

JAERI-M

6 4 2 4

高感度プラスチックシンチレーション線量測定器

1976年3月

森内 茂・小林 秀雄

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

高感度プラスチックシンチレーション線量測定器

日本原子力研究所東海研究所保健物理安全管理部

森内 茂・小林 秀雄

(1976年1月30日受理)

環境の低レベル γ 線測定に使用する測定器は、線量測定器として一般に持つべき良好なエネルギー特性の他に高感度であること、検出器の自己汚染寄与が小さいこと、環境の使用条件に耐える十分な電氣的安定性と機械的強度があること、取扱いに特殊な技術を要しないことなど多くの条件を満足させる必要がある。ここで波高弁別器バイアスのある関数波型で変調し、結果的にエネルギー荷重をおこないエネルギー特性を改良する方法をプラスチックシンチレーション検出器に適用することにより上の諸条件を満足する高感度の線量測定器を完成した。感度は、7.5 cm 径球型プラスチックシンチレータを使った場合90 (cpm per $\mu\text{R/h}$)で、冬から夏にわたる8ヶ月におよぶ長期連続野外測定に使用して十分な安定性が確認された。

JAERI-M 6424

High-Sensitivity Plastic Scintillation Dose Counter

Shigeru MORIUCHI and Hideo KOBAYASHI

Div. of Health Physics and Safety, Tokai, JAERI

(Received January 30, 1976)

Continuous, low-level environmental gamma radiation measuring instruments must meet such conditions as high sensitivity, low inherent background, and electrical and mechanical stability in the environment, and also good energy response to the gamma rays of energy up to 3 MeV.

As such a high-sensitivity plastic scintillation dose counter has been developed, which utilizes the DBM technique for linear energy weighting to flatten the energy response of a dosimeter by modulating the discriminator bias by a defined waveform. The DBM circuit was tested on linearity of the energy weighting, noise discrimination and range adjustment.

In the dose counter with a 75-mm dia. spherical plastic scintillator, the detection efficiency is 90 cpm per $\mu\text{R/hr}$, and good performance is exhibited in the field test of over 8 months.

目 次

1. 緒 言	1
2. 測定器の構成と回路	2
2.1 プラスチックシンチレータの特性	2
2.2 エネルギー荷重の方法	6
2.3 回路構成	8
3. 特性試験	11
3.1 DBM回路の特性	11
3.2 総合性能試験	15
4. 環境 γ 線の連続測定例	21
5. 考察と結論	22

1 緒 言

照射線量，吸収線量の測定評価では空気あるいは空気等価材質，組織等価物質を放射線の検出体として用い，電離電流を測定したり吸収エネルギーを測定して種々の単位の線量を評価する方法が線量測定における最も本質に近い標準的な方法である。しかし，本質的な測定器が必ずしも実用上もすぐれているとは言えない場合が多く，使用目的に応じて低線量用，高線量用，各種形状・寸法・材質の実用的な測定器の開発がつけられている。有機・無機シンチレータを用いた測定器の開発は中でも精力的におこなわれてきた分野で，シンチレータの開発・改良，線量評価法，回路方式の開発・改良で多くの研究報告がある。

プラスチックシンチレータの実効原子番号は空気のそれに近いため，従来より電離箱に代わる実用的な照射線量測定器としてシンチレータ中に吸収されたエネルギーを光電子増倍管に流れる電流として測定する方法で使用されてきた。しかし光電子増倍管の暗電流により測定下限線量率が比較的高かったことや，プラスチックシンチレータの原子構成がほとんどCとHよりなり，このため空気に比べてやや実効原子番号が低く γ 線のエネルギー100 KeV以下の測定では感度が低下するという問題もあった。いくつかある資料の中には参考資料1, 2)に示されるように暗電流の問題とエネルギー特性の2つの問題に対する改善対策で自然放射線レベル以下の低レベルの照射線量率の測定も可能なものも開発されているが，実用上の観点からはこれとても長時間にわたって使用できる程の十分の安定性と使い易さを具えたものではない。

一方，われわれは低レベルの環境 γ 線の測定を目的とした測定器の開発を進め，NaI(Tl)検出器を用いた照射線量測定器の一応の完成をみたが，そこで用いた波高弁別器バイアスある関数波形で変調することによってエネルギー(パルス波高)荷重をおこなう回路方式を，より回路的に簡単なプラスチックシンチレータに適用し，特性試験をおこなうとともに環境の低レベル γ 線の長期連続測定試験をおこなった。

この回路方式の特徴は他の方法にみられるように信号を直流電流的に取り出すものと異なり検出器中における放射線の相互作用現象を1event毎に時間的に分解可能な限りエネルギー情報を持ったアナログパルスとして個々に取り出す方式のため光電子増倍管の暗電流の問題は波高弁別の方法で解決でききわめて高い感度の測定器の製作が可能となる。一方エネルギー特性の問題についても関数波形を変えることによって人為的に調節が可能できわめて融通性の高い測定器とすることができる。

しかし，プラスチックシンチレータはNaI(Tl)シンチレータと比較して，発光効率が数分の一，低エネルギー γ 線によるパルス波高分布が光電ピークがないことによって極端にエネルギーの低いスペクトル分布となる点で，電子回路に要求される性能はNaI(Tl)の場合などに比べてかなり厳しくなるという問題がある。市販のプラスチックシンチレータ，NIM規格のモジュールを組合せて試作，試験したDBM方式のプラスチックシンチレーション照射線量率計の特性試験結果を以下に報告する。

2 測定器の構成と回路

2.1 プラスチックシンチレータの特性

プラスチックシンチレータの溶媒は通常ポリスチレンやポリビニールトルエンが使用されていて先にもふれたように γ 線に対する実効的な原子番号は空気に近いがそれよりもやや低くめの値となっている。したがってエネルギー特性としてはエネルギー吸収係数の比がほぼ一定となる100 KeVより高いエネルギー範囲では平坦な特性が得られるが、100 KeV以下ではこの値は漸次低下する特性となる。このような低エネルギー領域での低感度特性については実効原子番号が高く低エネルギー γ 線に対して高い感度を示す CaWO_4 のような無機シンチレータとを組合せ使用したり、あるいは他種の原子番号の高いシンチレータ例えば ZnS などをプラスチックシンチレータ表面に塗布または混入するという方法をとったり、または高原子番号の物質をシンチレータ中に添加して実効原子番号を高めるという方法でエネルギー特性の改善が実際におこなわれている。

プラスチックシンチレータを NaI(Tl) シンチレータのような高原子番号の元素より成るものと比較した場合の大きな相違点は原子番号の違いからくるパルススペクトル分布の違いである。 γ 線エネルギーが100 KeV以下になると、 NaI(Tl) シンチレータはコンプトンスペクトル分布は消え光電ピークとそのEscapeピークからなるスペクトル分布となるが、プラスチックシンチレータではコンプトン効果が優勢でエネルギーが非常に低いパルススペクトル分布となり、 γ 線エネルギーが50 KeV以下にならないと光電吸収による効果は顕著にあらわれない。したがって γ 線エネルギー範囲として50 KeVから3 MeVまでの γ 線を測定範囲とすると、Fig.1に示すように、コンプトン端エネルギーから考えて数KeVの低いエネルギーから測定対象とするようにしなければならない。プラスチックシンチレータを使ったパルス計数方式の線量測定器の問題点は、ダイナミックレンジ500倍程度の広い範囲で直線性が良く、しかもプラスチックシンチレータの発光効率の低くさに関連して低ノイズレベルの直線増幅器その他回路、部品の使用が可能かどうかという点である。この点に関しては最近の進んだ回路技術では選択さえ誤まらなければ問題はない。

プラスチックシンチレータの照射線量に対する吸収エネルギーの γ 線エネルギー依存性はFig.2に示す通りである。実線は全吸収エネルギーについての特性曲線であり、点線は光電吸収成分のみの寄与を示したものである。ノイズと信号パルスの弁別のための波高弁別レベルの設定値によっては γ 線エネルギーにして容易に数100 KeVまでのエネルギー特性が影響を受けることがFig.1とFig.2から知られる。50 KeV以上で安定な特性を得るためには波高弁別レベルは少なくとも5 KeVまでを対象と考えるべきであろう。

NaI(Tl) シンチレータでは電子の運動エネルギーと発光量の関係は直線的でなく電子のエネルギーの低下とともに発光量の割合が増大する傾向がある。プラスチックシンチレータでも低エネルギー域における発光効率の非直線性はNuclear Enterprise社のパイロットBでは観測されており、この場合エネルギーの低下とともに発光効率が低下する傾向がみられている。もしこのような傾向が一般のプラスチックシンチレータにもみられるなら

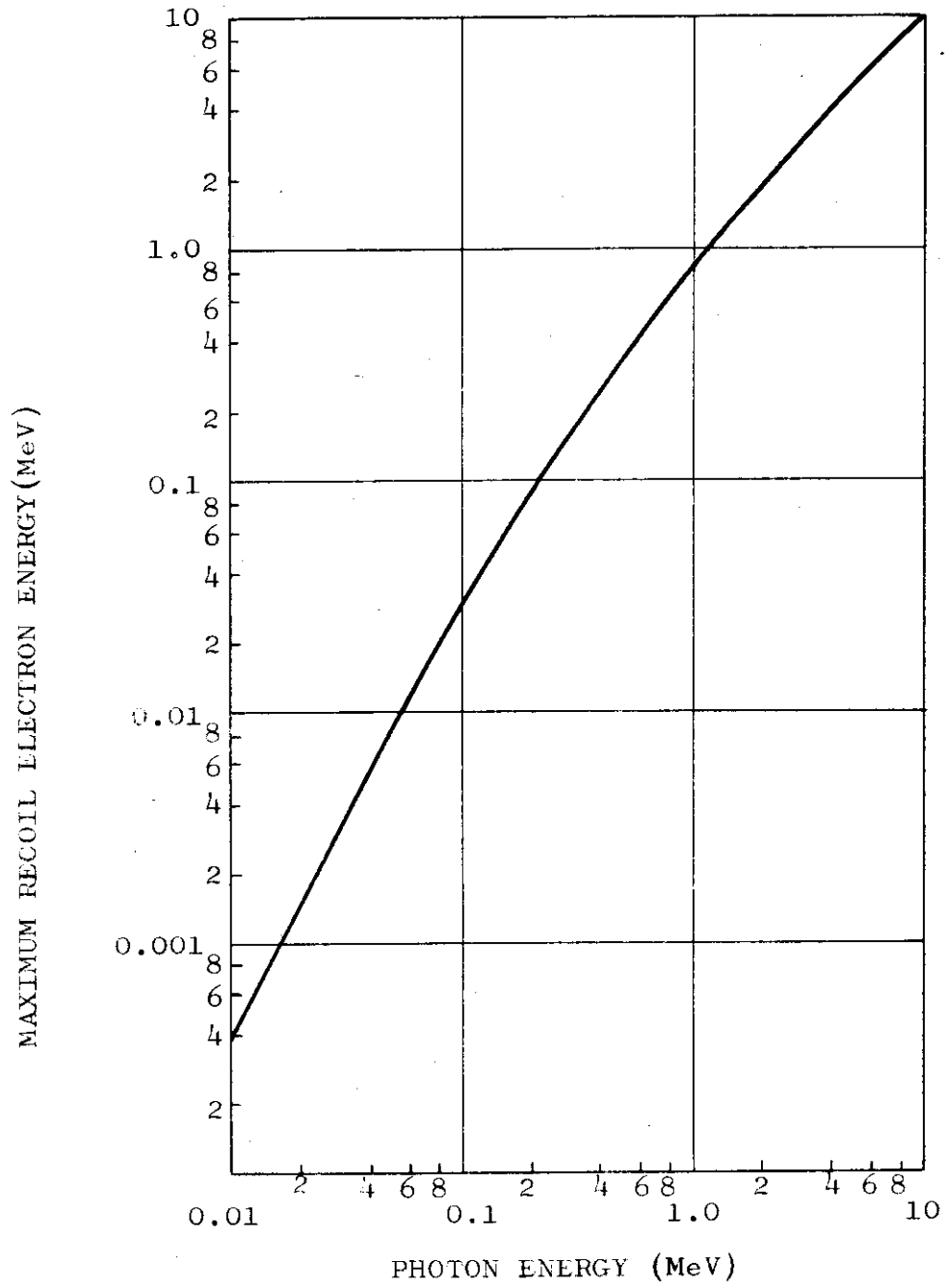


Fig.1 Photon Energy Dependence of Compton Edge Energy

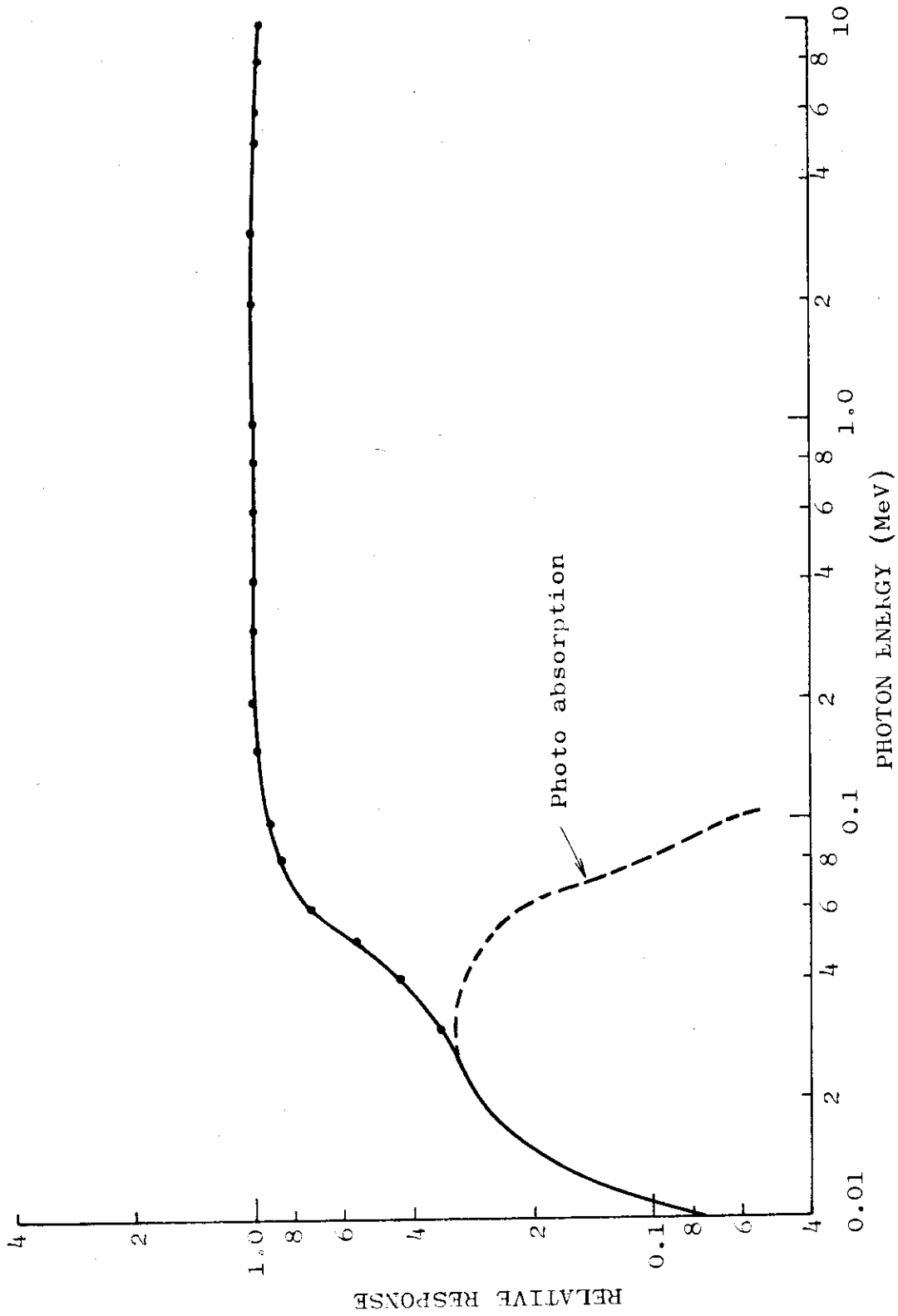


Fig.2 Energy Response of Plastic Scintillator to Exposure Dose
(Scintillator thickness : 2.54 cm)

ば実際に光-電氣的測定系を経て得られるエネルギー特性は、Fig. 2 に示すものより低域がさらに下ったものとなろう。

本報告では先に述べたような特別のエネルギー特性改良のための手を加えてない普通のプラスチックシンチレータ（松下電工製 National Scintillite, 現在製造中止）についての実験結果をまとめた。National Scintillite の特性は Table 1 の通りである。採用したシンチレータの形状は径 75 mm の球型で、プローブの構造図を Fig. 3 に示した。

Table 1 Properties of Plastic Scintillator used
(National Scintillite)

Pulse Height	: 60% that of an anthracene crystal
Decay Constant	: 2 ~ 5 nsec.
Maximum Emission	: 4200 Å
Density	: 1.04 ~ 1.06
Composition	: 92% Carbon, 8% Hydrogen
Softening Temperature	: 160 ~ 210°F

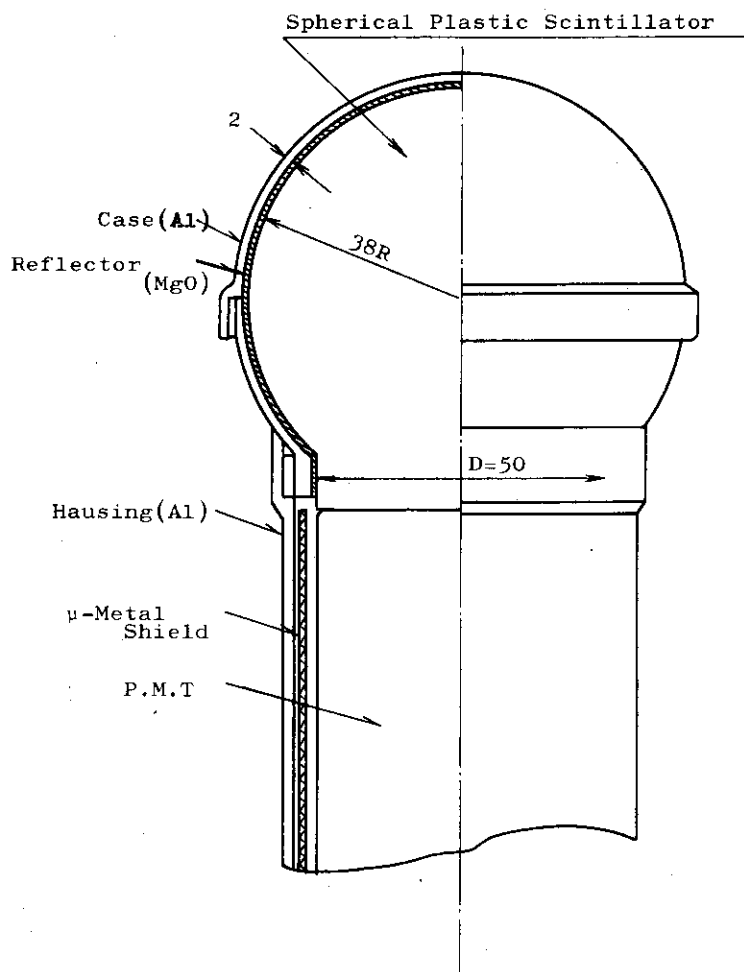


Fig. 3 Spherical plastic scintillation detector

2.2 エネルギー荷重の方法

電氣的なパルスエネルギー荷重の方法には直列の二進計数回路に並列にパルス入力をあたえ実質的にエネルギー荷重をおこなうもの、パルス波高一時間変換の原理によるA-D変換方式によるもの、パルス電流を積分する方式のものなどがある。前二者は最低エネルギーパルスを量子化要素1としてエネルギーが高くなるにつれて量子化パルス数が比例して増す形式のもので、ともに量子化によって入力パルス数より出力パルス数の方が大きくなる方式である。しかし両者には原理上大きな違いがあり、2進計数回路の方式では荷重が2進回路への並列加算によっておこなわれるため分解能はほぼ普通のパルス計数率の分解能の考えから決まりかなり良好な分解能が期待できるが、後者の場合はパルス波高に比例した量子化パルス列ができるため分解能がかなり犠牲になる。この場合の測定可能上限線量率は1量子化パルスの線量に単位時間あたりの最大の量子化パルス列の数を乗じた値となる。

パルス電流積分方式も含め以上に述べた各方式はすでに述べたように広いパルス波高スペクトル分布を示すプラスチックシンチレータのエネルギー荷重に利用するにはダイナミックレンジ、分解能などの点で難点がある。ここで用いたエネルギー荷重の方式は波高弁別器のバイアスを三角波、鋸歯状波その他適当な関数波型で変調することによって波高弁別器バイアスを通過したパルス数が実質的にエネルギー荷重されたものとして得られる方式である。これについての原理、応用例はすでに参考資料3)~6)に報告されている。

エネルギー荷重の原理を簡単に示すとFig.4の示す通り最高バイアスレベル E_H (MeV)相当までの鋸歯状波で変調されている波高弁別器はエネルギー E のパルスを、変調波の一周期 T_H 時間に対するバイアスレベル E に達する時間 T の比 T/T_H 、すなわち E/E_H の割合だけ通過させる性質があり、この原理を応用することによってエネルギー荷重が簡単

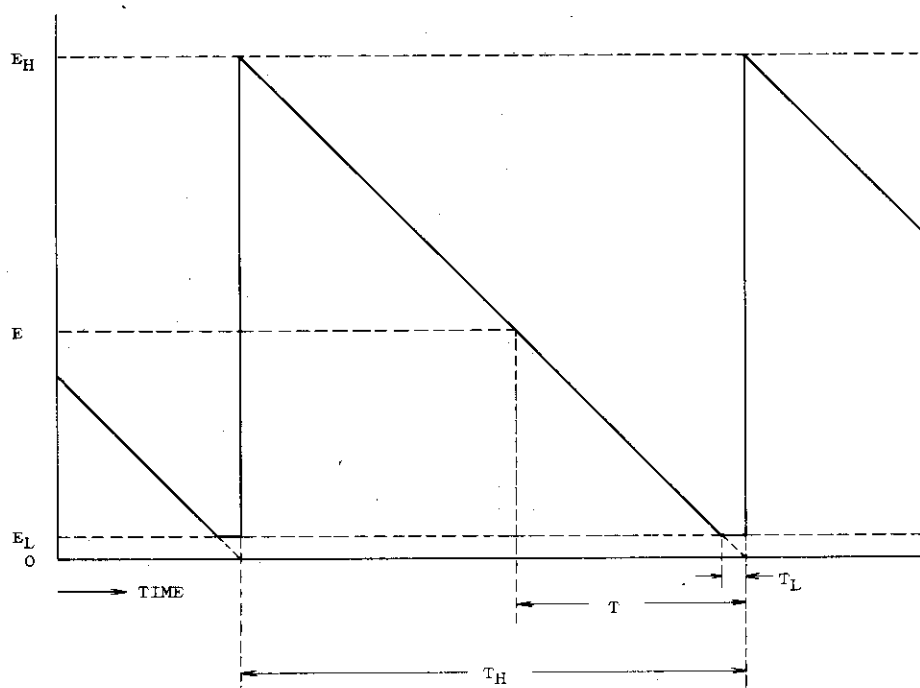


Fig.4 Correlation between discriminator bias waveforms and passing-through time T for pulse with energy E

におこなえる。この場合先に述べた各方式と異なり、Fig. 4 に示すエネルギー E_H のパルスに対する荷重値が1で、エネルギーの低下とともに荷重値が減少するという、荷重が減少数によっておこなわれるのがこの方式の特徴である。これは放射線の情報を捨てるという点で一見欠点のようにみえるが、低エネルギー γ 線に対する必要以上に高い感度を高エネルギー γ 線に対する感度に合わせることによって、量子化パルス列を作らず測定可能上限線量率を測定系のパルス分解能の限界まで持つていくことができる利点がある。また線量の測定精度が単純に出力量子化パルスの標準偏差から評価されるという点と荷重がなめらかに連続的におこなえるという点も他の方式にみられない大きな特徴といえる。

当回路方式における一つの特徴となるノイズ弁別とエネルギー特性の微調整の方法について次に簡単にふれてみる。

関数波型として傾斜が完全に直線的に上昇又は下降する鋸歯状波、三角波などの場合は用いるプラスチックシンチレータの原子構成で定まったエネルギー特性となる。普通のプラスチックシンチレータはTable 1 の例に示されるように水素原子、炭素原子の重量比は普通 8 対 9 2 で、実効的な原子番号が空気の場合より低くなり照射線量に対するエネルギー特性は100 KeV以下で低下する傾向がある。このような場合光電流値を測定する電流測定方式のプラスチックシンチレータの場合は特性の変更の手段として物理的な手段、たとえば検出器に適当な金属フィルタをかぶせるなどの方法しかなく、感度を上昇させる簡単な方法はみあたらないが荷重関数を適用する考えによれば、荷重値を増すという手段がとりうる。

低エネルギー域の関数波型を示すとFig. 5の(1)のようになっている。これが普通のエネルギーの一次の荷重の場合で、0レベルの検出点はバイアス電位が零の点になる。通常ノイズの影響を除くため数 KeV相当電位以下に関数波形の電位が低下しないよう一定の値に保持する。これがノイズ弁別用の波高弁別レベルで図のD. L. で示す電位に相当する。ここで同図(2)で示すように関数波形の零レベル検出点Z. L. を変化すると低エネルギー域の荷重値も変化する。この関係をエネルギー特性の変化で示すと、Fig. 6 に示すようにZ. L. が丁度0電位の場合のエネルギー特性を(1)とするとZ. L. が正側にくれば(2)の傾向があらわれ、Z. L. が負側にくれば(3)に示すように低エネルギーでの特性が低下することになる。プラスチックシンチレータの低エネルギーでの特性の悪さはこの方法でZ. L. を負側に下げることによって補償することが可能である。

また荷重関数の最大バイアス点を変化させればエネルギー荷重がおこなわれる範囲が変わり結果的に特性が改良されるエネルギー範囲が変わる。以上に述べた諸点は他の方式のパルスインテグレータにはみられない大きな特徴である。

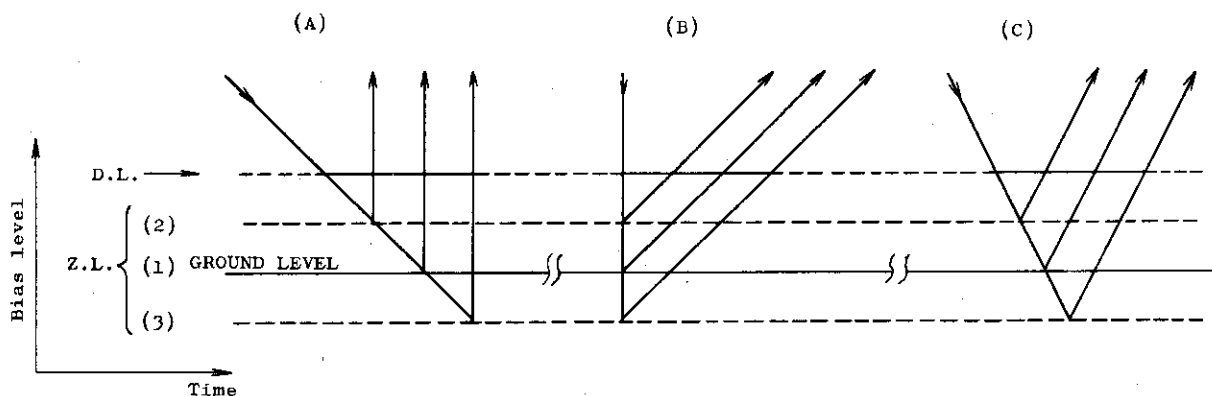


Fig.5 Illustrative figure of low energy region of applied waveforms and zero level detection affecting the energy response

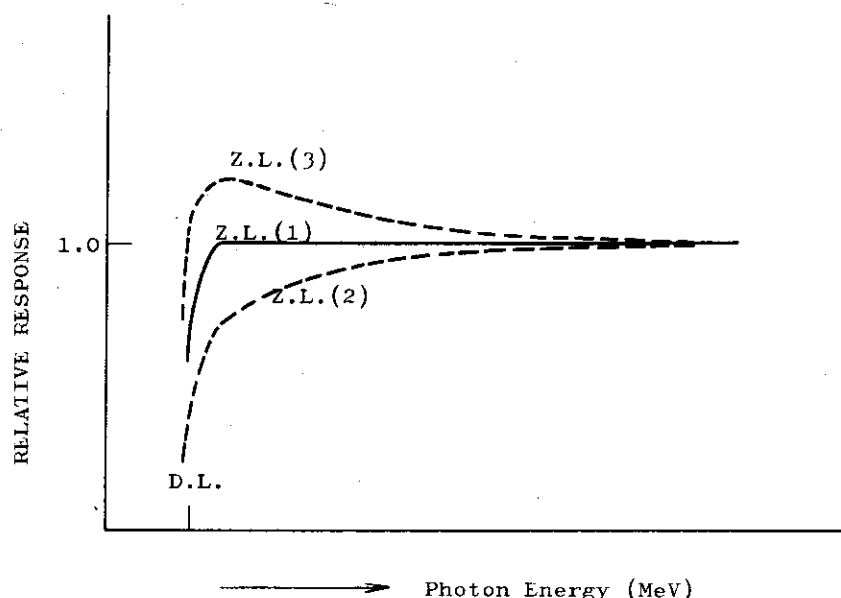


Fig.6 Variation of Energy Response According to the Bias Waveforms

2.3. 回路構成

使用した検出器は先に述べた通り National Scintillite の 75 mm 直径の球型プラスチックシンチレータと東芝製光電子増倍管 7696 を組合せたもので、前置増幅器は組込まれていない。パルスは電荷パルスとして直接アノード電極よりコンデンサを通して取り出し、プローブ外の電荷増幅器に入力される。直線増幅器は高計数率において低エネルギーパルス、高エネルギーパルスにかかわらずパルス波高の変化は許されないのだからかなり高性能のものが要求される。プラスチックシンチレータの場合のエネルギー荷重範囲は 500 倍以上にわたるためエネルギー荷重回路に供給され処理されるパルス波高は 10 mV から 10V にわたって良好な直線性と直流レベルの十分な安定性がなければならない。ここでは、NAIG Model 129 を用いた。

直線エネルギー荷重回路 (DBM回路) の基本的なブロックダイアグラムを Fig.7 に掲げた。ここに掲げた回路の基本的な考え方は参考文献 5), 6) の場合と同じようにコンデンサへの充 (放) 電による電位の変化を関数波形に近似させるもので、エネルギーの一次の荷重の場合の充 (放) 電はブートストラップ回路, ミラー積分回路あるいはトランジスタの定ベース電流におけるコレクタ電流の定電流特性を利用した回路などでおこなわれる。

関数波形の零レベル検出点 (Z.L.) を正確に保持し, 低エネルギーで安定したエネルギー荷重をおこなわせるには Fig. 5 の (a), (c) が秀れている。ブロックダイアグラムに示すものは (a) の場合で, 零レベルが検出されるとコンデンサの電荷は短時間に放電し, 最大振幅に相当する電位まで下がると再び充電を開始し同じ動作を繰返す。この方式で波高弁別レベル (D.L.) の検出も Z.L. の場合と同様に安定におこなわれ, 定電位への保持が正確におこなえる。

パルスと関数波形の比較回路は参考資料 6) のものがそのまま利用できる。比較回路のあとに設けてある反同時計数回路は関数波形の Z.L. 検出によるリセット時に発生する偽パルスの出力を防ぐために置かれている。

以上の考えに基づく実際の回路を Fig. 8 に示した。充電回路はブートストラップ回路とトランジスタのコレクタ電流の定電流特性を利用した場合の 2 例を示したが, 実験の結果ほとんど同じ良好な直線性が得られた。あとに示す実験結果は全て後者の場合のものである。

図中, VR 1 は関数波を低エネルギー側で一定値に保持するための電位レベル調整器でノイズ弁別器として動作する。VR 2 は関数波の振幅調整器でエネルギー特性の改良範囲が調節できる。関数波型の零点検出器は VR 3 によって調整される。

比較回路やその他の一般的な記述は参考資料 6) にのべた通りである。

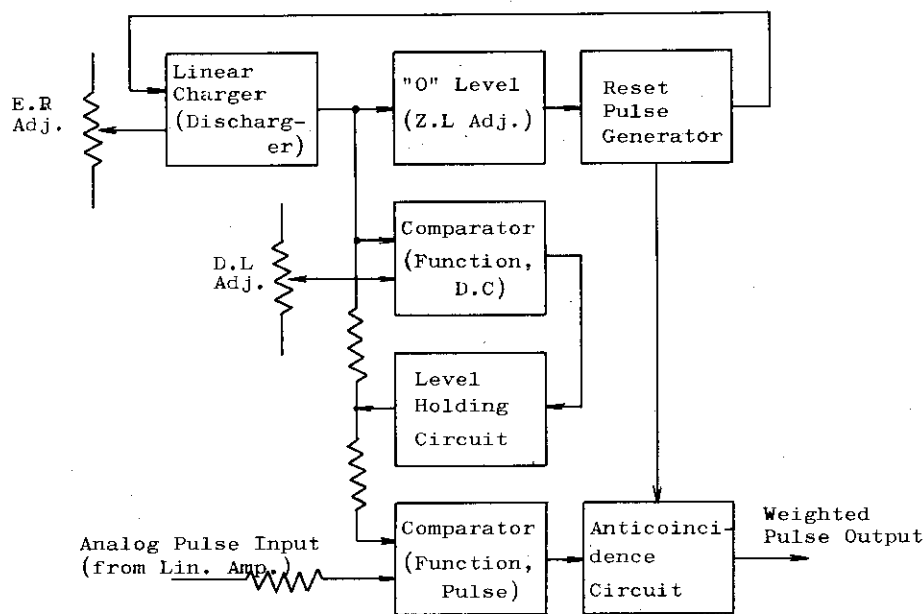


Fig.7 Block diagram of DBM circuit for linear pulse-height weighting

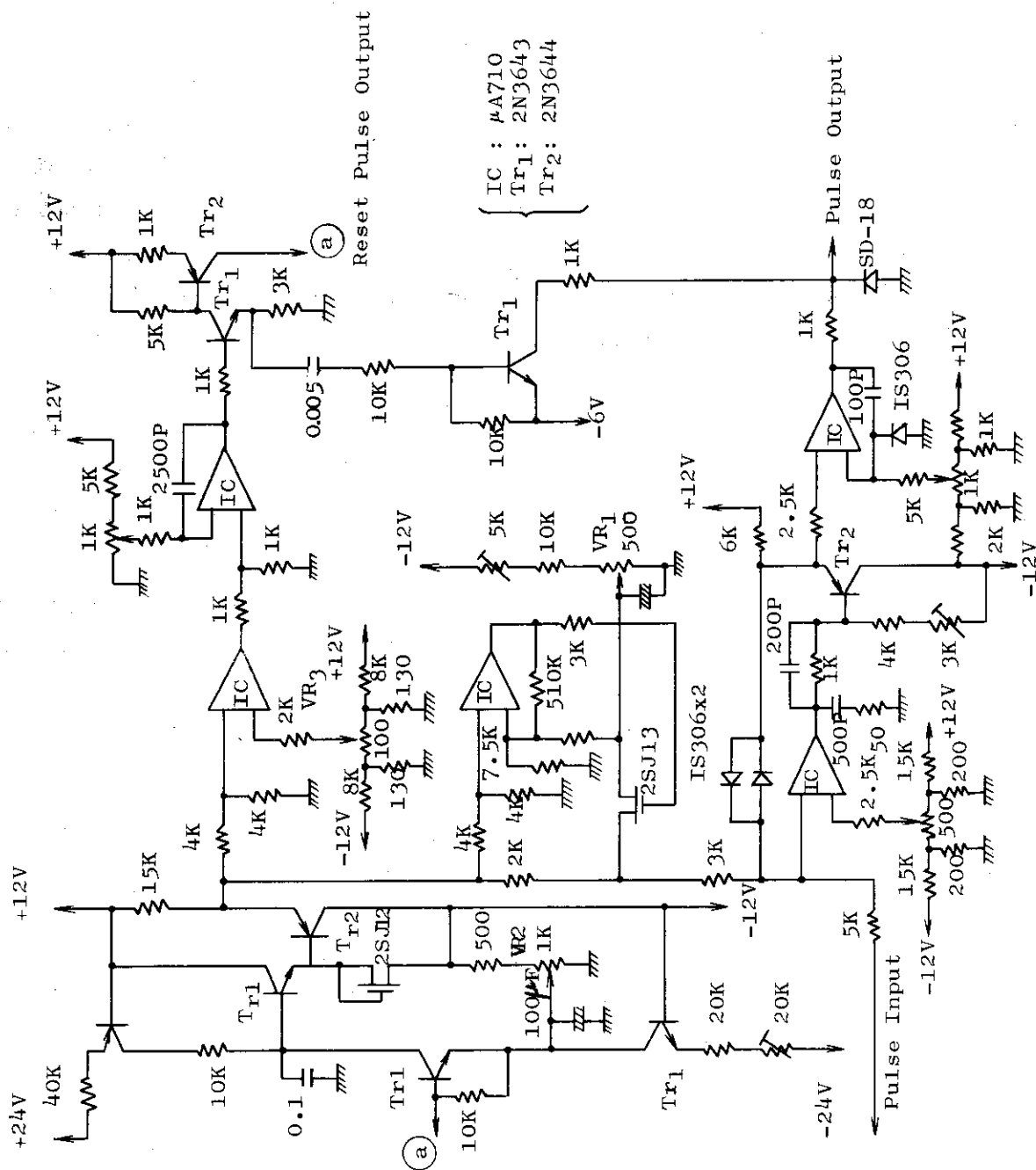


Fig.8 Diagram of discriminator bias modulation (D.B.M) circuit

3 特性試験

3.1 DBM回路の特性

必要な電氣的試験項目はエネルギー荷重の直線性，エネルギー荷重の動的範囲，ノイズ弁別器の特性，改良エネルギー範囲の調整器の特性などである。パルス波高の動的範囲が非常に広いため直線増幅器の非直線性，零レベルのづれなどがエネルギー荷重の直線性に直接影響をおよぼす。したがって實際上，組合せて用いる系全体について総合的に特性の調整をおこなわなければならない。このためFig.9の直線増幅器の入力に Tail Pulse Generator から前置増幅器からの出力パルスを近似した立上り時間 $0.25 \mu\text{S}$ ，下降時間 $50 \mu\text{S}$ のパルスを加えて特性試験をおこなうのが最も合理的でありこの方法で特性試験をおこなった。

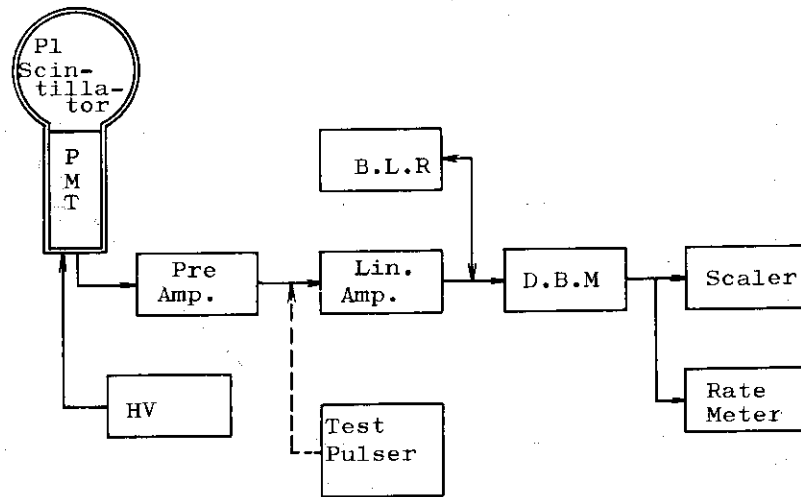


Fig.9 Block diagram of DBM Plastic Scintillation Dose Counter

Fig.10 に，上に述べた方法で実測した最大幅のパルス通過率特性を掲げた。これより通過率が $1/1000$ 程度まで良好な直線性があることがわかる。前にも述べた通り関数波形はトランジスタの定コレクタ電流特性を利用した回路で作られているが，実用上十分な直線性が得られている。プラスチックシンチレータの場合数 10 KeV の低エネルギー γ 線に到るまでパルス波高スペクトル分布はコンプトン分布にさらに統計的な分散の加わった広いスペクトル分布を示している。このような性質から，線量の測定・評価における非直線性にもとづく誤差はDBM回路部分の積分直線性や微分直線性などよばれる値そのものではなくスペクトル分布へこれを適用したときの線量評価誤差として考えられなければならない。一般的には，低エネルギー，高エネルギー γ 線に対して一様な誤差のエネルギー特性を要求する場合，低エネルギーパルス程高い荷重精度が必要であると言える。

Fig. 11 はノイズ弁別器のパルス弁別特性で、比較的良好な分離特性が得られている。図から、ノイズ弁別器によって通過率が $\frac{1}{2}$ に下がる点のパルス波高とバイアスレベルの関係を求めるとFig.12の通りで、ほぼ15 mV程度まで良好な直線関係が得られている。直線増幅器出力の直流レベル（DBM回路側入力に直流再生器がある場合はこれの直流レベル）が不安定であれば通過率特性の直線性が変動するだけでなく、弁別器の分離性能が悪化し急峻な弁別曲線が得られなくなり、結果的にエネルギー荷重の範囲をせばめることになる。このため直流レベルの安定性については十分な配慮が必要である。

Fig. 13にVR2による関数波の振幅調整器の特性を示した。この図から求めた、ダイアル番号と荷重の有効な最大パルス波高の関係をFig. 14に示した。

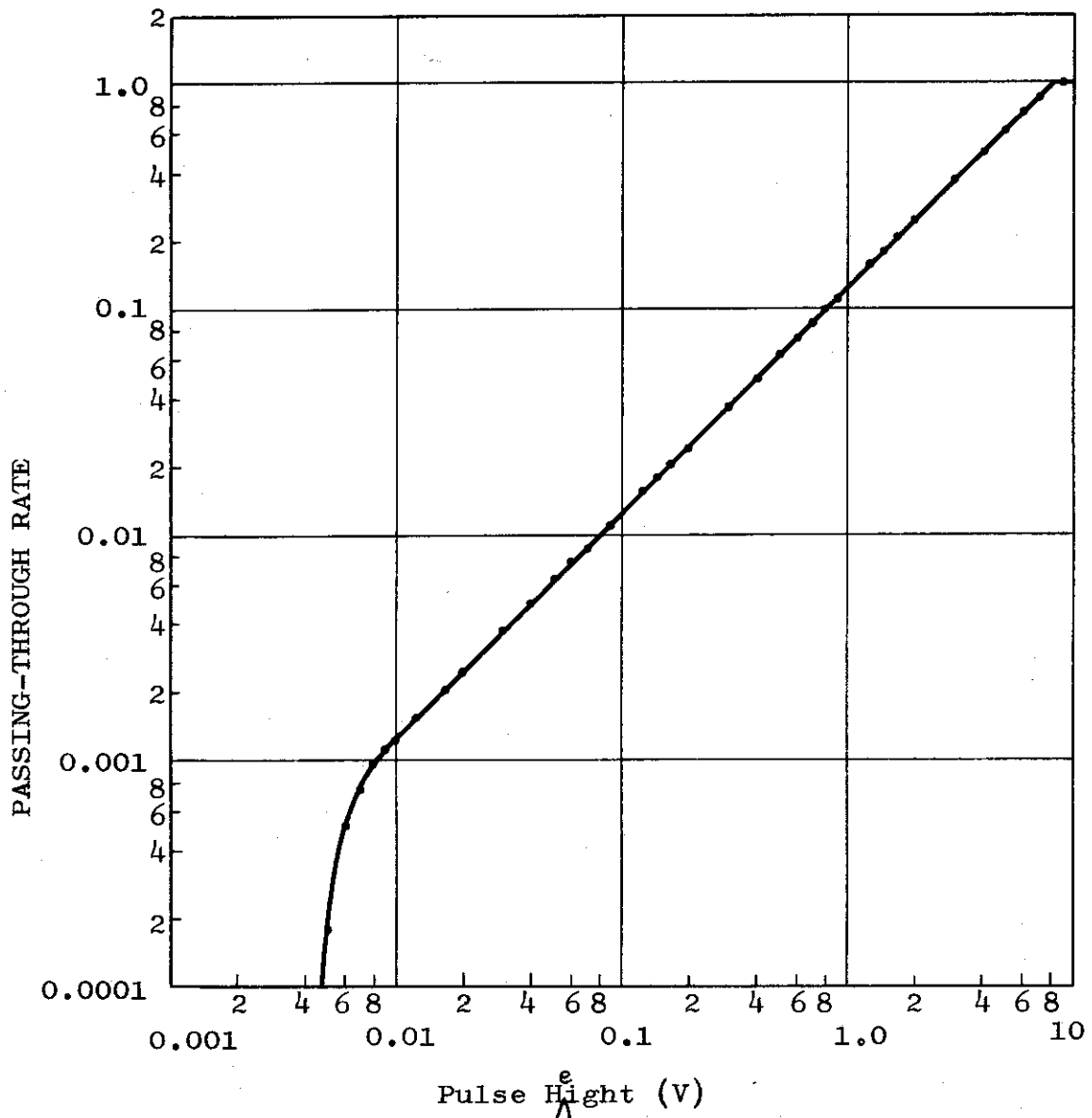


Fig.10 Passing-through Rate in Maximum Range of Pulse Height (Energy) Weighting

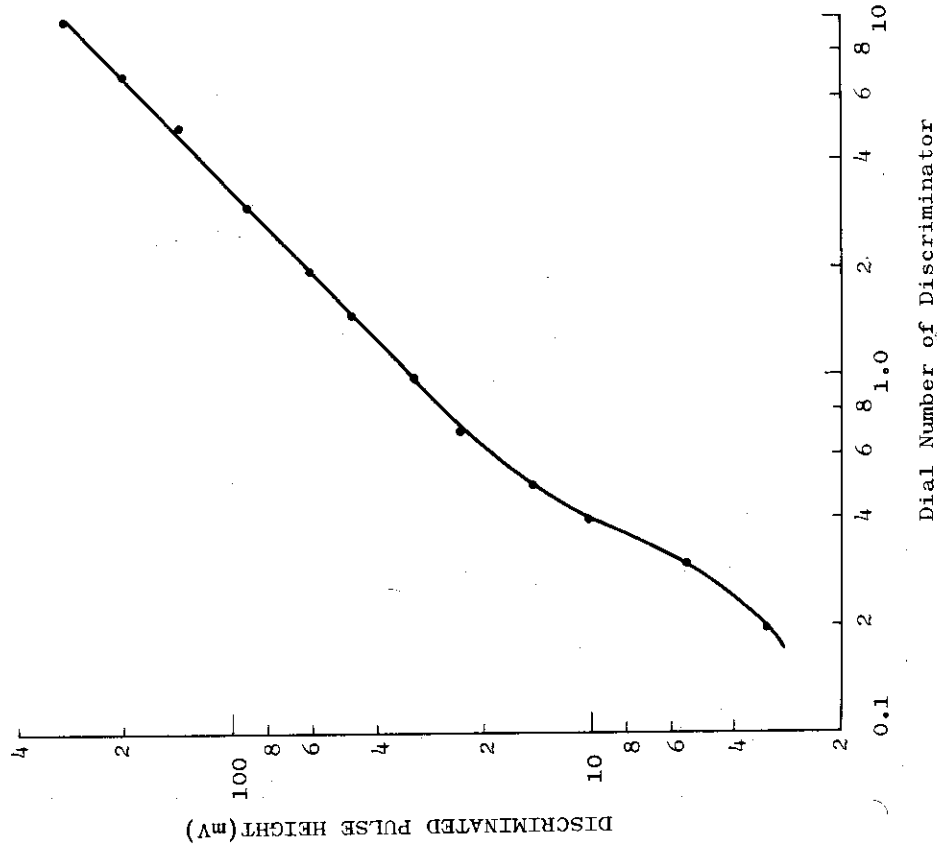


Fig.12 Characteristics of discriminator (VR1) for cutting noise off

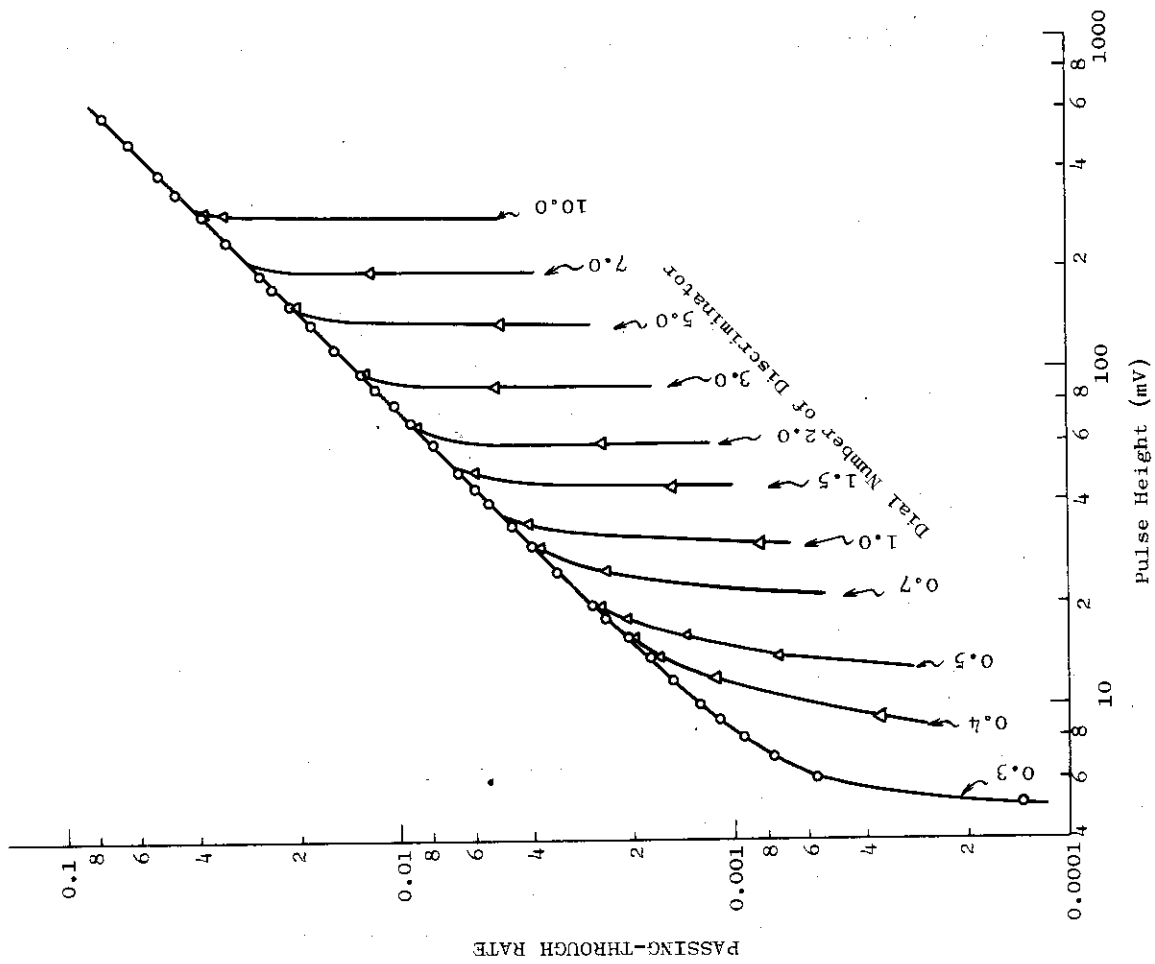


Fig.11 Discrimination Characteristics of Noise Discriminator

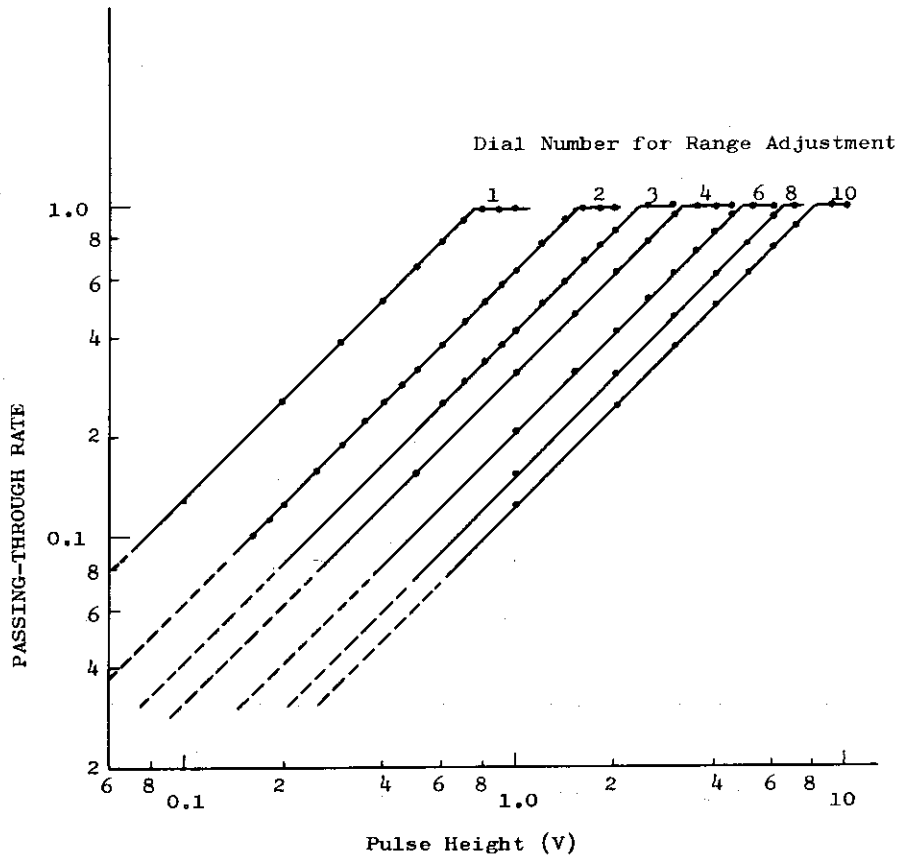


Fig.13 Variation of Energy Weighting Range according to Range Adjustment Dial (VR2)

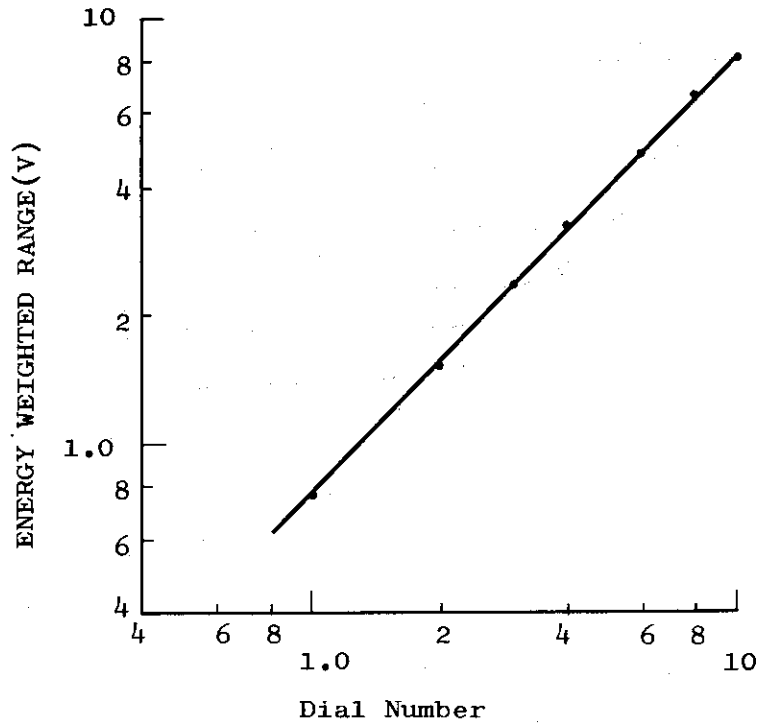


Fig.14 Characteristics of Range Adjusting Dial

3.2 総合性能試験

DBM回路とプラスチックシンチレーション検出器と組合せた総合試験をおこなった。プラスチックシンチレータを使った検出器ではエネルギー換算で10 KeV以下になると光電子増倍管の熱電子ノイズや前置増幅器のホワイトノイズが影響しはじめその大きさによって測定し得る下限の γ 線のエネルギーが定まる。このようなノイズ成分は通常の測定においてはそのまま計測され数として大きな寄与となる場合でもエネルギー荷重がおこなわれるとその寄与の割合は大幅に減少する。ノイズ弁別性能を知るために鉛5 cm厚の鉛容器内でノイズ弁別器のバイアスレベルを変えて得た計数率の変化を、室内の同様の特性と

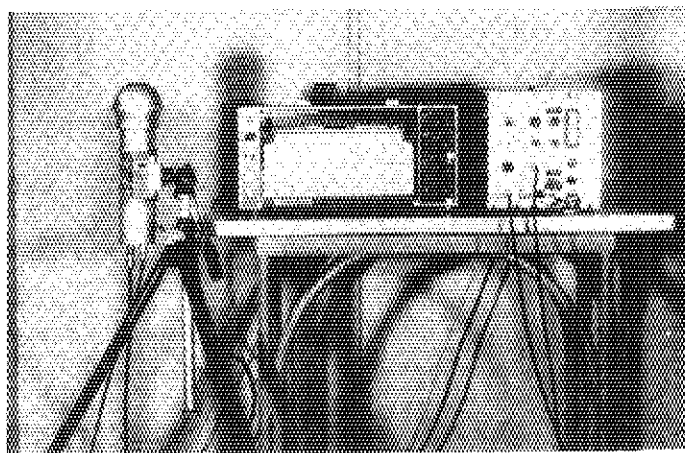


Photo 1 Photograph of a high sensitive exposure rate meter equipped with a 75mm ϕ spherical plastic scintillation detector

ともに Fig. 15 に示した。前に示した DBM 回路と直線増幅器のみの組合せの場合にはノイズ弁別レベルが入力パルスの波高換算値で 15 mV 相当以下まで良好な直線関係がみられたが、Fig. 15 では検出器と前置増幅器からのノイズレベルが高く実用的な下限レベルは 20 mV 程度となっている。図中 15 mV 程度以下の計数率の急激な立ち上りはノイズ成分であり、平坦な部分は、鉛容器内の場合は主として宇宙線と光電子増倍管のガラス中の ^{40}K の成分であり、容器外における増加分は室内の自然 γ 線成分である。バイアスレベルの下降による計数率の上昇は非常にゆるやかで、20 ~ 30 mV のバイアスレベルで十分な飽和値が得られている。

この状態で低エネルギー γ 線に対する検出状態を明らかにするために ^{241}Am 線源を用いて積分計数率を調べた。Fig. 16 は Fig. 15 と同様に波高弁別レベルを変えて積分計数値をとってみた結果である。 ^{241}Am は 59.5 KeV の他に線量寄与としては大きい Np の L X 線を数本放出し線源の構造によっては大きな寄与となる。Table 2 に吸収による減衰がない場合の一崩壊あたりに放出される X, γ 線の割合と $\frac{1}{100}$, 1 m の距離による照射線量率 (空気による減衰を無視) を掲げた。検出器容器は 2 mm 厚のアルミニウムである

Table 2 Gamma-ray intensity of ^{241}Am source
(original data are quoted from
"Table of Isotopes, SIXTH EDITION")

Photon Energy (KeV)	Intensity		Relative Intensity	
	number ($\times 10^{-2} \text{dis}^{-1}$)	exposure* ($\mu\text{R/h per mCi at 1m}$)	number	exposure
11.89 N_{pL}	0.8	4.9	0.02	0.40
13.9 N_{pL}	13.5	59.1	0.38	4.83
17.8 N_{pL}	18.4	47.0	0.51	3.84
20.8 N_{pL}	4.97	9.0	0.14	0.74
26.4	2.52	2.8	0.07	0.23
59.5	36	12.2	1.0	1.0
99.0	0.024	0.019	0.0005	0.002
103	0.019			
122	< 0.002	0.0041	0.0001	0.0003
125	0.005			

*Attenuation by air is not considered in this table.

ためにL X線成分は30%程度減衰するであろうし、またプラスチックシンチレータ内ではコンプトン散乱よりは光電吸収の方の割合が多くなる。したがってそれぞれのエネルギーの寄与別がはっきりしない限り定量的な結論は出ないが、検出限界の目安という意味で試験をおこなった。Fig.17の(A)はDBM回路への入力スペクトル分布、(B)はDBM回路の出力と出力の同時計数をおこなったスペクトル分布でDBM回路によるエネルギー荷重の様子がうかがわれる。高エネルギー側のピークは59.5 KeVの γ 線による光電ピーク、低エネルギー側のピークは59.5 KeVの γ 線によるコンプトン吸収スペクトルとL X線の光電吸収とコンプトン吸収スペクトルの重なったものと考えられる。この(B)を高エネルギー側より積分計数したものがFig.16の曲線に相当する。59.5 KeVを基準に考えて最低の有効な弁別レベルは約8 KeV相当となり、59.5 KeVのコンプトン吸収端エネルギー11 KeVをも十分に含んだ状態にある。

エネルギー特性については γ 線源の種類が少なく十分な試験がおこなえなかったが、Table 3に ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{226}Ra 、 ^{241}Am を用いて得た結果を掲げた。前の三種の γ 線については線源の精度、測定誤差の範囲内で、予想される良好なエネルギー特性が得られた。 ^{241}Am については20 KeV以下の寄与が明らかでないため59.5 KeVに対する感度は不明であるが、線源とプローブの容器による吸収(AI: 2.5 mm, プラスチック: 1 mm)からみてこれ以外からの寄与がないものと仮定すると表に示した値となる。多少L X線からの寄与も考えられるので実際はこれより幾分低い感度となろう。この値は100 KeV以下の感度が低下するプラスチックシンチレータとしては特に特異な値ではないと考えてよい。

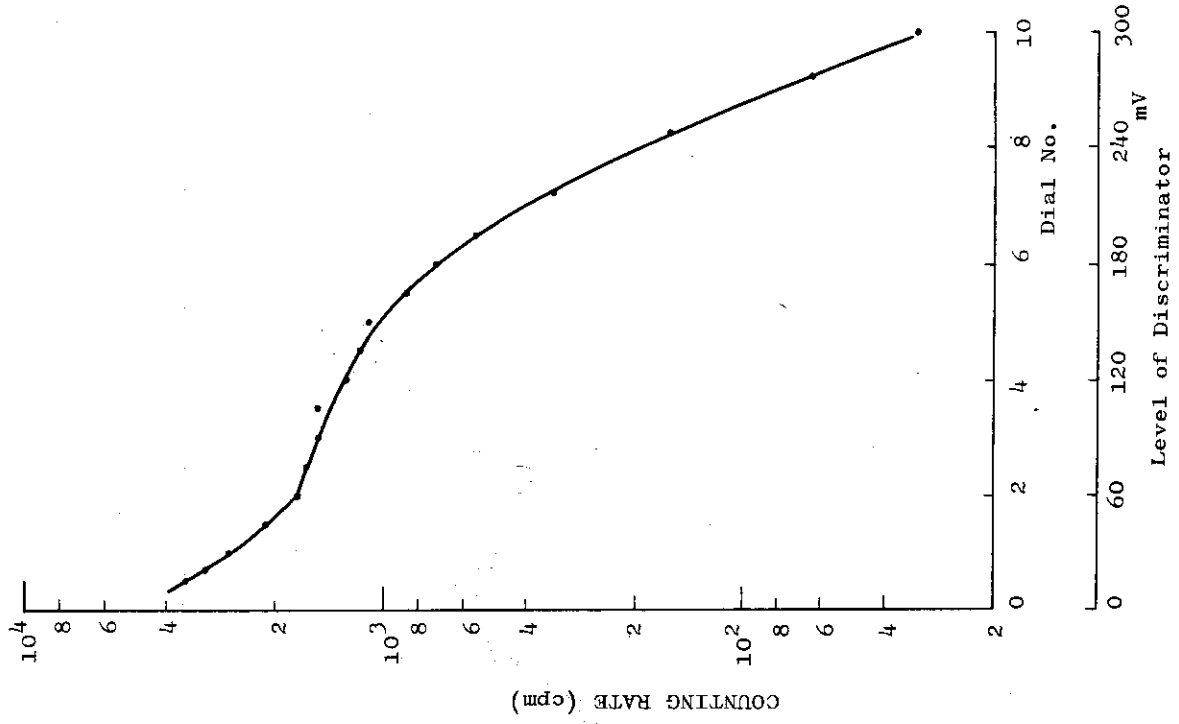


Fig.16 Integral Counting Rates of Energy Weighted Pulses of ²⁴¹Am Source

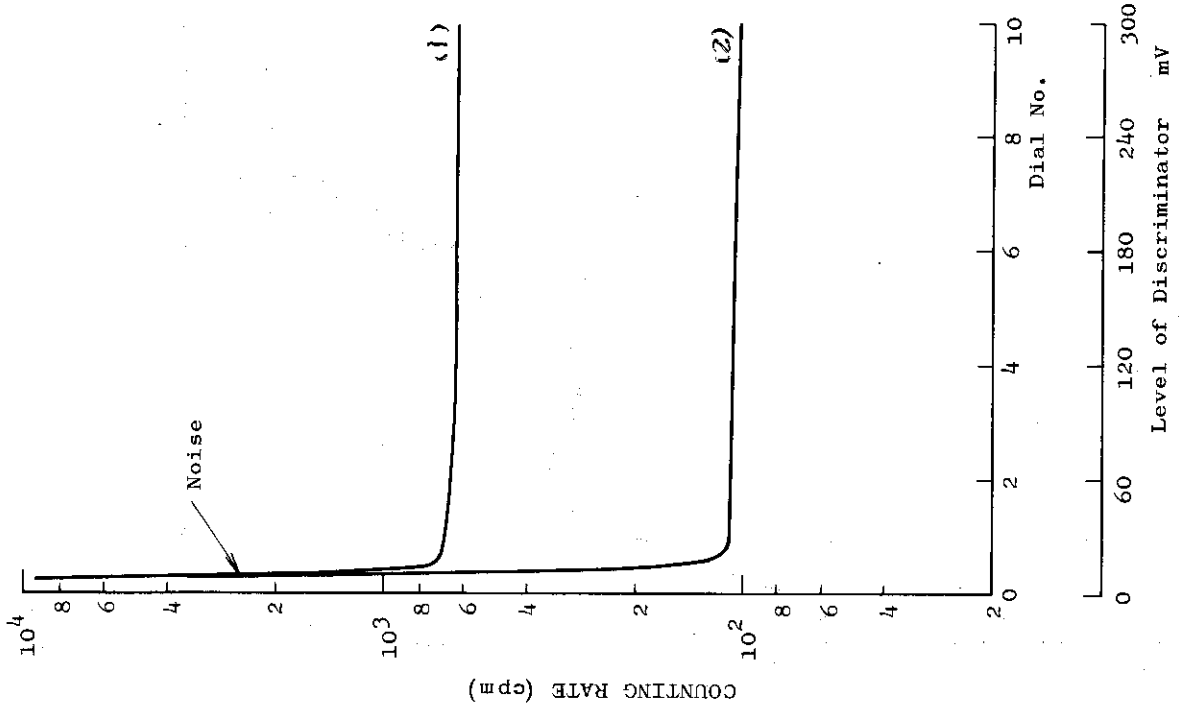


Fig.15 Discriminating Characteristics of Background Radiation
 (1):Open in laboratory room, (2):In 5cm-Pb shield

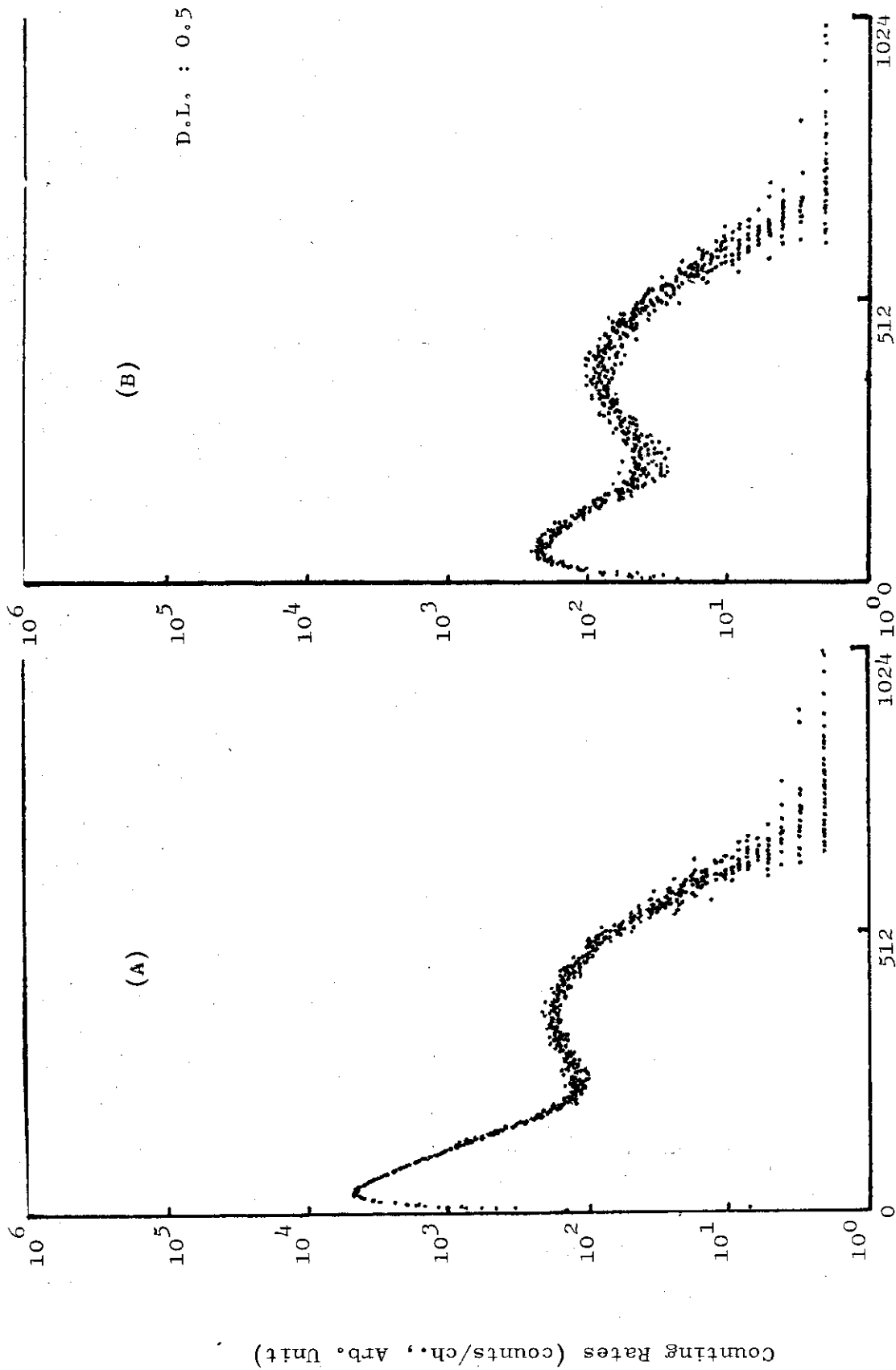


Fig. 17 Pulse height spectra of non energy weighted (A) and energy weighted (B) pulses by ^{241}Am source

Table 3 Experimental results on sensitivity and energy dependence

Exposure Standard		Response (cpm per μ R/h)
Nuclide	Accuracy (%)	
^{60}Co	$\pm 3\%$	95
^{173}Cs	$\pm 4\%$	93
^{226}Ra	$\pm 1.5\%$	90 *1
^{241}Am	$\pm 10\%$	24 *2

*1 Gamma-rays are filtered by 0.5mm Pt-Ir 10%

*2 N_p LX-rays are assumed not to be detected.

低エネルギー域のエネルギー特性の改善はプラスチックシンチレータを空気等価のもの例えば Nuclear Enterprises の NE 105 やあるいは Sn を添加した NE 140 などに置きかえたり、あるいは先にも述べたように関数波型の零点検出点を負のエネルギー側に移し荷重量を増す関数波形とする方法で可能であろう。

方向依存性については数種の γ 線について試験した。真球に近い形状をしているため Fig. 18 に示すように非常に良い方向特性を示した。低エネルギー γ 線に対する特性が高いエネルギーの場合よりもプローブ後方からの入射に対して小角度から減少する傾向がみられるが、検出器構成材による遮蔽の影響が強くあらわれるのはやむを得ない現象である。しかし特に広い入射角度分布を示す環境放射線の測定にも十分な測定精度が期待できる。

光電子増倍管は磁界によって電子の増倍率が変化する。通常はこれを高透磁率の μ メタル等をつつみ地磁気その他の磁気の影響をとり除くことがおこなわれるが、検出器の使用方向が固定しない測定では特にこの影響を小さくしておく必要がある。光電子増倍管のガラス部分のみを μ メタルで覆う通常の方法で検出器を水平に置き水平面にそい検出器を、 180° 回転させ地磁気の影響をしらべた結果が Fig. 19 に示すものである。利得の最大変動幅は 1% で通常の μ メタル管を使用する方法で地磁気程度の磁気の影響はほとんど問題にしなくてよいことがわかる。

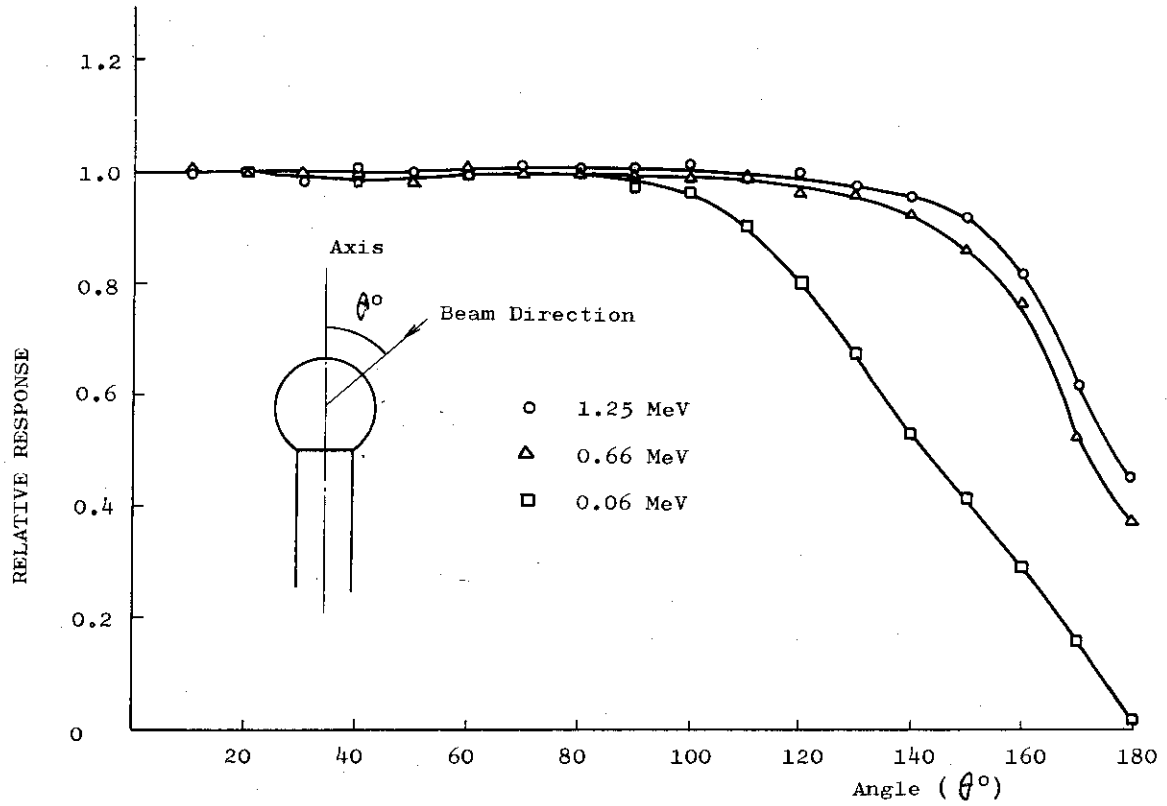


Fig.18 Directional Dependence of 3" Spherical Pl. Scintillation Probe

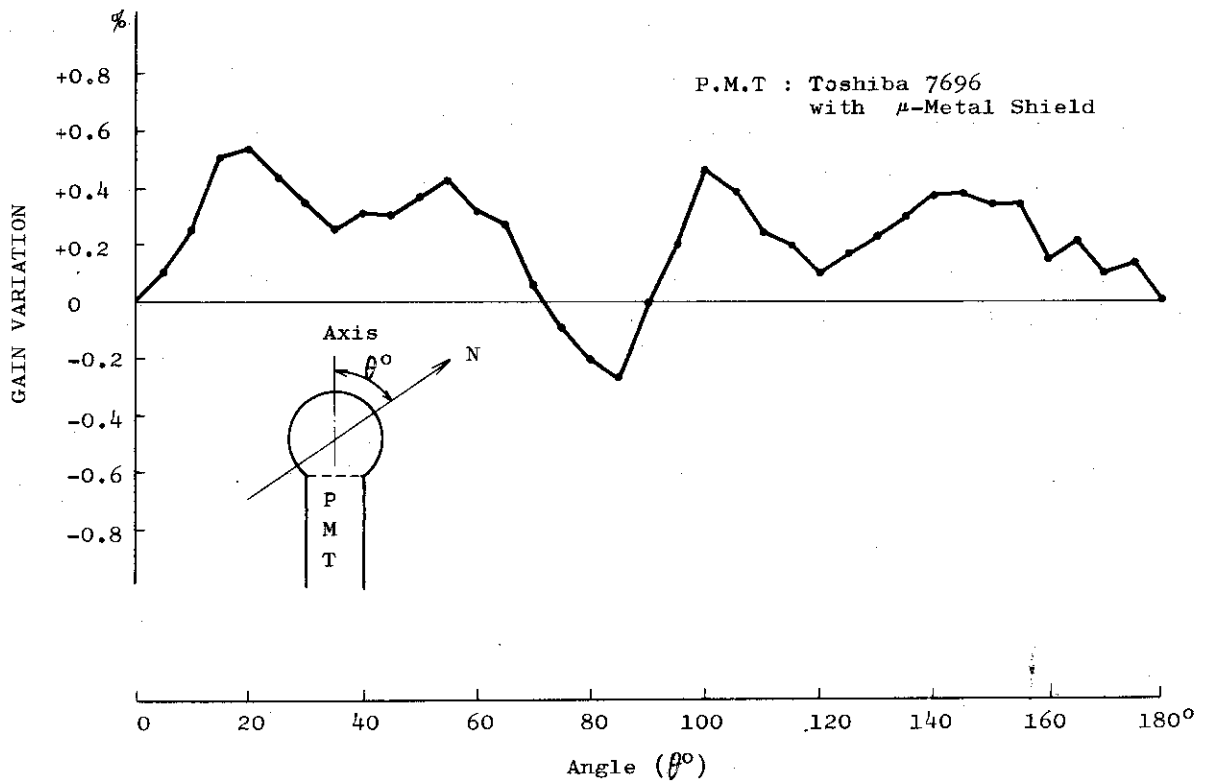


Fig.19 Effect of geomagnetic field on gain

4 環境 γ 線の連続測定例

以上の測定器を環境の低レベル γ 線の測定に長期の使用実験をおこなった。測定場所は原研構内、環境放射能課試料処理室屋上、期間は1973年12月初より1974年8月初までである。測定値の記録は計数率値をペン書きレコーダに、積算計数値は10分毎に紙テープパンチャーで紙テープにデジタル記録(ただし4月初まで)した。測定期間中にみられた故障は本体の主要部分については無く、わずかに高圧電源ケーブルの損傷による高圧ユニットのヒューズの熔断、低圧電源の5℃以下における高周波発振、レコーダのインク用ビニール細管の低温における硬化に関係した記録のかすれなどがみられたにすぎなかった。

測定結果から抜き出した数例をFig.20に示した。照射線量率値は光電子増倍管の ^{40}K 寄与(ここでは $0.51 \mu\text{R/h}$)と3 MeV以上の宇宙線計数値(59.3cpm)を差引いたが、3 MeV以下に入る宇宙線寄与は未評価のため差引かなかった。この値はNaI(Tl)検出器の場合の値($0.23 \mu\text{R/h}$)よりかなり大きな値になるものと考えられる。この結果によると特に大きな感度変化もみられず良好な安定性を示しており、環境の低レベルの γ 線の連続測定にも使える十分な安定性があるものと結論できる。

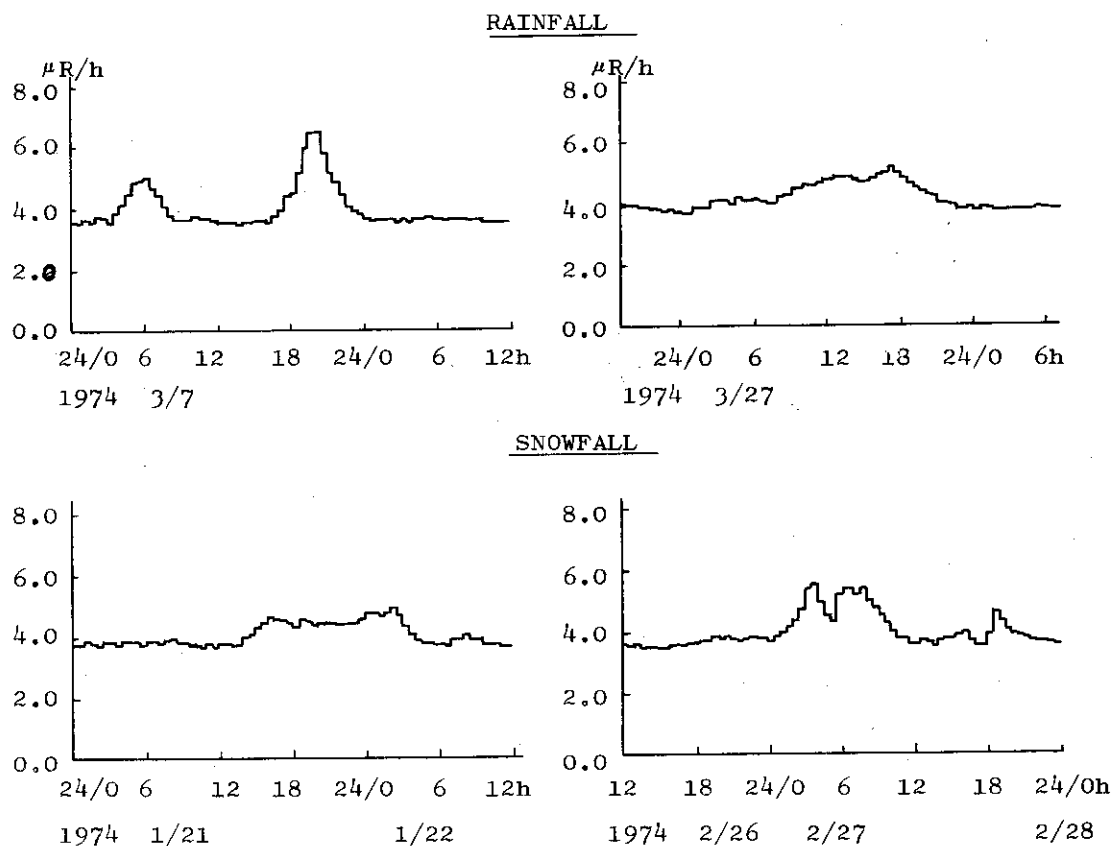


Fig.20 Examples of exposure patterns observed by a dose counter in environment

5 考察と結論

エネルギー荷重回路としてのDBM回路はNaI(Tl)シンチレーションカウンタの線束応答特性を任意の線量応答特性に変えるものとして開発されたものですでに長い使用実績がある。プラスチックシンチレータを検出器とする測定器はその実効原子番号が空気あるいは、軟組織のそれに近いという性質から荷重関数がエネルギーの一次関数になることはよく知られており、電流法などによって実用化がおこなわれてきたが、パルス処理による荷重の試みについては取扱うパルスのエネルギー範囲が広く全域にわたって安定したエネルギー荷重をおこなう方法がなかったことと10 KeV以下で熱電子ノイズの影響が懸念され一部を除き実用までには到らなかった。DBM回路は性能的には十分な動作範囲がありこの目的には使用できるものであることはわかっていたが、他の回路の性能、安定性に厳しい条件を要求する割にはNaI(Tl)検出器と比較して大きなメリットがなく重要視されなかった。

今回、DBM式のプラスチックシンチレーション照射線量率計を製作し特性試験と長期使用実験をおこなってみたが、電子回路部分についてはできれば光電子増倍管と前置増幅器をより低ノイズのものに置き換える必要性が感じられたこと以外は本文で述べた電氣的性能を備えたものを使用するかぎり困難な問題はみあたらなかった。今後改良されるべき点は100 KeV以下の感度を高めることで、回路的な方法で改良するよりもプラスチックシンチレータをより特性の良好なものに置き換える方法で処理すべきものと考えられる。これには、Nuclear Enterprises社のNE105、NE140などが使用できるであろう。今後の改良によって、プラスチックシンチレータの低価格、加工性の良さ、荷重回路の単純さなどの特徴を生かした、エネルギー特性、方向特性、感度がともによく低消費電力で小型という環境放射線の測定に適した測定器が実現できるであろう。

参 考 資 料

- 1) W. Kolb and U. Lauterbach, Rapid Methods for Measuring Radioactivity in the Environment, pp565-572, Vienna, IAEA.
- 2) W. Kolb and U. Lauterbach, CONF-720805-P1, The Natural Radiation Environment II, pp245-254.
- 3) S. Moriuchi and I. Miyanaga, Health Phys., 12, 1481 (1966).
- 4) 森内茂, 宮永一郎, 日本原子力学会誌, 9, 9, pp518-523 (1967)
- 5) I. Miyanaga and S. Moriuchi, NSJ-Tr 137, September 1968.
- 6) 森内 茂, JAERI-M 5374, 1973年8月.
- 7) W. B. Ittner III and M. Ter-Pogassian, Nucleonics, 10, 2, pp48-53, February 1952.
- 8) Z. H. Cho, C. M. Tsai, IEEE Trans. on Nucl. Sci., NS-22, pp72-80, February 1975.
- 9) F. T. Porter, M. S. Freedman, F. Wagner, Jr. and I. S. Sherman, Nucl. Instr. and Meth., 39, pp35-44 (1966).
- 10) F. M. Glass and G. S. Hurst, Rev. Scient. Instrum. 23, 67 (1952).
- 11) Y. Furuta, S. Kinbara and J. Miyakoshi, Rev. Scient. Instrum., 41, 1, pp11-15, January 1970.
- 12) S. Takeuchi, K. Itoh and A. Sekiguchi, Nucl. Instr. and Meth., 73, pp148-156 (1969).
- 13) 保健物理安全管理部の活動 No 11 (1968年度) JAERI-5021, pp109-110, 1969年10月 同上No 14 (1971年度), JAERI-M5018, pp153-154, 1972年12日.