



1 cm 線量当量測定用 ガンマ線スペクトロメータ

桜井 直行 古田 定昭*

大洗工学センター安全管理部

*人形峠事業所安全管理部

資料番号：72-6

The Gamma-ray Spectrometer for Measurement of
Ambient Dose Equivalent

Naoyuki Sakurai Sadaaki Furuta*

(Health and Safety Division, O-arai Engineering Center,

*Safety Administration Section, Ningyo-Toge Works.)

ICRP Publ.26の国内法令導入に伴い、管理区域内の γ 線測定には、従来の照射線量の代わりに1 cm 線量当量が採用された。1 cm 線量当量はエネルギーの関数になっており、精密な線量評価には γ 線のスペクトルを知ることが不可欠である。スペクトル情報をもとに、作業者の存在を仮定して照射方向を決めれば、実効線量当量まで算出することが可能である。このように、作業場のスペクトル情報は放射線管理を行う上で重要なものである。

本報では、作業環境における測定を目的として開発した1インチ球形NaI (TI) シンチレータを検出器とする、小型 γ 線スペクトロメータの特性と、代表的なポイントにおける1 cm 線量当量の測定結果、さらに市販のサーベイメータの測定結果との比較を報告する。

1. はじめに

1977年にICRP Publ.26が発表され、放射線に関するリスク評価に基づく実効線量当量等の線量制限体系が勧告された¹⁾。その後、Publ.51において外部放射線に係わる様々な概念が明らかにされるとともに、外部放射線を管理するために70 μ m 線量当量 (H70 μ m)、3 mm 線量当量 (H 3 mm) および1 cm 線量当量 (H 1 cm) がエネルギーの関数とともに示された。我が国の放射線防護に関する法令もICRPの勧告に従って改正されている。

1 cm 線量当量はエネルギーの関数になっており、その精密な線量評価には γ 線のスペクトルを知ることが重要である。さらに、スペクトル情報を基に作業者を仮定し照射方向を決めれば、実効線量当量まで算出することが可能である。このようにスペクトル情報は放射線管理を行う上で重要なものであるが、100 μ Sv/h程度の線量当量率が存在する作業環境中でのスペクトル測定は計数率が高く、困難となっている。そのような作業環境で使うことを目的に小型 γ 線スペクトロメータを試作し、1 cm 線量当量を測定した。

2. 測定装置

スペクトロメータの検出器は、一般に線量評価を目的とした γ 線スペクトル測定によく用いられるNaI (TI) シンチレーション検出器を用いた。測定対象となる作業現場の線量率が10 μ Sv/h程度を越えると、計数率が高く、電子回路のパイルアップが問題となり正確なスペクトル測定ができないので、電子回路の高速化を図った。シンチレータは直径1インチの小型とし、さらに低エネルギーにおける方向特性を良好にするため球形とした。マルチチャンネル波高分析器 (MCA) のメモリーに蓄積された波高分布は、カセットテープを仲介にパーソナルコンピュータへ転送し、 γ 線スペクトルおよび1 cm 線量当量の解析を行った。

通常、スペクトロメータによりMCAで得られた波高分布は、検出器自身の特性を反映した吸収エネルギー分布であり、真の γ 線スペクトルではない。そのため単色 γ 線による波高分布、すなわち検出器のレスポンスを用いて測定された波高分布を γ 線のスペクトルに変換 (アンフォールディング) することが必要である。

ここでは波高分布式をマトリックスに変換し、逐次近似法を用いて解析を行うこととした²⁾。その場合、計算には初期スペクトルが必要であるが、これには測定波高分布を用いた。

エネルギー区分として0.02MeVから10MeVまでを対数表示とし1デカードを10分割し、27群として計算を行い、1 cm線量当量を精度良く求めるよう工夫した。また、逐次回数としては50回を使用し

た。エネルギー群毎に計算した1 cm線量当量率および3 mm線量当量率等を全エネルギー範囲について積分した。

3. レスポンス関数

波高分布のアンフォールディングを行いスペクトルを得るためには、検出器のレスポンス関数が必要である。精度の良いレスポンス関数を求めるため、

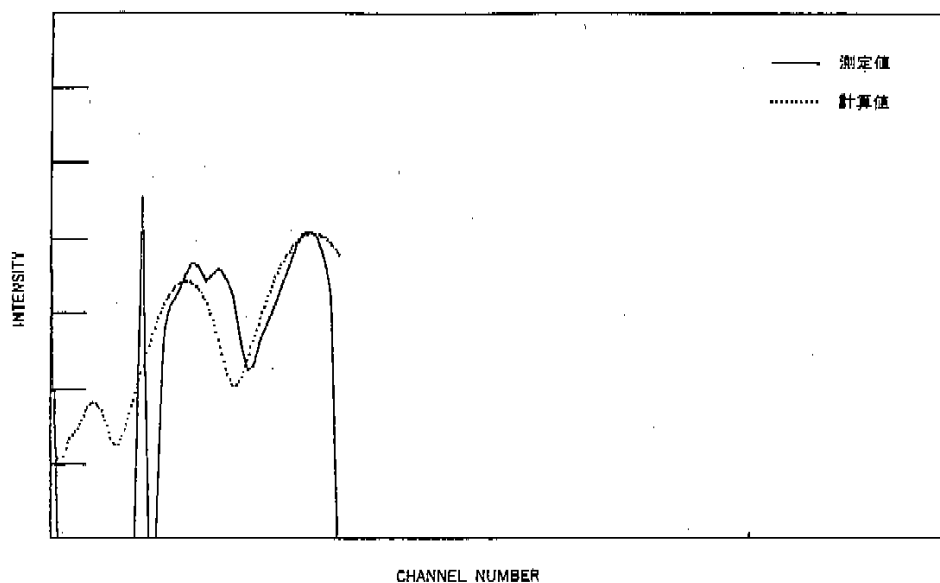


図1 ^{241}Am 照射時の測定波高分布と計算値の比較

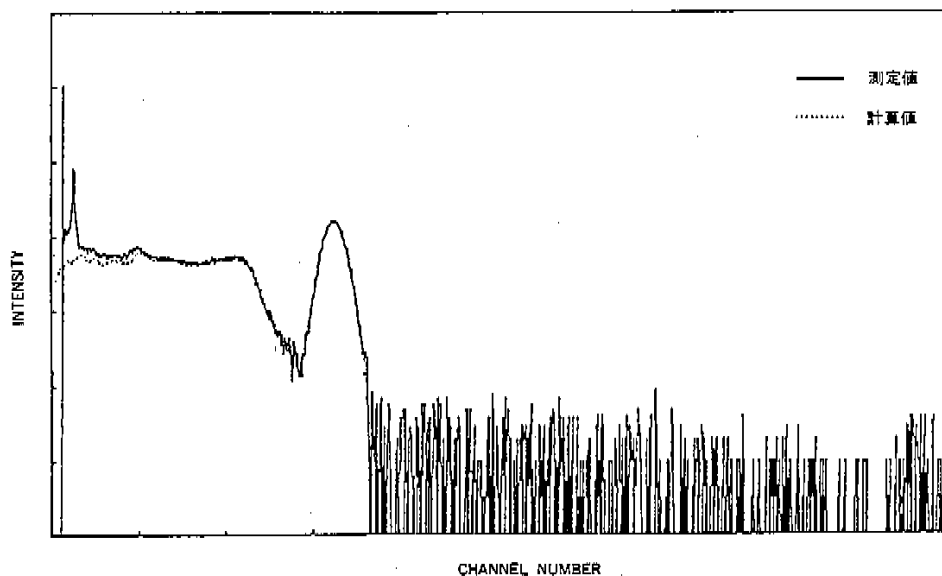


図2 ^{137}Cs 照射時の測定波高分布と計算値の比較

NaI(Tl) 検出器用レスポンス作成計算コード MARTHA³⁾を使用した。乱数による光子発生数(ヒストリー)は、統計の変動を少なくするために10,000を用いた。

得られたレスポンス関数の妥当性を評価するため、 ^{241}Am 、 ^{57}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Y の4種類の弱い線源を用い、散乱線を極力少なくするために約10m×10m程度の広い部屋のほぼ中央で、床より約1.5m高の所に検出器を固定し、その前面に糸を張り線源を吊して基準波高分布を求めた。一例として、 ^{241}Am および ^{137}Cs についてそれぞれの波高分布と MARTHA による計算結果を図1-2に示す。 ^{241}Am においては分解能が計算値の方で大きくなっており、完全には一致していないが、エネルギー分割を行えば、分解能の誤差は吸収され大きな問題はないと思われる。また、低エネルギー側で測定値の方が高くなっているのは26keVの γ 線の寄与、また鋭いピークはノイズ成分によるものと考えられる。 ^{137}Cs ではBaのKX線約30keVが観測されている。これらを考慮すれば計算値と測定値はよく一致しており、着目しているエネルギー範囲にわたって MARTHA によるレスポンス関数を用いることは妥当であると考えられる。

4. 測定例

4.1 校正室における測定例

校正室において ^{137}Cs 線源を用い、1mR/hで照射した場合の波高分布を図3に示す。これはマルチチャンネル波高分析器で得られた波高分布をエネルギーの幅で規格化し、100keVあたりの計数で表わしたものである。662keVの全吸収ピークと散乱線が加わったコンプトン成分がみられる。これを測定データとして逐次近似法でアンフォールディングした結果を図4に示す。この措置により明確となった1次線のピークと、200keV程度に散乱成分のブロードなピークがみられる。この図は、検出器に入射する γ 線をエネルギー幅で規格化したスペクトル(規格化スペクトル)であるが、線量計算のためにはそのエネルギー幅の中に実際に存在する γ 粒子数が必要となる。そのスペクトル(実スペクトル)を図5に示す。エネルギーを対数で表示しているため、規格化スペクトルでは低エネルギー成分が強調されているが、実際の γ 線の数はいくつか少ないことがわかる。さらに1cm線量当量に交換したスペクトルを図6に示す。線量単位で表示すれば、計数にエネルギーの重み加わり、相対的に低エネルギー成分の線量に対する寄与は小さくなることが明かである。1cm線量当量率($\mu\text{Sv/h}$)と照射線量率(mR/h)との比を計算してみると約10.4となり、変換係数より求め

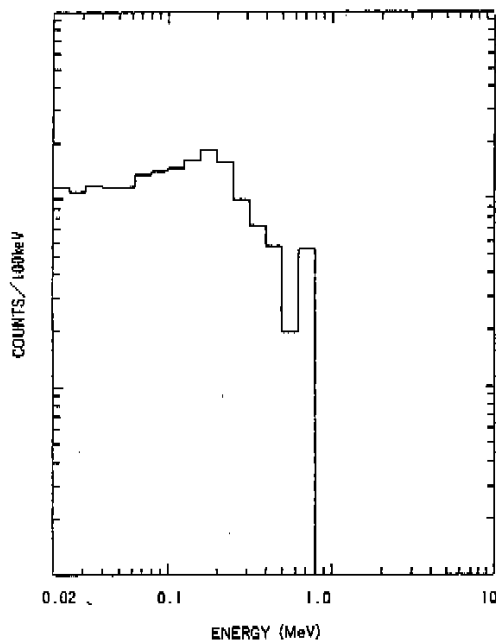


図3 ^{137}Cs 照射時の波高分布

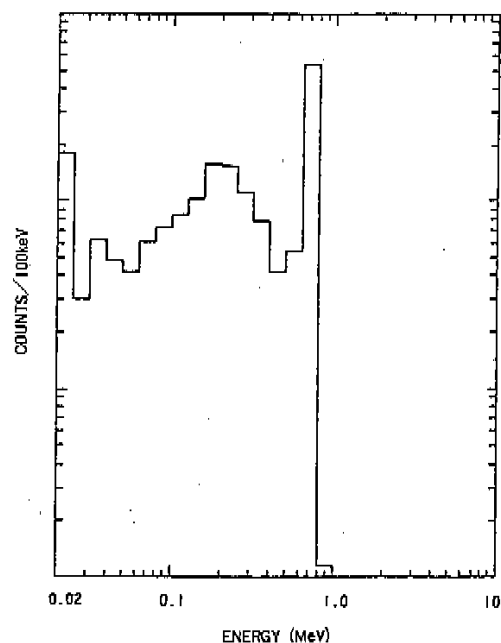
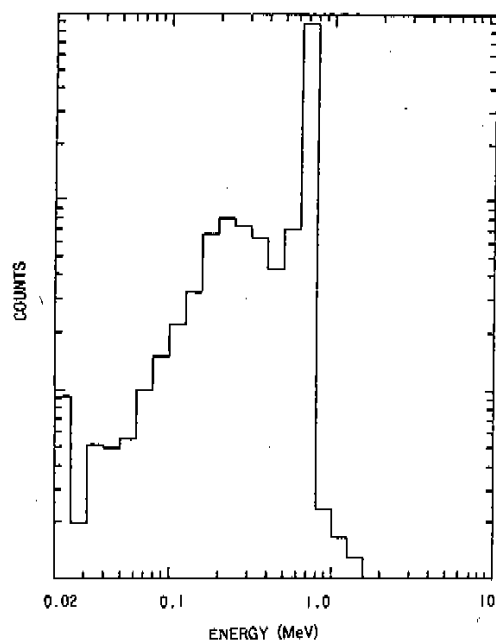
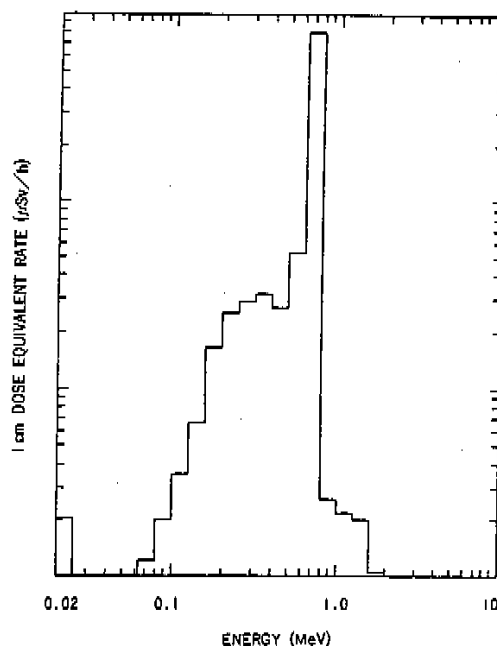


図4 ^{137}Cs 照射時の検出器入射 γ 線スペクトル

図5 ^{137}Cs 照射時の検出器入射γ線実スペクトル図6 ^{137}Cs 照射時の1 cm線量当量率スペクトル

られる662keV 付近の比10.3と比較しても大差なく、散乱線が多少共存しても照射線量や1 cm線量当量の校正に対しては問題ないことがわかった。

スペクトル測定による1 cm線量当量と電離箱サーベイメータ2種類（1 cm線量当量対応型：アロカ、照射線量対応型：応用技研）による測定結果を比較したところ、表1に示すように良い一致が得られた。

4.2 作業現場等における測定例

高速実験炉「常陽」の1次冷却系の近く（R-206）、コールドトラップ室（C/T）、およびメンテナンス建家（M/B）においてスペクトル測定および電離箱サーベイメータによる測定を行った。また、通常の室内においてもバックグラウンドの測定を行った。これらの測定結果を表2に示す。この表には1 cm

表1 校正室におけるスペクトル測定とサーベイメータによる測定の比較

基準 照射線量率 (mR/h)	スペクトル測定		電離箱	
	H 1 cm (μSv/h)	照射線量率 (mR/h)	H 1 cm (μSv/h)	電離箱 照射線量率 (mR/h)
0.5	5.10	0.489	4.96	0.48
1.0	10.1	0.969	11.5	0.95
5.0	50.9	4.89	50.8	4.8
10	101	9.74	115	10.0
20	201	19.2	211	20.0
50	466	44.9	508	48.0
100	863	83.5	1090	100

線量当量に加えて3 mm線量当量、70μm線量当量の結果も付記した。これにより、通常の作業エリア

表2 スペクトル測定と電離箱サーベイメータによる測定結果

測定場所	スペクトル測定				電離箱 H 1 cm (μSv/h)	電離箱 照射線量率 (mR/h)
	H 1 cm (μSv/h)	H 3 mm (μSv/h)	H 70μm (μSv/h)	照射線量率 (mR/h)		
C/T	234	235	234	22.3	250	26
R-206	294	296	294	27.8	320	29
M/B	4.08	4.10	4.10	0.395	2.1	0.4
BG	0.081	0.081	0.081	0.0077	-	-

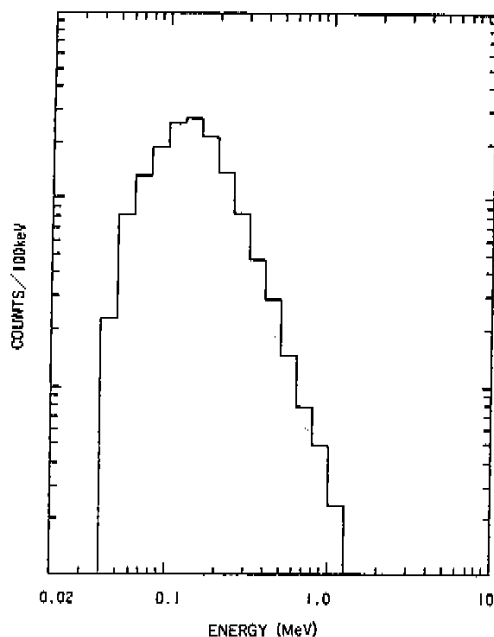


図7 R-206における波高分布

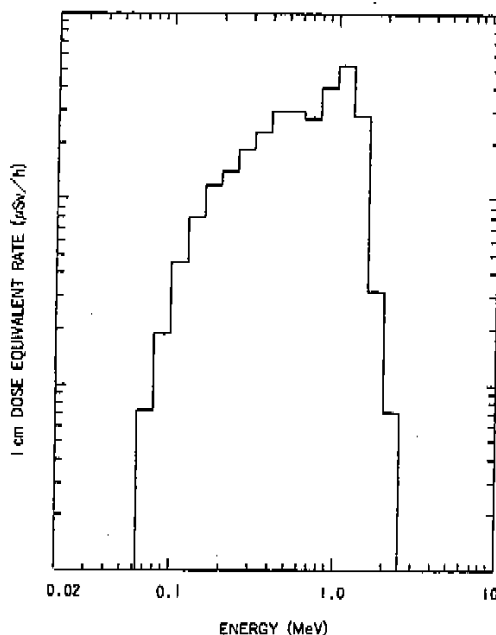


図8 R-206における1 cm線量当量率のスペクトル

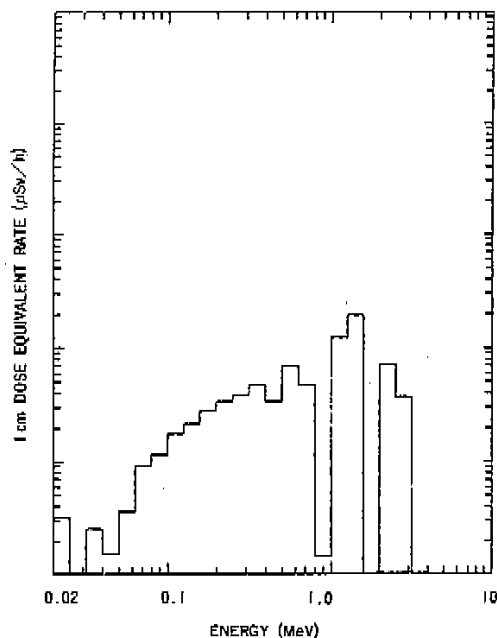
においては1 cm線量当量、3 mm線量当量、70 μ m線量当量がほぼ等しくなることが実験的に確認された。

また、作業現場のスペクトルの代表例としてR-206の結果を図7、8に示す。図7はマルチチャネル波高分析器で得られた規格化された波高分布であり、100~200keVあたりに散乱成分が非常に多く観測されている。図8の1 cm線量当量のスペクトルはさらに硬くなっており、1 cm線量当量(μ Sv)と照射線量(mR)との比は約10.6であった。照射線量と1 cm線量当量との関係より粗い近似であるが、実効エネルギーが約500keVであることを示している。また、バックグラウンドの測定により得られた環境 γ 線については図9に1 cm線量当量スペクトルを示す。これらのスペクトルは1.46MeVの ^{40}K のピークと2.6MeVの ^{208}Tl のピークが確認できた。さらに、1 cm線量当量(μ Sv)と照射線量(mR)との比から約500keVの実効エネルギーであることが確認できた。

次に、表2に示した電離箱サーベイメータの測定結果と比較すると、スペクトル測定の方がやや小さい傾向がみられるものの、ほぼ良い一致を示している。また、電離箱サーベイメータでは、バックグラウンドレベルの環境 γ 線は測定レンジを下回り、測定が不可能であった。

5. おわりに

1 cm線量当量測定用の γ 線スペクトロメータを開発し、スペクトル測定から平成元年4月施行の改正法令に示されている1 cm線量当量、3 mm線

図9 環境 γ 線の1 cm線量当量率スペクトル

量当量、70 μ m線量当量の測定が可能となった。また、通常の場所では1 cm線量当量、3 mm線量当量、70 μ m線量当量はほとんど一致することが確認できた。今回の現場での測定では、1 cm線量当量率(μ Sv/h)と照射線量率(mR/h)の比が11を超えるような場所は見あたらなかったので、従来のサーベイメータの測定値を実効線量当量率に読み変えても問題がないことが明かとなった。

参考文献

- 1) ICRP Publ.26 国際放射線防護委員会勧告(1977)、日本アイソトープ協会(1977)
- 2) 天道芳彦: γ 線スペクトルの解析法、Radioisotopes Vol. 12, No. 2, 200-206
- 3) Kimiaki Saito and Shigeru Moruchi: Monte Carlo calculation of accurate response function for a NaI(Tl) detector for gamma rays, Nucl. Instr. and Meth, No. 185, 199-308 (1981)