

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。  
2001. 6. - 6

[技術情報室]

# 動燃東海事業所のホール・ボディ・カウンタ

## — その構成と特性について —

The Whole Body Counter at PNC Tōkai Works

Its Structure and Some Characteristics

1974年12月

動力炉・核燃料開発事業団

東 海 事 業 所

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ください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries 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)  
2001



TN 841-74-44

1974年12月9日

## 動燃東海事業所のホール・ボディ・カウンタ

## —その構成と特性について—

## 要旨

動燃東海事業所では、使用済核燃料再処理工場の操業開始を間近に控え、当施設で働く放射線作業従事者等の内部被曝管理対策の一環として、ホール・ボディ・カウンタを設置した。この報告書は、本装置に関して行った校正試験の結果を中心に、装置設置上の基礎的配慮、装置の構成および特性等について記述したものである。鉄室は肺モニタ用に製作されたものを供用し、内法寸法：間口 2 m、奥行 2.5 m、高さ 2 m、主材：鉄 20cm厚、内張材：鉛 3 mm厚十銅 0.5 mm厚十塩ビ 3 mm厚となつてある。検出器は 5 in.  $\phi$  × 4 in. 厚 NaI (Tl) 検出器で、400 チャンネル波高分析器に連結されており、身長方向のスキャンニングが可能となっている。本装置の鉄室内バックグラウンドは 0.15 ~ 2 MeV のエネルギー範囲について 607.37 cpm である。Cs ファントムまたは K ファントムを用い、ベッド・ジオメトリーで得た検出効率は、Cs チャンネル (0.60 ~ 0.72 MeV) について 3.28 cpm / nCi、K チャンネル (1.34 ~ 1.54 MeV) について 0.29 cpm / nCi であり、これら両チャンネルでのバックグラウンドは、それぞれ 44.36 cpm と 22.41 cpm である。最小検出量として、30 分測定 3 σ の信頼度で、<sup>137</sup>Cs について 1.3 nCi、<sup>40</sup>K について 9.5 nCi を得た。また本装置を用いて 10 名の被検者について測定した平均体内カリウム量は、体重の 0.2 %相当量であり、<sup>137</sup>Cs 量は何れも本装置の最小検出限界以下であった。

1974年9月

実施責任者 須磨崎 一治

報告者 岡部 正則

大高 正

野田 喜美雄

## 目 次

I はじめに .....	1
II 装置設置上の基礎的配慮 .....	2
III 装置の構成 .....	3
IV 装置の特性 .....	7
1) エネルギー分解能と直線性 .....	7
2) バックグラウンド .....	14
3) 校正と検出効率 ( cpm / nCi ) .....	21
4) 最小検出量 .....	29
V 人体バックグラウンドの測定 .....	31
VI むすび .....	33
参考資料 .....	34

## I はじめに

わが国最初の使用済核燃料再処理工場の操業開始を間近に控え、動燃東海事業所においては、本施設で働くいわゆる放射線作業従事者等に対する内部被曝管理対策の一環として、ホール・ボディ・カウンタを設置した。<sup>\*</sup>

再処理工場で働くこれら従事者等の放射線被曝防護の問題は重要であって、作業者個人の被曝管理、なかんずく個人内部被曝管理の対象となる放射性核種は多種類に及ぶが、このうち<sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y, <sup>144</sup>Ce, <sup>131</sup>Iなどの比較的高いエネルギーのγ線を放出する核種については、尿のバイオアッセイ検査による方法よりも、ホール・ボディ・カウンタによる直接体外計測法で体内量を測定評価する方法が有利である。

この報告書は、以上の目的で設置されたホール・ボディ・カウンタについて基礎的試験を実施した結果を中心に、本カウンタの構成と特性、および人体内<sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs等のバックグラウンドの測定例をまとめたものである。

---

<sup>\*</sup> 1973年11月、動燃東海事業所放射線保健室内に設置された。

## II 装置設置上の基礎的配慮

再処理工場における日常の放射線管理業務に使用するホール・ボディ・カウンタを設置するに当って、実用的な見地から次の諸点を考慮した。

- 1) 再処理工場で働く放射線作業従事者等を対象として、年に1回以上の定常モニタリング用として使用する。この場合におけるスクリーニングのための基準として、国際放射線防護委員会（ICRP）専門委員会4の報告にある調査レベル（Investigation Level）を採用する。
- 2) このほか、上記放射線作業従事者等に対する特殊モニタリング用、すなわち異常・事故等による放射性核種の体内摂取があったと思われる場合における体内放射性核種量の測定・評価に利用する。この場合、測定対象となる核種は、<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr + <sup>90</sup>Y、<sup>131</sup>I、<sup>144</sup>Ce、<sup>95</sup>Zr + <sup>95</sup>Nb、<sup>106</sup>Ruなどが考えられ、これらの核種同定が必要である。
- 3) 定常モニタリングの測定時間は、被検者が1人で密室（鉄室）にとじこもっている場合の心理的な負担から考えて、一応30分を標準とする。
- 4) 最小検出量は、上記1)の調査レベルを充分下まわることが必要であり、<sup>137</sup>Csについては、最大許容身体負荷量の0.1%程度を目標とする。
- 5) 遮蔽用鉄室は、既設の肺モニタ用鉄室を供用する。（この鉄室は被検者に与える心理的な負担を少なくするよう、特に内部の広さ、内壁の仕上げ色調、鉄室内外の通話、測定中鉄室内への音楽放送、および鉄室内暖冷房等に対する配慮が払われている。）
- 6) 放射性核種の体内沈着部位を決定するためのコリメータの取付け、および身長方向のスキャンニングが可能であること。
- 7) 被検者測定台は、ベッド式として使用できる他、いわゆる「標準椅子」式としても使用できること。
- 8) 多数の測定データの処理が、容易に行えるようテープ読み出し、コンピュータ処理を考える。

以上の基礎的な配慮に立って、ホール・ボディ・カウンタの発注を行なった。なお本装置の製作を担当したのは富士電機製造株式会社であった。

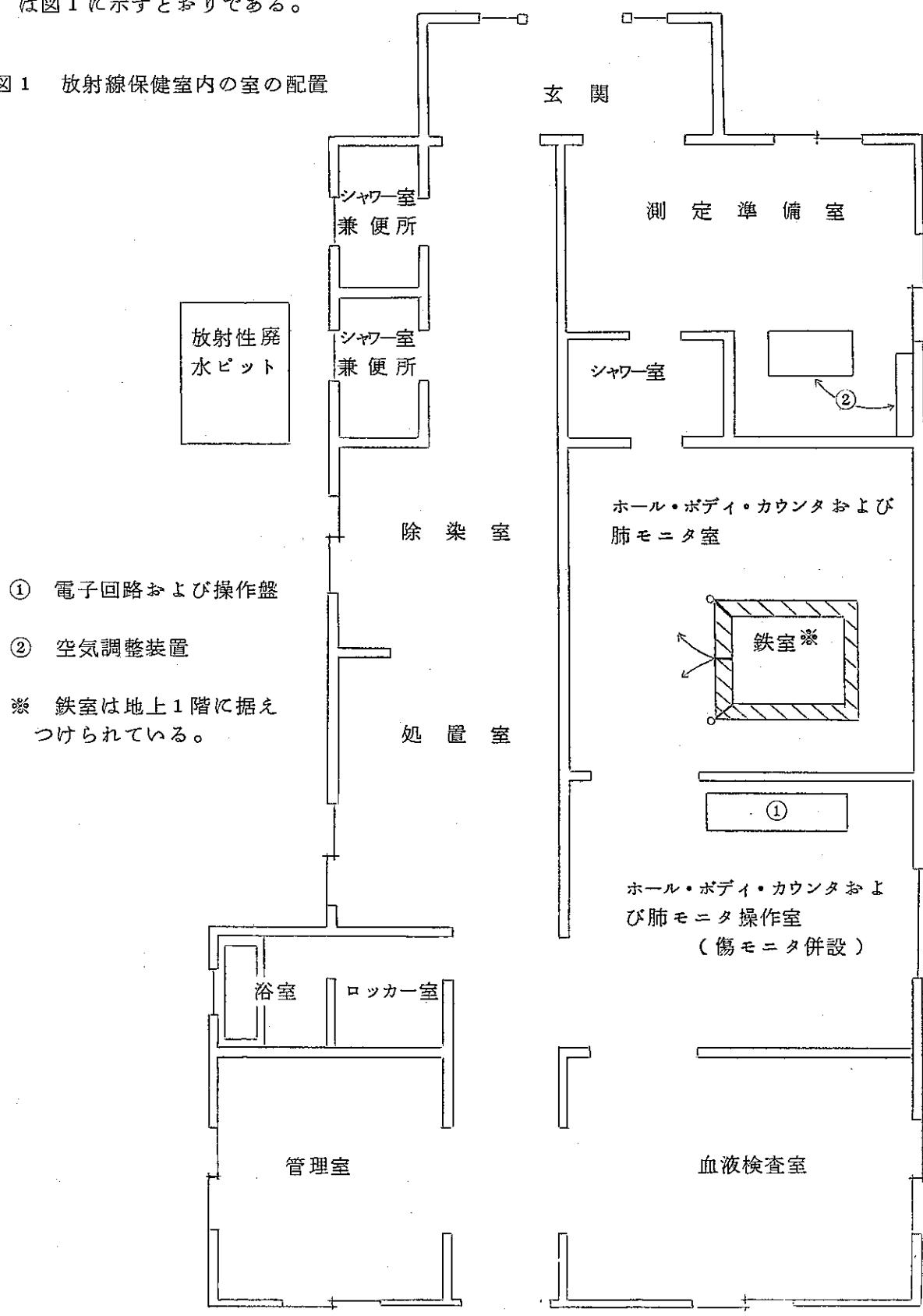
---

※昭和45年4月、肺中プルトニウムの測定用として設置された。

### III 装置の構成

本装置は、動燃東海事業所放射線保健室内に設置されており、放射線保健室内の室の配置は図1に示すとおりである。

図1 放射線保健室内の室の配置



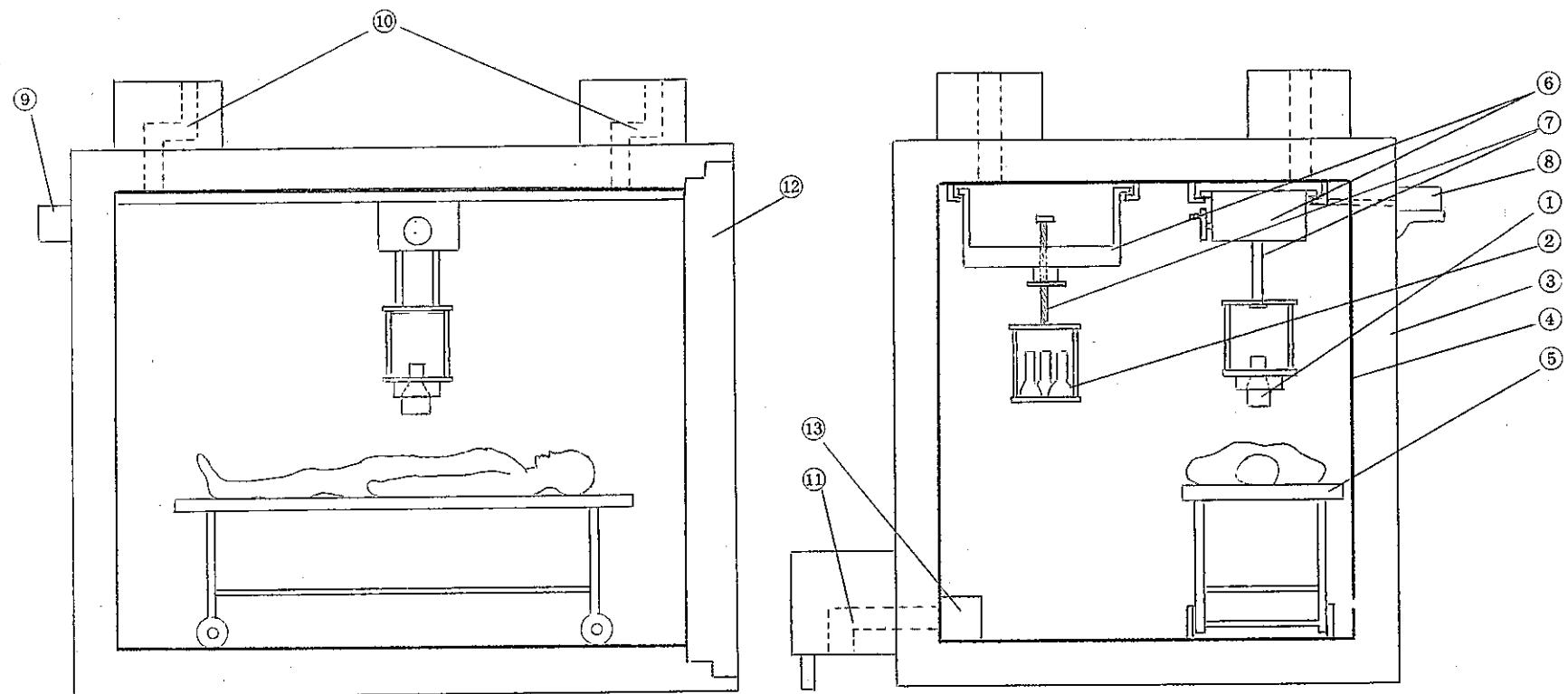
装置の構成は、宇宙線等の自然放射線を遮蔽するための鉄室と、NaI(Tl)シンチレーション検出器、電子回路およびその他の附属機器からなる。

遮蔽用鉄室の内部の模様および構造を、図2に示し、鉄室各部の構成材料および寸法などの仕様を表1に示す。この鉄室は、もともと肺モニタ用の鉄室として設置されたものである。特に低エネルギー領域(100 KeV以下)の自然計数を減少させる目的で、鉄室前面の内張材として銅板と塩化ビニール板が用いられている。なお、これら鉄室を構成する素材は、予めその含有放射能について検査され、その含有量が充分低いことが確認されているものである。

表1 鉄室の仕様

遮蔽主材	20cm厚鉄板
内張材	3mm厚鉛板+0.5mm厚銅板+3mm厚ポリ塩化ビニール板
内部寸法	間口 2m, 奥行 2.5m, 高さ 2m
測定台	鉄骨, 上面合成樹脂板張りベッド 標準椅子として使用可
その他	空気調整設備あり, 鉄室内外の連絡・放送設備あり

図2 鉄室の内部の模様および構造



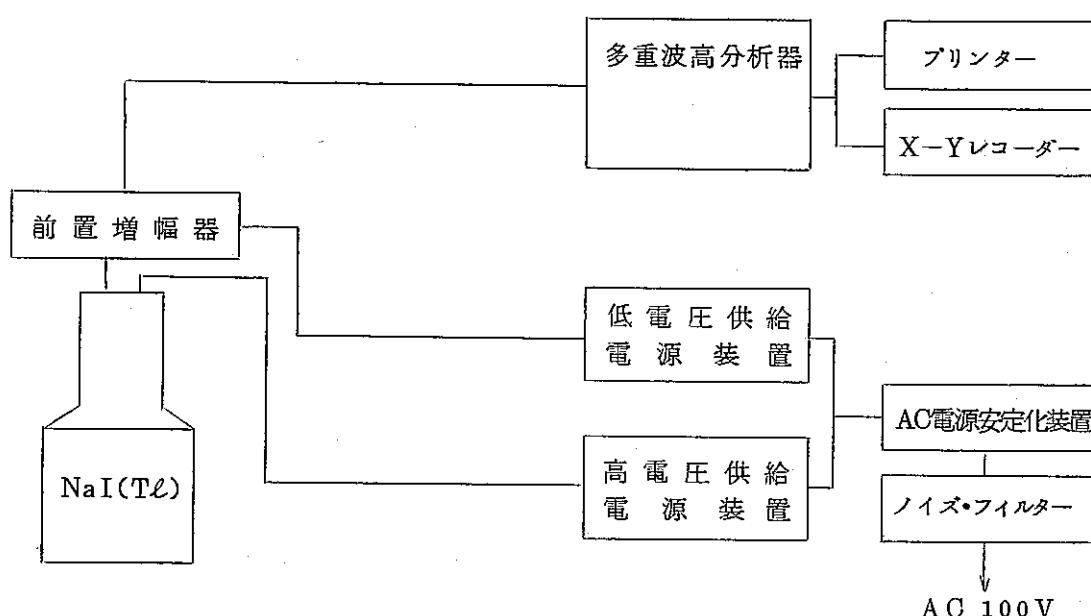
- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| ① 5インチ $\phi$ ×4インチ厚NaI(Tl)シンチレーション・プローブ(ホール・ボディ・カウンタ用) | ⑦ 上下調節部                       |
| ② 8インチ $\phi$ ×5mm厚NaI(Tl)シンチレーション・プローブ(肺モニタ用)          | ⑧ スキャンニング用モーター(ホール・ボディ・カウンタ用) |
| ③ 20cm厚鉄壁   | ⑨ スキャンニング用モーター(肺モニタ用)         |
| ④ 内張り材  | ⑩ 換気用迷路                       |
| ⑤ 測定用ベッド  | ⑪ 配線用迷路                       |
| ⑥ スキャンニング用キャリアー   | ⑫ 鉄室扉                         |
|   | ⑬スピーカー                        |

検出器には、5インチ直径×4インチ厚のNaI(Tl)シンチレータと、RCA4525光電子増倍管(有効入射窓4.38インチ直径)を用い、 $\mu$ メタルによる磁気遮蔽の他、シンチレータ窓にはパイレックスガラスを使用し、シンチレータ全体をアルミニウム・カン(カン壁厚2mm)の中におさめてある。

また検出器には、鉛製のコリメータを装着できるようになっており、人体の身長方向に添ってスキャンニングできる構造になっている。コリメータのスリット巾は、5cm, 10cmおよび20cmの3段設定ができる。スキャンニング速度は4段階に切替可能で、それぞれ180mm/分, 90mm/分, 60mm/分および45mm/分として使用できる。

検出器からの出力パルスは、前置増幅器を経て直接400チャンネル波高分析器に導かれる。この装置の電子回路系を図3に示す。

図3 電子回路ブロック図



被検者測定用ベッドは、鉄骨製・上面合成樹脂板(厚さ1cm)張りで、手動の上下調節可能な水平位のベッド方式として使用できるほか、いわゆる「標準椅子(Standard Chair)」方式としても使用可能の構造になっている。

鉄室内への換気系は、アブソリュート・フィルターを通して行われ、この換気系によって鉄室内の温・湿度の調整が行われる。また被検者測定時に鉄室内への音楽放送、鉄室内外の通話設備も完備している。

## IV 装置の特性

再処理工場で取扱われる放射性核種で、内部被曝管理の対象となる核種のうち、 $^{137}\text{Cs}$  は最も重要なものの一つである。可溶性の $^{137}\text{Cs}$  が体内に摂取された場合には、主として全身の筋肉組織に沈着し、140日の生物学的半減期で減少する。したがって $^{137}\text{Cs}$  の場合は全身均一分布が仮定でき、最大許容身体負荷量も全身について  $30 \mu\text{Ci}$  と比較的高い値であり、また  $\beta$ 崩壊に付随して  $0.662 \text{ MeV}$  の  $\gamma$ 線を放出するので、ホール・ボディ・カウンタで測定・評価することが容易な核種である。

本項では、この $^{137}\text{Cs}$  と、人体内に天然に存在して測定の際にバックグラウンドとして影響する $^{40}\text{K}$ （全身均一分布する）をとり上げ、これらの核種について行った基礎的な試験結果を基に、装置の特性に関して述べる。

### 1) エネルギー分解能と直線性

この装置のエネルギー分解能、および  $\gamma$ 線エネルギーとパルス波高値との直線性について調べるため、表 2 に示す点線源とファントム（図 1 4 参照）線源を用いて測定を行った。

表 2 エネルギー分解能

核種	線源の量	線源の形状	ガンマ線エネルギー	エネルギー分解能
$^{137}\text{Cs}$	$0.1 \mu\text{Ci}$	点線源	$0.662 \text{ MeV}$	$7.9 \%$
$^{60}\text{Co}$	$0.1 \text{ "}$	"	1.17 "	6.4 "
			1.33 "	6.2 "
			2.50 "	4.7 "
$^{88}\text{Y}$	$1.40 \text{ "}$	"	0.898 "	7.6 "
			1.836 "	5.7 "
$^{137}\text{Cs}$	$1.82 \text{ nCi}$	ファントムに充填*	$0.662 \text{ "}$	$8.6 \text{ "}$
$^{40}\text{K}$	$1.088 \text{ nCi}$ 相当	" *	1.46 "	6.1 "

\* ファントムの全身に均一分布するように、 $^{137}\text{Cs}$  またはカリウムの溶液を充填したもの。

図 4、図 5 および図 6 に、それぞれ $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$  および $^{88}\text{Y}$ 点線源によって求めたエネルギースペクトルを示す。また、ファントムの全身に均一に溶解させた $^{137}\text{Cs}$  と $^{40}\text{K}$ （以下、それぞれ Cs ファントム、K ファントムと呼ぶ）について求めたエネルギースペクトルを、それぞれ、図 7 と図 8 に示す。これらの図中に % を付して示されている数値が、各対象核種から放出される  $\gamma$  線に対するエネルギー分解能である。これらの値をまとめて、表 2 に示す。

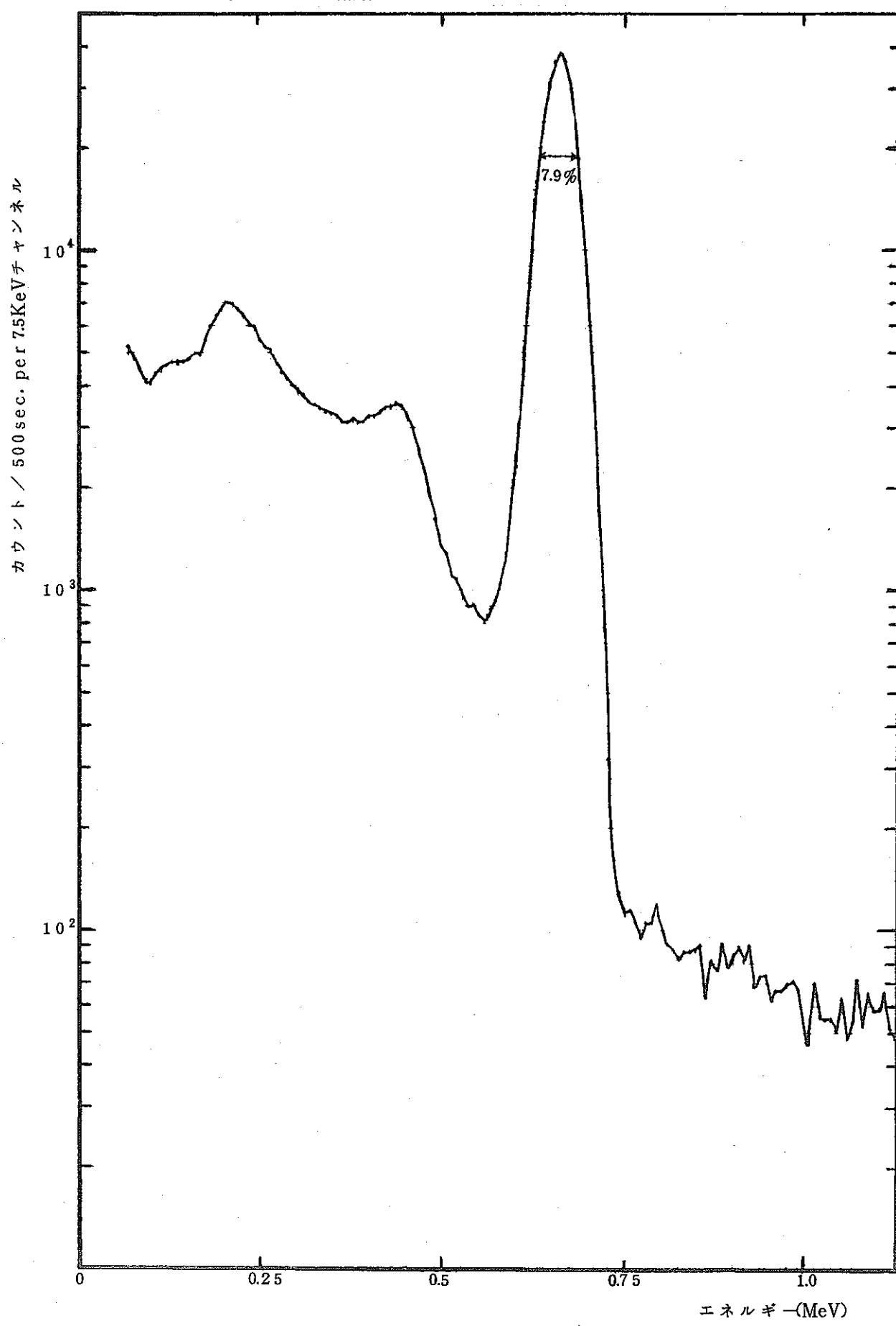
図 4.  $^{137}\text{Cs}$ 点線源によるエネルギースペクトル

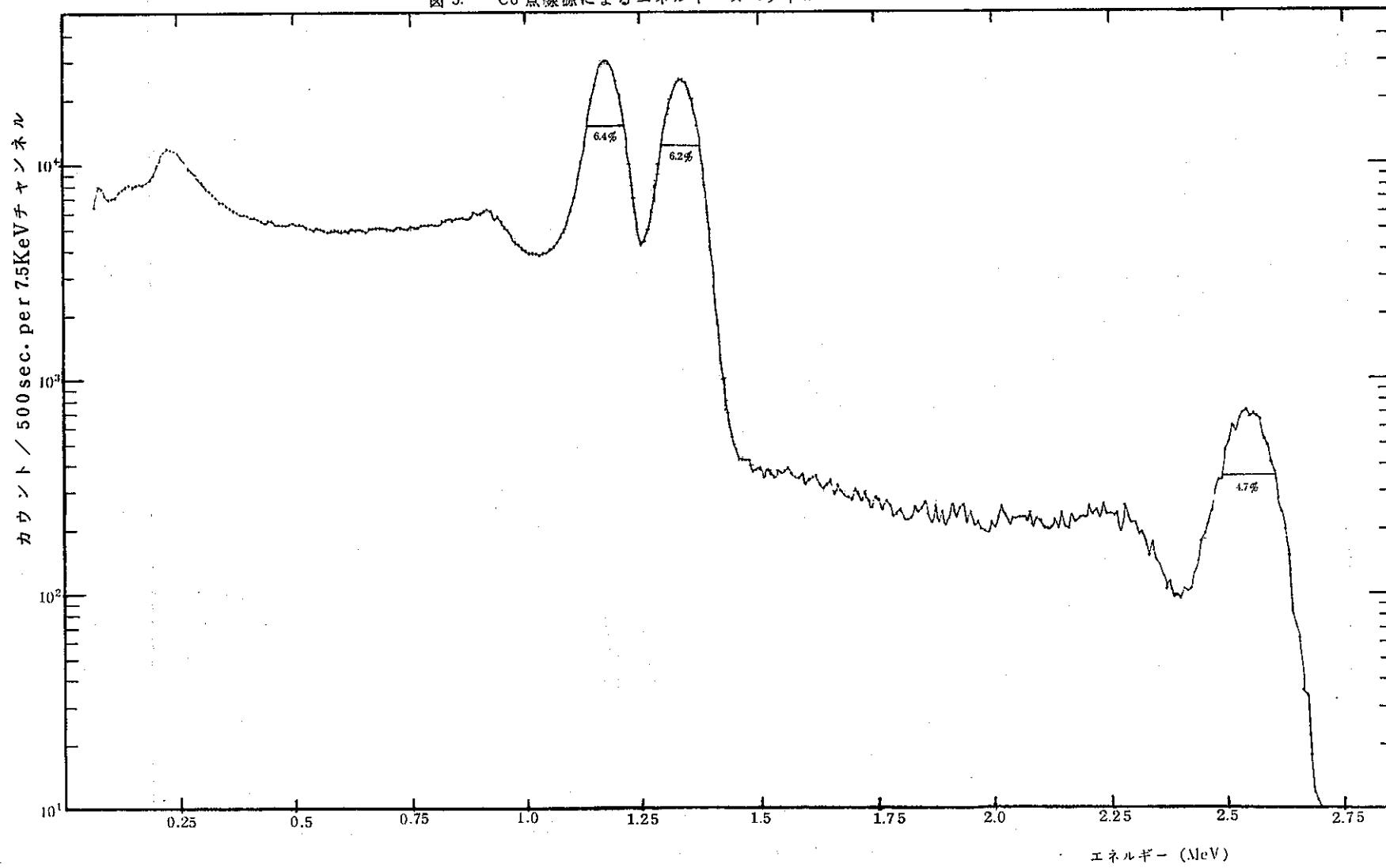
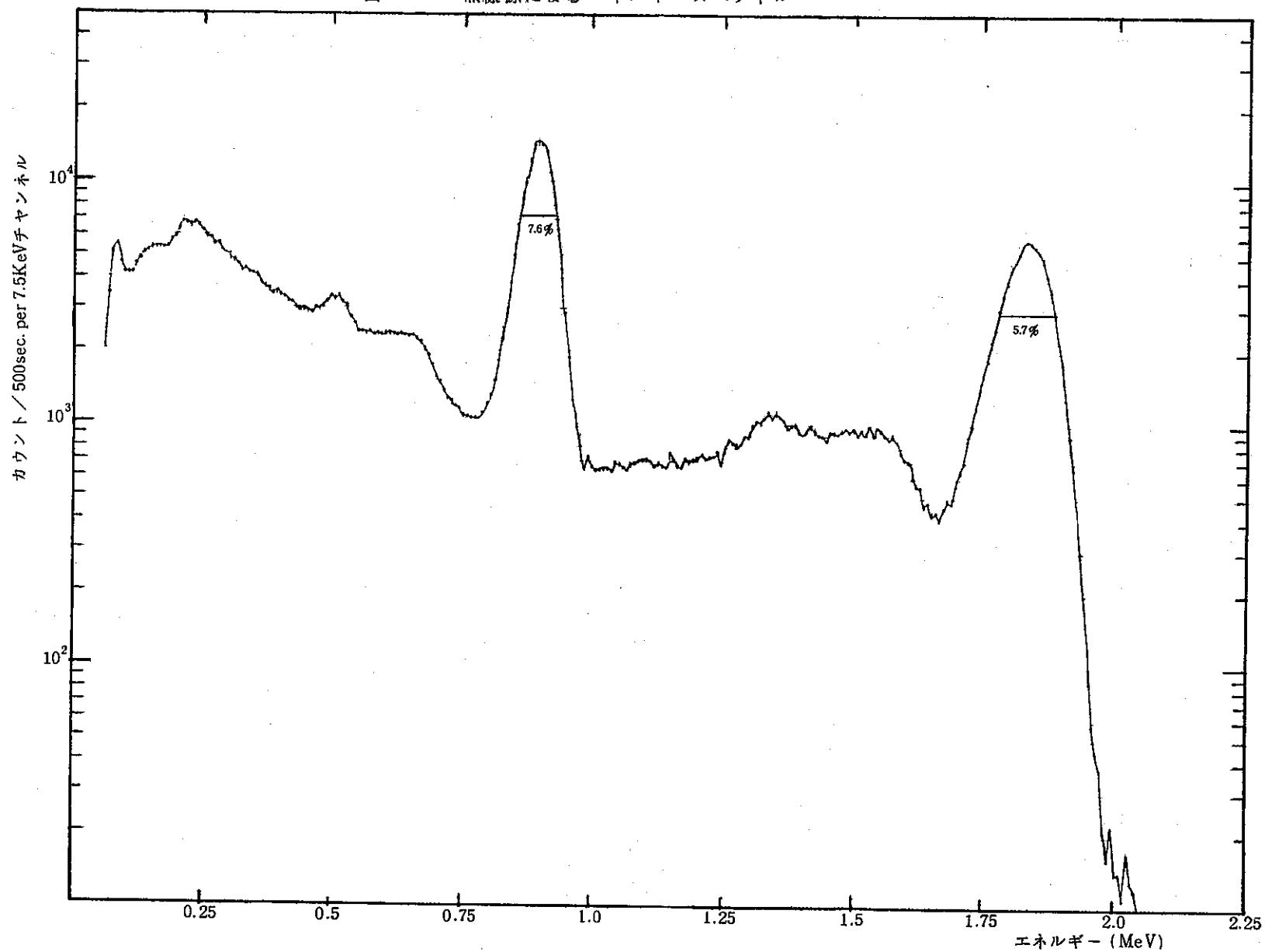
図 5.  $^{56}\text{Co}$  点線源によるエネルギースペクトル

図 6.  $^{88}\text{Y}$  点線源によるエネルギースペクトル

正味カウント / 5000 sec. per 7.5 KeV チャンネル

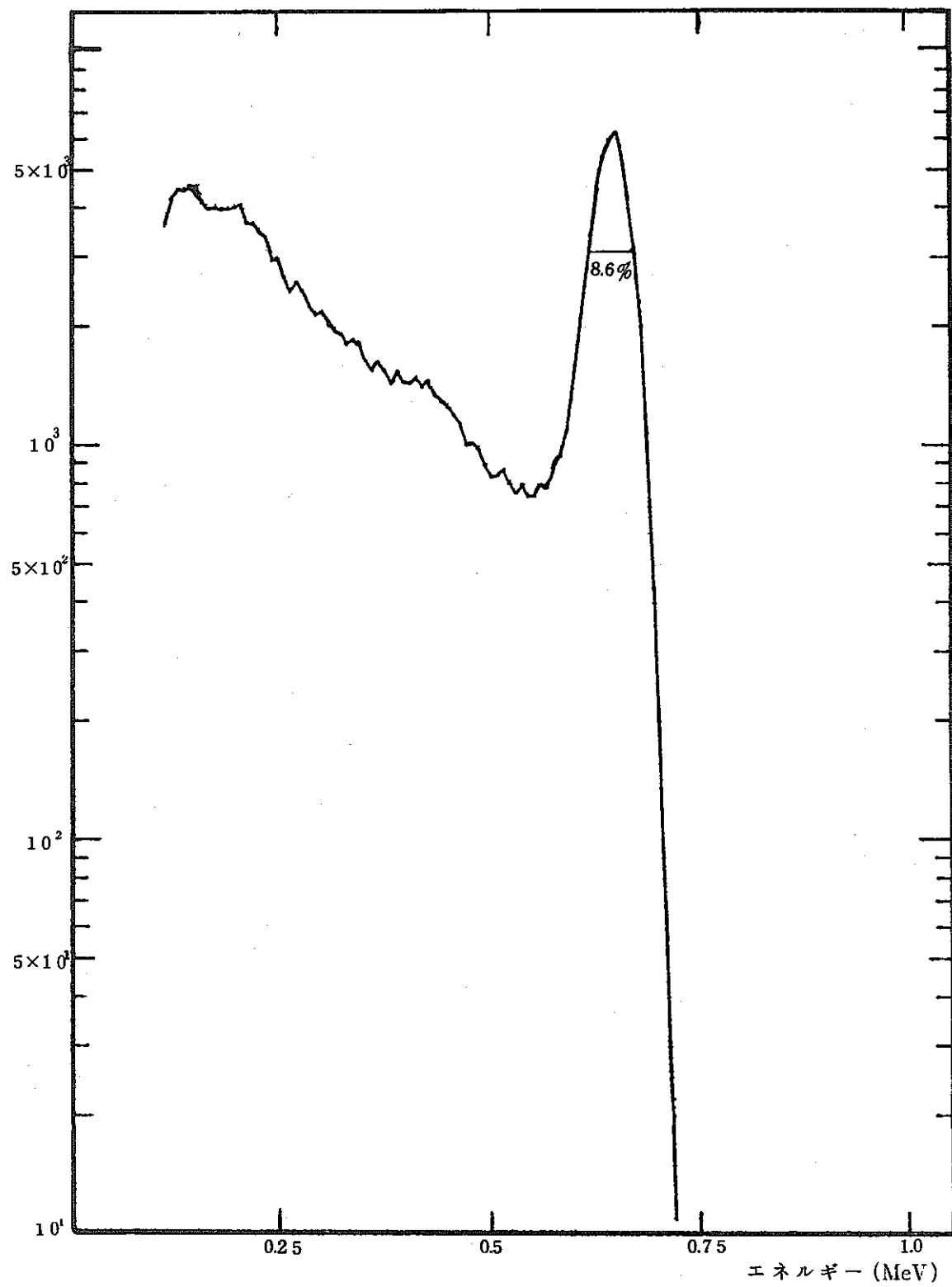
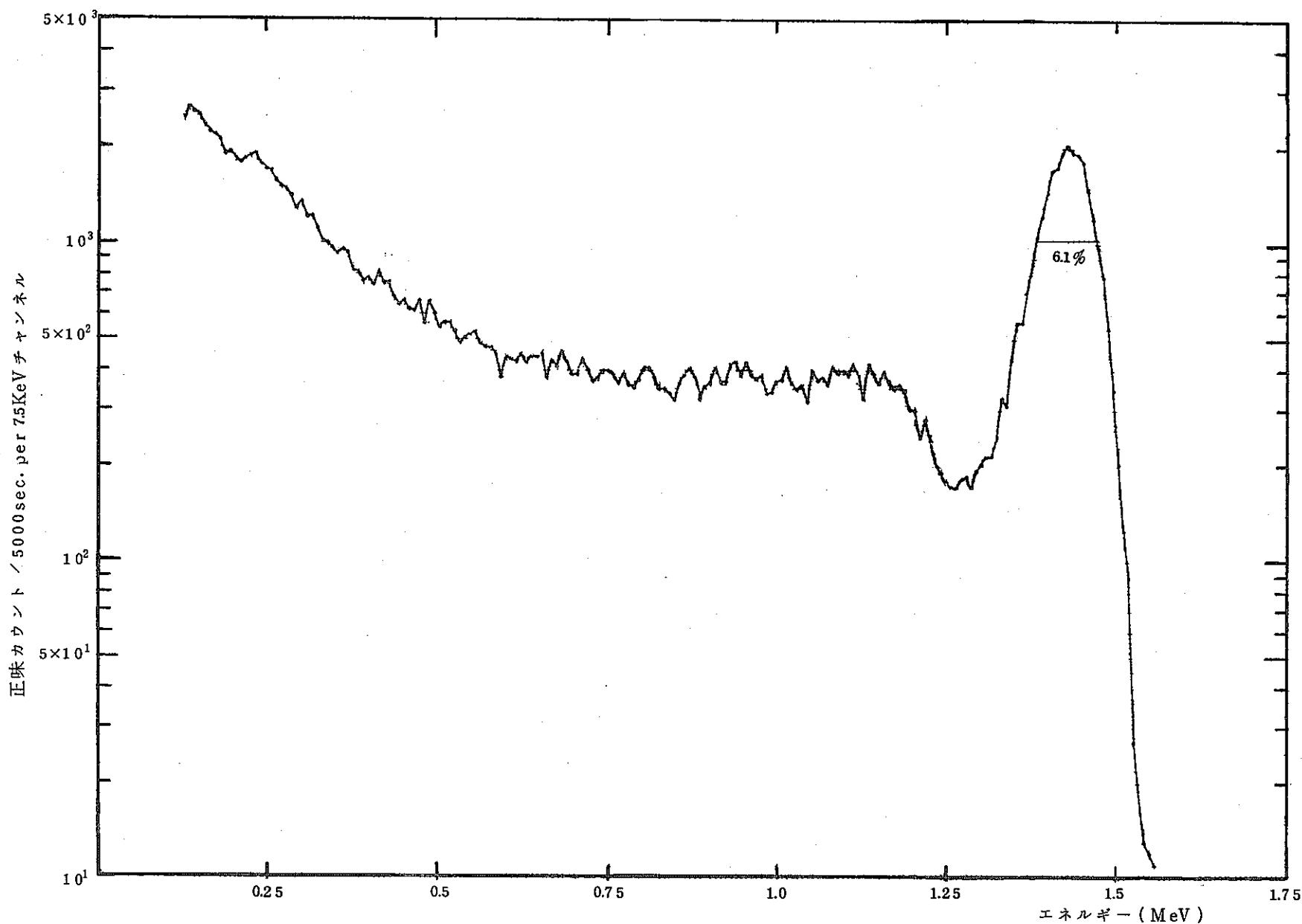
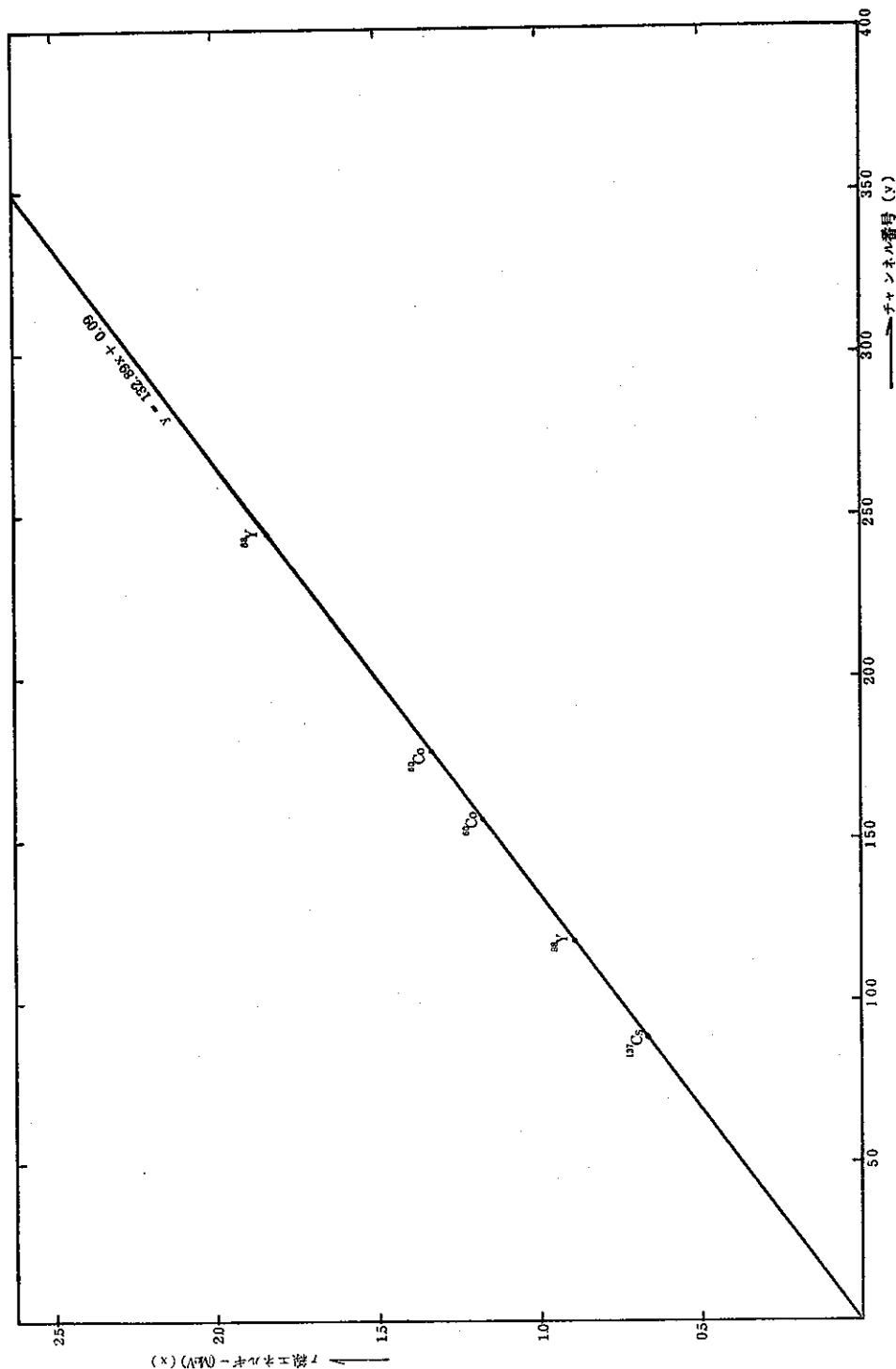


図 7.  $^{137}\text{Cs}-182\text{nCi}$  含有ファンтомによるエネルギースペクトル

図 8 カリウム 1300 $\mu$ 含有フアントムによるエネルギースペクトル

また $\gamma$ 線エネルギーとパルス波高値との直線性を調べるため、前述の図4、5および6から、各 $\gamma$ 線のエネルギーに対応する光電ピークの現れるチャンネル番号の回帰直線を最小二乗法によって求め、図9に示す。図9からわかるように実際に測定された光電ピークのチャンネル番号が、回帰直線からズレル割合は、0.5%以内におさまっており、2 MeV以下の領域についてはおおむね良好な直線性をもっている。

図9. エネルギー校正曲線



2) バックグラウンド

鉄室内における各種条件下でのバックグラウンド値を把握する目的で、次に述べる条件で、それぞれ測定を行った。

a) 検出器の周囲にコリメータ用の鉛シールド（図18と19を参照）を装着した場合

a-1) ベッド方式

a-1-1) ベッド上に水ファントムを仰臥位に置いた状態

a-1-2) ベッド上の水ファントムを取り除いた状態

a-2) 標準椅子方式

a-2-1) 椅子上に水ファントムを椅座の状態においていた場合

a-2-2) 椅子上の水ファントムを取り除いた状態

b) 検出器の周囲にコリメータ用の鉛シールドを装着しない場合

b-1) ベッド方式

b-1-1) ベッド上に水ファントムを仰臥位に置いた状態

b-1-2) ベッド上の水ファントムを取り除いた状態

b-2) 標準椅子方式

b-2-1) 椅子上に水ファントムを椅座の状態においていた場合

b-2-2) 椅子上の水ファントムを取り除いた状態

表3に以上の状態でのバックグラウンド測定結果をまとめて示す。また図10と図11にて、これらのバックグラウンドに関するエネルギースペクトルの例を示す。図10は、上記のa-1)の条件下で得たものであり、図11は、b-1)の条件下で得たものである。これらのスペクトル図中で、実線で表わされているものは水ファントムをベッド上に仰臥位にして、ファントム腹部の上方15cmに検出器窓面を配置して測定したものとし、×点で示したものは、以上述べたと同じ配置でベッド上の水ファントムを取り除いた状態で測定したものと示す。

表3 各種条件下におけるバックグラウンド

コリメータ用 鉛シールド の有無	測定ジオメトリー	ファントムの有無	バックグラウンド (cpm)※		
			Cs-Channel (0.60~0.72MeV)	K-Channel (1.34~1.54MeV)	Integral (0.15~2MeV)
(+)	ベッド	(+)	44.36 ± 0.23	22.41 ± 0.16	607.37 ± 0.85
		(-)	44.52 ± 0.23	22.33 ± 0.16	609.42 ± 0.86
	標準椅子	(+)	44.44 ± 0.23	22.12 ± 0.16	610.13 ± 0.86
		(-)	44.42 ± 0.23	22.36 ± 0.16	607.91 ± 0.85
(-)	ベッド	(+)	52.01 ± 0.25	26.70 ± 0.18	706.47 ± 0.92
		(-)	51.78 ± 0.25	26.70 ± 0.18	707.00 ± 0.92
	標準椅子	(+)	52.05 ± 0.25	26.68 ± 0.18	707.06 ± 0.92
		(-)	51.93 ± 0.25	26.74 ± 0.18	706.61 ± 0.92

※ バックグラウンドの測定時間は、各々 5 0,000 秒である。

※※ コリメータ用鉛シールドとは、図18と図19に示すコリメート測定のために準備されているリング状のシールドで、検出器の側方から入射する放射線を遮蔽する附属品である。また、この欄で(+)、(-)で表示したのは、それぞれ鉛シールドを附加した場合と附加しない場合を示す。

図 10. バックグラウンドのエネルギースペクトル [I]

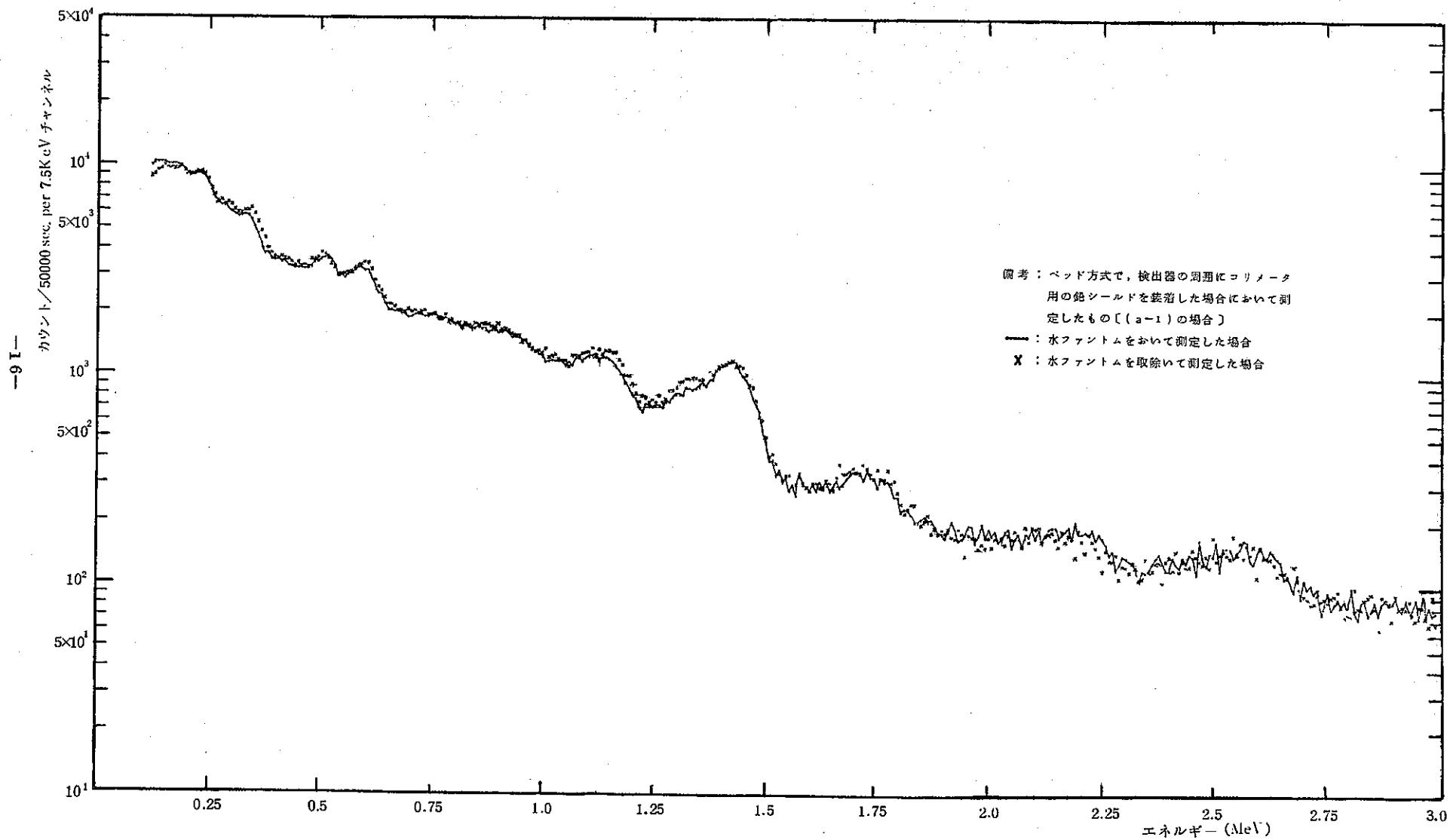
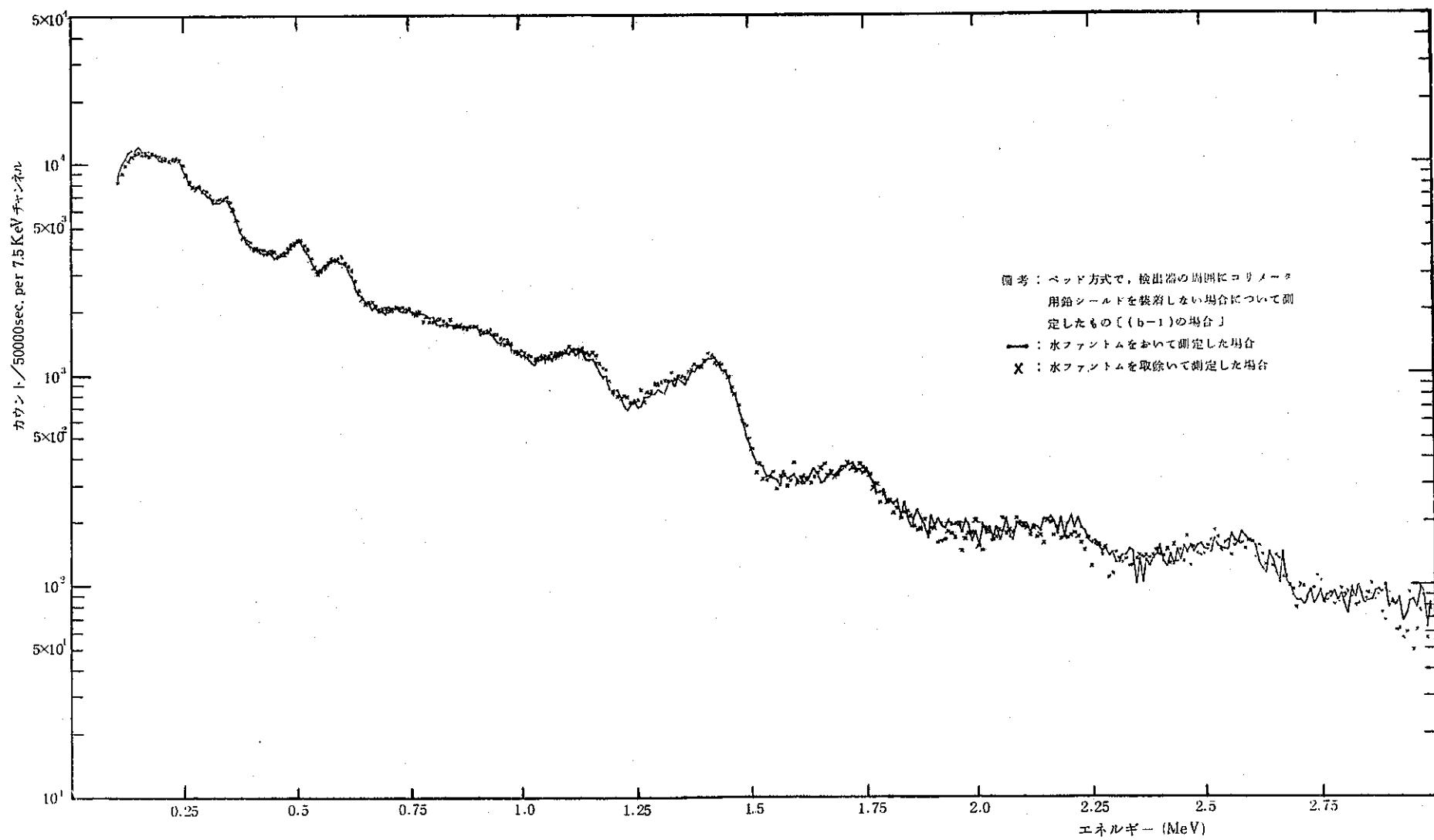


図 11. バックグラウンドのエネルギースペクトル [II]

-17-



なお、これらのエネルギースペクトルには、0.5 MeV と 0.6 MeV および 1.46 MeV の付近に計 3 個の光電ピークが認められる。これらの光電ピークは、それぞれ宇宙線のボジトロンによってもたらされた消滅放射線と Ra C から放出された  $\gamma$  線、および検出器各部に含まれている  $^{40}\text{K}$  からもたらされる  $\gamma$  線である。

表 3 から、前記 a-1) と a-2) の条件および b-1) と b-2) の条件下におけるバックグラウンド値相互間には、大きな差違は認められず、ほとんど等しいことがわかる。

また、バックグラウンド値の測定時刻による変動と日毎の変動を調べた。この変動の模様を図 12 と 13、および表 4 に示す。このバックグラウンドの変動調査は、前記の条件 a-1-1) および b-1-1) について求めたものである。これらの図中に、平均バックグラウンド値と標準偏差の値が併記されている、これらの値から、バックグラウンドの変動率を、相対標準偏差の値で表わすと、Cs チャンネル (0.60 ~ 0.72 MeV) については、それぞれ 3.1% と 2.8%，K チャンネル (1.34 ~ 1.54 MeV) については、それぞれ 3.6% と 3.3% および全チャンネル (0.15 ~ 2 MeV) については、1.1% と 1.4% である。これらの変動率の値は、表 4 に示されている日毎のバックグラウンド変動率と同程度であり、測定時間を 30 分とした場合の計数誤差に隠れてしまう程度の値であることがわかる。

表 4 バックグラウンドの日毎の変動

[(b-1) と (b-2) の場合について]

		(b-1) の場合	(b-2) の場合
測 定 回 数		1 0 回	1 0 回
Cs-Channel B.G. (0.60 ~ 0.72 MeV)	平 均 値	5 1.8 5 cpm	5 2.0 6 cpm
	標 準 偏 差	1.3 6	1.4 5
K-Channel B.G. (1.34 ~ 1.54 MeV)	平 均 値	2 6.8 6	2 6.8 6
	標 準 偏 差	0.9 3	0.7 5
Integral B.G. (0.15 ~ 2 MeV)	平 均 値	7 0 6.7 8	7 0 7.0 0
	標 準 偏 差	1 0.5 2	1 0.3 0

備考 Ⓐ : Integral B.G. ( 0.15 ~ 2 MeV )  
 Ⓑ : Cs-channel B.G. ( 0.60 ~ 0.72 MeV )  
 Ⓒ : K-channel B.G. ( 1.34 ~ 1.54 MeV )

図 1.2. 測定時刻によるバックグラウンドの変動  
 [(a-1)の場合について]

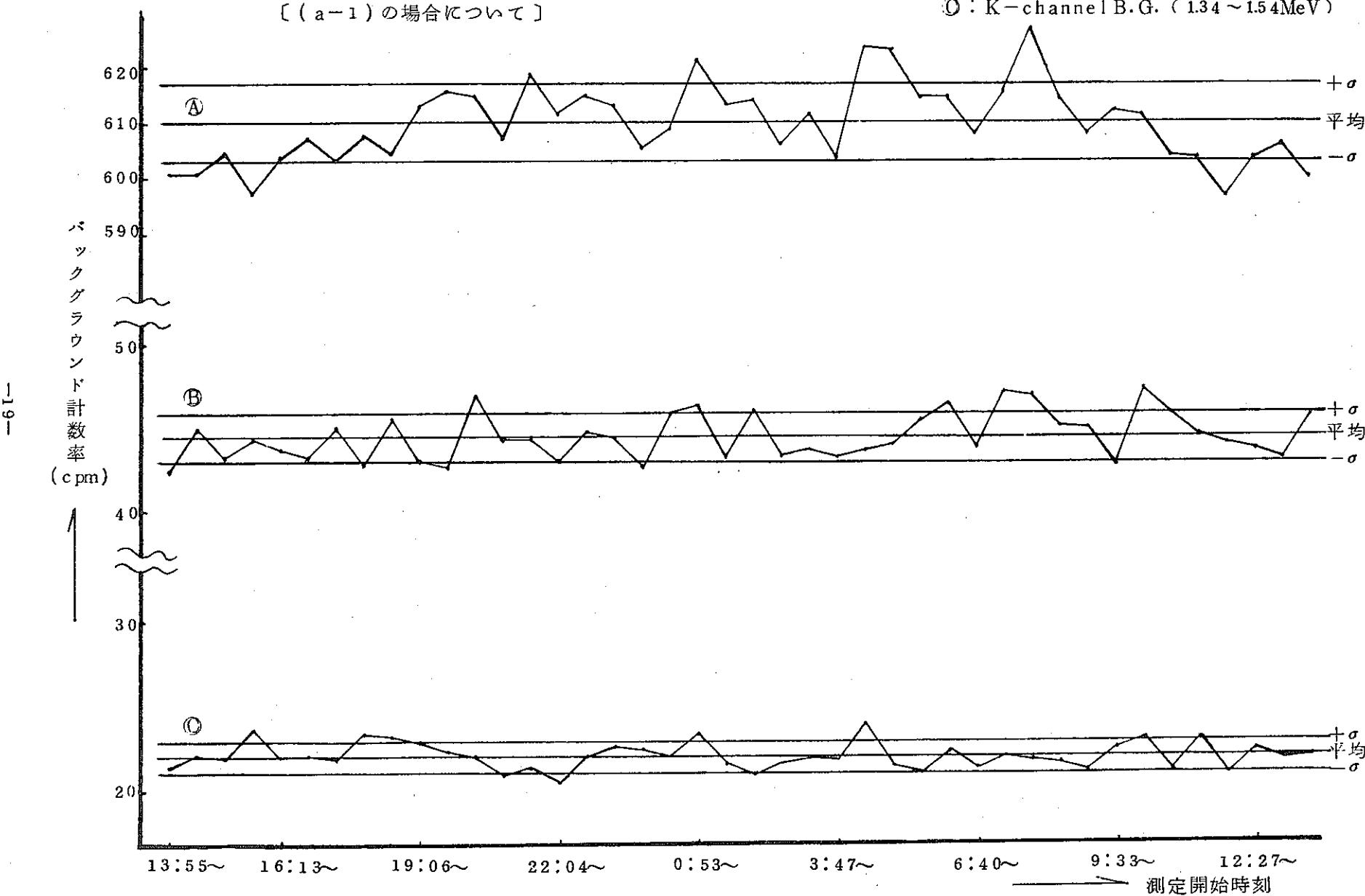


図 13. 測定時刻によるバックグラウンドの変動

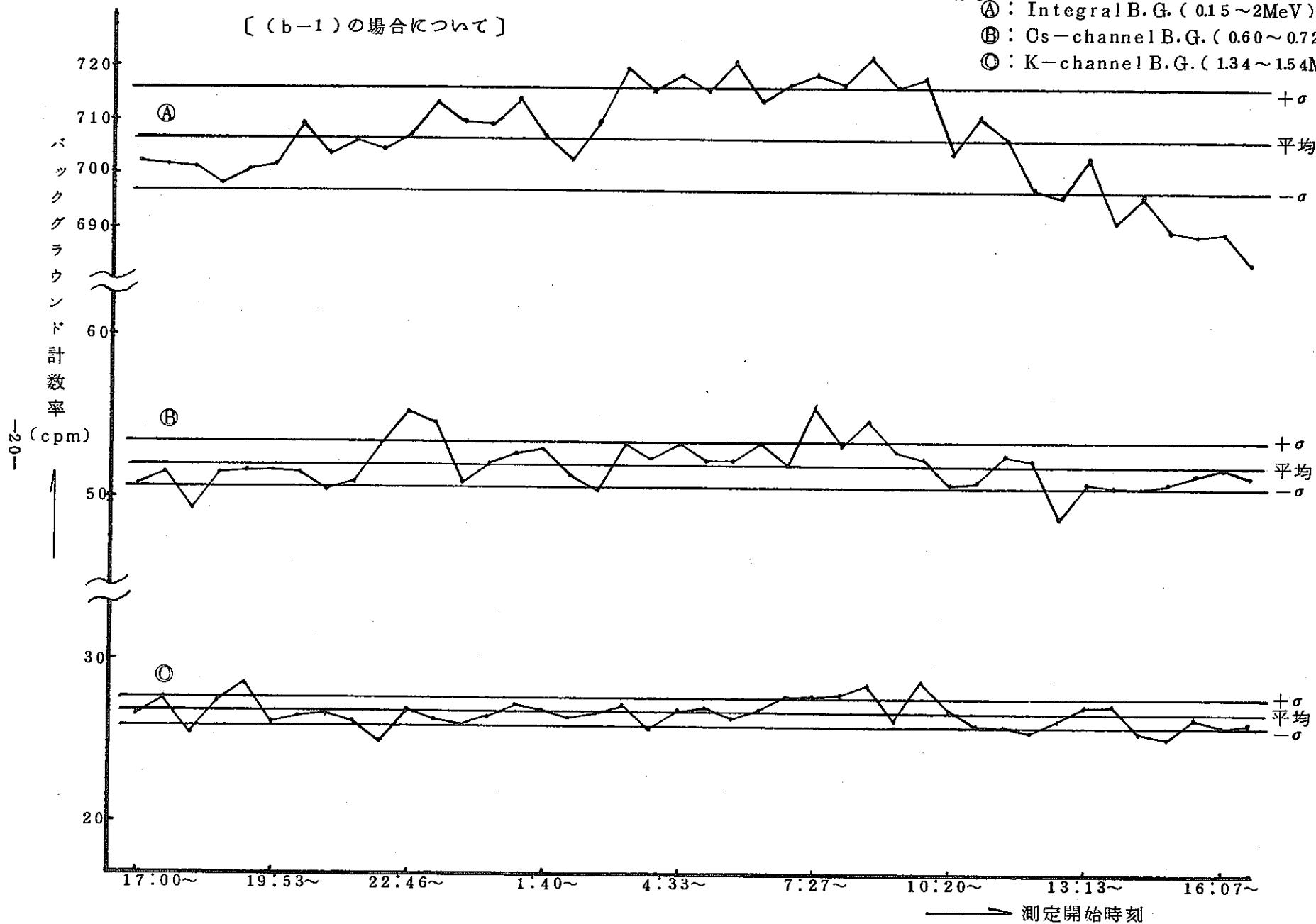
〔(b-1)の場合について〕

## 備考

Ⓐ : Integral B.G. ( 0.15 ~ 2 MeV )

Ⓑ : Cs-channel B.G. ( 0.60 ~ 0.72 MeV )

Ⓒ : K-channel B.G. ( 1.34 ~ 1.54 MeV )



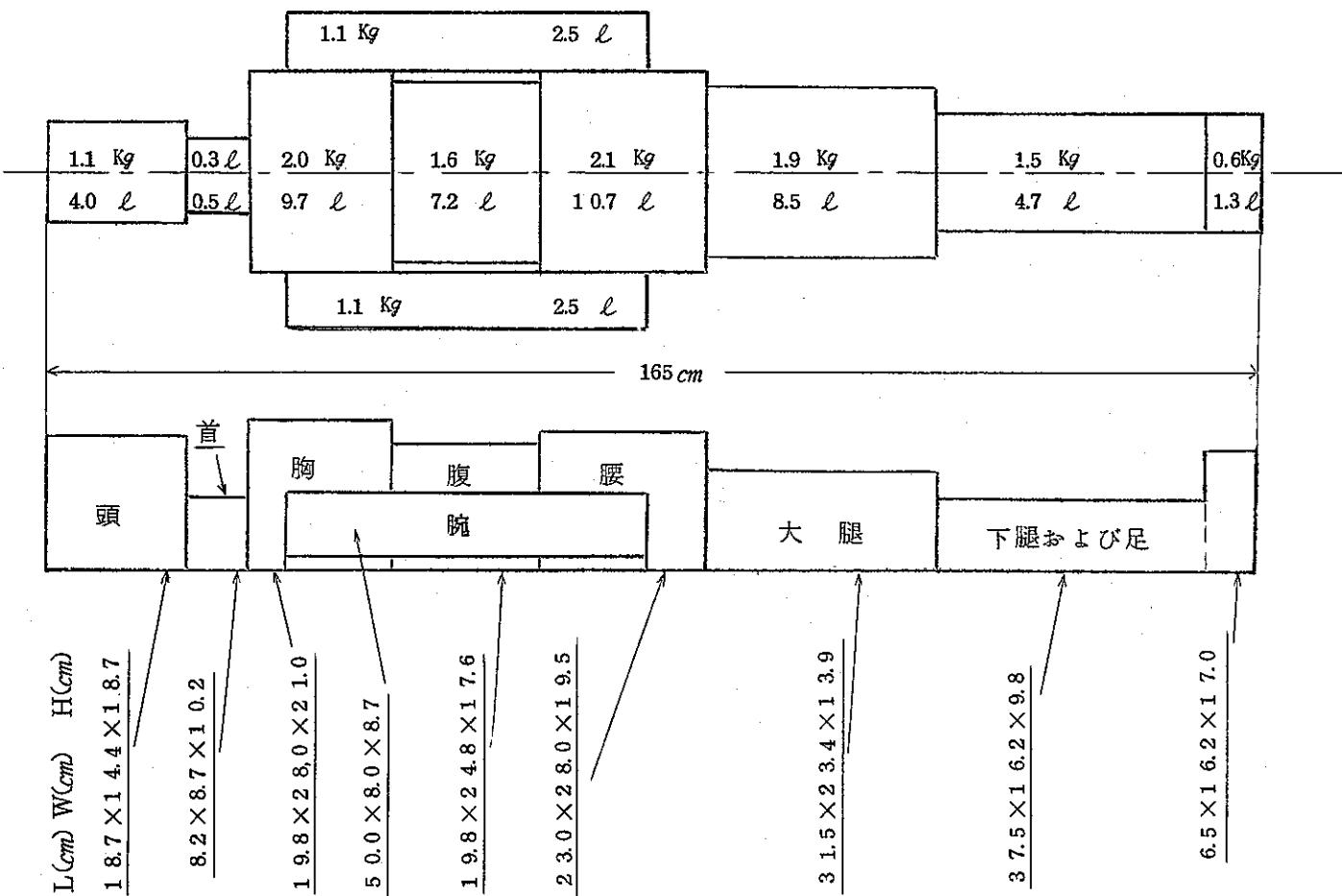
## 3) 校正と検出効率 ( cpm/nCi )

全身均一分布すると考えられる<sup>137</sup>Cs および<sup>40</sup>K線源によって装置を校正するために、次のCs ファントムとKファントムを準備した。ファントム各部の寸法と容積を図14に示す。

Cs ファントム： <sup>137</sup>Cs - 182 nCi ( 塩酸溶液 ) を、図14に示す塩化ビニール製の箱に蒸溜水を充填した、いわゆる「水ファントム」の全身に均一になるように溶解したもの。

K ファントム： K-1300 g ( シュウ酸カリの粉末 ) を、上記同様全身に均一になるように溶解したもの。

図14 ファントムの仕様



備考： ① 材質： 透明ポリ塩化ビニール樹脂板

( 板の厚さ 6 mm )

② 自重： 13.3 Kg

③ 内容積： 51.6 l

この両ファントムを用い、測定ジオメトリーとして、①ベッド方式、②標準椅子方式の2方式を採用し、それぞれのジオメトリーに関し、①コリメータ用鉛シールドを装着して測定した場合と、②コリメータ用鉛シールドを装着しないで測定した場合について、校正を行い検出効率( $\text{cpm}/\text{nCi}$ )を求めた。

まず検出効率を求める前に、検出器とファントムとの相互位置関係の違いによって計数値がどのように変化するかを調べておくことが必要であり、このための試験を行った。この結果を図15、図16および図17に示す。図15と16より、被検者測定にベッド方式を採用する場合の最適条件(ジオメトリー)として、図18に示すようにベッド上仰臥位になった被検者の腹部の上方15cmの位置に検出器窓面を配置することにした。また標準椅子方式で測定する場合には、図17の結果から図19に示すジオメトリーを採用することにした。

図18、19で示したジオメトリーの場合における検出効率を、前記CsファントムおよびKファントムを用いて求め、その結果を表7にまとめて示す。

また、全身に均一分布している核種の測定に際して、測定ジオメトリーを決定する場合に考慮すべき要件として、体内各部に分布する線源位置の違いによる検出効率の差異の問題がある。これに関しては、線源の分布位置によって測定器の検出効率が影響を受けないジオメトリーを選定することが理想であるが現実に難しい。したがって、 $^{137}\text{Cs}$ のように全身均一分布を仮定できる核種の測定については、一般にベッド・ジオメトリーよりも、標準椅子ジオメトリーを採用することが多い。

この体内各部に分布する線源位置の違いによる検出効率の差異を、前記条件a-1-1)とb-2-1)の場合について求めてみた。表5と表6に、それぞれ求めた身体部位別の検出効率の値を示す。これらの結果から、ベッド方式での測定よりも、標準椅子方式での測定の方が、検出効率の均一性の点で改善されていることがわかる。

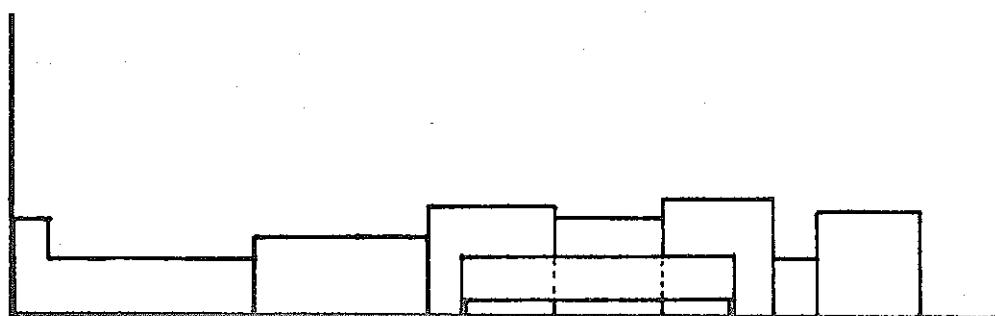
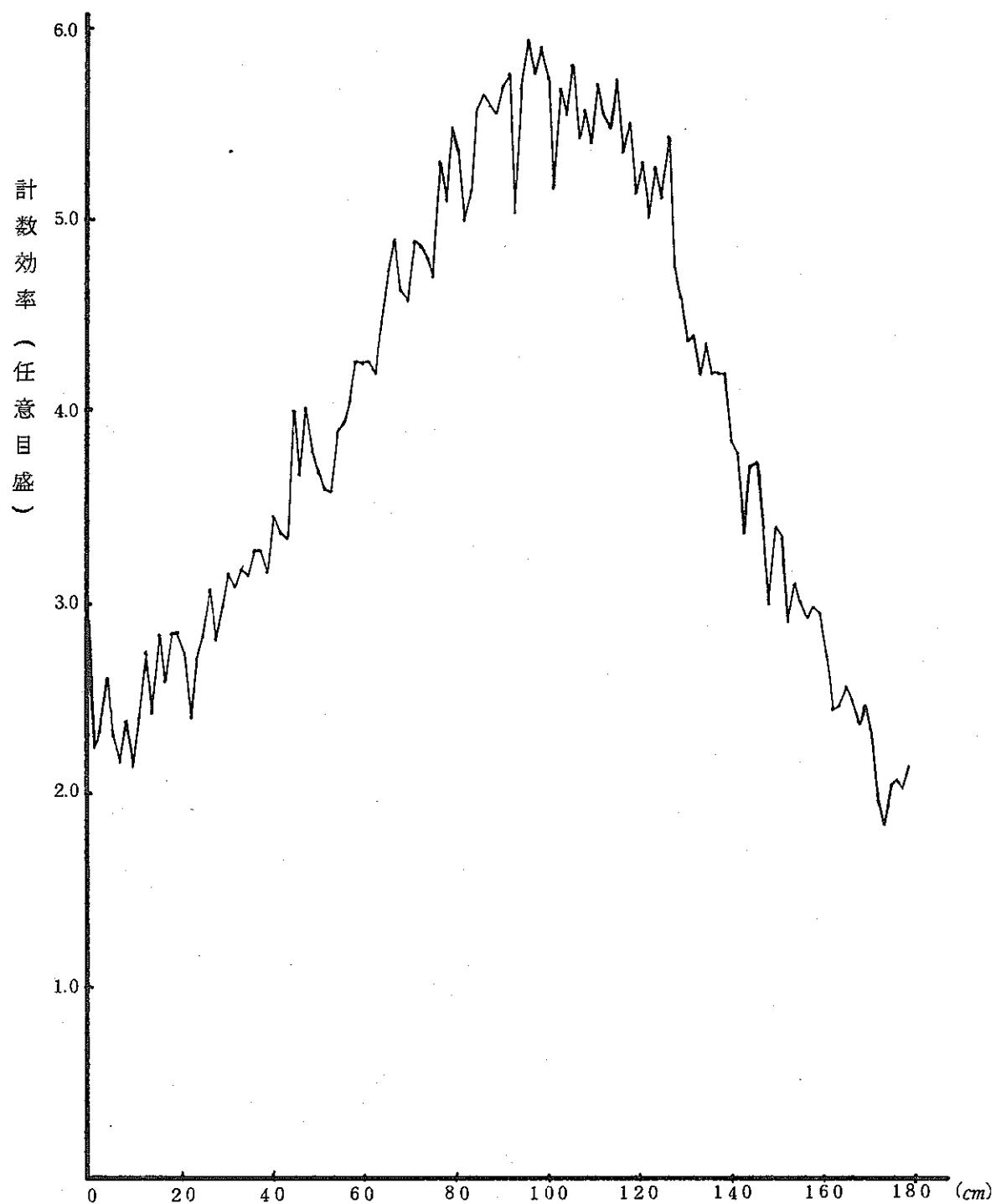


図 15. 検出器の位置による計数効率の変化

図 16. ベッドと検出器間距離の違いによる計数効率の変化

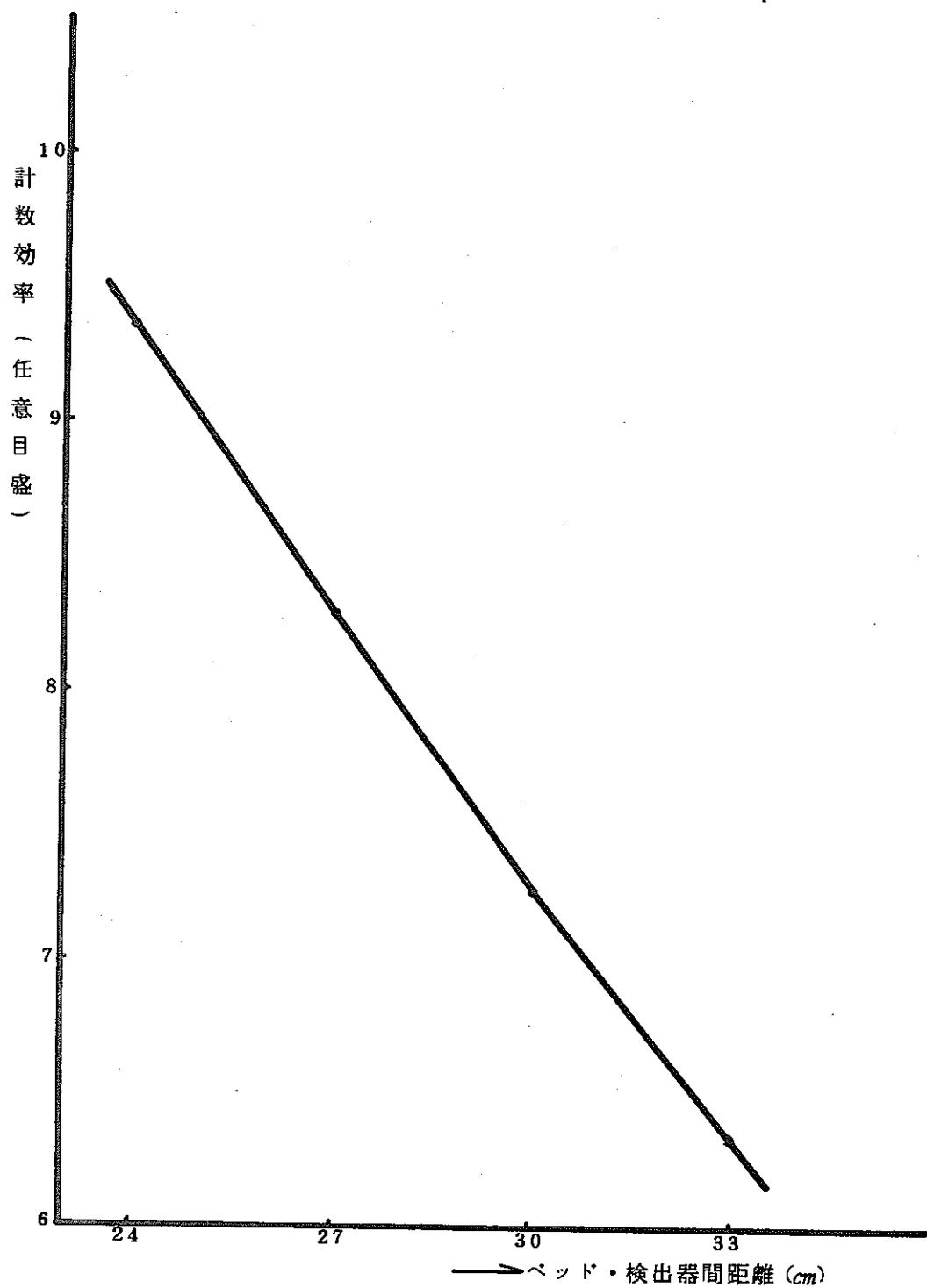


図 17. 椅子と検出器間距離の違いによる計数効率の変化

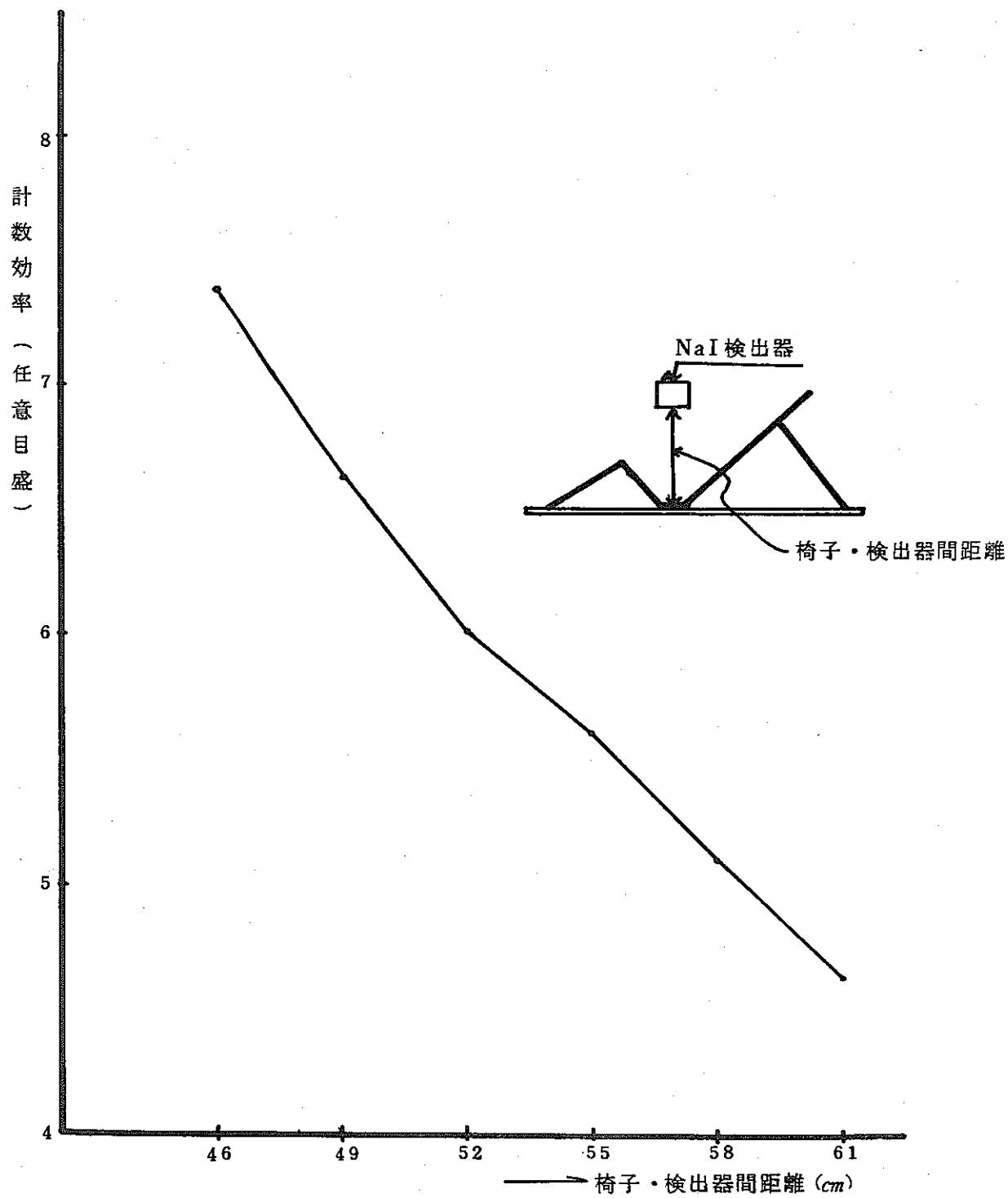


図 18. ベッド方式におけるジオメトリー

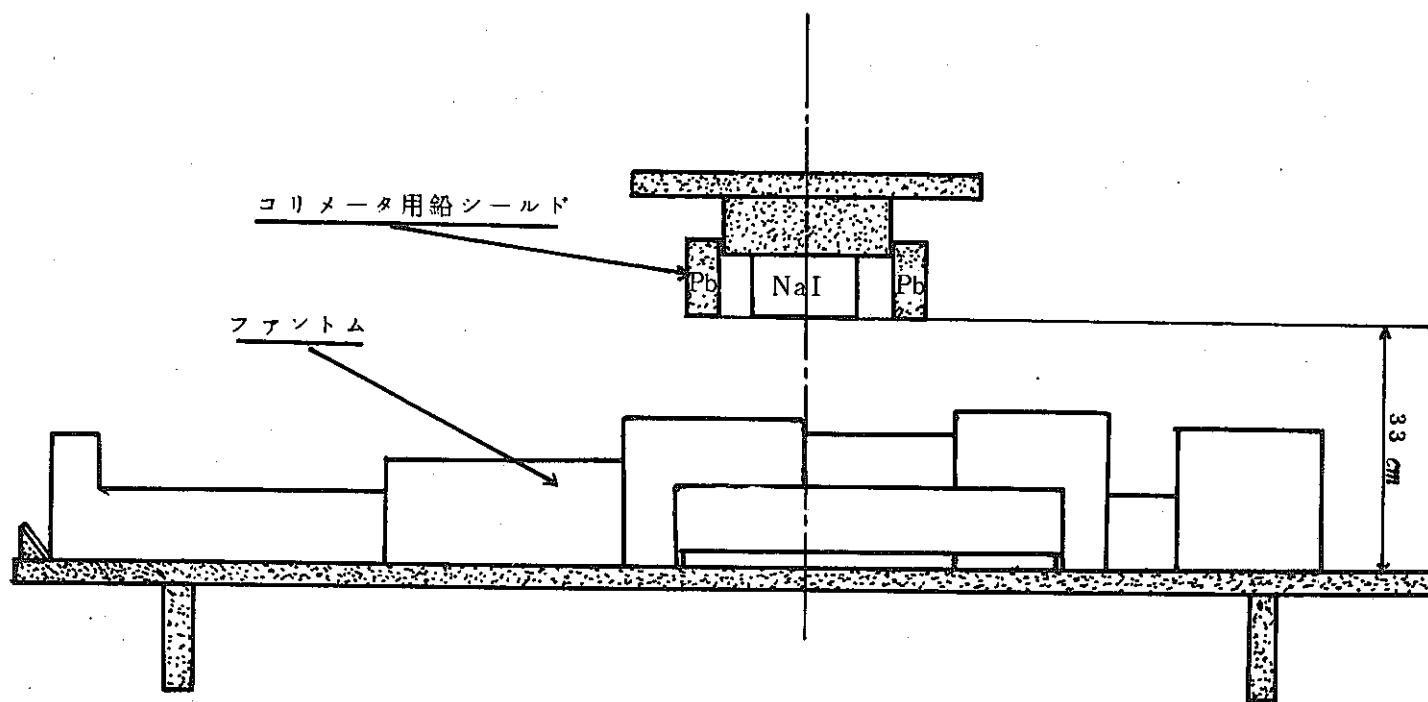


図19. 標準椅子方式におけるジオメトリー

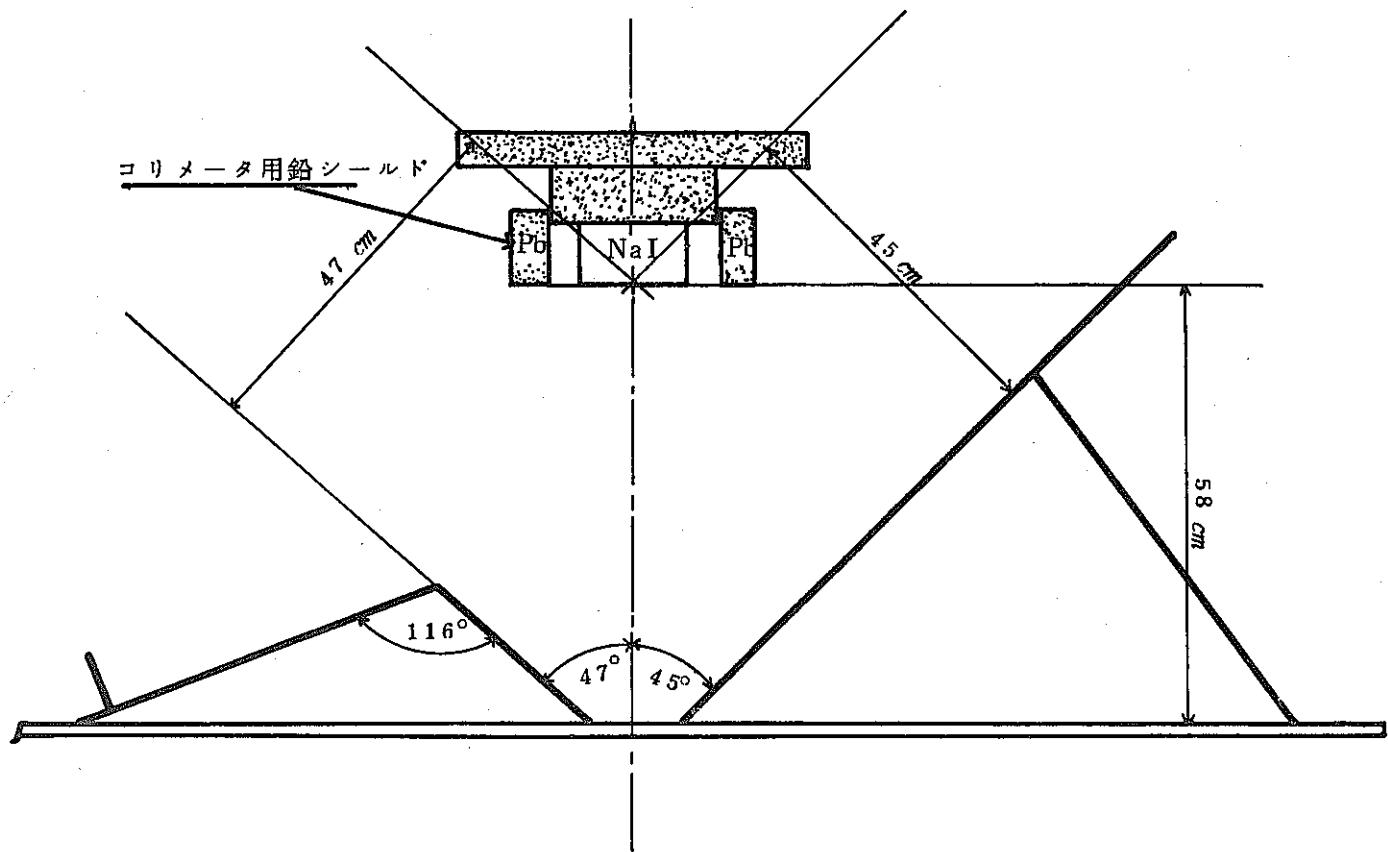


表 5 ベッド方式 [ a - 1 - 1 ] における、身体部位別の検出効率の差異  
 (  $^{137}\text{Cs}$  ファントムによる )

身体部位	正味計数率 ( cpm )	全身の計数率に対する、各身体部位計数率の比 (%)	検出効率 ( cpm/nCi )
頭と首	7.08	1.2	0.43
胸	84.14	14.2	2.52
腹	160.04	26.9	6.46
腰	218.12	36.7	6.06
大腿	45.22	7.6	1.54
下腿	6.33	1.1	0.29
腕	72.90	12.3	3.66
全 身	593.83	100.0	3.26

表 6 標準椅子方式 [ b - 2 - 1 ] における、身体部位別の検出効率の差異  
 (  $^{137}\text{Cs}$  ファントムによる )

身体部位	正味計数率 ( cpm )	全身の計数率に対する、各身体部位計数率の比 (%)	検出効率 ( cpm/nCi )
頭と首	21.95	3.70	1.33
胸	155.63	26.26	4.67
腹	134.96	22.77	5.45
腰	92.90	15.67	2.58
大腿	114.65	19.34	3.91
下腿	5.12	0.86	0.23
腕	67.46	11.38	3.38
全 身	592.67	100.00	3.26

## 4) 最小検出量

一般に放射線測定器の最小検出量は、検出系の全効率(検出効率)、バックグラウンドおよび測定時間によって異なり、また最小検出量をどのように定義するかで違ってくる。ここでは「原安協報告 3 8 - 2」<sup>(6)</sup>に述べられている次の式を採用して最小検出量を算出した。

$$S = \frac{1}{2 \eta t} ( k^2 + 2 k \sqrt{n_b t} )$$

但し、 $t_b \gg t$ ,  $2 \sqrt{n_b t} \gg k$  とする。

式中、  $S$  : 最小検出量 (nCi)

$\eta$  : 検出系の全効率(検出効率) (cpm/nCi)

$t$  : 試料測定時間(分)

$t_b$  : バックグラウンド測定時間(分)

$n_b$  : バックグラウンド計数率(cpm)

$k$  : 標準偏差 $\sigma$ の倍数で、通常 1, 2 または 3

測定時間( $t$ )として 30 分、信頼度として 3 $\sigma$ をとり、検出効率( $\eta$ )とバックグラウンド値( $n_b$ )は、それぞれ表 7 および表 3 に示されている値を採用して最小検出量( $S$ )を算出した。

最小検出量は表 7 のとおりである。なお表 7 中に計算の基礎になったデータを併記した。

また、表 7 中に示した<sup>137</sup>Cs の最小検出量は、体内に存在する<sup>40</sup>K(体重 60 kg の人にについて約 101 nCi の<sup>40</sup>Kが存在する)からの影響を見込んで算出したのである。

表7 各種条件下における、検出効率および最小検出量

コリメータ用 鉛シールドの 有無	測定 ジオメトリー	核種	エネルギー範囲 (MeV)	バックグラウンド (cpm)※	検出効率 (cpm/nCi)	バックグラウンドへの寄与		最小検出量(nCi) ※※
						$^{40}\text{K}$ (cpm/ $\text{\AA}$ K)	$^{137}\text{Cs}$ (cpm/nCi)	
( + )	バッド	$^{40}\text{K}$	1.34 ~ 1.54	22.41	0.29	—	0	9.5
		$^{137}\text{Cs}$	0.60 ~ 0.72	44.36	3.28	0.065	—	1.3
	標準椅子	$^{40}\text{K}$	1.34 ~ 1.54	22.12	0.21	—	0	13.0
		$^{137}\text{Cs}$	0.60 ~ 0.72	44.44	2.28	0.044	—	1.8
(-)	バッド	$^{40}\text{K}$	1.34 ~ 1.54	26.70	0.30	—	0	9.9
		$^{137}\text{Cs}$	0.60 ~ 0.72	52.01	3.38	0.065	—	1.3
	標準椅子	$^{40}\text{K}$	1.34 ~ 1.54	26.68	0.24	—	0	12.4
		$^{137}\text{Cs}$	0.60 ~ 0.72	52.05	3.26	0.052	—	1.3

※ 水ファントムを測定台上において測定した値である。

※※ 測定時間30分, 信頼度は $3\sigma$ をとって算出した値である。

## V 人体バックグラウンドの測定

人体内に存在する天然放射性核種である<sup>40</sup>Kの量、およびフォール・アウトからもたらされる<sup>137</sup>Cs の量は、ホール・ボディ・カウンタによって体内汚染を測定・評価していく上で、いわゆる「バックグラウンド」として影響する。したがってこれら核種の体内量を把握する目的で、当事業所で働く非管理区域作業者 10 名を対象にして測定を行った。なお測定条件等は次のとおりである。

① ジオメトリー : ベッド方式(図 18 参照)

検出器にコリメータ用鉛シールドを装着

② 測定時間 : 2000 秒

③ その他 : 下着着用

測定結果を表 8 に示す。これらの被検者に関するエネルギースペクトルの 1 例を図 20 に示す。

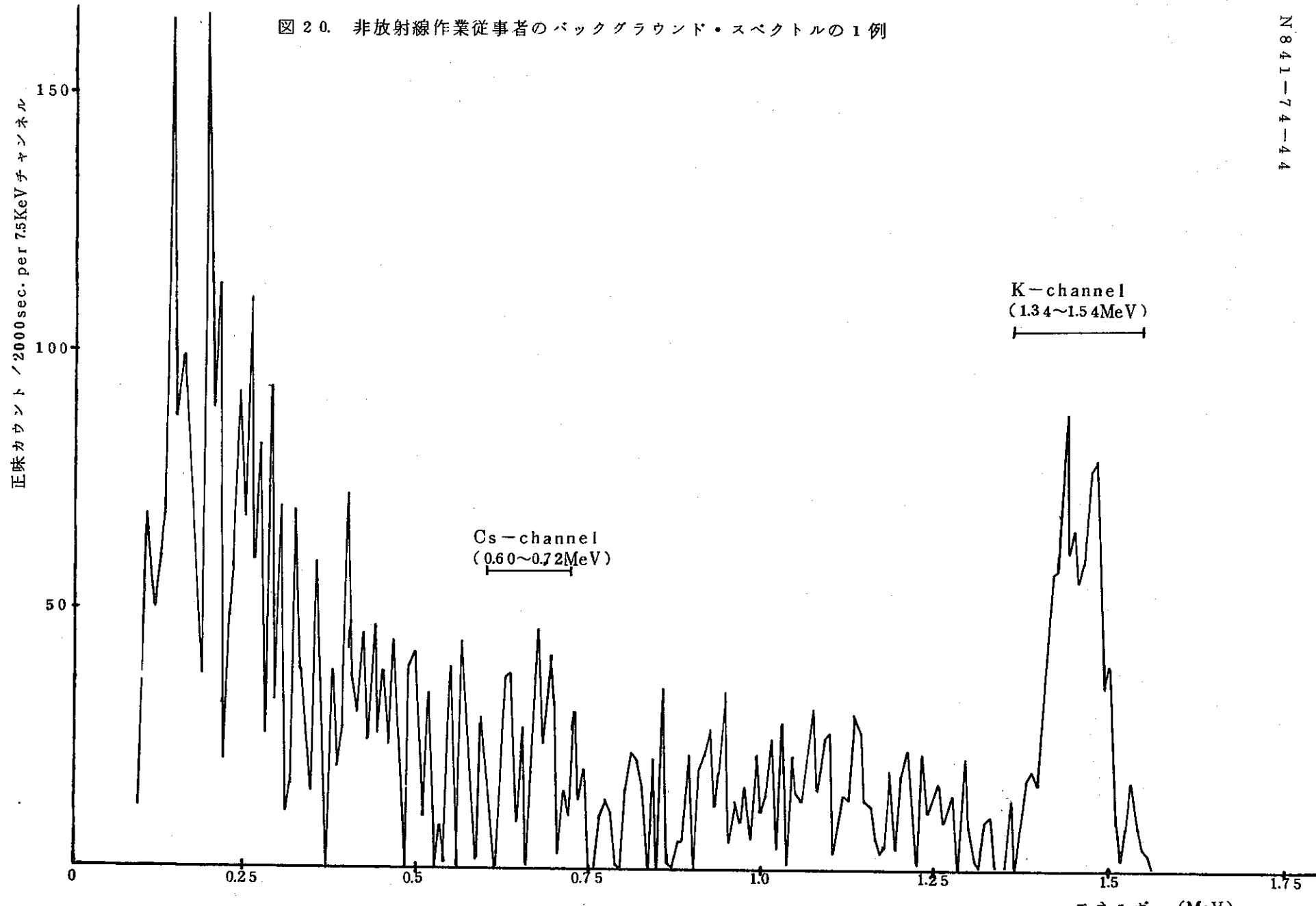
測定結果から、10名に関する平均体内カリウム量は 116.4  $\mu$ g で、<sup>137</sup>Cs については全員、最小検出限界(1.3 nCi)以下であった。また体重 1 kg 当りの体内カリウム量を求めてみると、平均 1.99  $\mu$ g となり、体重の約 0.2% に相当する量のカリウムを体内に保有することがわかる。

表 8 非放射線作業従事者の体内<sup>137</sup>Cs とカリウムの測定結果

被検者名	身長(cm)	体重(kg)	体内カリウム量( $\mu$ g)	体内 <sup>137</sup> Cs 量(nCi)	体重 1 kg 当りの体内カリウム量( $\mu$ g/kg)
Y. M.	161	62	112	<MDA※	1.81
T. S.	167	68	122	"	1.79
Z. K.	166	58	137	"	2.36
T. K.	160	51	100	"	1.96
S. K.	165	64	123	"	1.92
M. K.	166	66	112	"	1.70
Y. Y.	164	54	124	"	2.30
T. K.	165	52	103	"	1.98
H. K.	168	60	130	"	2.17
K. N.	170	51	101	"	1.98
平均	165	59	116	<MDA	1.99

※MDAとは、最小検出量を表わす。<sup>(<sup>137</sup>Cs 1.3 nCi に相当)</sup>

図 20. 非放射線作業従事者のバックグラウンド・スペクトルの 1 例



## VI む す び

以上、動燃東海事業所に設置したホール・ボディ・カウンタに関する、設置上の基礎的な配慮、構成および特性などについて述べた。

本装置は、今後再処理工場で働く放射線作業者等に対して、体内被曝管理用として使用されることになる。この場合最も重要と考えられる核種は<sup>137</sup>Csである。本装置の最小検出量は、全身に均一分布する<sup>137</sup>Csに関して、30分間の測定で1.3 nCi（ベッド方式）であり、可溶性<sup>137</sup>Csの調査レベル（ICRP刊行物10参照）4 nCiを充分下まわって検出できることが実証された。

<sup>137</sup>Cs以外の核種で、体内の特殊な部位に沈着しやすい核種に関する定量および評価法については、今後に残された問題であり、このために体内臓器を有する特殊なファントムが必要である。

また、本装置の定常モニタリングへの利用、および事故時における体内被曝量の測定・評価の正確性、迅速性等から、測定データの処理方法に関しても今後検討していく必要がある。

最後に、本装置の校正試験を実施するに当り、ファントム用<sup>137</sup>Cs線源の作製に心よく協力して下された当安全管理部環境安全課の野村保氏に感謝いたします。

## 参考資料

- 1) Whole Body Counting. Vienna, IAEA (1962)
- 2) Assessment of Radioactivity in man, Vol I, II. Vienna, IAEA (1964)
- 3) Directory of Whole-Body Radioactive Monitors. Vienna, IAEA (1970)
- 4) Assessment of Radioactive Contamination in man. Vienna, IAEA (1972)
- 5) ICRP Publication 10 (1968)  
Report of Committee IV on Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure.
- 6) 個人内部被曝モニタリングの指針. 原安協報告 38-2 (1973)