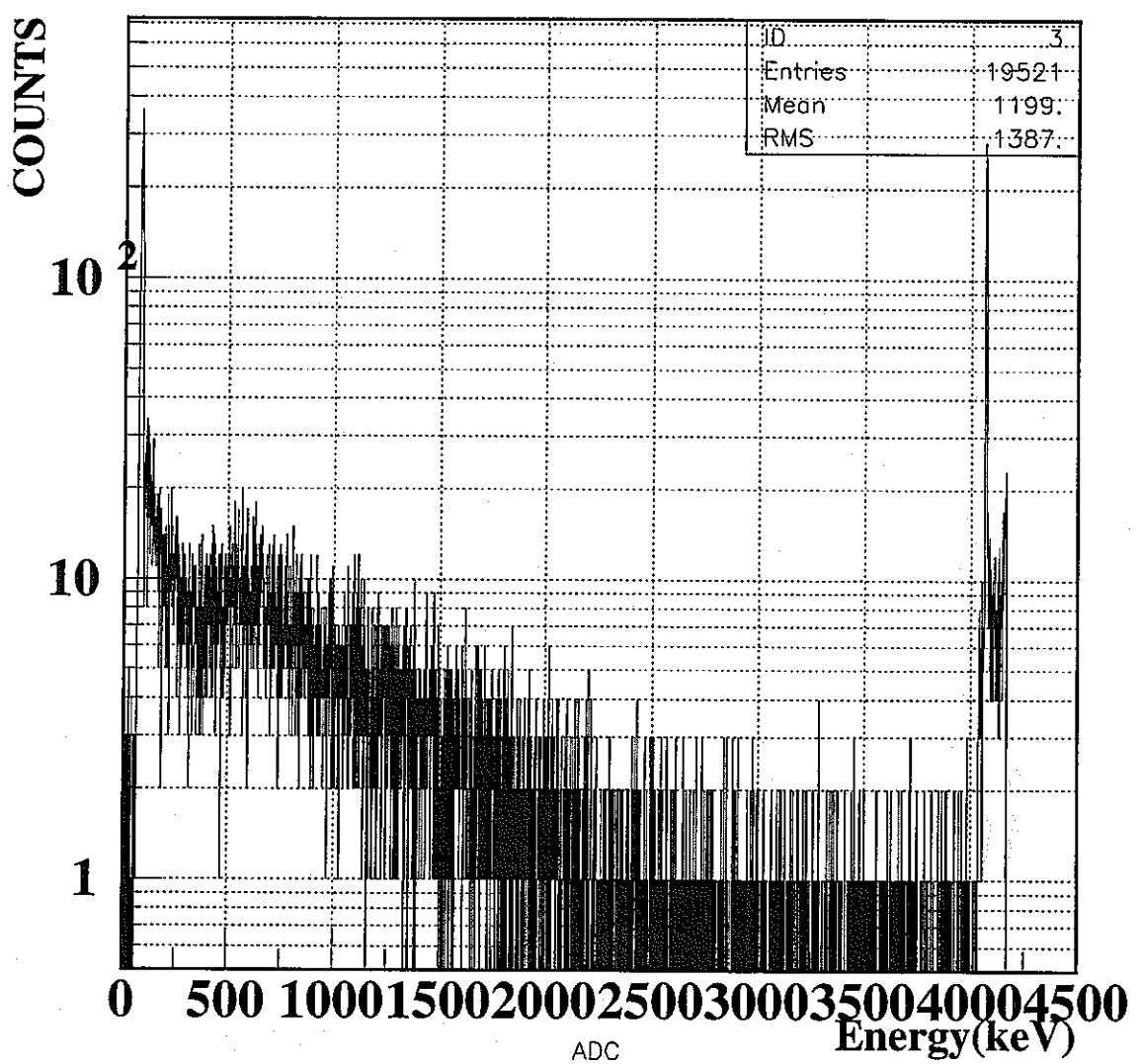


図 67: BC3 で測定した実験 4 での速中性子事象のエネルギー分布

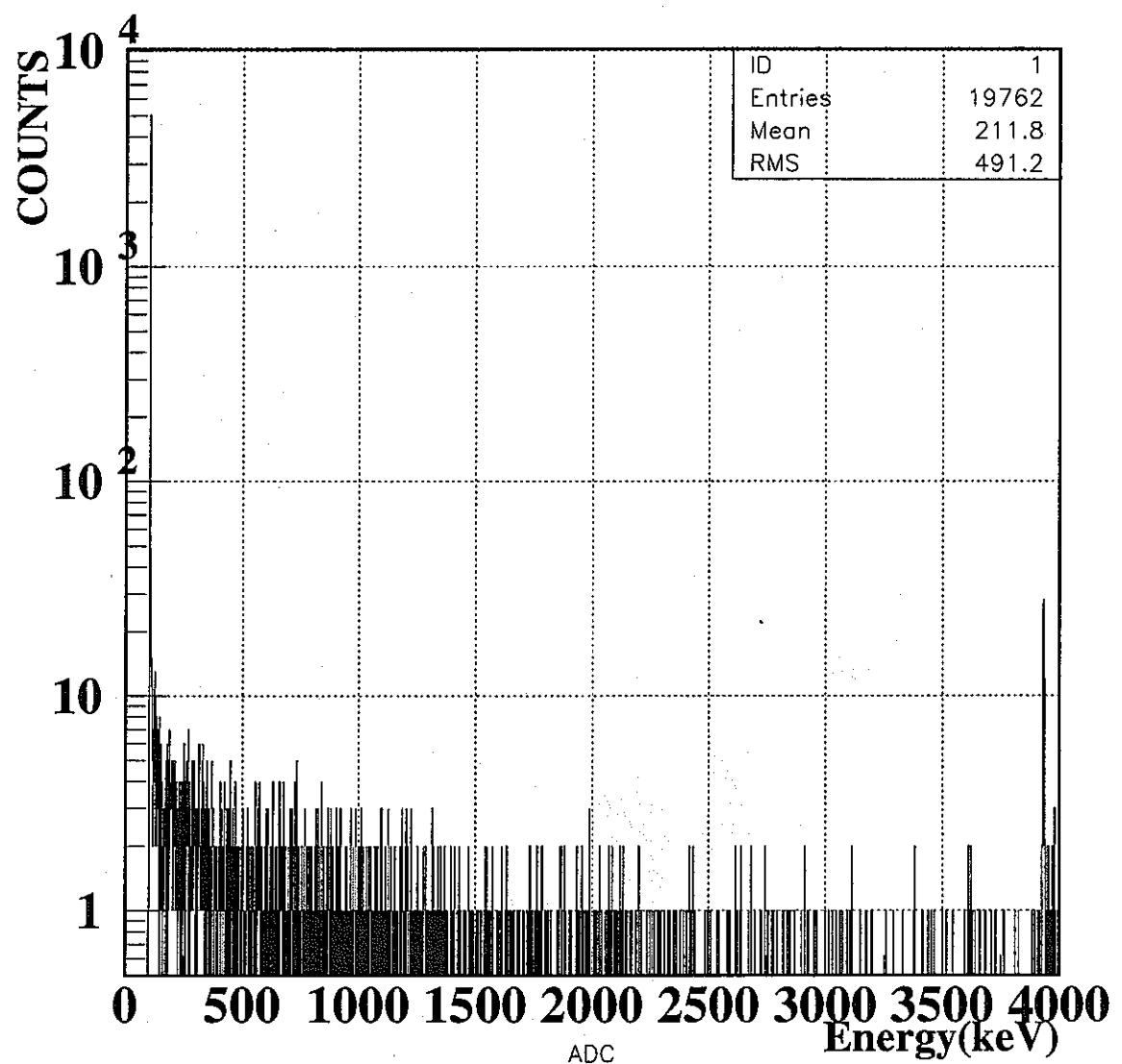


図 68: BC1 で測定した実験 5 での速中性子事象のエネルギー分布

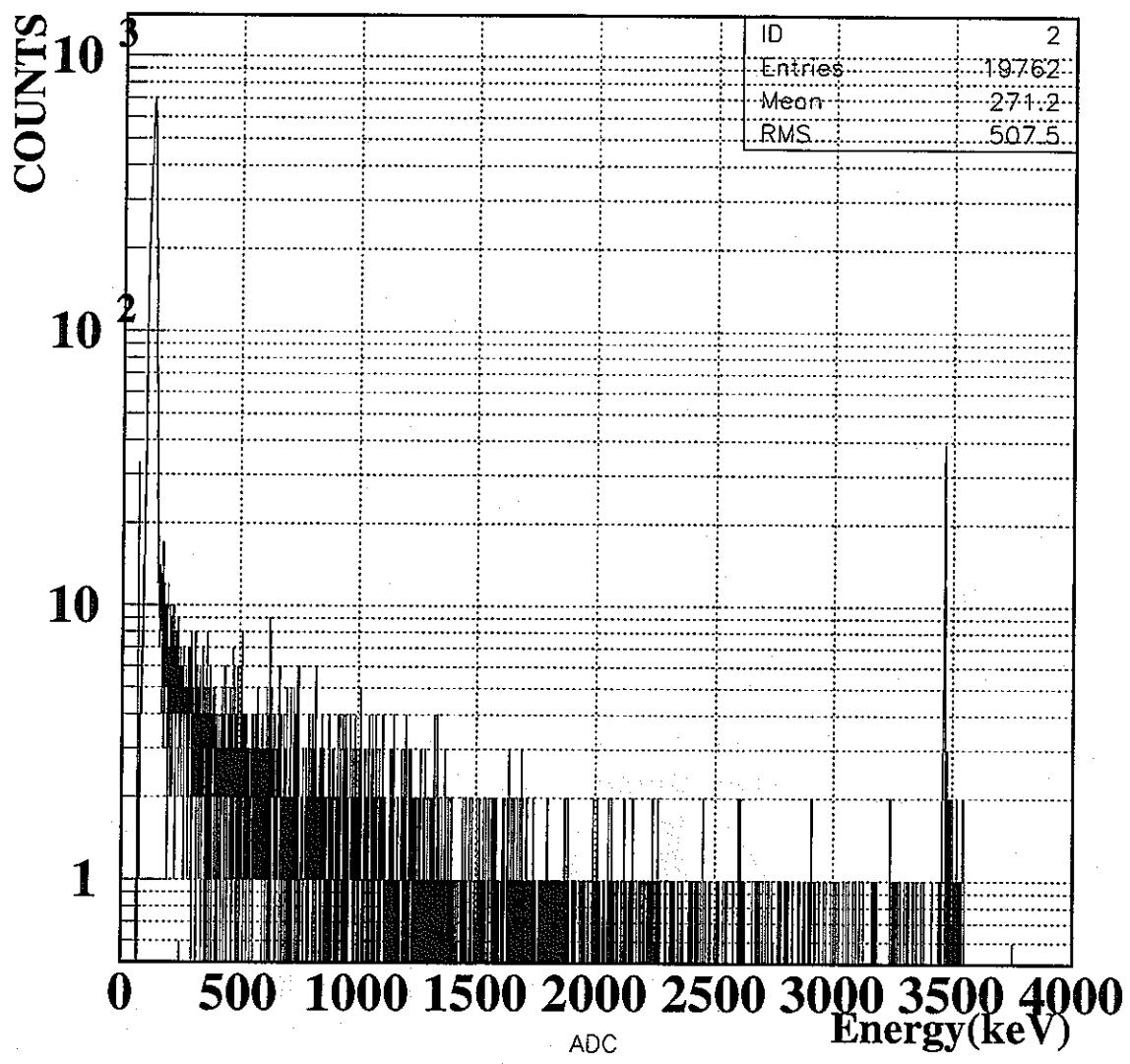


図 69: BC2 で測定した実験 5 での速中性子事象のエネルギー分布

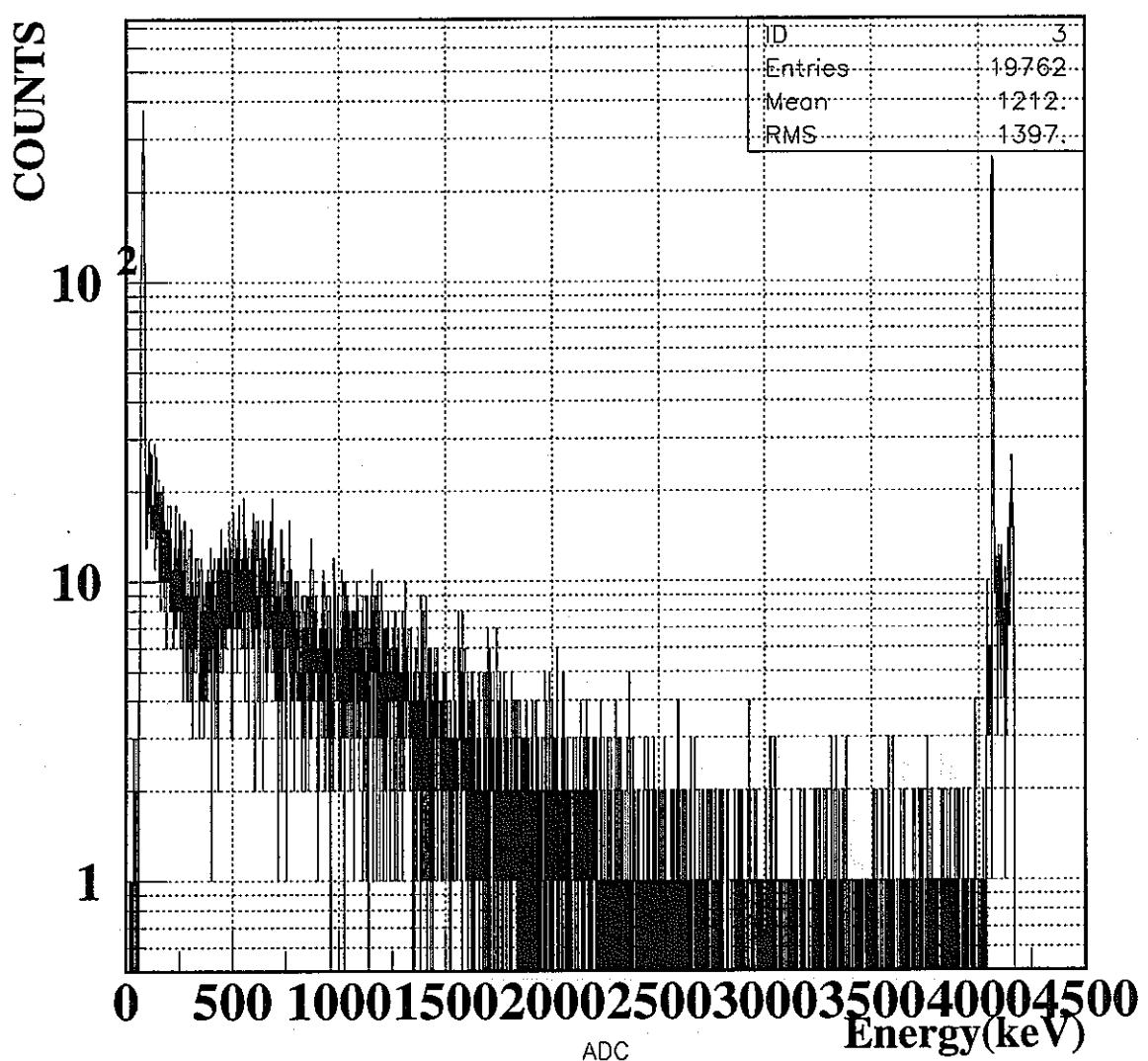


図 70: BC3 で測定した実験 5 での速中性子事象のエネルギー分布

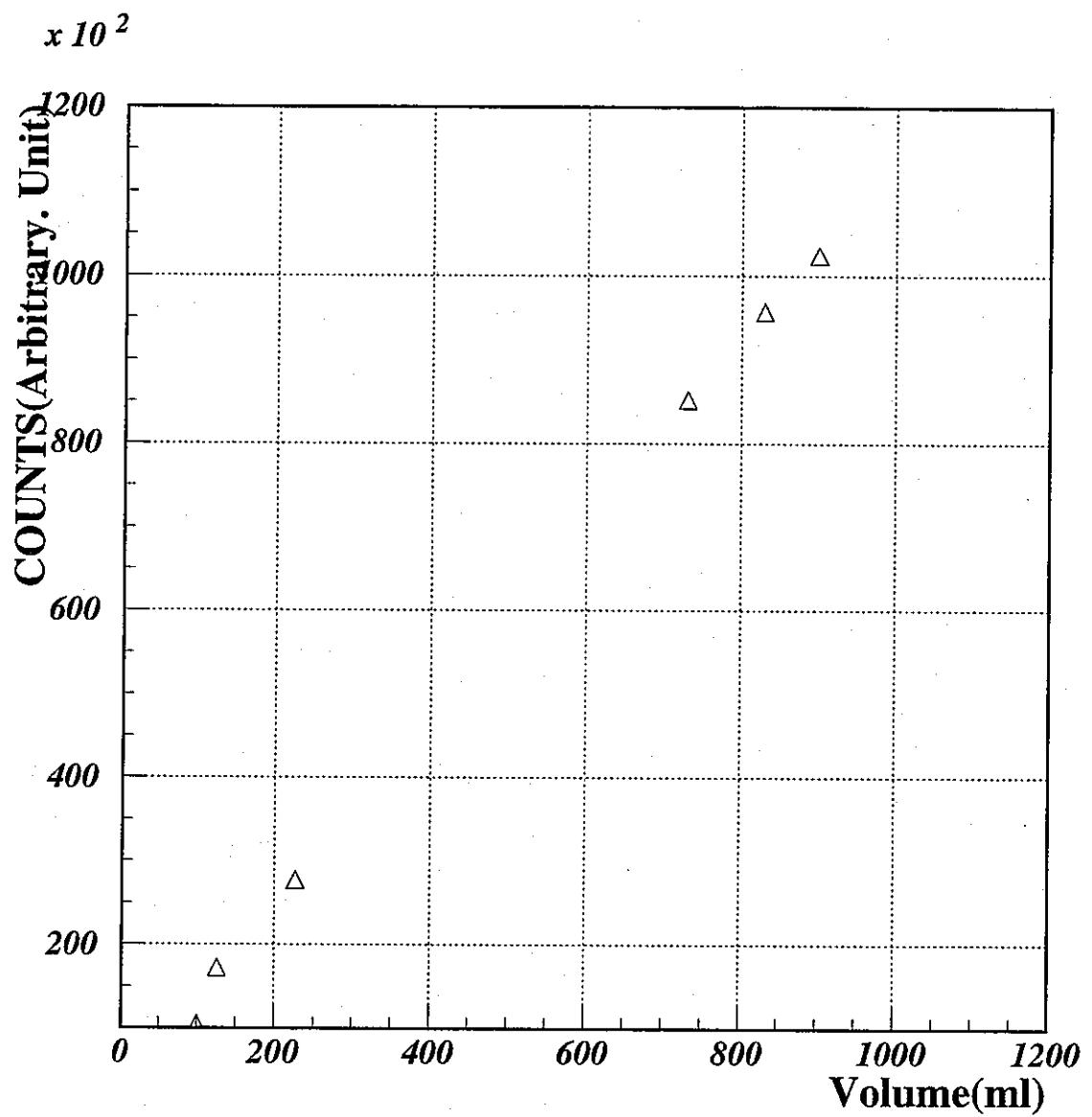


図 71: 容量 vs counts

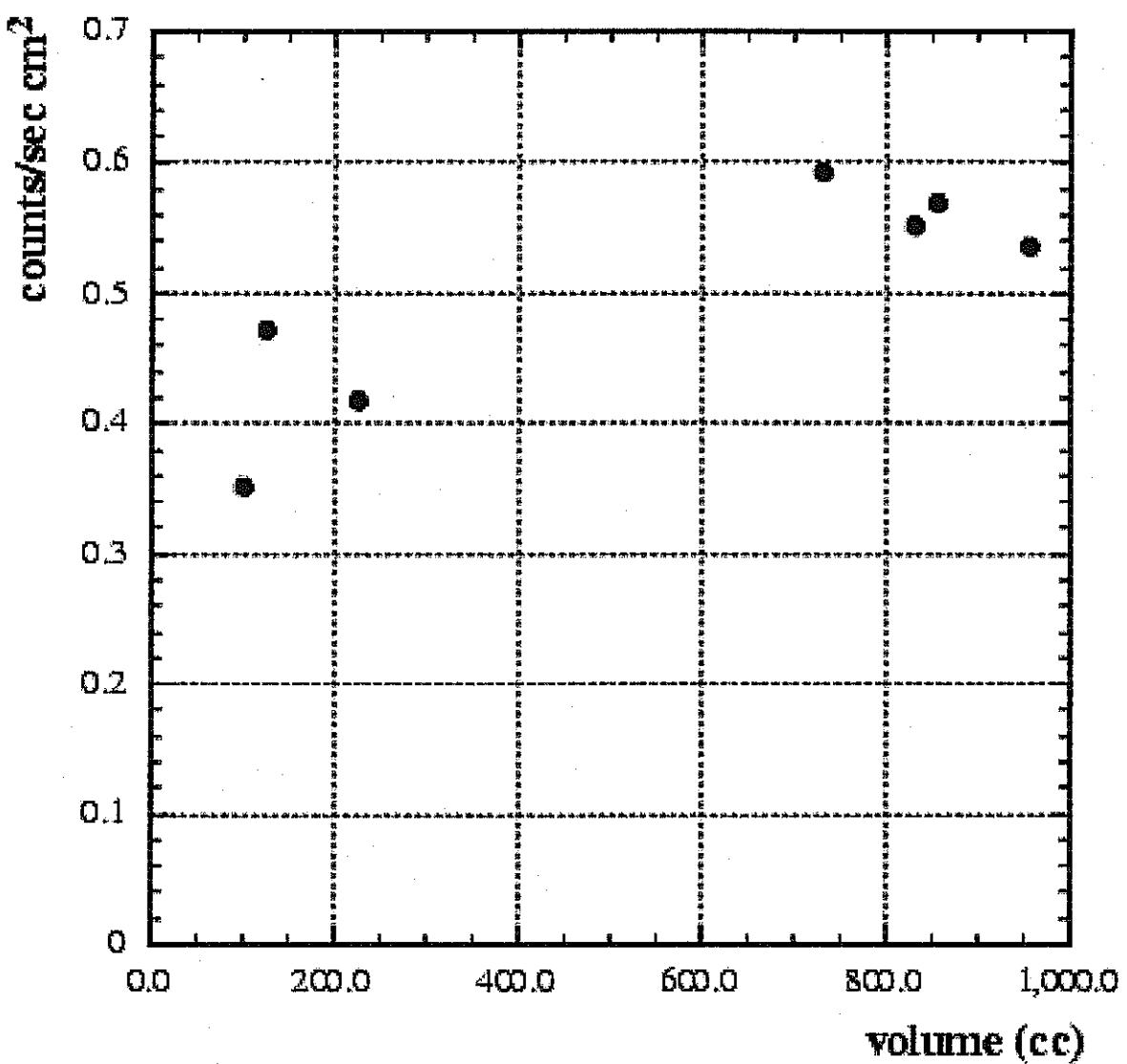


図 72: 検出器の容量変化に対する単位時間・単位投影面積あたりの計数率

## 2.6 シミュレーション計算による特性評価

ここまで測定に使用してきた検出器について、シミュレーション計算により速中性子線に対する検出特性の評価を実施した。中性子輸送計算用のモンテカルロ計算コードとして、NRESP-ANT コードを使用した。

なお、以下の計算では、中性子と  $\alpha$  線の信号を弁別していない。よって、崩壊  $\alpha$  線強度の発生確率を応答関数により求め、検出器の特性を評価するものとした。

### 2.6.1 $^{10}\text{B}$ 濃度、素材の変化に対する特性評価

BC523A とプソイドクメンの濃度比を 10%、30%、50%、67%、90%、100% と変化させることで、 $^{10}\text{B}$  濃度を変化させたことによる  $\phi 5'' \times 3''$  検出器の特性変化を調査した。この時に得られた液体シンチレータ中のエネルギー 1MeV の単色速中性子に対するエネルギー分布を図 73~78 に示した。なお、発生させた中性子の数は  $2.5 \times 10^4$  とした。また、中性子線源は検出器中心から 10cm 側面に離れた場所（ただし検出器の内側半径は 6.25cm）にあり、検出器中心へ向かって中性子が飛行するものとした。

この計算の結果 BC523A 濃度を 10% に希釈した液体シンチレータで遅延  $\alpha$  線を検出する確率は 17.1%、希釈しない場合は 23.5% となることが判明した（表 12）。遅延  $\alpha$  線の同時計数法を採用するためには、遅延  $\alpha$  線の強度が有意に測定できる必要性がある。よって、今回の希釈度（10%）は適当である。

表 12: 1MeV 速中性子入射時の崩壊  $\alpha$  線発生確率の BC523A 希釈度依存性

BC523A: プソイドクメン (相対比)	崩壊 $\alpha$ 線の発生確率 (%)
10:90	17.1
30:70	20.3
50:50	22.0
67:33	22.7
90:10	23.4
100:0	23.5

### 2.6.2 $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源に対する特性評価

$^{252}\text{Cf}$  中性子線源に対する応答関数を得た。自発核分裂時に発せられる中性子のエネルギースペクトル  $\frac{dN}{dE}$  は、中性子の平均エネルギーを  $T$ 、エネルギーを  $E$  として、

$$\frac{dN}{dE} = \sqrt{E} \exp\left(-\frac{E}{T}\right)$$

として表される。 $^{252}\text{Cf}$  の場合、 $T=1.3\text{MeV}$  であり、この式に従ったエネルギースペクトルを NRESP コードの入力に使用した。得られた検出器中の応答関数を図 79 に示した。今回のシミュレーション結果では、 $^{252}\text{Cf}$  線源使用時の検出器内での崩壊  $\alpha$  線発生確率は 3.93% となった。

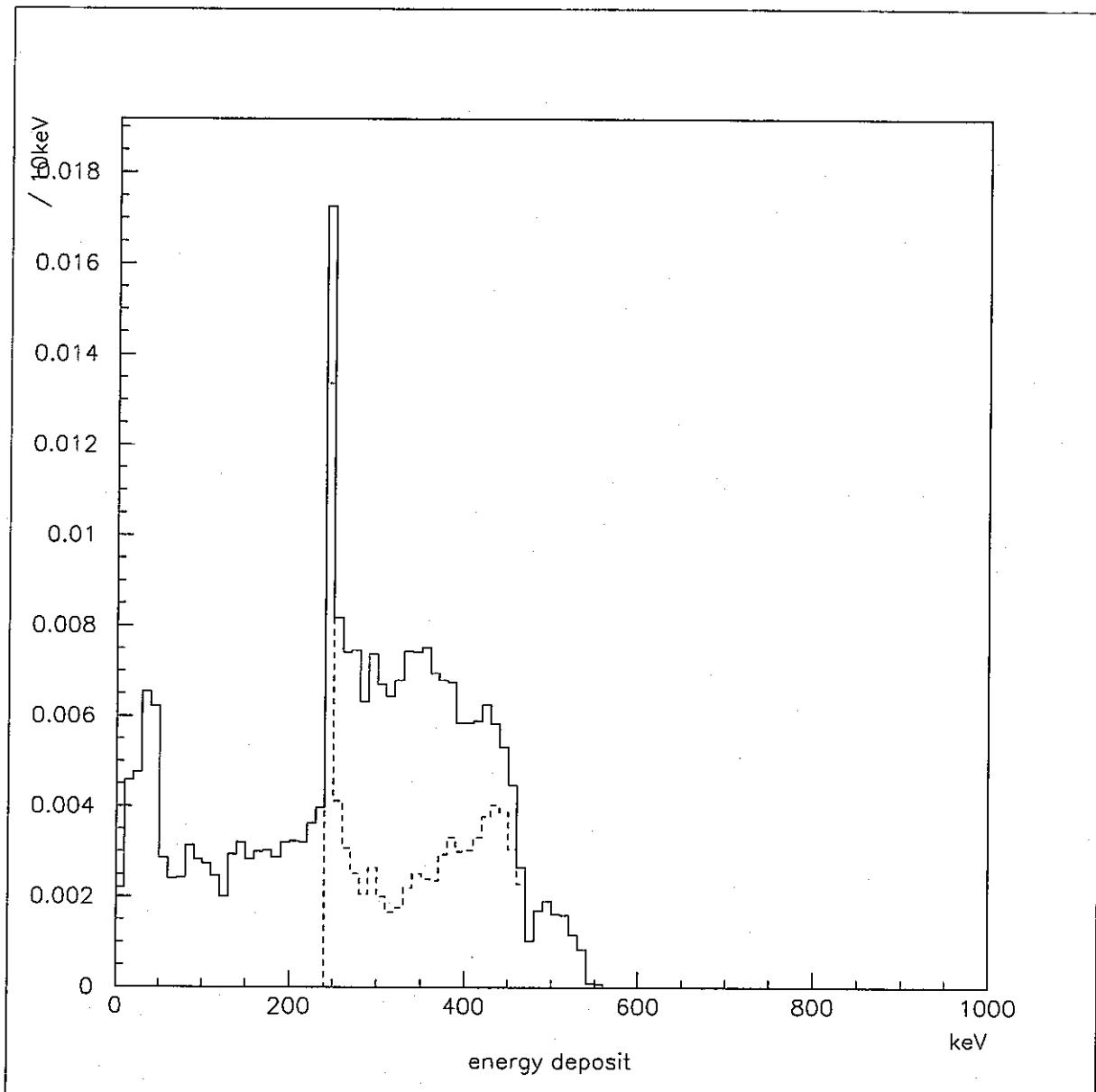


図 73: NRESP により得られた 1MeV 速中性子に対する応答関数。  
BC523A:pseudocumen=10:90。実線:全反応からの寄与、点線:捕獲崩壊  $\alpha$  線からの寄与。以降の図でも、実線と点線部分は同様。

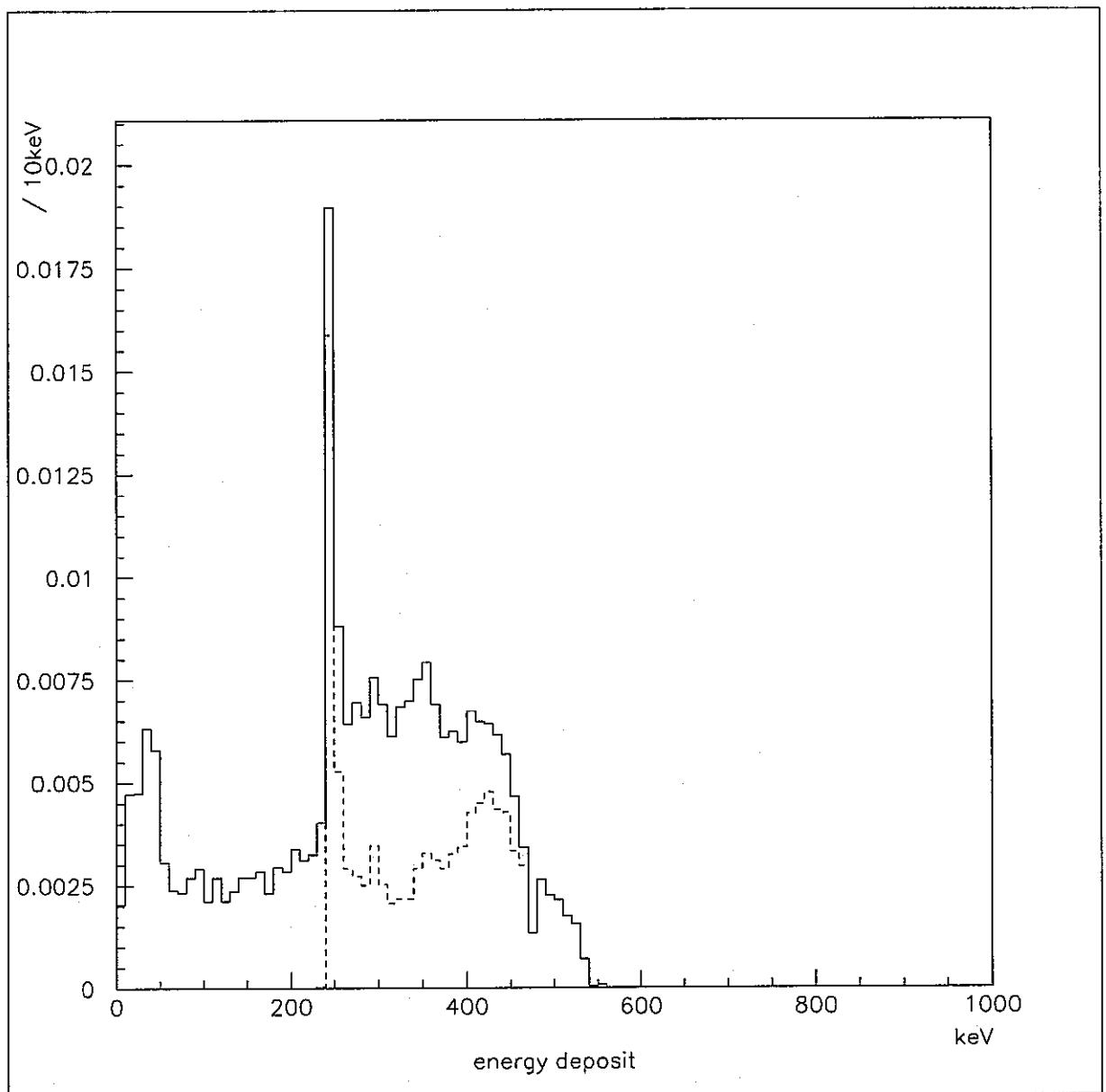


図 74: NRESP により得られた 1MeV 速中性子に対する応答関数。  
BC523A:pseudocumen=30:70

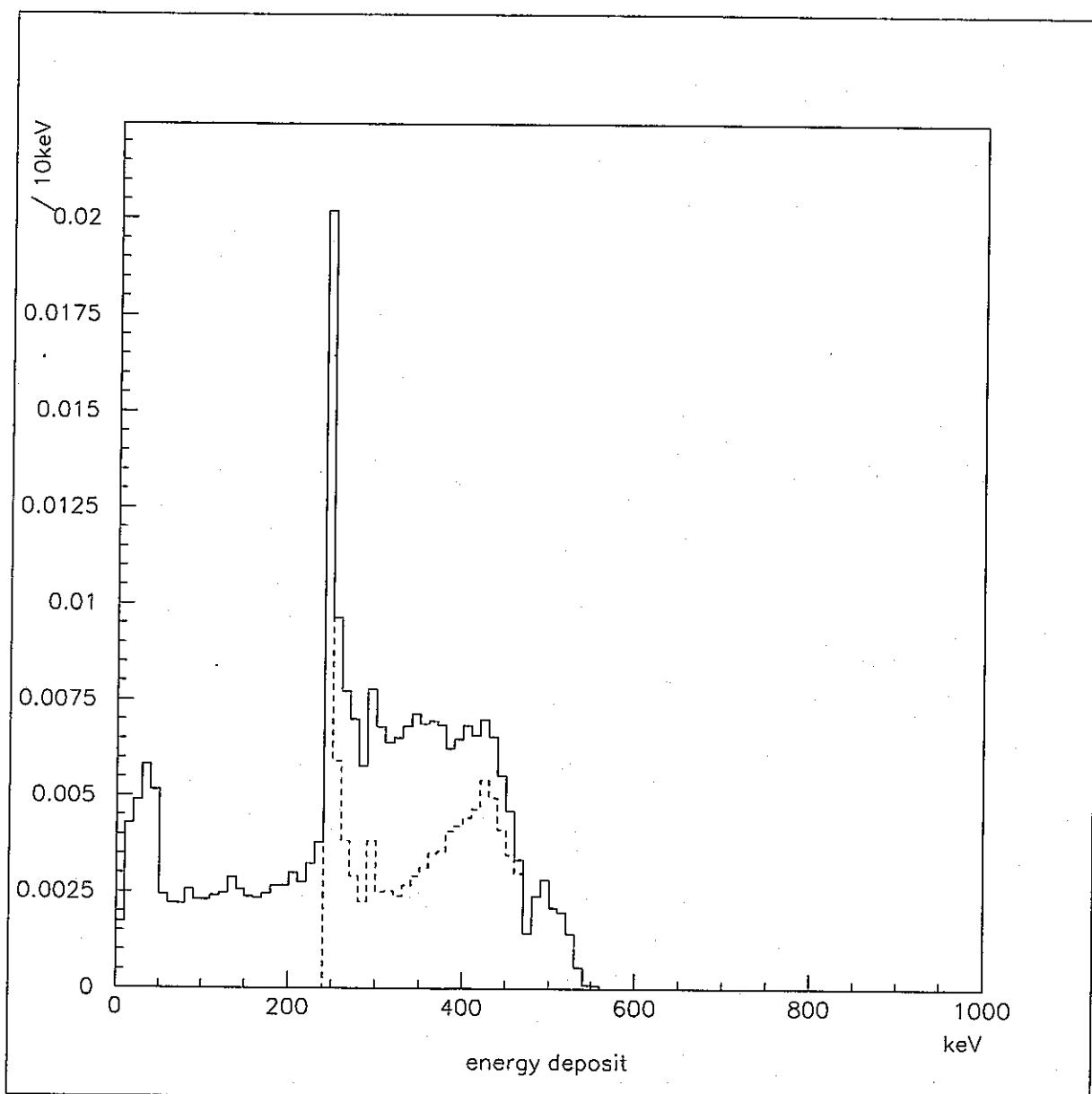


図 75: NRESP により得られた 1MeV 速中性子に対する応答関数。  
BC523A:pseudocumen=50:50

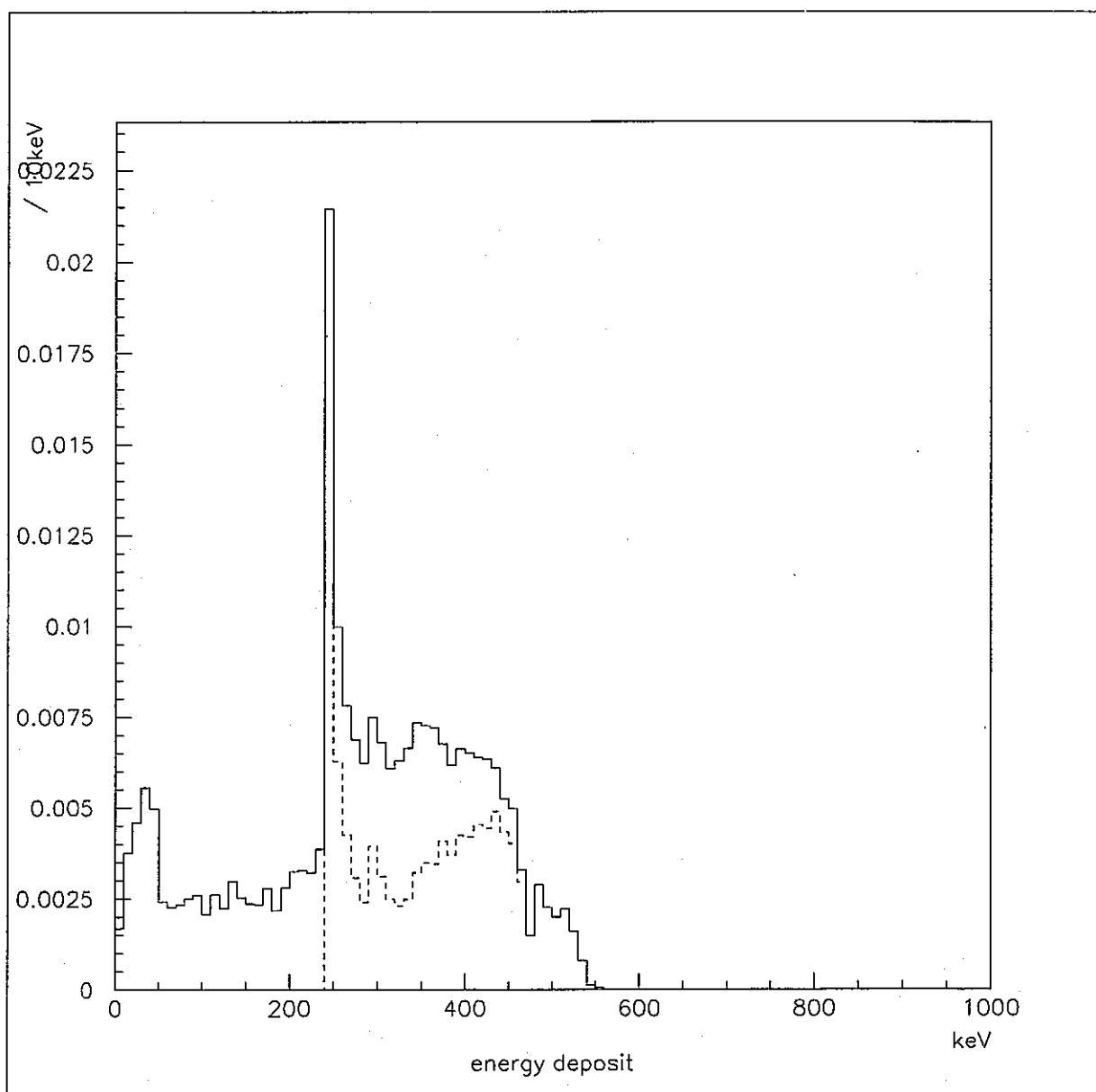


図 76: NRESP により得られた 1MeV 速中性子に対する応答関数。  
BC523A:pseudocumen=67:33

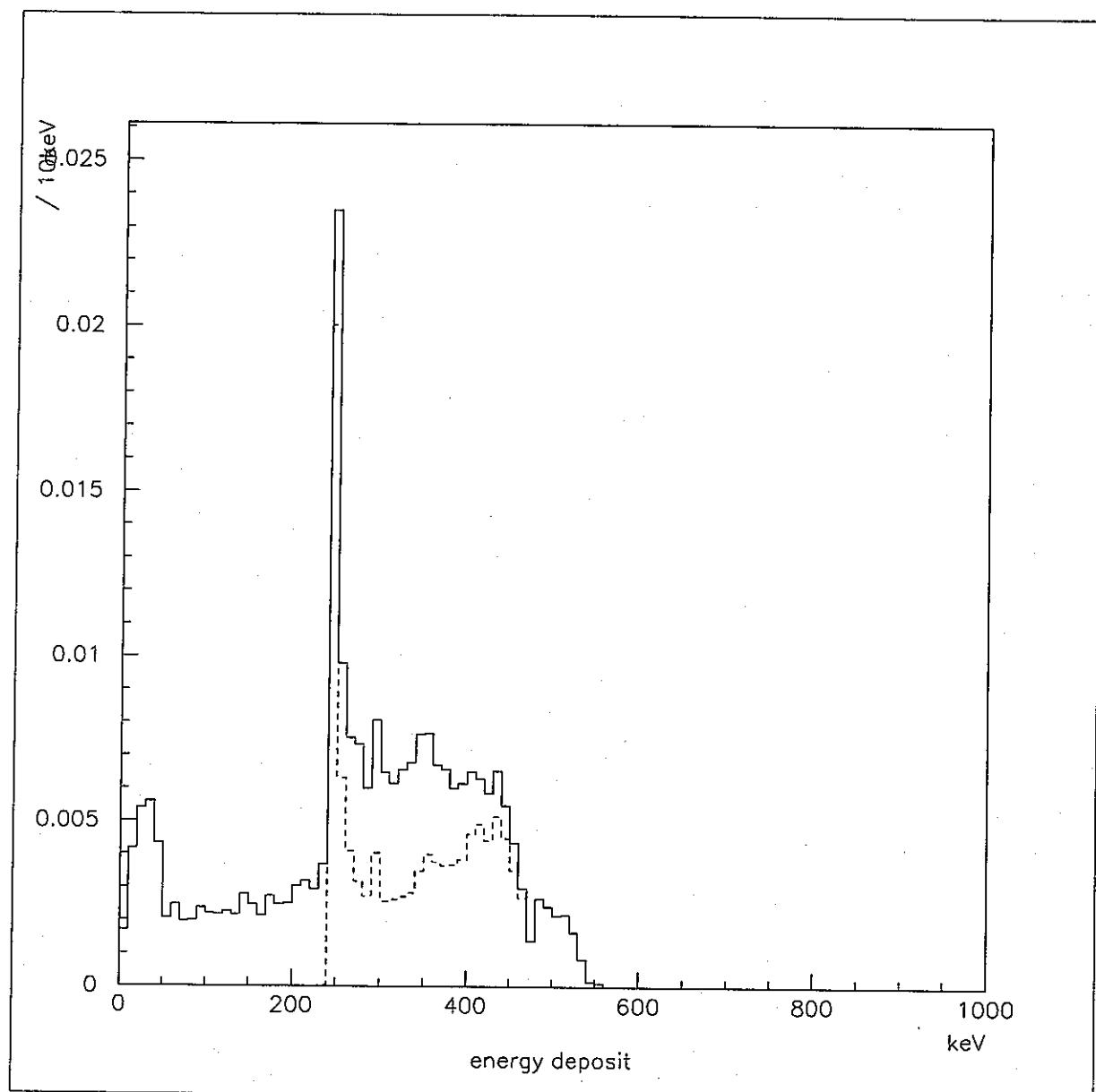


図 77: NRESP により得られた 1MeV 速中性子に対する応答関数。  
BC523A:pseudocumen=90:10

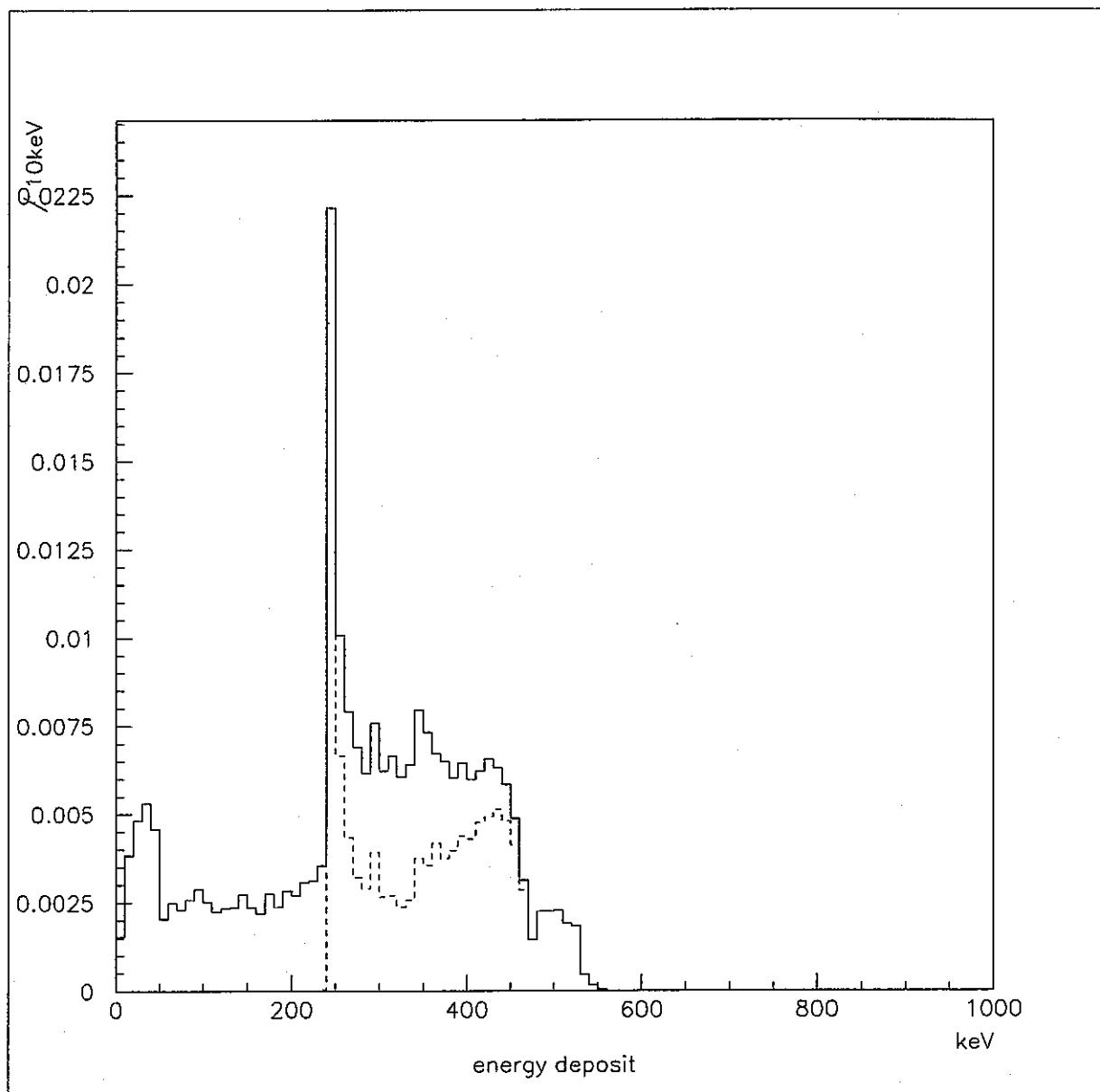


図 78: NRESP により得られた 1MeV 速中性子に対する応答関数。  
BC523A:pseudocumen=100:0

### 2.6.3 入射中性子エネルギーの変化に対する特性評価

単色エネルギーの中性子をシミュレートし、中性子のエネルギーの変化に対する検出器の特性を調査した。入射する中性子のエネルギーを  $10^{-2}\text{eV}$  から  $2 \times 10^7\text{eV}$  まで変化させ、その時に得られた検出器中に与えられる中性子と崩壊粒子( $\alpha$ 線)のエネルギー和の分布を図83~97に示した。発生させた中性子イベント数は  $10^5$  とした。また、中性子線源は検出器中心から 10cm 側面に離れた場所(ただし検出器の内側半径は 6.25cm)にあり、検出器中心へ向かって中性子が飛行するものとした。

シミュレーションの結果、今回の検出器が有する崩壊 $\alpha$ 線に対する検出効率の中性子エネルギー依存性を得た。これを表13に示した。この表より、熱中性子入射時の検出器における崩壊 $\alpha$ 線発生確率は 43.6%、1MeV 中性子入射時は 17.3%であることがわかる。

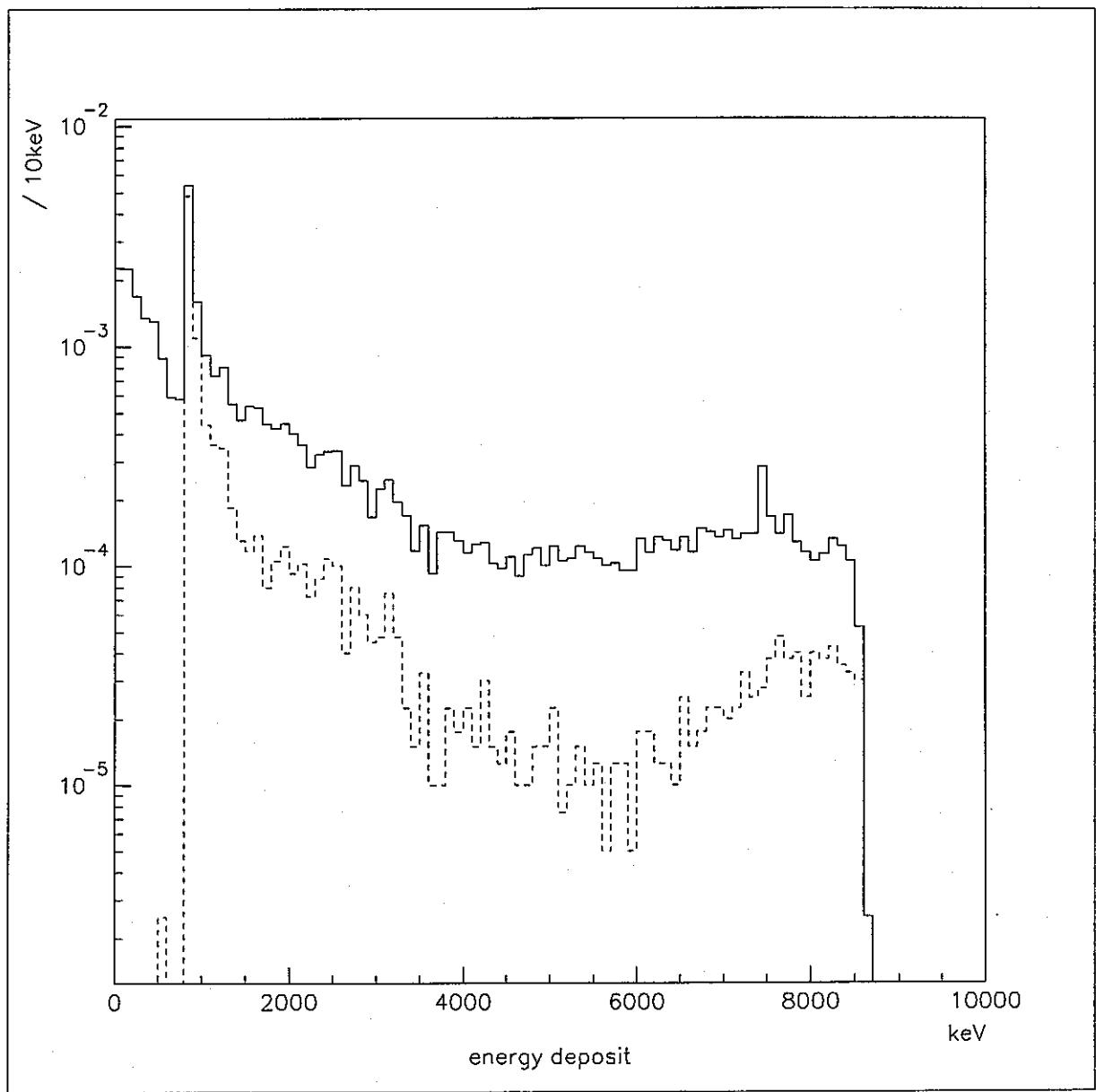


図 79: NRESP により得られた  $^{252}\text{Cf}$  自発核分裂中性子に対する応答関数。

表 13: 崩壊  $\alpha$  線発生確率の入射中性子エネルギー依存性

入射中性子エネルギー (eV)	崩壊 $\alpha$ 線の検出効率 (%)
$1 \times 10^{-2}$	43.6
$2.5 \times 10^{-2}$	46.8
$1 \times 10^{-1}$	50.7
$1 \times 10^0$	52.6
$1 \times 10^1$	50.0
$1 \times 10^2$	44.6
$1 \times 10^3$	39.0
$1 \times 10^4$	34.4
$2 \times 10^4$	33.2
$5 \times 10^4$	32.2
$1 \times 10^5$	30.6
$2 \times 10^5$	23.3
$5 \times 10^5$	26.8
$1 \times 10^6$	17.3
$2 \times 10^6$	20.3
$5 \times 10^6$	11.8
$1 \times 10^7$	7.3
$2 \times 10^7$	6.7

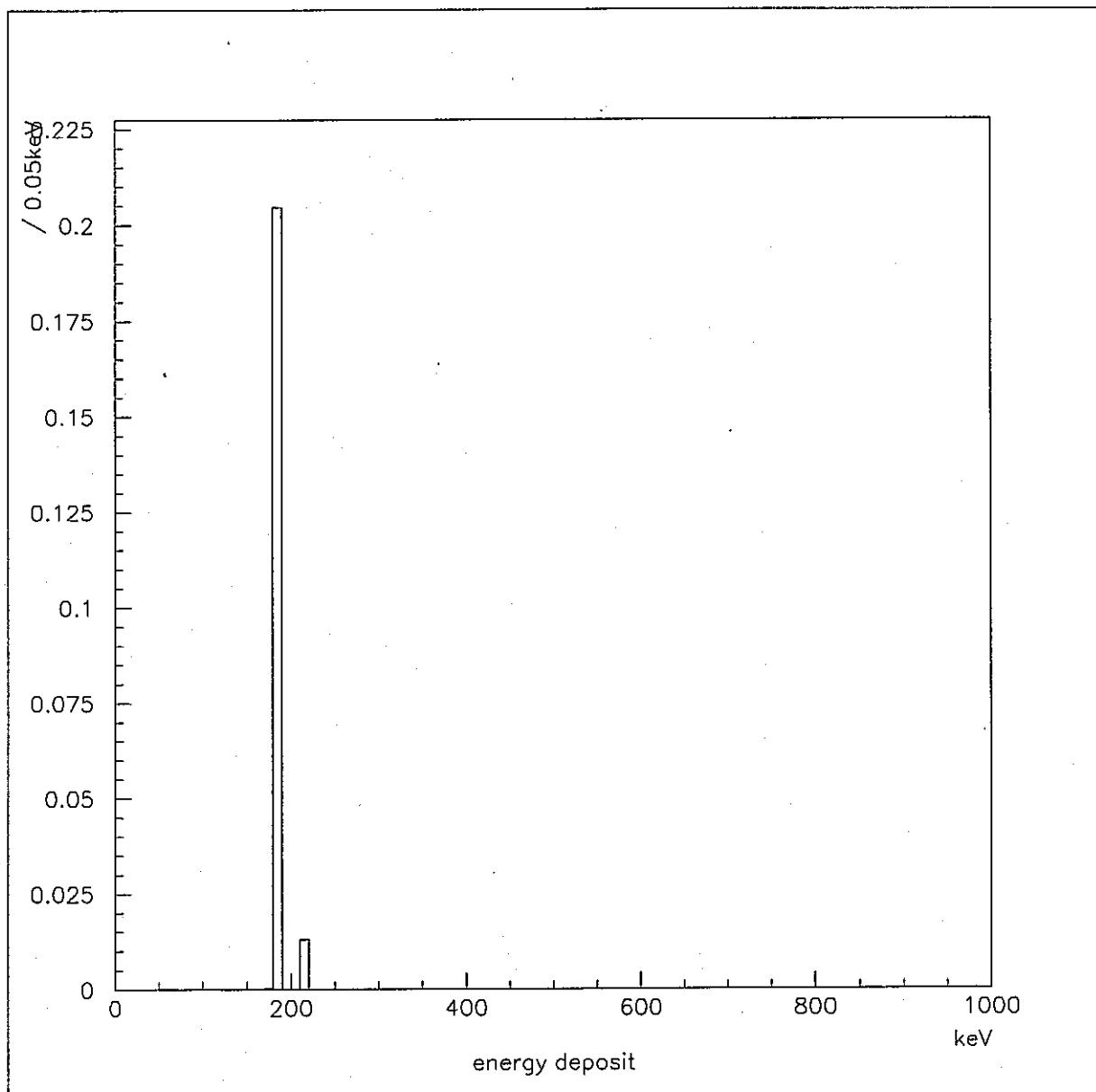


図 80: NRESP により得られた 0.01eV 単色中性子に対する応答関数。

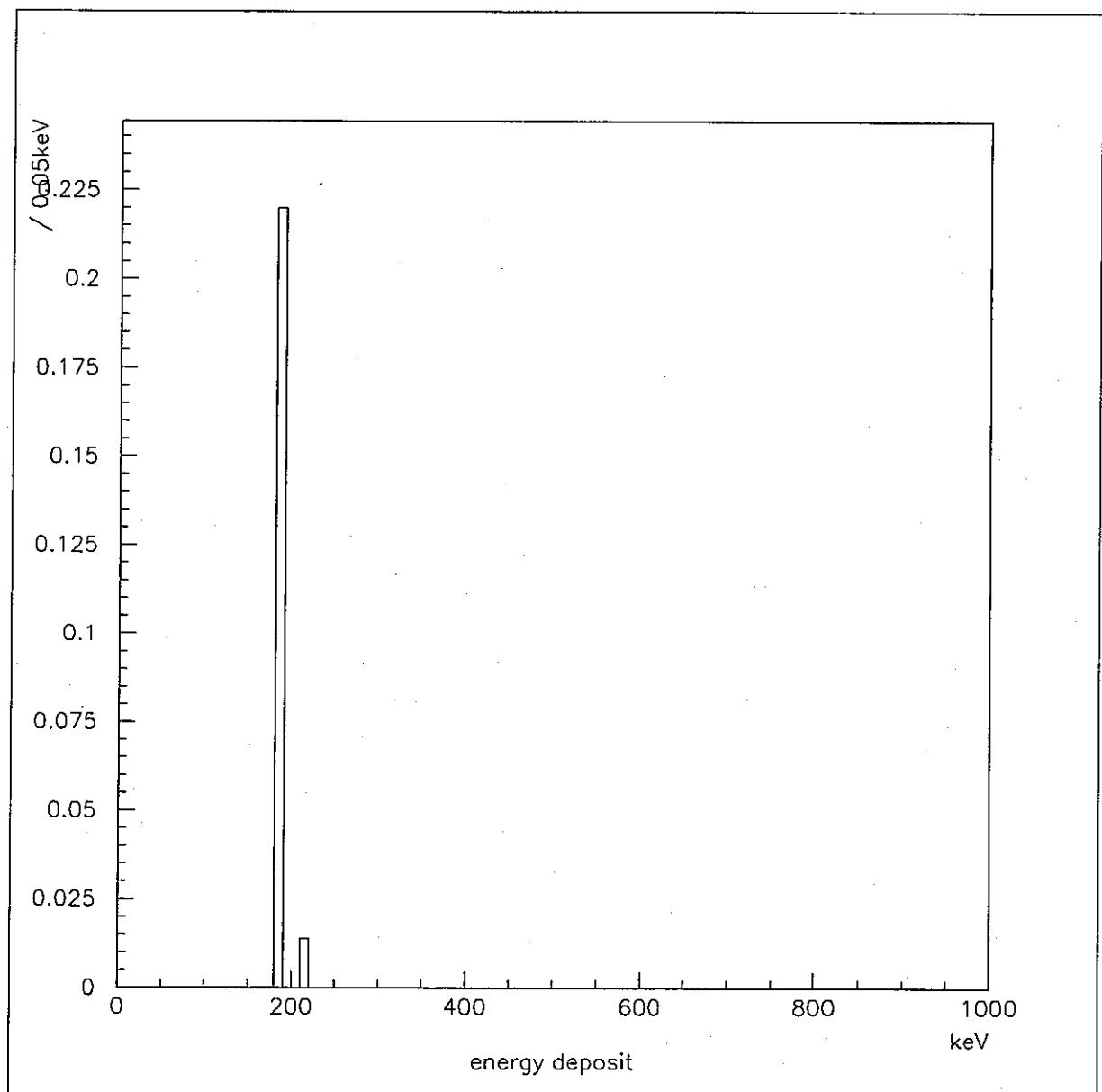


図 81: NRESP により得られた 0.025eV 単色中性子に対する応答関数。

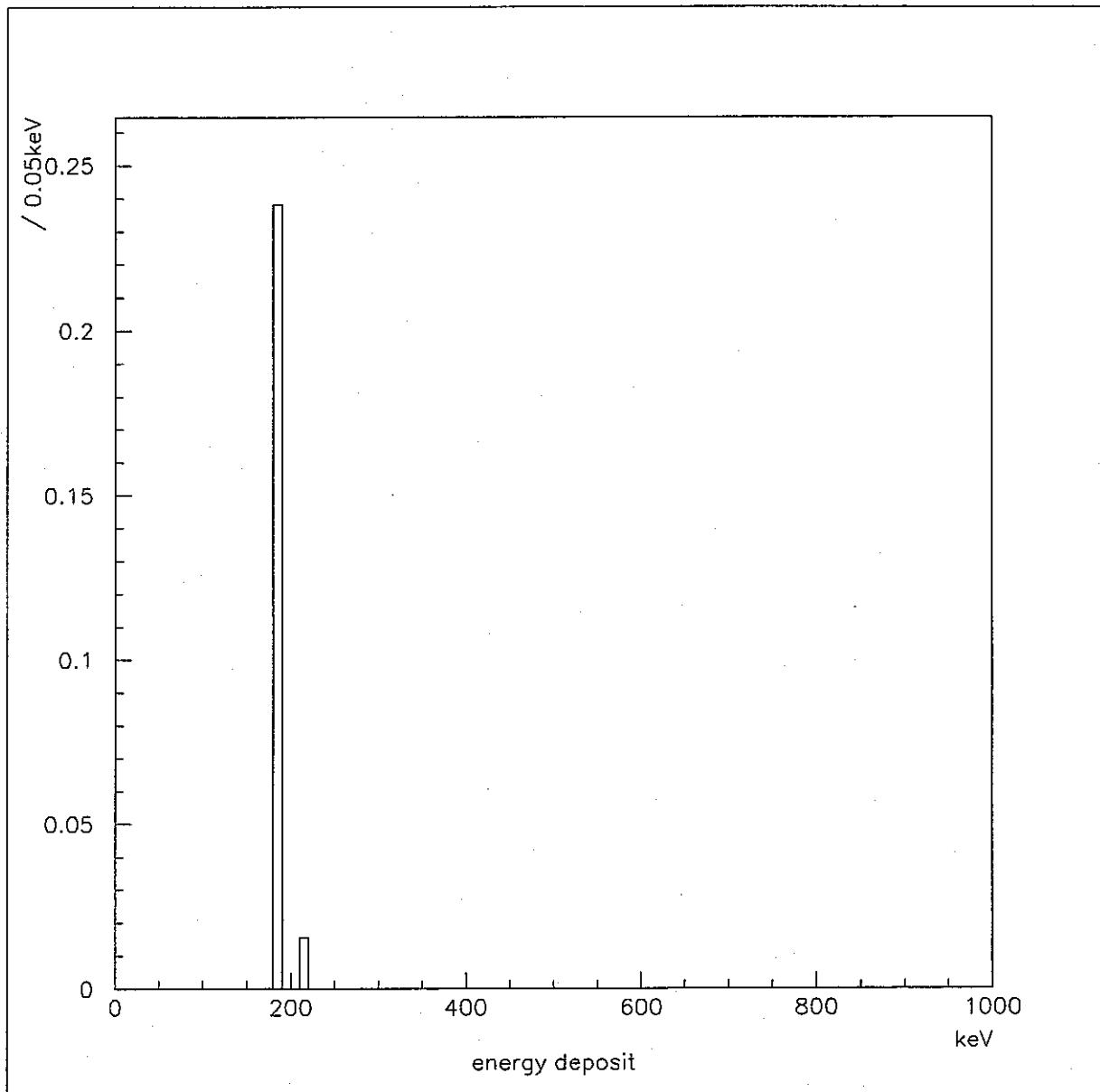


図 82: NRESP により得られた 0.1eV 単色中性子に対する応答関数。

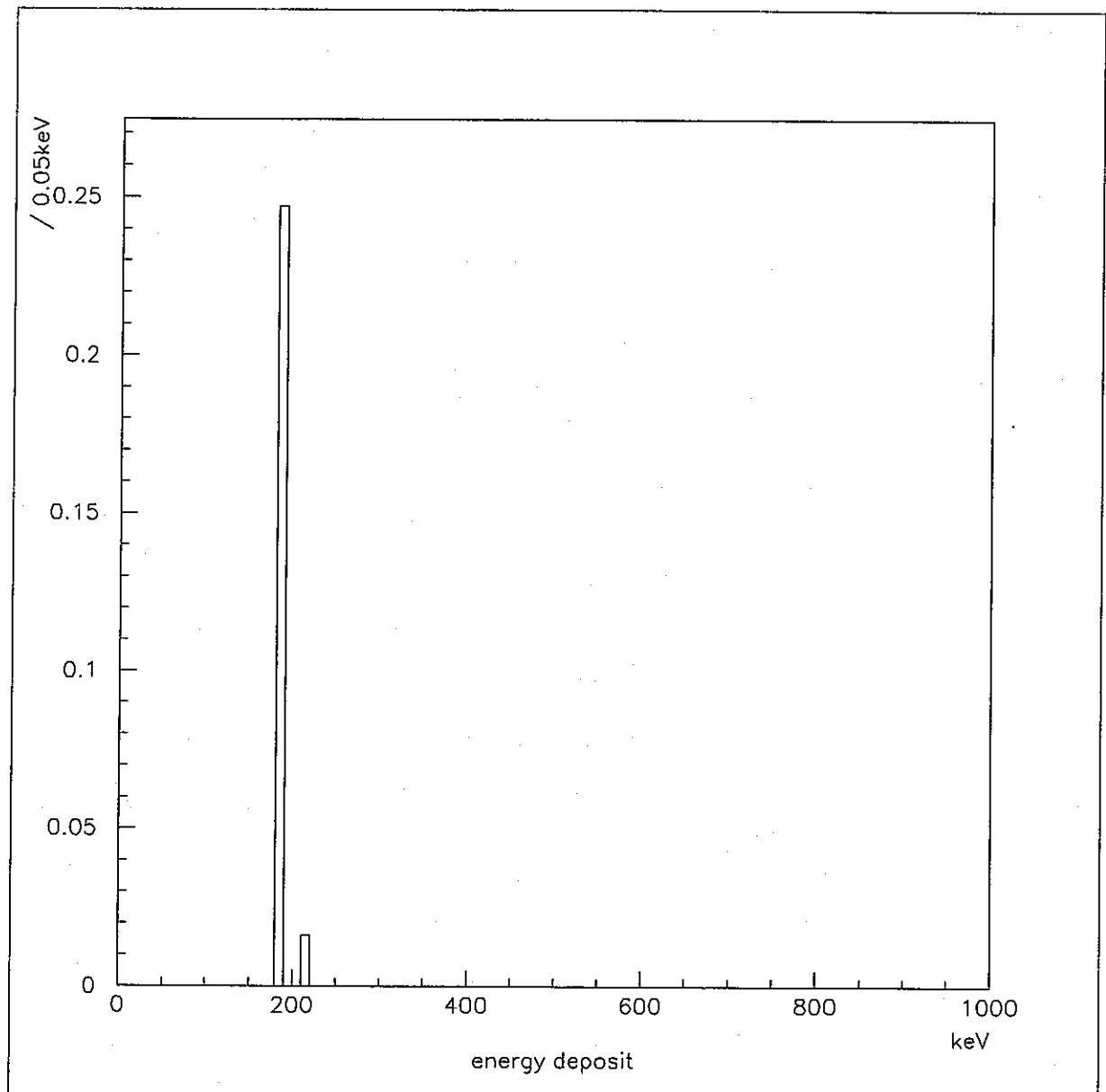


図 83: NRESP により得られた 1eV 単色中性子に対する応答関数。

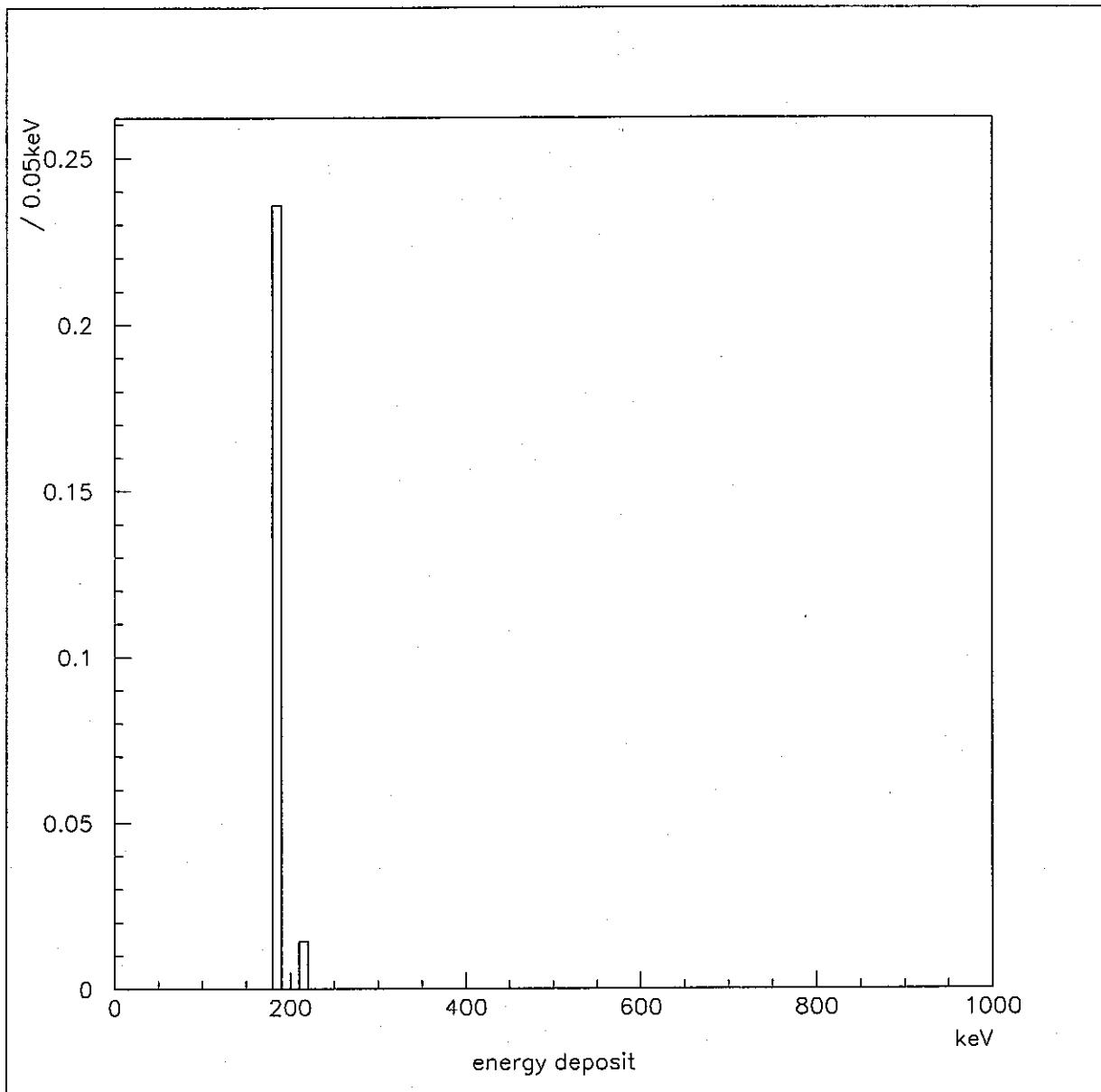


図 84: NRESP により得られた 10eV 単色中性子に対する応答関数。

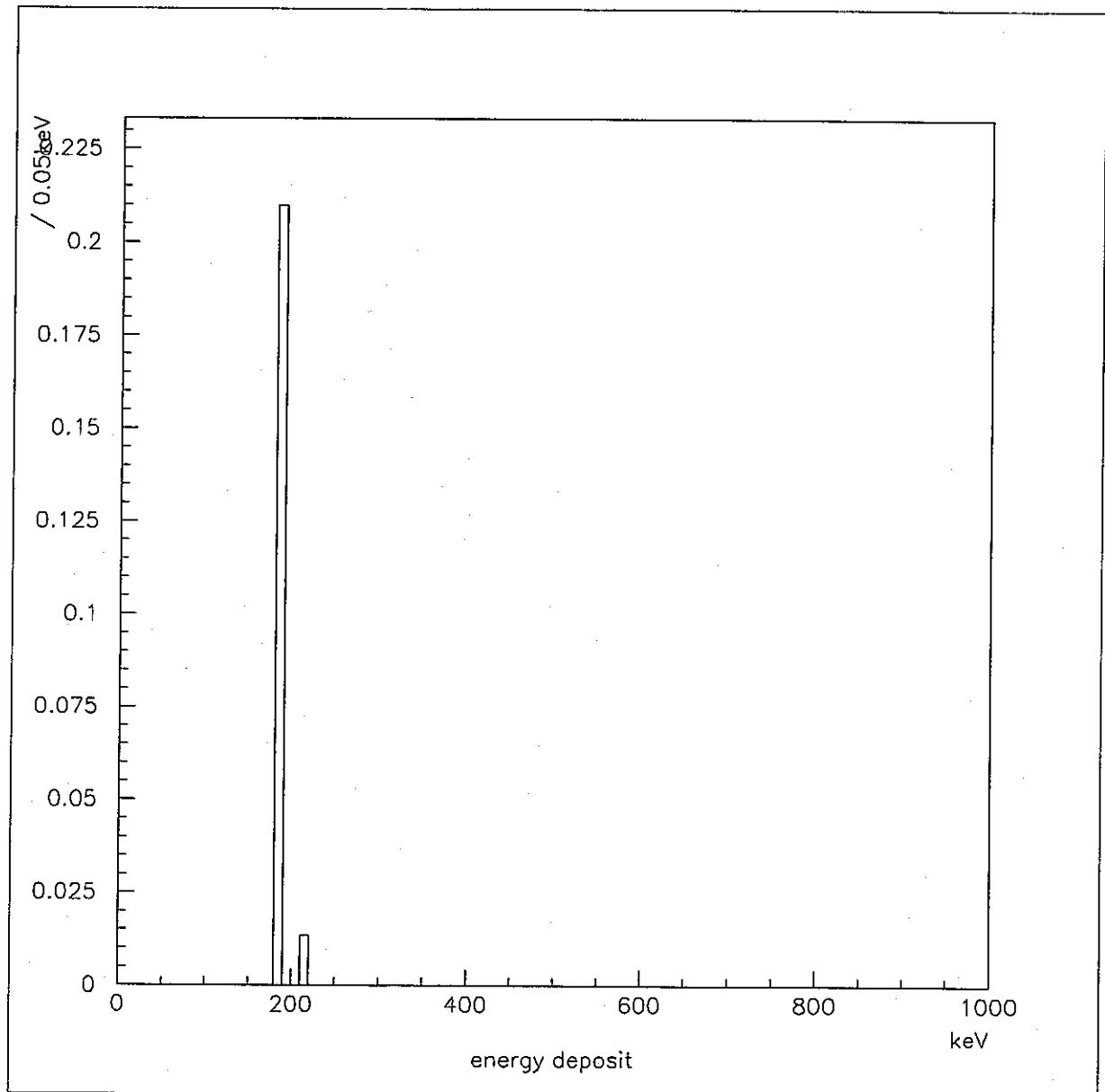


図 85: NRESP により得られた 100eV 単色中性子に対する応答関数。

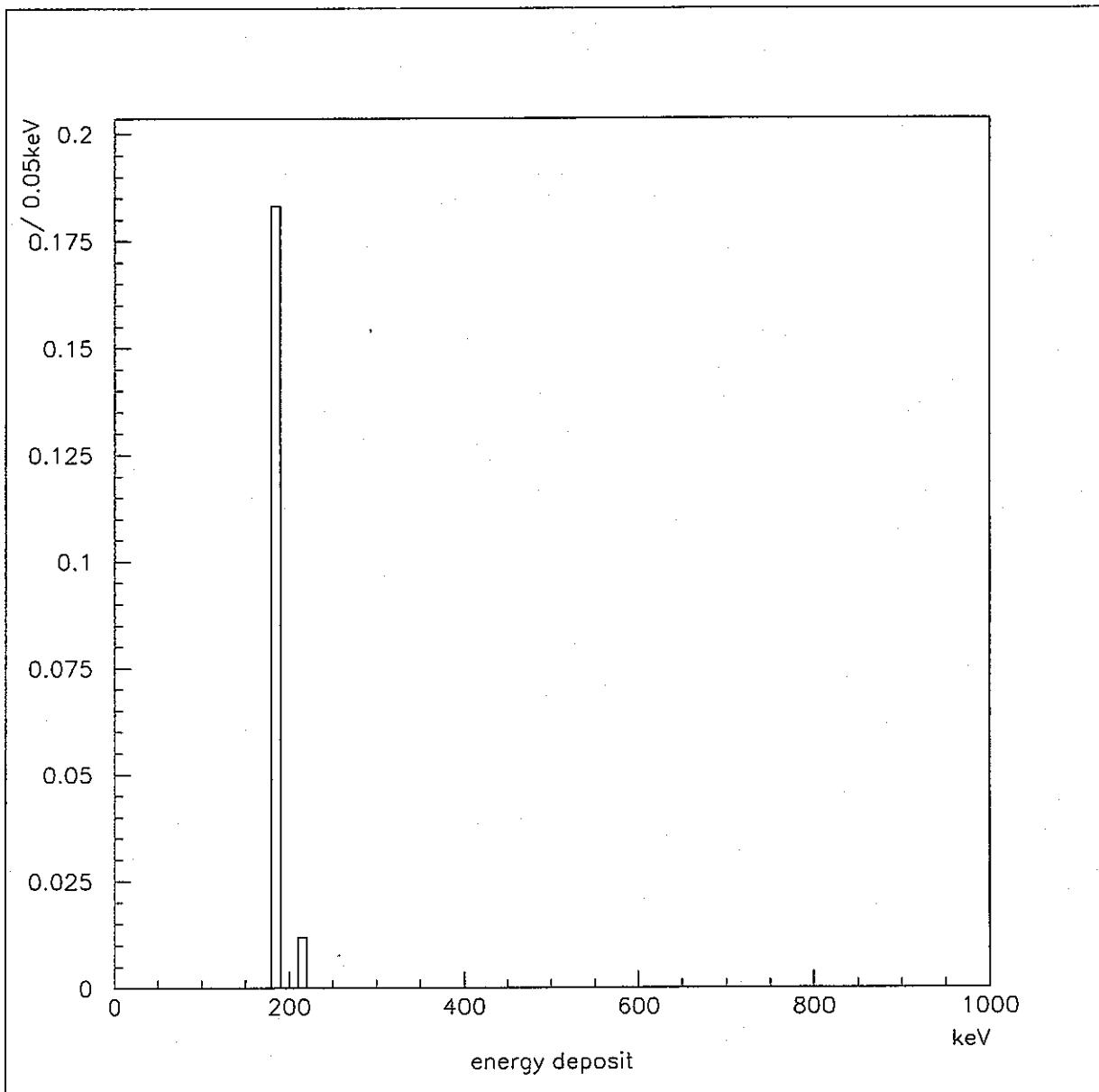


図 86: NRESP により得られた 1keV 単色中性子に対する応答関数。

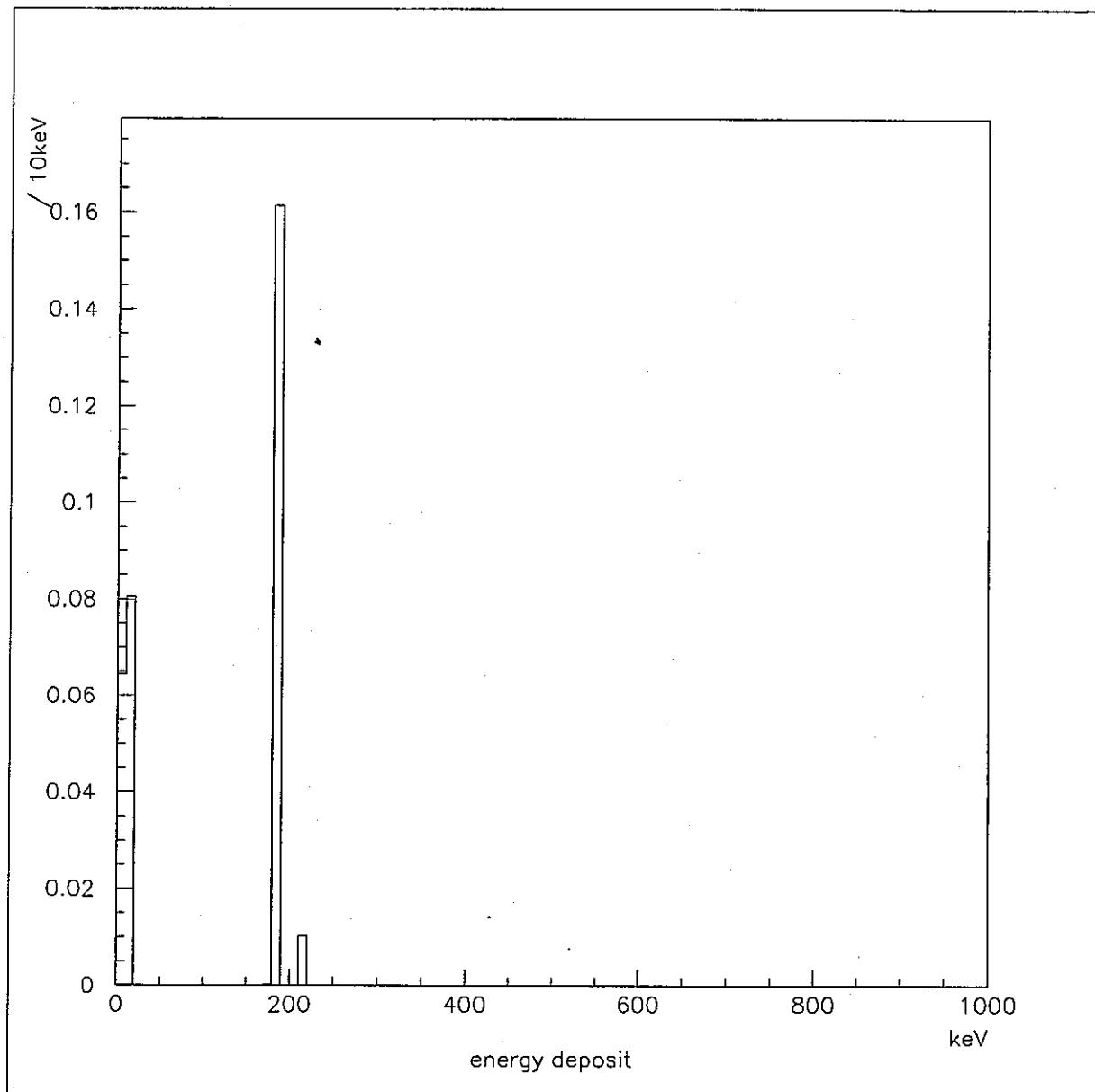


図 87: NRESP により得られた 10keV 単色中性子に対する応答関数。

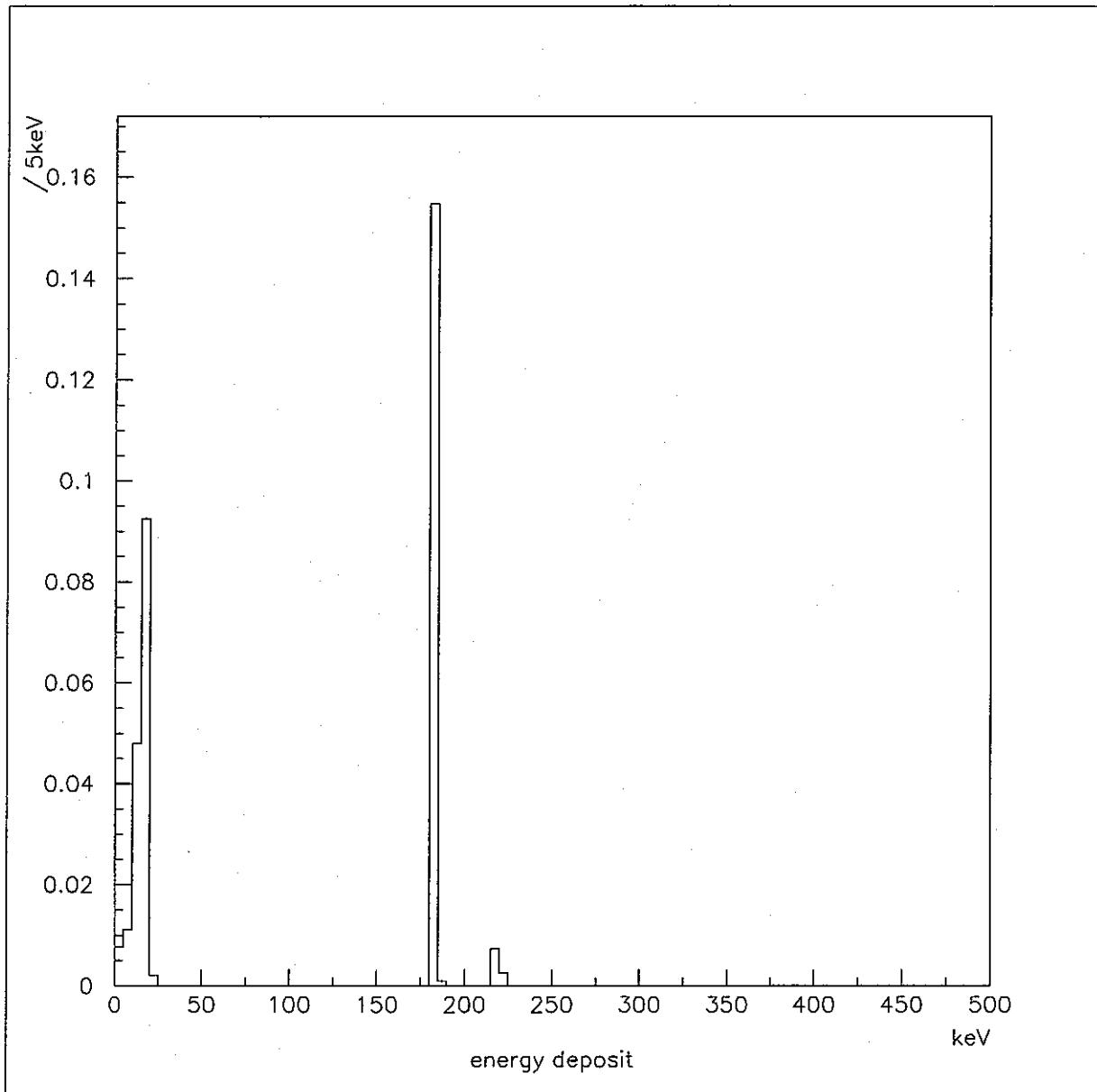


図 88: NRESP により得られた 20keV 単色中性子に対する応答関数。

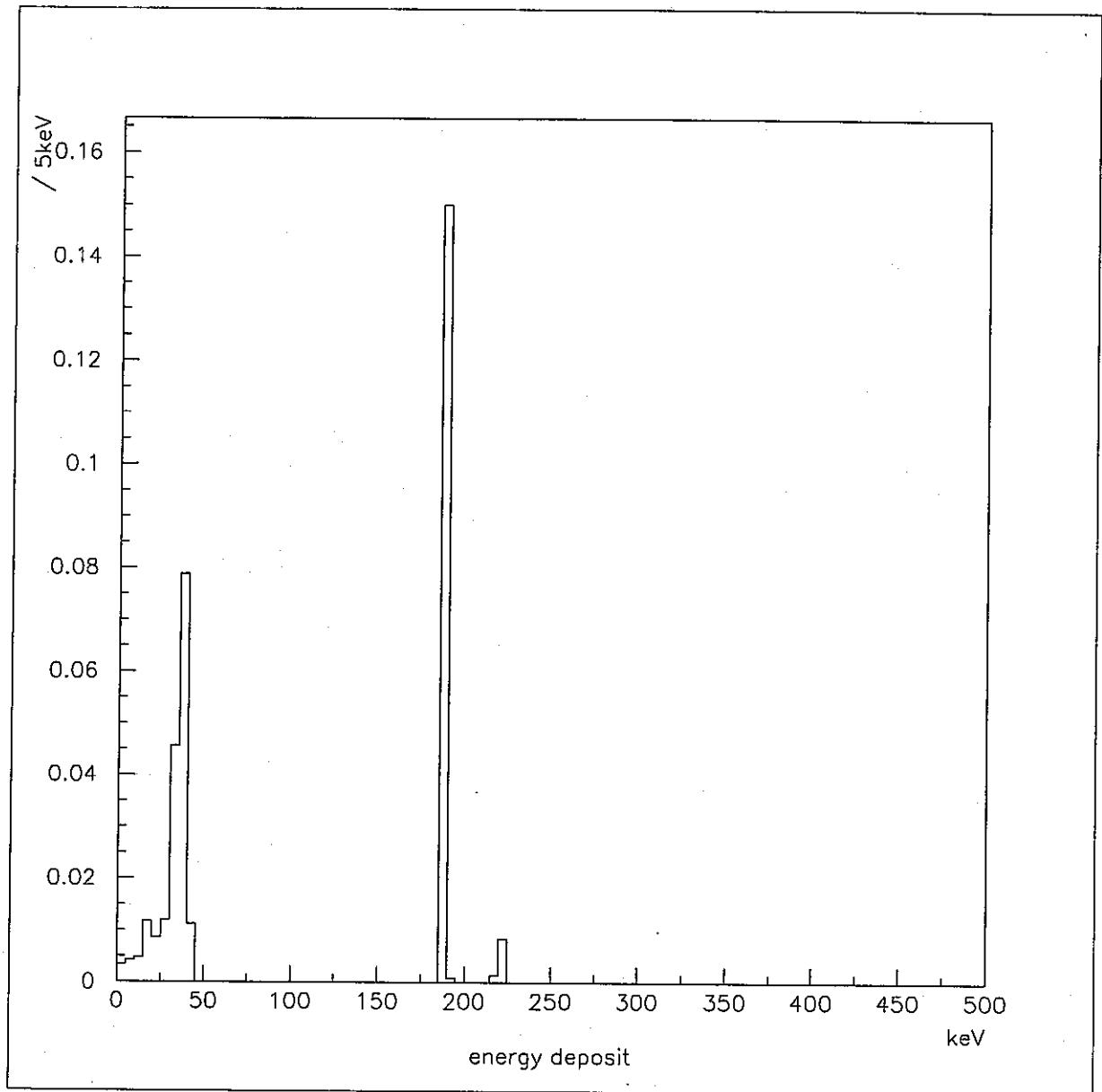


図 89: NRESP により得られた 50keV 単色中性子に対する応答関数。

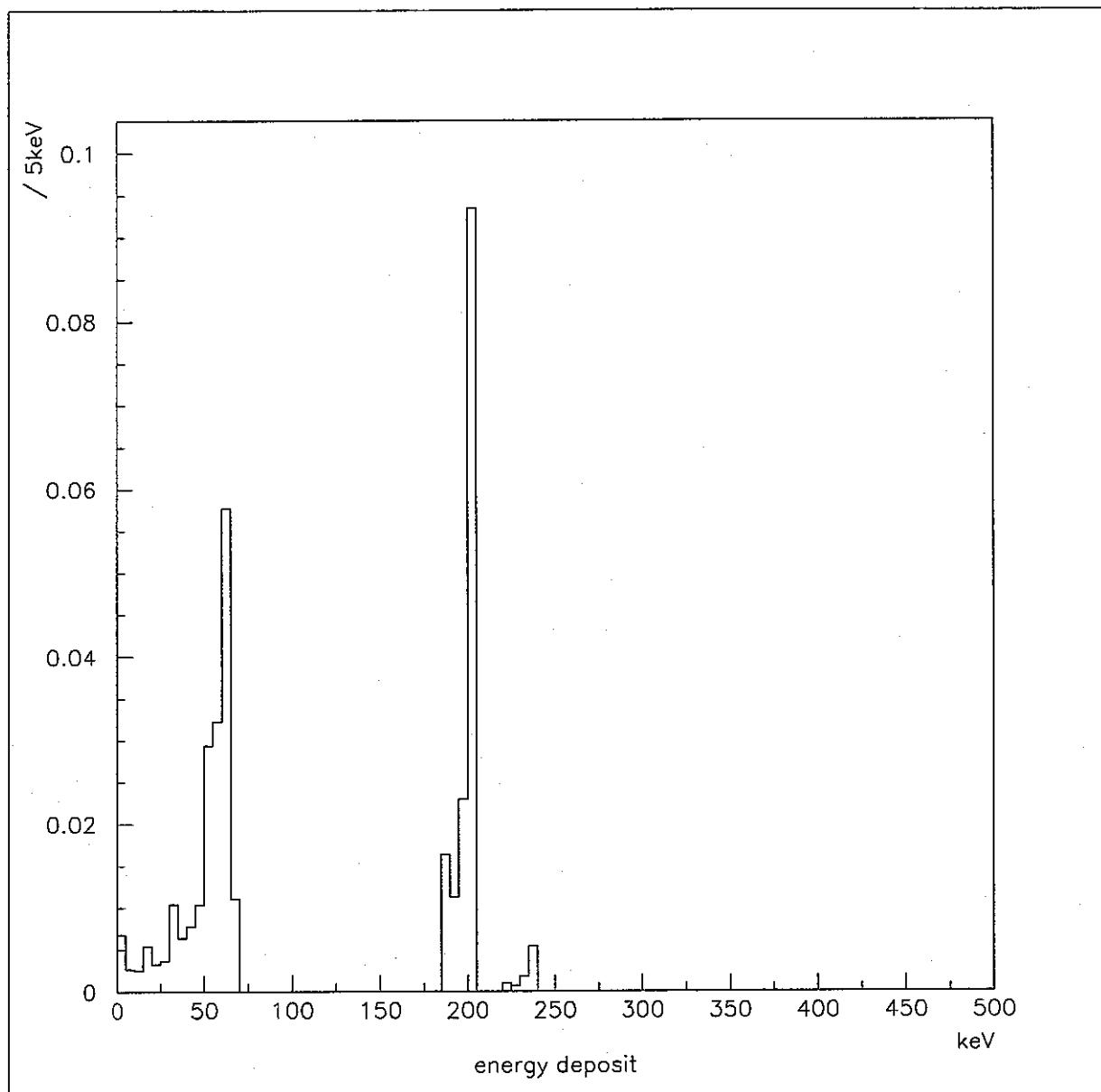


図 90: NRESP により得られた 100keV 単色中性子に対する応答関数。

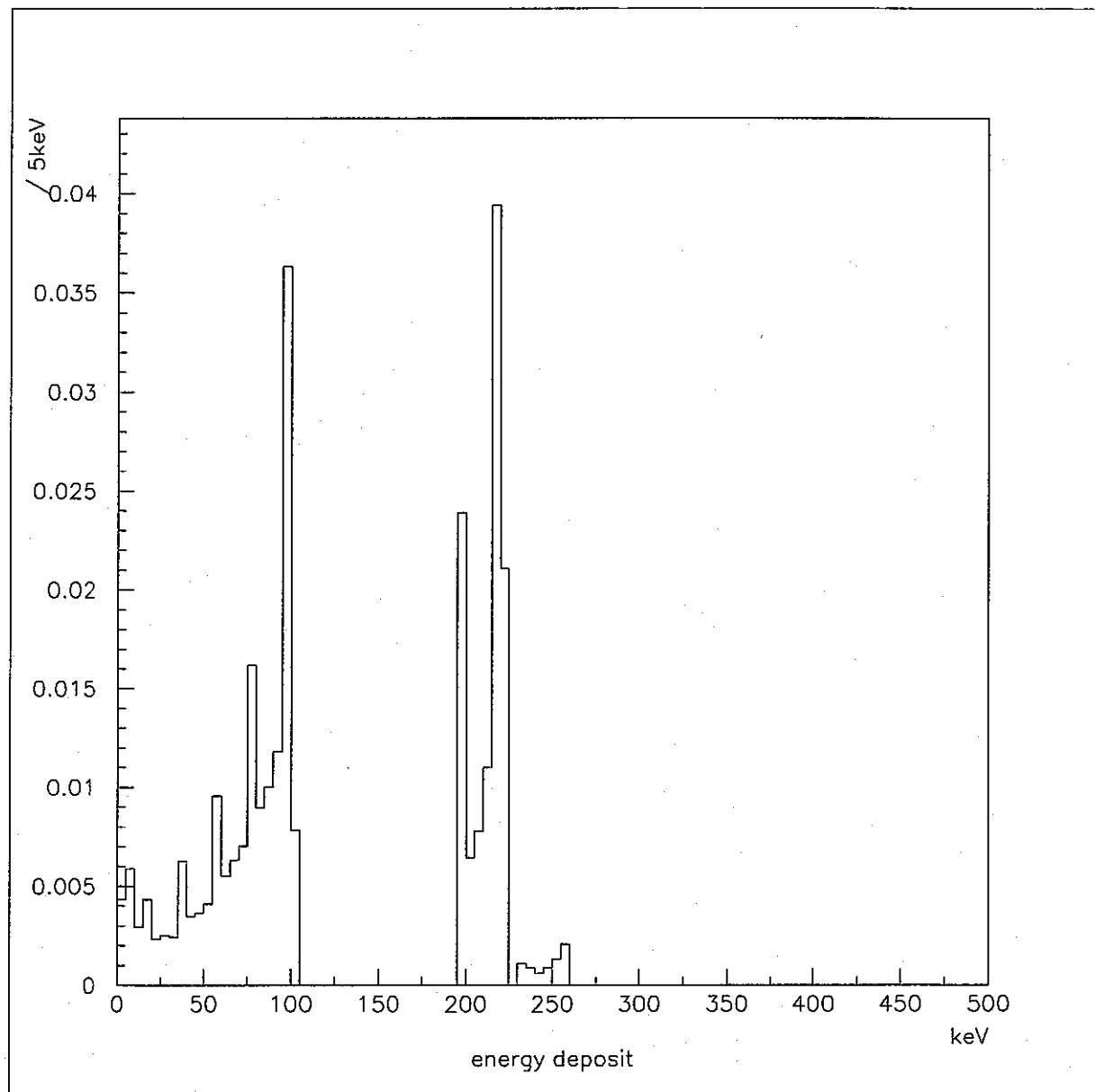


図 91: NRESP により得られた 200keV 単色中性子に対する応答関数。

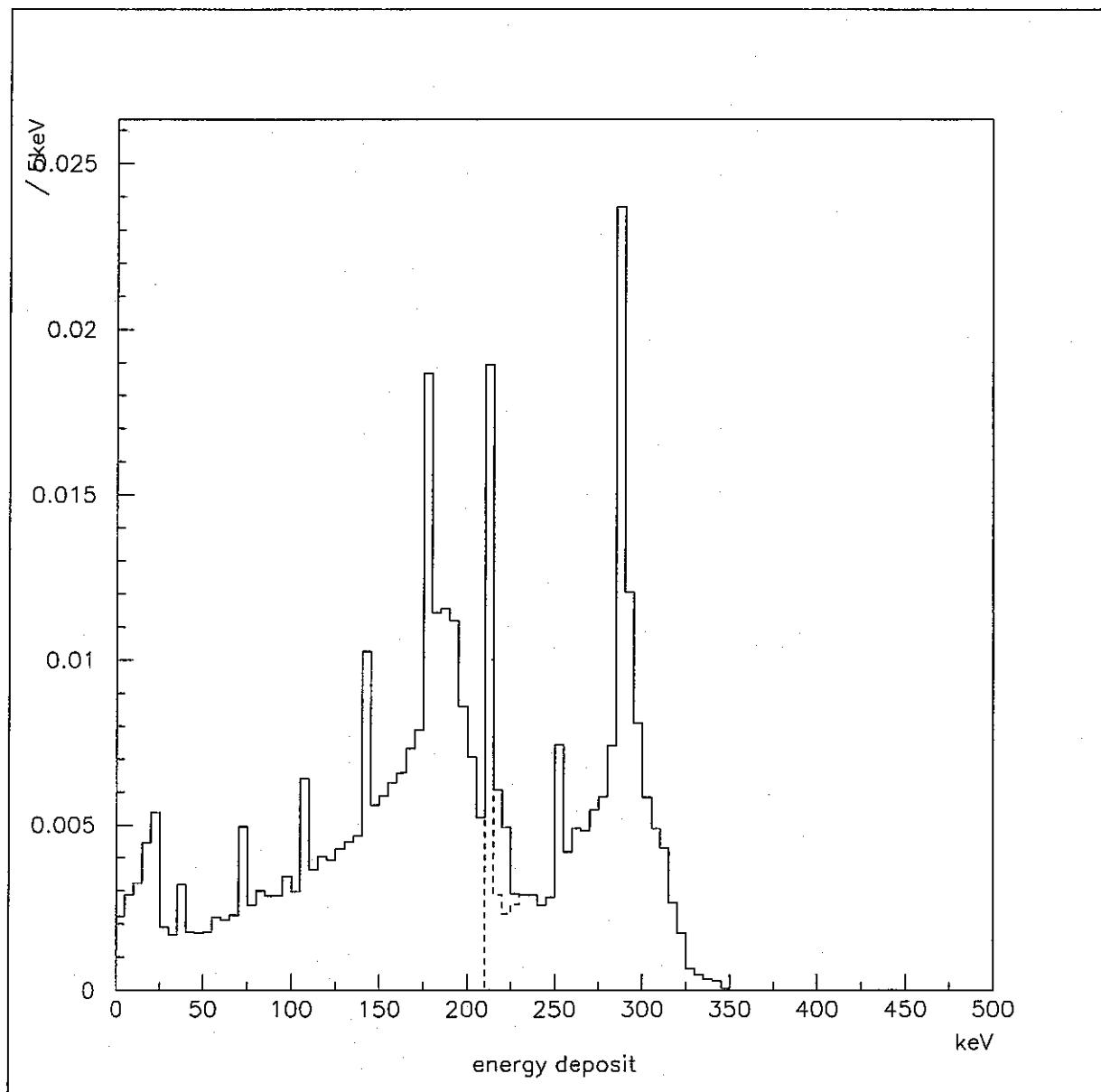


図 92: NRESP により得られた 500keV 単色中性子に対する応答関数。

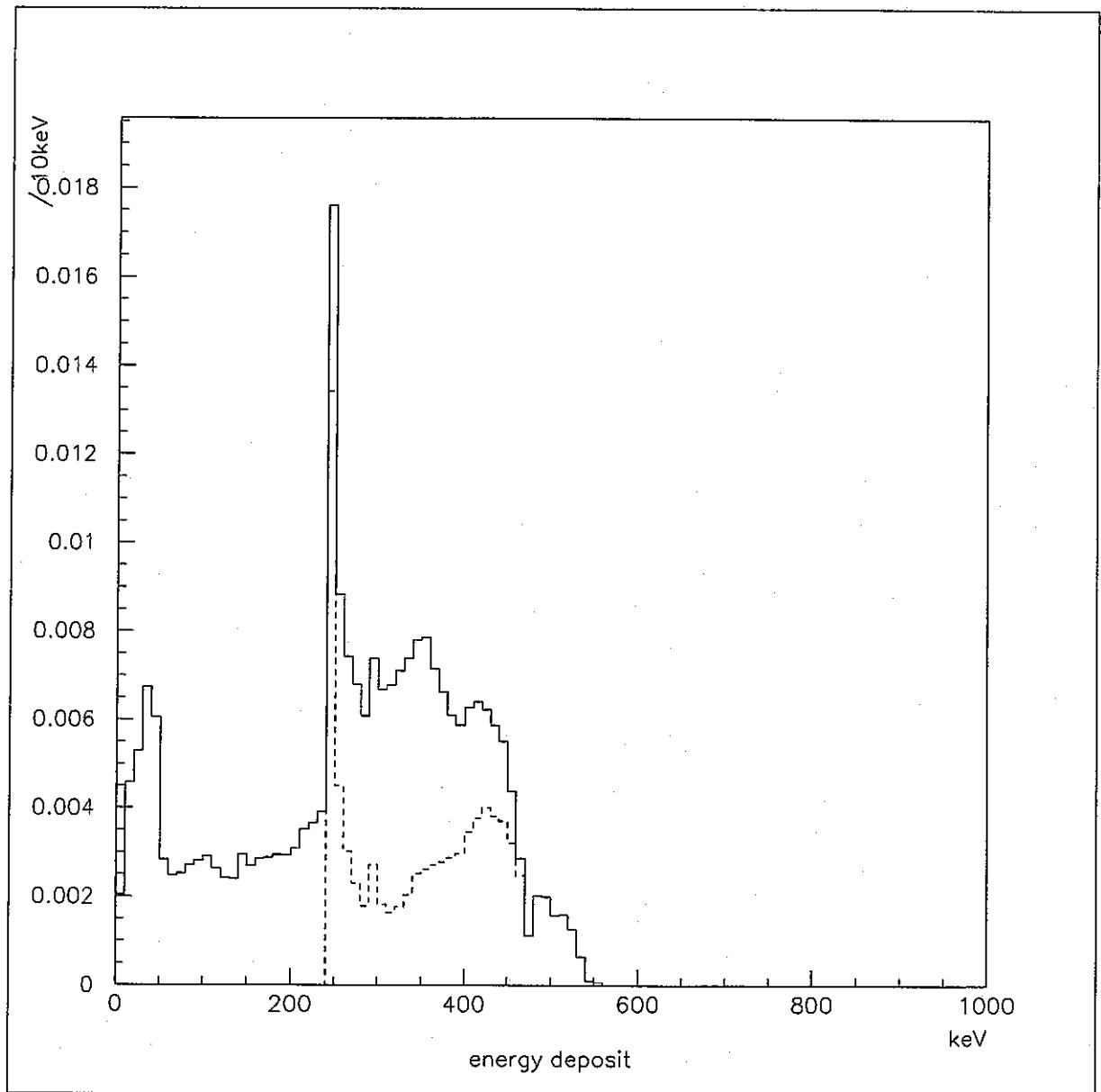


図 93: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する応答関数。

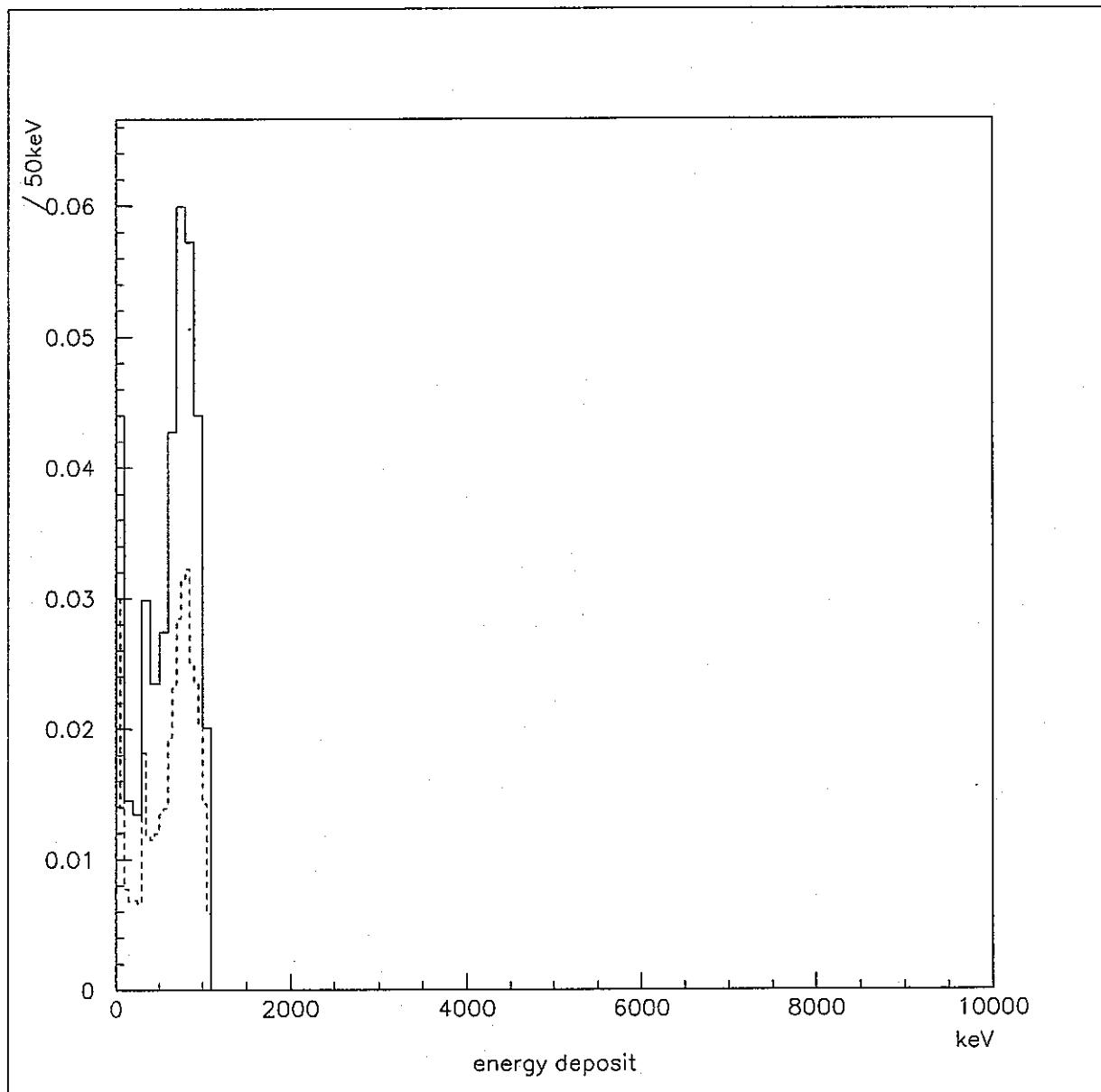


図 94: NRESP により得られた 2MeV 単色中性子に対する応答関数。

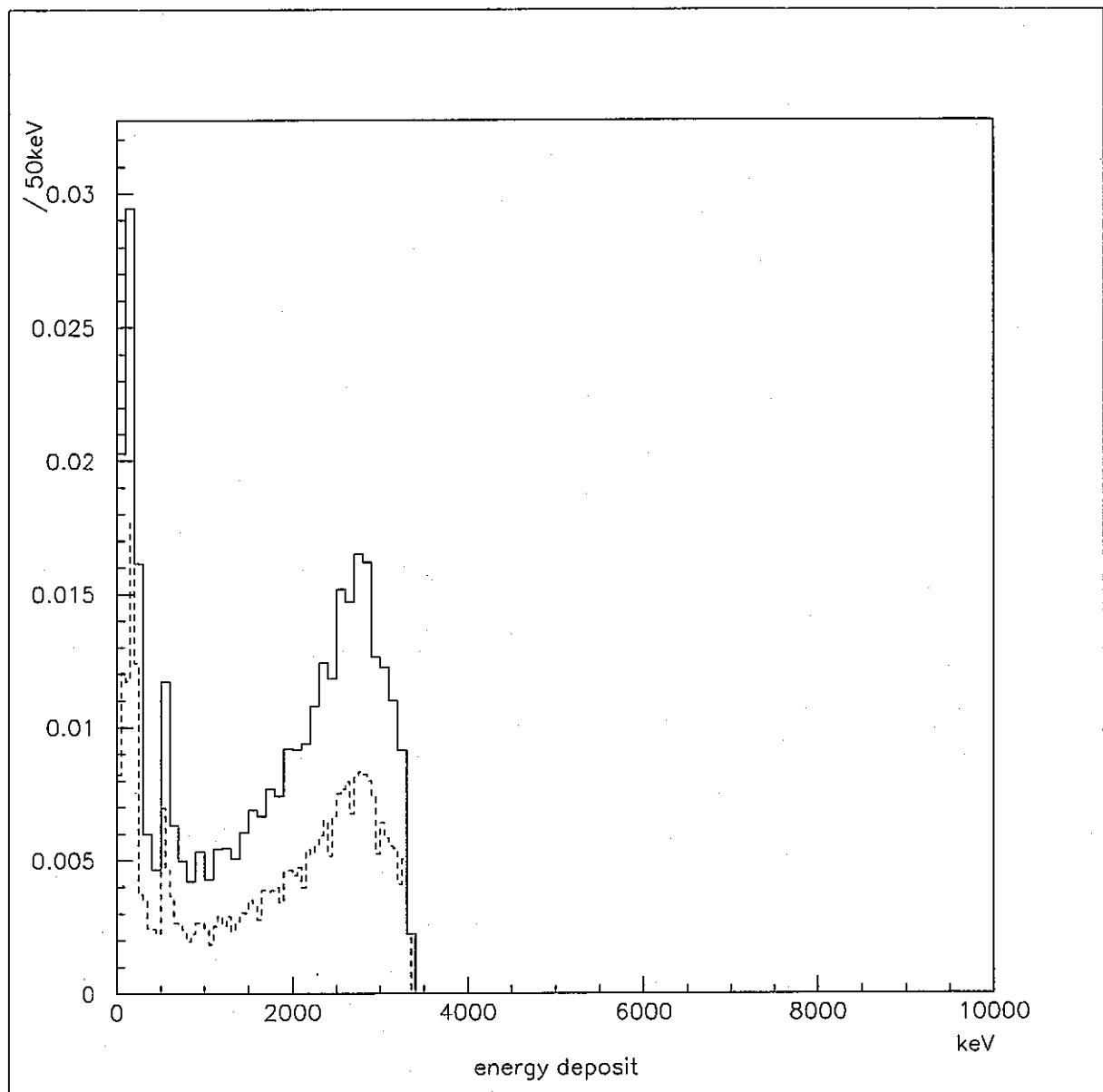


図 95: NRESP により得られた 5MeV 単色中性子に対する応答関数。

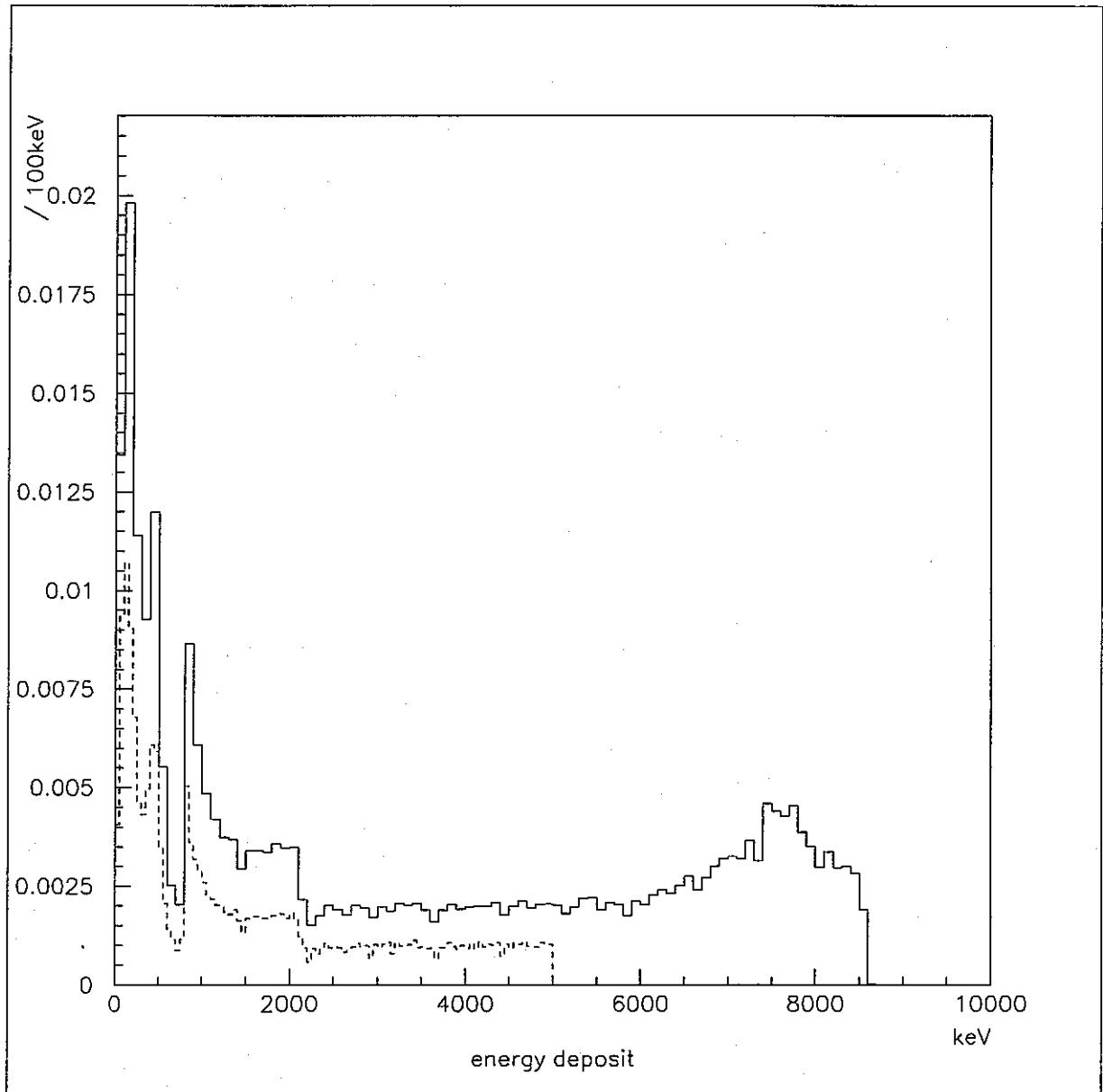


図 96: NRESP により得られた 10MeV 単色中性子に対する応答関数。

#### 2.6.4 検出器寸法に対する特性評価

検出器の寸法の最適化の評価のため、1MeV 単色中性子線に対し、 $\phi 5'' \times 5''$ ,  $\phi 5'' \times 4''$ ,  $\phi 5'' \times 3''$ ,  $\phi 5'' \times 2''$ ,  $\phi 5'' \times 1''$ ,  $\phi 4'' \times 4''$ ,  $\phi 4'' \times 3''$ ,  $\phi 4'' \times 2''$ ,  $\phi 4'' \times 1''$ ,  $\phi 3'' \times 3''$ ,  $\phi 3'' \times 2''$ ,  $\phi 3'' \times 1''$ ,  $\phi 2'' \times 2''$ ,  $\phi 1'' \times 1''$  の検出器を想定し、応答関数を得た。

発生させた中性子イベント数は  $2.5 \times 10^4$  とした。また、中性子線源は検出器表面中心から 3.75cm 側面に離れた場所にあり、検出器中心へ向かって中性子が飛行するものとした。

この結果を図 98~113 に示した。そして、崩壊  $\alpha$  線発生確率の容器寸法依存性を表 14 にまとめた。

計算結果より、今回製作した  $\phi 5'' \times 5''$  検出器中では 17.7% の確率で崩壊  $\alpha$  線が発生することがわかる。容器容量の増大とともに検出効率は上昇するものと考えられるが、容器寸法の最適化は、エネルギー分解能等、検出器の他の特性も考慮する必要があるため、一概に容器容量が大きくなれば良いとは言えない。

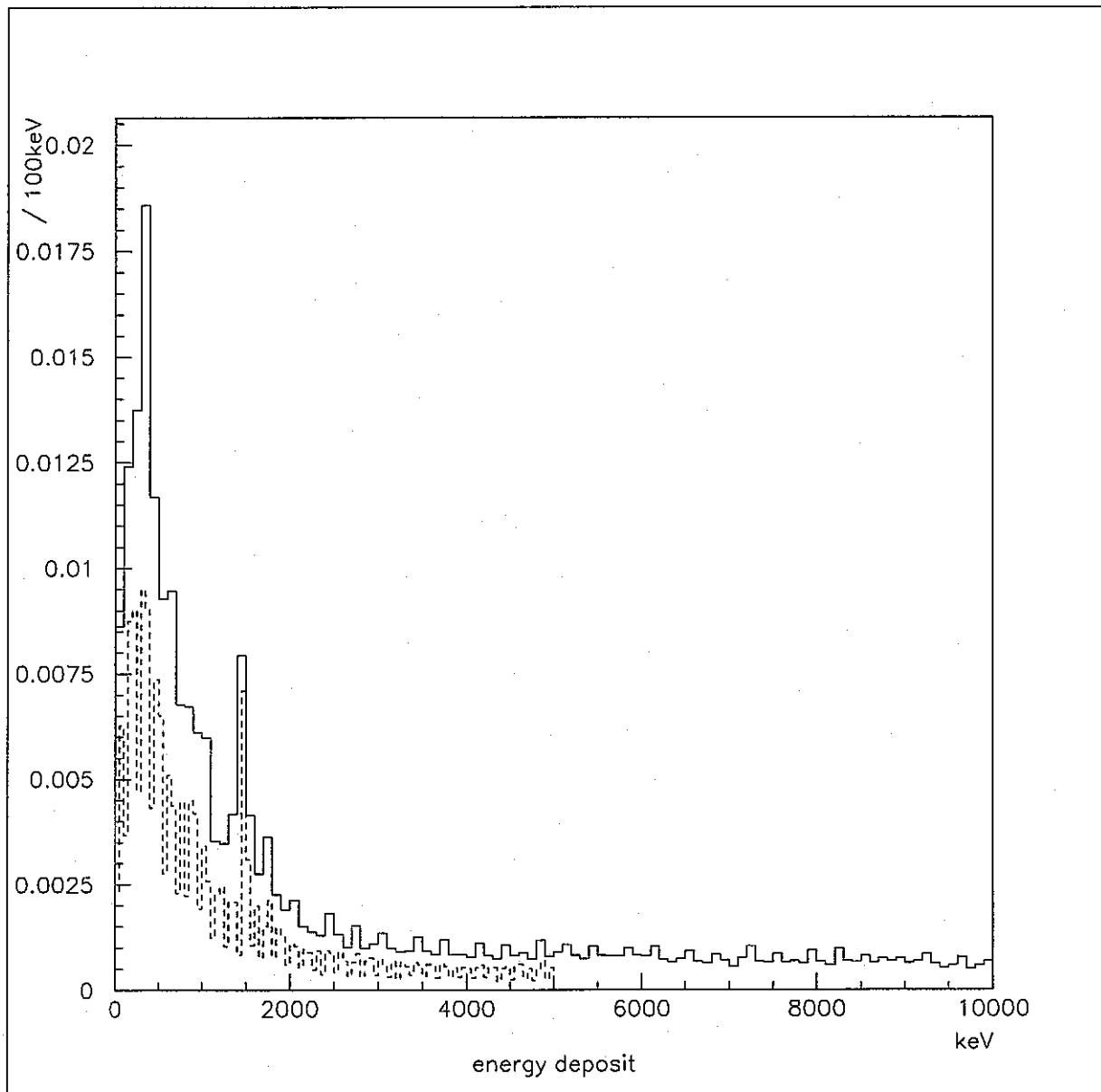


図 97: NRESP により得られた 20MeV 単色中性子に対する応答関数。

表 14: 崩壊  $\alpha$  線発生確率の容器寸法に対する依存性

検出器寸法 (インチ)	崩壊 $\alpha$ 線の発生確率 (%)
$\phi 5 \times 5$	25.6
$\phi 5 \times 4$	21.5
$\phi 5 \times 3$	17.7
$\phi 5 \times 2$	12.4
$\phi 5 \times 1$	5.87
$\phi 4 \times 4$	16.8
$\phi 4 \times 3$	13.3
$\phi 4 \times 2$	9.00
$\phi 4 \times 1$	4.00
$\phi 3 \times 3$	8.21
$\phi 3 \times 2$	5.41
$\phi 3 \times 1$	2.28
$\phi 2 \times 2$	2.26
$\phi 2 \times 1$	0.90
$\phi 1 \times 1$	0.16

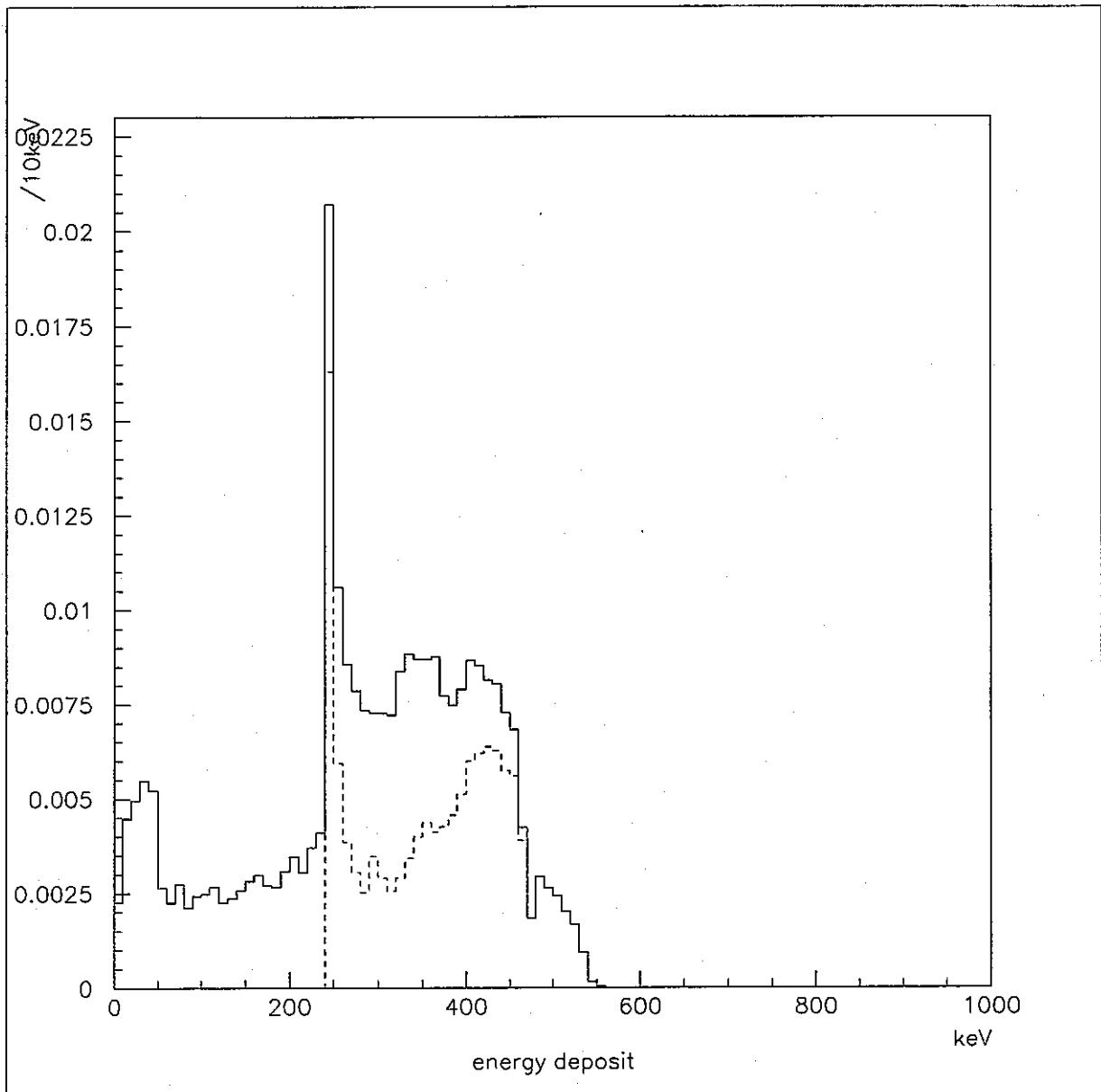


図 98: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 5'' \times 5''$  検出器の応答関数。

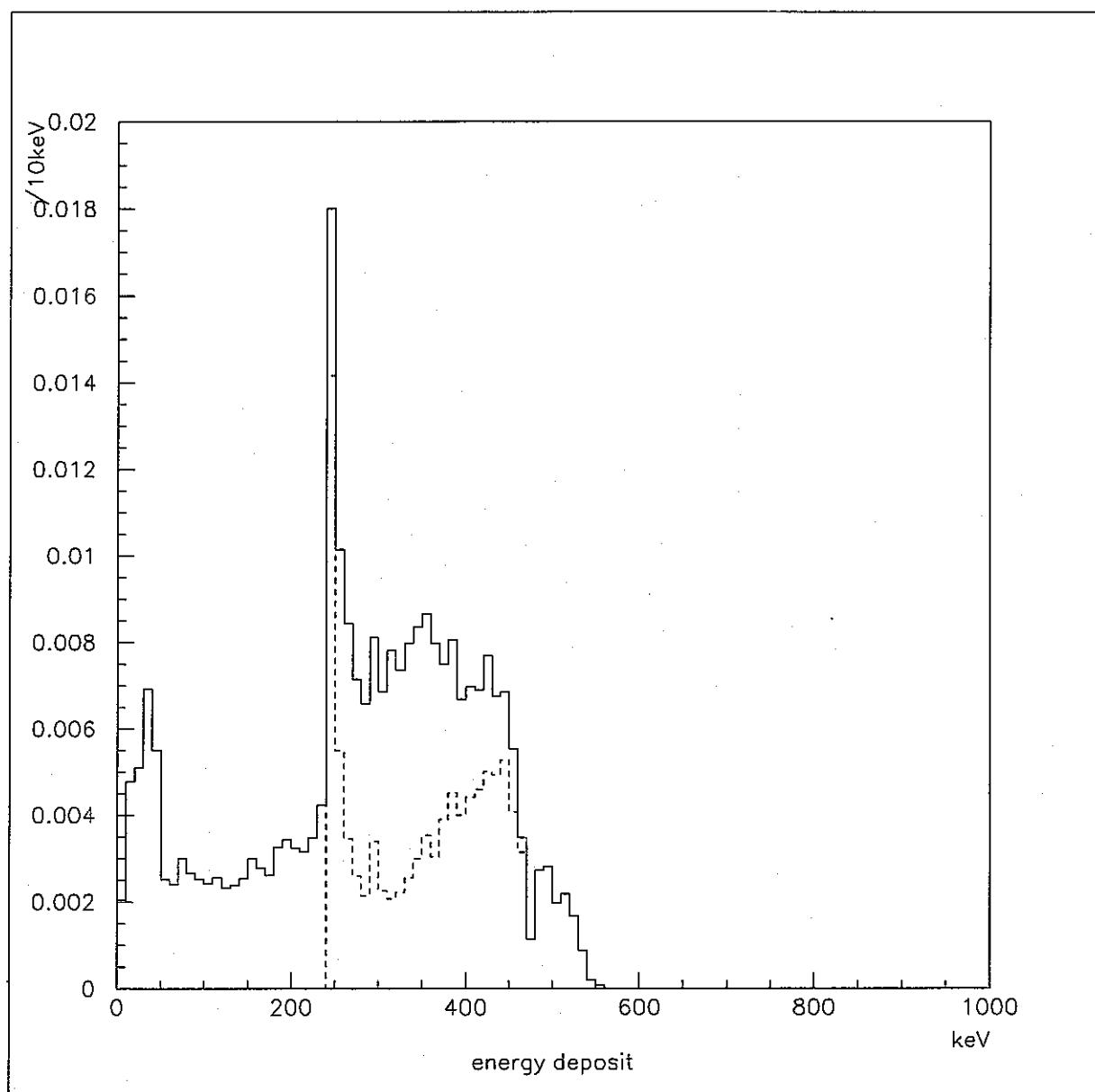


図 99: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 5'' \times 4''$  検出器の応答関数。

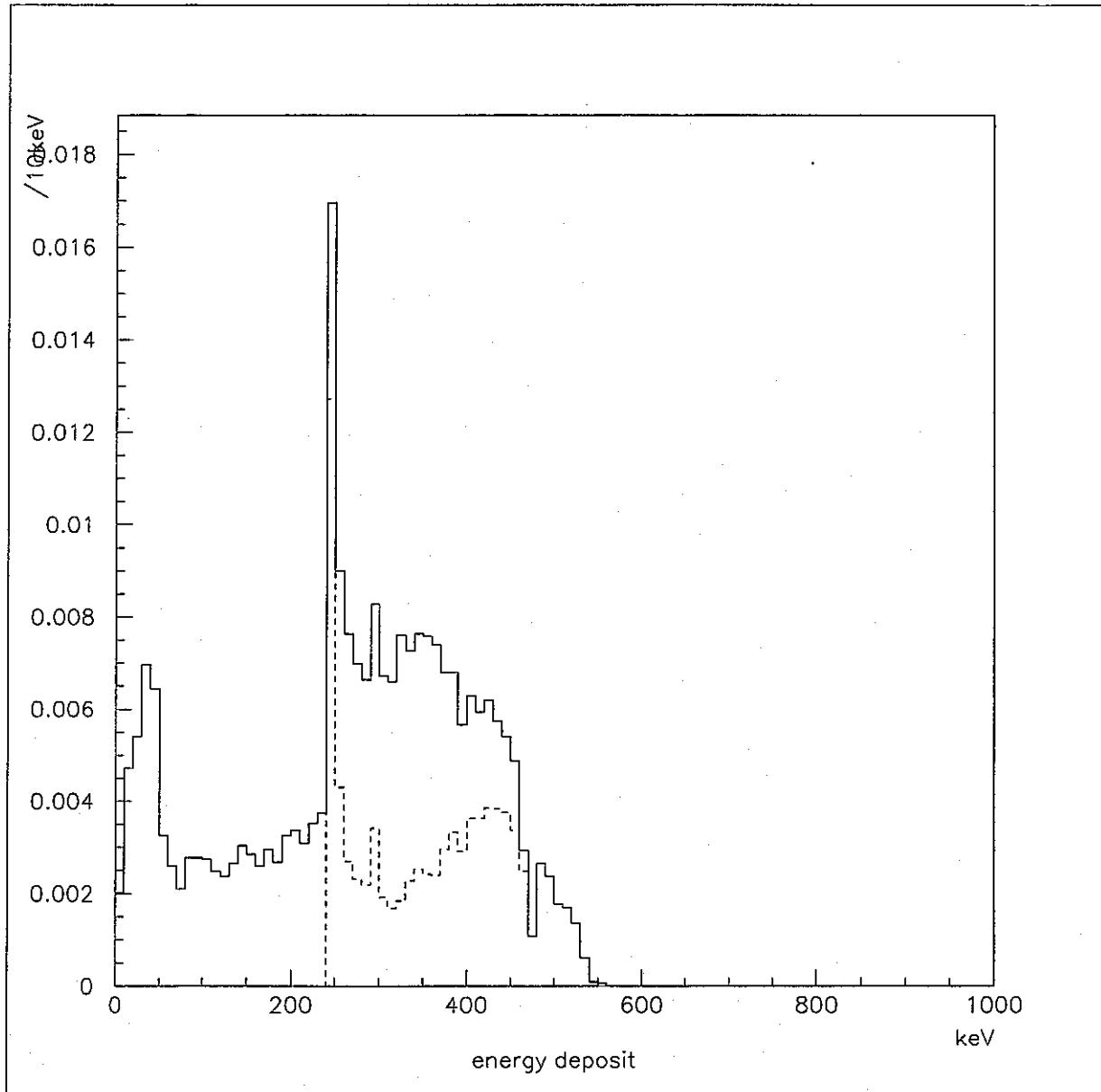


図 100: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 5'' \times 3''$  検出器の応答関数。

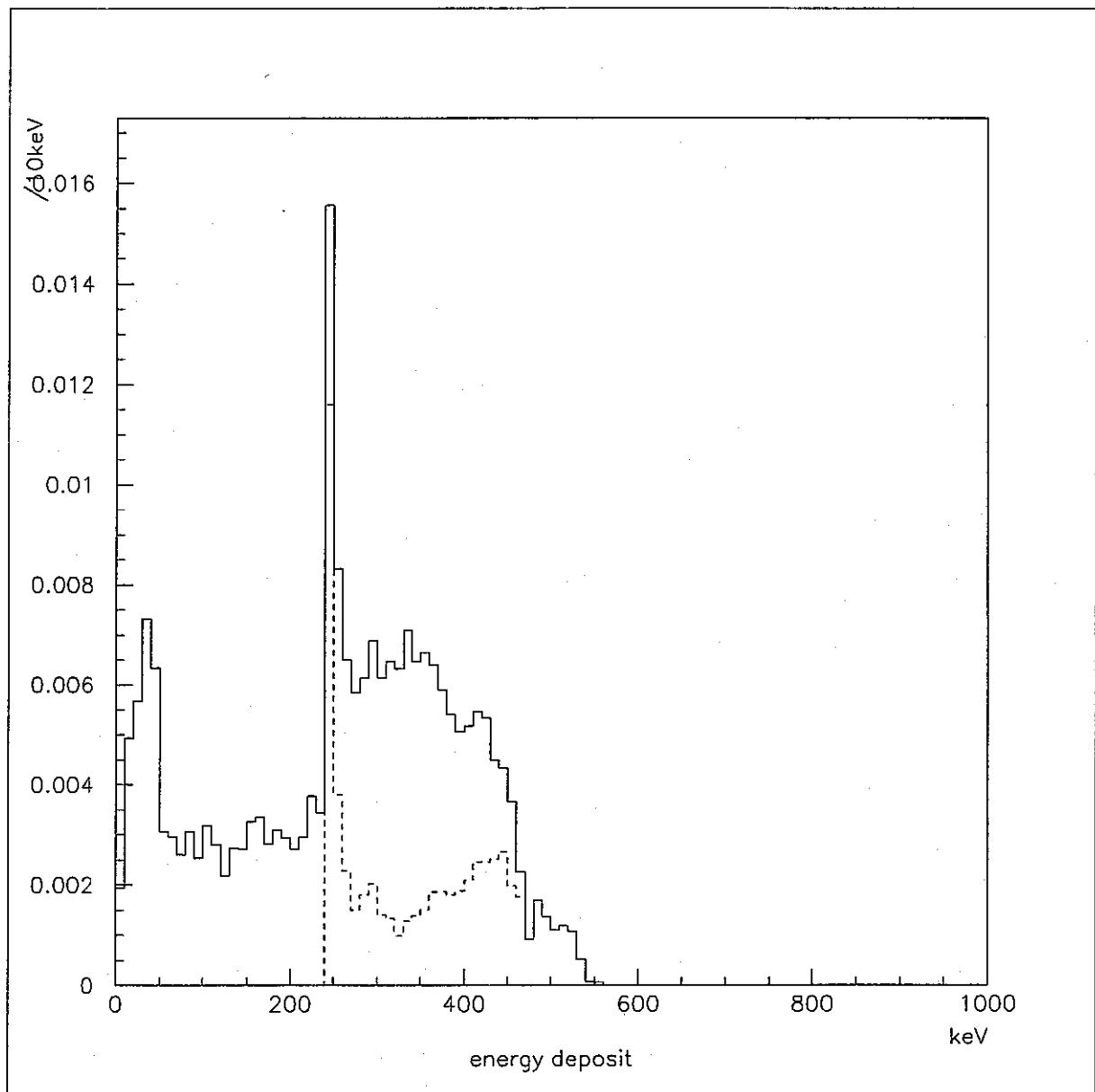


図 101: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 5'' \times 2''$  検出器の応答関数。

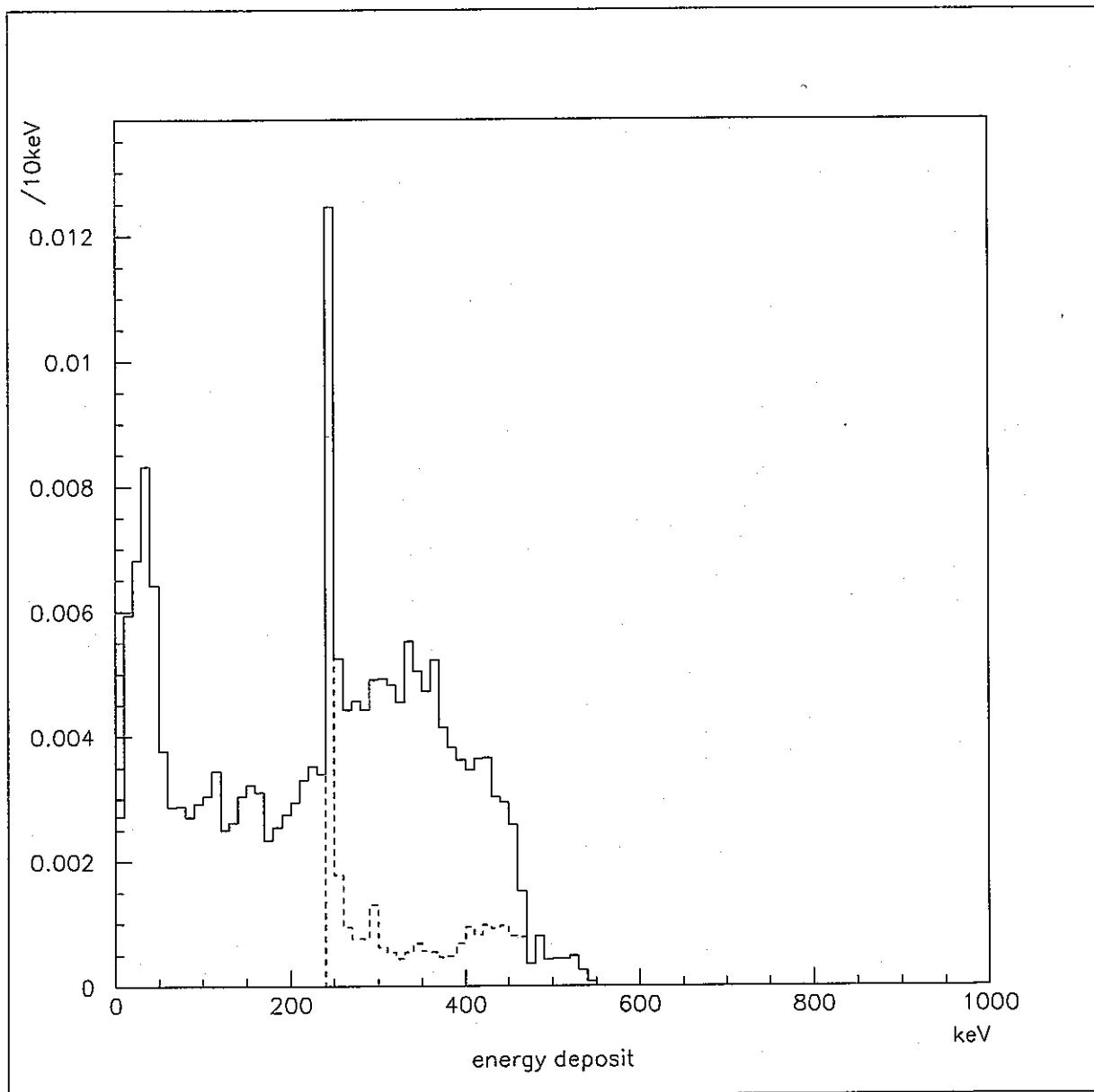


図 102: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 5'' \times 1''$  検出器の応答関数。

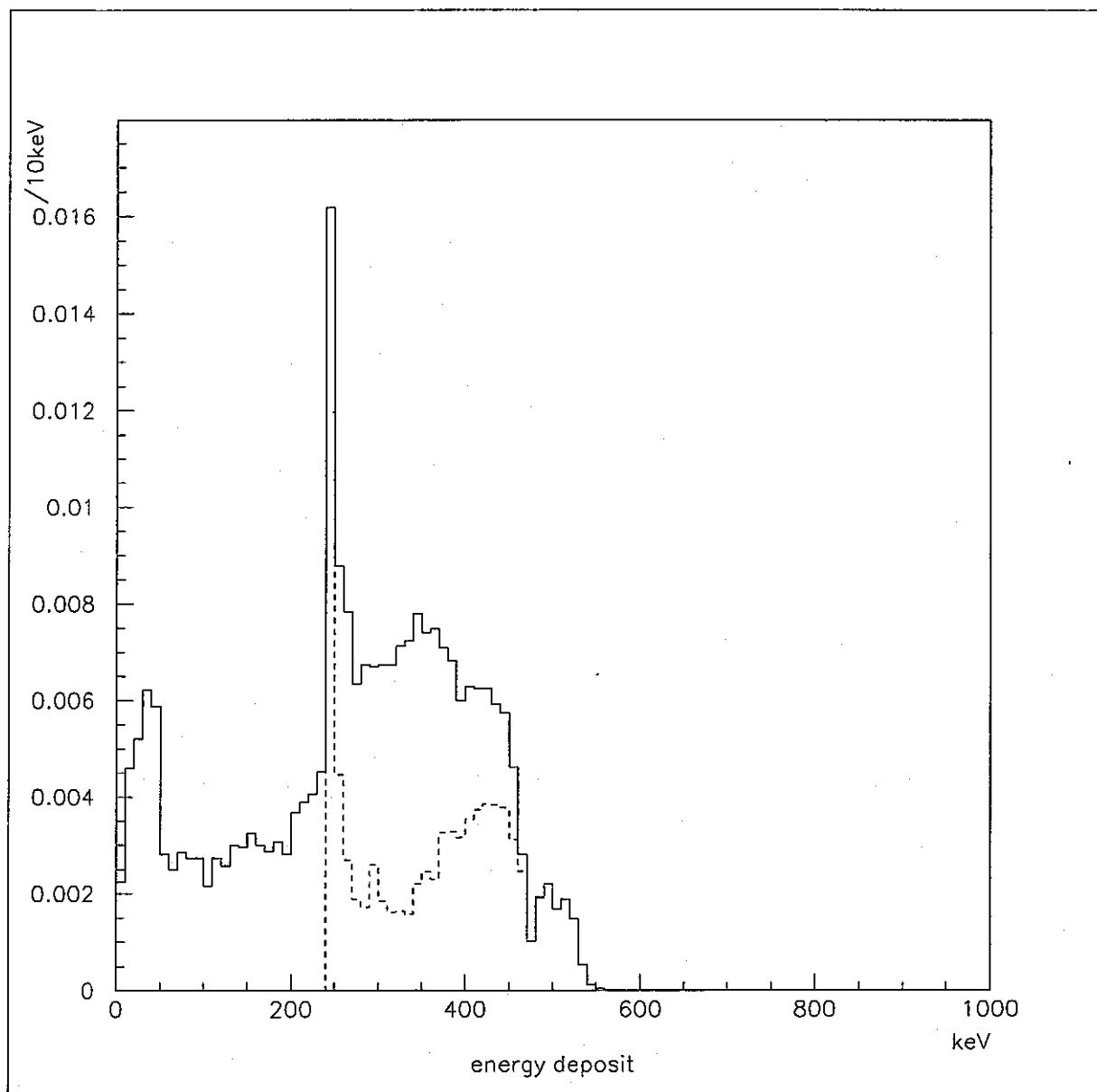


図 103: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 4'' \times 4''$  検出器の応答関数。

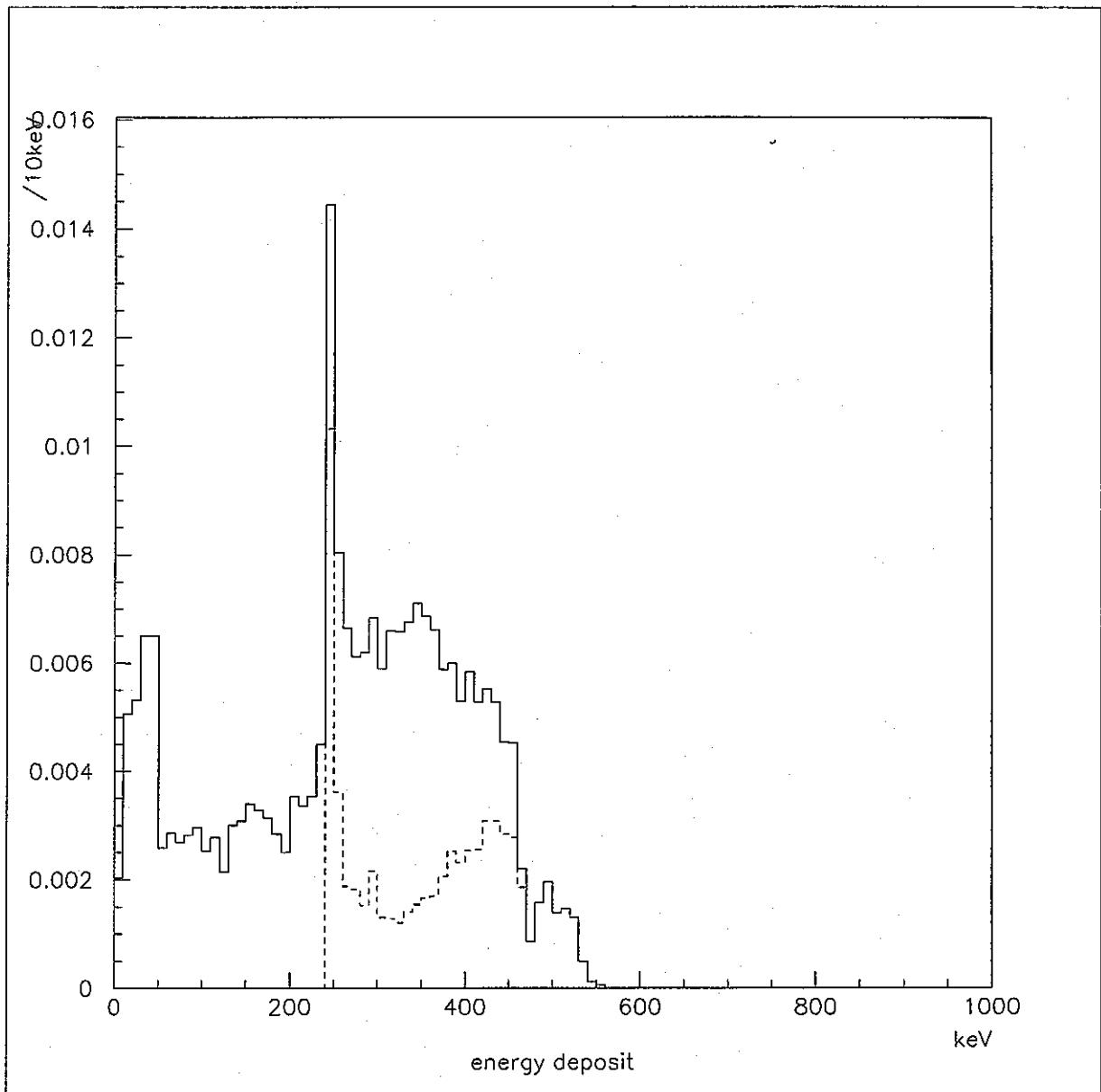


図 104: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 4'' \times 3''$  検出器の応答関数。

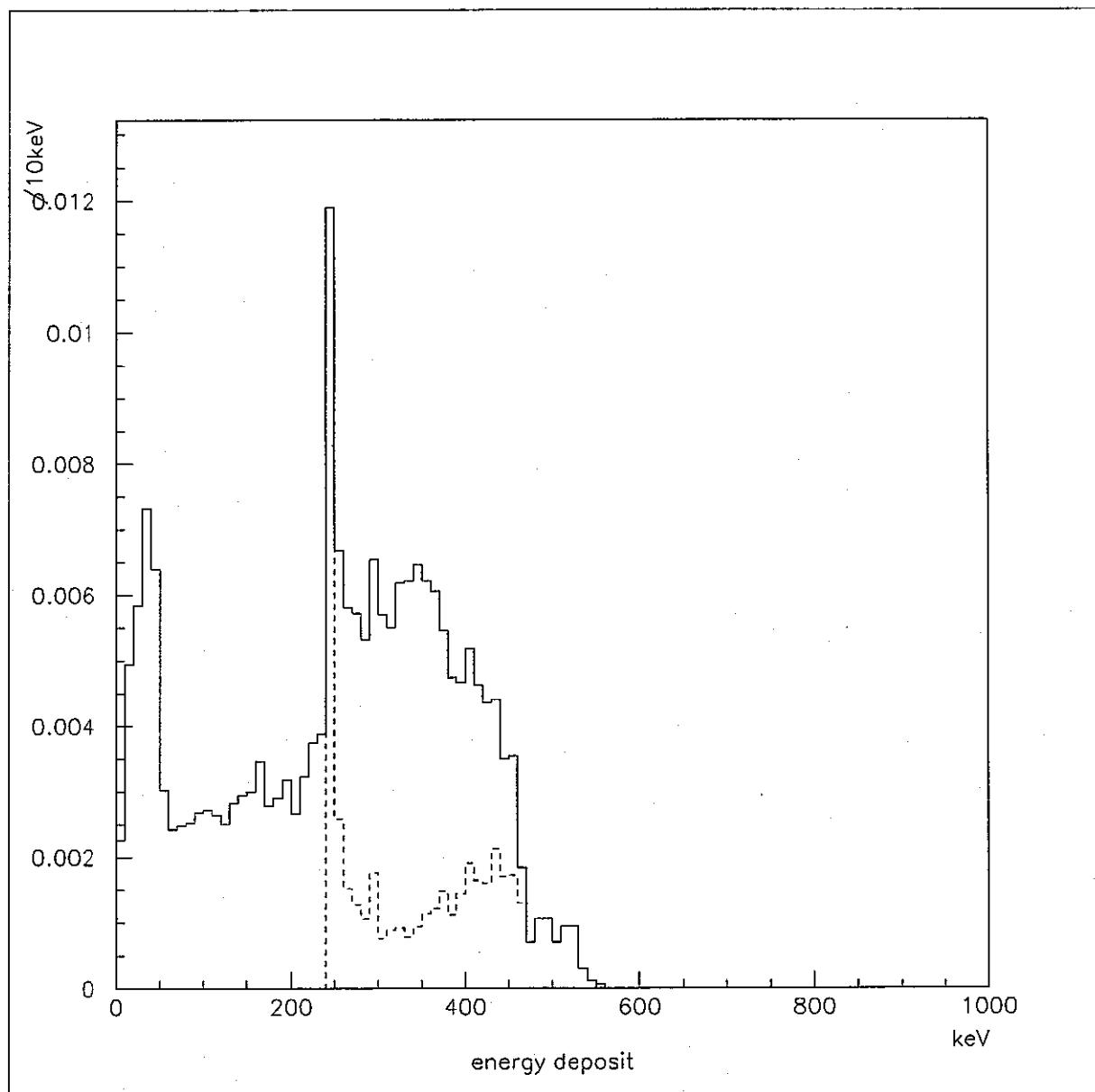


図 105: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 4'' \times 2''$  検出器の応答関数。

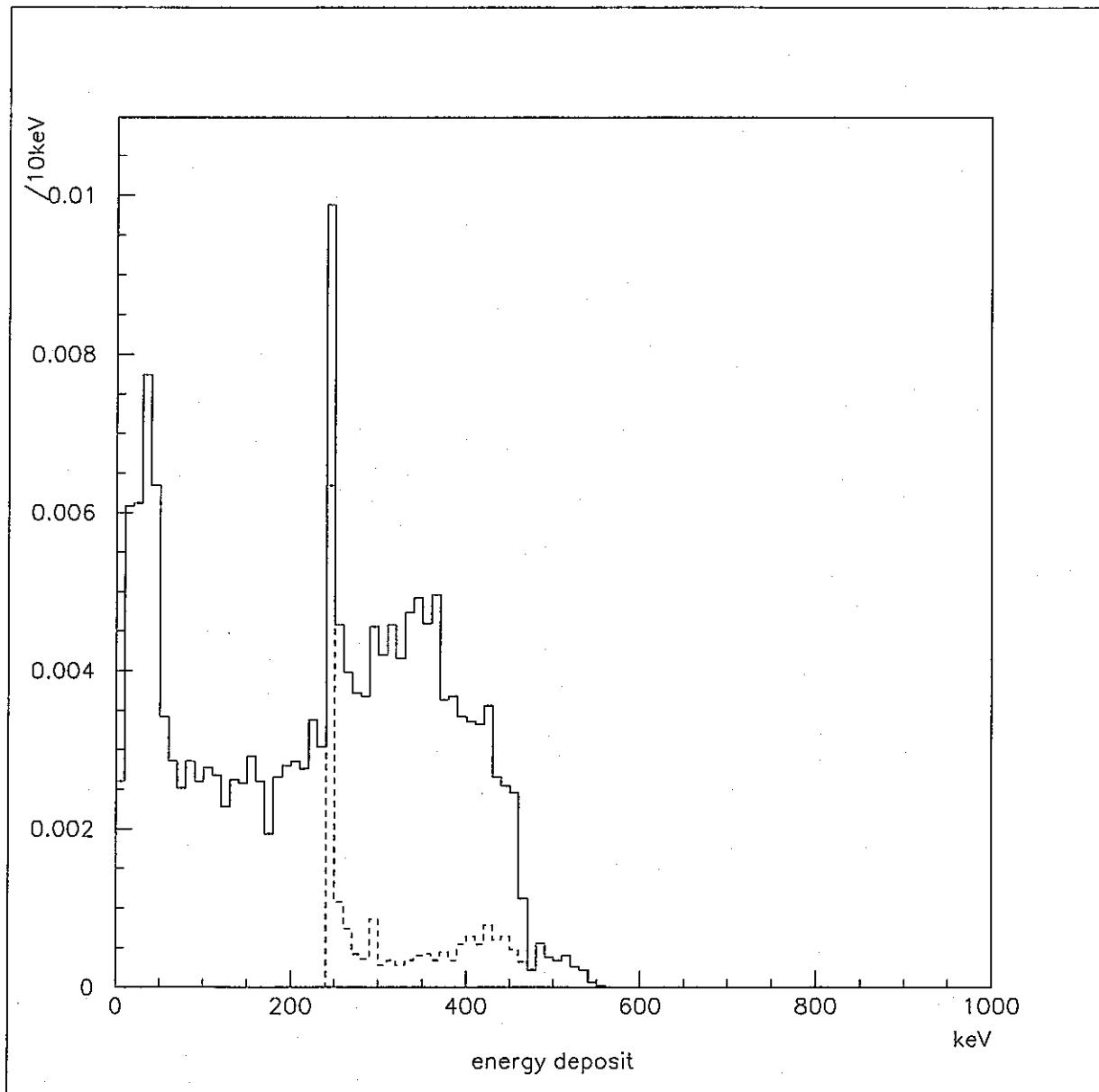


図 106: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 4'' \times 1''$  検出器の応答関数。

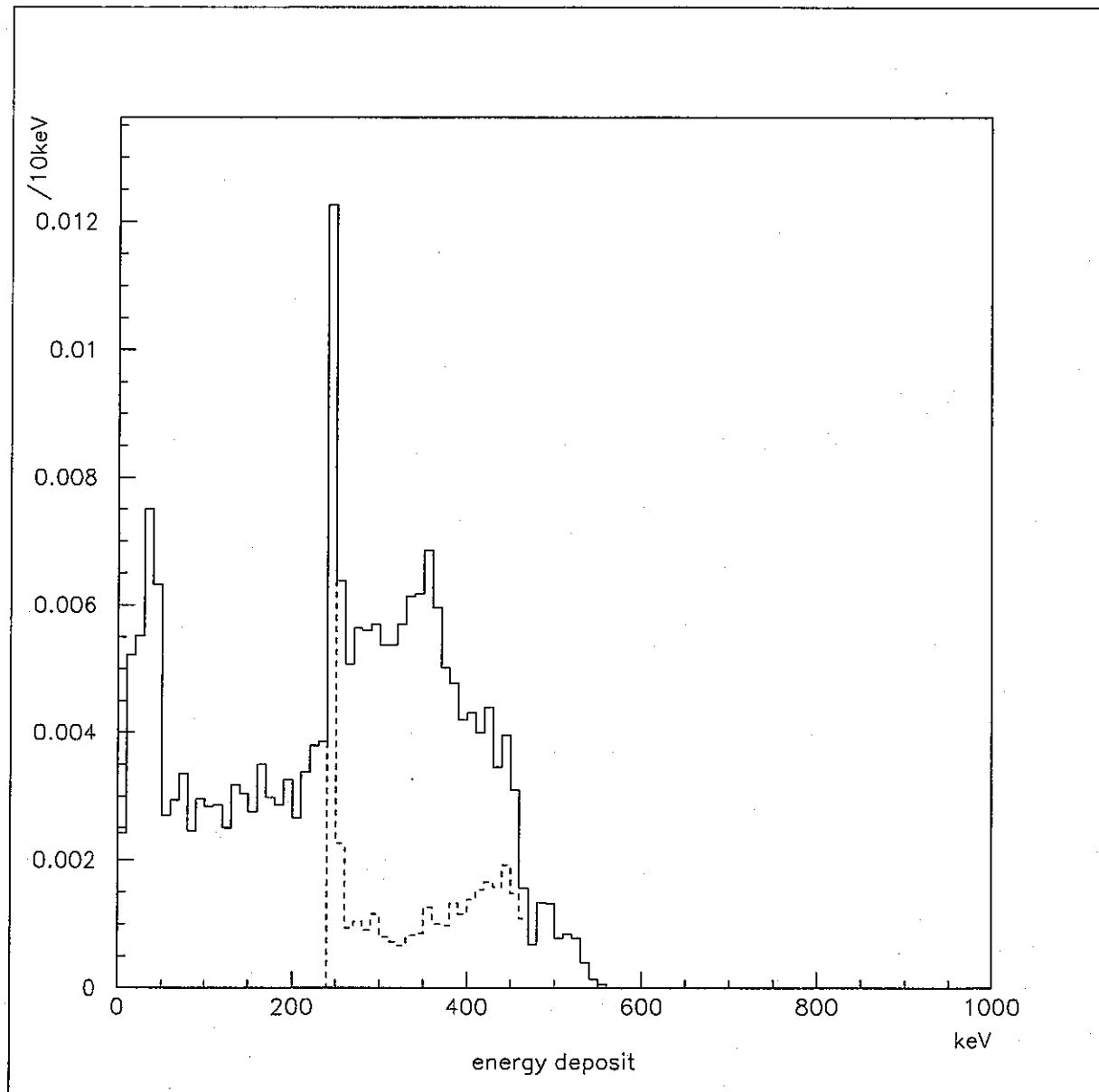


図 107: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 3'' \times 3''$  検出器の応答関数。

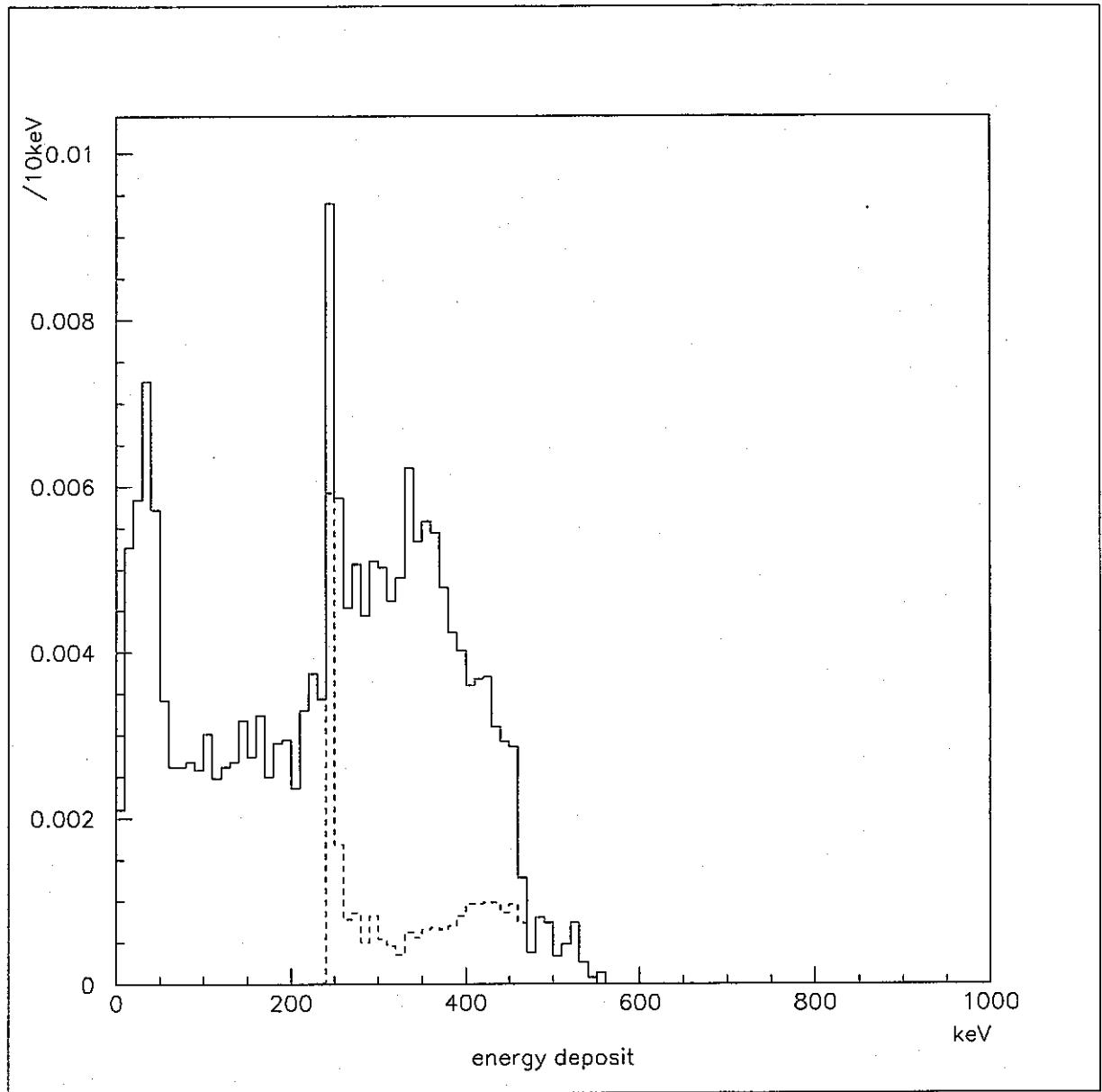


図 108: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 3'' \times 2''$  検出器の応答関数。

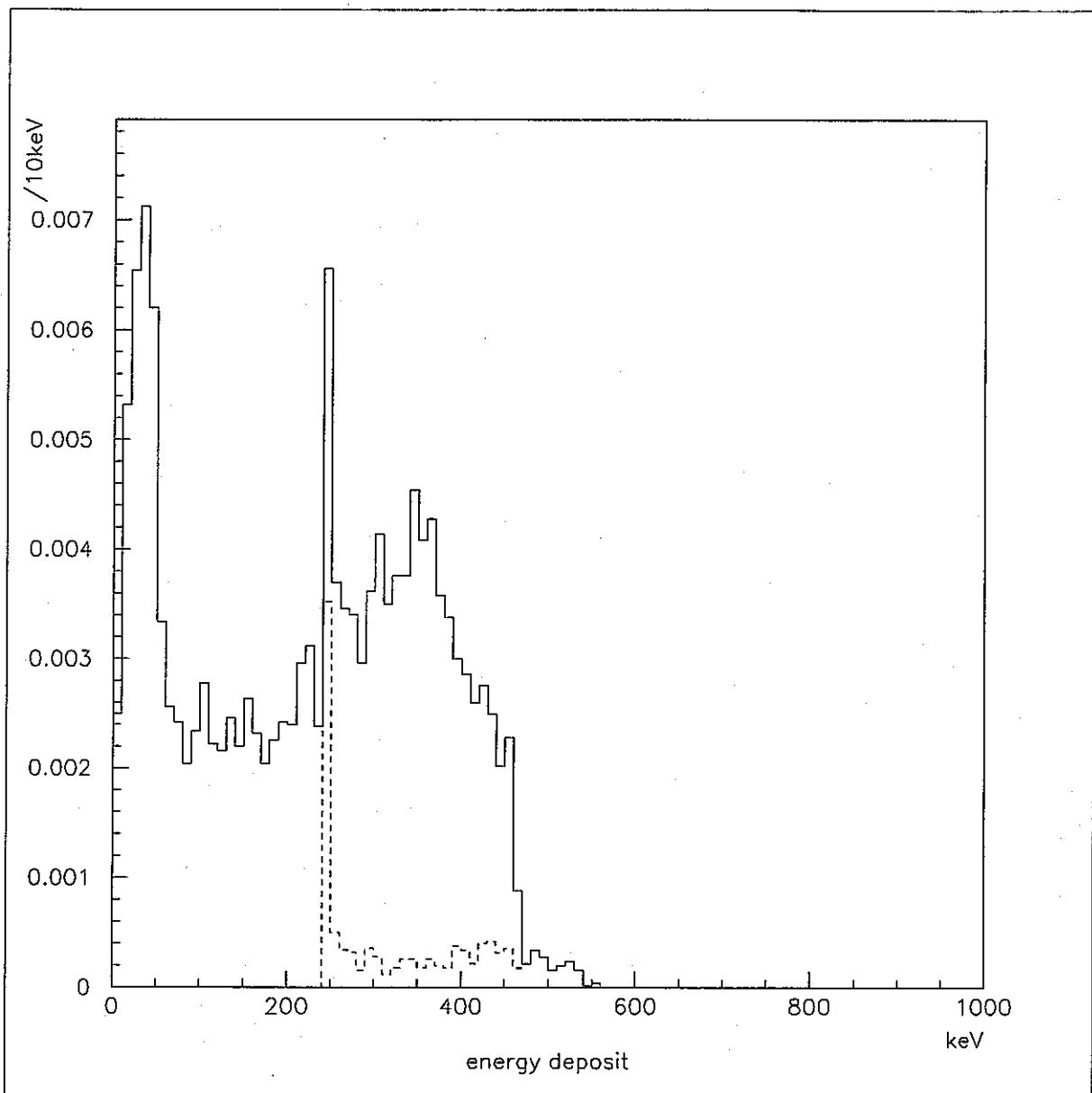


図 109: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 3'' \times 1''$  検出器の応答関数。

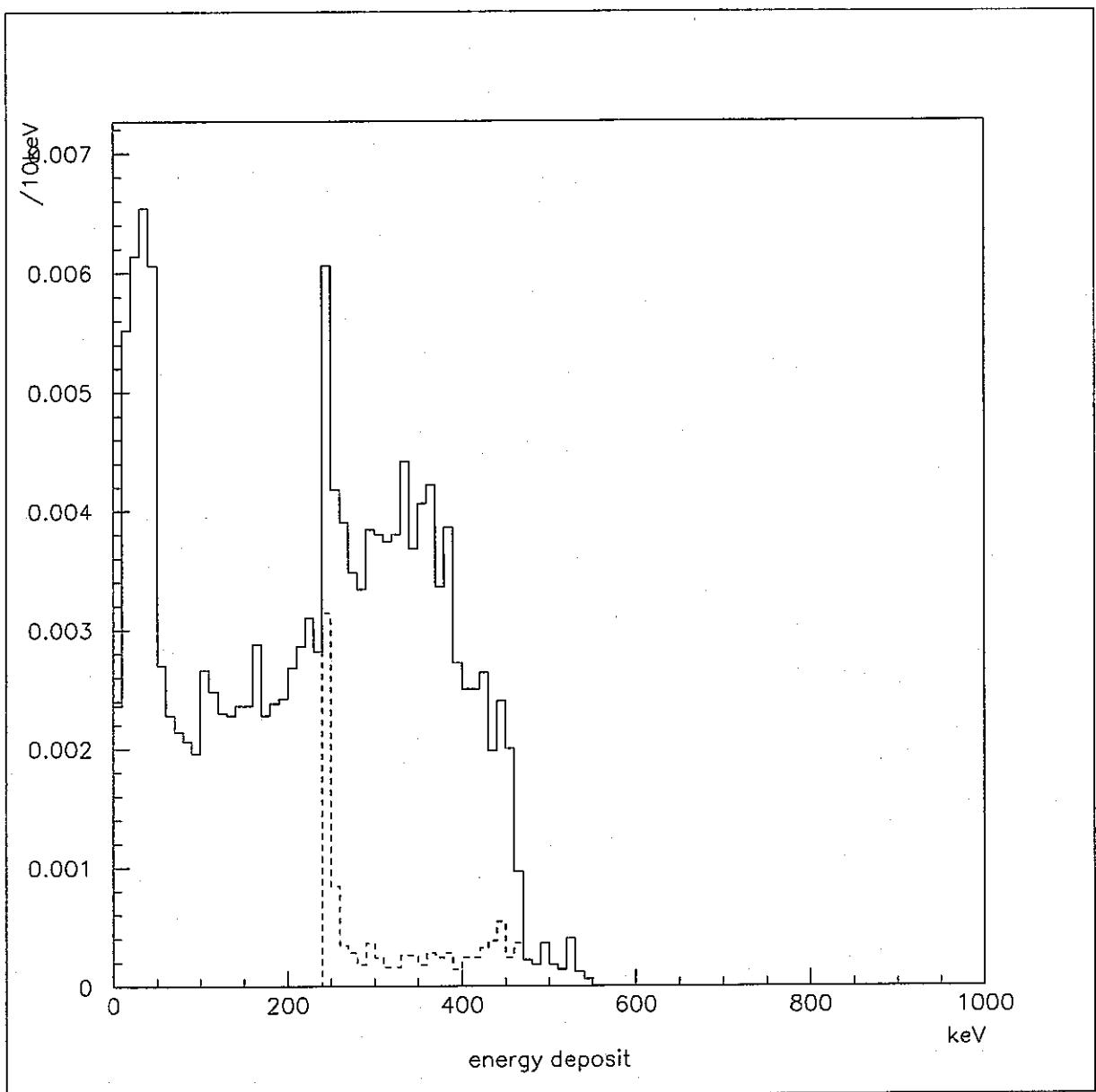


図 110: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 2'' \times 2''$  検出器の応答関数。

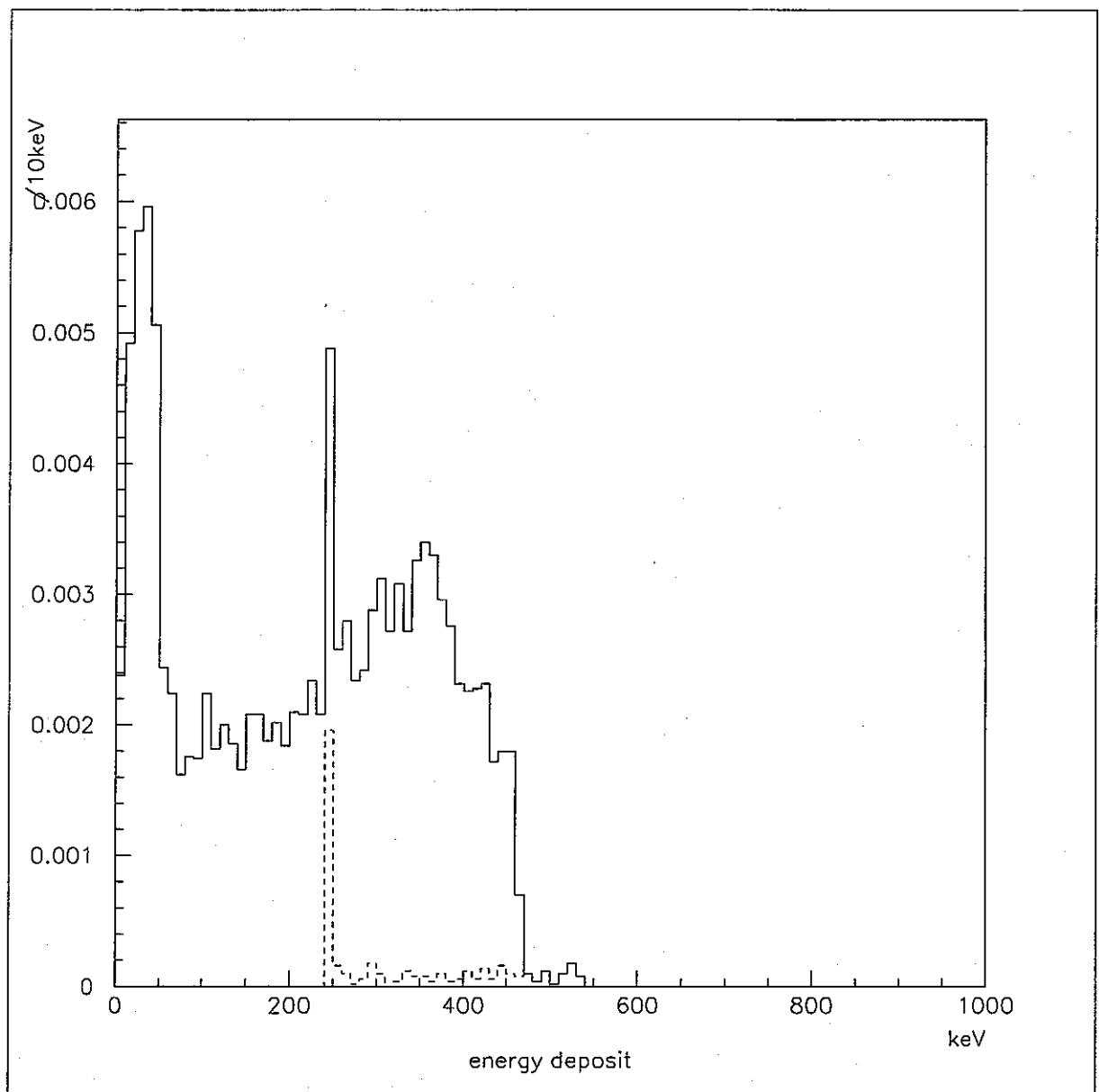


図 111: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 2'' \times 1''$  検出器の応答関数。

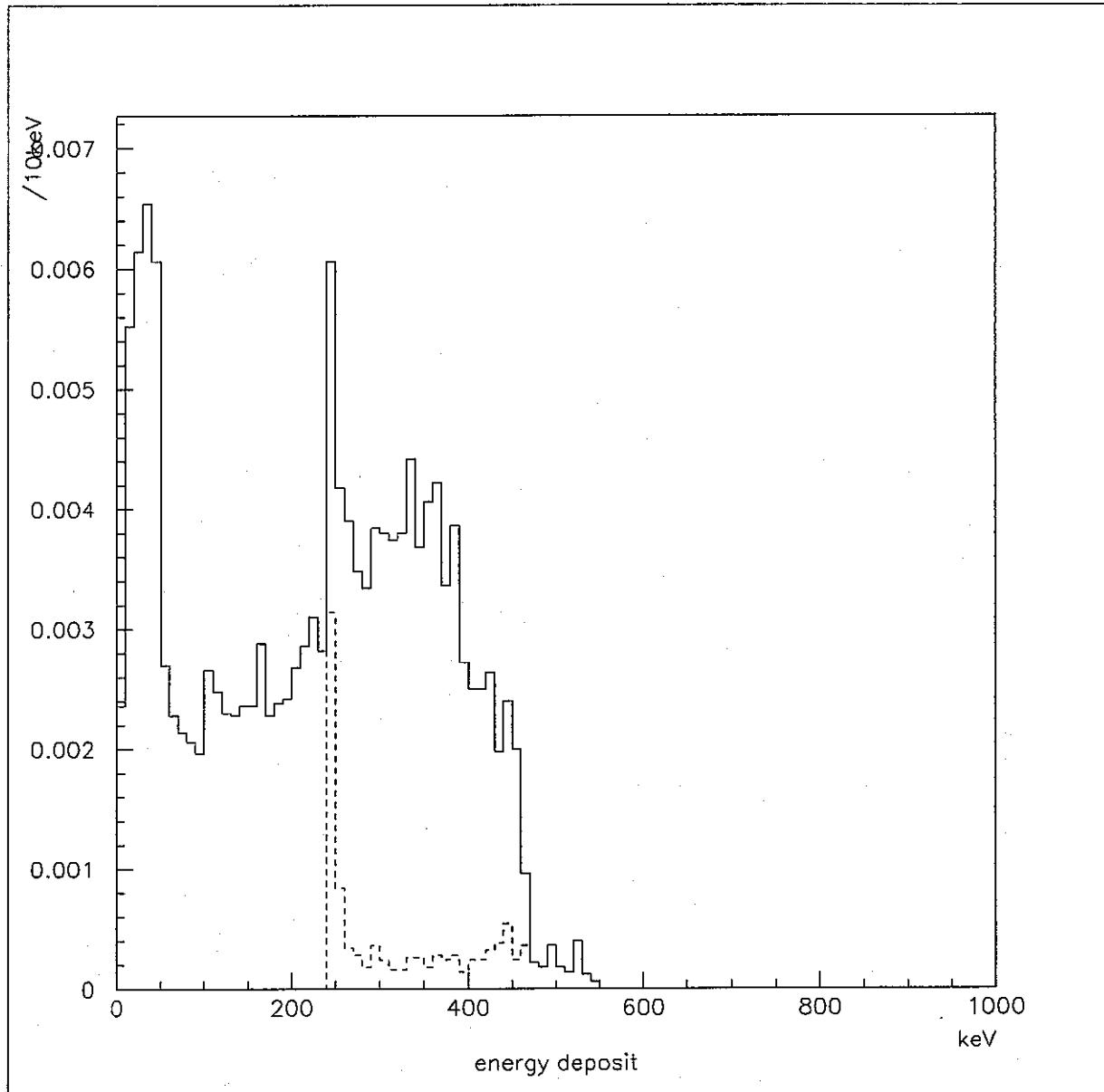


図 112: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 2'' \times 2''$  検出器の応答関数。

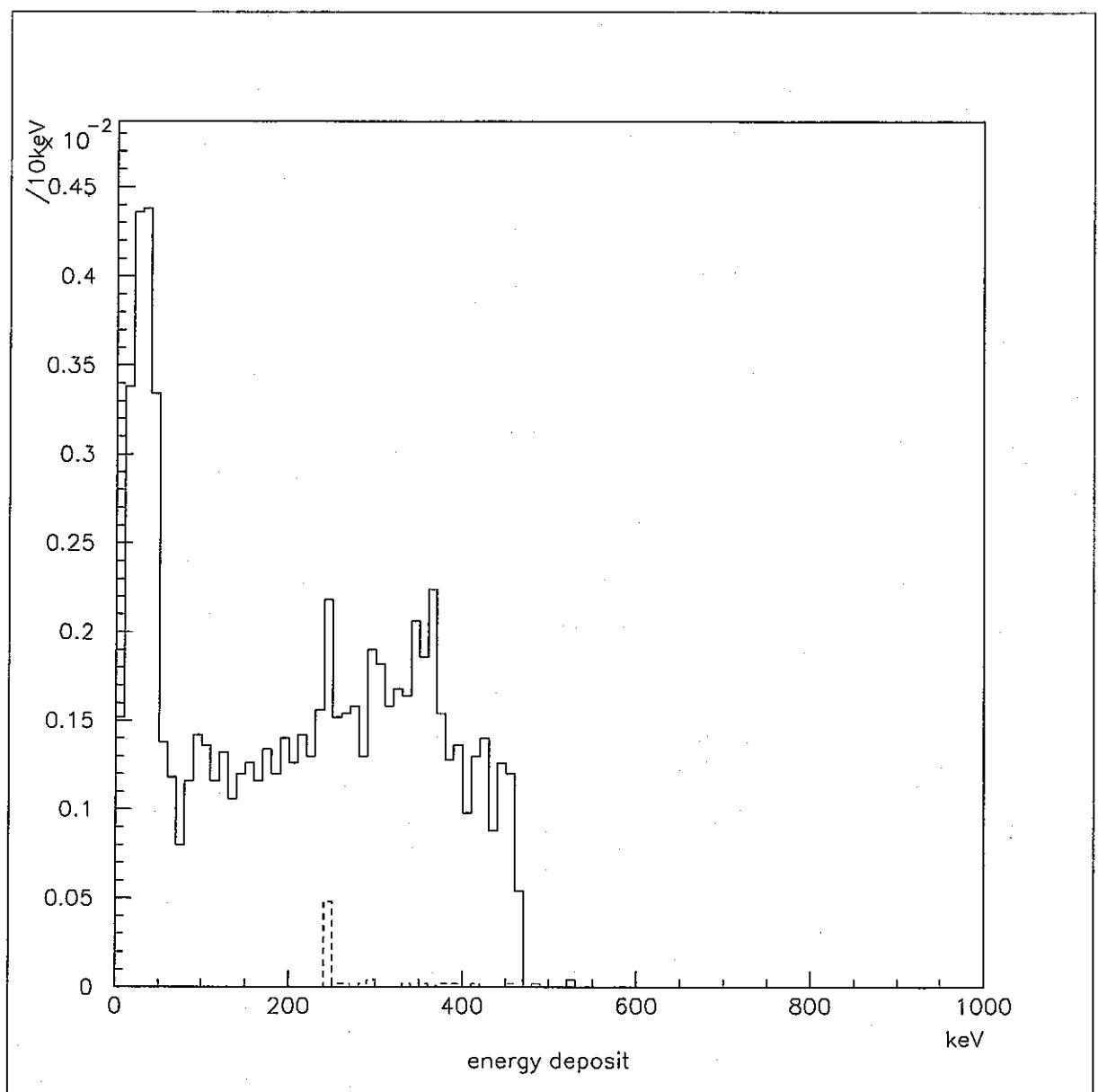


図 113: NRESP により得られた 1MeV 単色中性子に対する  $\phi 1'' \times 1''$  検出器の応答関数。

### 3 結果・考察

前節まで述べた様々な実験から、今回開発した測定装置は速中性子を十分な検出感度で検出出来ていることを確認した。反跳陽子と遅延 $\alpha$ 線との同時計数法は、 $^{10}\text{B}$ における中性子捕獲反応の特質を活用した計測法であり、速中性子の検出に応用が可能であることを示した。

線源の位置、中性子線束の飛行方向を簡便化したシミュレーション計算の結果によると、今回試作した検出器は、熱中性子に対しても50%近い検出効率を有し、1MeV速中性子についても17%の検出効率を有している。また、 $^{10}\text{B}$ の希釈度は、元来の濃度よりも一桁希釈されても、検出器内での崩壊確率が2倍程度しか変化しないことが判明した。これは、この計測法により比較的安価な大型液体シンチレータ検出器が開発可能である事を示している。

$^{252}\text{Cf}$ 線源を使用して大型円筒容器中の液体シンチレータにおいて取得したエネルギー分布(図42)と、シミュレーションにより取得したエネルギー分布(図79)とは比較され得るデータである。2.6節で述べたように、今回のシミュレーションでは検出器中での $\alpha$ 線崩壊確率により検出器の特性を評価したことから、この二つのエネルギー分布をそのまま比較に使用することは難しい。単純にこれら二つのエネルギー分布を比較すると、高エネルギー側でシミュレーションは実測値に比べ、尾を引いていることが明らかになる。 $^{10}\text{B}$ での捕獲に寄与しないイベントの比率が高いので、エネルギースペクトルの差異が明確になる。今後、反跳陽子と崩壊 $\alpha$ 線を弁別できるシミュレーションを実施する必要があることがわかる。

加速器ビームを使用した実験では、検出効率の容量依存性を測定した。その結果、シミュレーション計算と矛盾のない結果が得られつつある。ただし、厚いターゲットを使用した実験であったため、陽子の核破碎反応による中性子線束が正確には不明であったことは記しておく必要がある。

また、今回試作した検出器が、熱中性子束測定にも有利であることが判明している事から、将来的には測定回路の改良・追加により熱中性子束も同時に計測可能である。主となる液体シンチレータ検出器は同一の物を使用できるので、副検出器であるCsI検出器を液体シンチレータの周囲を囲むように配置し、さらに熱中性子・速中性子それぞれのトリガーが並立するような回路を組むことにより、同時測定は可能になると考えられる。熱中性子束測定で利用した波形弁別回路やCsI検出器によるベトー機構を組み込めば、速中性子束測定においても更にS/N比の向上が望まれる。

さらに、液体シンチレータ及びCsI検出器が一体となったポータブルな検出器とすることによって、今回使用したハンディな測定回路系とあわせ様々な場での中性子束測定が可能になると考えられる。また、計算機(ノートパソコン)上のDAQプログラムの改良により、リアルタイムな中性子束モニターも実現可能である。

### 第III部

## 無機シンチレータを利用した環境中性子モニタ技術の開発

### 4 無機シンチレータを利用した環境中性子モニタ技術開発研究実施の動機

この研究では、固体無機シンチレーターによる高感度中性子検出を目的とする。液体シンチレーターによる中性子検出は既に確立されているが、高感度な測定をするためには、大容量の検出器を準備する必要がある。そのうえ、シンチレーターの劣化を防ぐためには頻繁に保守作業を行う必要がある。そのため、固体無機シンチレーターを用いて小型かつ高感度な中性子検出システムを開発する。無機シンチレーター結晶は材質が安定であるため、保守なしで数年間の長期測定に耐える。そのうえ、無機シンチレーターは高密度であるため、高効率の計測が可能である。

そこで、数種類の無機シンチレーターについて、検出器自身に含まれる放射性不純物、高純度化の可能性および、中性子に対する感度を評価するための種々の測定を行った。この報告では初めに無機シンチレーターで中性子を計測するための原理について紹介し、各種の無機シンチレーターの特性およびバックグラウンド性能を測定した結果を報告する。最後に中性子に対する感度について議論する。

## 5 中性子と原子核との反応

この報告では、中性子のエネルギーと名称の関係を表 15 の様に定義する。

表 15: 中性子のエネルギーと名称について

エネルギー	名称
25meV	熱中性子
0.1~100keV	低速中性子
100keV~10 数 MeV	高速中性子

### 5.1 热中性子と原子核との反応

热中性子は、質量数  $A$ 、原子番号  $Z$  の原子核（これ以降任意の原子核を  $(A, Z)$  と表記する）に中性子捕獲反応によって吸収され、質量数  $A + 1$ 、原子番号  $Z$  の同位体  $(A + 1, Z)$  に変化する（式 6）。



通常はこの反応によって  $(A + 1, Z)$  の高励起状態に変化するため、即発  $\gamma$  線を伴う。热中性子の測定には、中性子捕獲断面積が大きく、かつ、即発  $\gamma$  線を放出する同位体が最も有利である。表 16 に、中性子捕獲断面積の大きな同位体を示す。Gd は大きい中性子捕獲断

表 16: 中性子捕獲断面積の大きな同位体と自然界における存在比。それぞれの同位体を含む放射線検出器も示す。[20]

同位体	捕獲断面積 (barn)	自然界における 存在比 (%)	放射線 検出器
$^{152}\text{Gd}$	$1.1 \times 10^3$	0.20	GSO(Ce)
$^{155}\text{Gd}$	$6.1 \times 10^4$	14.8	GSO(Ce)
$^{157}\text{Gd}$	$2.55 \times 10^5$	15.7	GSO(Ce)
$^{176}\text{Lu}$	$2.0 \times 10^3$	2.61	LSO(Ce)

面積を持つ同位体を豊富に含むため、中性子検出に極めて有利である。そこで、Gd を多量に含む GSO(Ce) シンチレーターを用いた高感度中性子計測を検討した。さらに、Lu を含む LSO(Ce) の可能性を調べた。

### 5.2 高速中性子と原子核との反応

高速中性子と原子核の反応は、(1) 弹性散乱 (2) 非弾性散乱等の過程がある。

## 1. 弹性散乱

中性子と原子核との弹性散乱は、散乱断面積が大きいため高速中性子に対する反応率は高い。有機液体シンチレーターは、陽子と中性子の弹性散乱によって陽子が得たエネルギーを測定している。陽子と中性子はそれぞれの質量がそれぞれ  $938\text{MeV}/c^2$ 、 $940\text{MeV}/c^2$  と殆ど同じであるため、反跳陽子は高いエネルギーを与えられて運動する。一方無機シンチレーターでは、シンチレーターを構成する原子核の質量が中性子よりも大きいため、反跳原子核の最大エネルギーは次の式で表されるように小さくなってしまう。

$$E_R = \frac{m_N m_n}{(m_N + m_n)^2} E_n \quad (7)$$

ここで、 $E_n$ 、 $E_R$  はそれぞれ中性子のエネルギー及び反跳原子核のエネルギー、 $m_N$ 、 $m_n$  はそれぞれ原子核および中性子の質量である。更に、原子核反跳によるシンチレーターの蛍光効率は、電子による蛍光効率よりも著しく小さいため、極めて低いエネルギーを測定する必要がある。例えば  $\text{NaI(Tl)}$  のばあい、ナトリウム原子核の反跳に対する蛍光効率は、電子による蛍光効率を 1 とした場合に 0.4 であり、ヨウ素原子核では 0.07 になる [21]。このため、数 MeV の高速中性子計測には数 keV 程度の低ノイズ測定を行うことが必須である。

## 2. 非弹性散乱

高速中性子は、原子核を励起するに足る十分なエネルギーを持つため、原子核の励起を伴う非弹性散乱によって中性子の検出を行うことが可能である。高速中性子によって励起された原子核からは特定のエネルギーを持つ  $\gamma$  線を放出するため、 $\gamma$  線の強度をモニターすることによって中性子線束の測定が可能である。非弹性散乱は、エネルギー及び角運動量の低エネルギーに励起されやすい励起状態を持つ原子核を表 17 に示す。非弹性散乱による中性子検出は、 $\gamma$  線に対する計数効率が高く、エネルギー一分

表 17: 低エネルギーに励起状態を持つ原子核と、その原子核を含有するシンチレーター

同位体	励起エネルギー (keV)	存在比 (%)	シンチレーター
$^{19}\text{F}$	109.9	100	$\text{BaF}_2$
$^{73}\text{Ge}$	13.2	7.8	BGO
$^{73}\text{Ge}$	68.8	7.8	BGO
$^{127}\text{I}$	57.6	100	$\text{NaI(Tl)}$
$^{154}\text{Gd}$	123.1	2.1	$\text{GSO(Ce)}$
$^{155}\text{Gd}$	60.0	14.8	$\text{GSO(Ce)}$
$^{156}\text{Gd}$	89.0	20.6	$\text{GSO(Ce)}$
$^{157}\text{Gd}$	54.5	15.7	$\text{GSO(Ce)}$
$^{158}\text{Gd}$	79.5	24.8	$\text{GSO(Ce)}$

解能も良い事が要請される。NaI(Tl) や GSO(Ce) は  $\gamma$  線の計数効率、エネルギー分解能ともに良好なシンチレーターである。

### 3. 原子核反応

高速中性子による原子核反応で、荷電粒子が放出される場合には、比較的明瞭で高エネルギーの信号を得ることができる。しかし、その反応断面積は小さいため、バックグラウンドが大きい環境下では十分な感度の測定を行うことは困難である。

## 5.3 本研究で注目した中性子検出の原理

本研究では、高速中性子及び熱中性子を固体無機シンチレーターで計測するシステムを開発するために、各種シンチレーターの中性子に対する感度の評価を行った。前節に紹介した様々な反応原理のうち、最も感度の高い方法は熱中性子による中性子捕獲を計測する方法である。他の方法、例えば原子核反跳や核反応による計測方法は十分な感度の測定が困難である。例えば、原子核反跳による中性子検出法では、無機シンチレーターを構成する原子核の質量が大きいため、高速中性子による原子核反跳では、原子核に付与される運動エネルギーが著しく小さくなってしまう。低エネルギー領域では、X線や高エネルギー  $\gamma$  線のコンプトン散乱による膨大なバックグラウンド事象による連続エネルギースペクトルが主成分である。高速中性子による原子核反跳の事象は、低エネルギーに分布する連続エネルギースペクトルを作るため、バックグラウンド事象との弁別は極めて困難である。

高速中性子を効率よく計測するには、高速中性子を効率よく減速して熱中性子に変換し、熱中性子として計測する方法がよい。つまり、検出器の周囲をパラフィンや軽水で囲んで計測すればよい。このとき、検出器に計測される中性子の事象は、もともと熱中性子であった中性子による事象とともに高速中性子であった中性子による事象の和によって構成される。パラフィンで囲まない検出器との比較を行うことによって高速中性子事象の比率を知ることができる。

## 6 無機シンチレーターの利点と各特性

無機シンチレーターは、一部の限られた結晶のみが中性子検出に応用されていた。例えばLiI(Eu) シンチレーターは、熱中性子による  $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$  反応で発生する  $\alpha$  線を観測する。この反応の断面積は 945 barn である。この反応断面積は、前述の中性子捕獲断面積に較べて小さいため、より感度の高い中性子検出器を開発する必要がある。

今回の研究では、無機シンチレーターの性能に、高密度であることと、メンテナンスが容易であることを要求した。検出器結晶が高密度であることで、中性子に対する感度が向上することが期待される。また、長期間の定常モニタリングに耐えるため、性能が安定して維持できる事を要求した。これらの点で、無機シンチレーターは有機シンチレーターに較べて極めて有利である。

中性子検出に適していると考えられ、現在市場で入手できる無機シンチレーターの性能を表 18 に示す。

表 18: 各種無機シンチレーターの性質

シンチレーター	化学組成	蛍光効率 (NaI(Tl)=100)
BGO	$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	20
GSO(Ce)	$\text{Gd}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$	20
LSO(Ce)	$\text{Lu}_2\text{SiO}_5(\text{Ce})$	75
$\text{BaF}_2$	$\text{BaF}_2$	20

シンチレーターの蛍光の減衰時間は高計数率測定に対する性能を、密度は検出効率を検討する上で重要な要素であるため、実測した。その結果を表 19 に示す。

表 19: 検討したシンチレーターの形状とその密度、蛍光減衰時間及び最強放出波長

シンチレーター	サイズ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	蛍光減衰時間 (nsec)	最強放出波長 (nm)
BGO	25.4×25.4×25.4	7.13	307±2	480
GSO(Ce)	50.8φ×50.8	6.71	Fast: 42±1 Slow: 452±4	440
LSO(Ce)	25.4φ×25.4	7.4	45±1	420
$\text{BaF}_2$	38.1φ×25.4	4.89	Fast: 2.0±0.2 Slow 680±5	220 310

表 19 に示されるように、BGO、GSO、LSO は密度が高いため、中性子検出に有利であると考えられる。また、 $\text{BaF}_2$  以外のシンチレーターは通常の光電面を用いた光電子増倍管を使用することができるが、 $\text{BaF}_2$  は蛍光が紫外線領域に及んでいるため、石英を用いた光電面を使用した光電子増倍管を用いなければならない。さらに、 $\text{BaF}_2$  の高速減衰成分を分離して測定するような波形弁別を行う場合には、高速応答の光電子増倍管を用いなければならない。

蛍光出力波形は、光電子増倍管のアノード出力を直接デジタルオシロスコープに入力し、電圧信号波形を記録した。波形データを指数関数

$$V(t) = V_0 \exp(-t/\tau) \quad (8)$$

でフィットして、蛍光減衰時間  $\tau$  を求めた。GSO(Ce) や  $\text{BaF}_2$  は顕著な 2 成分の信号波形を有していたので、それぞれ急速に減衰する成分 (Fast) とゆっくり減衰する成分 (Slow) の減衰時間を求め、表 19 に示した。なお、GSO(Ce) については二つの成分の比率が Ce のドープ濃度によって変化するという報告がある [22]。

## 7 測定回路の構成

測定回路は、今後簡便な回路で多くの施設に設置することができるよう、必要最小限の回路で測定ができるような較正を試みた。使用した回路は、

1. 高電圧供給回路
2. プリアンプ
3. スペクトロスコピーアンプ
4. マルチチャンネルアナライザー
5. データ収集用パーソナルコンピューター

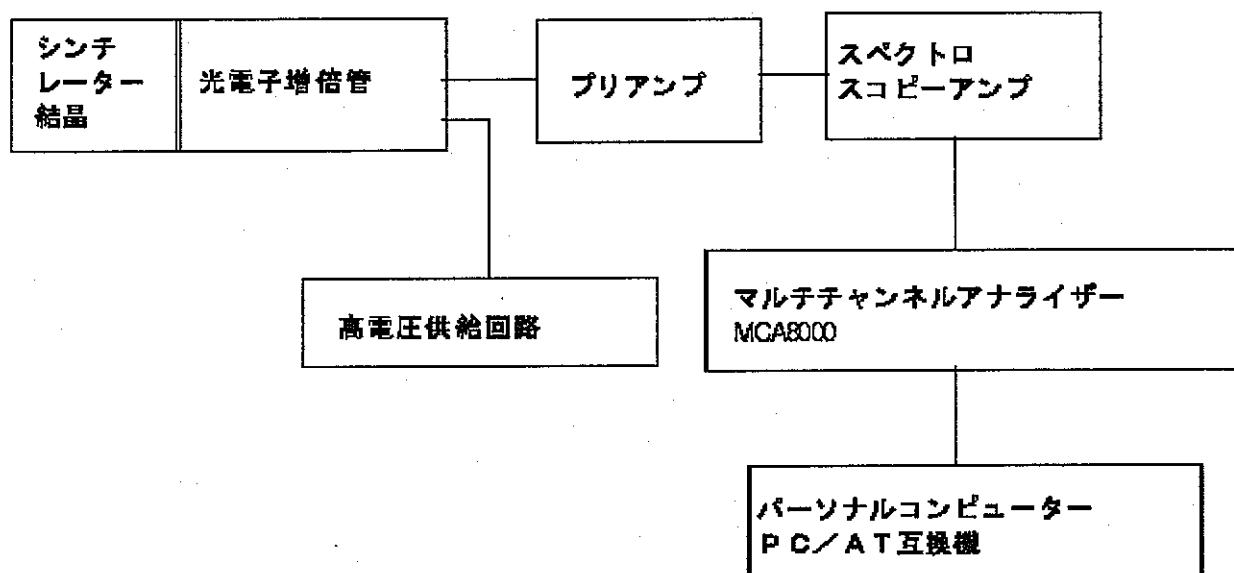


図 114: 測定回路の構成図

スペクトロスコピーアンプは、ORTEC 社の 571 を使用した。このアンプは、シンチレーターの様な減衰時間の短い信号を正確に増幅することができないため、光電子増倍管の出力をプリアンプに入力し、電荷を積分、整形して入力した。スペクトロスコピーアンプのユニポーラ出力信号を APTEK 社の小型ポケットマルチチャンネルアナライザー MCA8000 に入力し、デジタル変換した。データの収集は、PC/AT 互換機にインストールされた MCA8000 に付属のソフトウェアで行った。

## 8 エネルギー較正

エネルギー較正は、標準 $\gamma$ 線源を使用して、蛍光量と電子エネルギーとの関係を測定した。測定に使用した準 $\gamma$ 線源を表 20 に示す。

表 20: 標準 $\gamma$ 線源と放出される光子のエネルギーおよび放出比率 [23]

Source	Energy (keV)	Intensity(%)
$^{133}\text{Ba}$	81.00	33.5
	302.85	18.4
	356.00	62.1
$^{137}\text{Cs}$	661.65	85.0
	511.0	181.14
$^{22}\text{Na}$	1274.54	99.93
	1173.24	99.90
$^{60}\text{Co}$	1332.50	99.98
	14.41	9.5
	122.06	85.6
$^{57}\text{Co}$	136.47	10.6

長時間の測定に伴う蛍光効率の不安定性を確認するため長時間測定の前後でエネルギー較正を行った。

図 115 に GSO シンチレーターに対して行ったエネルギー較正を行った結果を示す。興味あるエネルギー領域で蛍光量の良好な線形性が得られていることがわかる。そのほか、LSO、 $\text{BaF}_2$  については良好な線形のエネルギー蛍光出力応答が得られていたが、BGO は線形性が悪いため、100keV 付近から 3MeV までの広範囲のエネルギー領域に亘る測定を行うときには注意を要する (図 116 参照)。

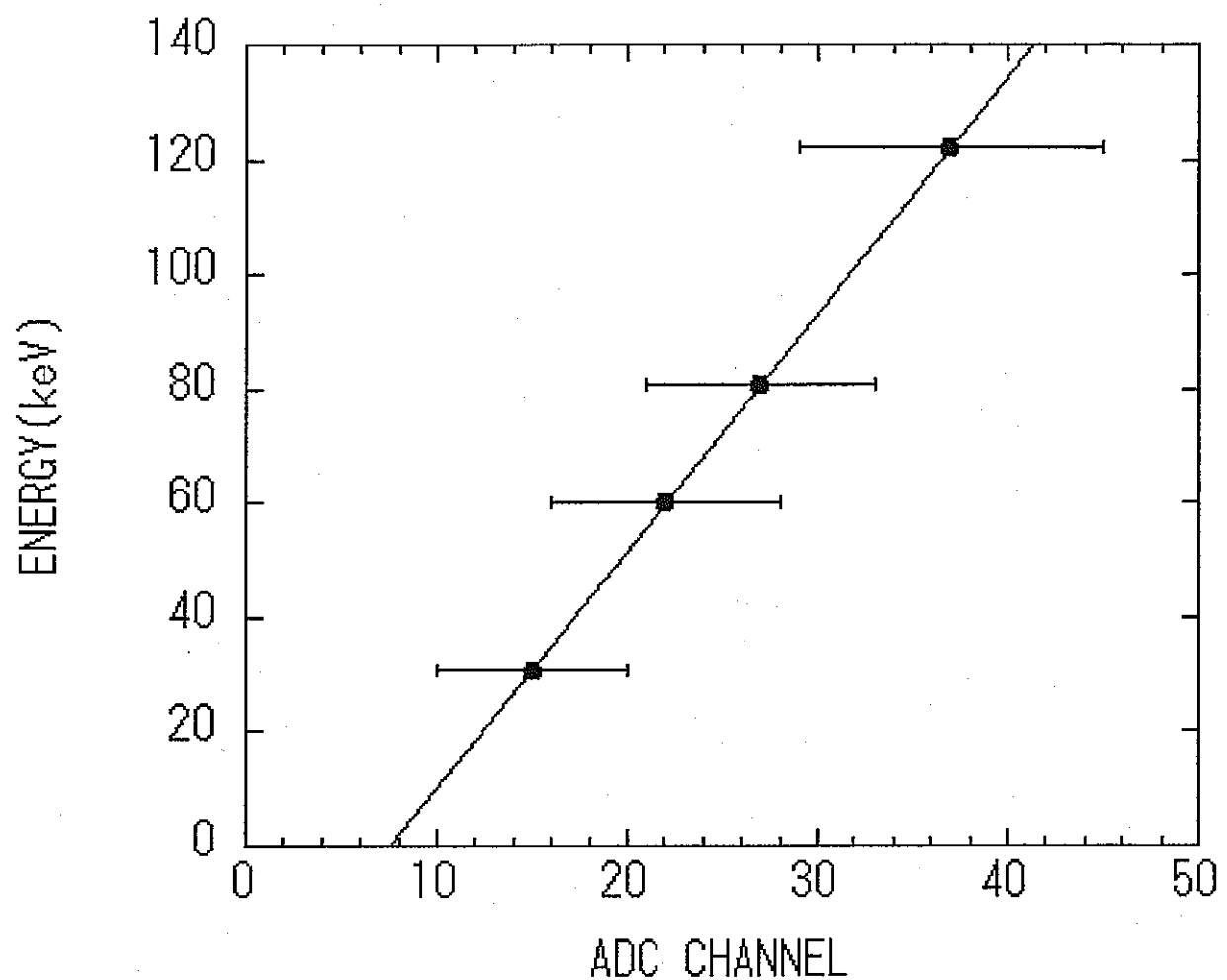


図 115: GSO シンチレーターによるエネルギー較正の結果。

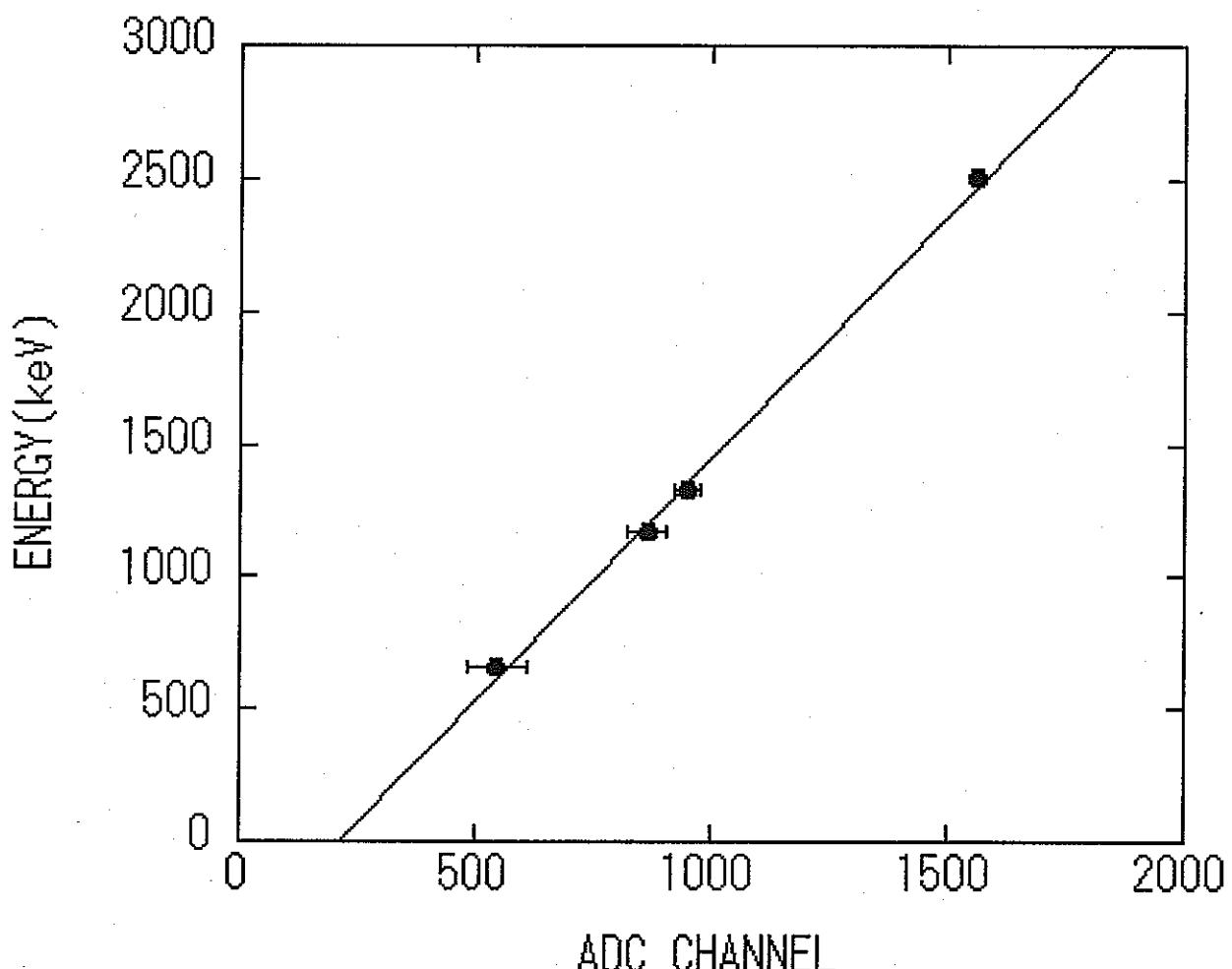


図 116: BGO シンチレーターのエネルギーと蛍光出力の応答関数。直線でフィットした関数との不一致が大きい。

## 9 バックグラウンドの計測

はじめに、環境放射線に対するバックグラウンドの応答を測定した。この測定は、低バックグラウンド測定に必要な検出器の純度を確認するために重要な測定である。地上の実験室で行い、次に列挙する遮蔽の条件でそれぞれ1日の実測定時間の測定を行った。

1. シールドを一切施さない測定
2. 厚さ10cmの鉛、厚さ1cmの無酸素銅と厚さ5cmのパラフィンで遮蔽した測定

以上の条件下で、GSO, LSO, BGO, BaF<sub>2</sub> の各シンチレーターのバックグラウンドを測定した。以下の節でそれぞれのシンチレーターに対するバックグラウンドの応答について議論する。鉛、銅及びパラフィンの遮蔽材を用いた際の計数率は、中性子に対する感度を左右する重要な性能である。そこで、今回用いた各シンチレーターについて遮蔽を施した場合の計数率を調べた。この計測によって、外部に起因するバックグラウンドを排除した「固有バックグラウンド」を知ることができる。

### 9.1 GSOシンチレーター

図117に、遮蔽を施さない条件下でのエネルギースペクトルを示す。GSOに遮蔽を施さない測定では、<sup>40</sup>Kや<sup>208</sup>Tlなど、実験室の壁に存在する放射性不純物によるγ線が顕著に観測されている。100keV付近では、バックグラウンドの計数率が10<sup>4</sup>/keV/kg/dayに達している。<sup>155</sup>Gdや<sup>157</sup>Gdによる熱中性子の中性子捕獲では、80keVから200keVのエネルギー領域にいくつかのγ線によるピークが観測される。このエネルギー領域に対するγ線の検出感度を向上させるためには、鉛などの重遮蔽物質で検出器を囲む必要がある。この研究では、厚さ10cmの高純度鉛でGSO検出器を遮蔽した。ところが、鉛は高エネルギーγ線や宇宙線との相互作用によるX線の影響が無視できず、このX線が熱中性子の測定にたいして重大なバックグラウンドになることが予想される。そのため、鉛遮蔽の内部を厚さ0.5cmの高純度無酸素銅(OFHC: Oxygen Free High Conductive Copper)で囲み、その内部にGSO検出器を設置した。118に、遮蔽の模式図、図119と図120に写真を示す。

遮蔽を施した後のGSOシンチレーターによるエネルギースペクトルを図121に示す。約400keVに見える大きなピークは、天然のガドリニウムに0.20%含まれている<sup>152</sup>Gdのα崩壊によるα線のピークである。<sup>152</sup>Gdは $Q_{\alpha} = 2.2062\text{MeV}$ でα線を放出するが[20]、GSO(Ce)のα線に対する蛍光応答が小さいため、電子の運動エネルギーで測られたスケールでは400keVの付近に観測される。

これと同様の現象は、500keVから1000keVの間に見られる幅の広いピークにも当てはまる。これはウラン系列に属する放射性同位元素のα崩壊に伴って放出されるα線である。エネルギーが異なる複数のα線によるピークが重なり合った結果、図のような幅の広いピーク構造が形成されている。最近はGSOの高純度化が進み、ウラン系列によるα線のピークは極めて少なくなっている。

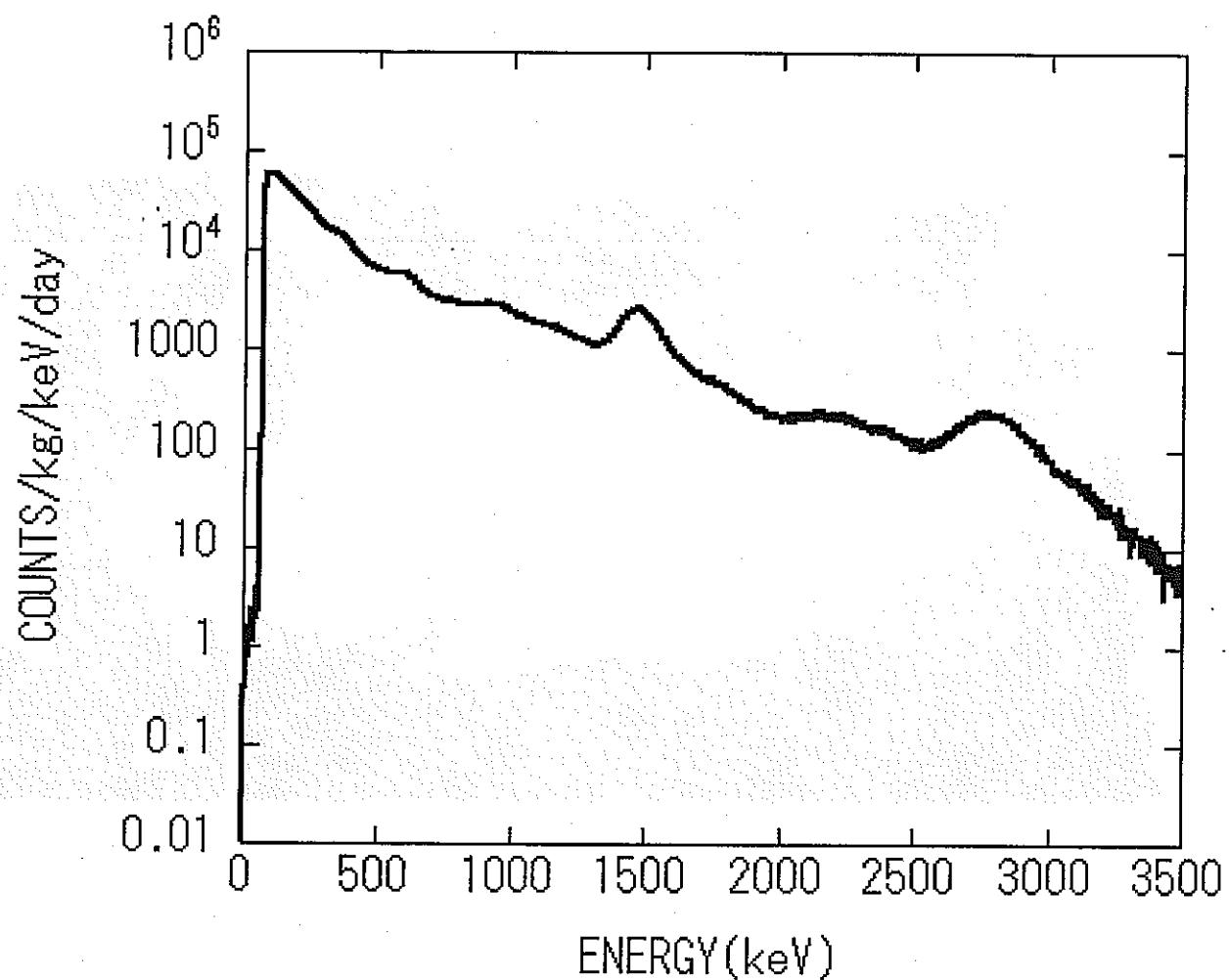


図 117: GSO に遮蔽を施さない状態で測定したエネルギースペクトル。1460keV の  $^{40}\text{K}$ 、2600keV の  $^{208}\text{TI}$  による  $\gamma$  線が顕著に見られる。

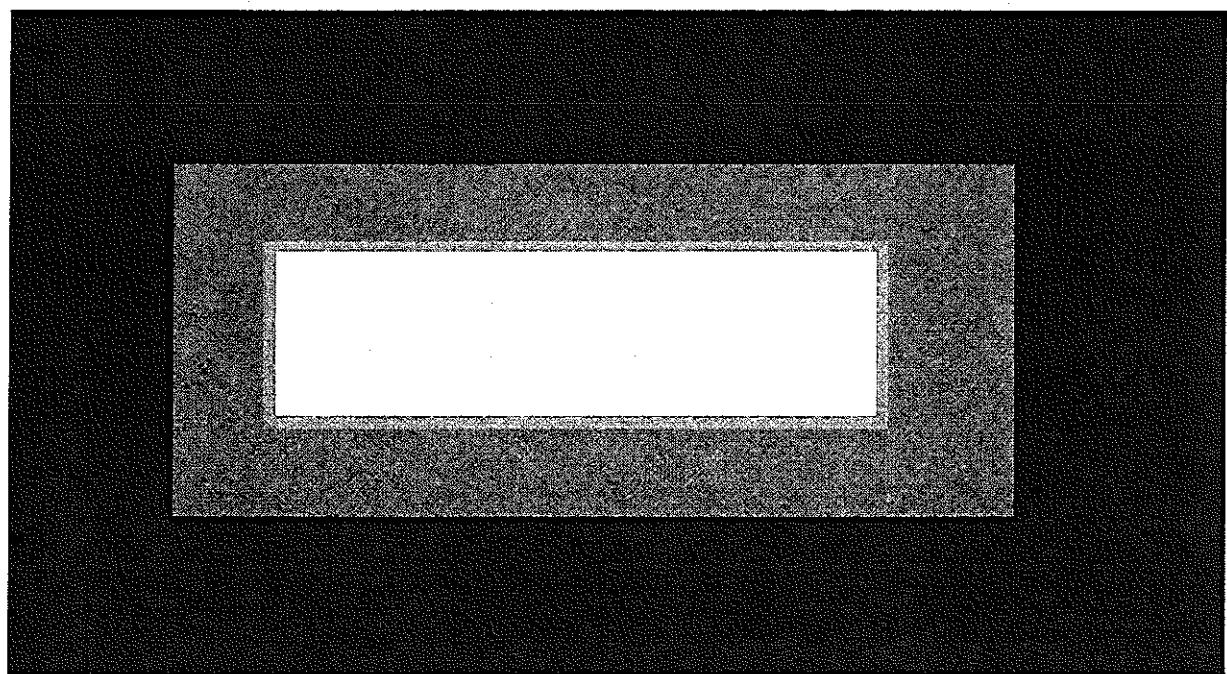


図 118: GSO 検出器の遮蔽の模式図。外側から、鉛、パラフィン、無酸素銅の順に遮蔽を施した。

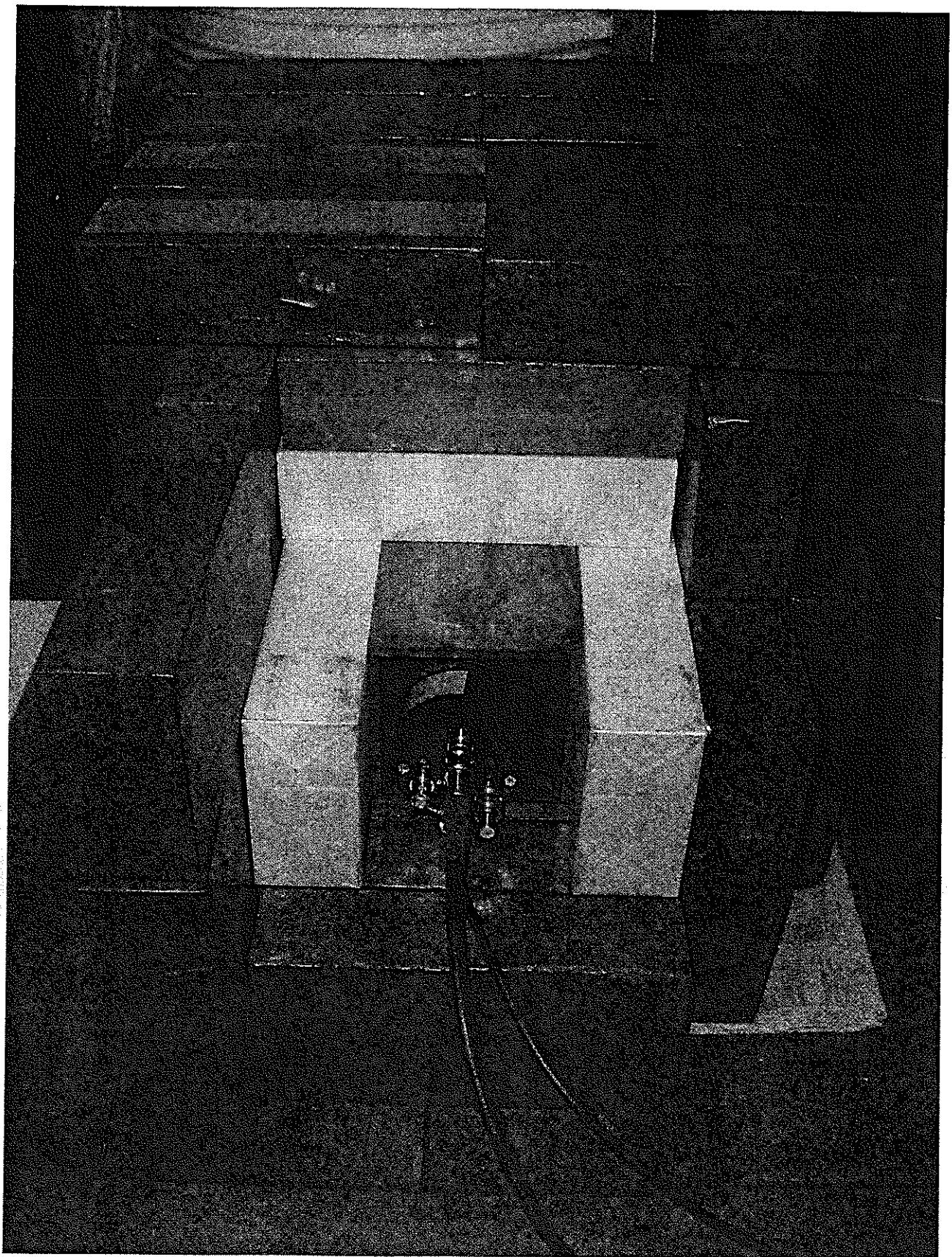


図 119: GSO 検出器を遮蔽の中に入れた状態の写真。このあと、検出器が全て覆われるよう無酸素銅、パラフィン、鉛を積んだ。

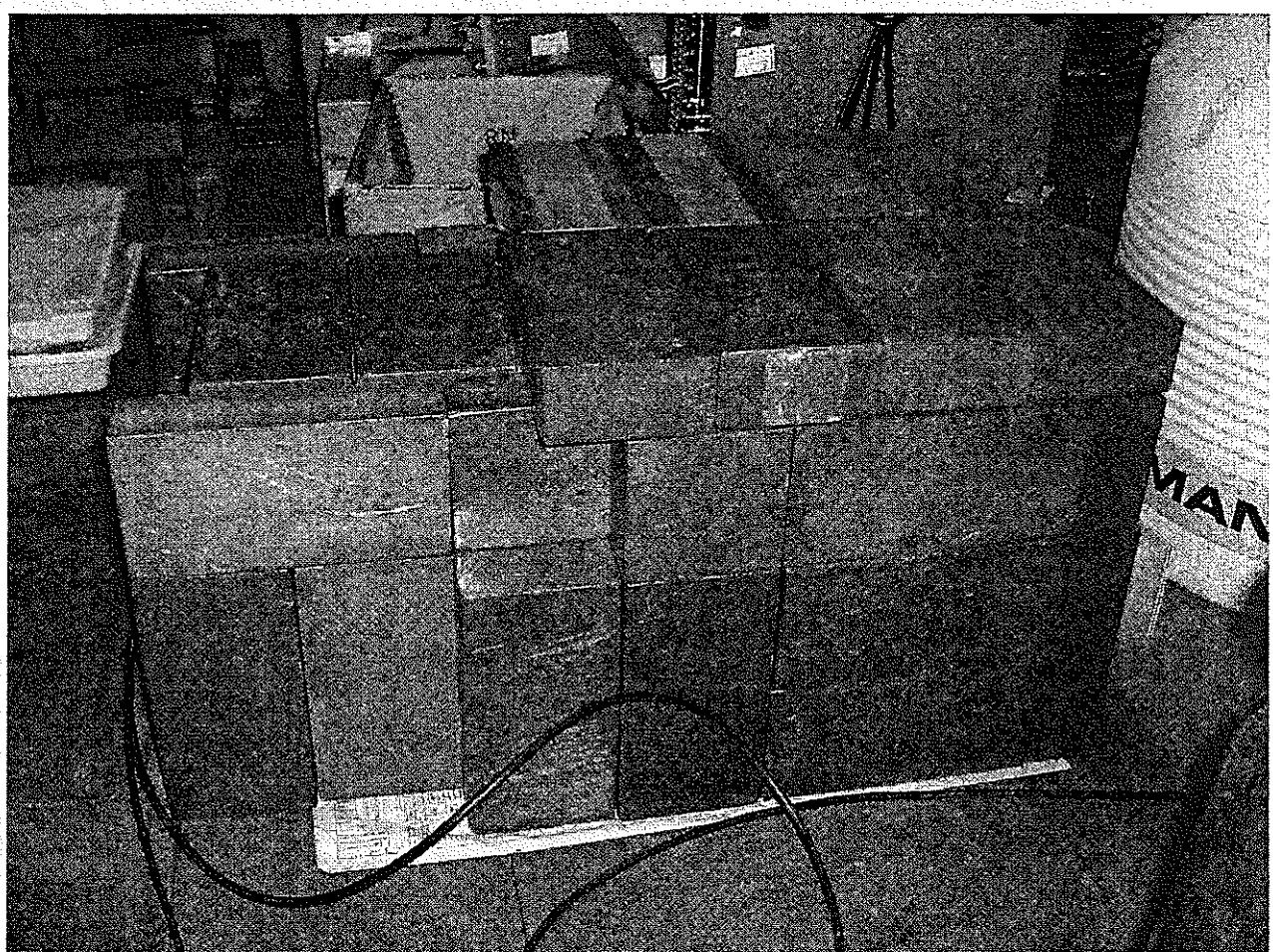


図 120: 遮蔽を施した後の検出器システムの様子。近くに見えるデュワー瓶は他の検出器システムに使用しているものである。

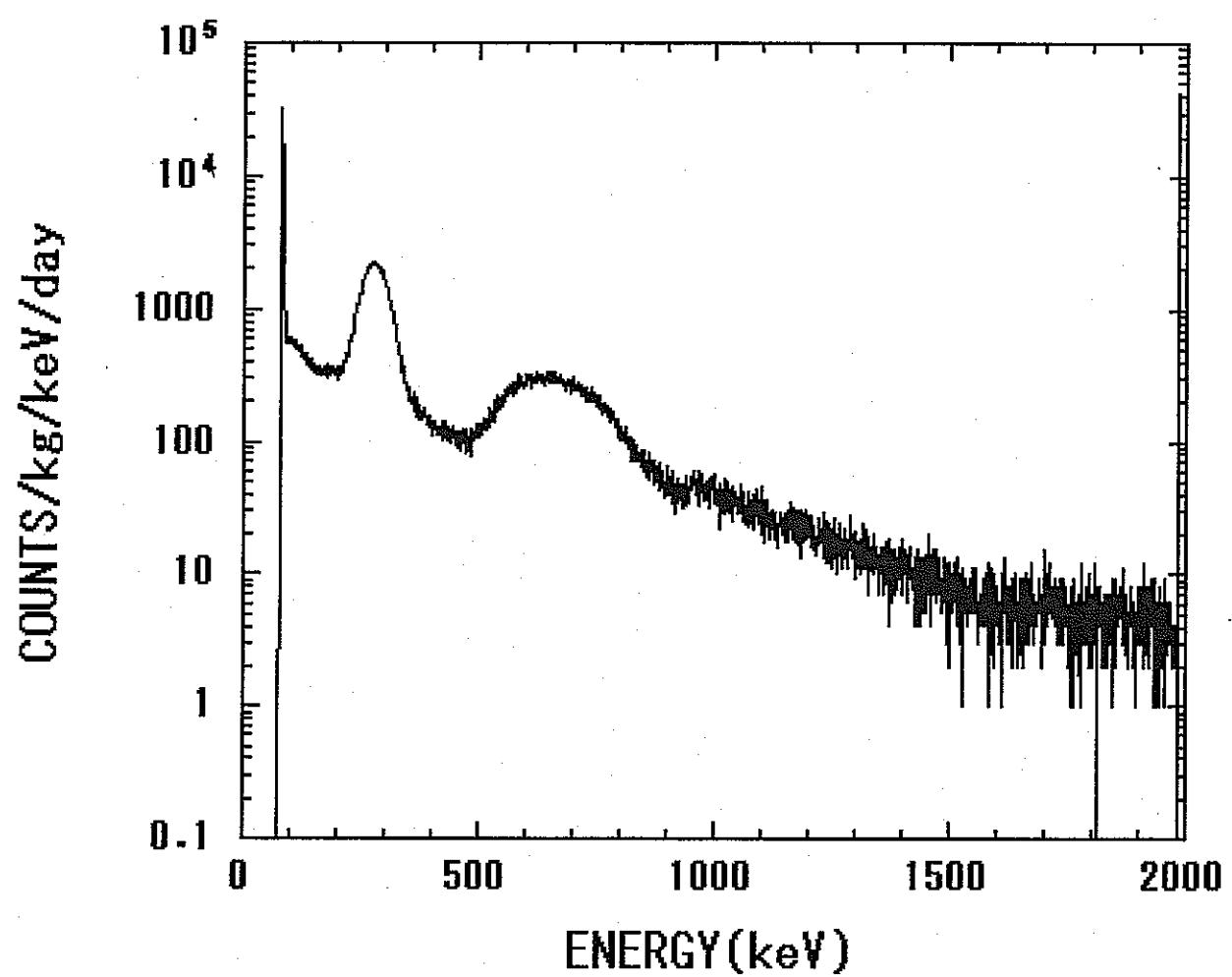


図 121: 遮蔽を施した GSO のエネルギースペクトル。

## 9.2 LSO シンチレーター

LSO シンチレーターは、図 123 に示すように、遮蔽材を施さない状態のバックグラウンドにおいて、他のシンチレーターには見られない特異なエネルギースペクトルが得られている。このエネルギースペクトルを調査したところ、LSO の構成元素である Lu に含まれる放射性不純物の影響であることがわかった。天然の Lu は、安定な同位元素である  $^{175}\text{Lu}$  (存在比 97.41%) と放射性同位元素である  $^{176}\text{Lu}$  (存在比 2.59%) とで構成されている。 $^{176}\text{Lu}$  は図 122 の様な崩壊をするため、検出器内部で  $\beta$  崩壊が起こることによって、 $\gamma$  線と  $\beta$  線が混合したエネルギースペクトルが得られる。

LSO を鉛 10cm、銅 1cm の遮蔽材によって囲み、バックグラウンド低減の効果を確かめた。その結果を図 124 に示す。高エネルギー領域では計数率の低減が見られているが、1.3MeV 以下の低エネルギー領域では全く改善が見られていない。前述の  $^{176}\text{Lu}$  による  $\beta$  線と  $\gamma$  線によるエネルギースペクトルが主成分となっているためである。

ところで、中性子に対する感度の良し悪しは、中性子による信号が見られると予測されるエネルギー領域においてバックグラウンドが低ければよい。LSO においても、中性子との反応によって 1.5MeV 以上の高エネルギー領域に信号を作ることができれば中性子検出器としての可能性がある。しかしながら、LSO の構成元素にそのような反応チャンネルをもつ原子核は無いため、LSO によって中性子を検出する方法は、高速中性子による弾性散乱に限られる。弾性散乱は数 10keV 以下の低エネルギー領域でしか観測されないため、LSO の中性子検出器としての可能性は無いと結論づけられる。従って、以降で LSO については議論しないものとする。

7 -

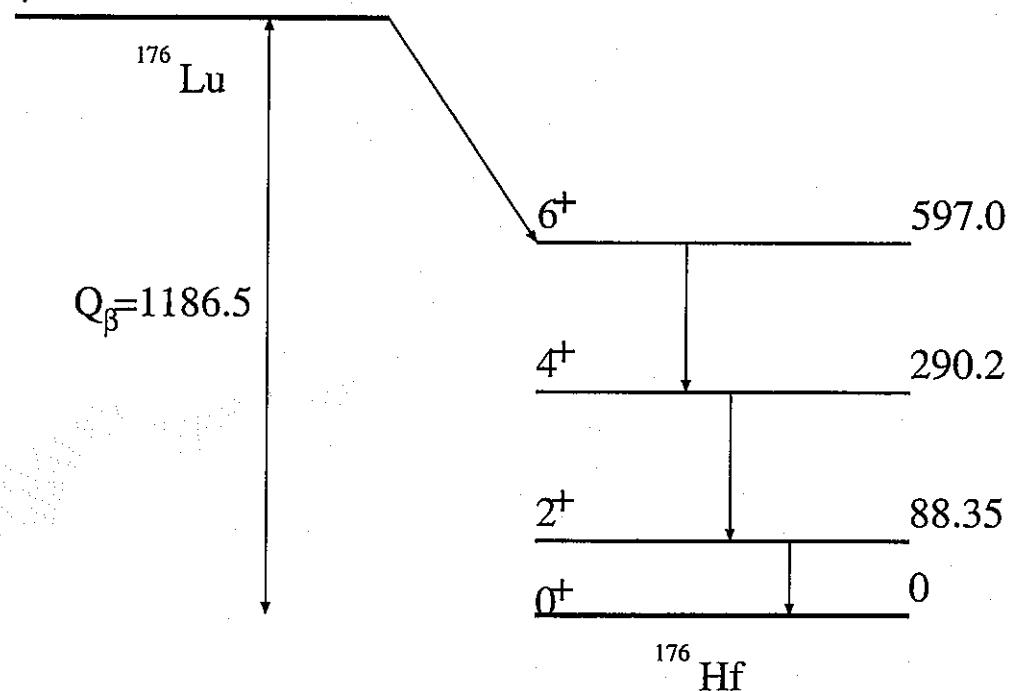


図 122:  $^{176}\text{Lu}$  の崩壊図式 [20]。 $Q_{\beta}$  や励起状態のエネルギーの単位は keV である。

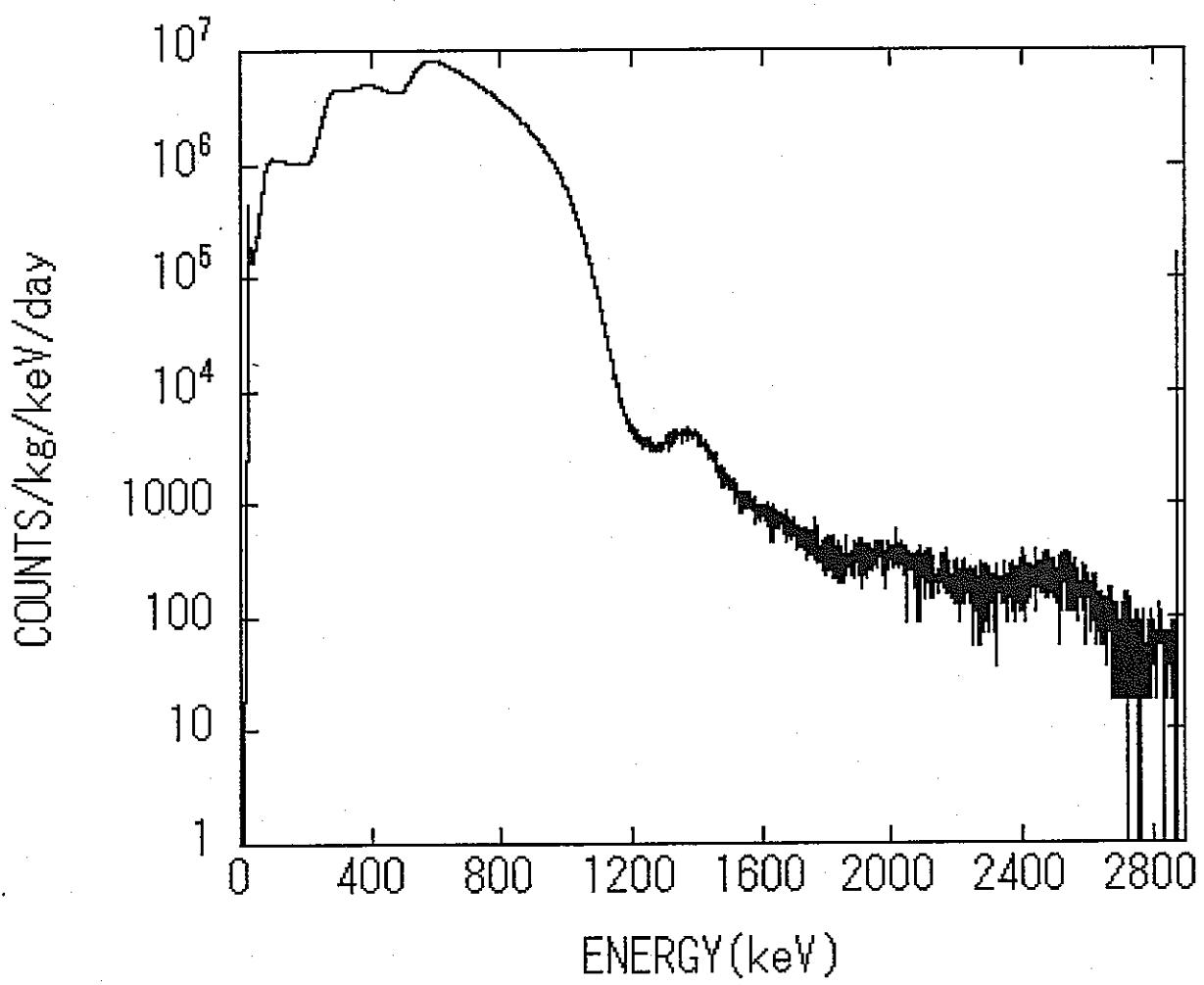


図 123: 遮蔽を施さない条件下での LSO のエネルギースペクトル。

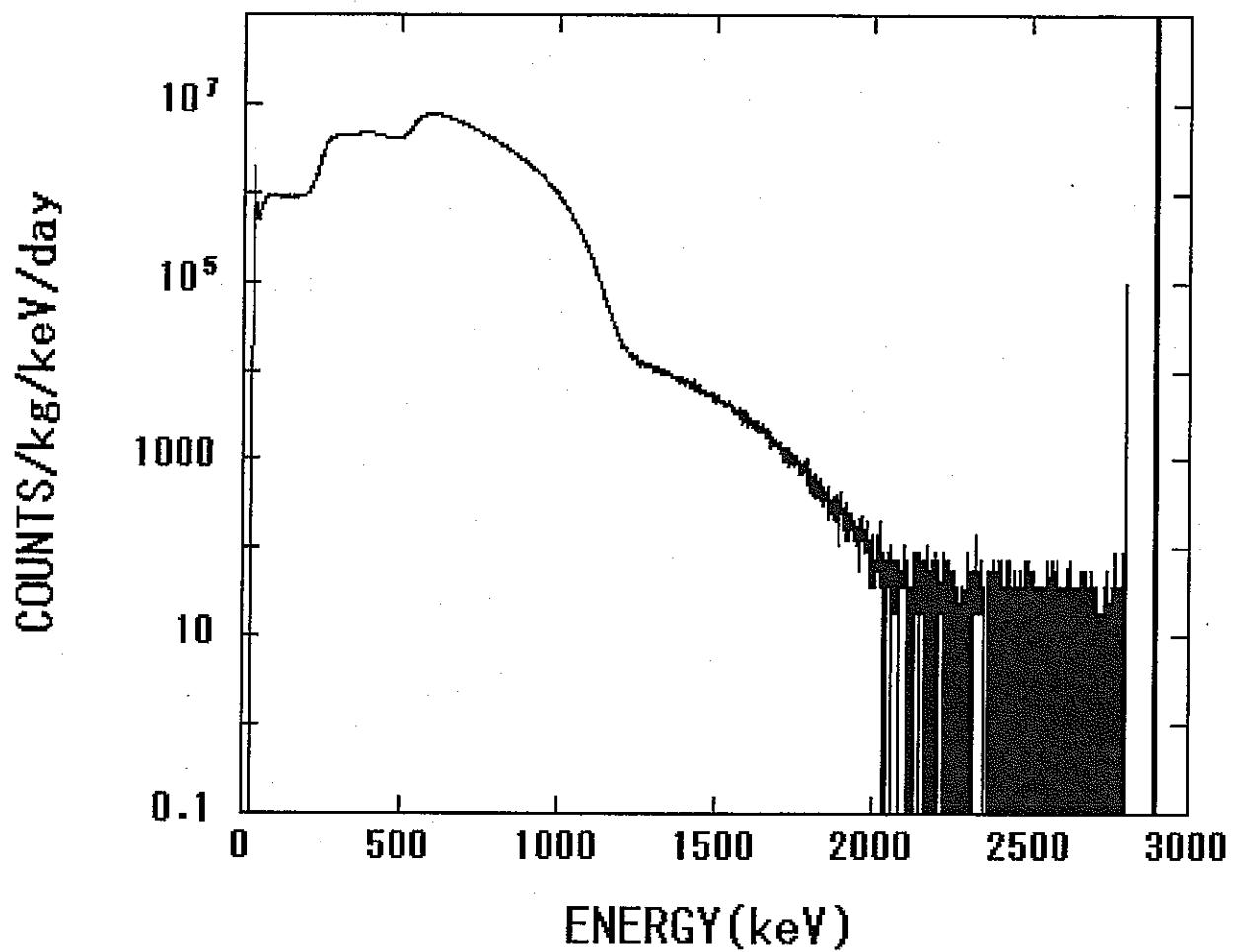


図 124: 鉛 10cm と銅 1cm によって遮蔽された LSO シンチレーターにおける固有バックグラウンド。

### 9.3 BaF<sub>2</sub>

BaF<sub>2</sub> の、遮蔽無しの条件下でとったバックグラウンドを図 125 に示す。エネルギースペクトルが良くないため、1300keV から 3000keV にわたる広い範囲に見られる構造以外に、例えば空気中のラドンなどによる特徴的な  $\gamma$  線のバックグラウンドは極めて不明瞭である。2000keV を中心とする幅の広いピークはウラン系列の放射性同位元素による複数の  $\alpha$  線によるピークである。 $\alpha$  線が明瞭なピークを形成していることから、ウラン系列の不純物が BaF<sub>2</sub> 内部に混入していることがわかる。

BaF<sub>2</sub> シンチレーターを鉛 10cm、銅 1cm の遮蔽材によって囲んだ場合のエネルギースペクトルを図 126 に示す。低エネルギー領域で顕著にバックグラウンドが下がっていることがわかる。しかしながら、GSO シンチレーターに較べると 10 倍の高計数率になっているため、高感度測定を行うためには現状に較べて一桁以上の高純度化が必要である。

100keV 以下の低エネルギー領域ではノイズが顕著に見える。これは、高速中性子による弾性散乱を計測する際には致命的な問題点である。ノイズは回路系の調整を入念に行うことによってある程度除去することが可能である。しかし、BaF<sub>2</sub> シンチレーターの蛍光量が少ないため数 keV 程度の超低エネルギーを安定して測定することは困難である。

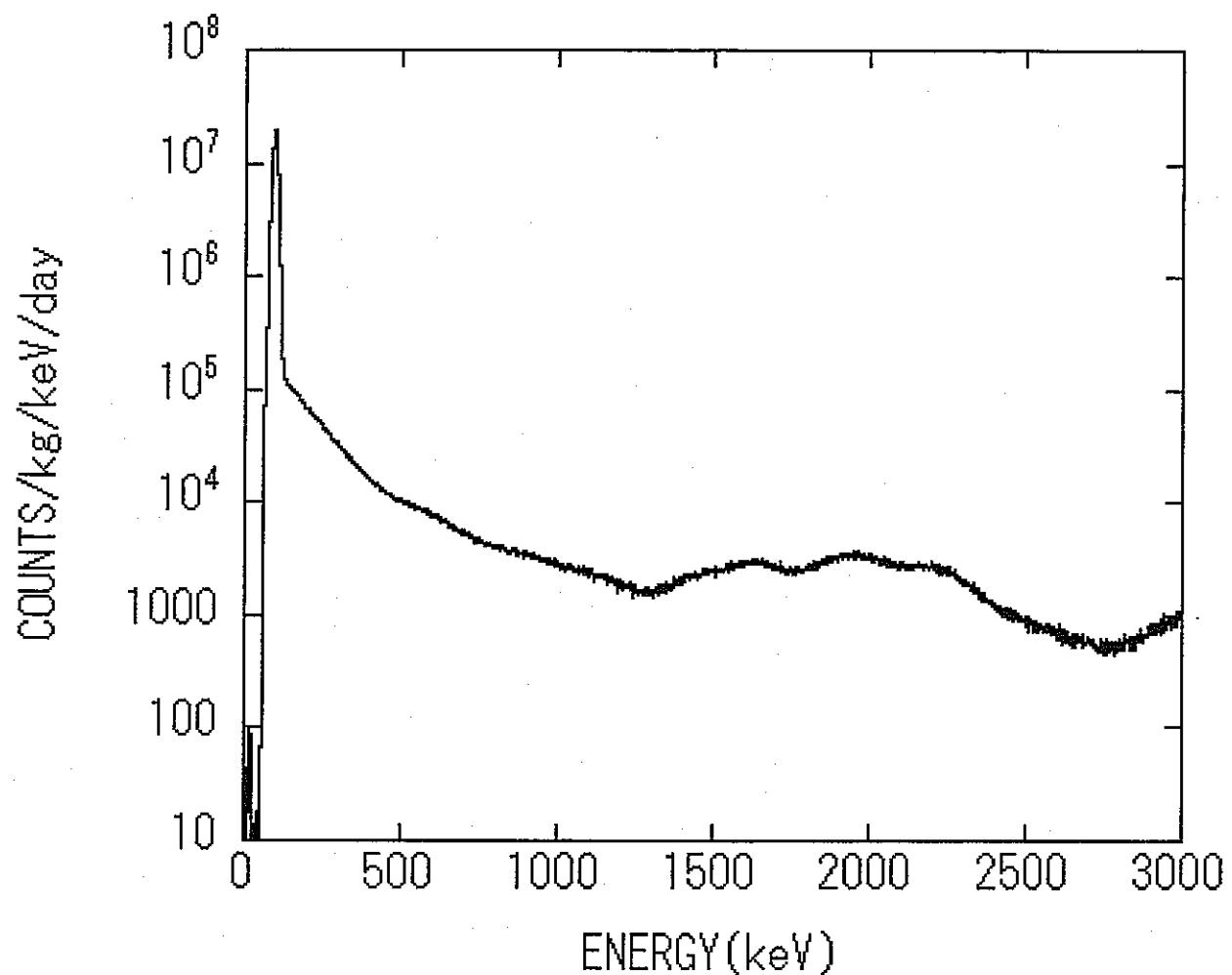


図 125: 遮蔽を施さない条件下の BaF<sub>2</sub>によるバックグラウンドスペクトル。

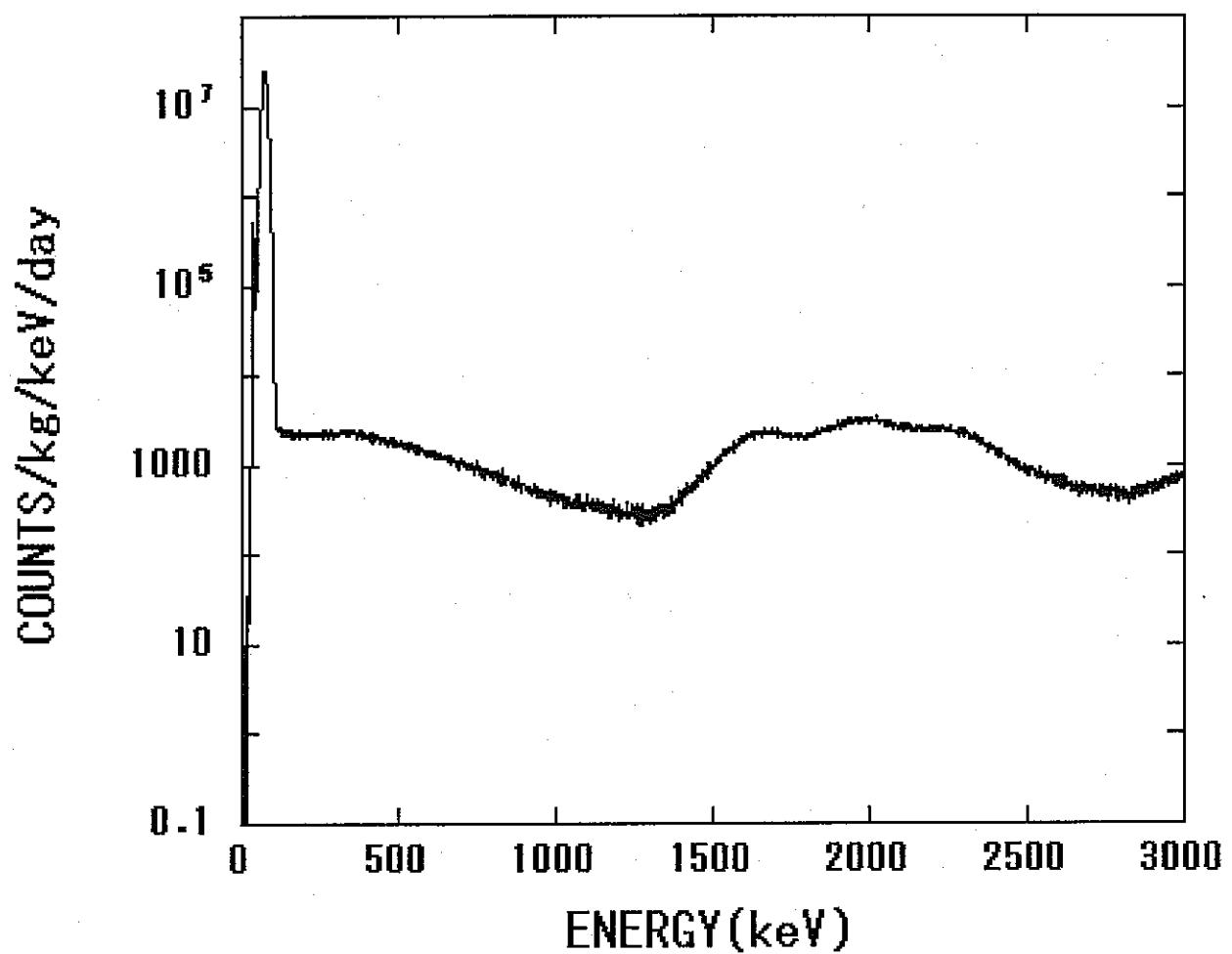


図 126: BaF<sub>2</sub> の固有バックグラウンドエネルギースペクトル。

## 9.4 BGO シンチレーター

BGO シンチレーターに遮蔽を施さない条件でのエネルギースペクトルを図 127 に示す。今まで調べてきたシンチレーターと大いに異なる点は、観測されるバックグラウンドが全て外部の環境放射線源によるものであることである。これはウラン系列の放射性不純物が少ないことが考えられる。BGO に遮蔽を施した場合の測定結果を図 128 に示す。BGO は原子量が大きいため、宇宙線との反応により陽電子の対消滅  $\gamma$  線 511keV が顕著に見られる。1000keV から 2000keV に見られる構造は、ウラン系列の放射性不純物による  $\gamma$  線及び  $^{40}\text{K}$  によるバックグラウンドである。これらの  $\gamma$  線の発生場所が BGO の結晶内であるか否かは今回の測定では不明であった。

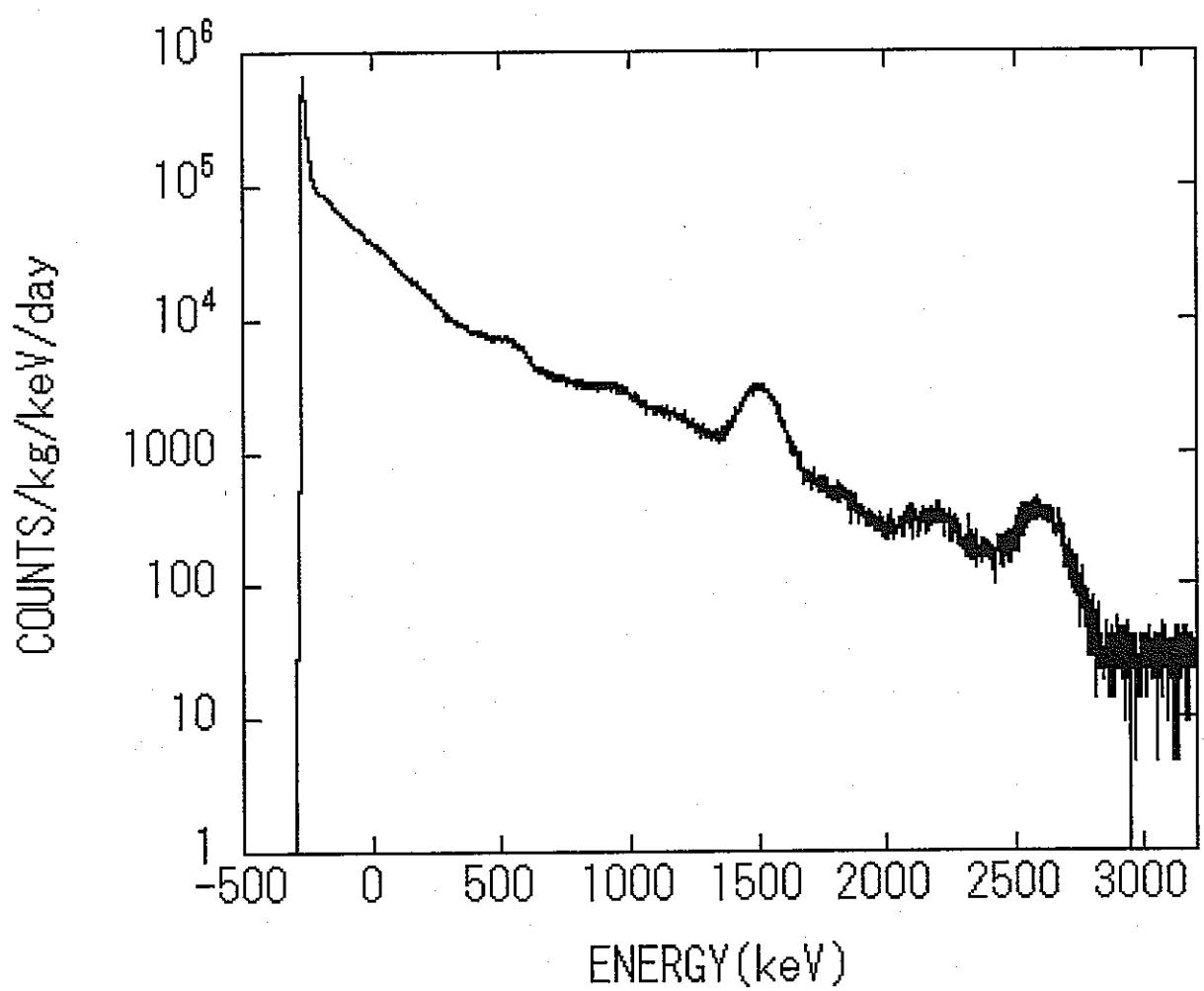


図 127: BGO シンチレーターに遮蔽を施さない場合のエネルギースペクトル。

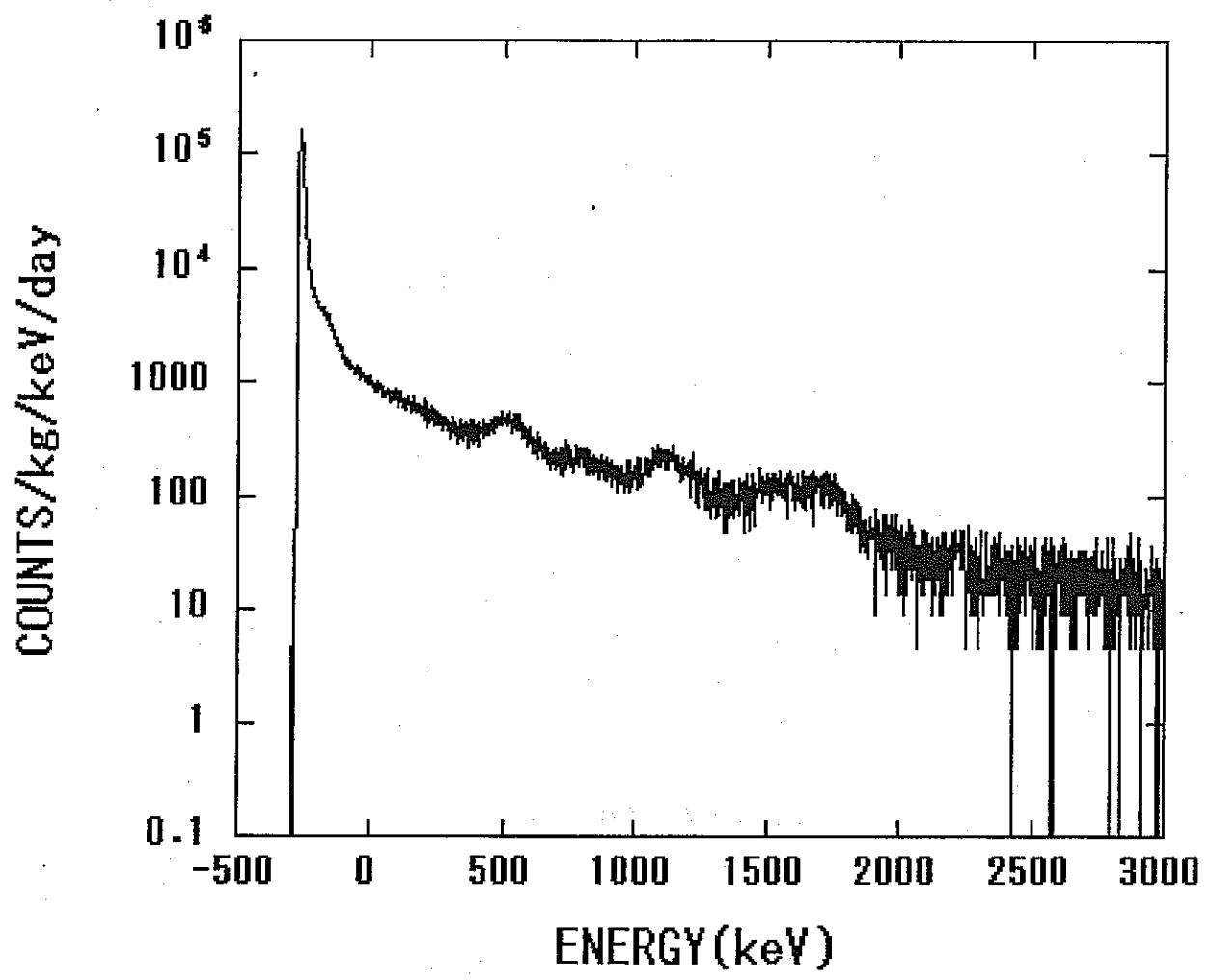


図 128: BGO シンチレーターの固有バックグラウンド。

## 10 中性子の測定実験

この節では、各種シンチレーターに中性子を照射した際のエネルギースペクトルに見られる変化を調べた。高速中性子による非弾性散乱はいずれも散乱断面積が小さいため、全てパラフィンで減速して熱中性子の中性子捕獲に伴う $\gamma$ 線ピークの有無を調べた。測定の構成図を図129に示す。

この例はGSO(Ce)で中性子を検出する原理であるが、他の検出器にも同様の原理を適用した。中性子線源は3.7MBqの $^{241}\text{Am}$ を有するAm-Be中性子線源を用いた。Am-Be中性子線源では $^{241}\text{Am}$ から放出される $\alpha$ 線によって



という反応が起り、2MeVから10MeVのエネルギーを持つ高速中性子が発生する。この中性子を厚さ5cmのパラフィンで減速し、シンチレーターに含まれる原子核に捕獲させて $\gamma$ 線の計数率を測定する。

Am-Beからは、 $^{214}\text{Am}$ の崩壊に伴う60keVの $\gamma$ 線が伴って発生する。この $\gamma$ 線は、特にGSO(Ce)による測定では重大なバックグラウンドになる。なぜならば、GSOの中性子捕獲による $\gamma$ 線はおよそ80keVに観測されるため、エネルギー分解能が良くないGSOでは両者を識別して計測することが困難だからである。そこで、線源からの $\gamma$ 線及び環境放射線による高エネルギー $\gamma$ 線を遮蔽するために検出器を厚さ10cmの鉛で囲んだ。さらに、鉛からは高エネルギー電子や中性子に起因する放射線によって特性X線が放出されるので、厚さ0.5cmの高純度無酸素銅で囲んだ。

この節では、中性子を照射した場合にエネルギースペクトルに見られる変化を調べ、中性子検出への有効性を確認する測定を、GSO、BaF<sub>2</sub>、BGOについてそれぞれ行った結果を報告する。中性子線源は、遮蔽体の外壁に貼り付けたため、線源と検出器との間隔は18cmに保たれていた。それぞれの検出器について、中性子線源を置いた測定と線源を取り除いた測定をそれぞれ24時間の実計測時間行った。なお、24時間の長時間測定による光電子増倍管の増幅率の変動の有無を、標準 $\gamma$ 線源によって確認した。

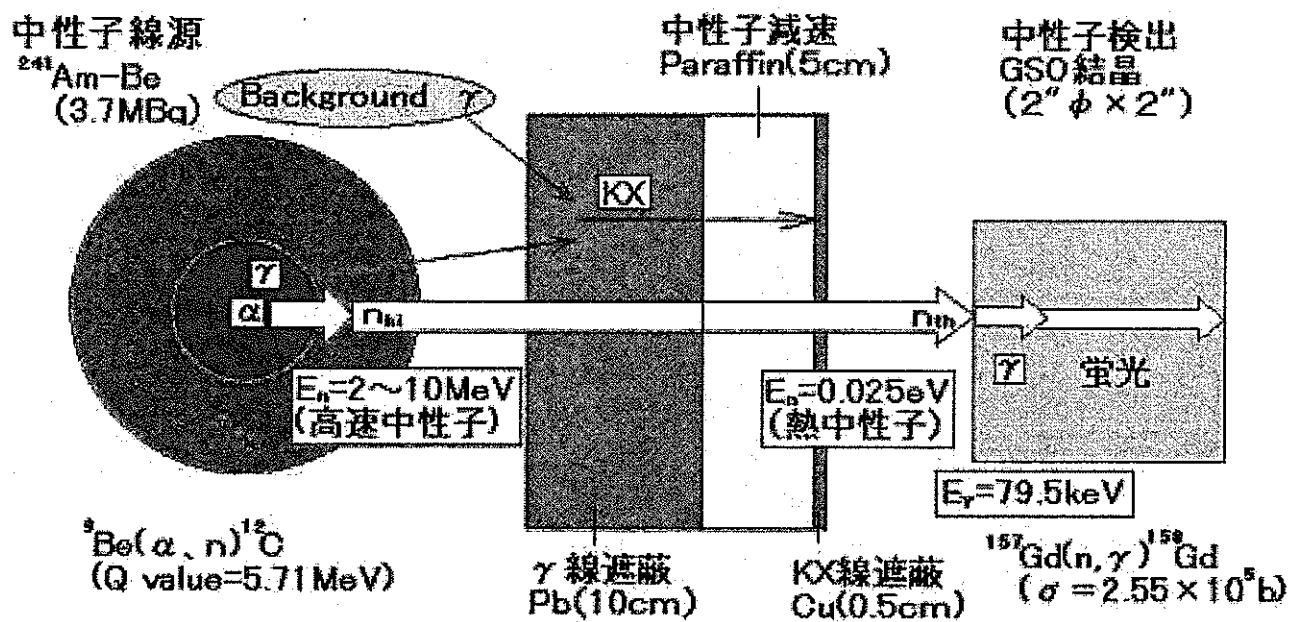


図 129: 中性子測定の原理図

## 10.1 GSO

GSO 検出器を遮蔽に設置し、中性子線源なしの場合（図 130）と中性子線源を置いた場合（図 131）のエネルギースペクトルをそれぞれ測定した。図に見られるように、低エネルギー領域で大きな変化が見られた。パラフィンによって減速された熱中性子が<sup>157</sup>Gd に吸収されたあと、<sup>158</sup>Gd から放出される  $\gamma$  線が観測されていると考えられる。そこで、中性子源を置いた場合のエネルギースペクトルから中性子源を置いていない場合のエネルギースペクトルを差し引いたエネルギースペクトルを作り、検討した。図 132 に差のエネルギースペクトルを示す。80keV 付近に<sup>158</sup>Gd の  $\gamma$  線が明瞭に観測された。本来、<sup>157</sup>Gd の中性子捕獲では、図 133 に示されるように、277.6keV、181.9keV といった複数の  $\gamma$  線が観測されるはずである。図 132 には、80keV 付近に顕著なピークが見られる。しかし、181.9keV、277.6keV の位置には極めて不明瞭な構造しか見られない。この原因は現在の所不明である。80keV に見られるピークは中性子束に対する感度が極めて高いため、GSO 検出器による中性子測定には、このピーク強度を測定すれば良いことが確認された。

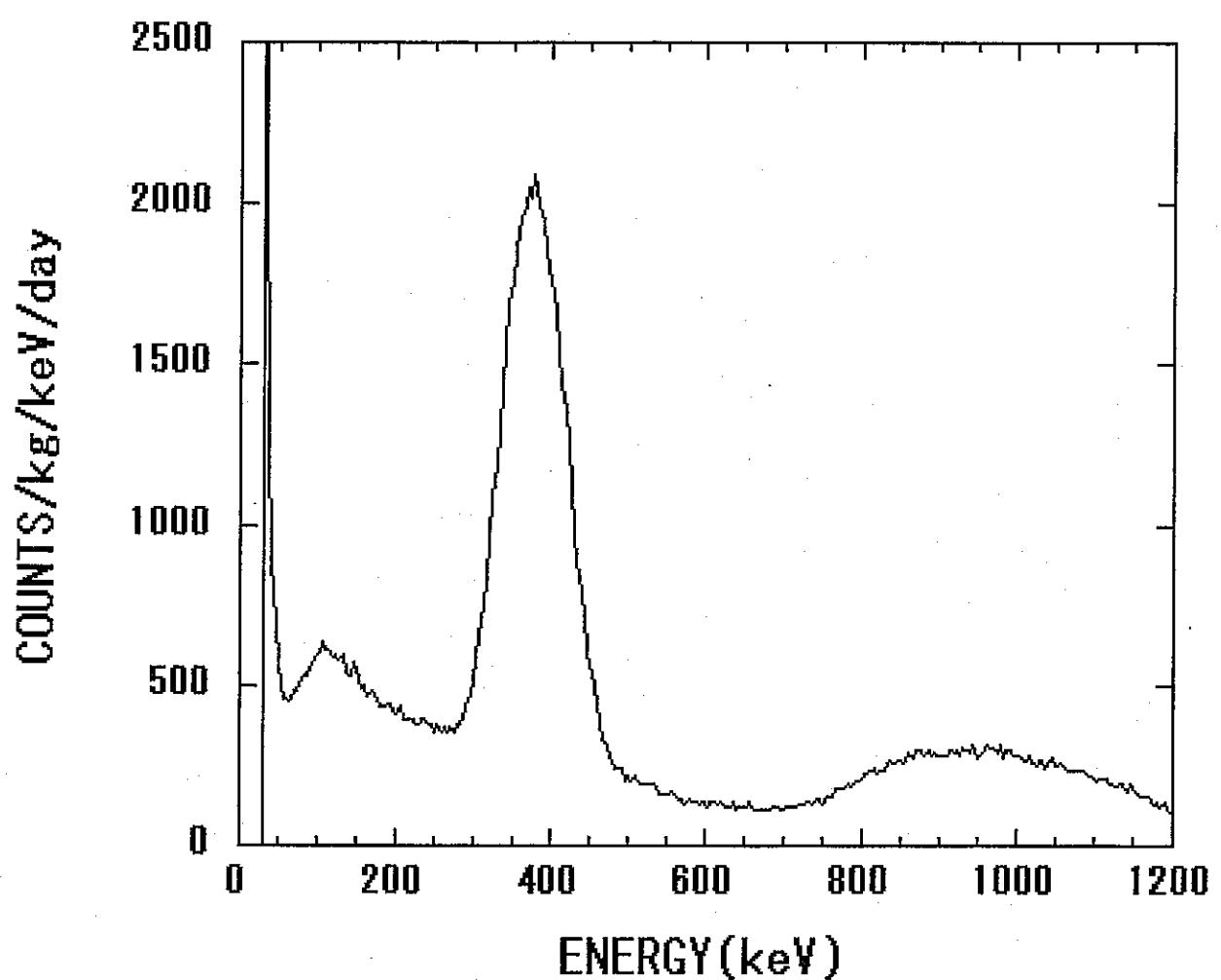


図 130: 中性子線源を置かない場合の GSO 検出器によるエネルギースペクトル。

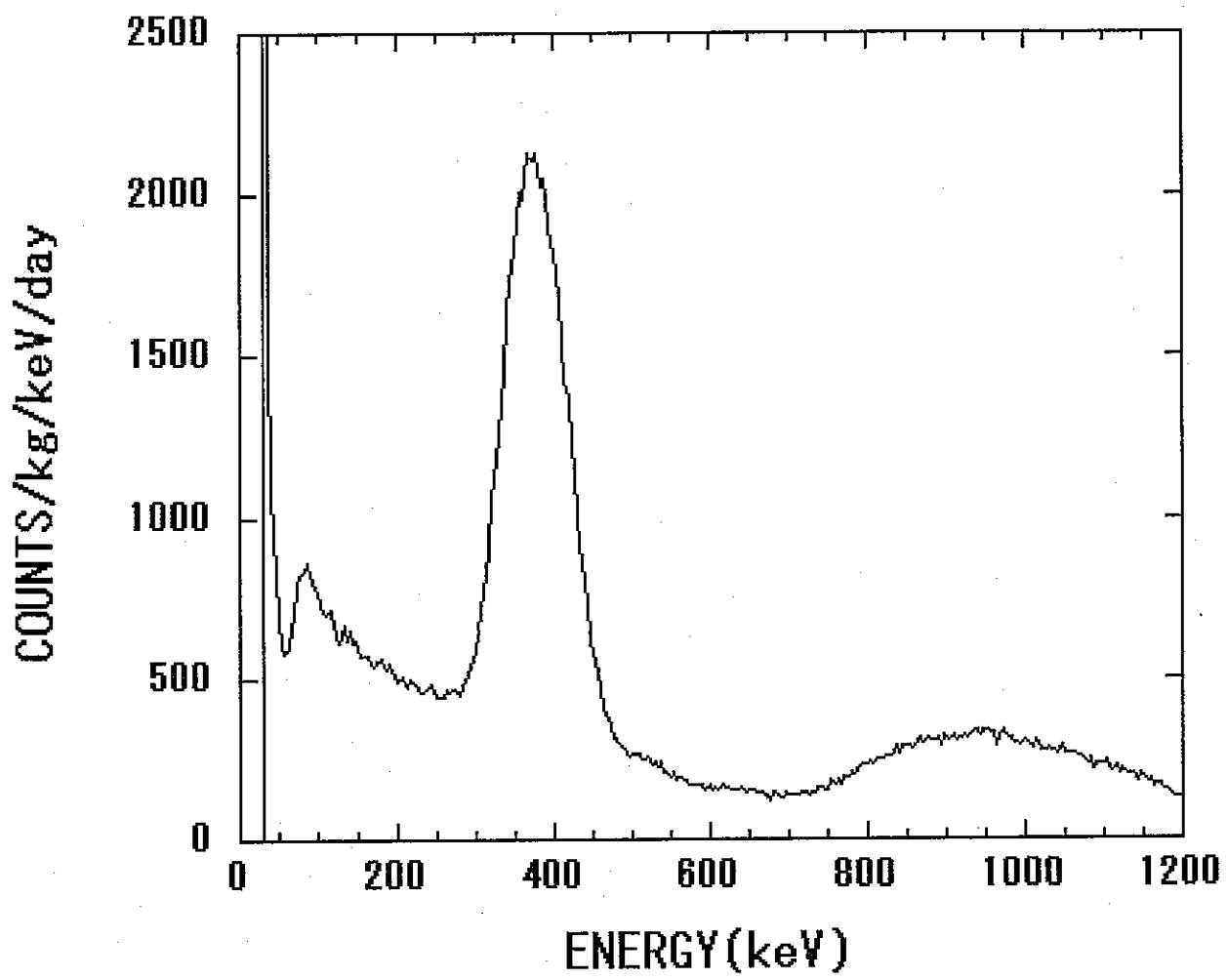


図 131: 中性子線源を置いた場合の GSO 検出器によるエネルギースペクトル。

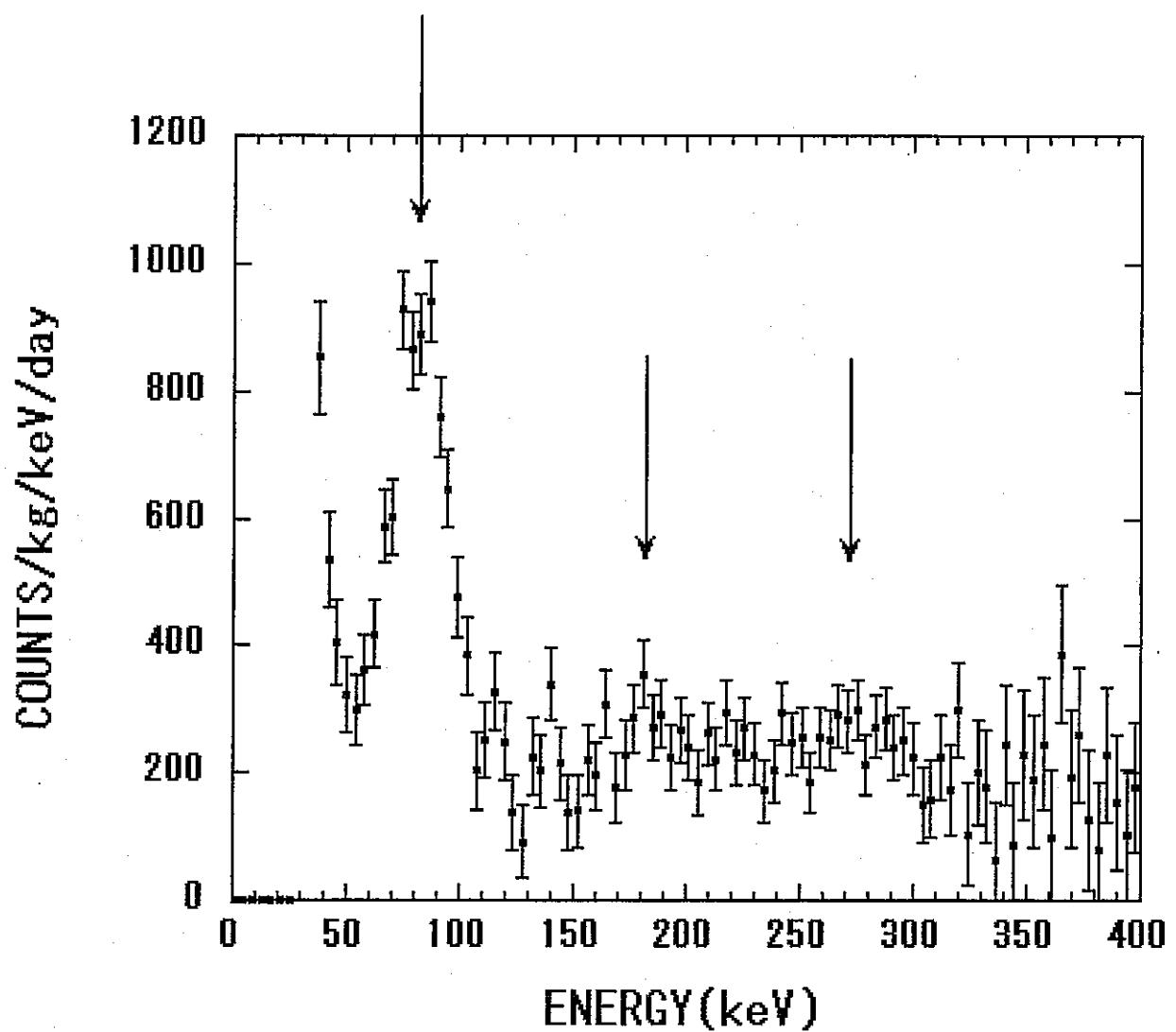


図 132: 中性子源を置いた場合のエネルギースペクトルから中性子源を置いていない場合のエネルギースペクトルを差し引いたエネルギースペクトル。

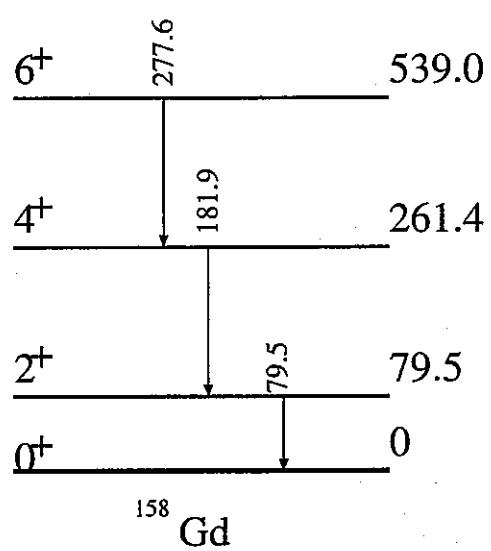


図 133:  $^{157}\text{Gd}$  のエネルギー順位図。

## 10.2 BaF<sub>2</sub>

中性子線源を置かない場合と、置いた場合のエネルギースペクトルを、それぞれ図134と図135に示す。

殆どエネルギースペクトルに変化が無いことが分かる。1000keV以下のエネルギー領域では、 $\gamma$ 線のコンプトン散乱による大きなバックグラウンドが観測されている。本来このエネルギー領域では、ウラン系列やトリウム系列の $\gamma$ 線による複数のピークが観測されてしかるべきである。しかし、BaF<sub>2</sub>のエネルギー分解能は662keVの $\gamma$ 線に対する半値全幅で16%であったため、 $\gamma$ 線のピークがあったとしても明瞭に観測することは困難である。

1000keV以上のエネルギー領域では、ウラン系列、トリウム系列の $\alpha$ 線による構造が顕著に見られる。一見この構造は $\gamma$ 線などの観測には重大なバックグラウンドになるように思われるが、BaF<sub>2</sub>シンチレーターは入射放射線の種類に対して蛍光信号の波形が異なることが知られている[24]。従って、波形弁別法による粒子弁別を行えば、これらの巨大なピークは $\gamma$ 線に対してバックグラウンドになることはない。

中性子と原子核との反応において紹介したように、BaF<sub>2</sub>シンチレーターに含まれる原子核は、中性子捕獲、非弾性散乱、原子核反応のいずれも大きな断面積を持たない。そのため、今回測定したような100keV以上の高エネルギー領域では中性子による影響は見られないと考えられる。確認のために、中性子源を置いた場合のエネルギースペクトルと中性子源を置かない場合のエネルギースペクトルの差を取ってみると図136の様になる。1000keV以下と1700keV付近で幅が大きくなっているのは、両者とも計数率が高いために統計精度が悪くなっていることによるもので、中性子による影響であるとは考えられない。

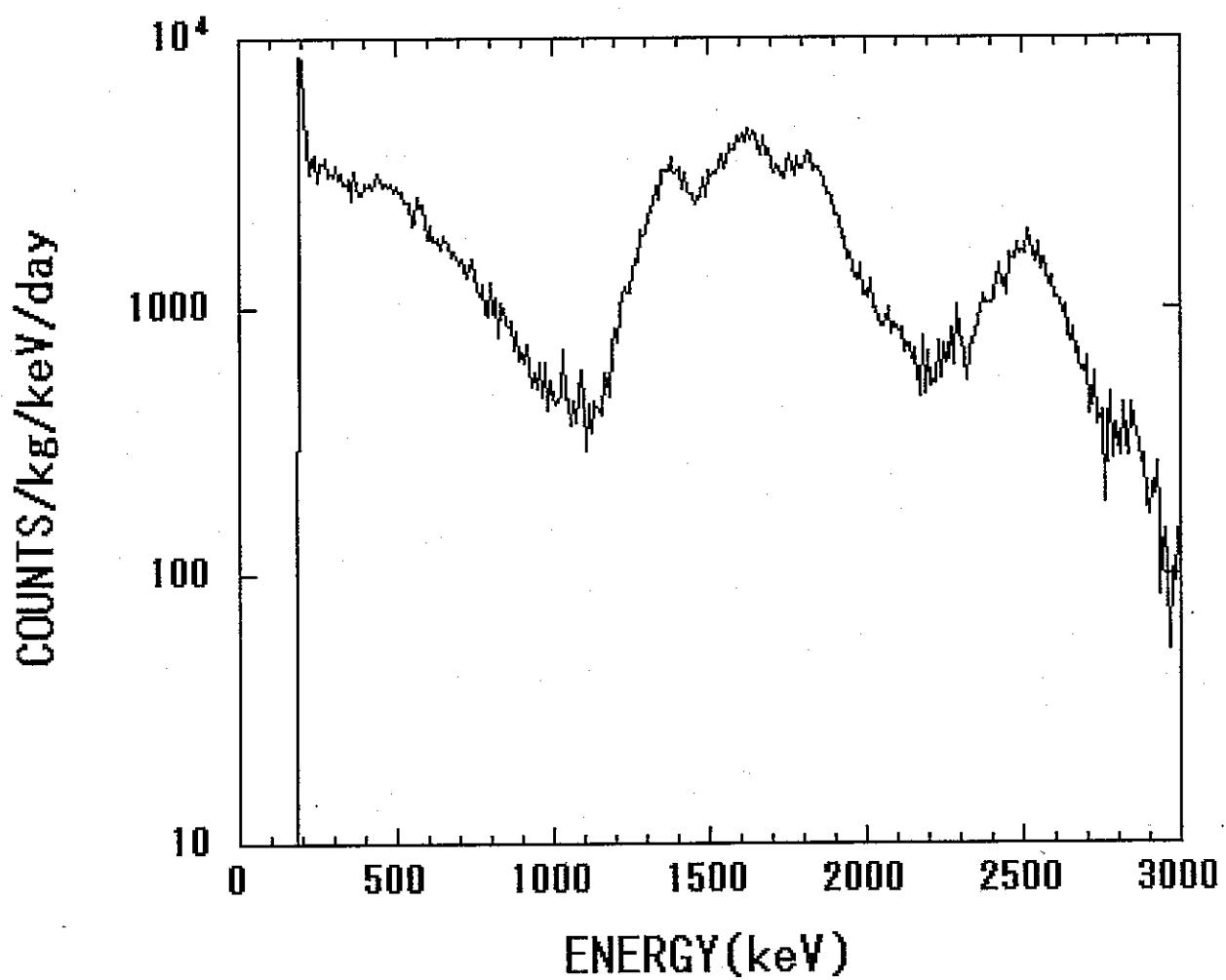


図 134: 中性子線源を置かない場合の  $\text{BaF}_2$  シンチレーターのエネルギースペクトル。

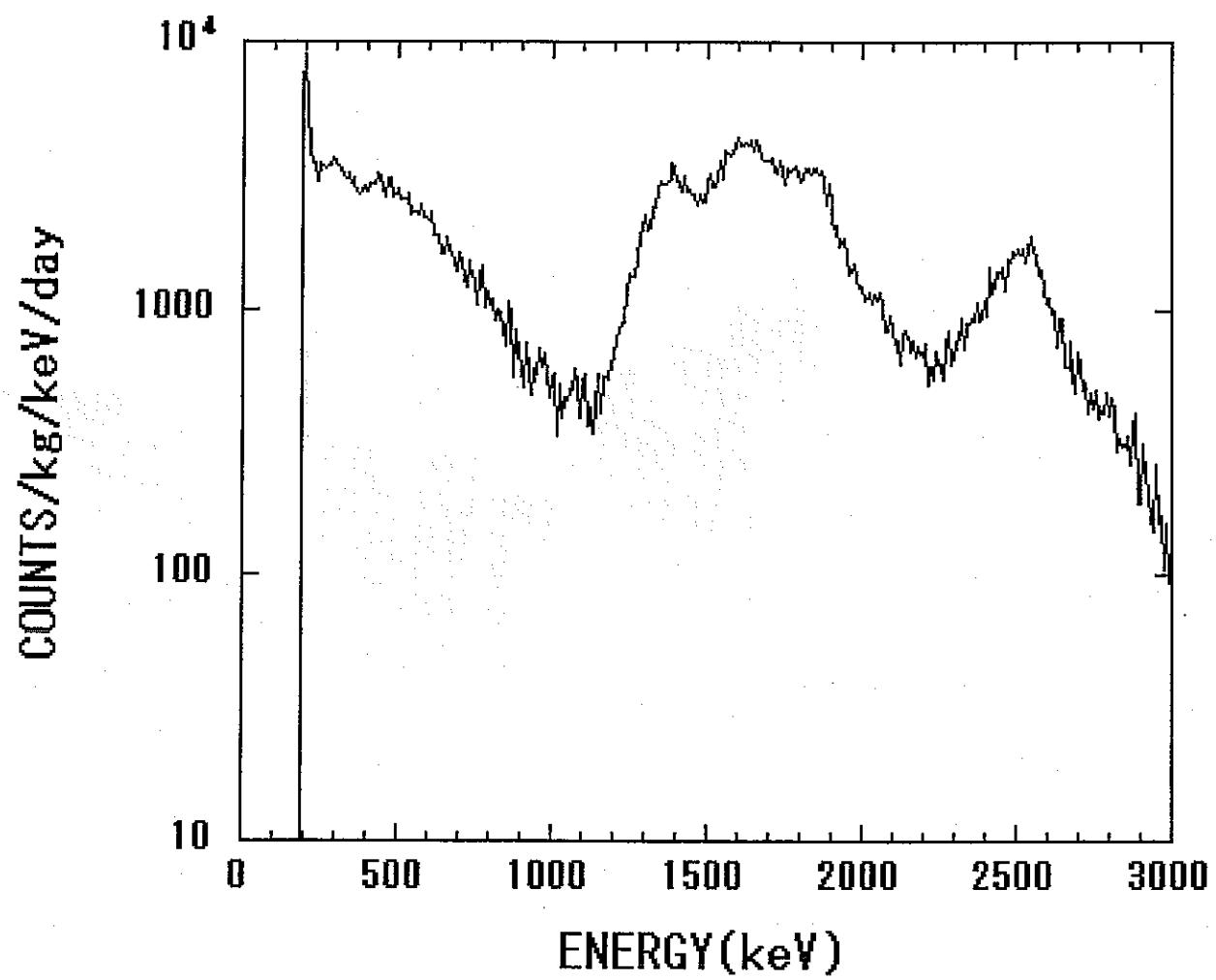


図 135: 中性子線源を置いた場合の  $\text{BaF}_2$  シンチレーターのエネルギースペクトル。

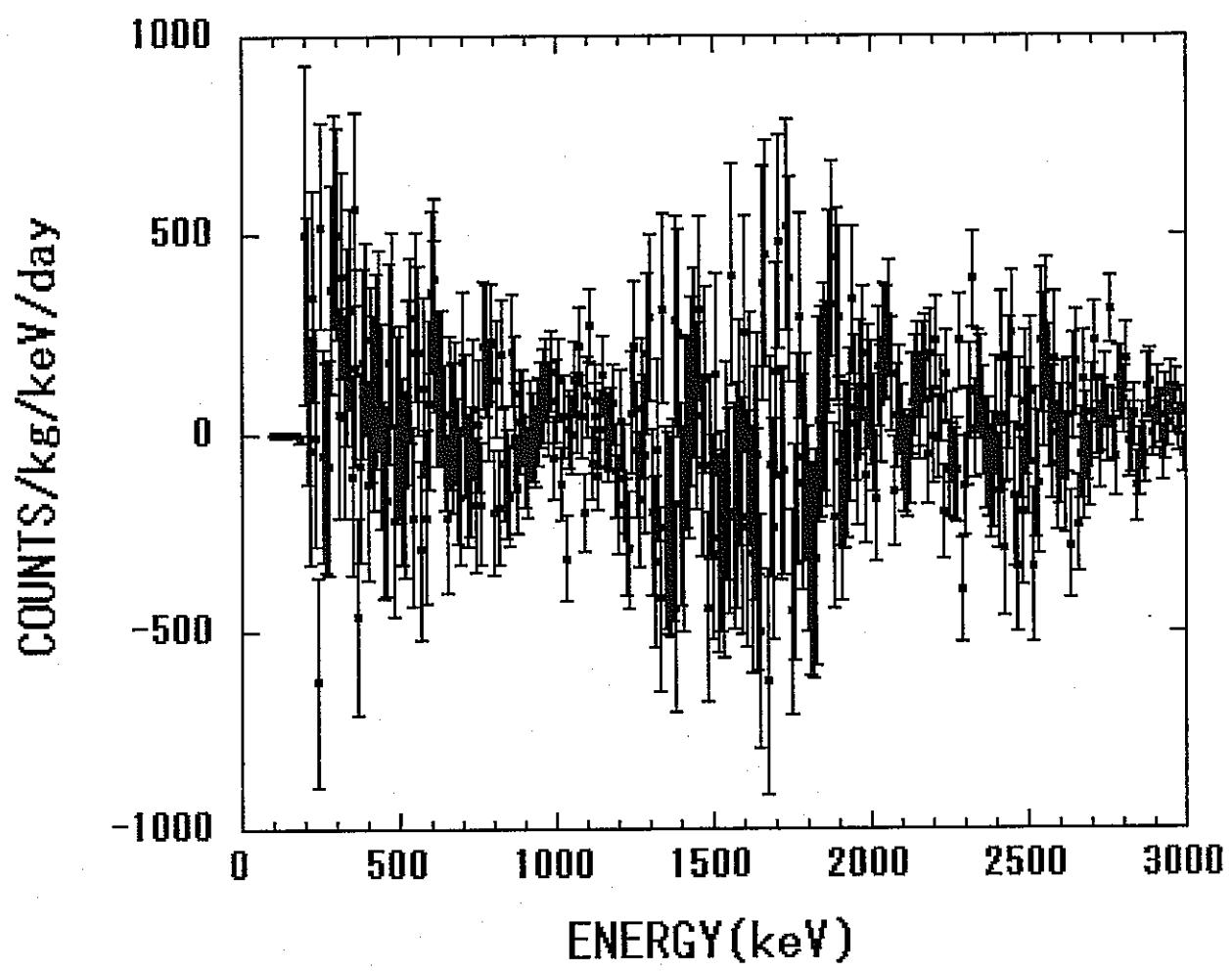


図 136: 中性子源を置いた場合と置かない場合のエネルギースペクトルの差。

### 10.3 BGO

中性子線源を置かない場合と、置いた場合のエネルギースペクトルをそれぞれ図137、図138に示す。高エネルギー領域では変化が見られないが、300keV以下の低エネルギー領域で両者のエネルギースペクトルに差が見られた。中性子源を置いた場合のエネルギースペクトルから中性子源を置かない場合のエネルギースペクトルを引いたエネルギースペクトルを図139に示す。

300keV以下のエネルギー領域に、エネルギーの増加に伴って単調に減少するエネルギースペクトルが得られた。これが中性子による弾性散乱のエネルギースペクトルと結論する事はできない。なぜならば、Am-Be中性子線源から放出される中性子の最大エネルギー  $E_n$  を元にBGOシンチレーターに存在する原子核が受け取る運動エネルギー  $E_R$  を計算すれば、式7より、100keV以下の運動エネルギーになる。重い原子核の運動による蛍光応答は、電子の運動による蛍光応答に較べて極めて小さくなる[25, 26]。そのため、電子のエネルギーによって較正された図のエネルギースペクトルでは、中性子の弾性散乱による反跳原子核のエネルギースペクトルは数keV以下のエネルギー領域に分布しなければならない。以上の様な事から、図139の低エネルギー領域に現れている構造は他の原因によるものであると考えられる。

その他の原因として、非弾性散乱を考慮してみると、低エネルギー領域に励起状態を持つ原子核は、表17より、 $^{73}\text{Ge}$ の13.2keVと68.8keVがある。しかしながら、いずれも極めて低いエネルギーであり、今回の測定結果を説明することはできない。今後の研究で、BGOの低エネルギー領域の変化について詳細に検討する必要がある。

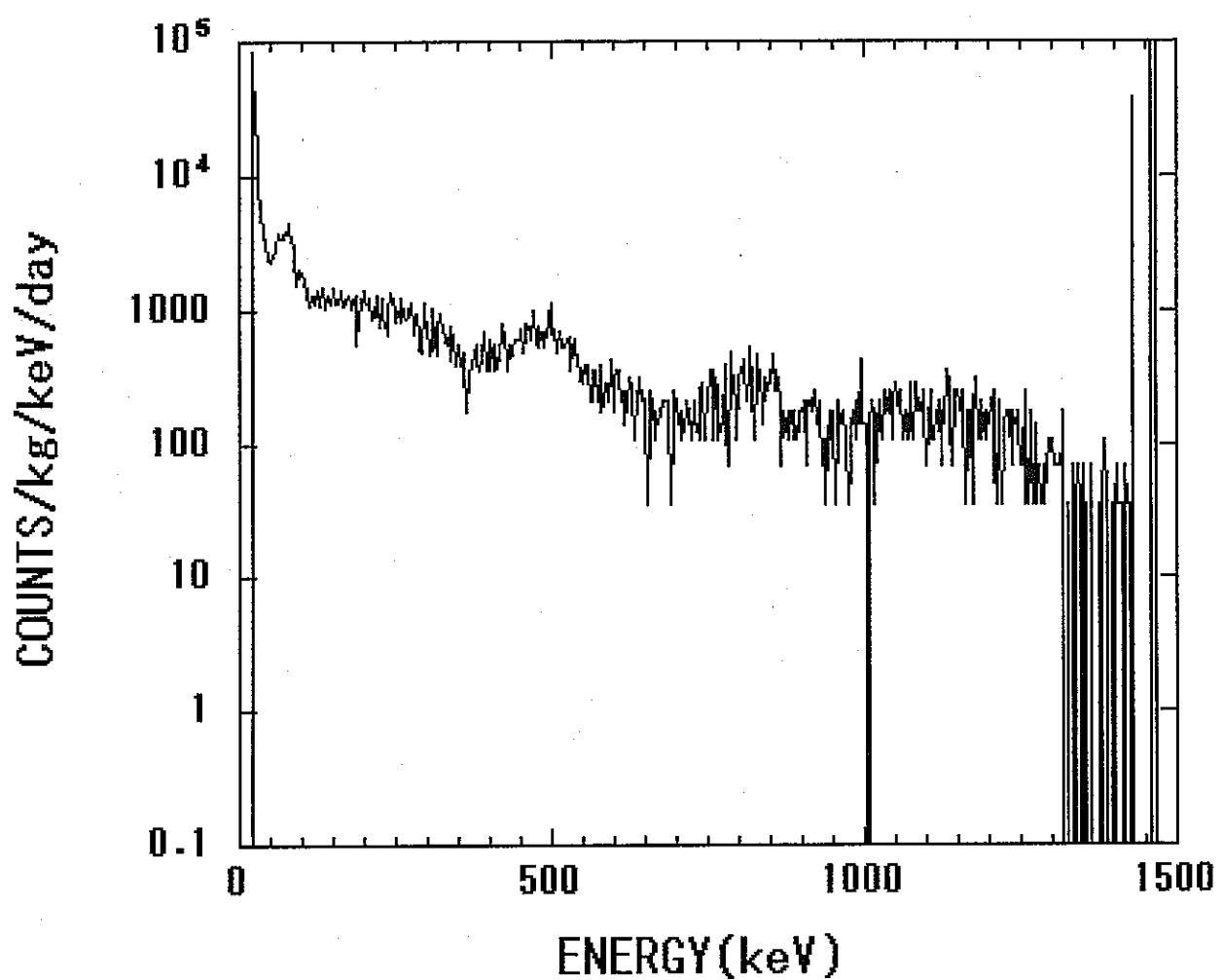


図 137: 中性子源を置かない場合のエネルギースペクトル。

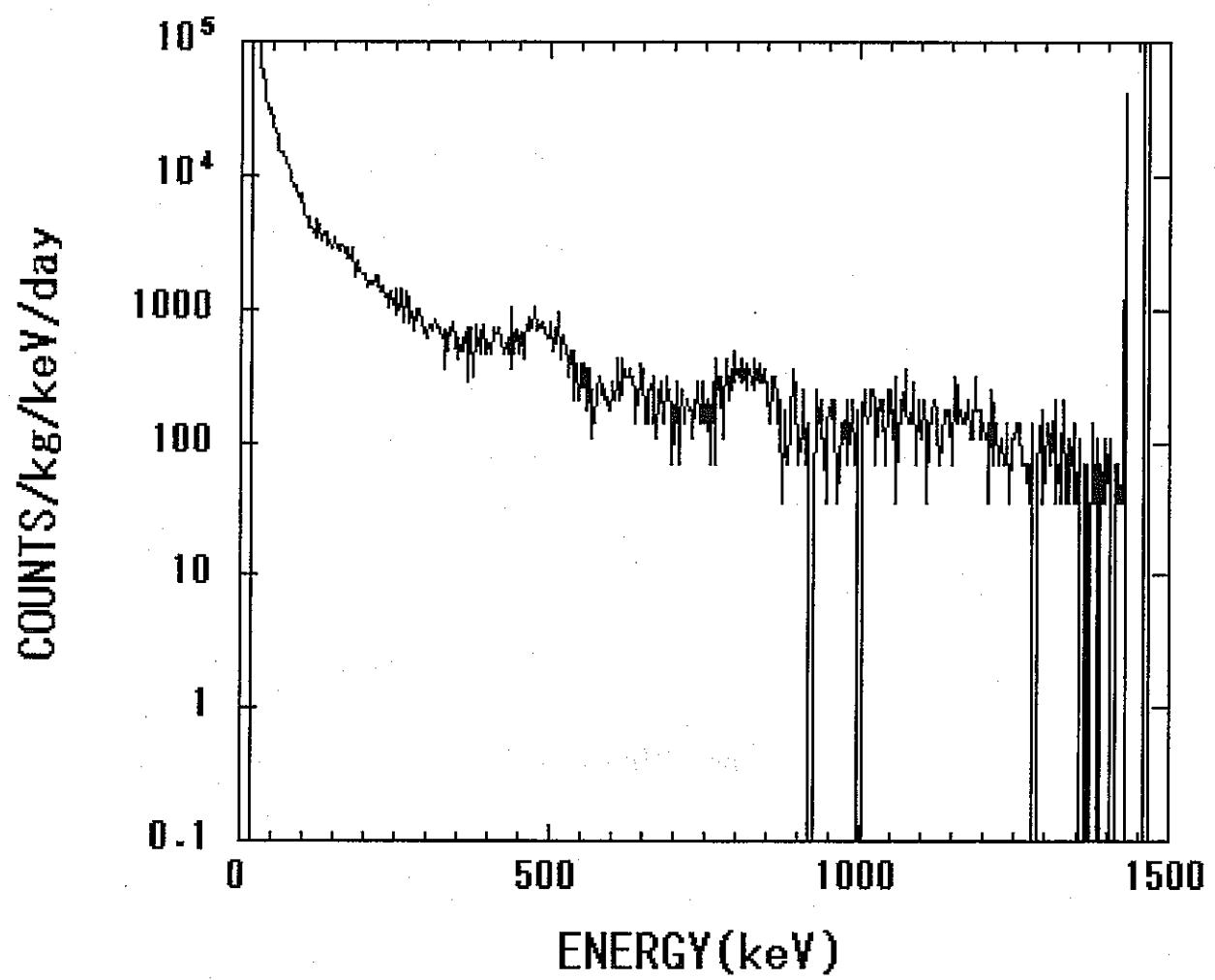


図 138: 中性子源を置いた場合のエネルギースペクトル。

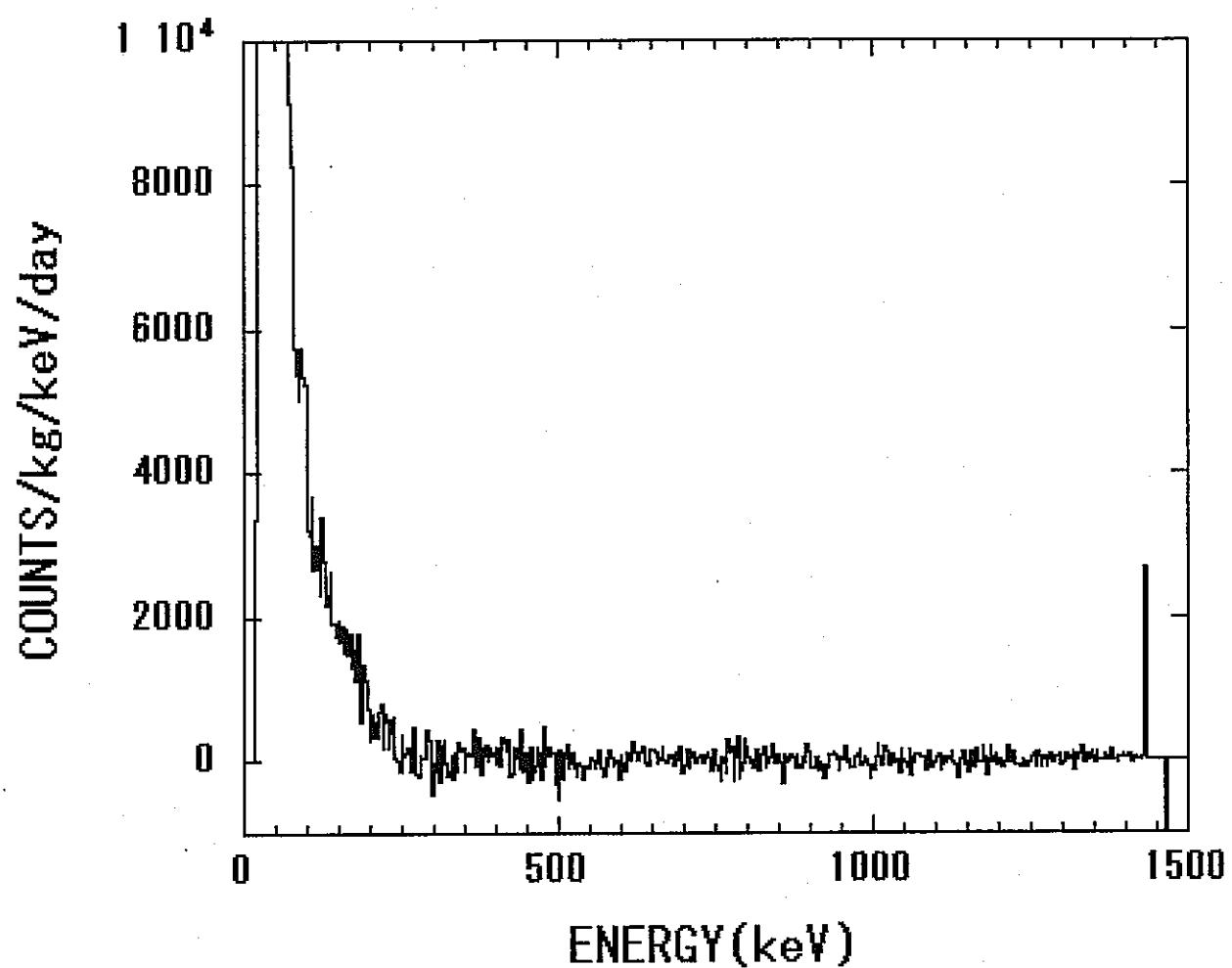


図 139: 中性子源を置いた場合と置かない場合のエネルギースペクトルの差。

## 11 測定結果の検討

今回の研究で測定したそれぞれのシンチレーターについて、中性子計測に対する有用性を評価する。

### 11.1 LSO,BaF<sub>2</sub>

LSO、BaF<sub>2</sub> の各シンチレーターは、いずれも中性子に対する感度が高くないことが確認された。これらのシンチレーターに含まれる原子核には、大きな中性子捕獲断面積をもつ原子核がなく、低エネルギーに中性子によって容易に励起される励起状態もない。したがって、これらのシンチレーターで中性子を検出するためには、原子核と中性子との弹性散乱を観測する以外に方法がない。中性子によって反跳された原子核による蛍光応答は無機シンチレーターの場合、一般的に極めて小さいため、中性子による信号は数 keV 以下の超低エネルギー領域に分布することが予想される。このような低エネルギー領域は、回路計のノイズによる擾乱が大きいため長期間の安定した測定を要する環境中性子測定には不適である。

さらに、LSO シンチレーターには、天然放射性同位元素である <sup>176</sup>Lu が 2.61% 含まれている [20]。そのため、LSO 自身のエネルギースペクトルは前節までに紹介したように、<sup>176</sup>Lu による固有バックグラウンドの影響が大きい。<sup>176</sup>Lu の半減期は  $3.79 \times 10^{10}$  年であるので、LSO シンチレーターが 1kg あった場合の <sup>176</sup>Lu による固有バックグラウンドの計数率は、

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N \quad (10)$$

ここで、

$$\begin{aligned} T_{1/2} &= 3.79 \times 10^{10} \text{年} \\ &= 1.20 \times 10^{18} \text{秒} \end{aligned} \quad (11)$$

は、半減期を秒の単位に換算したもの、

$$\begin{aligned} N &= 2 \cdot a \cdot N_A \cdot \frac{1000(\text{g})}{174.967 \times 2 + 28.055 + 15.994 \times 5} \\ &= 6.861 \times 10^{22} \end{aligned} \quad (12)$$

は、LSO シンチレーター 1kg に含まれる <sup>176</sup>Lu の個数の計算で、 $a$ 、 $N_A$  は、それぞれ <sup>176</sup>Lu の存在比及びアボガドロ数である。以上の値から、LSO シンチレーター 1kg の固有バックグラウンドは  $3.98 \times 10^4 \text{Bq/kg}$  となる。この固有バックグラウンドの問題を解決しなければ、環境中性子の計測はもとより、環境  $\gamma$  線の計測に対しても重大な感度不足となるであろう。

BaF<sub>2</sub> シンチレーターは、1MeV 以上のエネルギー領域に見られる  $\alpha$  線のピークが顕著であるため、一見バックグラウンドが大きいと考えられるが、BaF<sub>2</sub> シンチレーターの蛍光信号波形は、放射線の種類によって大きく異なることが分かっている [24]。したがって、波

形弁別法を適用する事によって、 $\alpha$ 線によるバックグラウンドは問題なく除去する事ができる。しかし、前述の様に、弾性散乱以外の中性子測定方法が無いため、BaF<sub>2</sub>を中性子検出に応用することは困難である。

## 11.2 BGO

BGOシンチレーターは、中性子の照射によって低エネルギー領域のエネルギースペクトルに変化を生じた。この差は、前節の議論に示すように中性子照射による変化であるか否かの確証がない。

バックグラウンドに関しては、BGOは $^{207}\text{Bi}$ による影響が無視できない。ビスマス鉱石に含まれる $^{206}\text{Pb}$ が宇宙線によって $^{207}\text{Bi}$ に核転換する。この $^{207}\text{Bi}$ は半減期38年であるため、鉛を含む鉱石から精製されたビスマスで作られたBGOは不純物によるバックグラウンドを多く含む[27]。図140に $^{207}\text{Bi}$ の崩壊図式を示す。図128に示すように、固有バックグラウンドの中に $^{207}\text{Bi}$ に起因すると考えられる $\gamma$ 線のピークが500keV、1000keVおよび1700keVの付近に観測されている。

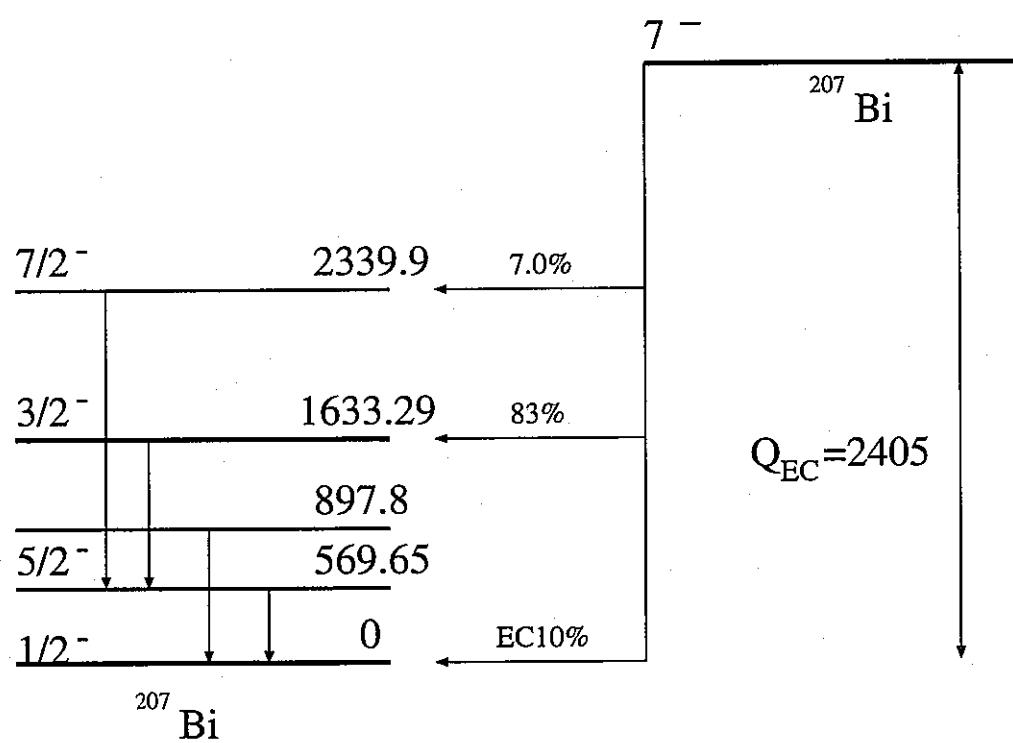


図 140:  $^{207}\text{Bi}$  の崩壊図式。

### 11.3 GSO

GSO シンチレーターをインストールした遮蔽体に中性子を照射すると、明瞭な  $\gamma$  線のピークが観測された。線源を置いたエネルギースペクトルから線源を置かないエネルギースペクトルを引いたエネルギースペクトルの中で、50keV から 250keV の間のエネルギー領域で計数率の増加がみられた。これは、 $^{157}\text{Gd}$  の中性子捕獲に伴う 79.5keV の  $\gamma$  線と 180keV の  $\gamma$  線による影響であると考えられる。そこで、このエネルギー領域の計数率を求め、中性子に対する検出効率を計算した。 $^{157}\text{Gd}$  の熱中性子に対する捕獲断面積は極めて大きいので、熱中性子は GSO 検出器の表面からわずか 10 数マイクロメートルの深さで完全に吸収されてしまう。従って、GSO シンチレーターによる中性子の効率を計算するためには、中性子線源からみた GSO の表面積だけが明らかになっていればよい。今回の測定では、全て円柱状の GSO の円形断面側から中性子を照射したので、検出効率  $\epsilon$  は次の様な計算で求められる。

$$\epsilon = \frac{4\pi d^2 Y}{NS} \times 100(\%) \quad (13)$$

ここで、 $d$ 、 $S$  はそれぞれ中性子線源と GSO 表面までの距離、GSO 検出器の表面積である。 $Y$ 、 $N$  はそれぞれ単位時間に計数された中性子による事象の数、および中性子線源から単位時間あたりに放出される中性子の数である。

今回実験に使用した Am-Be 中性子線源から放出される中性子の数は、Knoll のテキストに示されている中性子収量の計数 70neutrons/ $10^6\alpha$  を用いて計算する事ができる [27]。中性子線源に組み込まれている  $^{241}\text{Am}$  の強度は 3.7MBq である。 $^{241}\text{Am}$  の放射能は購入時より弱っているはずではあるが、 $^{241}\text{Am}$  の半減期が 432 年であるため、減衰は無視した。以上の値を用いて中性子の放出率を計算すると、 $N = 260\text{n}/\text{s}$  の高速中性子が放出されていることがわかる。今回の測定結果では、検出効率は 17.8% となり、今までの研究による値に一致している [28, 29, 30]。

GSO シンチレーターを環境中性子モニターに使用する際には、下記に示す注意事項をもとに検出器システムを設計すれば良い。

#### 1. 中性子の効率的な減速

GSO は熱中性子の中性子捕獲によって発生する  $\gamma$  線を検出する方法で中性子を検出するため、高速中性子を効率的に減速させて GSO に照射しなければならない。そのためには、GSO シンチレーターを少なくとも厚さ 5cm のパラフィンで遮蔽する必要がある。

#### 2. $\gamma$ 線によるバックグラウンドの除去

GSO シンチレーターによる中性子の信号は、80keV 付近および 180keV 付近に観測される。特に 80keV 付近では極めて鮮明な  $\gamma$  線のピークが観測された。ところが、このエネルギー領域は環境放射線による高エネルギー  $\gamma$  線によるバックグラウンドによる計数が大きいため、鉛などの重遮蔽物質で厳重に遮蔽する必要がある。しかしながら、鉛による遮蔽では、鉛の KX 線 74keV が中性子による  $\gamma$  線の信号と重なる。そこ

で、鉛から発生する X 線を遮蔽するために高純度の無酸素銅を 5mm挿入する事で、X 線の影響を無視できる程度にまで低減する事が可能である。

### 3. 薄型の GSO

GSO シンチレーターによる中性子検出効率を議論した際に述べたように、中性子検出のためには薄い GSO シンチレーターであることが重要である。そこで、厚さ 1mm の GSO 板状シンチレーターを使うとよい。ただし、このシンチレーターを光電子増倍管に直接接着すると、蛍光発生点における光電子増倍管のゲインの個性が強く出てしまうため、同じエネルギーの  $\gamma$  線に対しても反応位置によって出力信号電圧が異なってしまうことがある [27]。そこで、光電子増倍管の代わりにアバランシェフォトダイオードを使用する方法がある。これは位置による信号出力の不均一性がないため、大面積の検出器に対しても良いエネルギー分解能を期待することができる。

### 4. 異なる構成の GSO を組み合わせる

GSO をパラフィンで囲んだ検出器システムによる計測では、計測された中性子について、

- (a) 高速中性子が減速された結果、熱中性子になったもの。
- (b) もともと熱中性子であったものが GSO に吸収され、検出されたもの。

の区別が付かない。そこで、パラフィンで囲んだ GSO とパラフィンで囲まない GSO のそれぞれの計数率を比較して、環境中性子の構成を知ることができる。パラフィンで囲まない GSO では、もともと熱中性子であった中性子だけが観測される。そのため、パラフィンで囲んだ GSO と囲まない GSO のそれぞれで測定した中性子の計数を差し引くことで、高速中性子による信号強度を知ることができる。

## 11.4 GSO による環境中性子モニターの提案

前節で紹介した項目に注意しながら環境放射線モニターシステムを開発するには、薄型GSO、大面積アバランシェフォトダイオードおよびパラフィン、鉛、銅の各遮蔽材料が必要になる。

薄型GSOは数mmの厚さがあれば熱中性子の測定には十分である。そこで、数cm四方で厚さ数mmの薄型大面積GSOシンチレーターを大面積アバランシェフォトダイオードに接続し、熱中性子の測定を行えば良い。二組のシンチレーション検出器を、一つはパラフィン、無酸素銅と鉛で遮蔽し、もう一つは無酸素銅と鉛で遮蔽してモニタリングスポットに設置する。

データ解析にはエネルギースペクトルを測定する必要はない。GSOシンチレーターの場合には、前節で説明したように80keVと180keVの $\gamma$ 線エネルギー領域の計数率が変化する。そこで、このエネルギー領域の計数率をモニターしておき、異常な計数率が観測されたときに警報を発するように装置を設定しておけばよい(図141参照)。

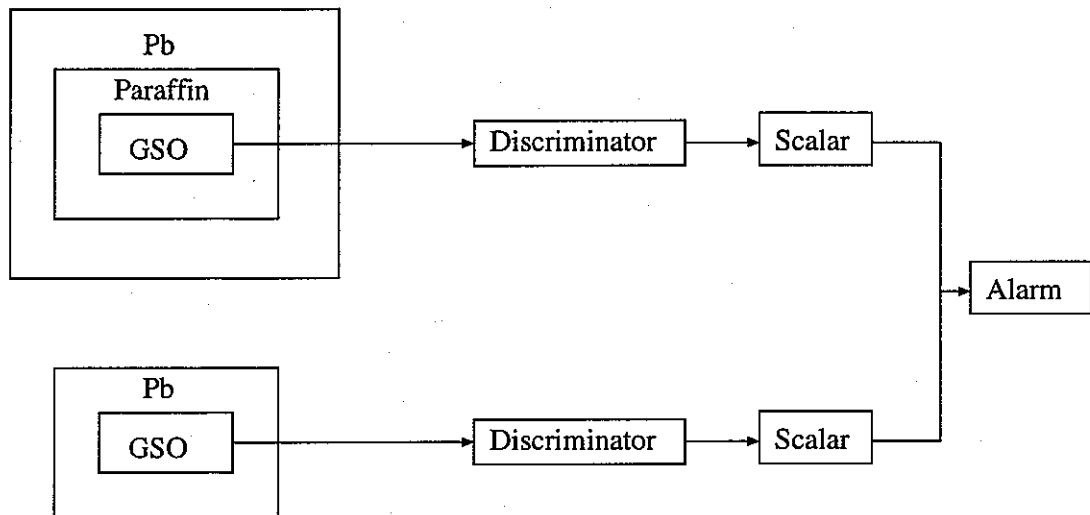


図 141: GSO による環境中性子モニターの構成図。GSO、Pb、Paraffin : GSO シンチレーター、鉛遮蔽（無酸素銅を内側に張ってある）、パラフィン減速剤。Discriminator : 信号弁別器、GSO による信号のうち、中性子検出に必要なエネルギー領域の信号が来た場合に真的論理信号を出力する。Alarm : 異常な計数率を観測したときに警報を発する装置。

## 12 まとめと展望

本研究では、環境中性子のモニタリングシステムを開発するため、無機シンチレーターの特性を測定した。LSO や BaF<sub>2</sub> シンチレーターは、検出器固有のバックグラウンドが大きいこと、及び感度の高い非弾性散乱や熱中性子捕獲の反応断面積が小さいため、中性子計測には不適であることを明らかにした。

BGO シンチレーターは、低エネルギー領域で中性子源の有無による変化が見られたが、これについては現在原因が不明である。今後測定システムを検討、改良して明確な信号が得られるのであればそれを明らかにしたい。

GSO シンチレーターは、中性子を照射することによって低エネルギー領域に  $\gamma$  線の明瞭なピークが観測された。以前の GSO シンチレーターは、ウラン系列の不純物が高濃度で含まれていたが、現在ではその量は飛躍的に少なくなっていて U 系列や Th 系列で 1ppb 以下である [31]。したがって、極めて微弱な環境中性子に対する感度も十分高く、原子炉の異常による極めて微弱な中性子の漏れなどにも十分な感度でモニタリングを行うことが可能である。これまで一般に広く使われて来た BF<sub>3</sub> カウンターでは十分な感度で測定できなかつた微弱な中性子をモニターすることができる検出器として期待する事ができる。

今後は、GSO シンチレーターを組み合わせた中性子モニターの実機を製作し、中性子線源を用いて検出感度の評価、機器の安定性、モニタリングの容易さを調べることが急務である。

次に将来の無機シンチレーターとして調査する必要のある検出器を紹介する。今回の研究では調べていない重要なシンチレーターとして CdWO<sub>4</sub> がある。CdWO<sub>4</sub> に 12.2% 含まれる <sup>113</sup>Cd の中性子捕獲断面積が  $9.3 \times 10^4$ barn と極めて大きいために、中性子の吸収剤として広く使われている。ところが、<sup>113</sup>Cd は安定な原子核ではなく、半減期  $9.3 \times 10^{15}$  年で  $\beta$  崩壊する放射性同位体である。一見この  $\beta$  崩壊のためにバックグラウンドが極めて大きくなると考えてしまうが、 $Q_\beta = 0.322\text{MeV}$  と低いため、中性子捕獲で観測されるであろう 558keV の  $\gamma$  線には影響しない。CdWO<sub>4</sub> に含まれるその他の放射性不純物濃度は、<sup>116</sup>Cd の二重ベータ崩壊を研究するグループによって詳細に研究され、極めて高純度で大型の結晶が製作されるようになっており [32]、U,Th 系列の放射性核種について 3 ~ 6mBq/kg という超高純度の結晶が得られる。

<sup>113</sup>Cd の中性子捕獲によって作られる <sup>114</sup>Cd の励起状態は、最も低いエネルギーに 558keV、その次には、1134keV から 1364keV までの間に 5 個のエネルギー順位が存在する。低エネルギー  $\gamma$  線が観測された GSO とは対照的に、CdWO<sub>4</sub> では高エネルギー  $\gamma$  線のみが放出されるため、 $\gamma$  線を十分に吸収させることのできるような大型のシンチレーターが必要になる。このことは超薄型のシンチレーターによって小型化の可能性をもつ GSO に較べて不利な特徴であると考えられる。

もう一つの有効な無機シンチレーターは NaI(Tl) である。NaI(Tl) シンチレーターは大量生産が確立しているため、大変安価に大容量かつ高純度な検出器を準備することが可能である。NaI(Tl) と高速中性子の反応は、弾性散乱と <sup>127</sup>I の第一励起状態 (57.6keV) への非弾性散乱である。これらの反応に対する蛍光応答は既に K.Fushimi らによって報告されてお

り [21]、高い感度で高速中性子のみを検出する事が可能である。

NaI(Tl) を使用した高速中性子の計測には、57.6keV の  $\gamma$  線強度の変化をモニタリングしていればよい。この反応は高速中性子との非弾性散乱であるから、NaI(Tl) 検出器の容積(質量) が大きければ大きいほど感度が高くなる。したがって、必要に応じた体積の NaI(Tl) シンチレーターを用意して鉛、無酸素銅の遮蔽によって低バックグラウンド測定を行えば、極めて高い感度の高速中性子計測が可能であろう。

NaI(Tl) の純度については、現在 U 系列に対して 1ppt のレベルまで高い結晶が安価で大量に製作されている [33]。このような高純度 NaI(Tl) を用いれば、十分な遮蔽材をもって環境  $\gamma$  線を除去すればこれまでの中性子検出器に較べて数桁以上感度の高い中性子モニターを開発することが可能である。

これら、CdWO<sub>4</sub>、NaI(Tl) のシンチレーターについて、高速中性子および熱中性子に対する感度を評価する必要がある。

## 第IV部

### 結語

第Ⅱ部においては有機液体シンチレータを利用した熱中性子・速中性子同時測定システムの開発状況について述べた。本年度は、昨年度に使用開始した濃縮<sup>10</sup>B入りの液体シンチレータの速中性子測定への応用を図った。まず、昨年度に使用した液体シンチレータを拡張し、<sup>10</sup>B濃度を溶媒で希釈して使用することで、比較的低廉な大型検出システムの構築が可能であることを示した。また、この液体シンチレータの発光効率は、希釈する前と比べ、せいぜい半分程度にしか落ち込まず、今回の測定領域においては充分な発光量を持つ事を示した。そして、この液体シンチレータを速中性子測定に使用し、回路等の構築、調整により、速中性子測定に充分な性能を持つ事を示した。特に、反跳陽子と遅延発生 $\alpha$ 線の同時計数法が実証されたことを示した。シミュレーション計算を実施して、本システムで得られた実験値の検証、本システムの検出特性、熱中性子と速中性子に対する検出特性の比較調査の結果を述べた。同時に、シンチレータ素材について検討、簡便な計測回路の開発についても述べた。特に、今回の特性調査により、本システムが熱中性子に対しても50%近い検出効率を持ち、感度が高い検出器であることが判明した。今後の、熱中性子・速中性子の同時検出システムの構築も可能である。なお、シミュレーション計算については、反跳陽子と崩壊 $\alpha$ 線との弁別を可能とする改良が必要である。

第Ⅲ部においては、長期保守の比較的容易な無機シンチレータを用いた環境中性子モニタシステムの開発研究について述べた。今回は、LSO、BaF<sub>2</sub>、BGO、そしてGSOについて中性子線に対する応答を測定した。その結果、LSO、BaF<sub>2</sub>は検出器固有のバックグラウンドが大きい事、及び中性子測定に感度の高い非弾性散乱や熱中性子捕獲反応の断面積が小さいため、中性子計測に不適である事を示した。BGOについては、不明瞭ながらも中性子に対する応答信号を得た。GSOについては、中性子に応答し、低エネルギー領域に明瞭な $\gamma$ 線の応答ピークを得た。今後、微弱な環境中性子モニターとして発展を期待する事ができる。その他、CdWO<sub>4</sub>、NaI(Tl)についても中性子束検出器としての可能性を追求した。

## 参考文献

- [1] KamLand collaboration,(2002)
- [2] R.Hazama,Doctor Thesis,Osaka Univ.(1998)
- [3] D.Yokoyama,Master Thesis,Osaka Univ.(2002)
- [4] S.Yoshida,private communication.
- [5] S.Umehara,private communication.
- [6] H.Sakai,Master Thesis,Osaka Univ.(2002)
- [7] A.Katsuki,Master Thesis,Osaka Univ.(2002)
- [8] T.Nitta,Master Thesis,Osaka Univ.(1996)
- [9] 若狭湾エネルギー研究センター,核燃料サイクル開発機構契約業務報告書 JNC TJ 4400  
2002-002 (2002)
- [10] T.Aoyama Nucl.Inst.Method(1993)
- [11] V.Chazal,et.al. Astrop.Phys.(1998)
- [12] M.Lindozzi and S.Miozzi A.rindi, F.Celani. Nucl.Inst.Method(1988)
- [13] T.Kishimoto, T.Shibata, M.Iwamura, S.Shibata and U.Uwamino  
Nucl.Part.Phys.(1992)
- [14] T.Shibata, K.Okada, T.Shimada, H.Iwata and T.Mizuta Technical report(1982)
- [15] H.R.Hashemi-Nezhad and L.S.Peak. Nucl.Inst.Method(1995)
- [16] <http://www.bicron.com/>
- [17] <http://psux1.kek.jp/~omata/>
- [18] 小俣和夫, INS-T 57-69(1996)
- [19] <http://www.werc.or.jp/>
- [20] C.Michael Lederer et al. Edited, Table of Isotopes 7th Ed., A Wiley-Interscience Publication.
- [21] K.Fushimi et al., Physical Review C47 (1993) R425.
- [22] 梶本勇介, 卒業論文徳島大学総合科学部 (2001).

- [23] 村上悠紀雄他編,『放射線データブック』,(1982)地人書館.
- [24] L.E.Dinca et al., Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. **A** **486** (2002) 141.
- [25] J.Lindhard et al., K. Dan. Vidensk. Selsk., Mat.-Fys. Medd. **33** (1963) 10.
- [26] J.Lindhard et al., K. Dan. Vidensk. Selsk., Mat.-Fys. Medd. **36** (1968) 10.
- [27] G.F.Knoll, Radiation Detection and Measurement, 3rd Edition, 木村逸郎、阪井英次訳, 日刊工業新聞社 (2001).
- [28] P.L.Reeder, Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. **A** **340** (1994) 371.
- [29] P.L.Reeder, Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. **A** **353** (1994) 134.
- [30] Y.Uozumi et al., J. Nucl. Sci. Tech. **34** (1997) 80.
- [31] T. Kamae et al., Nucl. Instr. Meth. **A490** (2002) 456.
- [32] F.A.Danevich et al., Nucl. Phys. **B** (Proc. Suppl.) **48** (1996) 235.
- [33] R.Bernabei et al., Phys. Lett. **B450** (1999) 448 .
- [34] W.R.Leo, Techniques for Nuckear and Particle Physics Experiments, 2nd Edition, Springer-Verlag(1994).

## A BC523A 仕様

今回の測定に使用した Bicron 社製 BC523A の仕様を以下に掲載した [16]。

**BICRON  
MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

**PRODUCT: BC-523A**

**EMERGENCY PHONE NO.  
(440) 564-2251**

**SECTION 1 SUPPLIER INFORMATION**

COMMON NAME : BC-523A  
CHEMICAL NAME : 1,2,4-trimethylbenzene and methyl borate  
FORMULA : Proprietary  
PRODUCT CAS # : 95-63-6, 121-43-7  
SUPPLIER : BICRON  
ADDRESS : 12345 KINSMAN ROAD  
CITY/STATE/ZIP : NEWBURY, OH 44065  
PHONE : (440)564-2251  
TELEFAX : (440)564-8047

**SECTION II HAZARDOUS INGREDIENT INFORMATION**

INGREDIENT	%WT.	PEL-OSHA	TLV-ACGIH
Methyl borate	< 60.0	Not determined	Not determined
1,2,4-trimethylbenzene	> 30.0	25ppm	Not determined

INGREDIENT HAZARD STATEMENT N/A  
NOTE:

**SECTION III PHYSICAL/CHEMICAL CHARACTERISTICS**

BOILING POINT : 156°F; 68.9°C  
SPECIFIC GRAVITY (H<sub>2</sub>O=1) : 0.93  
MELTING POINT : N/A  
VAPOR PRESSURE (mmHg) : 132 @ 77°F  
VAPOR DENSITY (air=1) : >1.0

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

Page 2 Date:July 20, 1999

**EVAPORATION RATE (BUTYL ACETATE=1):** >1.0  
**% SOLUBILITY/WATER:** Decomposes

**APPEARANCE AND ODOR:** Clear, colorless liquid with sharp odor.

**SECTION IV FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA**

**FLASH POINT:** -8°C; 17°F (Tag closed cup)

**AUTO-IGNITION:** Not determined

**LEL:** N/A

**UEL:** N/A

**NFPA HAZARD CLASSIFICATION** Not listed

**HEALTH:** N/A **FLAMMABLE:** N/A **REACTIVITY:** N/A

**HMIS HAZARD CLASSIFICATION** Not listed

**HEALTH:** N/A **FLAMMABLE:** N/A **REACTIVITY:** N/A

**EXTINGUISHING MEDIA:** Water fog, CO<sub>2</sub>, dry chemical.

**SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES:** Wear pressure demand self-contained breathing apparatus.

**UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS:** None

**SECTION V REACTIVITY DATA**

**STABILITY:** Stable

**AVOID:** Exposure to flame and sparks.

**INCOMPATIBILITY:** Water decomposes methyl borate to methanol and water.

**HAZARDOUS DECOMPOSITION OR BY-PRODUCTS:** Methanol

**POLYMERIZATION:** Will not occur

**AVOID:** N/A

## SECTION VI HEALTH HAZARD DATA

### ROUTES OF ENTRY

EYES: Yes SKIN: Yes INHALATION: Yes INGESTION: Yes

### EFFECTS OF OVEREXPOSURE

EYE: Causes severe irritation if splashed in eye.

SKIN: Liquid will dry skin.

INHALATION: May cause irritation. Vapor may cause mucous membrane irritation.

INGESTION: May cause methanol poisoning. See note below.

NOTE: If methyl borate is swallowed, it is believed that it will cause methanol poisoning. Some symptoms are nausea, abdominal pain, headache, shortness of breath, visual disturbances, blindness, coma and death.

CARCINOGENICITY: Not listed.

NTP: N/A IARC: N/A OSHA: N/A

CHRONIC HEALTH HAZARD: Not determined.

MEDICAL CONDITIONS GENERALLY AGGRAVATED BY EXPOSURE: Not determined.

### EMERGENCY FIRST AID

EYE AND SKIN CONTACT: Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, holding eyes open. If contact is made with skin, remove contaminated clothing. Flush skin with plenty of water for at least 15 minutes.

INHALATION: Remove to fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Call a physician.

**INGESTION:** POISON! Give two glasses of water and permit vomiting if conscious. Never give anything by mouth to an unconscious person. Call a physician immediately.

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

Page 4 Date: July 20, 1999

**SECTION VII PRECAUTIONS FOR SAFE HANDLING AND USE**

**EPA: WASTE #:** Not listed

**UN #:** 2416

**DOT CLASSIFICATION:** Flammable liquid N.O.S., 3, III

**STEPS TO BE TAKEN IN CASE MATERIAL IS RELEASED OR SPILLED:**

Eliminate all sources of ignition. Ventilate area. Wear recommended protective gear. Mix with large quantities of Dri-Sorb. Shovel into dry metal container and cover loosely. Save for proper disposal.

**WASTE DISPOSAL METHOD:** Follow all local, State and Federal regulations.

**PRECAUTIONS TO BE TAKEN IN HANDLING AND STORAGE:** Store in a cool, dry place. Keep away from heat, sparks and flame. Keep container closed. Avoid contact with water or moist air to preserve purity. Use with adequate ventilation.

**SECTION VIII CONTROL MEASURES**

**RESPIRATORY PROTECTION:** Use NIOSH/MSHA approved respirator with full facepiece and organic vapor cartridges.

**VENTILATION:** Local exhaust required. Handle liquid in fume hood.

**PROTECTIVE EQUIPMENT:** Chemical resistant gloves and splash goggles.

**WORK/HYGIENE PRACTICES:** Wash thoroughly after handling. Do not carry anything which may be put in the mouth such as cigarettes or food.

**MATERIAL SAFETY DATA SHEET**

Page 5 Date:July 20, 1999

**SECTION IX FEDERAL AND STATE REGULATIONS**

**SARA HAZARD CATEGORIES**

**IMMEDIATE (ACUTE) HEALTH HAZARD:** YES [  ] NO [  ]

**DELAYED (CHRONIC) HEALTH HAZARD:** YES [  ] NO [  ]

**FIRE HAZARD:** YES [  ] NO [  ]

**REACTIVITY HAZARD:** YES [  ] NO [  ]

**SUDDEN RELEASE OF PRESSURE:** YES [  ] NO [  ]

**SARA SECTION 313 NOTIFICATION:**

THIS PRODUCT MAY CONTAIN A TOXIC CHEMICAL (OR CHEMICALS) SUBJECT TO THE REPORTING REQUIREMENTS OF SECTION 313 TITLE III OF THE SUPERFUND AMENDMENTS AND REAUTHORIZATION ACT OF 1986 AND 40 CFR PART 372.

<b>CHEMICAL NAME:</b>	<b>CAS #</b>	<b>%WT.</b>
-----------------------	--------------	-------------

Does not apply

---

INFORMATION PRESENTED HEREIN HAS BEEN COMPILED FROM SOURCES CONSIDERED TO BE DEPENDABLE, AND IS ACCURATE AND RELIABLE TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE AND BELIEF, BUT IS NOT GUARANTEED TO BE SO. SINCE CONDITIONS OF USE ARE BEYOND OUR CONTROL, WE MAKE NO WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, EXCEPT THOSE THAT MAY BE CONTAINED IN OUR WRITTEN CONTRACT OF SALE OR ACKNOWLEDGMENT.

## B データ収集システム KODAQ

ここでは、今回使用したデータ収集システム KODAQ について簡単な説明を加える。そして、KODAQ システムにて得られたデータ例の処理プログラム、及びデータ例を示した。

### B.1 KODAQ 概説

データ収集システム KODAQ は、パーソナルコンピュータを用いて CAMAC インターフェースを通じたデータ処理を行うために東京大学原子核研究所（現・高エネルギー加速器研究機構）において開発された [18]。標準的なデータ処理言語の開発、汎用的なハードウェアの使用、拡張性・移植性に富むソフトウェアの使用、Raw\_data 収集とオフライン解析の容易さを目指して開発が実施された。CAMAC 版が完成されてきたのは 1990 年代に入ってからである。

システム稼働の確認済みの必要なハードウェア構成を表 21 に挙げた。

表 21: KODAQ に必要なハードウェア構成  
クレートコントローラ インターフェース

PC98	CC/7000 (東陽)	CC/9800
PC98	CCP-F (豊伸電子)	CCP-98
PC98	DSP6002 (Seiko/DSP)	6002i/f
IBMPC	DSP6002 (Seiko/DSP)	PC004
IBMPC	3922 (Kinetic)	2927
IBMPC	CC/7000 (東陽)	CC/AT

KODAQ においては、複数のデータ収集トリガの設定が可能であり、raw\_data の収集とプレイバックが可能である。また、データ収集時にモニタリングが可能であり、最大 32 個のウインドウを表示可能である。

KODAQ を使用するためにはユーザが用意すべきファイルは環境設定ファイル、データ読み込み及びモニタ用ファイルの二つである。これらの中では、KODAQ コマンドと呼ばれる専用コマンドを設定する。

CAMAC アクセス速度は概ね  $10\mu s$  秒、データ収集インターラプト信号の受渡しに要する時間は  $100\mu$  以内であることから、毎秒  $10^4$  イベントまではデータ収集が可能である。

## B.2 解析プログラム

液体シンチレータを利用した環境中性子モニタ開発報告中で、データ収集システム KODAQ で取得した実験データからヒストグラムに変換した際に使用したプログラムを本節で紹介する。なお、本プログラムは図 27 を得るために作成した。

```
*****
* This Program is raw2hbk produced by Tomii,
* Remake of raw2ntupl produced by Ogawa Izumi.
* v1.0 02/11/05
*
*****
***** Example File for KODAQ *.raw file to PAW ntuple file
*
* V1.0 02/08/01 coded by OGAWA, I.
*
* This sample program assumes following run condition.
* - Event type : only '1'
* - 1 event data includes
*   2 ADC data (12 bit) (PMT left and right)
*   -> variable: pmtl, pmtr
*   1 TDC data (11 bit)
*   -> variable: tdc
*
*****
program raw2hbk
implicit none

c common:
----- hbook parameter.
integer*4 nwpawc
parameter ( nwpawc = 500000 )
real*4 paw(nwpawc)
common /PAWC/ paw
----- CWN parameter list.
common /event/ adc1,adc2,adc3,adc4,adc5,adc6,adc7,adc8,adc9,adc10

c local variable:
----- rawdata.
integer*2 rawdata(20)
----- kodaqlib variable.
integer*2 type,size,status
----- header information variable.
integer*2 run
character*8 date
```

```

character*6 time
character*81 comm
*----- hbook variable.
integer*4 istat,icycle
integer*4 LFORM
character*250 CHFORM
real*4 ransuu

integer adc1,adc2,adc3,adc4,adc5,adc6,adc7,adc8,adc9,adc10

c begin:
*----- Data file open.
call open_file(status)
if (status.lt.0) goto 300
*----- RZ initialize.
call hlimit(nwpawc)
call hbook1(1,'ADC',4000.,0.,4000.,0.)
call hbook1(2,'ADC',4000.,0.,4000.,0.)
call hbook1(3,'ADC',4500.,0.,4500.,0.)
call hbook1(4,'ADC',2048.,0.,2048.,0.)
call hbook1(5,'ADC',2048.,0.,2048.,0.)
call hbook1(6,'ADC',2048.,0.,2048.,0.)
call hbook1(7,'ADC',2048.,0.,2048.,0.)
call hbook1(8,'ADC',2048.,0.,2048.,0.)
call hbook1(9,'ADC',2048.,0.,2048.,0.)
call hbook1(101,'ADC',4000.,0.,4000.,0.)
call hbook1(102,'ADC',4000.,0.,4000.,0.)
call hbook1(103,'ADC',4500.,0.,4500.,0.)
*----- open NTUPLE file.
call hopen(10,'sample','pmt.hbk','N',1024,istat)

*----- print NTUPLE information.
call hprnt(10)

c Read data:
100 continue
call getbuf(type,rawdata,size)
if (( type .eq. 1 ).or.
&    ( type .eq. 12 ).or.
&    ( type .eq. 13 )) then
*----- In case of event type=1 or start/stop event.
adc1=(rawdata(1)+ransuu(0))*3.43+97.88
adc2=(rawdata(2)+ransuu(0))*3.04+65.76
adc3=(rawdata(3)+ransuu(0))*3.64-1.796
adc4=rawdata(4)
adc5=rawdata(5)

```

```

adc6=rawdata(6)
adc7=rawdata(7)
adc8=rawdata(8)
adc9=rawdata(9)
call hf1(1,adc1*1.,1.)
call hf1(2,adc2*1.,1.)
call hf1(3,adc3*1.,1.)
call hf1(4,adc4*1.,1.)
call hf1(5,adc5*1.,1.)
call hf1(6,adc6*1.,1.)
call hf1(7,adc7*1.,1.)
call hf1(8,adc8*1.,1.)
call hf1(9,adc9*1.,1.)
if(adc1.gt.110)then
    call hf1(101,adc1*1.,1.)
endif
if(adc2.gt.150)then
    call hf1(102,adc2*1.,1.)
endif
if(adc3.gt.80)then
    call hf1(103,adc3*1.,1.)
endif
***** Start comment.
else if ( type .eq. 14 ) then
    call getcom(type,run,date,time,comm)
    write(*,*) 'Start run#',run
    write(*,*) 'Date: ',date,' Time: ',time
    write(*,*) 'Comment:', comm

***** Stop comment.
else if ( type .eq. 15 ) then
    call getcom(type,run,date,time,comm)
    write(*,*) 'Stop run#',run
    write(*,*) 'Date: ',date,' Time: ',time
    write(*,*) 'Comment:', comm

***** File end.
else if ( type .eq. -1 ) then
    goto 200

***** Unknown event type.
else
    write(*,*) 'Illegal event type detected!', type
end if
goto 100

c file close:

```

```
200 call close_file()
      call hrout(0,icycle,' ')
      call hrend('sample')

c Program end
300 stop
      end
```

### B.3 取得データ

液体シンチレータを利用した環境中性子モニタ開発報告中で、データ収集システム KODAQ で取得した実験データ例（図 27）を本節で紹介する。

```
0000000 03fe 0000 0000 0042 000e 3030 3537 5552
0000010 304e 3730 2e35 4152 0057 0000 0000 0000
0000020 0000 7473 7261 3274 4e32 766f 3230 3831
0000030 323a 6237 6165 336d 0000 0000 0000 0000
0000040 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000
*
0000080 0000 0000 0000 0000 0002 000c 000a
0000090 0001 0001 00cb 0016 0096 9004 a075 b008
00000a0 08b0 000a 0001 0002 001a 0029 0093 9006
00000b0 a01e b00a 08b0 000a 0001 0001 000f 0057
00000c0 0096 9003 a00e b01a 0000 000a 0001 0001
00000d0 0011 011d 009e 9006 a00a b099 08b0 000a
00000e0 0001 0001 002a 0016 008a 9005 a026 b009
00000f0 0000 000a 0001 0001 0017 0357 0087 9006
0000100 a00f b03b 0000 000a 0001 0001 0058 0017
0000110 00b1 9000 a011 b00b 08b0 000a 0001 0001
0000120 0019 01e9 0093 9008 a01b b0d0 0000 000a
0000130 0001 0001 0012 00b7 009e 9003 a00b b01e
0000140 0000 000a 0001 0001 0010 01a6 009e 9006
0000150 a00e b025 08af 000a 0001 0001 0012 007e
0000160 0094 9002 a007 b01f 08b0 000a 0001 0001
0000170 0014 006b 0075 9002 a008 b0b7 08b0 000a
0000180 0001 0001 0012 0049 0001 9004 a008 b01f
0000190 08ab 000a 0001 0001 0017 03a7 00e4 9009
00001a0 a016 b0e9 08af 000a 0001 0001 0010 0053
00001b0 005c 9005 a008 b02d 08af 000a 0001 0001
00001c0 0016 0034 0038 9005 a00a b068 08ad 000a
00001d0 0001 0137 0014 0015 0098 9031 a00e b008
00001e0 08af 000a 0001 0001 0015 0040 008b 9007
00001f0 a00f b025 08ad 000a 0001 0001 0010 00ac
0000200 007e 9003 a009 b02e 08ae 000a 0001 0001
0000210 0016 00ae 0091 900a a013 b059 0000 000a
0000220 0001 0001 0011 0284 009a 9004 a007 b02d
0000230 08af 000a 0001 0001 0018 0081 0091 900a
0000240 a01a b04b 0000 000a 0001 0051 0017 0066
0000250 008c 902a a00b b00b 08b0 000a 0001 0001
0000260 0036 0017 0088 9005 a022 b007 08af 000a
0000270 0001 0001 000e 0148 00a4 9002 a005 b0ae
0000280 0000 000a 0001 0001 000f 0440 00b1 9007
0000290 a014 b02c 0000 000a 0001 0001 0010 0040
00002a0 007c 900a a014 b021 08b0 000a 0001 0001
00002b0 0043 0016 009a 9007 a030 b009 08b0 000a
```

00002c0 0001 0001 0017 0097 0098 9008 a011 b018  
00002d0 0000 000a 0001 0001 0014 001f 0089 9006  
00002e0 a00f b028 0000 000a 0001 0001 0014 00c0  
00002f0 00a4 9007 a00e b06a 0000 000a 0001 0001  
0000300 000d 003e 0087 9007 a014 b0c8 08af 000a  
0000310 0001 0001 0010 01a8 009d 9002 a008 b0a7  
0000320 08af 000a 0001 003e 0349 0016 00f1 9005  
0000330 a048 b009 08af 000a 0001 0001 0011 00a1  
0000340 008c 9005 a00a b072 08af 000a 0001 0001  
0000350 0014 045e 0090 9008 a017 b086 0000 000a  
0000360 0001 0001 0016 020c 022e 9007 a013 b0db  
0000370 08b0 000a 0001 0001 0016 01ff 00a9 9008  
0000380 a016 b02c 08b0 000a 0001 0001 0014 0043  
0000390 0095 9007 a011 b022 0000 000a 0001 0001  
00003a0 0013 0027 0090 9005 a008 b019 0000 000a  
00003b0 0001 0001 0164 0016 0097 9004 a044 b008  
00003c0 0000 000a 0001 0001 0014 01f0 008f 9006  
00003d0 a010 b0d9 08b0 000a 0001 0001 0015 045e  
00003e0 0075 9009 a010 b054 08af 000a 0001 0001  
00003f0 0015 00d2 008a 9008 a012 b074 08ae 000a  
0000400 0001 0001 0012 0033 009a 9004 a00c b083  
0000410 08b0 000a 0001 0001 0013 00fc 0070 9004  
0000420 a00d b0af 08af 000a 0001 0001 02e1 0018  
0000430 0081 9006 a118 b00a 08af 000a 0001 0001  
0000440 0015 0207 004b 9006 a00c b03b 08af 000a  
0000450 0001 0001 0012 03a2 0060 9006 a00d b034  
0000460 08af 000a 0001 0001 000e 00b4 0090 9003  
0000470 a004 b064 08af 000a 0001 00e3 000a 0019  
0000480 006f 908d a000 b00d 08ae 000a 0001 0001  
0000490 013f 0015 07c5 9002 a0a0 b006 08ae 000a  
00004a0 0001 0001 0013 045e 005f 9005 a007 b035  
00004b0 08ae 000a 0001 0001 0012 0136 005b 9009  
00004c0 a00f b028 08af 000a 0001 0001 0010 0015  
00004d0 00b0 9004 a009 b005 08af 000a 0001 0173  
00004e0 0013 0014 007c 904f a00e b006 08b0 000a  
00004f0 0001 0001 0010 012d 0066 9004 a007 b08e  
0000500 08af 000a 0001 0001 000e 007d 00da 9005  
0000510 a007 b02c 08ae 000a 0001 0001 0068 0016  
0000520 0099 9005 a02f b009 08b0 000a 0001 0001  
0000530 0012 020f 007b 9005 a00b b086 08b0 000a  
0000540 0001 0001 0012 045e 002f 9005 a010 b035  
0000550 08ae 000a 0001 0001 0015 0463 008a 9002  
0000560 a000 b070 08af 000a 0001 0001 0013 002c  
0000570 0074 9003 a00e b028 08af 000a 0001 007d  
0000580 0015 0017 00a3 9022 a007 b009 08b0 000a  
0000590 0001 0001 0015 007a 009e 9008 a011 b047  
00005a0 0000 000a 0001 0001 0011 0041 0147 9004

00005b0 a00c b02b 08b0 000a 0001 0003 0019 0116  
00005c0 02bc 9001 a001 b02c 08b0 000a 0001 0001  
00005d0 000b 00c3 00b6 9006 a001 b06a 0000 000a  
00005e0 0001 012a 0012 0018 009e 9040 a010 b00a  
00005f0 08b0 000a 0001 0001 0012 0033 0097 9006  
0000600 a00b b02b 08b0 000a 0001 0001 0050 0016  
0000610 0097 9007 a039 b006 0000 000a 0001 0001  
0000620 00ae 0018 009b 9003 a01b b00d 0000 000a  
0000630 0001 0001 000f 01d3 0097 9004 a00b b023  
0000640 0000 000a 0001 0001 0014 0222 00a9 9006  
0000650 a012 b031 0000 000a 0001 0001 0012 0024  
0000660 009f 9005 a00b b01f 0000 000a 0001 0001  
0000670 0014 00f5 0088 9005 a00e b0b7 08b0 000a  
0000680 0001 001f 0011 004b 0086 9023 a00b b046  
0000690 0000 000a 0001 0001 0012 0035 0085 9006  
00006a0 a00b b055 08af 000a 0001 0001 0014 00ab  
00006b0 0071 9008 a00e b043 08ae 000a 0001 0001  
00006c0 000c 0074 0087 9005 a008 b07f 08af 000a  
00006d0 0001 0001 0015 0313 0091 9006 a010 b131  
00006e0 08ae 000a 0001 0001 0015 045e 0090 9007  
00006f0 a011 b03a 08af 000a 0001 0001 0012 002e  
0000700 0001 9008 a010 b07b 08ad 000a 0001 0001  
0000710 0014 0166 0001 9006 a010 b0cc 08af 000a  
0000720 0001 0001 0012 007c 008b 9008 a00d b051  
0000730 08ae 000a 0001 0001 045f 003a 00f6 9009  
0000740 a08a b005 08b0 000a 0001 0001 0017 045e  
0000750 00ab 9005 a009 b044 08b0 000a 0001 0001  
0000760 000e 0020 00d3 9004 a00b b02a 08af 000a  
0000770 0001 0001 0031 045e 008e 9007 a00e b048  
0000780 08b0 000a 0001 0003 001a 0150 00aa 900e  
0000790 a01b b0a7 08af 000a 0001 0001 000f 0100  
00007a0 03f2 9003 a007 b07c 08ae 000a 0001 0001  
00007b0 0017 0102 008b 9008 a017 b083 08b0 000a  
00007c0 0001 0001 000e 0167 0090 9007 a014 b02f  
00007d0 0000 000a 0001 0002 0019 00a5 009f 900d  
00007e0 a01b b059 08af 000a 0001 0001 0013 009b  
00007f0 009e 9006 a00f b019 08b0 0000 08aa 0000  
0000800 0400 0001 0000 000a 0001 0001 000e 001d  
0000810 00bd 9004 a005 b01b 0000 000a 0001 0001  
0000820 0014 01b2 0097 9008 a018 b036 08b0 000a  
0000830 0001 0001 0015 0021 008b 9008 a013 b022  
0000840 0000 000a 0001 0001 0011 0157 009f 9006  
0000850 a00b b0a3 08b0 000a 0001 0001 0013 011c  
0000860 00a8 9007 a00c b02a 08b0 000a 0001 0001  
0000870 0009 0141 009c 9000 a003 b0c3 08ae 000a  
0000880 0001 0117 0011 0086 00ab 9046 a007 b00d  
0000890 0000 000a 0001 0001 0028 0016 009b 9006

00008a0 a026 b00b 0000 000a 0001 0001 0015 015d  
00008b0 00a3 9006 a00d b02f 0000 000a 0001 0001  
00008c0 0017 009e 009e 9006 a00f b02c 0000 000a  
00008d0 0001 0001 0058 0016 0091 9007 a028 b008  
00008e0 08b0 000a 0001 0001 0013 00d0 0092 9004  
00008f0 a00d b01a 08b0 000a 0001 0001 0012 003e  
0000900 0001 9034 a016 b009 08b0 000a 0001 0001  
0000910 0010 006d 0065 9003 a008 b057 08af 000a  
0000920 0001 0001 0016 0040 0001 9007 a010 b02f  
0000930 08af 000a 0001 0001 009c 0017 0094 9006  
0000940 a047 b008 08b0 000a 0001 0001 000d 00de  
0000950 0088 9001 a001 b07e 0000 000a 0001 0001  
0000960 0029 0015 00a9 9007 a023 b00f 08b0 000a  
0000970 0001 0325 0013 0015 00a5 905e a015 b006  
0000980 0000 000a 0001 0001 000d 045e 00a4 9002  
0000990 a00b b03b 0000 000a 0001 0001 0011 00a3  
00009a0 0072 9007 a017 b01d 08ae 000a 0001 0001  
00009b0 000f 045e 008b 9004 a002 b065 08af 000a  
00009c0 0001 0001 004c 0015 0088 9006 a028 b00a  
00009d0 08af 000a 0001 0001 000b 0456 0035 9004  
00009e0 a00c b037 08b0 000a 0001 0001 0010 0056  
00009f0 0094 9003 a006 b01a 08b0 000a 0001 0001  
0000a00 0016 0137 009e 9003 a014 b09b 0000 000a  
0000a10 0001 0001 0011 0159 00a1 9004 a009 b02d  
0000a20 08b0 000a 0001 0001 0012 028d 0099 9005  
0000a30 a00c b122 08af 000a 0001 0001 001b 0017  
0000a40 0088 900a a049 b006 08b0 000a 0001 0001  
0000a50 005c 0018 0090 9004 a027 b007 0000 000a  
0000a60 0001 0001 000e 0094 0094 9001 a005 b050  
0000a70 0000 000a 0001 0001 01fd 0014 009e 9007  
0000a80 a028 b004 08b0 000a 0001 0001 0010 0071  
0000a90 009e 9001 a000 b029 08b0 000a 0001 0001  
0000aa0 0010 00e0 008f 9005 a007 b073 0000 000a  
0000ab0 0001 003d 0014 0082 0001 9032 a010 b067  
0000ac0 08b0 000a 0001 0001 0011 0037 00a1 9007  
0000ad0 a009 b018 08b0 000a 0001 0001 0011 045e  
0000ae0 00b1 9006 a010 b052 08b0 000a 0001 0001  
0000af0 000f 0460 009f 9003 a00b b096 0000 000a  
0000b00 0001 045e 0011 0015 0096 9064 a00a b005  
0000b10 0000 000a 0001 0001 0016 0029 0205 9006  
0000b20 a012 b028 08af 000a 0001 0001 0133 0016  
0000b30 0001 900a a06e b005 08af 000a 0001 0001  
0000b40 0011 00d4 00a2 9005 a00d b080 08b0 000a  
0000b50 0001 0001 00ed 0018 008e 9007 a039 b00c  
0000b60 08b0 000a 0001 0001 0040 0015 00a1 9005  
0000b70 a028 b00b 0000 000a 0001 0001 0016 014b  
0000b80 0095 9009 a015 b09b 08b0 000a 0001 0001

0000b90 0014 0023 009f 9006 a00f b016 0000 000a  
0000ba0 0001 0001 0154 0016 009e 9004 a03f b00a  
0000bb0 0000 000a 0001 014b 0016 0016 009c 9098  
0000bc0 a012 b00a 0000 000a 0001 0001 000f 00fa  
0000bd0 00a8 9003 a008 b07e 08b0 000a 0001 0001  
0000be0 0013 0146 00a3 9007 a00e b0a8 0000 000a  
0000bf0 0001 0001 000f 022c 0098 9003 a00c b026  
0000c00 0000 000a 0001 0001 011c 0017 0091 9004  
0000c10 a097 b009 0000 000a 0001 0001 000e 010e  
0000c20 009f 9005 a006 b08a 0000 000a 0001 0001  
0000c30 000f 0031 0092 9006 a00b b026 0000 000a  
0000c40 0001 0001 0018 01c7 0099 9009 a018 b0d0  
0000c50 0000 000a 0001 0001 0014 00c7 009a 9006  
0000c60 a007 b01d 0000 000a 0001 0001 0015 00af  
0000c70 009e 9007 a012 b070 0000 000a 0001 0001  
0000c80 0006 0274 00ac 9004 a001 b020 0000 000a  
0000c90 0001 0001 0021 045e 00c2 9006 a00f b05b  
0000ca0 08b0 000a 0001 0003 0008 00b6 016b 900f  
0000cb0 a001 b077 08b0 000a 0001 0001 004c 0016  
0000cc0 0099 9003 a02e b004 08af 000a 0001 0001  
0000cd0 0012 0090 0093 9008 a00b b03e 08af 000a  
0000ce0 0001 0002 001b 005d 0054 900a a013 b01e  
0000cf0 08af 000a 0001 0001 0012 045e 0232 9003  
0000d00 a002 b03d 08ad 000a 0001 0001 0015 0044  
0000d10 0097 9004 a025 b008 08af 000a 0001 0001  
0000d20 0013 0063 008e 9008 a010 b023 0000 000a  
0000d30 0001 00ee 0012 0018 009b 9032 a00e b009  
0000d40 0000 000a 0001 0001 0014 022f 0098 9007  
0000d50 a00e b02a 08b0 000a 0001 0001 000f 031d  
0000d60 0097 9007 a00e b032 08b0 000a 0001 0001  
0000d70 0012 005d 0096 9006 a00c b090 0000 000a  
0000d80 0001 0001 000c 018c 0092 9003 a002 b0c1  
0000d90 08b0 000a 0001 0001 0013 01f9 0092 9008  
0000da0 a00e b0e2 0000 000a 0001 0001 000d 017d  
0000db0 00a8 9001 a002 b0b0 0000 000a 0001 0001  
0000dc0 0014 01bb 008f 9008 a010 b0c5 0000 000a  
0000dd0 0001 006b 0014 001e 00b7 900b a016 b025  
0000de0 08af 000a 0001 0001 000b 0030 00da 9009  
0000df0 a017 b026 08b0 000a 0001 0001 0011 0466  
0000e00 009d 9003 a003 b032 08ae 000a 0001 0001  
0000e10 0010 003f 00a9 9004 a008 b021 08af 000a  
0000e20 0001 0001 0013 0478 003a 9008 a013 b035  
0000e30 08b0 000a 0001 0001 0010 0025 009b 9003  
0000e40 a007 b01d 08af 000a 0001 0001 0010 045e  
0000e50 0097 9002 a008 b03c 08ae 000a 0001 0001  
0000e60 0014 00cc 0091 9004 a00f b053 08ae 000a  
0000e70 0001 0001 0012 045e 0096 9006 a00c b053

0000e80 08b0 000a 0001 0001 0015 004d 0001 9007  
0000e90 a012 b03c 08ac 000a 0001 0001 0016 046b  
0000ea0 0076 9005 a008 b03a 08b0 000a 0001 0001  
0000eb0 0018 007d 0074 900a a014 b01e 08b0 000a  
0000ec0 0001 0001 0015 0079 0098 9008 a00d b01f  
0000edo 08af 000a 0001 0001 0013 001d 008a 9004  
0000ee0 a009 b03f 08af 000a 0001 0001 0074 0014  
0000ef0 004e 9006 a011 b040 08ae 000a 0001 0001  
0000f00 0011 00d0 008c 9007 a013 b018 08af 000a  
0000f10 0001 0001 0014 045e 00a2 9007 a00f b02c  
0000f20 08af 000a 0001 0067 001d 00e0 0069 903d  
0000f30 a027 b077 08ab 000a 0001 0001 0012 0025  
0000f40 0145 9007 a00c b037 08ad 000a 0001 0001  
0000f50 0012 00bb 00a5 9003 a00c b099 08af 000a  
0000f60 0001 0001 0019 0028 0098 9009 a012 b034  
0000f70 08b0 000a 0001 0001 0466 0018 005e 9004  
0000f80 a273 b00a 08af 000a 0001 0001 0010 013e  
0000f90 0087 9006 a00a b01c 08af 000a 0001 001f  
0000fa0 0010 0017 007f 9032 a00d b007 08ae 000a  
0000fb0 0001 0001 0015 03e7 009e 9008 a015 b02c  
0000fc0 08af 000a 0001 0001 0014 009d 0090 9006  
0000fd0 a011 b074 08ae 000a 0001 0001 0010 00e1  
0000fe0 00aa 9006 a010 b020 0000 000a 0001 0001  
0000ff0 036c 0018 0094 9009 a041 b006 08b0 0000  
0001000 0400 0002 0000 000a 0001 0001 001b 00c2  
0001010 01dd 900b a01f b073 0000 000a 0001 0001  
0001020 0010 0239 01db 9005 a008 b0eb 08b0 000a  
0001030 0001 0001 0014 0202 008e 9004 a008 b029  
0001040 0000 000a 0001 00b2 0019 0018 00a1 9022  
0001050 a00b b00e 0000 000a 0001 0001 0016 001b  
0001060 0095 9007 a00e b01c 0000 000a 0001 045e  
0001070 0018 045e 04a0 9033 a007 b092 08b0 000a  
0001080 0001 0001 000e 00b9 0096 9003 a004 b069  
0001090 08ae 000a 0001 002d 000d 0015 009c 9022  
00010a0 a007 b009 08b0 000a 0001 0001 0013 0214  
00010b0 0095 9007 a013 b022 0000 000a 0001 0001  
00010c0 000e 00b6 009d 9001 a005 b06d 0000 000a  
00010d0 0001 0001 0012 0345 0085 9007 a011 b024  
00010e0 0000 000a 0001 0001 0010 00c8 008b 9009  
00010f0 a010 b01f 0000 000a 0001 0001 0133 0015  
0001100 009d 9009 a02a b007 0000 000a 0001 0001  
0001110 0012 001f 0075 9004 a006 b03c 08af 000a  
0001120 0001 0001 0010 00c7 07c5 9005 a008 b06b  
0001130 08ae 000a 0001 0001 0015 0462 003b 9005  
0001140 a00a b040 08af 000a 0001 0001 0011 0468  
0001150 006a 9004 a00d b042 08b0 000a 0001 0001  
0001160 0013 01bb 0053 9006 a00e b0c7 08af 000a

0001170 0001 0001 0382 0018 0040 9003 a03f b006  
0001180 08af 000a 0001 0001 000e 004d 00e1 9003  
0001190 a009 b01a 08ac 000a 0001 0001 0095 0014  
00011a0 0099 900b a077 b006 08ad 000a 0001 0001  
00011b0 0119 0017 0096 9008 a044 b007 0000 000a  
00011c0 0001 0001 000f 0167 009a 9004 a005 b0bf  
00011d0 08ae 000a 0001 0001 0013 0072 0001 9003  
00011e0 a00c b02c 08ab 000a 0001 0001 0012 001d  
00011f0 0080 9002 a00a b053 08ae 000a 0001 0001  
0001200 0012 004a 0089 9007 a00f b041 08af 000a  
0001210 0001 0001 0016 0479 0130 9008 a013 b050  
0001220 08b0 000a 0001 0001 000d 0072 0089 9004  
0001230 a008 b01e 08b0 000a 0001 0001 0015 007c  
0001240 0097 900f a022 b026 0000 000a 0001 0001  
0001250 000e 0071 009f 9001 a002 b027 0000 000a  
0001260 0001 0001 0013 0098 008b 9006 a00d b05b  
0001270 0000 000a 0001 0001 000c 001c 0090 9001  
0001280 a001 b01b 08b0 000a 0001 0001 000a 00d5  
0001290 00bf 9000 a000 b071 08b0 000a 0001 0142  
00012a0 0014 0014 0090 9040 a010 b009 0000 000a  
00012b0 0001 0038 0015 0015 00b2 903a a006 b00d  
00012c0 0000 000a 0001 0001 0017 010b 00a2 9007  
00012d0 a00d b025 08b0 000a 0001 01a4 000b 0018  
00012e0 008a 9071 a001 b00d 08b0 000a 0001 0001  
00012f0 0013 0077 0095 9009 a012 b01f 08b0 000a  
0001300 0001 0001 0017 0247 007c 900d a01c b028  
0001310 08b0 000a 0001 0001 0011 0228 009e 9009  
0001320 a016 b032 08b0 000a 0001 0001 0014 0467  
0001330 008d 9008 a010 b054 0000 000a 0001 0001  
0001340 0015 045e 0055 9006 a00b b040 08af 000a  
0001350 0001 0001 000d 00a6 0091 9001 a003 b078  
0001360 08af 000a 0001 0001 0012 00cc 006e 9007  
0001370 a00c b067 08af 000a 0001 0001 0011 046a  
0001380 00a0 9002 a002 b04e 08af 000a 0001 0001  
0001390 0013 00cc 0054 9004 a00c b071 08af 000a  
00013a0 0001 0001 006e 0015 00a9 9008 a02c b003  
00013b0 08af 000a 0001 0001 0011 00f2 01e5 9004  
00013c0 a00a b07f 08af 000a 0001 0001 001a 0470  
00013d0 0001 9008 a011 b04a 08ae 000a 0001 0001  
00013e0 0015 0067 0072 9008 a012 b05b 08ae 000a  
00013f0 0001 0001 0014 007c 007f 9005 a011 b067  
0001400 08af 000a 0001 0001 0010 0020 00a2 9004  
0001410 a00c b037 08b0 000a 0001 0001 0010 00a0  
0001420 0001 9004 a00a b073 08af 000a 0001 0001  
0001430 045f 0016 0001 9005 a088 b007 08b0 000a  
0001440 0001 0001 0013 0029 00a6 9007 a00f b051  
0001450 0000 000a 0001 0001 0011 0031 00b1 9007

0001460 a00e b032 08af 000a 0001 0001 0015 00ed  
0001470 0099 9008 a00e b027 08ae 000a 0001 0001  
0001480 0017 0164 0094 9006 a015 b0ae 0000 000a  
0001490 0001 0001 0012 00ad 00a8 9003 a00a b061  
00014a0 08b0 000a 0001 0001 0067 0016 0093 9004  
00014b0 a02b b00a 08af 000a 0001 0001 0010 00a0  
00014c0 00a3 9004 a009 b064 0000 000a 0001 0001  
00014d0 0012 045e 009b 9006 a010 b058 0000 000a  
00014e0 0001 0001 0013 01fb 00b1 9004 a00d b0ec  
00014f0 08b0 000a 0001 0001 000c 0047 0086 9009  
0001500 a014 b0a4 08b0 000a 0001 0001 0017 01ed  
0001510 00a4 9009 a015 b0da 08af 000a 0001 0001  
0001520 0087 0013 009c 9007 a026 b002 08af 000a  
0001530 0001 01c2 0015 0015 0043 9036 a00e b004  
0001540 08af 000a 0001 0001 0015 0345 0001 9006  
0001550 a008 b029 046e 000a 0001 0001 0011 0197  
0001560 0001 9004 a009 b0d6 08ac 000a 0001 0001  
0001570 0012 0082 0001 9003 a004 b01b 08af 000a  
0001580 0001 0001 0013 0130 0087 9003 a00d b0a9  
0001590 08ad 000a 0001 0001 0010 0459 006c 9005  
00015a0 a006 b031 08af 000a 0001 0001 0015 045e  
00015b0 00d3 9005 a00a b04f 08af 000a 0001 0001  
00015c0 0012 0116 0087 9002 a00a b0b2 08af 000a  
00015d0 0001 0001 0017 00ac 0089 9009 a017 b070  
00015e0 0000 000a 0001 0001 0013 045e 0001 9004  
00015f0 a00a b05d 08b0 000a 0001 0001 000c 020d  
0001600 0093 9002 a000 b0f1 08ae 000a 0001 013d  
0001610 0011 0013 0001 9029 a015 b004 08ad 000a  
0001620 0001 0001 0015 0225 0091 9008 a010 b0e7  
0001630 08af 000a 0001 0001 0018 0124 007e 9009  
0001640 a018 b08e 08af 000a 0001 0001 000d 007f  
0001650 016f 9004 a006 b05c 08b0 000a 0001 0001  
0001660 0015 0157 008b 9003 a004 b023 08af 000a  
0001670 0001 0001 01e4 0018 007c 9005 a043 b007  
0001680 08af 000a 0001 0001 0013 0190 0001 9007  
0001690 a00d b0c2 08af 000a 0001 0001 0012 0053  
00016a0 0090 9008 a00d b05a 08af 000a 0001 0001  
00016b0 0011 009e 003f 9005 a00a b055 08b0 000a  
00016c0 0001 0001 000f 018d 01ca 9004 a005 b01e  
00016d0 08ad 000a 0001 0001 0012 0464 007e 9003  
00016e0 a002 b05d 08af 000a 0001 0001 0011 0101  
00016f0 0001 9005 a008 b0a6 08ae 000a 0001 0001  
0001700 0018 0035 007f 9006 a017 b045 08af 000a  
0001710 0001 0001 0010 033c 009b 9004 a00b b065  
0001720 08b0 000a 0001 0001 00f1 0016 0099 9007  
0001730 a02f b008 0000 000a 0001 006e 0010 0015  
0001740 00a8 903f a008 b007 0000 000a 0001 0001

0001750 0011 0129 0089 9005 a00b b03a 0000 000a  
0001760 0001 0001 0015 0183 008e 9007 a010 b0b7  
0001770 08b0 000a 0001 0001 0106 0028 009a 9005  
0001780 a02e b00b 0000 000a 0001 0001 0047 0017  
0001790 009d 9007 a02f b005 08b0 000a 0001 0001  
00017a0 0010 004e 008f 9005 a00b b01d 08b0 000a  
00017b0 0001 0001 0015 01ff 0092 9005 a00a b03a  
00017c0 08b0 000a 0001 0116 0011 0015 0094 902e  
00017d0 a009 b00b 08b0 000a 0001 0008 002f 00fa  
00017e0 00ff 901c a04b b081 0000 000a 0001 0001  
00017f0 0014 01f4 008b 9006 a00f b031 08b0 0000  
0001800 0400 0003 0000 000a 0001 0005 0011 0050  
0001810 0033 900a a019 b025 08af 000a 0001 0001  
0001820 0015 045e 0087 9006 a00d b03a 08b0 000a  
0001830 0001 0001 0013 0176 008b 9005 a014 b02d  
0001840 08b0 000a 0001 0001 0013 0081 0080 9008  
0001850 a00e b057 08af 000a 0001 0001 0015 045e  
0001860 0090 9007 a00d b03c 08af 000a 0001 0001  
0001870 0012 045e 0001 900c a025 b049 08ae 000a  
0001880 0001 0001 0053 001b 00c7 9008 a027 b00d  
0001890 08af 000a 0001 0001 0013 0059 0092 9004  
00018a0 a00e b047 08b0 000a 0001 0001 0013 0479  
00018b0 002e 9004 a00c b04f 08b0 000a 0001 0001  
00018c0 0012 0098 0094 9004 a00d b022 08b0 000a  
00018d0 0001 0001 0010 012e 0055 9005 a008 b0b3  
00018e0 08ae 000a 0001 0001 0012 0476 009e 9005  
00018f0 a008 b062 08b0 000a 0001 0001 0012 045e  
0001900 008c 9007 a012 b049 08b0 000a 0001 0001  
0001910 0011 00b4 00a4 9005 a009 b068 08b0 000a  
0001920 0001 0001 000e 00c0 009e 9005 a00f b01c  
0001930 08b0 000a 0001 0001 000f 0089 009c 9003  
0001940 a007 b051 08b0 000a 0001 0006 00cd 000d  
0001950 0095 9017 a047 b001 0000 000a 0001 0001  
0001960 0010 0025 0070 9006 a014 b00f 0000 000a  
0001970 0001 0080 0014 0013 0132 902b a00f b004  
0001980 08b0 000a 0001 0013 0016 0016 009c 9026  
0001990 a010 b008 0000 000a 0001 0001 0011 0168  
00019a0 0096 9006 a009 b0ab 0000 000a 0001 0001  
00019b0 0014 019d 0091 900b a01b b035 0000 000a  
00019c0 0001 0001 000f 0093 0015 9005 a006 b038  
00019d0 08af 000a 0001 0001 0014 01af 009d 9006  
00019e0 a010 b0c8 08af 000a 0001 0001 0011 045e  
00019f0 0096 9005 a00d b31e 08af 000a 0001 0001  
0001a00 0014 0078 0080 9008 a010 b05a 08af 000a  
0001a10 0001 0001 0015 045e 0072 9009 a010 b034  
0001a20 08af 000a 0001 0001 01df 0015 003a 9008  
0001a30 a06b b005 08af 000a 0001 0001 0011 0473

0001a40 008b 9009 a013 b07f 08b0 000a 0001 0001  
0001a50 0014 002b 0083 9004 a010 b039 08ae 000a  
0001a60 0001 0001 0012 045d 0080 9008 a013 b02f  
0001a70 08b0 000a 0001 0001 0273 0016 007f 9005  
0001a80 a02f b005 08af 000a 0001 0001 0013 043e  
0001a90 0069 9006 a00e b1b3 08ae 000a 0001 0001  
0001aa0 0011 0125 017a 9004 a008 b09a 08b0 000a  
0001ab0 0001 0001 0010 0058 0098 9002 a008 b057  
0001ac0 08b0 000a 0001 0001 0012 00a5 00a2 9008  
0001ad0 a00b b05a 08b0 000a 0001 0001 0017 045e  
0001ae0 0097 9009 a00f b040 0000 000a 0001 0001  
0001af0 0010 004c 00ac 9007 a00e b020 0000 000a  
0001b00 0001 0151 000d 0017 0096 9033 a00a b007  
0001b10 0000 000a 0001 0001 0012 00e3 0066 9009  
0001b20 a018 b02b 08b0 000a 0001 0001 0017 0156  
0001b30 0082 9009 a016 b0a5 08b0 000a 0001 0032  
0001b40 0016 0018 00a8 900c a026 b009 08b0 000a  
0001b50 0001 0001 0016 0032 00a2 9003 a007 b01f  
0001b60 0000 000a 0001 0001 0012 0157 0092 9005  
0001b70 a00c b0a9 0000 000a 0001 0001 000d 0183  
0001b80 00b1 9004 a004 b0ba 0000 000a 0001 0001  
0001b90 011d 0018 0092 9004 a039 b00c 08b0 000a  
0001ba0 0001 0001 000d 001f 00a8 9007 a00d b024  
0001bb0 0000 000a 0001 0001 002b 0015 0094 9005  
0001bc0 a01f b00a 0000 000a 0001 0001 0017 001e  
0001bd0 007e 900a a014 b01d 0000 000a 0001 0001  
0001be0 0016 0170 008f 900a a015 b0a9 0000 000a  
0001bf0 0001 0043 000e 045e 008f 9003 a004 b071  
0001c00 08b0 000a 0001 0001 0011 02cf 00a3 9007  
0001c10 a00b b0f4 08af 000a 0001 0001 0018 00aa  
0001c20 0097 9006 a017 b05c 08b0 000a 0001 0001  
0001c30 0015 045e 0088 9007 a00a b03b 08af 000a  
0001c40 0001 0001 0019 0073 0091 9007 a00a b01b  
0001c50 08ae 000a 0001 0001 0015 045e 0057 900a  
0001c60 a014 b049 08ae 000a 0001 0001 0014 009e  
0001c70 008f 9009 a00f b067 08af 000a 0001 0001  
0001c80 0013 045e 0096 9000 a006 b059 08af 000a  
0001c90 0001 0001 0016 007d 005e 9008 a014 b05c  
0001ca0 08af 000a 0001 0001 0011 014d 0078 9005  
0001cb0 a009 b085 08af 000a 0001 006c 0013 0016  
0001cc0 00a6 9005 a028 b05f 08b0 000a 0001 0001  
0001cd0 0015 0024 008a 9004 a009 b036 08ae 000a  
0001ce0 0001 0001 0016 0020 00ff 904d a00f b008  
0001cf0 08af 000a 0001 045f 0015 0014 0001 915e  
0001d00 a011 b002 0000 000a 0001 0001 0014 003b  
0001d10 00f0 9006 a011 b030 08af 000a 0001 0001  
0001d20 0012 00ad 009e 9006 a00d b069 08af 000a

0001d30 0001 0001 0015 0211 0095 900b a012 b0f0  
0001d40 08ae 000a 0001 0001 0014 045e 0089 9005  
0001d50 a009 b051 0000 000a 0001 0001 0017 0096  
0001d60 0091 900a a00d b019 08b0 000a 0001 0001  
0001d70 0010 045e 0094 9004 a00c b031 0000 000a  
0001d80 0001 005d 0015 0048 00da 902b a010 b003  
0001d90 00eb 000a 0001 0001 0010 0032 00cf 9006  
0001da0 a00b b025 08b0 000a 0001 0001 002e 0021  
0001db0 0090 9008 a029 b005 08af 000a 0001 0001  
0001dc0 011d 0015 009e 9006 a02a b00b 0000 000a  
0001dd0 0001 0001 0014 002e 0077 900e a024 b017  
0001de0 0000 000a 0001 0001 0015 00a4 0099 9008  
0001df0 a012 b055 0000 000a 0001 0001 0012 00d6  
0001e00 008b 9009 a019 b014 0000 000a 0001 0001  
0001e10 0014 006a 008a 9008 a010 b05b 0000 000a  
0001e20 0001 0001 0017 016b 0057 9007 a014 b0d2  
0001e30 08b0 000a 0001 0001 000f 00c1 0069 9004  
0001e40 a007 b06a 08af 000a 0001 0001 000f 0386  
0001e50 00ca 9004 a00e b029 08b0 000a 0001 0017  
0001e60 000f 0017 0066 9005 a00f b013 08af 000a  
0001e70 0001 0001 0015 0459 006d 9005 a00e b039  
0001e80 08ae 000a 0001 0001 0014 045e 00aa 9004  
0001e90 a007 b040 08af 000a 0001 0001 000f 00d6  
0001ea0 0091 9009 a011 b02e 08b0 000a 0001 0001  
0001eb0 0015 00b9 0046 9009 a012 b05c 08af 000a  
0001ec0 0001 0001 045e 0016 006a 9001 a097 b009  
0001ed0 08b0 000a 0001 0001 014e 0015 0097 9005  
0001ee0 a032 b005 08af 000a 0001 0001 0016 045e  
0001ef0 0084 9009 a00f b055 08af 000a 0001 00de  
0001f00 0016 0015 0079 908d a014 b007 08af 000a  
0001f10 0001 0001 0015 045e 00fc 9005 a00a b039  
0001f20 08af 000a 0001 0001 0013 045e 009e 9005  
0001f30 a008 b03f 08b0 000a 0001 0001 0016 00f5  
0001f40 0088 9008 a00f b02d 0000 000a 0001 0001  
0001f50 0016 01a4 008f 9009 a013 b0c3 08b0 000a  
0001f60 0001 0001 0013 009d 0097 9009 a014 b021  
0001f70 08b0 000a 0001 0001 0013 0098 00ee 9007  
0001f80 a00e b02d 0000 000a 0001 0001 0016 018b  
0001f90 009d 9009 a014 b0c7 0000 000a 0001 0001  
0001fa0 0008 018b 00bb 9001 a001 b0ba 08b0 000a  
0001fb0 0001 0001 0013 004c 0095 9004 a005 b045  
0001fc0 08af 000a 0001 0001 0014 045e 004b 9005  
0001fd0 a00c b056 08b0 000a 0001 0001 0017 036e  
0001fe0 0116 9002 a001 b02c 08af 000a 0001 0001  
0001ff0 000b 0473 0098 9008 a015 b03b 08af 0000  
0002000 0400 0004 0000 000a 0001 0001 0016 01ef  
0002010 008b 9005 a00a b02f 08af 000a 0001 006e

0002020 0019 0012 009e 9033 a011 b005 0000 000a  
0002030 0001 0001 0018 007a 0095 9006 a021 b00c  
0002040 08b0 000a 0001 0003 0014 01bf 008b 900c  
0002050 a00f b0d4 0000 000a 0001 0001 000d 0023  
0002060 008a 9000 a006 b054 0000 000a 0001 0001  
0002070 0012 012f 0099 9003 a00a b029 0000 000a  
0002080 0001 0001 030e 0017 00a5 9006 a051 b006  
0002090 08b0 000a 0001 0001 000d 0224 0091 9005  
00020a0 a00d b021 0000 000a 0001 0001 0010 00bc  
00020b0 00b7 9006 a010 b035 0000 000a 0001 011e  
00020c0 0011 0017 009a 9034 a00f b009 0000 000a  
00020d0 0001 0001 00c6 0015 0098 9009 a07e b006  
00020e0 0000 000a 0001 004a 0013 0014 00b3 9028  
00020f0 a00f b007 0000 000a 0001 0001 0011 00c7  
0002100 0089 9003 a009 b06b 0000 000a 0001 0001  
0002110 0012 00d2 0112 9006 a00d b09a 08b0 000a  
0002120 0001 0001 0013 002f 00a4 9004 a00b b035  
0002130 08b0 000a 0001 0006 0017 0086 0091 9027  
0002140 a010 b008 08b0 000a 0001 0001 0015 00db  
0002150 0001 9009 a012 b096 08ac 000a 0001 0001  
0002160 0034 0016 0085 9006 a00d b026 08b0 000a  
0002170 0001 0001 0013 0460 0062 9005 a00c b049  
0002180 08af 000a 0001 0001 0013 00f7 0095 9005  
0002190 a00e b08b 08b0 000a 0001 0001 002c 0015  
00021a0 0097 9006 a030 b007 08b0 000a 0001 0001  
00021b0 0012 027c 012f 9005 a00f b028 0000 000a  
00021c0 0001 0001 0013 0129 009a 9007 a00e b090  
00021d0 0000 000a 0001 0007 009e 001d 009f 9009  
00021e0 a02d b00b 08b0 000a 0001 0001 0016 00c4  
00021f0 0113 9008 a013 b065 0000 000a 0001 0001  
0002200 0014 01d7 0093 9008 a010 b0db 0000 000a  
0002210 0001 0001 0012 00bf 0095 9007 a00b b060  
0002220 08af 000a 0001 0001 0013 019a 0089 9007  
0002230 a00e b0c1 08b0 000a 0001 0001 0018 0064  
0002240 00a5 9007 a009 b022 08b0 000a 0001 0001  
0002250 0012 0071 012f 9003 a000 b025 08b0 000a  
0002260 0001 0001 000c 0267 0098 9006 a007 b036  
0002270 08ad 000a 0001 0001 0012 0309 009c 9006  
0002280 a00c b02a 08b0 000a 0001 0001 000f 00e6  
0002290 009c 9007 a007 b07e 08af 000a 0001 0001  
00022a0 0013 00d1 00a2 9005 a00a b02d 08af 000a  
00022b0 0001 0001 0144 0017 00a8 9008 a044 b006  
00022c0 08b0 000a 0001 0001 000e 0052 0093 9002  
00022d0 a001 b023 08af 000a 0001 0001 000b 00d3  
00022e0 0001 9001 a001 b093 08ae 000a 0001 0001  
00022f0 00da 0014 0079 9004 a036 b004 08af 000a  
0002300 0001 0460 0011 0016 007f 90ed a00c b008

0002310 08b0 000a 0001 0001 0014 0059 0001 9008  
0002320 a014 b028 08ae 000a 0001 0001 0011 0045  
0002330 009e 900a a013 b023 08b0 000a 0001 0001  
0002340 0013 00bc 008b 9006 a00d b071 08b0 000a  
0002350 0001 0001 0012 00f1 00a0 9004 a00c b082  
0002360 08b0 000a 0001 0001 0013 02fe 00a3 9006  
0002370 a017 b02d 08b0 000a 0001 0001 000c 0139  
0002380 00b8 9002 a001 b0aa 0000 000a 0001 007c  
0002390 000c 0017 00a3 9026 a003 b00b 0000 000a  
00023a0 0001 0001 0019 018b 0093 900b a01a b09b  
00023b0 0000 000a 0001 0001 0013 0244 0090 9007  
00023c0 a00b b02f 0000 000a 0001 003e 0011 0027  
00023d0 0096 901b a000 b00a 08b0 000a 0001 0001  
00023e0 0011 019f 0097 9004 a009 b0c3 08b0 000a  
00023f0 0001 0001 0015 02eb 0001 9007 a012 b161  
0002400 08b0 000a 0001 0001 0011 046f 0099 9007  
0002410 a015 b02f 08af 000a 0001 0001 0015 0039  
0002420 006b 9006 a022 b00b 08ae 000a 0001 0001  
0002430 000f 0269 00a5 9002 a006 b10b 08af 000a  
0002440 0001 0001 0014 045e 0001 9003 a009 b041  
0002450 08ae 000a 0001 0001 000d 0129 00a1 9002  
0002460 a003 b0a6 08b0 000a 0001 0001 000c 0020  
0002470 0001 9003 a00e b022 08b0 000a 0001 0001  
0002480 0013 0052 0001 9004 a00e b056 08b0 000a  
0002490 0001 0001 0014 013c 0381 9007 a00f b02f  
00024a0 08af 000a 0001 0001 0014 00ad 005d 9005  
00024b0 a011 b027 08af 000a 0001 0001 027d 006b  
00024c0 00a1 9003 a04e b011 08b0 000a 0001 0001  
00024d0 002e 0017 00a3 9003 a019 b007 0000 000a  
00024e0 0001 0001 0015 0124 0098 9004 a006 b01d  
00024f0 0000 000a 0001 0001 0011 00d3 0086 9007  
0002500 a00b b076 08b0 000a 0001 0001 0013 0189  
0002510 008c 9004 a009 b021 0000 000a 0001 0001  
0002520 0012 0156 012e 9004 a00b b0a5 08b0 000a  
0002530 0001 0001 0014 01fb 009d 900a a010 b0db  
0002540 08b0 000a 0001 0001 0014 045e 0084 9006  
0002550 a010 b055 0000 000a 0001 0001 0039 0018  
0002560 008a 9009 a02c b00f 0000 000a 0001 0001  
0002570 0010 0025 00c3 9004 a005 b028 08af 000a  
0002580 0001 0001 0014 0464 00a3 9006 a00e b05d  
0002590 08b0 000a 0001 0001 0013 00b3 0086 9005  
00025a0 a00a b028 08b0 000a 0001 0001 000e 0129  
00025b0 0089 9006 a006 b0b6 08af 000a 0001 006e  
00025c0 0015 0014 0196 9022 a00b b00a 08af 000a  
00025d0 0001 0001 0012 01ed 0048 9006 a00b b0af  
00025e0 08af 000a 0001 0001 0014 00a4 0095 9006  
00025f0 a010 b06a 08b0 000a 0001 0001 000c 0065

0002600 0001 9007 a018 b027 08af 000a 0001 0001  
0002610 0011 0033 009e 9005 a008 b04e 08ae 000a  
0002620 0001 0001 0014 00ab 019b 9008 a010 b086  
0002630 08af 000a 0001 0001 0015 037a 0001 9008  
0002640 a012 b169 08ae 000a 0001 0001 00b6 0017  
0002650 009c 9008 a032 b008 0000 000a 0001 0001  
0002660 0013 00dc 00b6 9006 a00e b075 08b0 000a  
0002670 0001 0001 0013 0066 009e 9049 a013 b005  
0002680 08b0 000a 0001 0001 003f 0016 009b 9002  
0002690 a020 b00b 08b0 000a 0001 0001 029a 0016  
00026a0 009e 9006 a049 b00c 0000 000a 0001 045e  
00026b0 045e 0017 00a1 90c9 a127 b009 0000 000a  
00026c0 0001 0001 0046 0014 009e 9007 a033 b006  
00026d0 0000 000a 0001 0143 0014 0015 009d 904c  
00026e0 a012 b008 0000 000a 0001 0001 0011 0338  
00026f0 009c 9006 a013 b038 08b0 000a 0001 0001  
0002700 016f 0016 0098 9008 a02d b00a 0000 000a  
0002710 0001 0001 0012 0034 0070 9006 a012 b01d  
0002720 08b0 000a 0001 0001 0016 0033 016d 9008  
0002730 a00e b036 08af 000a 0001 0001 0013 02b9  
0002740 00bc 9005 a00d b0f6 08af 000a 0001 0001  
0002750 001b 008f 007a 9010 a02b b022 08ae 000a  
0002760 0001 0001 0278 0016 004d 9008 a04c b007  
0002770 08ae 000a 0001 0001 0013 0472 0085 9006  
0002780 a00a b051 08af 000a 0001 0001 0011 00a3  
0002790 0098 9006 a009 b05e 08b0 000a 0001 0001  
00027a0 0017 00d2 0078 900a a017 b079 08b0 000a  
00027b0 0001 0001 0011 0044 00d2 9005 a072 b00c  
00027c0 08b0 000a 0001 0001 0012 045e 008d 9008  
00027d0 a012 b03a 0000 000a 0001 0001 0080 0014  
00027e0 0089 900b a05b b006 0000 000a 0001 0001  
00027f0 0015 010c 0093 9008 a014 b084 0000 0000  
0002800 0400 0005 0000 000a 0001 0001 0103 0014  
0002810 00a6 9006 a026 b008 08b0 000a 0001 0003  
0002820 001a 00c4 0104 9003 a000 b029 0000 000a  
0002830 0001 0468 0011 0016 0096 909c a00e b006  
0002840 08af 000a 0001 0001 013e 0017 0090 9008  
0002850 a0b6 b007 08b0 000a 0001 0001 00da 0051  
0002860 00a4 9007 a07f b056 08b0 000a 0001 00bd  
0002870 000f 0019 00b9 9026 a001 b002 0000 000a  
0002880 0001 0001 0043 0015 008c 9008 a034 b005  
0002890 0000 000a 0001 01b6 0012 0017 00a4 904a  
00028a0 a00d b009 0000 000a 0001 0001 0015 0036  
00028b0 0099 9008 a012 b09b 08b0 000a 0001 0001  
00028c0 00bc 0014 0088 900a a03f b004 0000 000a  
00028d0 0001 045e 0012 0017 009a 9134 a008 b00c  
00028e0 0000 000a 0001 0001 0015 045e 0095 9008

00028f0 a012 b067 0000 000a 0001 0001 000f 0067  
0002900 008c 9005 a008 b04d 08b0 000a 0001 0001  
0002910 0052 0018 009f 9003 a02e b00f 08b0 000a  
0002920 0001 0001 0015 045e 0090 9004 a00d b034  
0002930 0000 000a 0001 0001 045e 0012 00d0 9008  
0002940 a1f6 b001 08b0 000a 0001 0001 0016 01ab  
0002950 0094 9008 a012 b02e 08b0 000a 0001 0001  
0002960 0011 00ce 0093 9007 a009 b08d 0000 000a  
0002970 0001 0001 000d 045e 014d 9003 a00a b04b  
0002980 08af 000a 0001 0001 045e 0016 009b 9007  
0002990 a09f b003 08b0 000a 0001 0001 0015 0250  
00029a0 00b1 9005 a006 b02a 08b0 000a 0001 0001  
00029b0 045e 0021 01b0 9008 a057 b009 08b0 000a  
00029c0 0001 0001 000e 0136 00a3 9006 a006 b08d  
00029d0 08af 000a 0001 0001 0011 045e 0085 9005  
00029e0 a008 b057 08af 000a 0001 0001 0014 002f  
00029f0 009f 9009 a011 b030 08b0 000a 0001 0001  
0002a00 0014 00c6 009f 9004 a010 b072 08af 000a  
0002a10 0001 0001 0016 0189 0095 9005 a015 b0b2  
0002a20 08b0 000a 0001 0001 0012 0248 0097 9008  
0002a30 a010 b02e 08b0 000a 0001 0001 001a 0017  
0002a40 0096 9003 a022 b008 0000 000a 0001 0001  
0002a50 0133 0014 0095 9005 a033 b009 0000 000a  
0002a60 0001 0001 0016 0108 007f 9009 a016 b07e  
0002a70 08b0 000a 0001 010f 0011 0015 009e 9040  
0002a80 a003 b008 08ae 000a 0001 00b0 0012 0017  
0002a90 0086 9029 a011 b008 0000 000a 0001 0001  
0002aa0 0013 011e 0095 9007 a00d b08f 08af 000a  
0002ab0 0001 0001 0015 036b 0079 9006 a010 b026  
0002ac0 08af 000a 0001 0001 0015 046a 003f 9008  
0002ad0 a010 b02e 08b0 000a 0001 0001 0014 019f  
0002ae0 0216 9008 a010 b0e9 08ae 000a 0001 0001  
0002af0 0015 0114 00a1 9008 a00d b028 08b0 000a  
0002b00 0001 0001 0019 01bd 005b 904e a00b b019  
0002b10 08b0 000a 0001 0001 0012 0212 00a6 9002  
0002b20 a007 b027 08b0 000a 0001 0001 0013 046a  
0002b30 01a1 9007 a010 b04c 08af 000a 0001 0001  
0002b40 0016 0094 005d 9008 a015 b073 08af 000a  
0002b50 0001 0001 0016 032e 007b 9007 a00e b029  
0002b60 08b0 000a 0001 0001 0016 045e 007c 9006  
0002b70 a00a b02e 08ad 000a 0001 0001 0015 0135  
0002b80 0077 9007 a011 b0a8 08af 000a 0001 0001  
0002b90 0012 01b8 009d 9006 a00b b08c 08b0 000a  
0002ba0 0001 0001 0310 0015 00cc 900a a04e b004  
0002bb0 08ae 000a 0001 0001 0012 0034 007d 900a  
0002bc0 a016 b027 08af 000a 0001 0001 001a 0015  
0002bd0 009e 9005 a01f b006 08b0 000a 0001 0001

0002be0 0014 045e 00b3 9004 a008 b0a1 0000 000a  
0002bf0 0001 0001 0013 0168 0094 9005 a00d b0b9  
0002c00 0000 000a 0001 0001 001b 0015 009d 9007  
0002c10 a025 b005 0000 000a 0001 0034 0011 0016  
0002c20 009b 9022 a008 b009 0000 000a 0001 0001  
0002c30 0015 0127 00a1 900a a010 b01d 0000 000a  
0002c40 0001 0001 0013 0106 0095 9004 a00c b08e  
0002c50 08af 000a 0001 0001 0013 017d 0073 9005  
0002c60 a00f b0be 08b0 000a 0001 0001 0017 019f  
0002c70 012b 900a a018 b0c9 08b0 000a 0001 0001  
0002c80 0037 0017 009d 9006 a025 b003 08b0 000a  
0002c90 0001 0001 0015 0293 00a7 9007 a00d b037  
0002ca0 0000 000a 0001 0001 0012 0456 00a5 9006  
0002cb0 a003 b031 0000 000a 0001 01ef 0015 0016  
0002cc0 0083 9059 a016 b007 08af 000a 0001 0001  
0002cd0 000e 045e 008c 9007 a016 b04c 0000 000a  
0002ce0 0001 0001 000f 008e 0001 9004 a006 b072  
0002cf0 08af 000a 0001 0001 0016 01a1 007c 900a  
0002d00 a013 b0c6 08af 000a 0001 00e7 001b 0018  
0002d10 0073 9024 a00b b00a 08ae 000a 0001 0001  
0002d20 0010 0035 00a3 9097 a00c b00c 08af 000a  
0002d30 0001 0001 0012 0021 0282 9004 a00a b024  
0002d40 08ae 000a 0001 0001 000f 005f 0023 9003  
0002d50 a00a b033 08af 000a 0001 0001 000d 001f  
0002d60 0064 9004 a007 b033 08b0 000a 0001 0001  
0002d70 00d3 001e 0097 9003 a027 b00b 08b0 000a  
0002d80 0001 00c2 045e 0017 00a7 9032 a08c b00c  
0002d90 08b0 000a 0001 0001 0017 00d6 0096 9007  
0002da0 a017 b07a 08b0 000a 0001 015f 0016 0015  
0002db0 008d 9037 a017 b008 08b0 000a 0001 0001  
0002dc0 0058 0015 008f 9007 a02a b004 0000 000a  
0002dd0 0001 0001 0013 00cc 00a6 9006 a00e b070  
0002de0 08b0 000a 0001 0001 0013 0159 0096 9005  
0002df0 a00e b0a4 0000 000a 0001 0001 0011 010e  
0002e00 017c 9005 a00a b092 0000 000a 0001 0001  
0002e10 000b 0024 00e5 9004 a014 b021 08ae 000a  
0002e20 0001 0001 0011 0458 07c5 9004 a006 b037  
0002e30 08ae 000a 0001 0001 0014 045e 00bb 9009  
0002e40 a011 b289 08af 000a 0001 0001 0016 008d  
0002e50 00a7 9007 a010 b023 08b0 000a 0001 0001  
0002e60 0357 0015 009e 9000 a047 b00a 08b0 000a  
0002e70 0001 0001 03cb 001a 0093 9007 a063 b00c  
0002e80 08af 000a 0001 0078 0012 0014 0092 9032  
0002e90 a00b b00b 0000 000a 0001 0001 0010 001f  
0002ea0 008d 9005 a013 b01c 0000 000a 0001 0001  
0002eb0 0010 045e 009b 9003 a00f b047 0000 000a  
0002ec0 0001 0001 0014 016c 0090 9008 a010 b0b1

0002ed0 0000 000a 0001 0001 0013 0094 00a1 9009  
0002ee0 a00f b05a 08b0 000a 0001 008e 000d 002e  
0002ef0 00a0 9038 a00b b009 0000 000a 0001 002d  
0002f00 0013 0016 008e 9033 a016 b00a 0000 000a  
0002f10 0001 0001 000c 011c 00a0 9002 a003 b099  
0002f20 0000 000a 0001 0001 0012 0099 0091 9005  
0002f30 a00c b05c 0000 000a 0001 0001 0026 0024  
0002f40 0095 9007 a032 b00c 0000 000a 0001 0001  
0002f50 0015 0095 0085 9004 a007 b01e 0000 000a  
0002f60 0001 0001 000f 00a4 00a8 9004 a007 b029  
0002f70 0000 000a 0001 0001 0012 00f7 0093 9009  
0002f80 a00c b084 08b0 000a 0001 0001 003e 002b  
0002f90 00a4 9006 a020 b006 08b0 000a 0001 0001  
0002fa0 0284 0017 0076 9006 a050 b008 08ae 000a  
0002fb0 0001 0001 0011 003e 0001 9002 a00b b029  
0002fc0 08ae 000a 0001 0001 0012 01c7 005d 9007  
0002fd0 a012 b04e 08af 000a 0001 0001 0010 045e  
0002fe0 01f1 9005 a007 b071 08af 000a 0001 0060  
0002ff0 0013 0016 00a1 9037 a00c b006 08af 0000  
0003000 0400 0006 0000 000a 0001 0001 03a2 0016  
0003010 007c 9007 a079 b004 08ae 000a 0001 0001  
0003020 000a 0059 00a0 9007 a013 b018 08b0 000a  
0003030 0001 0001 0014 021f 00ac 9003 a007 b02e  
0003040 08b0 000a 0001 0001 0083 0015 00a0 9006  
0003050 a033 b006 0000 000a 0001 0001 0017 00c7  
0003060 0185 900a a016 b06d 0000 000a 0001 0001  
0003070 000f 002f 009c 9004 a034 b009 08b0 000a  
0003080 0001 0001 0014 0081 009c 9007 a011 b04e  
0003090 08b0 000a 0001 045e 0354 045e 0094 907c  
00030a0 a03f b032 08b0 000a 0001 0030 0013 0016  
00030b0 019b 9021 a00b b006 08b0 000a 0001 0001  
00030c0 0015 0211 009d 9009 a015 b028 0000 000a  
00030d0 0001 0001 0015 01da 0097 9005 a00c b01c  
00030e0 0000 000a 0001 00ea 0012 0014 009e 904a  
00030f0 a00a b004 0000 000a 0001 0001 0011 0043  
0003100 0091 9007 a015 b02a 0000 000a 0001 0001  
0003110 0013 01d5 0041 9005 a00d b0c6 08b0 000a  
0003120 0001 0001 0042 0014 00a0 9003 a026 b009  
0003130 0000 000a 0001 0001 0015 012e 009d 9009  
0003140 a011 b093 0000 000a 0001 0001 0014 00b0  
0003150 0096 9005 a010 b060 0000 000a 0001 0001  
0003160 0174 0015 0097 9005 a0af b009 0000 000a  
0003170 0001 0001 000e 0085 0094 9004 a004 b054  
0003180 08ae 000a 0001 0001 0010 003b 005e 9004  
0003190 a00a b045 08b0 000a 0001 0001 0012 008e  
00031a0 008d 9007 a010 b01f 0000 000a 0001 0001  
00031b0 0014 00f1 0092 9008 a00f b01e 08b0 000a

00031c0 0001 0001 0124 0016 00a0 9004 a031 b009  
00031d0 08b0 000a 0001 0001 0016 0198 009a 9009  
00031e0 a012 b028 0000 000a 0001 0001 0011 0194  
00031f0 00a3 9006 a00b b0b6 08b0 000a 0001 0001  
0003200 0012 0076 0094 9007 a00f b015 0000 000a  
0003210 0001 0001 0016 045e 07c5 9005 a009 b051  
0003220 08b0 000a 0001 0001 0011 00ce 00a8 9003  
0003230 a00b b073 0000 000a 0001 0001 0010 0029  
0003240 009d 9004 a010 b01f 08b0 000a 0001 0001  
0003250 0014 0021 00a1 9009 a012 b017 08b0 000a  
0003260 0001 0001 045e 0016 0097 9008 a04e b006  
0003270 08af 000a 0001 018f 0015 0016 009a 905a  
0003280 a013 b005 08af 000a 0001 0001 0012 045e  
0003290 0098 9006 a010 b046 08b0 000a 0001 0001  
00032a0 0012 0125 0091 9008 a00c b0b4 08b0 000a  
00032b0 0001 0001 000f 00ae 008f 9002 a009 b02f  
00032c0 08af 000a 0001 0001 00b2 001e 0001 9008  
00032d0 a071 b017 08af 000a 0001 0001 0017 0463  
00032e0 0001 9004 a012 b05b 08af 000a 0001 0001  
00032f0 0014 00fd 009a 9008 a00f b0a4 08b0 000a  
0003300 0001 0001 000b 00a8 009a 9004 a001 b07f  
0003310 08af 000a 0001 0001 0014 011a 0001 9006  
0003320 a00f b09e 08af 000a 0001 0001 004d 0015  
0003330 0087 9005 a029 b006 08af 000a 0001 0001  
0003340 0015 0022 014f 9007 a010 b01f 08af 000a  
0003350 0001 0001 0012 0188 0093 9006 a00b b0db  
0003360 08ae 000a 0001 0001 0014 0070 01e1 9009  
0003370 a00f b04e 08af 000a 0001 0057 000e 0017  
0003380 00a1 902e a008 b009 0000 000a 0001 008d  
0003390 0013 0014 00a6 902a a007 b007 0000 000a  
00033a0 0001 0001 0016 01bf 00a2 9008 a015 b0c6  
00033b0 0000 000a 0001 0001 0016 045e 0074 9007  
00033c0 a008 b082 08b0 000a 0001 045e 0014 0017  
00033d0 02e7 90a7 a010 b00b 08b0 000a 0001 00ee  
00033e0 0012 0016 00a6 9057 a006 b009 0000 000a  
00033f0 0001 0001 0012 0034 00b1 9008 a00f b01e  
0003400 08b0 000a 0001 006e 001b 0015 0056 9039  
0003410 a01a b006 08b0 000a 0001 0001 0019 045e  
0003420 009d 9009 a010 b02e 0000 000a 0001 0001  
0003430 0015 00c8 0086 9008 a012 b077 08b0 000a  
0003440 0001 0001 0014 045e 0099 9004 a00d b04c  
0003450 08b0 000a 0001 0001 0013 0079 0092 9006  
0003460 a00f b053 08b0 000a 0001 0001 0010 0462  
0003470 0080 9003 a00b b06c 08b0 000a 0001 0001  
0003480 0016 037c 0001 9007 a00e b04d 08ad 000a  
0003490 0001 0001 0010 0090 0099 9004 a006 b053  
00034a0 08b0 000a 0001 0001 0016 0118 0093 9004

00034b0 a003 b019 0000 000a 0001 0001 0015 00ac  
00034c0 0099 9001 a001 b01e 0000 000a 0001 0001  
00034d0 0012 0037 008f 9005 a00a b019 08b0 000a  
00034e0 0001 0001 0015 0065 0093 9006 a008 b016  
00034f0 08b0 000a 0001 0001 000e 00b3 0092 9005  
0003500 a007 b065 0000 000a 0001 0009 0010 0102  
0003510 0096 9014 a009 b081 0000 000a 0001 0001  
0003520 000f 00c2 009f 9005 a007 b068 08b0 000a  
0003530 0001 0001 0016 009d 008a 9006 a003 b01f  
0003540 0000 000a 0001 0093 0015 0013 008a 9004  
0003550 a003 b08a 08b0 000a 0001 0001 0281 0015  
0003560 009f 9004 a0fd b007 08af 000a 0001 0001  
0003570 0014 0134 0093 9007 a012 b0a2 08b0 000a  
0003580 0001 01dd 0019 0017 0286 903a a017 b007  
0003590 08af 000a 0001 0001 0012 019f 0051 9005  
00035a0 a00b b0bb 08b0 000a 0001 0001 0011 008f  
00035b0 007d 9006 a00a b064 08af 000a 0001 0001  
00035c0 0014 045e 0046 9005 a00c b031 08ad 000a  
00035d0 0001 0001 0014 0477 0082 9004 a00b b035  
00035e0 08b0 000a 0001 0001 0013 002f 00ac 9007  
00035f0 a009 b03a 08af 000a 0001 0001 0049 0150  
0003600 0086 9007 a032 b0a5 08b0 000a 0001 0001  
0003610 0013 003c 0092 9007 a016 b028 08b0 000a  
0003620 0001 0078 002c 0019 008b 900c a022 b00c  
0003630 08af 000a 0001 0001 0013 016c 0094 9007  
0003640 a00e b0a8 08b0 000a 0001 0001 0026 0018  
0003650 005d 9008 a026 b006 08b0 000a 0001 0001  
0003660 005f 0015 009d 9004 a02c b005 0000 000a  
0003670 0001 0001 0012 0091 0094 9006 a00d b05b  
0003680 0000 000a 0001 0001 0014 003f 0090 9008  
0003690 a010 b06e 0000 000a 0001 0001 0010 00ec  
00036a0 00a6 9004 a008 b080 0000 000a 0001 0001  
00036b0 005f 0028 0085 9000 a056 b027 0000 000a  
00036c0 0001 0001 0014 045e 0088 9009 a011 b036  
00036d0 0000 000a 0001 0001 0015 0226 00a7 9007  
00036e0 a012 b106 08af 000a 0001 0001 000e 0260  
00036f0 009f 9005 a005 b109 0000 000a 0001 0001  
0003700 0010 009a 00a3 9004 a007 b054 08b0 000a  
0003710 0001 0001 00bb 0016 00a7 9004 a02c b007  
0003720 0000 000a 0001 0001 00ea 0016 008e 9008  
0003730 a0a9 b009 08b0 000a 0001 0001 0016 015c  
0003740 008c 9007 a014 b09a 08af 000a 0001 0001  
0003750 0017 045e 0091 900a a016 b060 08b0 000a  
0003760 0001 0001 0017 0127 007f 9009 a018 b09e  
0003770 08ad 000a 0001 0001 001a 045e 0081 9009  
0003780 a014 b077 08b0 000a 0001 0001 00f5 0016  
0003790 00ea 9006 a026 b008 08ae 000a 0001 0001

00037a0 0014 045e 07c5 9006 a003 b064 08af 000a  
00037b0 0001 0001 0015 00c9 0061 9006 a00c b02c  
00037c0 08b0 000a 0001 0001 0016 030b 0152 900a  
00037d0 a012 b05c 08b0 000a 0001 0001 0017 0060  
00037e0 0084 9008 a017 b04b 08b0 000a 0001 0001  
00037f0 0014 045e 00a2 9005 a00f b039 08b0 0000  
0003800 0400 0007 0000 000a 0001 0001 02e2 0015  
0003810 0012 9007 a05a b006 08b0 000a 0001 0001  
0003820 0015 013d 0074 900f a00c b033 08b0 000a  
0003830 0001 0001 0013 0081 0089 9007 a00c b052  
0003840 08af 000a 0001 0001 0013 00bb 0001 9007  
0003850 a00c b035 08af 000a 0001 0001 000d 0472  
0003860 0099 9002 a009 b045 08af 000a 0001 0001  
0003870 0012 0096 0040 9007 a017 b04d 08b0 000a  
0003880 0001 0001 0015 0025 0098 9009 a010 b029  
0003890 08b0 000a 0001 0001 0010 0477 0070 9006  
00038a0 a008 b07e 08af 000a 0001 0001 0014 013b  
00038b0 0088 9007 a010 b01d 08b0 000a 0001 00f4  
00038c0 0010 0018 0088 902d a00a b009 0000 000a  
00038d0 0001 0001 0015 00ba 0091 9006 a010 b069  
00038e0 0000 000a 0001 0001 000f 006c 009b 9004  
00038f0 a00e b020 0000 000a 0001 0001 0014 016d  
0003900 008e 9006 a010 b0a9 0000 000a 0001 0001  
0003910 0016 00a3 009e 900a a015 b058 0000 000a  
0003920 0001 0001 00b9 0014 0087 9005 a030 b00a  
0003930 08b0 000a 0001 0001 0011 0224 008a 9009  
0003940 a014 b02c 08b0 000a 0001 0001 01f2 0015  
0003950 009b 9005 a04e b008 08b0 000a 0001 0001  
0003960 0014 020f 008a 9005 a008 b027 0000 000a  
0003970 0001 0001 0414 0016 0095 9005 a06a b008  
0003980 08b0 000a 0001 0001 003d 0014 00ac 9005  
0003990 a01b b007 0000 000a 0001 0001 0011 02b5  
00039a0 009a 9004 a006 b04a 08b0 000a 0001 0001  
00039b0 0010 001e 00a4 9005 a022 b00e 08b0 000a  
00039c0 0001 0002 000d 045e 02b7 9003 a00b b049  
00039d0 08b0 000a 0001 0001 0013 0469 0091 9007  
00039e0 a018 b032 08b0 000a 0001 0001 0018 00a5  
00039f0 0081 9008 a018 b079 0000 000a 0001 0001  
0003a00 0014 0197 0090 9003 a000 b022 08af 000a  
0003a10 0001 0001 000e 016e 006a 9004 a00c b02d  
0003a20 08b0 000a 0001 0001 0015 045e 0138 9007  
0003a30 a011 b048 0000 000a 0001 0001 000f 0462  
0003a40 0088 9004 a010 b04a 08b0 000a 0001 0001  
0003a50 0011 00d6 0096 9005 a016 b03e 08af 000a  
0003a60 0001 0001 0016 0462 0001 9006 a00c b047  
0003a70 08af 000a 0001 0002 00f9 008a 0118 9006  
0003a80 a006 b01d 08b0 000a 0001 0058 000d 0018

0003a90 008f 901c a005 b00e 08b0 000a 0001 0001  
0003aa0 0087 0014 0090 9008 a031 b002 08b0 000a  
0003ab0 0001 0001 0013 0045 0083 9003 a00e b038  
0003ac0 08b0 000a 0001 0001 0012 002b 0090 9008  
0003ad0 a011 b030 08b0 000a 0001 0001 000f 00fe  
0003ae0 0096 9006 a00e b024 08af 000a 0001 0001  
0003af0 0013 00fc 00ad 9007 a009 b01b 0000 000a  
0003b00 0001 01d4 0014 0015 0093 9047 a00a b004  
0003b10 0000 000a 0001 0001 0015 019f 00ad 9006  
0003b20 a011 b0c6 0000 000a 0001 0001 0013 00b0  
0003b30 0056 9006 a00d b068 08ad 000a 0001 034f  
0003b40 0012 0018 009a 9059 a009 b00b 08b0 000a  
0003b50 0001 0001 0015 045e 0051 9009 a015 b04b  
0003b60 08b0 000a 0001 0001 0013 012b 0099 9008  
0003b70 a013 b038 08af 000a 0001 0001 0013 0027  
0003b80 01e7 9009 a010 b027 08b0 000a 0001 0001  
0003b90 000f 0113 0087 9004 a009 b077 08af 000a  
0003ba0 0001 0001 0014 0043 015b 9002 a006 b030  
0003bb0 08ad 000a 0001 0001 0017 0473 005f 9008  
0003bc0 a00f b080 0000 000a 0001 0001 0018 0037  
0003bd0 0095 9005 a00b b01f 08b0 000a 0001 0001  
0003be0 0016 02ae 0001 9009 a013 b10f 08ae 000a  
0003bf0 0001 001b 0014 0066 0057 901d a013 b049  
0003c00 08af 000a 0001 0001 0014 0067 0098 9003  
0003c10 a00b b02c 08b0 000a 0001 0001 0016 045f  
0003c20 008c 9008 a013 b053 08b0 000a 0001 0001  
0003c30 0011 0104 009c 9004 a00c b08c 0000 000a  
0003c40 0001 0001 0010 00e2 00ba 9006 a00f b01f  
0003c50 08b0 000a 0001 0001 00c2 0016 00a4 9006  
0003c60 a026 b009 08b0 000a 0001 0001 0015 003a  
0003c70 00ab 9008 a00f b02c 0000 000a 0001 00f5  
0003c80 0015 0014 0088 9036 a018 b00c 08b0 000a  
0003c90 0001 0001 000d 0124 00a8 9003 a004 b094  
0003ca0 0000 000a 0001 0001 003b 005a 00a0 9006  
0003cb0 a031 b042 0000 000a 0001 0001 0014 0070  
0003cc0 010d 900c a01f b021 0000 000a 0001 0001  
0003cd0 0015 010e 008e 9006 a010 b096 08b0 000a  
0003ce0 0001 0001 0013 00a3 00af 9003 a002 b028  
0003cf0 08b0 000a 0001 0001 0014 015d 0096 9007  
0003d00 a00d b02b 08b0 000a 0001 0001 0014 010c  
0003d10 008e 9006 a010 b084 08b0 000a 0001 0001  
0003d20 0013 01a4 006d 9006 a00d b0c9 08b0 000a  
0003d30 0001 0001 0011 00ae 009a 9001 a001 b020  
0003d40 0000 000a 0001 0001 004d 0018 0091 9004  
0003d50 a02e b009 0000 000a 0001 0001 0045 0053  
0003d60 0092 9002 a021 b00d 08b0 000a 0001 0001  
0003d70 0016 008c 00a6 900a a014 b059 08b0 000a

0003d80 0001 039c 01cf 0017 00a4 904c a02a b008  
0003d90 08b0 000a 0001 0001 03f7 0015 008e 9008  
0003da0 a050 b009 08b0 000a 0001 0029 0012 0017  
0003db0 0078 9024 a00c b009 08af 000a 0001 0001  
0003dc0 0010 0060 0092 9003 a007 b046 08b0 000a  
0003dd0 0001 0001 0010 0026 009c 9004 a005 b02a  
0003de0 08b0 000a 0001 0001 0013 00aa 00a6 9004  
0003df0 a00d b067 08b0 000a 0001 0001 0012 0027  
0003e00 009a 9007 a012 b023 08b0 000a 0001 0001  
0003e10 0010 008d 0089 9008 a014 b019 08b0 000a  
0003e20 0001 0001 00da 0016 008d 9009 a039 b007  
0003e30 0000 000a 0001 0001 000c 0027 00a7 9001  
0003e40 a001 b022 0000 000a 0001 0001 000e 012b  
0003e50 009b 9003 a005 b08b 0000 000a 0001 0001  
0003e60 0011 0099 00a4 9004 a00a b057 08b0 000a  
0003e70 0001 0001 0013 02fb 009b 9004 a009 b028  
0003e80 0000 000a 0001 0001 00b2 0026 008b 9001  
0003e90 a001 b028 0000 000a 0001 0001 000d 0030