

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

2001. 7. 31

[技術情報室]

ダストモニタ校正用線源の標準化 に関する調査研究

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1995年3月

日本原子力研究所

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)

1995年3月

ダストモニタ校正用線源の標準化に関する調査研究

吉田 真*・大石 哲也*・高橋 幸嗣*・上沢 輝夫*
熊澤 蕃*・備後 一義**

動力炉・核燃料開発事業団は、核燃料サイクル施設を運転しており、これらの多様な施設の排気放射能をダストモニタにより測定している。このダストモニタによる測定において、ダストモニタの校正定数が校正に使用される β 線面線源にどのように依存するかを評価しておくことが重要である。

本報告書においては、現状で一般に使用されているGM計数管式およびプラスチックシンチレーション検出器式ダストモニタを対象として、ダストモニタの放射能測定器の校正に使用される β 線面線源の違いによる校正定数の変化の基礎的データを収集するとともに、ルーチン校正において使用すべき β 線面線源について検討を行った。

本報告書は、日本原子力研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：060 D 0240

事業団担当部課室および担当者：東海事業所 安全管理部 放射線管理第一課長 江花 稔

*：保健物理部 線量計測課

**：保健物理部

目 次

1. 緒 言	1
2. 校正用線源の選択の要件の調査	2
3. イオン交換膜等による線源の試作	4
3.1 使用線源の要件	4
3.2 使用線源の作製と構成	5
3.3 表面放出率の測定	8
4. ダストモニタの校正実験	8
4.1 使用機器および実験方法	8
4.1.1 使用機器	8
4.1.2 実験方法	8
4.2 測定結果	9
4.3 結果検討	10
4.3.1 原研シンチ測定結果	10
4.3.2 原研GM測定結果	14
4.3.3 動燃シンチ測定結果	14
5. まとめ	15
5.1 酸化ウラン面線源およびその他の線源	15
5.1.1 酸化ウラン面線源	15
5.1.2 フィルタ滴下線源	15
5.1.3 フィルタ模擬線源	15
5.2 陽極酸化アルミニウム線源等の市販線源の使用	16
謝 辞	16
参 考 文 献	16
[付録] ISO 8769(1988)の翻訳	54

1. 緒 言

本報告書は、動力炉・核燃料開発事業団より受託した調査研究「ダストモニタ校正用線源の標準化に関する調査研究」に関する成果を記載したものである。以下に契約の概要を示す。

1) 題 目

ダストモニタ校正用線源の標準化に関する調査研究

2) 調査目的

動燃事業団は、核燃料サイクル施設を運転しており、これらの多様な施設の排気放射能をダストモニタにより測定している。現状のダストモニタは、酸化ウラン面線源を用いて校正を実施しているが、校正精度を向上させるためには塵埃捕集ろ紙に、より近似した校正用線源を用いる必要がある。このため、線源の作製方法及び校正方法を調査・研究し、ろ紙状線源等による校正方法の確立を図る。

3) 調査範囲

- (1) ダストモニタ校正用線源の要件調査
- (2) イオン交換膜等による線源の試作
- (3) ダストモニタの校正実験

4) 調査内容

(1) ダストモニタに関する J I S 及び校正用線源に関する J I S、I S O の動向及び校正の現状を調査し、校正用線源として必要とされる要件を設定する。

(2) ろ紙上に R I 溶液を滴下して校正用線源を製作するとともに、イオン交換膜を用いた薄膜線源を応用してダストろ紙を模擬した校正用線源の試作を行う。

(3) 市販の R I 面線源及び作製した校正用線源を用いてダストモニタの校正実験を行い、従来の酸化ウラン面線源による校正方法と比較することにより校正方法を評価する。

(4) 成果の報告

上記(1)から(3)について得られた成果をまとめて報告する。

5) 契約期間

平成6年9月12日から平成7年3月10日まで

6) 実施場所

日本原子力研究所 保健物理部・線量計測課

放射性物質を取り扱う作業環境およびその施設周辺的环境における空気汚染のモニタリングの有効な手段の一つとして、ダストモニタによる測定が行われている。このダストモニタでは、通常、空気を塵埃捕集用ろ紙により濾過し、ろ紙に捕捉された放射性物質の放射能の測定に基づいて空気中の放射能濃度を評価する。このため、ダストモニタに組み込まれた放射能測定器により放射能を決定する際には、適切な校正用線源を用いることにより、その測定器を校正しておく必要がある。この際、ダストモニタの校正定数が校正に使用される β 線面線源にどのように依存するかを評価しておくことが重要である。

本報告書においては、現状で一般に使用されているGM計数管式およびプラスチックシンチレーション検出器式ダストモニタを対象として、ダストモニタの放射能測定器の校正に使用される β 線面線源の違いによる校正定数の変化の基礎的データを収集するとともに、ルーチン校正において使用すべき β 線面線源について検討を行った。以下にその結果について報告する。

2. 校正用線源の選択の要件の調査

ダストモニタにおいては、塵埃捕集用ろ紙(以下、フィルタと呼ぶ)に捕らえられた放射性物質の放射能をフィルタに対面するGM計数管、プラスチックシンチレーション検出器等により測定する。JIS Z 4316「放射性ダストモニタ」の「5.4.5検出装置の効率試験」において、フィルタ試料と同一形状の標準線源を用いることとし、 β 線用標準線源の参考として、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ 、 RaD+E(Alカバー) および天然ウラン(Alカバー)線源を挙げている。これらの標準線源の内、現在、天然ウラン(Alカバー)線源が最も多く使用されている。しかし、天然ウラン(Alカバー)線源からの β 線は最大エネルギーが高いため(約2.3MeV)、検出器の計数効率を高く見積もる結果となり、管理対象核種によっては放射能の過小評価になると考えられる。

ダストモニタの測定方式は、通常の放射線管理において実施されている放射性同位元素の表面密度測定の場合と極めて類似している。このため、表面汚染測定器の校正がどのように行われているかを調査することが重要である。ISOは、1988年に、表面汚染計の校正用線源の規定としてISO 8769(1988)「表面汚染計の校正のための基準線源 - β 放射体と α 放射体(Referencesources for calibration of surface contamination monitors - Beta-emitters and alpha-emitters)」、表面汚染計の校正法の規定としてISO 7503-1(1988)「表面汚染の評価法 - パート1 : β 放射体と α 放射体(Evaluation of surface

contamination-Part I Beta-emitters and alpha-emitters)の二つを規定した。これらの規格をうけて、国内では、1992年にJIS Z 4334「放射性表面汚染計校正用線源」およびJIS Z 4504「放射性表面汚染の測定方法」が定められている。

これらの規格における校正の基本的考え方は、機器効率と線源効率の二種類の効率の導入である。

表面汚染測定においてダストモニタの測定に最も近い測定は、直接測定法による表面汚染密度の評価である。この場合、表面汚染密度 A_s (Bq/cm²)は $A_s = \frac{N}{W \cdot \epsilon_i \cdot \epsilon_s}$ で表

される。

ここで、 N は、検出器で得られる計数率、 ϵ_i は、機器効率、 ϵ_s は、線源効率、 W は評価面積を示す。機器効率とは、使用される測定系固有の効率であり、検出器と試料の幾何学的条件、検出器-試料間の空気層及び検出器の入射窓による β 線の減弱等により決まる。一方、線源効率は、試料中の全放射能に対する検出器側の 2π ステラジアンに放出される β 線の放出率の比で与えられる。このため、両効率は、対象とする β 線のエネルギーに強く依存する。

ダストモニタの放射能 A の決定では、 $A = A_s \cdot W$ と置き換えれば、 $A = \frac{N}{\epsilon_i \cdot \epsilon_s}$

と書き換えられる。すなわち、現実に行われている天然ウラン(A1カバー)線源を用いたダストモニタの校正においては、 ϵ_i を測定により決定し、 ϵ_s を0.5として放射能を評価していることとなる。しかし、表面汚染計の校正に関する上記の規格においては、測定器の機器効率の校正に、測定対象核種に対応する基準線源を用いることの必要性がより明確にされており、ダストモニタについても同様な校正が要求されるものと考えられる。

表面汚染計とダストモニタの測定における重要な違いは、前者においては対象となる試料のほとんどが β 線の後方散乱に対して飽和厚さを有しているのに対して、後者では、フィルタの厚さが β 線の飛程に比べて薄いため飽和厚さに達していない点である。したがって、測定系が異なり、フィルタの支持方法が変化すると後方散乱の寄与が異なり効率が変化する恐れがある。このため、ダストモニタの校正においては、校正用線源の選択と関連して、この後方散乱の影響の程度を評価する必要がある。

表面汚染計による測定において定義されている線源効率は、ダストモニタによる測定においては、フィルタに集められた放射能からの β 線の自己吸収および散乱により決まる効率に対応する。このため、フィルタ内部での放射能分布の実態に適した値を与えることが必要となる。

なお、ダストモニタの校正用線源の選択の参考として、最も関連の深いISO 8769(1988)

を翻訳して付録に示した。

3. イオン交換膜等による線源の試作

本調査で使用した線源の種類と、放射能(全 β 線)の算出および表面放出率測定の有無を表3-1に示す。

3.1 使用線源の要件

前述のごとく、JIS Z 4316「放射性ダストモニタ」では、ダストモニタ校正用線源の要件について詳しく述べられていない。そこで、線源作製および購入に当たっては、JIS Z 4334「放射性表面汚染計校正用線源」を参考にした。このJISにおいてバックング材の厚さは、 β 線の後方散乱に対して飽和厚さ以上に規定されている。これは表面汚染測定の場合、被測定物の厚さが後方散乱の飽和厚さより厚いためである。しかしダストモニタの場合、被測定物であるフィルタの厚さが12~15 mg/cm²と薄いため、後方散乱の飽和厚さに達しない場合が多い。このため、今回の使用線源のバックング材の厚さを一概に定めることはできない。この点が表面汚染計校正用線源とダストモニタ校正用線源の大きな相違点である。その他、今回考慮した線源要件について以下に述べる。

(a) 深さ方向分布

通常のダストモニタ測定時において、フィルタに捕集された放射性物質の深さ分布が判らないため、線源表面付近に放射性核種が分布している線源を主として用いることにした。

(b) 線源面積

JIS Z 4316「放射性ダストモニタ」では、吸引有効径を45 mmまたは50 mmと規定しており、このため従来から校正用線源として、同直径の線源面積を有する酸化ウラン面線源(日本アイソトープ協会供給天然ウラン線源)が使用されている。この線源面積の違いは、検出効率に影響を与えることが考えられるため、この影響の評価を目的として線源面積の違う2種類の滴下線源を作製することにした。

(c) 放射性核種

JIS Z 4334「放射性表面汚染計校正用線源」では、校正用線源の放射性核種として¹⁴C、¹⁴⁷Pm、⁶⁰Co、¹³⁷Cs、²⁰⁴Tl、³⁶Cl、⁹⁰Sr+⁹⁰Y、¹⁰⁶Ru+¹⁰⁶Rh、²⁴¹Am、天然ウランが挙げられている。今回使用した線源は、これら放射性核種の中から選択した。

(d) 放射能強度

放射能強度は、分解時間の長いGM計数管を検出器とするダストモニタにおいても、デッドタイム補正を10%以下に抑えられる程度の強度にした。

3.2 使用線源の作製と構成

実験に使用した線源は、(a)従来からダストモニタの校正に使用されている「酸化ウラン面線源」と、(b)市販されている表面汚染計校正用密封面線源の「陽極酸化アルミニウム線源」と、(c)溶液線源をフィルタに滴下することで放射性ダストのフィルタ表面への付着を近似させ、さらにステンレス鋼板やアルミニウム板に滴下することで後方散乱に対して飽和厚さの線源となる「滴下線源」と、(d)薄いイオン交換膜線源を利用した「フィルタ模擬線源」の4種類を用意した。これらは何れも上述の使用線源の要件を満たしている。陽極酸化アルミニウム線源と滴下線源の放射性核種は、 β 線のエネルギーの違いによる特性の変化を評価するため ^{147}Pm 、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{204}Tl 、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ の5核種とした。また、フィルタ模擬線源の放射性核種については、 ^{137}Cs を選択した。これは動力炉・核燃料開発事業団の管理対象核種として ^{137}Cs は重要度が高く、さらに放射能をGe半導体検出器よる γ 線の比較測定で容易に決定できるためである。以下に各線源の構成について述べる。

(a)酸化ウラン面線源

日本アイソトープ協会で作製された線源である。酸化ウラン面線源の構成図を図3-1(a)に示す。ステンレス鋼製のバック材に、天然酸化ウランが塗布焼結されている。線源面積が直径45 mm、50 mmの2種類の線源を用意した。

(b)陽極酸化アルミニウム線源

アルミニウム薄板表面の陽極酸化された層に放射性物質が含有されている線源である。陽極酸化アルミニウム線源の構成図と写真を図3-1(b)、写真8に示す。放射能含有層およびアルミニウム薄板の厚さは、それぞれ約6 μm 、0.3 mmである。この薄板は、アルミニウム板またはステンレス鋼板上に支持されている。線源面積が直径50 mmのものを用意した。

(c)滴下線源

ピクノメータで標準溶液線源を数回希釈し、フィルタ、ステンレス鋼板とアルミニウム板上に滴下および乾燥させて作製した線源である。滴下線源の構成図を図3-1(c)に示す。HE40Tは一般に使用されているフィルタ、またHE40TAは、日本原子力研究所仕様のもので現在実地試験されているフィルタである。各フィルタの厚さは、測定の結果それぞれ14.0 mg/cm^2 、12.7 mg/cm^2 であった。ステンレス鋼板とアルミニウム板の厚さは、後方散乱に対して飽和厚さにするため2 mmとした。フィルタに滴下する作業を写真1に、滴下作業を終了した直後のフィルタを写真2に、 ^{147}Pm の標準溶液線源を用いて作製した滴下線源の

全体写真を写真3に示す。線源表面の丸印は、滴下箇所を示すための印である。線源面積は、直径45 mm、50 mmの2種類とした。以下に滴下線源を作製するに当たって特に考慮した点について述べる。

深さ方向分布

バックリング材がステンレス鋼板やアルミニウム板の場合は、素材が金属であるため液滴がバックリング材内部に浸透することはない。しかしバックリング材がフィルタの場合は、素材がガラスおよびセルロースの繊維から成るため、液滴が裏面まで浸透する恐れがある。もし裏面まで浸透したならば、このフィルタ線源は、深さ方向分布についての使用線源の要件を満たさず、またこれを実験に使用した場合、ダストモニタが汚染される。

このため、事前実験として各フィルタへの滴下試験を水性インクを用いて試みた。この結果、HE40TAフィルタにおいては液滴が表面で乾燥するが、HE40Tフィルタにおいては裏面まで浸透することが確認された。そこで、HE40Tフィルタに「はっ水剤」を塗布し、同様な滴下試験を行ったところ、液滴の内部への浸透は無くなった。以上の事前実験から今回作製したHE40Tフィルタの滴下線源には、全てこのはっ水処理を施した。

標準溶液線源の希釈と滴下

ピクノメータを用いて標準溶液線源の希釈および滴下を行った。以下に希釈手順を示す。

- ・空ピクノメータAの①重量を測定する。
- ・空ピクノメータAに純水を入れる。
- ・溶液線源(採取線源)が入っているピクノメータBの②重量を測定する。
- ・ピクノメータA内に溶液線源を滴下する。
- ・ピクノメータBの③重量を測定する。
- ・ピクノメータAの④重量を測定する。

希釈後の線源の放射能濃度の算出は、次のように行った。溶液線源からの⑤採取重量は、 $(② - ③)$ となる。また、⑥希釈後の線源の重量は、 $(④ - ①)$ となる。よって⑦希釈率は⑤/⑥である。したがって採取線源の放射能濃度を⑧とすると、 $⑦ \times ⑧$ で希釈後の放射能濃度が得られることになる。

以下に滴下手順を示す。

- ・希釈された線源が入っているピクノメータの⑨重量を測定する。
- ・バックリング材の指定位置に線源を滴下する。
- ・滴下後のピクノメータの⑩重量を測定する。

滴下線源の放射能の算出は、次のように行った。⑪滴下重量は、 $(⑨ - ⑩)$ で求まる。このピクノメータの放射能濃度を⑫とすると、滴下線源の放射能は⑪ \times ⑫で得られることになる。

各重量測定においては、10 μ gを最小目盛りとする電子天秤(Mettler Instrumente AG社製 AE163)を使用した。このような重量管理による標準溶液線源の希釈分取は、精度の

高いものとなる。線源の希釈および滴下線源の放射能を表 3-2 ~ 3-6 に示す。希釈における重量計量誤差は十分小さいため、滴下線源の放射能の不確かさは、標準溶液線源の放射能の誤差によって決まる。その不確かさは、0.6%程度と見積もられる。

(d) フィルタ模擬線源

^{137}Cs のイオン交換膜線源をマイラ膜に接着したものであり、構成図と写真を図 3-1 (d)、写真 7 に示す。イオン交換膜線源、粘着材およびマイラ膜の厚さは、それぞれ 2.9 mg/cm^2 、 3.2 mg/cm^2 、 6.8 mg/cm^2 であり、合わせるとフィルタとほぼ同じ厚さ 12.9 mg/cm^2 になる。イオン交換膜線源は以下の手順で作製した。

- ・約 2.5 リットルの純水を入れたプラスチック製容器にキャリアを溶解する。
- ・ ^{137}Cs の線源をプラスチック製容器に入れる。
- ・イオン交換膜をプラスチック製容器内の ^{137}Cs 線源溶液に浸漬する。
- ・約 30°C に調製されたウォーターバス内で約 3 日間放置し、 ^{137}Cs をイオン交換膜に吸着させる。
- ・ ^{137}Cs を吸着したイオン交換膜線源を、プラスチック製容器から取り出し、洗浄および乾燥後、必要な形状に切断する。

詳細については文献¹⁾を参照されたい。

作製したイオン交換膜線源の放射能を評価するため、以下の手順でウエル型 Ge 検出器の校正を行った。

- ・標準溶液線源(^{137}Cs)を適当な強度に希釈する。
- ・希釈した溶液線源を直径 10 mm に切ったろ紙に滴下し、校正用線源を作製する。
- ・希釈率と滴下重量より滴下放射能を算出する。
- ・校正用線源を用いてウエル型 Ge 検出器の検出効率をグロスカウントで評価する。

次に、イオン交換膜線源の値付けの手順を以下に示す。

- ・ ^{137}Cs が吸着している一枚のイオン交換膜線源をフィルタ模擬線源用と放射能評価用(直径 10 mm)に切断する。
- ・切断したフィルタ模擬線源用と放射能評価用のイオン交換膜線源の重量をそれぞれ測定し重量比を算出する。
- ・放射能評価用のイオン交換膜線源の放射能を校正されたウエル型 Ge 検出器で評価する。
- ・重量比と放射能評価用のイオン交換膜線源の放射能から、フィルタ模擬線源用のイオン交換膜線源の放射能を算出する。

イオン交換膜線源の表面方向および厚さ方向の均一性はきわめて良いため、上記のような重量比による放射能の決定が可能である。このようにして得られたフィルタ模擬線源の放射能の不確かさを評価したところ、標準偏差であらわして 2% 以下であった。

3.3 表面放出率の測定

導電性を有するバック材を使用した、酸化ウラン面線源、陽極酸化アルミニウム線源とステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源について表面放出率の測定を行った。測定法は、JIS Z 4334「放射性表面汚染計校正用線源」に準拠した。

(a)表面放出率の測定系

表面放出率の測定系の構成を図3-2に示す。検出器は、窓無し多心線型 2π 比例計数管を用いた。内寸は、 140×200 mmであり6本の陽極心線が張られている。プレアンプは、エミッタホロワ型であり、計数管と一体化されている。真空ポンプによるフラッシングにより計数ガス(メタンガス)の置換を行い、計数ガスを流しながら測定を行った。測定で得られたスペクトルの外挿から、ディスクリ以下の計数補正を行った。陽極酸化アルミニウム線源(^{147}Pm 直径50 mm)を用いて、プラトー特性を評価したところ、勾配が0.98%/100 Vと良い結果であった。

(b)測定結果

本測定系で得られた、表面放出率を表3-7に示す。酸化ウラン面線源(UC-102SP45)の成績書の値と本測定値との差は、誤差内で一致した。

4. ダストモニタの校正実験

4.1 使用機器および実験方法

4.1.1 使用機器

一般に、ダストモニタに用いる検出器としては、プラスチックシンチレーション検出器、GM計数管が使用されている。動力炉・核燃料開発事業団および日本原子力研究所においても両検出器を使用しているが、検出部、信号処理等検出系が異なる。しかし、校正上の特性評価の点に関しては同等であると考えられるため、実験に用いる機器は、そのセットアップの利便性を考慮して日本原子力研究所の機器を用いた。動力炉・核燃料開発事業団の機器としては、TOSHIBA製RD372プラスチックシンチレーション検出器およびRZ329プレアンプを用いた。

4.1.2 実験方法

(a)実験方法

測定系の構成を、図4-1(a)、(b)に示す。ただし、図におけるパルスジェネレータはディスクリミネータの設定時にのみ使用し、実験時には取り外される。測定精度をあげる

ためレートメータ出力を用いず、検出器が検出する信号の数え落としをデットタイムセッタによって補正し、スケーラで計数した。各検出器に対する測定条件および実験方法を以下に示す。

① ALOKA製PD-201プラスチックシンチレーション検出器(日本原子力研究所所有)

PD-201検出器は、厚さ0.5 mm、有効面積直径50 mmのプラスチックシンチレータを有し、厚さ約1 mg/cm²の遮光膜2枚で遮光されている。測定条件としては、印加電圧900 V、酸化ウラン面線源に対する計数効率が30%以上、バックグランドが60 cpm以下となるようにディスクリレベルを決定した。酸化ウラン面線源のパルス波高分布と設定したディスクリレベルを図4-2(a)に示す。

② ALOKA製GM-H-5001VGM計数管(日本原子力研究所所有)

GM-H-5001VGM計数管は、窓厚2.0~3.5 mg/cm²、有効面積直径50 mmである。測定条件は、印加電圧700 V、ディスクリレベル125 mVである。このとき、酸化ウラン面線源に対する計数効率は30%以上、バックグランドは60 cpm以下である。

③ TOSHIBA製RD372プラスチックシンチレーション検出器(動力炉・核燃料開発事業団所有)

RD372検出器は、厚さ0.1 mm、有効面積直径40 mmのプラスチックシンチレータを有し、厚さ約1 mg/cm²の遮光膜1枚で遮光されている。測定条件としては、印加電圧1350 V、酸化ウラン面線源に対する計数効率が30%以上、バックグランドが100 cpm以下となるようにディスクリレベルを決定した。酸化ウラン面線源のパルス波高分布と設定したディスクリレベルを図4-2(b)に示す。

以上、ALOKA製DSH-251サンプラヘッドを用い、写真5に示すホルダに各種線源を固定(写真4参照)して測定を行った。検出器表面からフィルタホルダ表面までの距離は5 mmとした。

(b)使用線源

ALOKA製PD-201プラスチックシンチレーション検出器およびGM-H-5001VGM計数管に関しては、前章において述べた酸化ウラン面線源(放射能面積直径50 mm)、HE40Tフィルタ滴下線源、HE40TAフィルタ滴下線源、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源(RI溶液滴下領域は直径50 mm)、陽極酸化アルミニウム線源、フィルタ模擬線源を使用した。

TOSHIBA製RD372プラスチックシンチレーション検出器に関しては、酸化ウラン面線源(放射能面積直径45 mm)、HE40TフィルタおよびHE40TAフィルタ滴下線源(RI溶液滴下領域は直径45 mm)を使用した。

酸化ウラン面線源は、厚さ27 mg/cm²のAl吸収板を表面に密着させて使用した。

4.2 測定結果

本報告書で用いた核種¹⁴⁷Pm、⁶⁰Co、¹³⁷Cs、²⁰⁴Tl、⁹⁰Sr+⁹⁰Yそれぞれのβ線平均エネ

ルギーは、文献より引用した値^{2)・3)}であり表4-1に示す。サンブラヘッドにホルダのみを装着し、各検出器によって測定したバックグラウンドを表4-2に示す。プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)の測定結果を表4-3～4-13および図4-3～4-10に示す。また、GM計数管(ALOKA GM-H-5001V)の測定結果を表4-14～4-21および図4-11に示す。また、プラスチックシンチレーション検出器(TOSHIBA RD372)の測定結果を表4-22～4-23および図4-12に示す。

以下に示す二通りの方法によって、計数効率を導出した。

①表面放出率に関する計数効率

2π ステラジアンに放出される β 線を測定して表面放出率を求め、この値を2倍して 4π ステラジアンに放出される β 線の放出率とする。この値で、検出器で測定された計数率を除して計数効率を求める(以下、対放出率として区別する)。

②放射能(全 β 線)に関する計数効率

各線源の放射能に補正係数(^{137}Cs に対しては1.0967、 ^{204}Tl に対しては0.9743)²⁾を掛けた放射能(全 β 線)で、検出器で測定された計数率を除して計数効率を求める(以下、対放射能として区別する)。放射能(全 β 線)に対する計数効率を求める際には、 ^{137}Cs の計数率に対して内部転換電子10%⁴⁾の補正を行っている。

線源の減衰補正については、表面放出率に対しては表面放出率測定日から、放射能(全 β 線)に対しては線源検定日からの減衰を半減期に基づいて計算により補正した。計数率に対する補正としては、バックグラウンド補正、デットタイム補正を行っている。

また、計数誤差は、以下の通りに求めた。

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{1-n\tau}\right)^4 \frac{N}{T^2} + \frac{N_{BG}}{T_{BG}^2}}$$

σ	: 計数誤差	(counts)
N	: 線源の計数	(counts)
n	: 線源の計数率	(cps)
τ	: 不感時間	(sec)
T	: 測定時間	(sec)
N_{BG}	: バックグラウンド計数	(counts)
T_{BG}	: バックグラウンド測定時間	(sec)

以下簡略のため、本測定に使用したALOKA製PD-201プラスチックシンチレーション検出器、ALOKA製GM-H-5001V GM計数管をそれぞれ「原研シンチ」、「原研GM」と呼ぶ。また、TOSHIBA製RD372プラスチックシンチレーション検出器を「動燃シンチ」と呼ぶ。

4.3 結果検討

4.3.1 原研シンチ測定結果

(a)フィルタ滴下線源のバックキング材料

フィルタ滴下線源は、フィルタ表面にR Iが付着した状態を比較的良く近似した、定量性のある作製可能な線源である。HE40Tフィルタ滴下線源に対する計数効率(対放射能)とHE40TAフィルタ滴下線源に対する計数効率(対放射能)とを、滴下領域直径45 mm、50 mmそれぞれについて比較した結果を表4-4に示す。フィルタ滴下線源は各作製条件ごとに2つつ作製しており、表においては、組み合わせた4通りの計数効率比の平均値を示している。HE40TAフィルタの厚さの実測値はHE40Tフィルタよりも小さいが、計数効率比から判断して本調査における測定に関しては、両フィルタを同様に扱うことができると考えられる。しかし、前章の線源の作製で述べたように、HE40TAフィルタはHE40Tフィルタよりもはっ水性が良好であり、はっ水剤を用いなくともR I溶液を直接滴下することができ、はっ水剤の使用にともなう不確かさが小さい。このため、以下ではHE40TAフィルタ(原研仕様)を使用したフィルタ滴下線源の測定結果について検討を行った。

(b) フィルタ滴下線源と酸化ウラン面線源

フィルタ滴下線源(対放射能)、酸化ウラン面線源(対放出率)に対する計数効率測定結果を図4-3に示す。ただし、酸化ウラン面線源に関しては、エネルギーを考えずに効率のみを描画した。前述のように、酸化ウラン面線源によってダストモニタを校正すると、図に示すように管理対象核種によっては検出器の計数効率を大きく見積もり、フィルタに捕集した放射性ダストの放射能を過小評価する結果となる。一方、フィルタ滴下線源は、測定対象核種が放出する β 線のエネルギーに応じた核種を使用して作製することができる。また、滴下するR I溶液の重量を定量的に管理することにより、フィルタ滴下線源の放射能を決定できる。フィルタ滴下線源は、表面から放射能が遊離しやすく汚染の可能性が高いため校正業務には適さないが、実験用としては有効な校正用線源の一つである。

(c) 試料支持板による後方散乱の影響

フィルタ滴下線源のように、バックング材の厚さが後方散乱の飽和厚さに達していない線源を校正に使用する場合、写真5に示すフィルタホルダや試料支持板等機器の材質および形状による後方散乱の影響が考えられる。特に線源に密着する試料支持板が、機器効率へ影響を及ぼす可能性がある。支持板の材質および形状の違いを、写真6に示すダストモニタ専用支持板(ステンレス鋼製メッシュ)、ステンレス鋼板、アルミニウム板、支持板無しで表し、それぞれの支持板を用いた場合のフィルタ滴下線源に対する計数効率(対放射能)を表4-5に示す。また、試料支持板としてダストモニタ専用支持板を用いた場合とステンレス鋼板、アルミニウム板、支持板無しを用いた場合との計数効率を比較した結果を図4-4に示す。後方散乱の影響が正方向に最大となるのは、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ に対してステンレス鋼板を使用した場合で12%、負方向に最大となるのは、試料支持板が無い場合で7%である。しかし、実際のサンプラヘッドに使用する試料支持板は、ステンレス鋼製メッシュが一般的であり、メッシュの大きさや材質が機器によって大きく変わることはない。したがって、日常的な校正業務を行う際、使用する機器の構造および材質による後方散乱の影

響はほとんど問題にならないと考えられる。

(d)校正を行う際の計数効率の導出

フィルタ滴下線源に対する計数効率(対放射能)と、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源に対する計数効率(対放射能)との比較を図4-5に示す。前述のごとく、試料支持板等による後方散乱が、フィルタ滴下線源に対する計数効率におよぼす影響は小さい。このため、この線源によってダストモニタを校正すると、ダストモニタに捕集された放射性ダストの放射能を良い近似で求めることができると考えられる。一方、線源のバックング材料を変えると、フィルタ滴下線源に対してステンレス鋼板滴下線源で+19~28%、アルミニウム板滴下線源で+5~13%程度後方散乱により効率が增加する。次に、フィルタ滴下線源に対する計数効率(対放射能)と、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源に対する計数効率(対放出率)との比較を図4-6に示す。また、HE40TA滴下線源に対する計数効率(対放射能)、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源、陽極酸化アルミニウム線源それぞれに対する計数効率(対放出率)を図4-8に示す。図4-8から明らかなように、フィルタ滴下線源に対する計数効率(対放射能)は、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源に対する計数効率(対放出率)と比較して、 ^{147}Pm ステンレス鋼板滴下線源を除く全 β 線エネルギー範囲において高い値を示す。この理由は、フィルタ滴下線源のように全 β 線に関して計数効率(対放射能)を求める場合には、フィルタ自体および試料支持板による後方散乱 β 線成分の寄与が加わり、全 β 線の0.5倍よりも多くの β 線が検出器側に放出されるためである。このため、図4-6に示されるように、フィルタ滴下線源に対する計数効率(対放射能)と比較して、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源に対する計数効率(対放出率)の比は小さくなる。また、エネルギーが高くなると後方散乱により放出される放射線が増加するため、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源に対する計数効率(対放出率)は、図4-6において右下がりの傾向を示す。 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ では、フィルタ滴下線源に対してステンレス鋼板で負方向に最大14%、アルミニウム板で負方向に最大19%程度の後方散乱の影響が生じている。したがって、ダストモニタの校正を行う際、線源のバックング材料が放射線透過性の場合には放射能に関して計数効率を求め、後方散乱が飽和したバックング材料を使用する場合は表面放出率に関して計数効率を求める必要があると考えられる。

(e)ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源

図4-6に示すように、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源を使用し、計数効率(対放出率)を求めてダストモニタを校正すると、全体的に管理対象核種によっては検出器の計数効率を小さく見積もり、放射能を過大評価する傾向が生じると考えられる。しかし、放射能の過大評価は管理上安全側である。また、フィルタ滴下線源に対する計数効率との比較では最大でも負方向に約20%程度の差であり(アルミニウム板滴下線源、 $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ の場合)、酸化ウラン面線源とフィルタ滴下線源との比較を考慮すると、ステン

レス鋼板およびアルミニウム板滴下線源は、表面放出率を基準とする限り校正線源として用いることが可能であると考えられる。ただし、フィルタ滴下線源同様、線源の表面から放射能が遊離しやすく汚染の可能性が高いため校正業務には適さない。

(f)陽極酸化アルミニウム線源

本実験で使用した陽極酸化アルミニウム線源は、自己吸収の違いを除けば、その構成からステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源に同等の線源であると考えられる。陽極酸化アルミニウム線源に対する計数効率(対放出率)と、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源に対する計数効率(対放出率)との比較を図4-7に示す。陽極酸化アルミニウム線源に対する計数効率は、ステンレス鋼板滴下線源と比較して最大8%(^{147}Pm の場合)、アルミニウム滴下線源との比較では最大14%(^{60}Co の場合)の計数効率の差異が存在するが、図4-8に示すようにエネルギーに対する計数効率特性は、陽極酸化アルミニウム線源、ステンレス鋼板およびアルミニウム板滴下線源とも同様であると考えられる。陽極酸化アルミニウム線源もまた、校正線源として用いると校正された検出器は放射能を過大評価する傾向があり、特に ^{204}Tl よりも高いエネルギーではその傾向が顕著である。しかし、 ^{137}Cs 以下のエネルギーに対しては、フィルタ滴下線源に対する計数効率とよく一致している。したがって、陽極酸化アルミニウム線源を日常的な校正業務に用いることは可能であると考えられる。

また、JISではダストモニタの校正用線源として天然ウラン(AIカバー)線源以外に($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$)線源もあげている。($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$)陽極酸化アルミニウム線源より放出される ^{90}Sr の β 線を吸収するために、 27 mg/cm^2 のAl板1、2枚を吸収板として、この線源の表面に密着させ測定した計数効率および酸化ウラン面線源に対する計数効率を表4-11に示す。この表中の β 線平均エネルギーは、プラスチックシンチレーション検出器(OKENE 812 TYPE A, B)により実測した値である。Al吸収板を密着させた($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$)陽極酸化アルミニウム線源に対する計数効率(対放出率)と酸化ウラン面線源に対する計数効率(対放出率)とを比較すると、 $\pm 3\%$ 程度で一致する。したがって、Al吸収板を使用することにより、($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$)線源を天然ウラン(AIカバー)線源と同様に取り扱うことも可能であると考えられる。

(g)フィルタ模擬線源(^{137}Cs)

前述の滴下線源は、一定間隔で分布した放射能がバックング材表面に付着した構造である。しかし、フィルタに捕集された放射性ダストの捕集状態を考慮すると、放射能は面方向には均一に分布し厚さ方向に対しては表面近傍に存在すると考えられる。作製したフィルタ模擬線源は、全体の厚さをフィルタに等価にしており、厚さ 3 mg/cm^2 のイオン交換膜線源をマイラ膜上に接着することにより、放射能が表面近傍に均一に分布¹⁾した状態に対応している。試料支持板の状態を変えて求めた、フィルタ模擬線源とフィルタ滴下線源に対する計数効率(対放射能)を図4-9に示す。この2つの線源は良く一致しており、フィ

ルタによる後方散乱特性を十分に模擬している。したがって、ダストモニタの校正に際し、フィルタ模擬線源は優れた校正用線源になると考えられる。ただし、イオン交換膜線源の放射能は、Ge半導体検出器による γ 線測定に基づいて定量されている。このため、 γ 線放出核種以外の核種を使用してフィルタ模擬線源を作製する場合、その放射能の定量は困難であると思われる。

(h) 各種線源の比較

各種線源に対する計数効率を図4-10に示す。これまで述べてきたように、ダストモニタの校正にフィルタ滴下線源やフィルタ模擬線源(対放射能)を用いると、酸化ウラン面線源を用いる場合と比べてより実際の測定に近い校正を行うことができる。また、市販の陽極酸化アルミニウム線源を用いても、ダストモニタの校正を十分行うことが可能である。陽極酸化アルミニウム線源のようにバック材の厚さが後方散乱に対して飽和している線源の場合、放射能に関して計数効率を求めるのではなく、放出率に関して計数効率を求めダストモニタを校正する必要がある。このように校正した機器は、実際よりも計数効率を小さく見積もり、放射能を過大評価する。したがって、安全側に管理を行うことができる。

(i) γ 線の影響

陽極酸化アルミニウム線源とアクリル製 β 線吸収板を使用して、 γ 線が β 線計数率測定に与える影響を評価した。 β 線の最大飛程を考慮して、 ^{60}Co 陽極酸化アルミニウム線源については厚さ1 mmのアクリル板を、 ^{137}Cs 陽極酸化膜アルミニウム線源については厚さ3 mmのアクリル板を線源表面に密着させて計数効率を求め、アクリル板の無い場合と比較した。この結果を表4-12に示す。原研シンチを使用する場合には、 ^{60}Co に対しては約8%、 ^{137}Cs に対しては約1%の影響が認められる。本調査結果に関しては、 γ 線の影響の補正は行っていない。

4.3.2 原研GM測定結果

各種線源に対する計数効率を図4-11に示す。原研GMによる測定結果は、計数効率が全体的に原研シンチよりも高い。この違いは、ディスクレベルと検出器の入射窓厚によるものと考えられる。しかし、各検討すべき特性は原研シンチの結果と同様である。

4.3.3 動燃シンチ測定結果

フィルタ滴下線源(対放射能)、酸化ウラン面線源(対放出率)に対する計数効率の測定結果を図4-12に示す。ただし、酸化ウラン面線源に関しては、エネルギーを考えずに計数効率のみを描画した。前述のように、ダストモニタの校正を酸化ウラン面線源によって行うと、管理対象核種によっては放射能を過小評価してしまう。本調査において、動燃シンチに対しては他の線源による測定は行っていない。しかし、動燃シンチに関しても原研

シンチと同様な検討結果が得られると考えられる。

5. まとめ

ダストモニタ校正用線源の標準化に関する調査を行うため、酸化ウラン面線源(放射能面積直径45、50 mm)、HE40Tフィルタ滴下線源、HE40TAフィルタ滴下線源、ステンレス鋼板滴下線源、アルミニウム板滴下線源(R I 溶液滴下領域直径45、50 mm)、陽極酸化アルミニウム線源、フィルタ模擬線源を用い、4.3 結果検討に示す評価を行った。その結果、以下の結論が得られた。

5.1 酸化ウラン面線源およびその他の線源

5.1.1 酸化ウラン面線源

酸化ウラン面線源は、国内生産で安定供給、汚染の不安が少ない、長半減期である等の長所を持つ。この線源を使用してダストモニタを校正すると、管理対象核種が高エネルギーの β 線を放出する ^{106}Ru のような核種である場合は、フィルタに捕集された放射性ダストの放射能を過大評価するため管理上安全側となる。一方、管理対象核種が低エネルギーの β 線を放出する核種の場合は、フィルタに捕集された放射性ダストの放射能を過小評価するという問題点がある。酸化ウラン面線源は取り扱いが容易であるため、ダストモニタの日常的な点検業務には非常に適した線源であると考えられる。

5.1.2 フィルタ滴下線源

汚染の問題があるため、日常的な校正業務に用いることは難しいと思われるが、機器の後方散乱がほとんど問題にならないと考えられるため、核種のフィルタ表面への付着を近似した線源として利用性は高いと考えられる。また、放射能が定量でき、作製が容易な線源である。しかし、滴下したR I 溶液のフィルタへの浸透、乾燥過程におけるR I の表面への付着状態の不確定性等による計数率への影響が考えられる。

5.1.3 フィルタ模擬線源

汚染の不安が少なく、放射能の分布が均一であり、フィルタ滴下線源に対する計数効率とよく一致する。また、フィルタに捕集された放射性ダストはフィルタ表面近傍に存在すると考えられる。このため、フィルタ内の放射能の分布等による吸収および散乱等を考慮する必要が生じた場合、放射能の分布を明確に決定できるフィルタ模擬線源は非常に優れた線源であると思われる。イオン交換膜線源に使用する核種は、放射能を定量するために γ 線放出核種である方が好ましい。

5.2 陽極酸化アルミニウム線源等の市販線源の使用

陽極酸化アルミニウム線源等の市販線源は入手が容易であり、汚染の心配がほとんどなく、放射能の分布の均一さもある程度保証されると考えられる。この線源をダストモニタの校正に用いると、高エネルギーの β 線に対しては放射能を過大評価する傾向がみとめられるが、評価としては安全側であり、またエネルギーごとの校正を行うことができるため、この線源は非常に利便性の高い線源であると思われる。このような線源を用いる場合、各施設の管理対象核種を把握し、それぞれの核種に応じたエネルギーをもつ線源で校正を行うことが重要であると考えられる。さらに、これらの線源は一般的に表面放出率の 2π 絶対測定が可能な線源であるため、トレーサビリティを確保していく上でも有用であると思われる。

謝 辞

本報調査を行うにあたって、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所安全管理部 桜井直行部長、江花稔課長、大関清主査、津浦伸次主査、三上智 氏、並びに、日本原子力研究所保健物理部 南賢太郎次長に始終に渡り懇切丁寧なご助言をいただきました。また、陽イオン交換膜の作製においては、日本原子力研究所高崎研究所照射利用開発室 須郷高信 氏にご協力いただきました。謹んで謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Makoto Yoshida and Robert H. Martin (1990) Preparation of Extended Source with Homogeneous Polyethylene Ion-exchange. Appl. Radiat. Isot. Vol. 41, pp. 387-394
- 2) NCRP Report No. 58, A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures (1985).
- 3) 村上悠紀雄 他, 放射線データブック (1982).
- 4) 社団法人 日本アイソトープ協会, アイソトープ手帳 (1990).

表3-1 使用線源

線源	バックング材	放射性核種						放射能の 算出	表面放出 率の測定
		酸化ウラン	^{147}Pm	^{60}Co	^{137}Cs	^{204}Tl	$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$		
酸化ウラン面線源	ステンレス鋼	○							○
陽極酸化アルミニウム線源	陽極酸化アルミニウム		○	○	○	○	○		○
滴下線源	HE40T		○	○	○	○	○	○	
	HE40TA		○	○	○	○	○	○	
	ステンレス鋼		○	○	○	○	○	○	○
	アルミニウム		○	○	○	○	○	○	○
フィルタ模擬線源	マイラ膜				○			○	

注) ○は、作製した線源と、放射能の算出および表面放出率の測定を行ったことを示す。

表3-2 ^{147}Pm の滴下線源の作製

(a) 線源の希釈

ピクノメータ No.	採取線源		③希釈後の線源の 重量 (g)	④希釈率 ②/③	⑤希釈後の放射能 濃度 ①*④ (Bq/g)	
	種類	①放射能濃度 (Bq/g)	②採取重量 (g)			
C	標準溶液線源	5.680E+04	0.12744	2.22211	5.73509E-02	3.258E+03
D	標準溶液線源	5.680E+04	0.14522	2.13985	6.78646E-02	3.855E+03

(b) 滴下線源の放射能

線源No.	バックング材	線源面積 (径 mm)	ピクノメータ			滴下線源の放射能
			No.	⑤放射能濃度 (Bq/g)	⑥適下重量 (g)	⑤*⑥ (Bq)
51	HE40T	50	C	3.258E+03	0.28450	9.268E+02
52	HE40T	50	C	3.258E+03	0.28275	9.211E+02
53	HE40T	45	C	3.258E+03	0.25926	8.445E+02
54	HE40T	45	D	3.855E+03	0.21714	8.370E+02
55	HE40TA	50	C	3.258E+03	0.27131	8.838E+02
56	HE40TA	50	D	3.855E+03	0.24171	9.317E+02
57	HE40TA	45	C	3.258E+03	0.25418	8.280E+02
58	HE40TA	45	D	3.855E+03	0.21484	8.281E+02
59	ステンレス鋼板	50	C	3.258E+03	0.27834	9.067E+02
60	アルミニウム板	50	D	3.855E+03	0.25345	9.770E+02

注) 本表においては、半減期補正を行っていない。

表3-3 ^{60}Co の滴下線源の作製

(a) 線源の希釈

ピクノメータ No.	採取線源		③希釈後の線源の 重量 (g)	④希釈率 ②/③	⑤希釈後の放射能 濃度 ①*④ (Bq/g)	
	種類	①放射能濃度 (Bq/g)				②採取重量 (g)
C	標準溶液線源	1.036E+06	0.13466	2.03029	6.63255E-02	6.871E+04
D	ピクノメータC	6.871E+04	0.07661	2.16512	3.53837E-02	2.431E+03
E	ピクノメータC	6.871E+04	0.08098	2.13234	3.79771E-02	2.610E+03

(b) 滴下線源の放射能

線源No.	バックング材	線源面積 (径 mm)	ピクノメータ			滴下線源の放射能 ⑤*⑥ (Bq)
			No.	⑤放射能濃度 (Bq/g)	⑥適下重量 (g)	
13	HE40T	50	D	2.431E+03	0.23979	5.830E+02
14	HE40T	50	D	2.431E+03	0.23548	5.725E+02
15	HE40T	45	D	2.431E+03	0.21095	5.129E+02
16	HE40T	45	D	2.431E+03	0.22052	5.362E+02
17	HE40TA	50	D	2.431E+03	0.23647	5.749E+02
18	HE40TA	50	E	2.610E+03	0.23430	6.114E+02
19	HE40TA	45	E	2.610E+03	0.21409	5.587E+02
20	HE40TA	45	E	2.610E+03	0.21642	5.648E+02
21	ステンレス鋼板	50	E	2.610E+03	0.23681	6.180E+02
22	アルミニウム板	50	E	2.610E+03	0.23533	6.141E+02

注) 本表においては、半減期補正を行っていない。

表3-4 ^{137}Cs の滴下線源の作製

(a) 線源の希釈

ピクノメータ No.	採取線源			③希釈後の線源の 重量 (g)	④希釈率 ②/③	⑤希釈後の放射能 濃度 ①*④ (Bq/g)
	種類	①放射能濃度 (Bq/g)	②採取重量 (g)			
C	標準溶液線源	8.130E+05	0.08873	1.80573	4.91380E-02	3.995E+04
D	ピクノメータC	3.995E+04	0.08549	1.78141	4.79901E-02	1.917E+03
E	ピクノメータC	3.995E+04	0.10120	1.80573	5.60438E-02	2.239E+03
F	ピクノメータC	3.995E+04	0.07191	1.89522	3.79428E-02	1.516E+03

(b) 滴下線源の放射能

線源No.	バックング材	線源面積 (径 mm)	ピクノメータ			滴下線源の放射能 ⑤*⑥ (Bq)
			No.	⑤放射能濃度 (Bq/g)	⑥滴下重量 (g)	
1	HE40T	50	D	1.917E+03	0.46742	8.961E+02
2	HE40T	50	F	1.516E+03	0.20742	3.144E+02
3	HE40T	45	D	1.917E+03	0.41975	8.047E+02
4	HE40T	45	F	1.516E+03	0.19408	2.942E+02
5	HE40TA	50	E	2.239E+03	0.28043	6.279E+02
6	HE40TA	50	F	1.516E+03	0.21413	3.246E+02
7	HE40TA	45	D	1.917E+03	0.42762	8.198E+02
8	HE40TA	45	F	1.516E+03	0.20026	3.036E+02
9	ステンレス鋼板	50	E	2.239E+03	0.25270	5.658E+02
10	アルミニウム板	50	E	2.239E+03	0.26106	5.845E+02

注) 本表においては、半減期補正を行っていない。

表3-5 ^{204}Tl の滴下線源の作製

(a) 線源の希釈

ピクノメータ No.	採取線源		③希釈後の線源の 重量 (g)	④希釈率 ②/③	⑤希釈後の放射能 濃度 ①*④ (Bq/g)	
	種類	①放射能濃度 (Bq/g)				②採取重量 (g)
C	標準溶液線源	2.940E+04	0.25517	2.07572	1.22931E-01	3.614E+03
D	標準溶液線源	2.940E+04	0.23208	2.01687	1.15069E-01	3.383E+03

(b) 滴下線源の放射能

線源No.	バックング材	線源面積 (径 mm)	ピクノメータ			滴下線源の放射能 ⑤*⑥ (Bq)
			No.	⑤放射能濃度 (Bq/g)	⑥適下重量 (g)	
31	HE40T	50	C	3.614E+03	0.34931	1.262E+03
32	HE40T	50	C	3.614E+03	0.33218	1.201E+03
33	HE40T	45	C	3.614E+03	0.30690	1.109E+03
34	HE40T	45	C	3.614E+03	0.30337	1.096E+03
35	HE40TA	50	C	3.614E+03	0.33276	1.203E+03
36	HE40TA	50	D	3.383E+03	0.45425	1.537E+03
37	HE40TA	45	D	3.383E+03	0.20882	7.064E+02
38	HE40TA	45	D	3.383E+03	0.21317	7.212E+02
39	ステンレス鋼板	50	D	3.383E+03	0.22736	7.692E+02
40	アルミニウム板	50	D	3.383E+03	0.22553	7.630E+02

注) 本表においては、半減期補正を行っていない。

表3-6 $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ の滴下線源の作製

(a) 線源の希釈

ピクノメータ No.	採取線源		③希釈後の線源の 重量 (g)	④希釈率 ②/③	⑤希釈後の放射能 濃度 ①*④ (Bq/g)	
	種類	①放射能濃度 (Bq/g)				②採取重量 (g)
C	標準溶液線源	1.008E+05	0.12005	1.02695	1.16900E-01	1.178E+04
D	ピクノメータC	1.178E+04	0.21767	1.89652	1.14773E-01	1.352E+03
E	ピクノメータC	1.178E+04	0.17886	1.87454	9.54154E-02	1.124E+03

(b) 滴下線源の放射能

線源No.	バックング材	線源面積 (径 mm)	ピクノメータ			滴下線源の放射能 ⑤*⑥ (Bq)
			No.	⑤放射能濃度 (Bq/g)	⑥適下重量 (g)	
41	HE40T	50	D	1.352E+03	0.32261	4.363E+02
42	HE40T	50	D	1.352E+03	0.31762	4.296E+02
43	HE40T	45	D	1.352E+03	0.28433	3.845E+02
44	HE40T	45	D	1.352E+03	0.29234	3.954E+02
45	HE40TA	45	D	1.352E+03	0.29113	3.937E+02
46	HE40TA	50	E	1.124E+03	0.32037	3.602E+02
47	HE40TA	50	E	1.124E+03	0.31403	3.531E+02
48	HE40TA	45	E	1.124E+03	0.28842	3.243E+02
49	ステンレス鋼板	50	E	1.124E+03	0.32718	3.679E+02
50	アルミニウム板	50	E	1.124E+03	0.30290	3.406E+02

注) 本表においては、半減期補正を行っていない。

表3-7 表面放出率測定結果

線源の種類	放射性核種	バッキング材	放射性核種 No.	アルミニウム吸 収板枚数	デットタイム補正後		③ディスクリ 以下の計数 補正係数	表面放出率 (①-②)*③ (cps)	統計誤差 標準偏差 %
					①ゲロス計数率 (cps)	②B. G. 計数率 (cps)			
酸化ウラン面線源	天然ウラン	ステンレス鋼	協-163	1	52.43	9.093	1.0019	43.42	0.39
	天然ウラン		UC-102SP45	1	60.80	9.118	1.0000	51.68	0.35
陽極酸化 アルミニウム線源	¹⁴⁷ Pm	陽極酸化アルミニウム	DZ815	—	348.44	9.133	1.0075	341.84	0.17
	⁶⁰ Co	陽極酸化アルミニウム	DZ812	—	338.36	8.851	1.0031	330.52	0.18
	¹³⁷ Cs	陽極酸化アルミニウム	DZ814	—	215.69	9.080	1.0014	206.89	0.23
	²⁰⁴ Tl	陽極酸化アルミニウム	DZ813	—	220.79	9.068	1.0024	212.24	0.22
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	陽極酸化アルミニウム	AA147	—	163.15	8.994	1.0042	154.80	0.26
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	陽極酸化アルミニウム	AA147	1	86.69	8.764	1.0000	77.93	0.27
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	陽極酸化アルミニウム	AA147	2	64.36	8.714	1.0000	55.64	0.33
滴下線源	¹⁴⁷ Pm	ステンレス鋼	59	—	551.93	8.723	1.0076	547.33	0.14
	¹⁴⁷ Pm	アルミニウム	60	—	599.74	8.783	1.0069	595.02	0.13
	⁶⁰ Co	ステンレス鋼	21	—	356.60	8.817	1.0064	350.01	0.17
	⁶⁰ Co	アルミニウム	22	—	347.39	8.801	1.0114	342.44	0.17
	¹³⁷ Cs	ステンレス鋼	9	—	442.79	8.965	1.0050	435.98	0.15
	¹³⁷ Cs	アルミニウム	10	—	422.52	8.891	1.0079	416.91	0.16
	²⁰⁴ Tl	ステンレス鋼	39	—	439.40	8.771	1.0041	432.40	0.15
	²⁰⁴ Tl	アルミニウム	40	—	418.18	8.832	1.0059	411.75	0.16
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	ステンレス鋼	49	—	258.24	8.829	1.0018	249.86	0.20
	⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	アルミニウム	50	—	226.75	8.878	1.0030	218.53	0.22

表4-1 β 線平均エネルギー(文献より引用)

	^{147}Pm	^{60}Co	^{137}Cs	^{204}Tl	$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$
β 線平均エネルギー(keV)	61.96	95.8	186.9	243.3	565.1

表4-2 各検出器によるバックグラウンド測定結果

測定時間: 50000 sec

検出器	バックグラウンド測定日	計数 (counts)	計数率 (cps)
ALOKA PD-201	1994/10/3	36343	0.73
ALOKA GM-H-5001V	1994/12/16	40313	0.81
TOSHIBA RD372	1995/2/2	71703	1.43

表4-3-1 滴下線源計数効率(対放射能)(^{147}Pm)

検出器: プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間: 1000 sec

線源No.	バックギング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 \pm (cps)	計数効率
51	HE40T(ϕ 50)はっ水処理	1994/12/15	915.43	54.69	0.24	0.06
52	HE40T(ϕ 50)はっ水処理	1994/12/15	909.80	55.11	0.24	0.06
53	HE40T(ϕ 45)はっ水処理	1994/12/15	834.22	50.24	0.23	0.06
54	HE40T(ϕ 45)はっ水処理	1994/12/15	826.77	50.58	0.23	0.06
55	HE40TA(ϕ 50)	1994/12/15	872.99	54.90	0.24	0.06
56	HE40TA(ϕ 50)	1994/12/15	920.33	60.23	0.25	0.07
57	HE40TA(ϕ 45)	1994/12/15	817.87	52.03	0.23	0.06
58	HE40TA(ϕ 45)	1994/12/15	818.02	53.00	0.23	0.06
59	ステンレス鋼板	1994/12/15	895.61	71.55	0.27	0.08
60	アルミニウム板	1994/12/15	965.03	70.17	0.27	0.07

表4-3-2 滴下線源計数効率(対放射能)(^{60}Co)

検出器: プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間: 1000 sec

線源No.	バックギング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 \pm (cps)	計数効率
13	HE40T(ϕ 50)はっ水処理	1994/10/4	508.96	61.80	0.25	0.12
14	HE40T(ϕ 50)はっ水処理	1994/10/4	499.81	60.50	0.25	0.12
15	HE40T(ϕ 45)はっ水処理	1994/10/4	447.75	56.14	0.24	0.13
16	HE40T(ϕ 45)はっ水処理	1994/10/4	468.06	60.31	0.25	0.13
17	HE40TA(ϕ 50)	1994/10/4	501.92	63.71	0.25	0.13
18	HE40TA(ϕ 50)	1994/10/4	533.76	70.16	0.27	0.13
19	HE40TA(ϕ 45)	1994/10/5	487.54	67.13	0.26	0.14
20	HE40TA(ϕ 45)	1994/10/5	492.85	66.23	0.26	0.13
21	ステンレス鋼板	1994/10/5	539.28	89.24	0.30	0.17
22	アルミニウム板	1994/10/5	535.91	77.58	0.28	0.14

表4-3-3 滴下線源計数効率(対放射能)(^{137}Cs)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間 : 1000 sec

線源No.	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
1	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/10/5	976.73	189.11	0.44	0.19
2	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/10/5	342.69	65.82	0.26	0.19
3	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/10/5	877.12	176.67	0.42	0.20
4	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/10/5	320.65	64.44	0.26	0.20
5	HE40TA(φ50)	1994/10/11	684.07	133.51	0.37	0.20
6	HE40TA(φ50)	1994/10/11	353.64	71.04	0.27	0.20
7	HE40TA(φ45)	1994/10/11	893.22	187.04	0.43	0.21
8	HE40TA(φ45)	1994/10/11	330.73	68.55	0.26	0.21
9	ステンレス鋼板	1994/10/12	616.39	148.87	0.39	0.24
10	アルミニウム板	1994/10/12	636.78	133.52	0.37	0.21

表4-3-4 滴下線源計数効率(対放射能)(^{204}Tl)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間 : 1000 sec

線源No.	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
31	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/10/17	1105.50	255.44	0.51	0.23
32	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/10/17	1051.29	243.75	0.50	0.23
33	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/10/17	971.29	223.34	0.47	0.23
34	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/10/17	960.11	226.30	0.48	0.24
35	HE40TA(φ50)	1994/10/17	1053.13	246.31	0.50	0.23
36	HE40TA(φ50)	1994/10/17	1345.69	322.04	0.57	0.24
37	HE40TA(φ45)	1994/10/17	618.62	147.44	0.39	0.24
38	HE40TA(φ45)	1994/10/17	631.50	152.60	0.39	0.24
39	ステンレス鋼板	1994/10/17	673.54	188.89	0.44	0.28
40	アルミニウム板	1994/10/17	668.12	165.73	0.41	0.25

表4-3-5 滴下線源計数効率(対放射能)($^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間 : 1000 sec

線源No.	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
41	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/10/18	887.16	66.51	0.34	0.26
42	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/10/18	888.90	68.20	0.34	0.27
43	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/10/18	890.64	69.88	0.32	0.27
44	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/10/18	892.37	71.57	0.33	0.27
45	HE40TA(φ50)	1994/10/18	894.11	73.25	0.33	0.27
46	HE40TA(φ50)	1994/10/18	895.85	74.94	0.31	0.27
47	HE40TA(φ45)	1994/10/18	897.58	76.62	0.31	0.27
48	HE40TA(φ45)	1994/10/18	899.32	78.30	0.29	0.27
49	ステンレス鋼板	1994/10/18	901.06	79.99	0.34	0.32
50	アルミニウム板	1994/10/18	902.80	81.67	0.31	0.29

表4-4 HE40Tフィルタ滴下線源の計数効率(対放射能)とHE40TAフィルタ
滴下線源の計数効率(対放射能)との比較

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

	¹⁴⁷ Pm	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	²⁰⁴ Tl	⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y
HE40T/HE40TA(φ50)*	0.94	0.94	0.97	0.98	0.97
HE40T/HE40TA(φ45)**	0.95	0.93	0.97	0.97	1.01

* HE40T(φ50)滴下線源の計数効率/HE40TA(φ50)滴下線源の計数効率

** HE40T(φ45)滴下線源の計数効率/HE40TA(φ45)滴下線源の計数効率

表4-5 HE40TA(φ50)滴下線源(対放射能)を用いて測定した試料支持板による後方散乱の影響

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間 : 1000 sec

放射性核種	線源No.	試料支持板	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率	計数効率比*
¹⁴⁷ Pm	55	専用支持板	1994/12/15	872.99	54.90	0.24	0.06	1.00
		ステンレス鋼板	1994/12/15	872.99	55.45	0.24	0.06	1.01
		アルミニウム板	1994/12/15	872.99	55.76	0.24	0.06	1.02
		支持板無し	1994/12/15	872.99	53.86	0.23	0.06	0.98
⁶⁰ Co	17	専用支持板	1994/10/21	498.85	63.71	0.25	0.13	1.00
		ステンレス鋼板	1994/10/21	498.85	65.67	0.26	0.13	1.03
		アルミニウム板	1994/10/21	498.85	64.77	0.26	0.13	1.02
		支持板無し	1994/10/21	498.85	62.41	0.25	0.13	0.98
¹³⁷ Cs	5	専用支持板	1994/10/21	683.64	133.52	0.39	0.20	1.00
		ステンレス鋼板	1994/10/21	683.64	143.43	0.40	0.21	1.07
		アルミニウム板	1994/10/21	683.64	137.82	0.39	0.20	1.03
		支持板無し	1994/10/21	683.64	129.04	0.38	0.19	0.97
²⁰⁴ Tl	35	専用支持板	1994/10/21	1051.02	246.31	0.50	0.23	1.00
		ステンレス鋼板	1994/10/21	1051.02	270.18	0.52	0.26	1.10
		アルミニウム板	1994/10/21	1051.02	256.36	0.51	0.24	1.04
		支持板無し	1994/10/21	1051.02	236.94	0.49	0.23	0.96
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	46	専用支持板	1994/10/21	355.30	96.58	0.31	0.27	1.00
		ステンレス鋼板	1994/10/21	355.30	108.33	0.33	0.30	1.12
		アルミニウム板	1994/10/21	355.30	101.93	0.32	0.29	1.06
		支持板無し	1994/10/21	355.30	89.77	0.30	0.25	0.93

* 専用支持板を用いたときのHE40TA(φ50)滴下線源の計数効率に規格化

表4-6 ステンレス鋼板滴下線源とアルミニウム板滴下線源の計数効率(対放出率)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間 : 1000 sec

放射性核種	線源No.	バックング材	線源測定日	表面放出率 (cps)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
¹⁴⁷ Pm	59	ステンレス鋼板	1994/12/15	546.93	71.55	0.27	0.07
	60	アルミニウム板	1994/12/15	594.59	70.17	0.27	0.06
⁶⁰ Co	21	ステンレス鋼板	1994/10/5	352.67	89.24	0.30	0.13
	22	アルミニウム板	1994/10/5	345.04	77.58	0.28	0.11
¹³⁷ Cs	9	ステンレス鋼板	1994/10/12	436.37	165.52	0.41	0.19
	10	アルミニウム板	1994/10/12	417.28	148.46	0.39	0.18
²⁰⁴ Tl	39	ステンレス鋼板	1994/10/17	434.35	188.89	0.44	0.22
	40	アルミニウム板	1994/10/17	413.82	165.73	0.41	0.20
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	49	ステンレス鋼板	1994/10/18	250.02	116.89	0.34	0.23
	50	アルミニウム板	1994/10/18	218.66	95.91	0.31	0.22

表4-7 酸化ウラン面線源および陽極酸化アルミニウム線源の計数効率(対放出率)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間 : 1000 sec

放射性核種	線源No.	線源測定日	表面放出率 (cps)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
U ₃ O ₈ (φ50)*	協-163	1994/10/12	43.42	29.41	0.17	0.34
¹⁴⁷ Pm	DZ815	1994/10/12	342.09	41.42	0.21	0.06
⁶⁰ Co	DZ812	1994/10/12	330.64	86.41	0.30	0.13
¹³⁷ Cs	DZ814	1994/10/12	206.92	84.45	0.29	0.20
²⁰⁴ Tl	DZ813	1994/10/12	212.45	89.62	0.30	0.21
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	AA147	1994/10/12	154.81	70.30	0.27	0.23

* 27 mg/cm²のAl吸収板を線源表面に密着させて測定

表4-8 HE40TA(φ50)滴下線源の計数効率に対するステンレス鋼板及びアルミニウム滴下線源の計数効率比(対放射能)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

放射性核種	HE40TA(φ50) 滴下線源	ステンレス鋼板 滴下線源	アルミニウム板 滴下線源	ステンレス鋼板滴下線源 /HE40TA(φ50)滴下線源	アルミニウム板滴下線源 /HE40TA(φ50)滴下線源
¹⁴⁷ Pm	0.06	0.08	0.07	1.25	1.13
⁶⁰ Co	0.13	0.17	0.14	1.28	1.12
¹³⁷ Cs	0.20	0.24	0.21	1.22	1.06
²⁰⁴ Tl	0.24	0.28	0.25	1.19	1.05
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	0.27	0.32	0.29	1.19	1.05

表4-9 バッキング材料による後方散乱の影響
(HE40TA(φ50)滴下線源の計数効率は線源の放射能(全β線)に対して、ステンレス鋼板及びアルミニウム板滴下線源の計数効率は線源の表面放射率に対してそれぞれ求めた。)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

放射性核種	HE40TA(φ50) 滴下線源	ステンレス鋼板 滴下線源	アルミニウム板 滴下線源	ステンレス鋼板滴下線源 /HE40TA(φ50)滴下線源	アルミニウム板滴下線源 /HE40TA(φ50)滴下線源
¹⁴⁷ Pm	0.06	0.07	0.06	1.02	0.92
⁶⁰ Co	0.13	0.13	0.11	0.98	0.87
¹³⁷ Cs	0.20	0.19	0.18	0.96	0.90
²⁰⁴ Tl	0.24	0.22	0.20	0.92	0.85
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	0.27	0.23	0.22	0.86	0.81

表4-10 HE40TA(φ50)滴下線源の計数効率に対するステンレス鋼板及びアルミニウム板滴下線源の計数効率比(対放射率)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

放射性核種	ステンレス鋼板 滴下線源	アルミニウム板 滴下線源	陽極酸化アルミ ニウム線源	ステンレス鋼板滴下線源 /陽極酸化アルミニウム線源	アルミニウム板滴下線源 /陽極酸化アルミニウム線源
¹⁴⁷ Pm	0.07	0.06	0.06	1.08	0.97
⁶⁰ Co	0.13	0.11	0.13	0.97	0.86
¹³⁷ Cs	0.19	0.18	0.20	0.93	0.87
²⁰⁴ Tl	0.22	0.20	0.21	1.03	0.95
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	0.23	0.22	0.23	1.03	0.97

表4-11 Al吸収板を密着させた⁹⁰Sr+⁹⁰Y陽極酸化アルミニウム線源の計数効率と酸化ウラン面線源の計数効率との比較(対放出率)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間 : 1000 sec

放射性核種	線源No.	β線平均エネルギー** (keV)	線源測定日	表面放出率 (cps)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
U ₃ O ₈ (φ50)	協-163	556.6	1994/10/12	43.42	29.41	0.17	0.34
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y(A1吸収板無し)	AA147	—	1994/10/12	154.81	70.30	0.27	0.23
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y(A1吸収板1枚)*	AA147	503.6	1994/10/28	78.07	51.48	0.23	0.33
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y(A1吸収板2枚)*	AA147	581.0	1994/10/28	55.74	38.82	0.20	0.35

* A1吸収板の1枚の厚さは27 mg/cm²である

** 実測値

表4-12 γ線による計数効率への影響

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

放射性核種	線源No.	吸収板の厚さ	線源測定日	測定時間 (sec)	計数率 (cps)	γ線の影響 (%)
⁶⁰ Co	D0598	アクリル板1 mm	1995/1/23	1000	18.56	—
	D0598	空気層1 mm	1995/1/23	1000	244.14	8
¹³⁷ Cs	D0670	アクリル板3 mm	1995/1/23	1000	5.39	—
	D0670	空気層3 mm	1995/1/23	3000	545.02	1

表4-13 フィルタ模擬線源の計数効率(対放射能)(¹³⁷Cs)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(ALOKA PD-201)

測定時間 : 1000 sec

試料支持板	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
専用支持板	1994/12/5	1052.44	199.71	0.47	0.19
ステンレス鋼板	1994/12/5	1052.44	214.76	0.49	0.20
アルミニウム板	1994/12/5	1052.44	204.94	0.48	0.19
支持板無し	1994/12/5	1052.44	192.54	0.46	0.18

表4-14-1 滴下線源計数効率(対放射能)^(147Pm)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

測定時間 : 1000 sec

線源No.	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
51	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/12/14	916.10	72.12	0.28	0.08
52	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/12/14	910.46	71.89	0.28	0.08
53	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/12/14	834.82	66.45	0.27	0.08
54	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/12/14	827.37	67.41	0.27	0.08
55	HE40TA(φ50)	1994/12/14	873.62	72.46	0.28	0.08
56	HE40TA(φ50)	1994/12/14	920.99	79.91	0.29	0.09
57	HE40TA(φ45)	1994/12/14	818.46	69.81	0.27	0.09
58	HE40TA(φ45)	1994/12/14	818.61	71.43	0.28	0.09
59	ステンレス鋼板	1994/12/14	896.26	96.74	0.32	0.11
60	アルミニウム板	1994/12/14	965.73	95.16	0.32	0.10

表4-14-2 滴下線源計数効率(対放射能)^(60Co)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

測定時間 : 1000 sec

線源No.	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
13	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/11/22	500.06	74.08	0.28	0.15
14	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/11/22	491.07	73.20	0.28	0.15
15	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/11/22	439.91	67.41	0.27	0.15
16	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/11/22	459.87	72.45	0.28	0.16
17	HE40TA(φ50)	1994/11/22	493.13	77.67	0.29	0.16
18	HE40TA(φ50)	1994/11/22	524.42	84.61	0.30	0.16
19	HE40TA(φ45)	1994/11/22	479.18	80.90	0.29	0.17
20	HE40TA(φ45)	1994/11/22	484.40	80.43	0.29	0.17
21	ステンレス鋼板	1994/11/22	530.04	108.35	0.34	0.20
22	アルミニウム板	1994/11/22	526.73	94.96	0.32	0.18

表4-14-3 滴下線源計数効率(対放射能)^(137Cs)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

測定時間 : 1000 sec

線源No.	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
1	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/11/22	973.78	217.31	0.53	0.22
2	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/11/22	341.65	76.55	0.30	0.22
3	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/11/22	874.47	203.14	0.51	0.23
4	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/11/22	319.68	74.40	0.30	0.23
5	HE40TA(φ50)	1994/11/22	682.27	156.70	0.44	0.23
6	HE40TA(φ50)	1994/11/22	352.70	83.57	0.32	0.24
7	HE40TA(φ45)	1994/11/22	890.86	218.04	0.53	0.24
8	HE40TA(φ45)	1994/11/22	329.86	81.16	0.31	0.25
9	ステンレス鋼板	1994/11/22	614.80	177.20	0.47	0.29
10	アルミニウム板	1994/11/22	635.14	159.03	0.45	0.25

表4-14-4 滴下線源計数効率(対放射能)(^{204}Tl)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

測定時間 : 1000 sec

線源No.	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
31	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/11/21	1086.28	292.99	0.60	0.27
32	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/11/21	1033.01	277.16	0.58	0.27
33	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/11/21	954.40	255.68	0.56	0.27
34	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/11/21	943.42	258.05	0.56	0.27
35	HE40TA(φ50)	1994/11/21	1034.82	286.35	0.59	0.28
36	HE40TA(φ50)	1994/11/21	1322.30	374.49	0.70	0.28
37	HE40TA(φ45)	1994/11/21	607.86	170.90	0.44	0.28
38	HE40TA(φ45)	1994/11/21	620.52	176.12	0.45	0.28
39	ステンレス鋼板	1994/11/21	661.83	211.79	0.50	0.32
40	アルミニウム板	1994/11/21	656.50	193.18	0.47	0.29

表4-14-5 滴下線源計数効率(対放射能)($^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

測定時間 : 1000 sec

線源No.	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
41	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/11/21	429.47	126.38	0.37	0.29
42	HE40T(φ50)はっ水処理	1994/11/21	422.83	126.00	0.37	0.30
43	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/11/21	378.51	114.17	0.35	0.30
44	HE40T(φ45)はっ水処理	1994/11/21	389.18	119.20	0.36	0.31
45	HE40TA(φ50)	1994/11/21	387.57	119.17	0.36	0.31
46	HE40TA(φ50)	1994/11/21	354.56	110.05	0.35	0.31
47	HE40TA(φ45)	1994/11/21	347.54	106.66	0.34	0.31
48	HE40TA(φ45)	1994/11/21	319.20	97.15	0.32	0.30
49	ステンレス鋼板	1994/11/21	362.10	132.05	0.38	0.36
50	アルミニウム板	1994/11/21	335.22	108.86	0.34	0.32

表4-15 ステンレス鋼板滴下線源とアルミニウム板滴下線源の計数効率(対放出率)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

測定時間 : 1000 sec

放射性核種	線源No.	バックング材	線源測定日	表面放出率 (cps)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
¹⁴⁷ Pm	59	ステンレス鋼板	1994/12/14	547.33	96.74	0.32	0.09
	60	アルミニウム板	1994/12/14	595.02	95.16	0.32	0.08
⁶⁰ Co	21	ステンレス鋼板	1994/11/9	348.25	109.26	0.35	0.16
	22	アルミニウム板	1994/11/9	340.72	94.58	0.32	0.14
¹³⁷ Cs	9	ステンレス鋼板	1994/11/9	435.60	198.15	0.48	0.23
	10	アルミニウム板	1994/11/9	416.54	177.54	0.45	0.21
²⁰⁴ Tl	39	ステンレス鋼板	1994/11/9	429.38	213.27	0.50	0.25
	40	アルミニウム板	1994/11/9	409.08	194.46	0.47	0.24
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	49	ステンレス鋼板	1994/11/10	249.63	131.90	0.38	0.26
	50	アルミニウム板	1994/11/10	218.32	109.22	0.35	0.25

表4-16 酸化ウラン面線源および陽極酸化アルミニウム線源の計数効率(対放出率)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

測定時間 : 1000 sec

放射性核種	線源番号	線源測定日	表面放出率 (cps)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
U ₃ O ₈ (φ50)*	協-163	1994/11/24	43.42	30.47	0.18	0.35
¹⁴⁷ Pm	DZ815	1994/11/24	331.60	53.07	0.23	0.08
⁶⁰ Co	DZ812	1994/11/24	325.55	101.15	0.32	0.16
¹³⁷ Cs	DZ814	1994/11/24	206.35	96.29	0.31	0.23
²⁰⁴ Tl	DZ813	1994/11/24	207.82	100.83	0.32	0.24
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	AA147	1994/11/24	154.36	78.29	0.28	0.25

* 27 mg/cm²のAl吸収板を線源表面に密着させて測定

表4-17 HE40TA(φ50)滴下線源の計数効率に対するステンレス鋼板及びアルミニウム滴下線源の計数効率比(対放射能)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

放射性核種	HE40TA(φ50) 滴下線源	ステンレス鋼板 滴下線源	アルミニウム板 滴下線源	ステンレス鋼板滴下線源 /HE40TA(φ50)滴下線源	アルミニウム板滴下線源 /HE40TA(φ50)滴下線源
¹⁴⁷ Pm	0.08	0.11	0.10	1.27	1.16
⁶⁰ Co	0.16	0.20	0.18	1.28	1.13
¹³⁷ Cs	0.23	0.29	0.25	1.24	1.07
²⁰⁴ Tl	0.28	0.32	0.29	1.14	1.05
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	0.31	0.36	0.32	1.18	1.05

表4-18 パッキング材料による後方散乱の影響

(HE40TA(φ50)滴下線源の計数効率は線源の放射能(全β線)に対して、ステンレス鋼板及びアルミニウム板滴下線源の計数効率は線源の表面放出率に対してそれぞれ求めた。)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

放射性核種	HE40TA(φ50) 滴下線源	ステンレス鋼板 滴下線源	アルミニウム板 滴下線源	ステンレス鋼板滴下線源 /HE40TA(φ50)滴下線源	アルミニウム板滴下線源 /HE40TA(φ50)滴下線源
¹⁴⁷ Pm	0.08	0.09	0.08	1.04	0.94
⁶⁰ Co	0.16	0.16	0.14	0.98	0.87
¹³⁷ Cs	0.23	0.23	0.21	0.97	0.91
²⁰⁴ Tl	0.28	0.25	0.24	0.89	0.85
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	0.31	0.26	0.25	0.86	0.81

表4-19 HE40TA(φ50)滴下線源の計数効率に対するステンレス鋼板及びアルミニウム板滴下線源の計数効率比(対放出率)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

放射性核種	ステンレス鋼板 滴下線源	アルミニウム板 滴下線源	陽極酸化アルミ ニウム線源	ステンレス鋼板滴下線源 /陽極酸化アルミニウム線源	アルミニウム板滴下線源 /陽極酸化アルミニウム線源
¹⁴⁷ Pm	0.09	0.08	0.08	1.10	1.00
⁶⁰ Co	0.16	0.14	0.16	1.01	0.89
¹³⁷ Cs	0.23	0.21	0.23	0.97	0.91
²⁰⁴ Tl	0.25	0.24	0.24	1.02	0.98
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	0.26	0.25	0.25	1.04	0.99

表4-20 γ 線による計数効率への影響

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

線源核種	線源番号	吸収板の厚さ	線源測定日	測定時間 (sec)	計数率 (cps)	γ 線の影響 (%)
Co-60	D0598	アクリル板1 mm	1995/1/30	1000	17.19	—
	D0598	空気層1 mm	1995/1/30	1000	275.81	7
Cs-137	D0670	アクリル板3 mm	1995/1/30	1000	3.39	—
	D0670	空気層3 mm	1995/1/30	3000	550.77	1

表4-21 フィルタ模擬線源の計数効率(対放射能)(^{137}Cs)

検出器 : GM計数管検出器(ALOKA GM-H-5001V)

測定時間 : 1000 sec

試料支持板	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 \pm (cps)	計数効率
専用支持板	1994/12/5	1052.48	241.95	0.49	0.23

表4-22 滴下線源の計数効率(対放射能)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(TOSHIBA RD372)

測定時間 : 1000 sec

放射性核種	線源番号	バックング材	線源測定日	放射能 (Bq)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
¹⁴⁷ Pm	53	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/2	805.15	62.37	0.25	0.08
	54	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/2	797.96	63.14	0.25	0.08
	57	HE40TA(φ45)	1995/2/2	789.37	64.97	0.26	0.08
	58	HE40TA(φ45)	1995/2/2	789.51	66.26	0.26	0.08
⁶⁰ Co	15	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/2	428.65	60.50	0.25	0.14
	16	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/2	448.10	64.58	0.26	0.14
	19	HE40TA(φ45)	1995/2/2	466.91	71.65	0.27	0.15
	20	HE40TA(φ45)	1995/2/2	472.00	71.54	0.27	0.15
¹³⁷ Cs	3	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/2	870.51	172.36	0.42	0.20
	4	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/2	318.23	62.52	0.25	0.20
	7	HE40TA(φ45)	1995/2/2	886.83	183.75	0.43	0.21
	8	HE40TA(φ45)	1995/2/2	328.36	67.05	0.26	0.20
²⁰⁴ Tl	33	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/3	919.66	204.79	0.46	0.22
	34	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/3	909.08	207.33	0.46	0.23
	37	HE40TA(φ45)	1995/2/3	585.74	135.71	0.37	0.23
	38	HE40TA(φ45)	1995/2/3	597.94	139.63	0.38	0.23
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	43	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/3	376.63	93.89	0.31	0.25
	44	HE40T(φ45)はっ水処理	1995/2/3	387.24	98.53	0.32	0.25
	45	HE40TA(φ45)	1995/2/3	385.64	98.15	0.32	0.25
	48	HE40TA(φ45)	1995/2/3	317.61	79.25	0.28	0.25

表4-23 酸化ウラン面線源の計数効率(対放出率)

検出器 : プラスチックシンチレーション検出器(TOSHIBA RD372)

測定時間 : 1000 sec

放射性核種	線源番号	線源測定日	表面放出率 (cps)	計数率 (cps)	計数誤差 ±(cps)	計数効率
U ₃ O ₈ (φ45)*	協-1692	1995/2/2	51.68	32.32	0.18	0.31

* 27 mg/cm²のAl吸収板を線源表面に密着させて測定

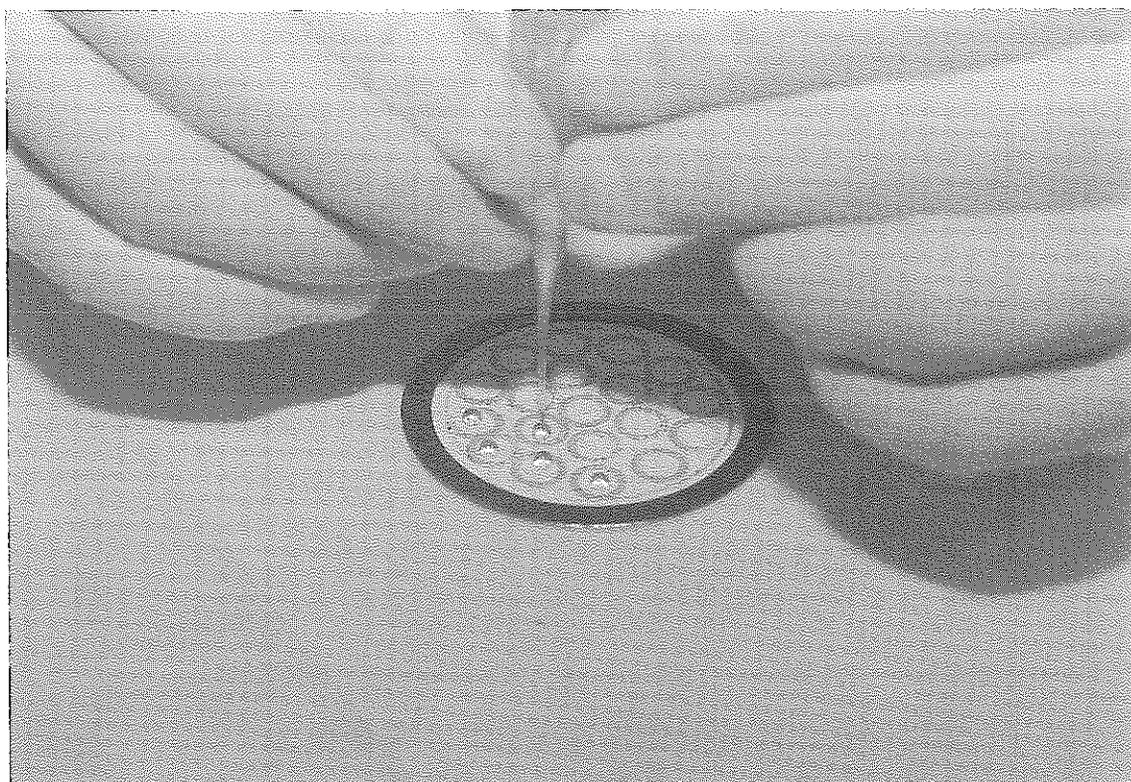


写真1 ピクノメータによる定量滴下作業

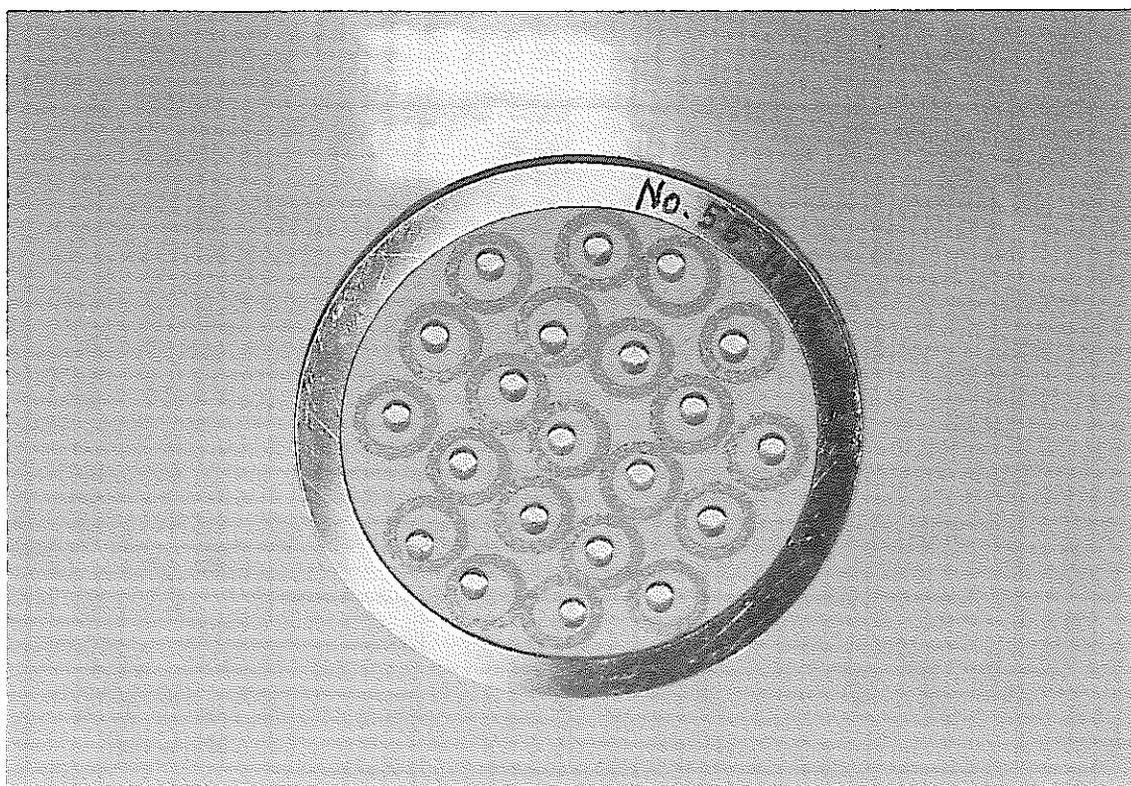


写真2 乾燥前の滴下線源の状態

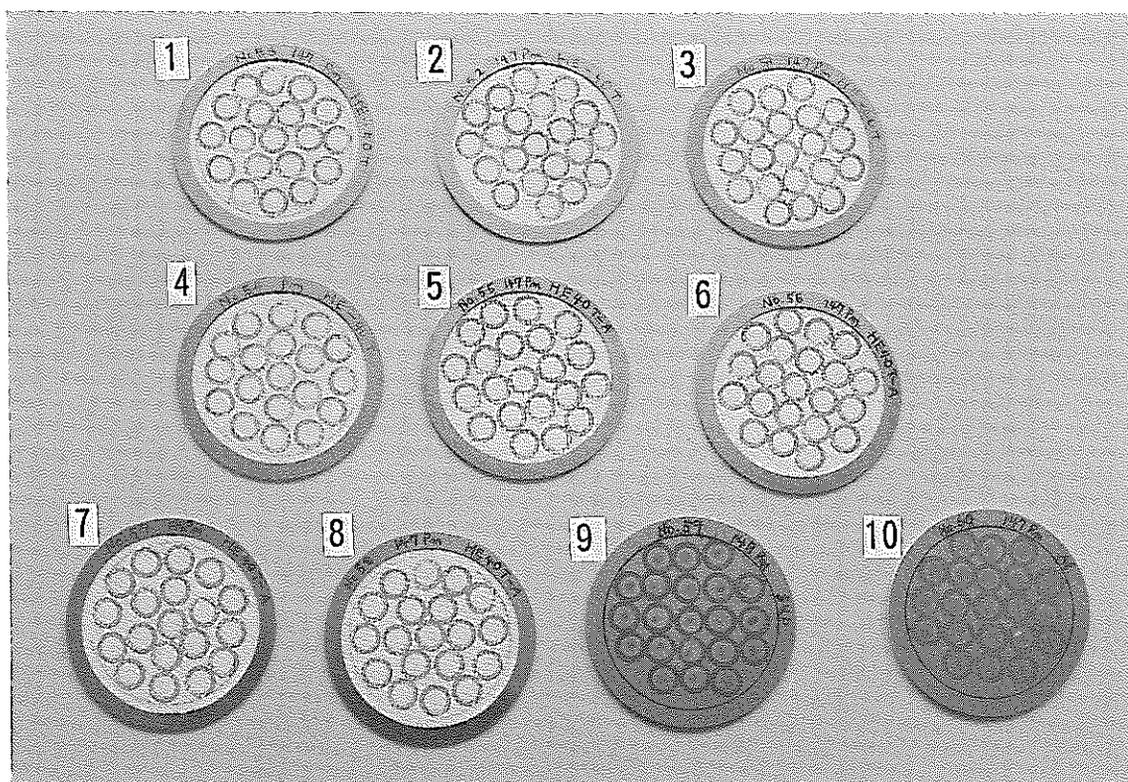


写真3 異なる材料を用いた滴下線源
(HE40T:1-4, HE40TA:5-8, ステンレス網板:9, アルミニウム板:10)

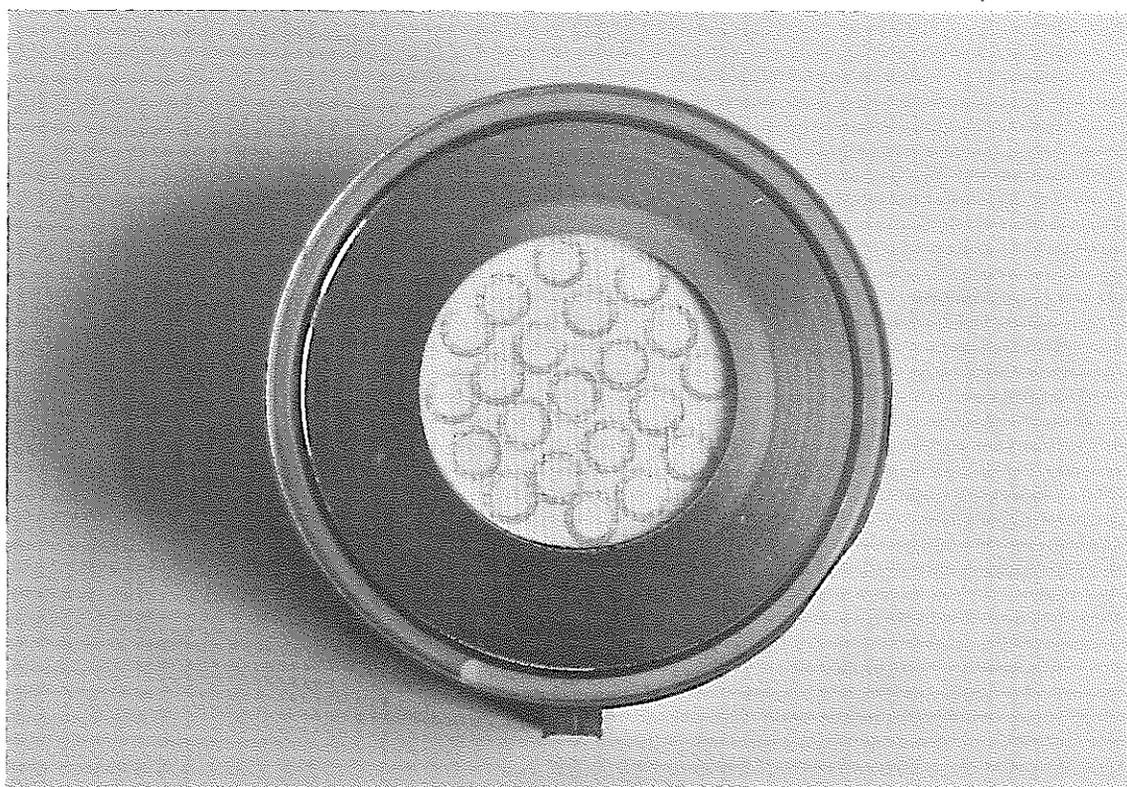


写真4 ホルダへの滴下線源の装着

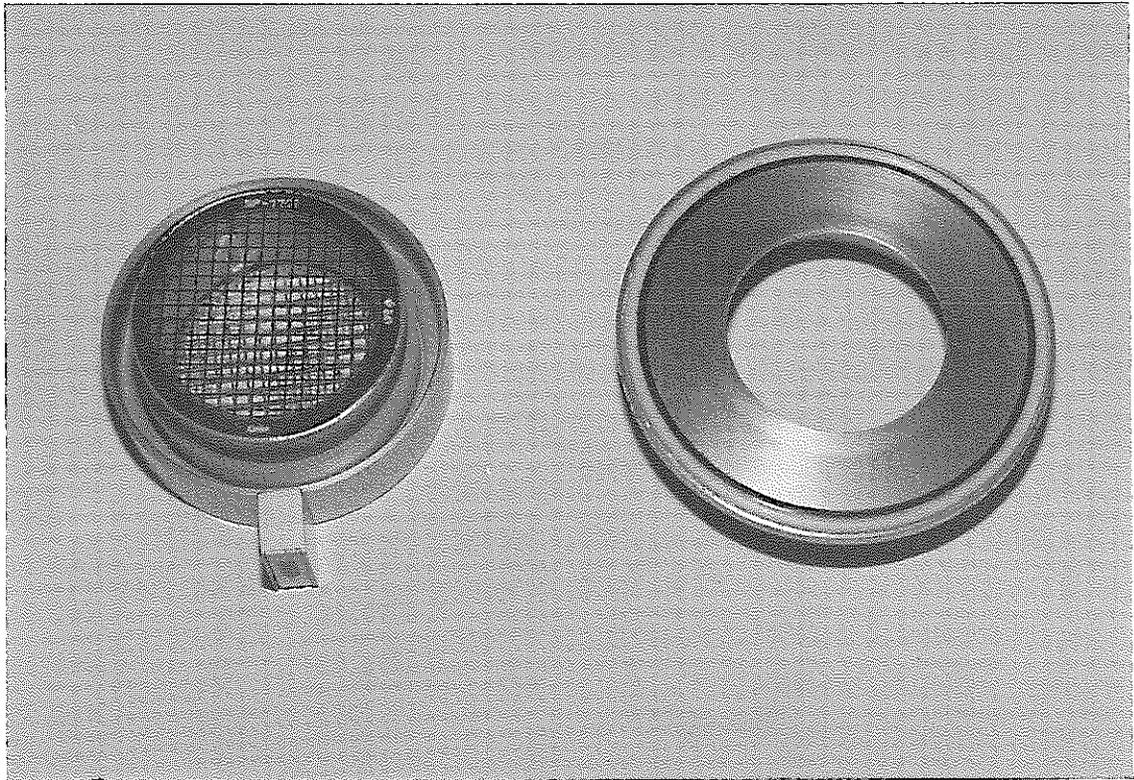


写真5 ダストモニタのホルダの構造

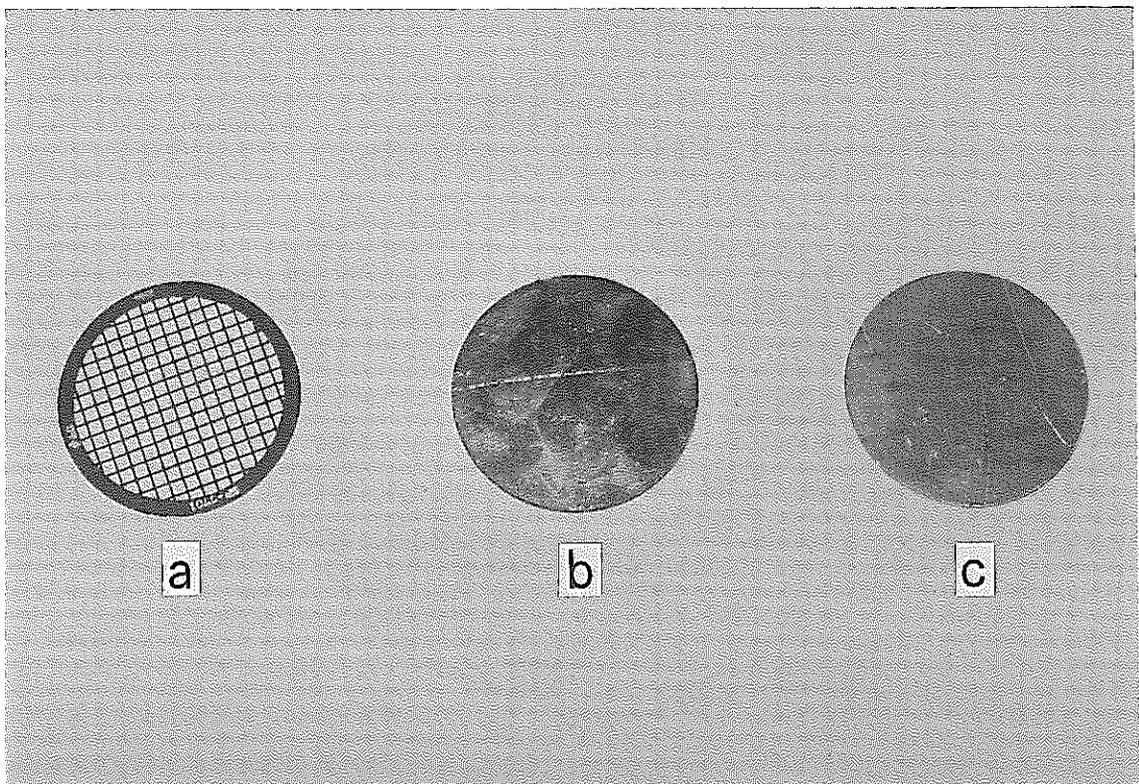


写真6 線源支持板の種類
(a:ダストモニタ専用支持板, b:ステンレス綱板, c:アルミニウム板)

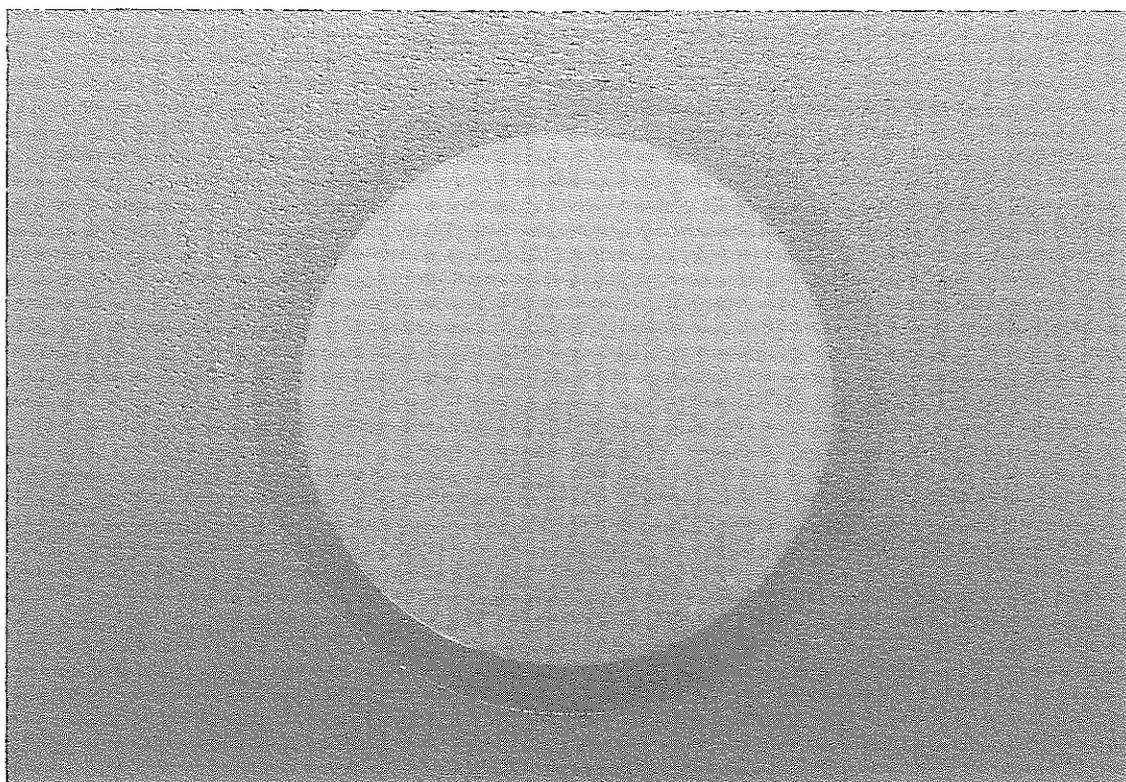


写真7 イオン交換膜線源を用いた模擬線源

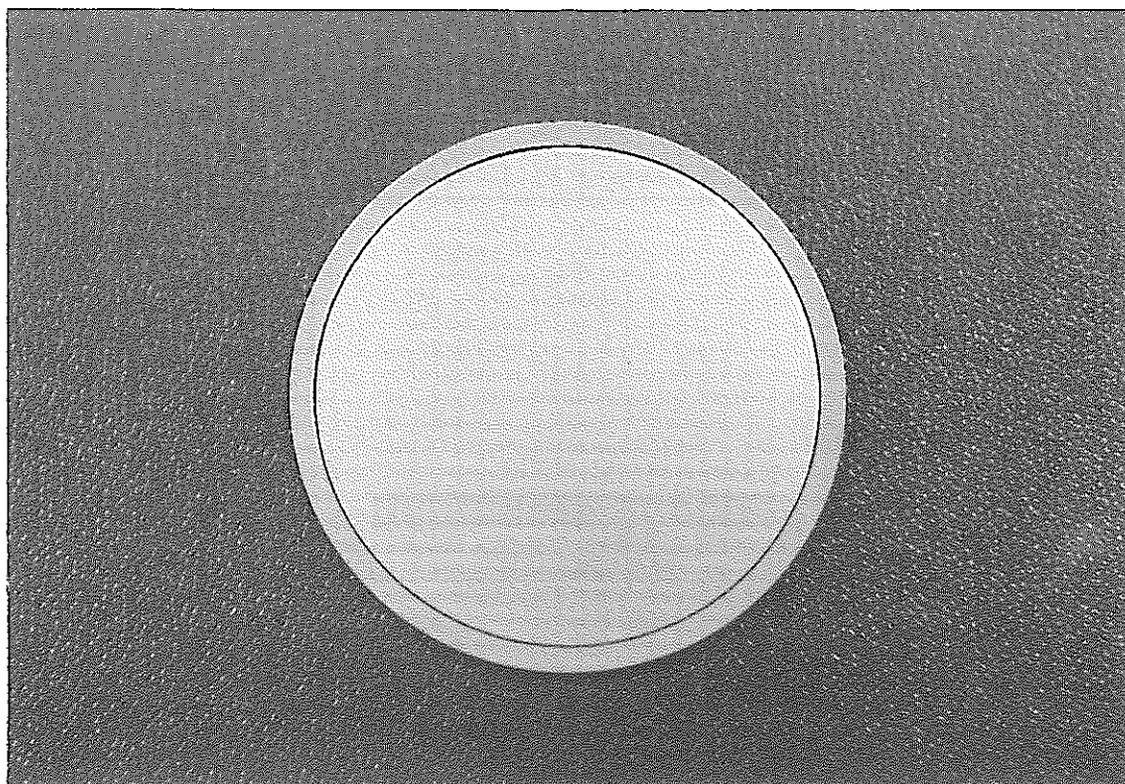


写真8 Amersham製陽極酸化アルミニウム線源

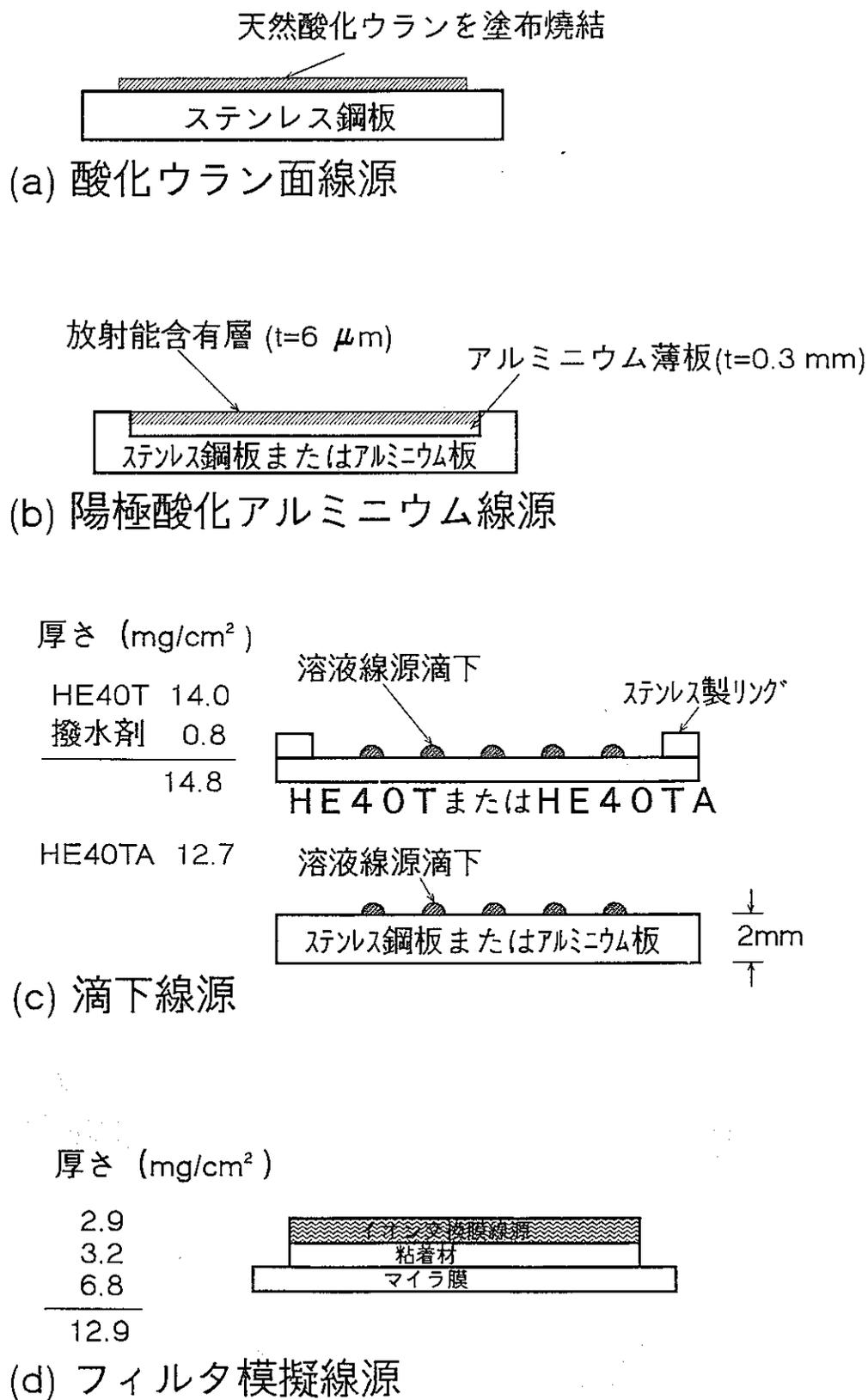


図 3-1 各種線源の構成

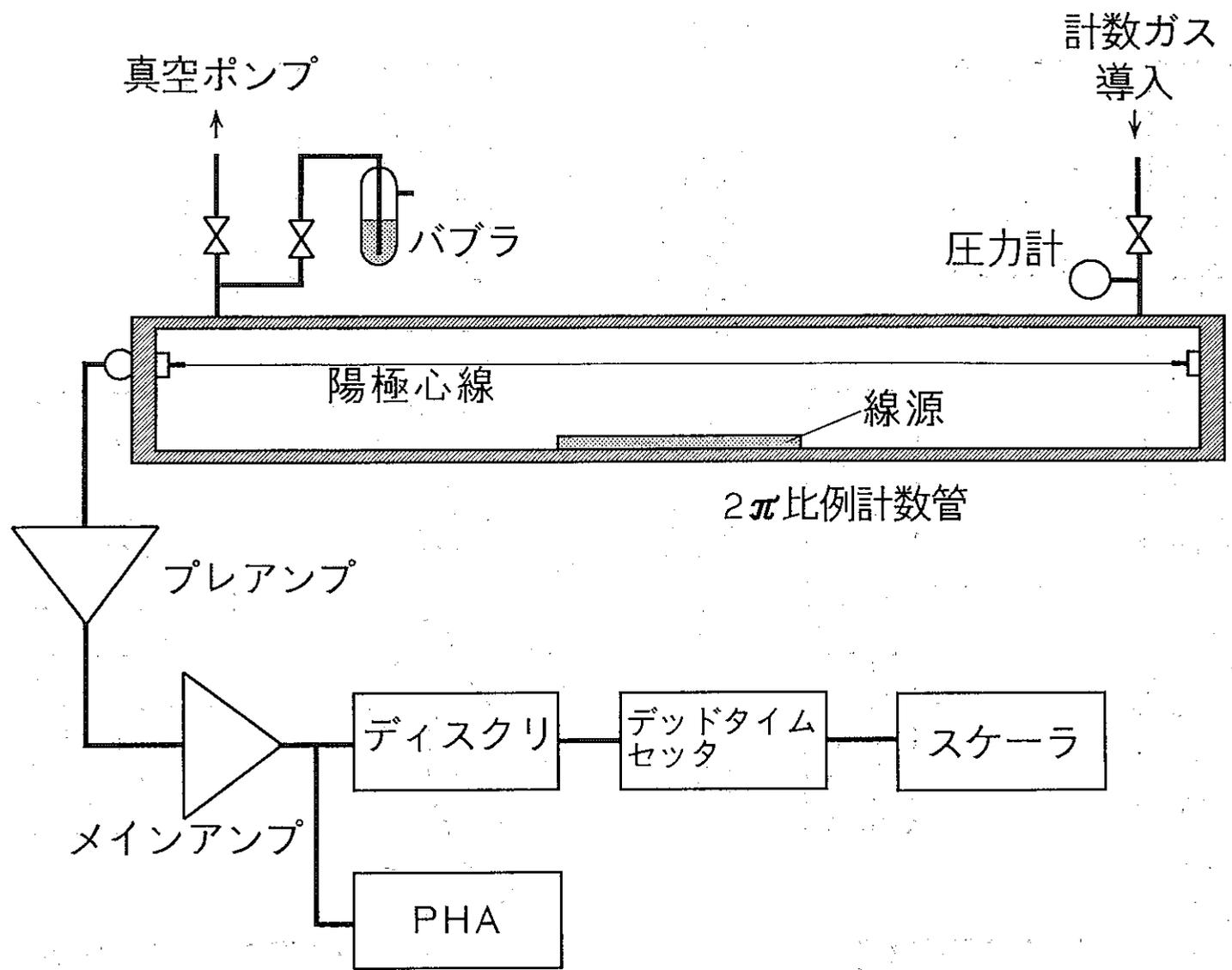


図3-2 表面放出率の測定系の構造

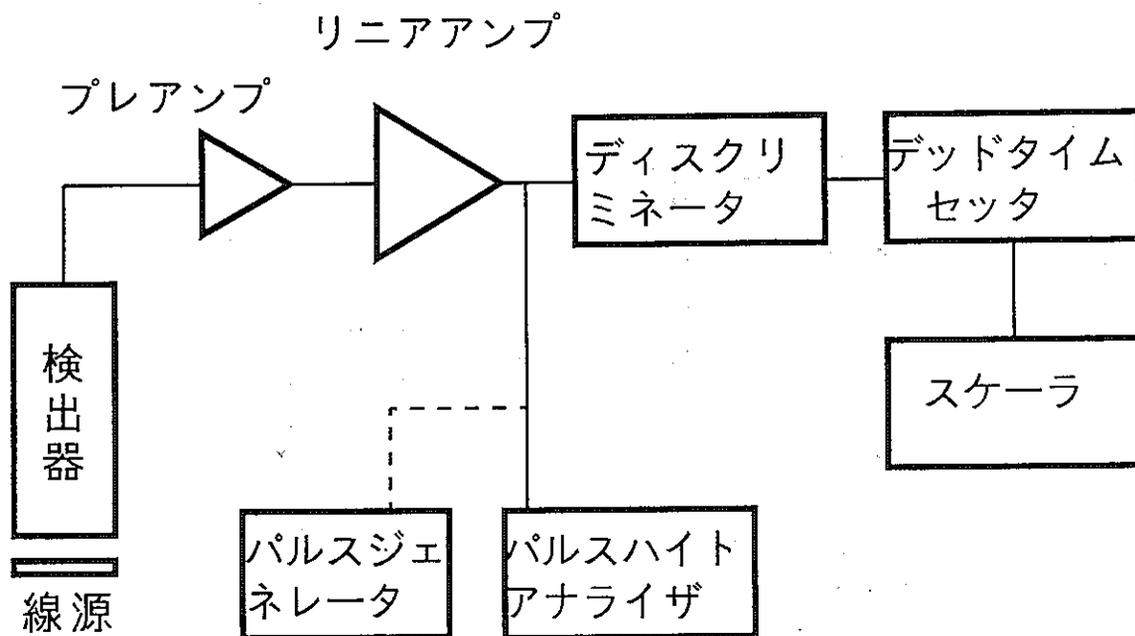


図4-1 (a) ダストモニタの測定系 (シンチレーション式)

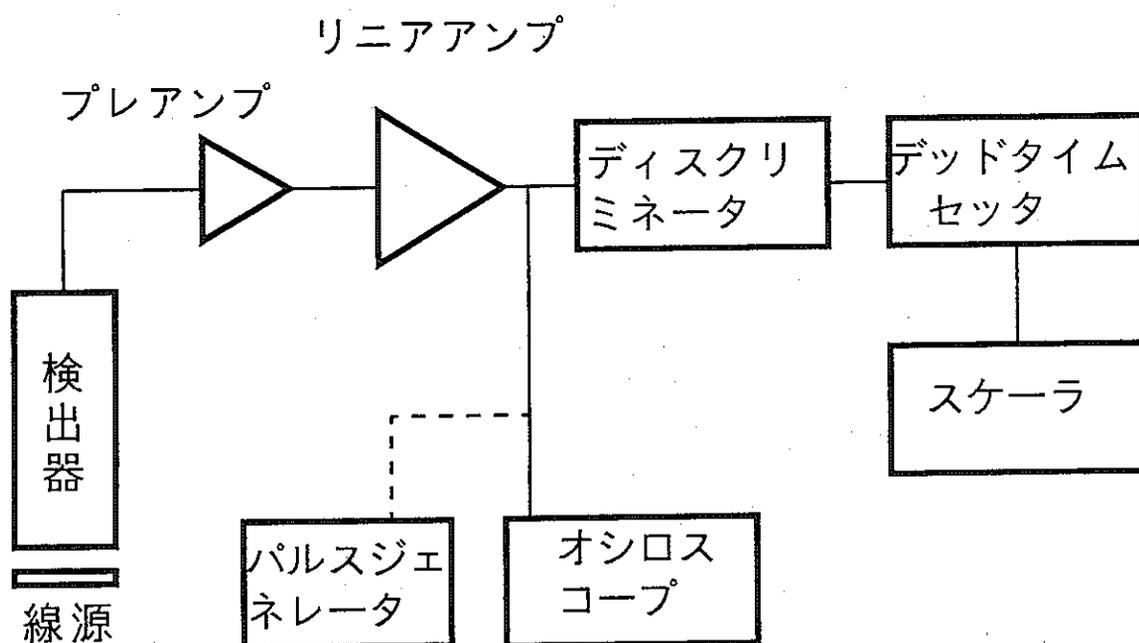


図4-1 (b) ダストモニタの測定系 (GM式)

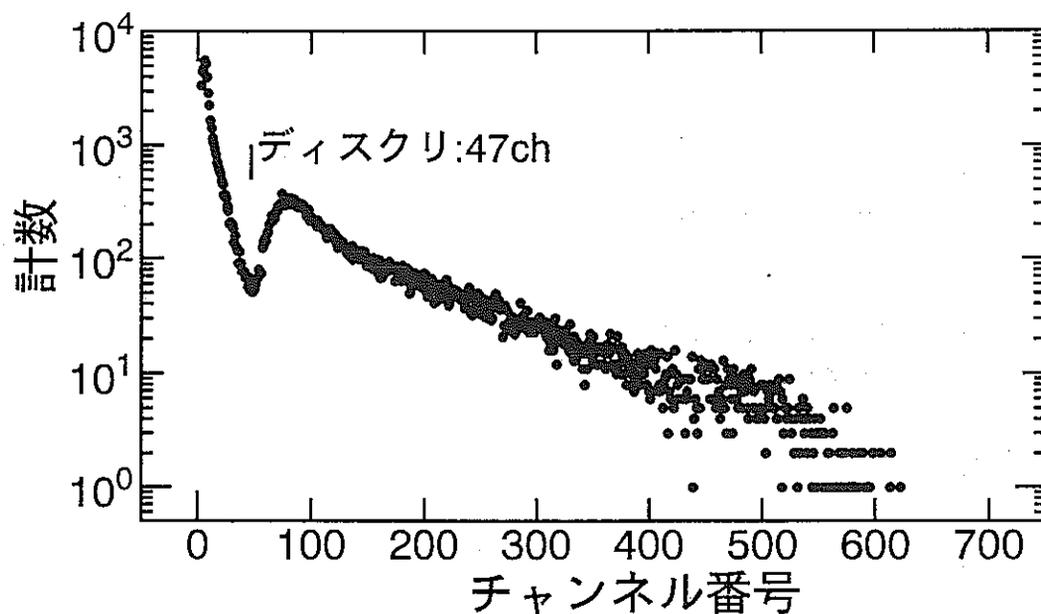


図4-2 (a) U_3O_8 β 線によるパルス波高分布
(原研シンチ使用)

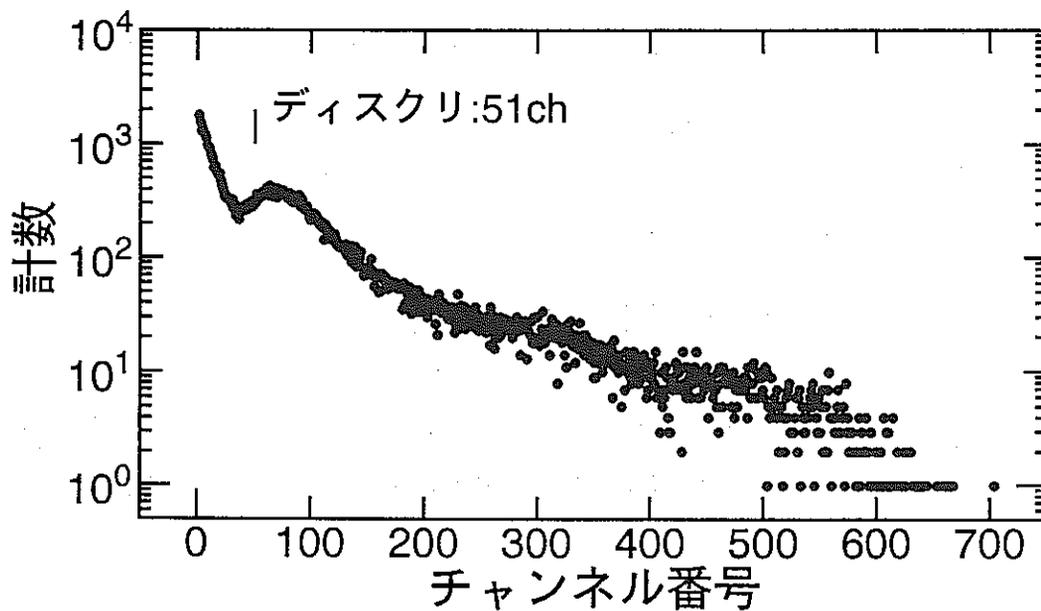


図4-2 (b) U_3O_8 β 線によるパルス波高分布
(動燃シンチ使用)

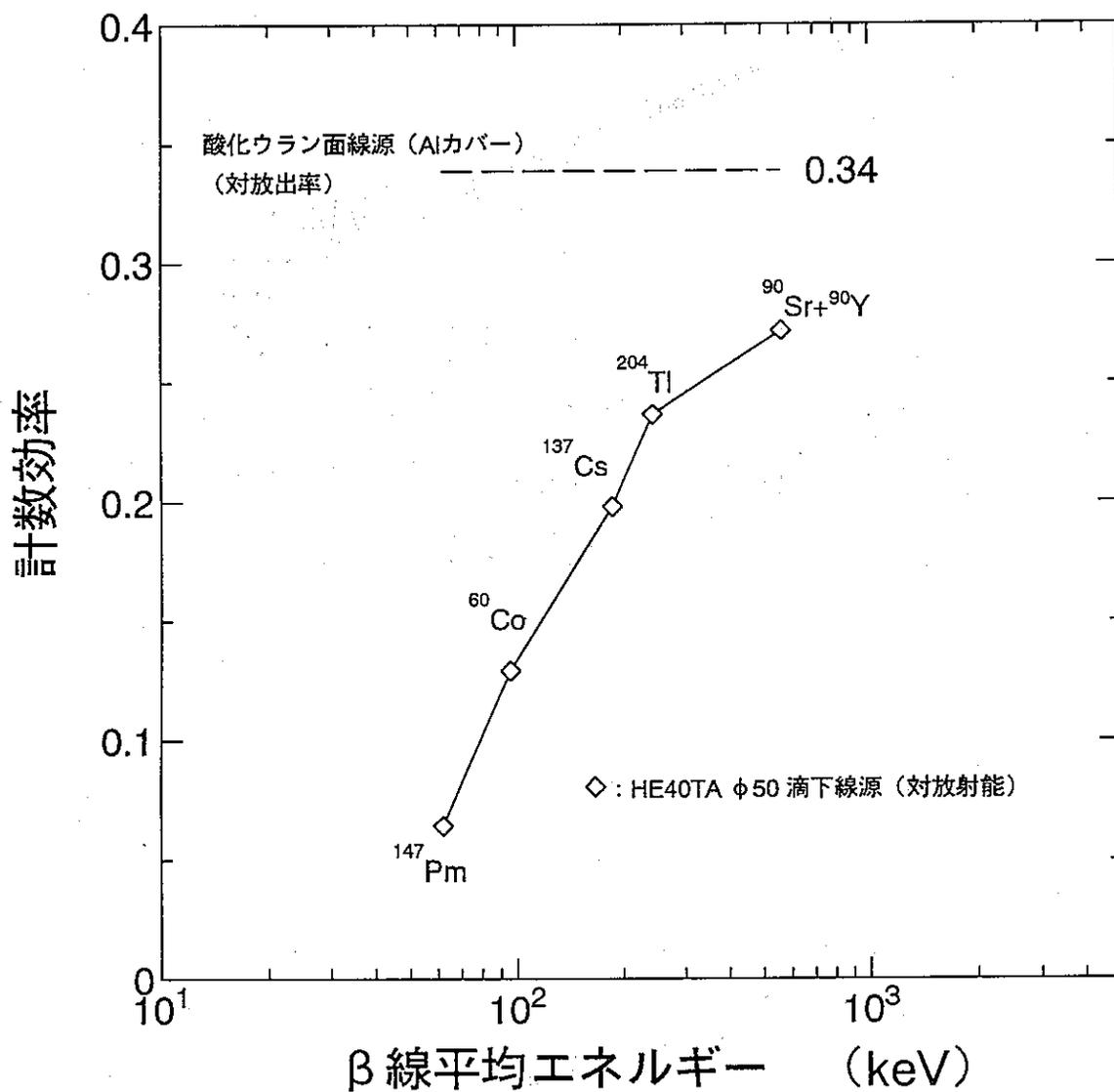


図4-3 フィルタ滴下線源と酸化ウラン面線源の計数効率の比較 (原研シンチ使用)

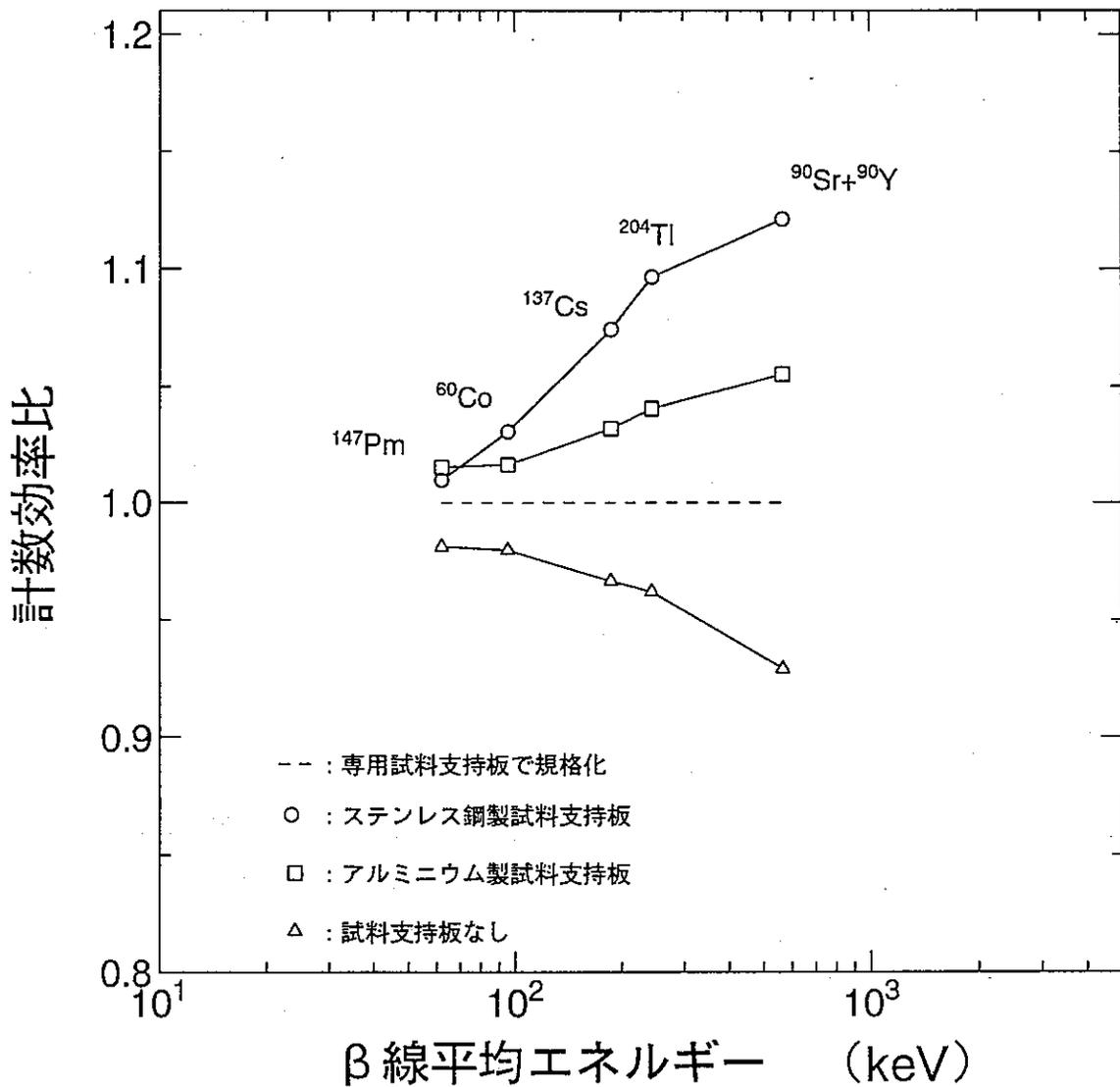


図4-4 HE40TA (φ50) 滴下線源 (対放射能) を用いて測定した試料支持板による後方散乱の影響 (原研シンチ使用)

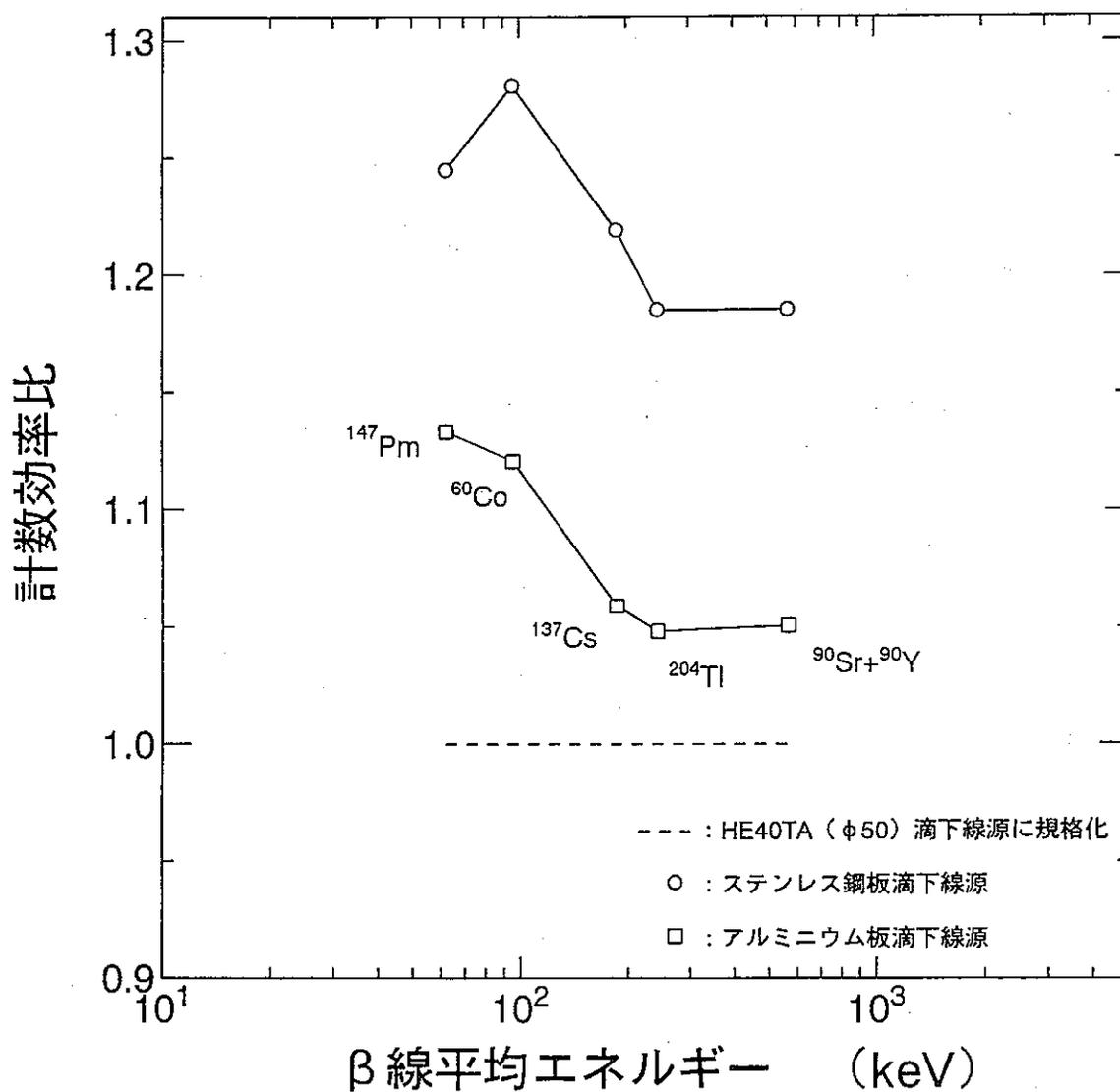


図 4-5 HE40TA (φ50) 滴下線源の計数効率に対するステンレス鋼板・アルミニウム板滴下線源の計数効率比 (対放射能) (原研シンチ使用)

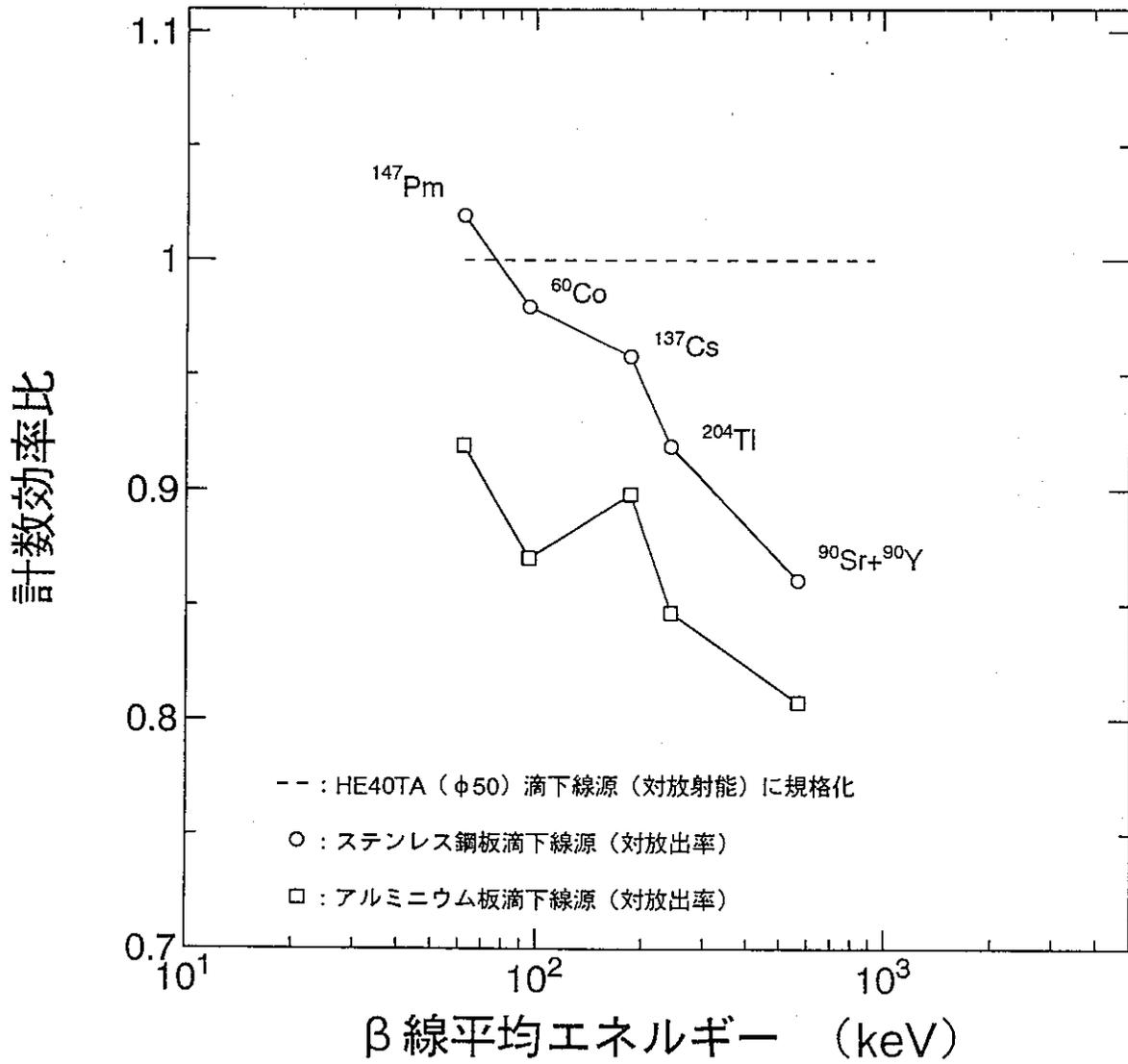


図4-6 バッキング材料による後方散乱の影響
(原研シンチ使用)

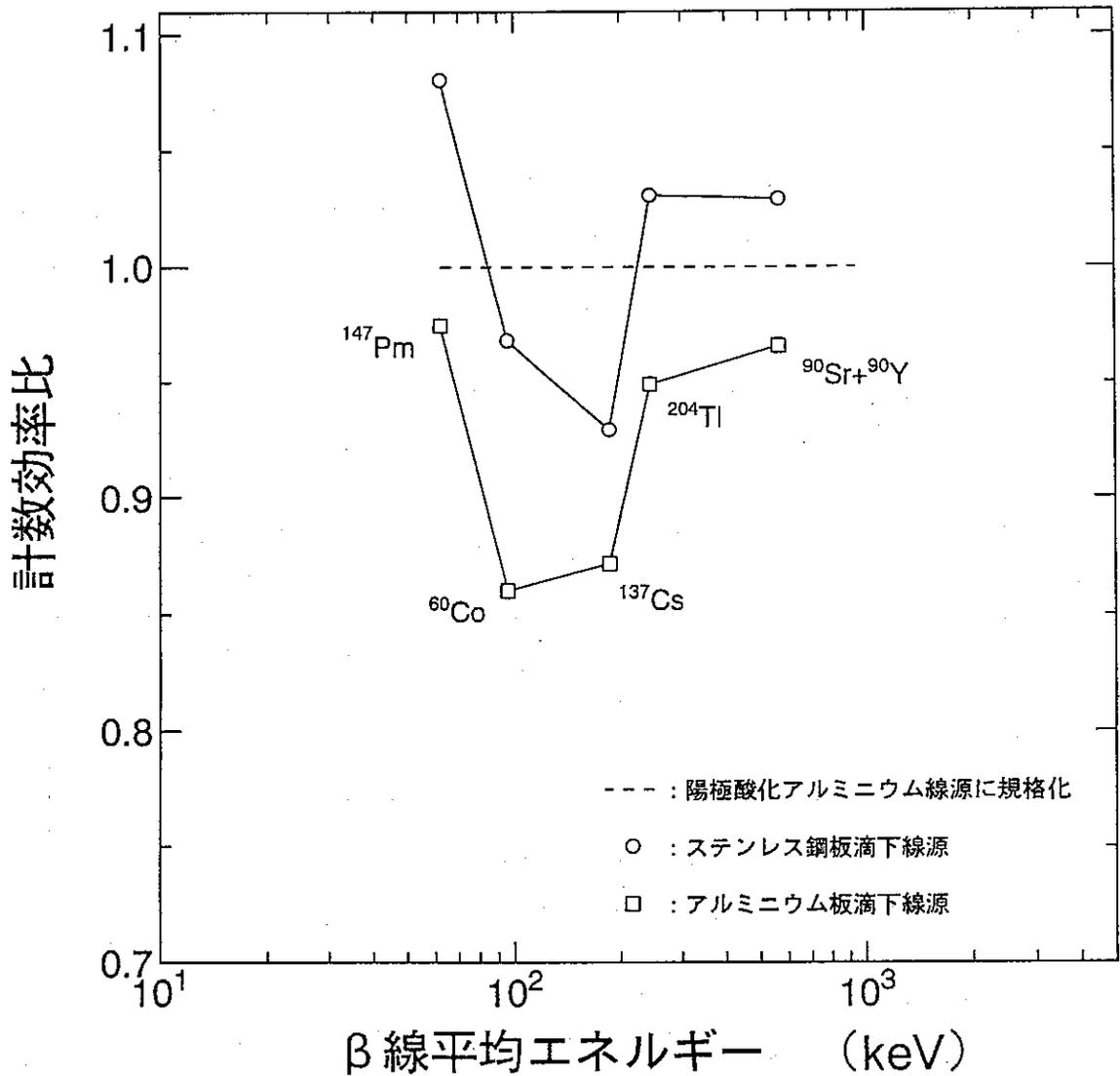


図4-7 陽極酸化アルミニウム線源の計数効率に対するステンレス鋼板・アルミニウム板滴下線源の計数効率比(対放出率)(原研シンチ使用)

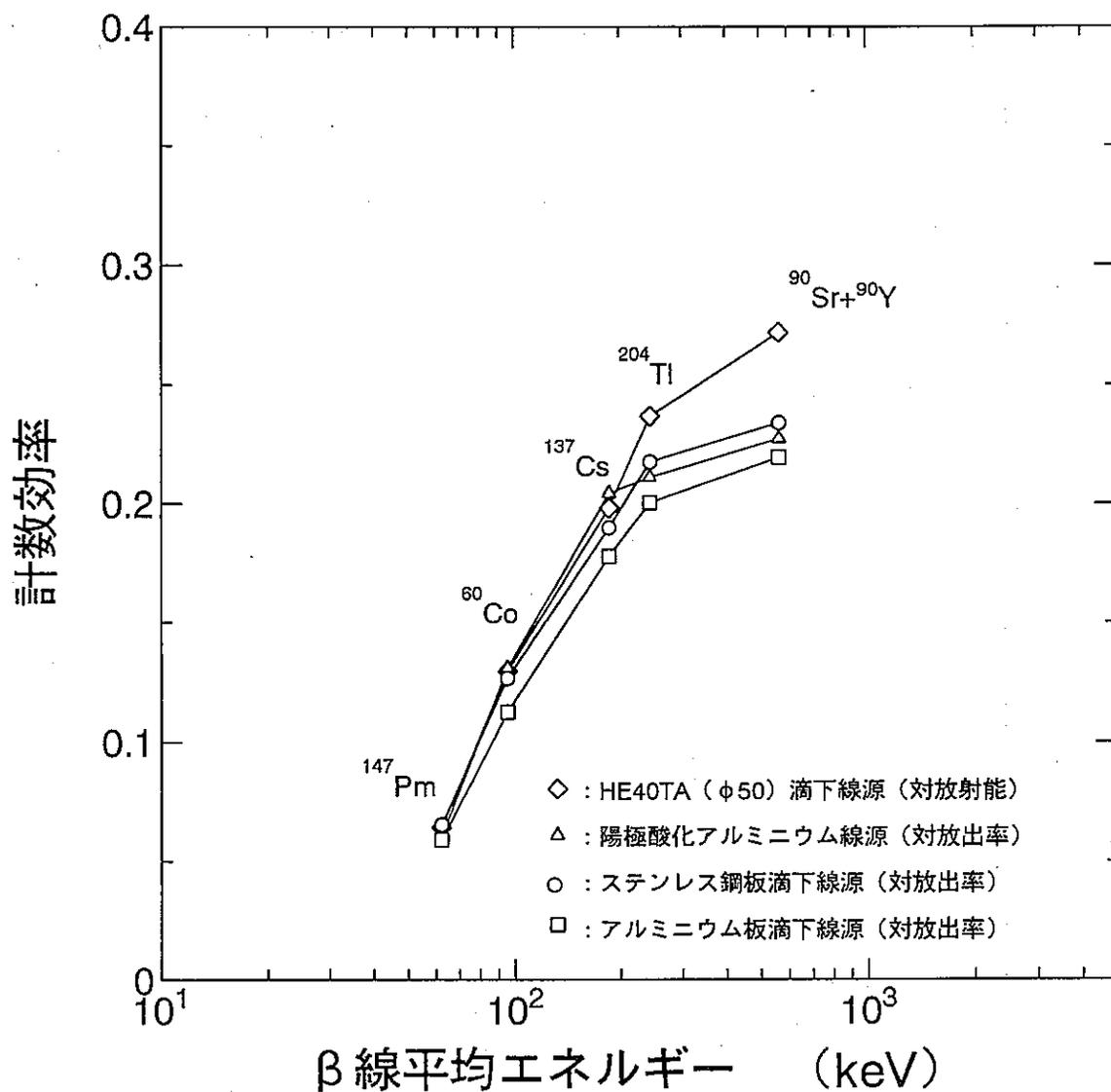


図4-8 各種線源に対する計数効率
(原研シンチ使用)

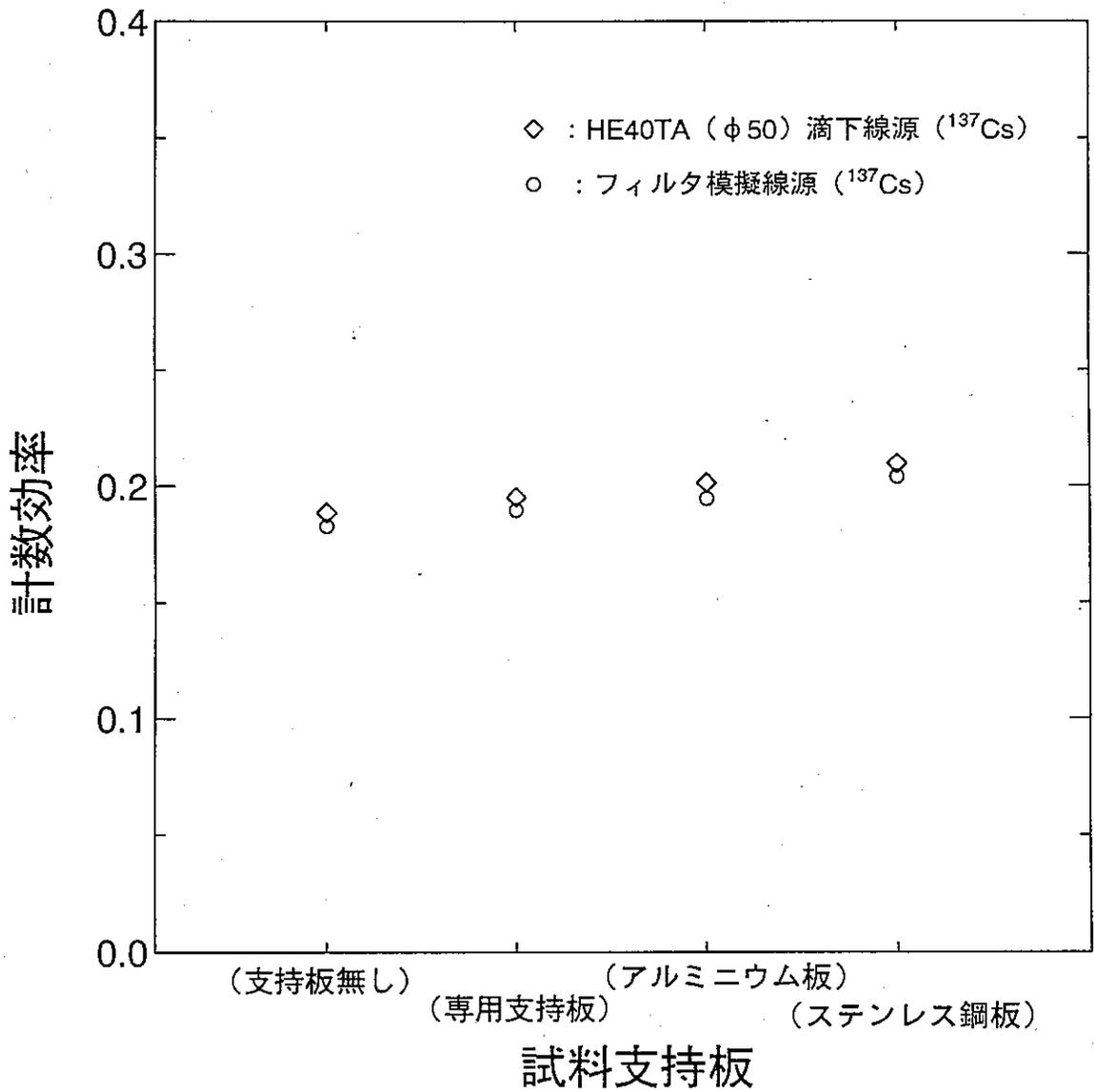


図4-9 フィルタ模擬線源、HE40TA (φ50) 滴下線源
に対する試料支持板による後方散乱の影響
(原研シンチ使用)

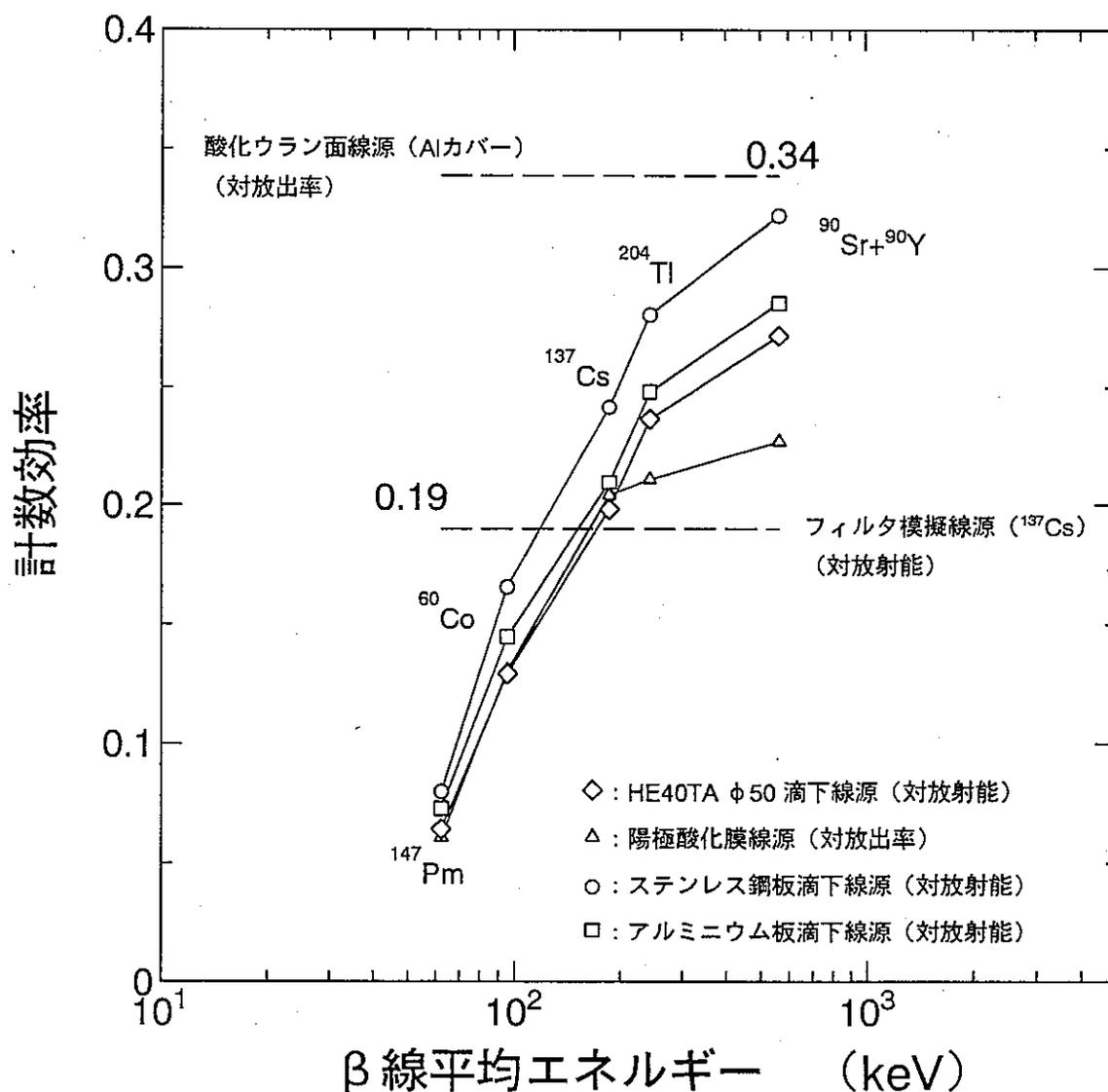


図 4-10 各種線源に対する計数効率 (原研シンチ使用)

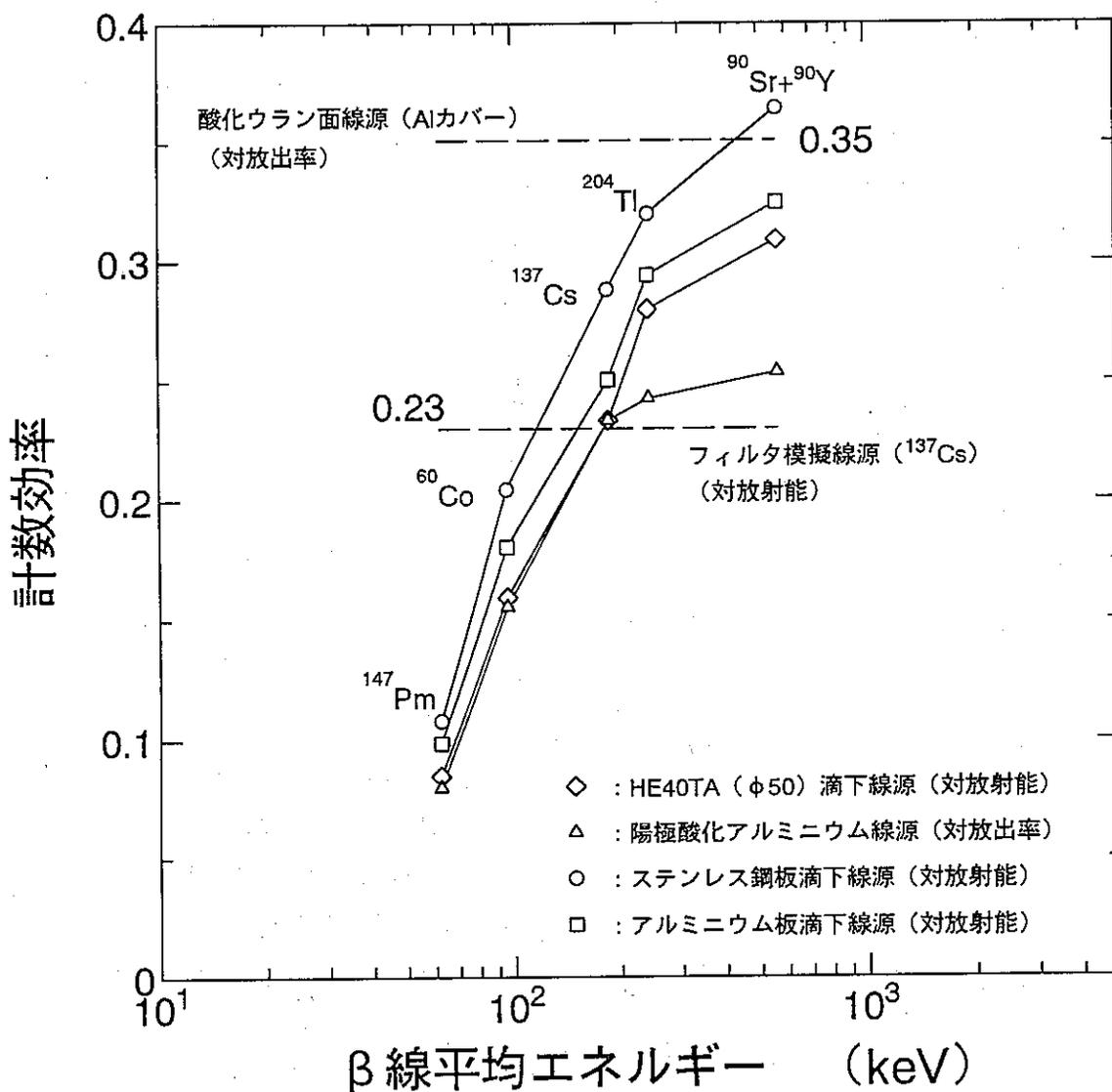


図4-11 各種線源に対する計数効率 (原研GM使用)

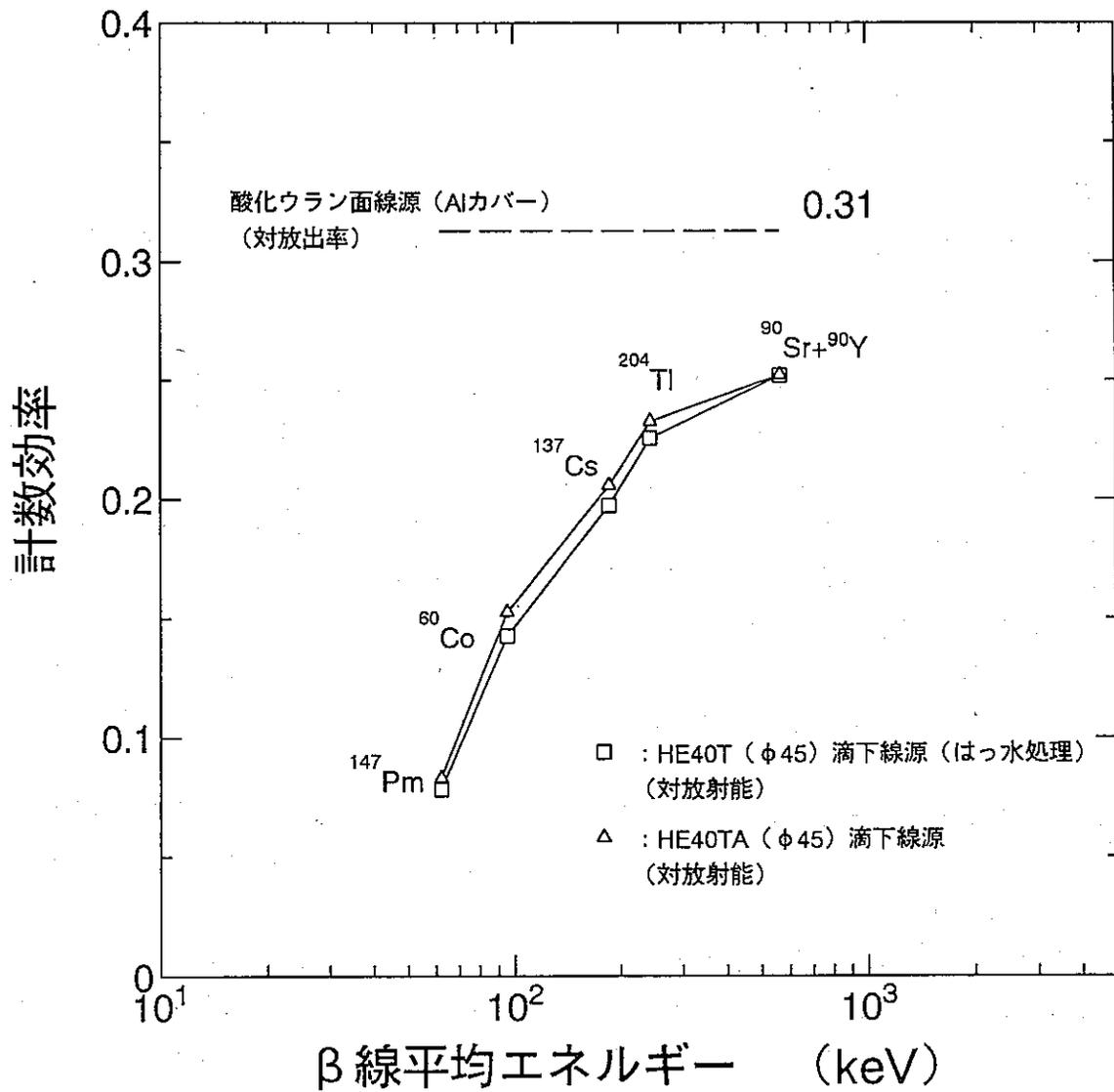


図4-12 フィルタ滴下線源と酸化ウラン面線源の計数効率の比較 (動燃シンチ使用)

[付録] ISO-8769(1988)

表面汚染計の校正のための基準線源—ベータ放出体
(ベータ線最大エネルギー0.15 MeV) とアルファ放出体

0 序

表面汚染は、非密封線源のこぼれ、飛散、漏れにより生じ、次のような健康障害を引き起こす恐れがある。

a) その表面に近い身体の局部被ばく

b) その表面から離脱した放射性物質の吸入、摂取あるいは傷口を通しての体内への侵入

表面汚染の効率的なモニタリングの必要性は、長年にわたり認識されてきた^[1]。表面汚染は、単位面積あたりの放射能の形で与えられる。この量は、誘導限度すなわち表面汚染の最大限度を明示するために用いられる。これらの限度は、放射線防護上の考慮に基づいており、ICRPにより勧告^[3]された線量当量又は摂取限度から誘導されてきた^[1, 2]。

過去においては、国ごと^[2]事業所ごと^[1]に誘導限度について考慮すべき違いがあった。誘導限度は、数々の規制文書に取りまとめられており、最近の調査^[4]では、特に表面汚染モニタリングに関する国の規制あるいは法律が多くの国々にあることが明らかになってきた。

本国際標準に対する要請は、「表面汚染計の校正に関する国際標準」における標準校正用標準線源の必要性に端を発している。特に、そうした校正用線源の使用は、ISO7503-1において求められている。

規制文書は単位面積あたりの放射能であたえられる表面汚染に関しているが、モニタリング機器のレスポンスは、表面上および内部に含まれる放射能というよりもむしろ、直接、表面から放出される放射線に関係している。実際には表面での吸収および散乱特性の相違によって、一般的に表面放出率と放射能との間に単純明解な関係があると仮定することはできない。放射能のみならず表面放出率で表される校正用線源の明確な必要性が生じる。本国際標準において、これらの用語は線源効率の概念の導入により関係づけられている。

校正用線源の国家標準に対するトレーサビリティは、移行機器 (Transfer instrument) によって確立されている。

1 適用の範囲および分野

本国際標準は、表面汚染計の校正のために、国家標準とトレーサビリティのある放射性表面汚染基準線源の特性を特定している。本国際標準は、アルファ放出体およびベータ線

最大エネルギーが0.15 MeV以上のベータ放出体に関するものである。また、これらの基準線源の表面汚染計の校正における使用上の手順については記述していない。そうした手順は、IEC325や他の文書で示されている。

本国際標準は、放射能および表面放出率（国家標準とトレーサビリティがあることが評価されている量）で示された十分な面積をもつ線源の様式で表面汚染計の校正のための基準放射線を示している。

2 参考文献

ISO 921, Nuclear energy glossary.

ISO 6980, Reference beta radiations for calibrating dosimeters and doserate-meters and for determining their response as a function of beta radiation energy.

ISO 7501-1, Evaluation of surface contamination - Part 1: Beta-emitters (maximum beta energy greater than 0.15 MeV) and alpha-emitters.

IEC Publication 50 (391), International Electrotechnical Vocabulary - Chapter 391: Detection and measurement of ionizing radiation by electric means.

IEC Publication 50 (392), International Electrotechnical Vocabulary - Chapter 392: Nuclear instrumentation - Supplement to chapter 391.

IEC Publication 325, Alpha, Beta and alpha-beta contamination meters and monitors.

3 用語の定義

国際標準の目的のために、ISO 921とIEC Publication 50 (391 & 392)に与えられる定義および次の定義を適用する。

3.1 放射能（ある時刻において特定のエネルギー単位にある放射性核種の量）：そのエネルギー単位からの時間 dt 内に自発核転移する数（ dN ）の期待値を表す量

SI単位： s^{-1} 。放射能のSI単位における名称はベックレル（Bq）（ $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ ）

3.2 表面放出率（線源の）：

線源面あるいは線源の窓から単位時間あたりに生じた特定のエネルギーを超える粒子の数

3.3 飽和層厚さ（均質な放射性物質でできた線源の）：

特定の粒子線の最大飛程に等しい媒質の厚さ

3.4 機器効率：

線源との特定の幾何学的条件において、機器の正味の読み値（単位時間あたりの計数）と線源の表面放出率（単位時間あたりに放出される粒子数）の比

NOTE-機器効率は線源により放出される放射線のエネルギーに依存する。

3.5 線源効率：

表面放出率と、単位時間あたりに線源内又は飽和層厚さ内において生成あるいは放出される同種の粒子の数との比

NOTE-この定義にしたがうと、線源効率は、0.5以上にはならないことが予想される。しかし、後方散乱粒子の寄与が、この値を有意に大きくし得る。

3.6 自己吸収（線源の）：

線源物質自体の内部で生じるアルファ又はベータ放射線の吸収

3.7 トレーサビリティ：

許容される又は特定の標準をより質の良い標準と順を踏んで比較することにより、測定器又は測定標準の妥当な校正を確立するという概念

一般に、トレーサビリティの概念は、結果的に、適当な国家又は国際標準と比較することを意味する。

3.8 不確かさ：

全般の不確かさについて、[5]を参照；本国際標準で述べられている全ての不確かさは、1標準偏差の水準である。

3.9 均一性（単位面積あたりの測定量で示されたある性質に関して表面の）：

表面にわたる性質の再現性の指標

単位面積あたりの表面放出率に関して線源の均一性を示すためには、その線源が等しい

面積の複数の部分で形成されていると考えること。その均一性は、全表面にわたる平均値に対する百分率として表される個々の部分の測定の標準偏差として示されること。部分の面積は、10 cm²又はそれ以下とすること。

均一性は、線源と検出器間にマスキングの板を挿入することにより、測定することができる。マスキング板は適当な大きさの穴を有し、放出される最大エネルギーの粒子を十分に吸収する厚さであるべきである。均一性についての情報により、線源の小さな面積部分をトレサビリティを保って使用することが可能となる。

4 基準線源のトレサビリティ

以下では、次に上げる事柄を保証している。表面汚染計の日常的な校正の分野で使用される実用校正標準は、基準線源や移行機器を用いてトレサビリティのつながりを明確にすることにより、国家測定標準と結びつけていられること。

基準線源は二つに分けること。

1次：

国家標準機関において、表面放出率に関して直接校正された基準線源。

2次：

認可された機関において、基準移行機器を使用して表面放出率に関して校正された基準線源。（基準移行機器の効率は、同一のジオメトリを使用し、同一の放射性核種でかつ一般的な構造をした1次基準線源を用いて校正して測定される。）

国家標準機関は、ある範囲の放射性核種に対する1次基準線源を保証する手段を機関独自の裁量で供給すること。1次基準線源の表面放出率は絶対測定法により測定される、例えば窓無しガスフロー比例計数管を使用する方法であり、あるいは絶対測定された線源を用いて校正された機器を使用する方法である。1次基準線源の放射能は、国家標準機関が認可した方法で製造者によって与えられる。

放射能表面汚染を監視するための機器の特性試験を行わなければならない機関は、適当な1次または2次の基準線源を入手する必要がある。そうした機器を校正しなければならない事業所は、同様の基準線源あるいは実用校正用線源を入手する必要がある。実用校正用線源の目的は、現場の表面汚染計を校正することである。実用校正用線源を、モニタが作動することを単に試験するにすぎないチェック線源と混同してはいけない。

表面汚染モニタリング機器の日常的な校正のために実用校正用線源を供給しなければならない事業所は、1次または2次の基準線源と比較して表面放出率に関して実用校正用線

源を校正するため、基準移行機器を利用しなければならない。実用校正用線源があるジグ内であるいは特定のジオメトリのもとで使用される場合、実用校正用線源の放出率を測定する基準移行機器は、基準線源を使用して同じ条件とジオメトリのもとで校正されていること。あるいは、実用校正用線源が、通常の方法で測定できるようにジグから取り外せること。校正するモニタの数が少ない場合や高度の正確さが求められる場合には、1次あるいは2次の基準線源を実用校正用線源として使用できる。

5 標準線源の仕様

5.1 一般

基準標準線源には2種類が考えられる。

- a) 放射性核種が片側の表面あるいは表面近傍にのみ付着し、導電性をもったバックング材から成る線源。(バックング材の厚さは、線源の背面を通過してくる個々の放射線の放出を妨げるのに十分であること。)
- b) その内部に放射性核種が均一に分布している材質の層から成り、その厚さは少なくとも飽和層の厚さに等しい線源。表面汚染モニタリングの目的上、線源の放射能は、飽和層厚さと等しい厚さの表層内に存在するものとして扱われること。

基準標準線源は、放射化学的に十分純粋であること。ベータ線を放出する不純物を調べるのは困難である。しかし、その存在は高分解能スペクトロメータ(例えばGe検出器)を使用し、関連する光子の放出を検出することによって推測しうる。また、注目する核種よりもより大きな最大エネルギー E_{max} を持つベータ線を放出する不純物を検出するために、残留ベータ線最大エネルギー $E_{r.}$ 。(ISO 6980参照)を決定することが可能である。

0.4 MeVよりも大きなあるいは等しいベータ線最大エネルギーを持つ線源は、0.25以上の効率をもつこと。0.15から0.4 MeVのベータ線最大エネルギーの線源やアルファ線放出線源は、0.05以上の効率をもつこと。

5.2 1次基準線源

5.2.1 一般的な必要要件

この国際標準に明示される必要要件に応じるため、1次基準線源は、線源自己吸収を最小にする方法を使用し、放射性核種が片側の表面あるいは表面近傍にのみ付着し、導電性をもったバックング材から成る面線源であること。有効面積は、少なくとも 10^4 mm^2 であること。推奨されるサイズは $100 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ である。バックング材の厚さは、後方散乱によって放出された個々の放射線の量がそれ以上厚さを増しても増加しない厚さであること。

一般的に使用されている材質に関し、推奨される最小のバックング厚さを表に示す。これらの厚さは、十分に線源背面を抜けてくる放射線が無視し得るものである。

線源には、以下の情報を与える校正成績書が添付されること。

- a) 以下に示すc) と同一の検定日に一致するよう計算された、線源内あるいは線源飽和層厚さ内の放射能
- b) 線源の有効面積
- c) 表面放出率、その不確かさと検定日
- d) 放射性核種と半減期
- e) 線源識別番号
- f) 均一性
- g) 線源の階級

製造者は、使用者に役立つその他の情報を与えることが可能もある。線源自身の表面には、放射性核種や線源識別番号を印すこと。

5.2.2 放射能と表面放出率

指定された大きさの1次基準線源の放射能は、バックグラウンド、統計誤差、デッドタイムといった誤差を最適にするため、表面放出率で2000から10000 s^{-1} となるようにする必要がある。放射能は国家測定標準とトレーサビリティのある方法で製造者によって求められること、また、 $\pm 10\%$ を越えない不確かさをもって定められること。表面放出率は、国家標準機関において $\pm 3\%$ を越えない不確かさをもって測定されること。

5.2.3 均一性

1次基準線源の表面放出率に関する均一性は、 $\pm 10\%$ より良いこと。

5.2.4 放射性核種

もし可能ならば1次基準線源は、ISO 6980の中で推奨されているように、以下に示す放射性核種から用意されるべきである。(1次基準線源に用いられるこれらの放射性核種の特性は、表に示される。)

- a) アルファ放出体： ^{241}Am
- b) ベータ放出体¹⁾： ^{14}C 、 ^{147}Pm 、 ^{204}Tl or ^{36}Cl 、 ^{90}Sr + ^{90}Y
- c) 他の放射性核種は、国家標準機関によってその都度承認されうる。

(もし、より高いベータ線のエネルギーが求められれば、 ^{106}Ru + ^{106}Rh が提示され

る。)

5.3 2次基準線源

5.3.1 一般的な必要要件

2次基準線源は、1次基準線源に対し示されるのと同様の一般的な必要要件に従うこと。
2次基準線源は、1次基準線源と同様の情報を明示し、校正成績書が添付されること。
(5.2.1参照)

5.3.2 放射能と表面放出率

指定された大きさの2次基準線源の放射能は、使用者が必要とするものであるべきであり、校正される機器と行なわれる特定の試験に依存する。2次基準線源の全放射能は、国家測定標準とトレーサビリティのある方法で製造者によって求められ、また、±10%を越えない不確かさで定められること。表面放出率は、基準移行機器を用いて決定され(6.1参照)、また、±6%を越えない不確かさで定められること。

5.3.3 均一性

2次基準線源の表面放出率に関する均一性は、±10%より良いこと。

5.3.4 放射性核種

2次基準線源は、1次基準線源に対して与えられた放射性核種と同じ核種の中から調製されること。

5.4 実用校正用線源

5.4.1 一般的な必要要件

実用校正用線源に対して示される詳細な必要要件は、使用者の責任とすること。実用校正用線源を明示するには、以下の点を考慮する必要がある。

- a) 実用校正用線源は、表面汚染計の日常的な校正に関し、機関の要求に応じた数量とさまざまな大きさが供給されること。
- b) 実用校正用線源は、検定日における表面放出率、放射性核種と識別番号を表示すること、また校正時及び使用時の詳細なジオメトリを添付すること。
- c) 実用校正用線源は、日常の取り扱いに耐えうる十分な強度をもつこと。
- d) 支障がなければ、実用校正用線源は基準線源に対して示される必要要件に可能なかぎり従うこと。

5.4.2 放射能と表面放出率

実用校正用線源の表面放出率は、使用者と製造者との間の合意のもとにあること。実用校正用線源の放射能は、製造者によって定められること、また、国家標準とトレーサビリティがあること。表面放出率は、同一の構成の1次または2次基準線源を使用して校正された基準移行機器で測定されていること。実用校正用線源の表面放出率は、適当な機器校正規定に示される不確かさに見合っていることが必要である。

5.4.3 均一性

実用校正用線源の均一性は、好ましくは2次基準線源に対して示されるのと同様であるべきである。(線源の不均一性がモニタの校正に影響を及ぼすことの一例が、[6]で与えられる。)

5.4.4 放射性核種

実用校正用線源は、使用者が必要とするアルファまたはベータ放出の放射性核種により調製されていること。

6 移行機器

6.1 基準移行機器

基準移行機器は、この国際標準で考慮されるエネルギー範囲にわたり0.5より大きい効率を持つ必要がある。100 mm×150 mmの測定面積にわたる応答のばらつきが、十分に無視できるような大きさのものであること。基準移行機器として推奨される機器の種類は、市販で入手できる大面積ガスフロー比例計数管であり、全ての保護網を外し、有効面積にわたり支えのない最大質量厚さが $1 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ の導電性の入射窓を有し、また、ガス調節器、高圧電源、プリアンプ、アンプ、波高弁別器、検出器を伴う。そして、それぞれに十分な仕様書が与えられている。電気的不感時間とバックグランド計数率について補正がなされること。

ベータ計数のしきい値は、590 eVの光子エネルギーに対応するように設定されること(^{55}Fe の崩壊にともなうMnの X_K 線のエネルギーの0.1倍)。アルファ計数に対し、しきい値は装置系の電気的ノイズの直上に設定されること。

6.2 校正

基準移行機器は、規制上の要求、運用規定あるいは他の勧告に従って、使用開始時及び使用中の決まった期間ごとに校正されること。基準移行機器の校正は、機関の責任であること。2次基準線源として利用できないベータ放出放射性核種が実用校正用線源として求められる場合、トレーサビリティは移行機器の効率の内挿によって維持される。しかしな

から、最大エネルギーが0.5 MeV未満のベータ放出体に対しては、内挿が大きな誤差を生じうる。(このエネルギー領域では、ガスフロー比例計数管の効率がエネルギーの関数として急激に変化する。) よって、適当な1次または2次基準線源の入手に最善を尽くすべきである。

参考文献

- [1] Monitoring of Radiactive Contamination on Surfaces, Technical Report Series No.120, International Atomic Energy Agency, Vienna (1970).
- [2] Safe handling of Radionuclides, Safety Series No.1, International Atomic Energy Agency, Vienna (1973).
- [3] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26. Ann. ICRP, 1, No. 3, Pergamon Press, Oxford (1977).
- [4] CHRISTMAS, P., International Committee for Radionuclide Metrology (ICRM), Teddington: unpublished report (1981).
- [5] Giacomo, P., Metrologia, 17, 1981.
- [6] BURGESS, P.H. and ILES, W.J., Radiation Protection Dosimetry, 5, No. 2, 1983: pp. 125-130.

表 1 次基準線源に用いる放射性核種の特性

放射性核種	半減期 (近似値) years	最大エネルギー keV	バックング表面		
			単位面積当たり の質量 mg・cm ⁻²	最小厚さ	
				アルミニウム mm	ステンレス mm
¹⁴ C	5730	156	22	0.08	0.03
¹⁴⁷ Pm	2.62	225	35	0.13	0.04
²⁰⁴ Tl	3.78	763	180	0.7	0.23
³⁶ Cl	300000	710	170	0.6	0.20
⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	28.5	2274	850	3.1	1.1
¹⁰⁶ Ru + ¹⁰⁶ Rh	1.01	3540	1300	4.8	1.7
²⁴¹ Am	432.6	5544	6	0.02	0.01