ノ ー ト

大面積 γ 線面線源の放射能測定における NaI(Tl) 検出器の計数効率の決定

吉田 真^{*1}, 石沢昌登^{*2}, 南賢太郎^{*1}

(1987 年 3 月 4 日受理)

Determination of Counting Efficiency of NaI(Tl) Detector for
Radioactivity Measurement of Large γ -Ray Plane Sources

Makoto YOSHIDA,^{*1} Masato ISHIZAWA^{*2} and Kentaro MINAMI^{*1}

KEY WORDS : plane source, NaI(Tl) detector, ion-exchange membrane, counting efficiency, $4\pi\gamma$ detector, calibration

I 緒 言

表面汚染検査計等の放射線管理用測定器の校正において、放射性核種を面上に均一に展開した線源（以下、面線源という）が従来より使用されている。しかし、近年校正により適した幾何学的条件を得るため、従来の小面積線源にかわり、さらに面積の大きい面線源が必要とされている¹⁾。また、他の模擬的線源としての利用等においても大面積線源の幅広い応用が可能と考えられる。著者らは、すでにイオン交換膜を使用した大面積線源の作製を検討してきており²⁾、その一環として、 γ 線放出核種 (^{60}Co , ^{137}Cs) を用いた面線源の作製を行った。

一方、こうした面線源を活用するためには、その使用目的に応じた精度で、放射能が定量されていることが必

要である。このため、今回作製した γ 線面線源の放射能測定を行う目的で、 γ 線測定場を設定し、その校正を行った。

γ 線測定場の校正においては、被測定面線源の広がりが無視できる程度の距離を γ 線検出器との間にとり、点状の標準線源と比較測定を行う方法が一般的に行われている。しかし、大面積線源の場合には距離を大きくとる必要があり、計数効率が低下するため点状標準線源との比較が困難である。

また、NaI(Tl) 検出器については、計算により平板線源に対する計数効率の値が与えられているが³⁾、精度よく計数効率を決定するためには実測により校正を行うことが望ましい。

本報告では、面線源と同一形状のイオン交換膜線源を仲介線源として利用し、 $4\pi\gamma$ 線検出器を用い、標準溶液線源と比較測定することにより γ 線測定場の校正を行った。

以下に、校正方法および結果を示すとともに点状線源による校正との比較について述べる。

II 測定方法

1. イオン交換膜線源の作製

イオン交換膜線源は、膜全体に均一に配置された官能

^{*1} 日本原子力研究所東海研究所保健物理部；茨城県那珂郡東海村 (〒319-11)

Department of Health Physics, Tokai Research Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute; Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan

^{*2} 財団法人放射線計測協会事業部計測課；茨城県那珂郡東海村 (〒319-11)

Division of Contracts, The Institution of Radiation Measurements; Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan

Fig. 1 Set-up for radioactivity calibration of membrane sources.

基に放射性核種が化学的に吸着されるため、放射能分布の均一性がきわめて良い。また、使用したイオン交換膜はポリエチレンを母材としているため、任意の形状に加工できる。さらに取り扱い時における放射性核種の損失は無視できる程度に小さいため、放射線管理用測定器の校正用線源のみならず、 γ 線測定場校正用の仲介線源としてもイオン交換膜線源はきわめて適している。

イオン交換膜線源の作製は以下のようにして行った。

塩酸酸性水溶液 (1N) で前処理したイオン交換膜 ($\sim 30 \times 20 \text{ cm}^2$) を 15 l の放射性核種水溶液 (^{60}Co , ^{137}Cs) 中に浸漬放置した。

次に、膜面に残留した放射性核種水溶液を十分に水洗いした後、デシケータ中で乾燥した。キャリア濃度、水素イオン濃度、溶液温度および浸漬時間は面線源の放射能分布、放射能強度に影響を与えるため、それぞれ、1 mmol, pH 6~7, 30°C , 50 時間に設定した。乾燥後のイオン交換膜を $15 \times 10 \text{ cm}^2$, $24 \times 16 \text{ cm}^2$ に切り取り、面線源を作製した。

作製した面線源の放射能分布については、密着によるオートラジオグラフの黒化度を濃度計 (アパーチャ $3 \text{ mm}\phi$) により測定した結果、分布のばらつきは標準偏差で 3 % 以内に納まった。

2. 面線源校正用測定条件

面線源に対する γ 線計数効率の決定に使用した試料台と γ 線検出器の構成を Fig. 1 に示す。 γ 線検出器とし

Fig. 2 Cross-sectional view of $4\pi\gamma$ NaI(Tl) detector used for the radioactivity measurement of ion exchange membrane sources.

ては $17.78 \text{ cm}\phi \times 7.62 \text{ cm}$ および $7.62 \text{ cm}\phi \times 7.62 \text{ cm}$ の二つの NaI(Tl) 検出器を用い、それぞれの検出器について計数効率を測定した。試料台はたわみのない厚さのアクリル板を用いて作製され、棚板の位置を变えることにより、面線源-検出器間の距離 (10, 20, 30 cm) を選択することが可能である。

NaI(Tl) 検出器からの信号は、主増幅器、ディスクリミネータを通した後、さらにデッドタイムセッタを通して計数した。また、ディスクリレベルは ^{241}Am から放出される γ 線 (59.5 keV) の全吸収ピークに合わせて設定され、これを越える信号をすべて計数した。

イオン交換膜線源の測定に際しては、特に検出器との距離の変化を小さく抑えるため、厚さ 2 mm のアクリル板の間に膜を密着してはさんだ状態で測定を行った。

3. 仲介用イオン交換膜線源の放射能測定

イオン交換膜線源は膜厚が薄く ($50 \mu\text{m}$)、柔軟性があるためミニバイアル中に塊状に押しつぶし、 $4\pi\gamma$ 線検出器を用いて、比較測定により放射能を決定することが可能である。

使用した $4\pi\gamma$ 線検出器の構造を Fig. 2 に示す。本検出器は $2.54 \text{ cm}\phi \times 7.62 \text{ cm}$ のウェルを有する 17.78

Table 1 γ -ray efficiencies measured for present set-up.

Detector size (cm)	Nuclide	Source size (cm)	Efficiency (cps/Bq)	Error* (%)
17.78 ϕ ×7.62	Co-60	15×10	0.143	0.5
17.78 ϕ ×7.62	Cs-137	15×10	0.0933	0.4
17.78 ϕ ×7.62	Cs-137	24×16	0.0813	0.4
7.62 ϕ ×7.62	Cs-137	24×16	0.0171	0.6

* This error does not include the uncertainty of standard solution.

Fig. 3 Relation between the efficiency of 4π NaI(Tl) detector and the height of standard solution in a mini-vial.

cm ϕ ×15.24cm の下部 NaI(Tl) 検出器と 17.78 cm ϕ ×7.62 cm の上部 NaI(Tl) 検出器により構成され、ウェル内の試料に対して 4π の幾何学的効率が確保されている。また、ウェル内における位置の変化を小さく抑えるため、試料を収めたミニバイアルをさらにアクリル製容器に入れてウェル内に固定した。

上下の検出器で検出された信号を主増幅器を通した後一体とし、2 で述べたと同様に設定したディスクリミネータ、デッドタイムセッタを通して計数した。検出部全体は厚さ 10cm の鉛製遮へい体に収納され、バックグラウンド計数率は 19.0 cps である。 $4\pi\gamma$ 線検出器の計数効率の決定には市販標準溶液線源 (^{60}Co , ^{137}Cs) を用い、ピクノメータ法⁴⁾に基づき秤量分取を行った。

III 測定結果および考察

$4\pi\gamma$ 線検出器を用いて比較測定を行う際には試料の容量と計数効率の関係を正確に把握する必要がある⁵⁾。このため、試料を入れるミニバイアル中に異なる量の標準線源を分取し、計数効率の変化を測定した。Fig. 3 に ^{60}Co および ^{137}Cs の二つの放射性核種を用いて測定した結果を示す。また、計算に基づき、試料の容量と計数効率の関係を評価するため、それぞれの γ 線エネルギー

に対応する全減弱係数⁶⁾を用い、NaI(Tl) の結晶形状に関し算出した相対的な計数効率を同じ図中に示す。計算においては、試料中での γ 線発生位置および放出方向を乱数により決定し、また、試料容器、検出器の窓等による吸収および散乱は無視した。

測定および計算結果は、 ^{137}Cs については高さ 10 mm, ^{60}Co については高さ 8 mm において、それぞれ規格化されている。

測定および計算により得られた計数効率の試料の容量に対する変化の傾向はよく一致しており、仲介線源の放射能の比較測定を行った範囲 (5~25 mm) においては、試料の容量にあまり依存しない。試料の容量が大きくなるにつれて計数効率がわずかに低下する傾向が見られるのは、上下の NaI(Tl) 結晶の間に約 11 mm の間隙が存在するためと考えられる。

以上の結果から、 $4\pi\gamma$ 線検出器を用いることにより仲介線源として用いたイオン交換膜線源の放射能をきわめて高い精度で比較測定することが可能である。

II の 2 で述べた測定条件のうち、検出器-試料台間の距離 10cm の場合について、仲介線源の測定に基づき決定した計数効率を Table 1 に示す。また、検出器の軸を中心とした相対的な計数効率の試料台上での分布を Fig. 4 に示す。測定においては、 ^{137}Cs の点状線源 (Amersham QCR. 11) を用い、17.78 cm ϕ ×7.62cm の NaI (Tl) 検出器については、検出器-試料台間の距離 10, 20, 30cm において、また、7.62 cm ϕ ×7.62 cm の NaI (Tl) 検出器については 10cm の距離で測定した。検出器-試料台間の距離が 10cm の場合においては、17.78 cm ϕ ×7.62 cm の比較的大きな NaI(Tl) 検出器を用いた場合でも検出器の軸を中心として径方向 10cm 離れた点で約 30% の効率の減少が見られる。

大面積の面線源の放射能測定において、点状の標準線源を用い多点校正を行う場合、こうした効率の変化がどのように影響するかを評価した。24×16 cm² の面積を 3n×2n に分割し、一辺 (8/n)cm の正方形の中央に点状線源を置くと仮定する。Fig. 4 に示した測定結果を、

Fig. 4 Efficiency variation of NaI(Tl) detectors on the sample stand. A-1, A-2 and A-3 correspond to the results of a $17.78\phi \times 7.62$ cm NaI(Tl) detector at sample-detector distances of 10, 20 and 30 cm respectively, and B-1 to the result of $7.62\phi \times 7.62$ cm one at the distance of 10 cm.

Fig. 5 Relation between relative efficiency and number of point source positions. Each measured efficiency is normalized to that measured with ion exchange membrane source.

最小 2 乗法多項式近似により関数化し、各位置における計数効率を与えることにより、点状線源を設定した位置の設定数と均一面線源に対する相対的な計数効率の関係を計算した (Fig. 5)。

一方、 $4\pi r$ 線検出器の校正に用いた標準溶液線源を厚さ 2 mm のアクリル板上に秤量滴下して作製した点状線源 (滴下面積、約 0.5cm^2) を用い、点状線源の設定数が 1, 6, 24 点の場合について計数効率を測定した。 $24 \times 16\text{cm}^2$ のイオン交換膜線源を用いて測定した計数効率により各測定値を規格化して Fig. 5 に示す。

イオン交換膜線源を用いて測定した計数効率と滴下線源を用いた 24 点校正による計数効率を比較すると、計数効率変化の大きい $7.62\text{cm}\phi \times 7.62\text{cm}$ NaI(Tl) 検出器の場合でも、両者は測定誤差内で一致している。

一方、 $7.62\text{cm}\phi \times 7.62\text{cm}$ NaI(Tl) 検出器についての計算結果においては、54 点以上において、均一面線源との計数効率の相違が 1 % 以下となった。

測定結果と計算結果が若干異なる理由は、検出器-試料台の平行性、計数効率の分布測定および関数化の精度によるものと考えられる。

IV 結 言

大面積の r 線面線源の放射能の定量に用いる r 線測定場について、計数効率の決定を行った。計数効率の決定に際し、使用したイオン交換膜線源はその特性により仲介線源としてきわめて適しており、また、その放射能は $4\pi r$ NaI(Tl) 検出器を用いて比較測定することにより精度良く決定されうることを示した。

一方、イオン交換膜線源を用いて決定した均一面線源に対する計数効率の測定結果に基づき、点状の標準線源を用いた多点校正による決定精度を評価した。その結果 $24 \times 16\text{cm}^2$ の大面積の r 線面線源に対して、 $7.62\text{cm}\phi \times 7.62\text{cm}$ NaI(Tl) 検出器を用い、10cm 離れた位置において測定した場合でも、数 10 点の測定を行うことにより比較的よい置き換え精度で計数効率を決定できることを示した。

本研究の遂行にあたりご助力いただきました放射線計測協会ならびに同協会放射線計測技術面線源委員会の各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) ISO/DIS 8769 (1986).
- 2) 村上市幸, 吉田 真, 備後一義, 須郷高信, 岡本
次郎; *Radioisotopes*, **34**, 497 (1985).
- 3) F. ADAMS and R. DAMS; "Applied Gamma-
Ray Spectrometry," p. 655 (1970), Pergamon
Press, Oxford.
- 4) J.S. MERRIT; *Nucl. Instrum. Methods*, **112**,
325 (1973).
- 5) D.L. HORROCKS; *Nucl. Instrum. Methods*, **125**,
105 (1975).
- 6) E. STORM and H.I. ISRAEL; LA-3753 (1967).