

PNC-PN8410-94-255

社内資料

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

[技術情報室]

## 新型電離箱式 $\beta/\gamma$ 線サーベイメータの特性評価

1994年8月

動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

転載、  
また今

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

社内資料

PNC-TN8410 94-255

1994年8月



## 新型電離箱式 $\beta/\gamma$ 線サーベイメータの特性評価

永井 博行<sup>\*1</sup>・青沼 利行<sup>\*1</sup>・児玉 浩一<sup>\*1</sup>  
大峰 守<sup>\*2</sup>・石田順一郎<sup>\*1</sup>

### 要旨

再処理施設においてセル内等の $\beta$ 線と $\gamma$ 線とが混在する場所で作業を行う場合、作業環境測定や作業者の被ばく管理において $\gamma$ 線のみならず $\beta$ 線についての測定、評価も重要である。 $\beta$ 線線量当量を測定する方法の一つとして、電離箱式サーベイメータを用いる方法があるが、 $\beta$ 線感度のエネルギー依存性が大きいことや $\gamma$ 線測定時に高エネルギーの $\beta$ 線が電離箱壁を通過して $\gamma$ 線として測定される等の問題があり、これまで十分な作業管理を行ったにもかかわらず予想外の高い被ばくを受けることもあった。そこで、 $\beta$ 線線量当量評価の精度向上を図るために、近年メーカーにより $\beta/\gamma$ 線測定用に開発された電離箱式サーベイメータの特性試験を実施し、そのデータを基にメーカーとの調整を図り、再処理施設の放射線管理業務への導入を検討した。また、従来から $\beta$ 線線量当量測定に使用している測定器についてもその特性を再評価した。

その結果、新型電離箱式サーベイメータは、再処理施設における $\beta$ 線及び $\gamma$ 線測定において有効であり、使用可能であることが明らかとなった。本報告書では、従来から使用している測定器の $\beta$ 線及び $\gamma$ 線に対するエネルギー特性、方向依存性等の特性を調査した結果も合わせて報告する。

\* 1 東海事業所安全管理部放射線管理第二課

\* 2 大洗工学センター安全管理部

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 電離箱式サーベイメータを用いた $\beta$ 線線量当量測定の現状 .....	2
3. 電離箱式サーベイメータ(新、旧)の仕様 .....	5
4. 特性試験内容 .....	11
4. 1 エネルギー特性 .....	11
4. 2 方向依存性 .....	11
4. 3 $\beta/\gamma$ 線混在場での $\beta/\gamma$ 線弁別性能 .....	12
4. 4 フィールド試験 .....	12
5. 特性試験結果 .....	14
5. 1 エネルギー特性 .....	14
5. 2 方向依存性 .....	16
5. 3 $\beta/\gamma$ 線混在場での $\beta/\gamma$ 線弁別性能 .....	22
5. 4 フィールド試験 .....	24
6. まとめ .....	27
7. 今後の予定 .....	29
8. 参考文献 .....	30
謝 辞 .....	31

## 1. まえがき

再処理施設でのセル内等で、FPからの $\beta$ 線と $\gamma$ 線とが混在する作業場では、作業環境測定や作業者の被ばく管理において $\gamma$ 線のみならず $\beta$ 線についての測定、評価も重要である。これまで $\beta$ 線線量当量評価として、特殊放射線作業における事前の被ばく評価においては、①過去の同種作業における経験値、②電離箱式サーベイメータによる作業環境の測定値、③TLDによる作業環境の測定値等を状況に応じて用いている。また、作業中は、適時電離箱式サーベイメータによる作業環境の測定を実施し、線量当量率の変化を把握している。しかし、従来から使用してきた電離箱式サーベイメータは $\beta$ 線感度のエネルギー依存性が大きいことや $\gamma$ 線測定時に高いエネルギーの $\beta$ 線が電離箱壁を通過してしまい $\gamma$ 線として測定されること等の問題点があり、その結果、十分な作業管理を実施したにもかかわらず、作業状況の変化（ $\beta$ 線エネルギーの事前評価時との変化等）によっては予想外の高い被ばく線量当量を受けることもあった。

そこで、 $\beta$ 線線量当量評価の精度向上を図るため、近年メーカーにおいて $\beta/\gamma$ 線測定用に開発された電離箱式サーベイメータの特性試験を実施し、そのデータを基にメーカーとの調整を図り、再処理施設の放射線管理業務への導入を検討した。また、従来から $\beta$ 線線量当量測定に使用してきた測定器についても合わせてその特性を再評価した。

## 2. 電離箱式サーベイメータを用いた $\beta$ 線線量当量測定の現状

再処理施設において $\beta$ 線線量当量測定用としてこれまで使用してきた電離箱式サーベイメータはネスコ社製 808型 (808A、808-DDE) であり、測定は前面の $\beta$ 線入射窓の開閉時の指示値の差に、換算係数を乗じて70 $\mu\text{m}$ 線量当量率を求めている。

サーベイメータの指示値と70 $\mu\text{m}$ 線量当量率との関係は、

$$\begin{aligned} H_{70} (\mu\text{Sv}/\text{h}) &= Q \times D_{70} (\mu\text{Gy}/\text{h}) \\ &= Q \times R \beta (\mu\text{Sv}/\text{h}) \times K \end{aligned}$$

であり、ここで

$H_{70}$  : 70 $\mu\text{m}$ 線量当量率

$D_{70}$  : 70 $\mu\text{m}$ 吸収線量率

$Q$  : 線質係数 ( $\beta$ 線に関して 1)

$R \beta$  :  $\beta$ 線に対するサーベイメータの指示値 ( $\beta$ 線入射窓の開閉時の指示値の差)

$K$  : 指示値から70 $\mu\text{m}$ 線量当量率への換算係数

である。

換算係数としては、<sup>1)</sup>

1) 線源（汚染皮膚面を含む）の表面の70 $\mu\text{m}$ 線量当量率を求めるときは、図-1<sup>2)\*1</sup>に示した値を用いる。なお、10mm離して測定しても、図-1の換算係数を乗じて得られる値は、あくまでも線源表面での値である。

2) 点（または点とみなしえる面または体積）線源から離れた位置（線源表面から検出器間の距離 $\geq$ 線源の見掛けの直径）の70 $\mu\text{m}$ 線量当量率を求めるときは、図-2<sup>3)\*1</sup>に示した値を用いる。ただし、線源のエネルギーが不明の場合は、使用済燃料ごとの $\beta$ 線最大エネルギーの平均値である0.8MeV<sup>\*2</sup>として算出した6を用いる。

また、図-2において備後ら<sup>3)</sup>は、 $\beta$ 線最大エネルギーと換算係数との関係が実線、点線いずれかの型になるのかは、校正用線源の種類が少なく、決定できないとしている。しかし、実線型で評価したほうが安全側に評価するとしており、実線型の換算係数を採用するほうが実際的としている。

\* 1 須賀ら<sup>2)\*3)</sup>によって試験されたサーベイメータには808型は含まれていないが、試験されたサーベイメータが808型と同様電離箱式の検出部であり、かつ試験されたサーベイメータがすべてほぼ同様なエネルギーレスポンスを有していることから、808型についても須賀らによって試験されたサーベイメータと同様なエネルギーレスポンスを有すると考える。

\* 2 「 $\beta$ 線被ばくの防護対策に関する手引（改訂版）（PNC N852-83-23）」において、燃料（島根1号、美浜1号、玄海（A）、玄海（B）及び定格燃料）ごとの $\beta$ 線最大エネルギーの平均の値から算出されている値。

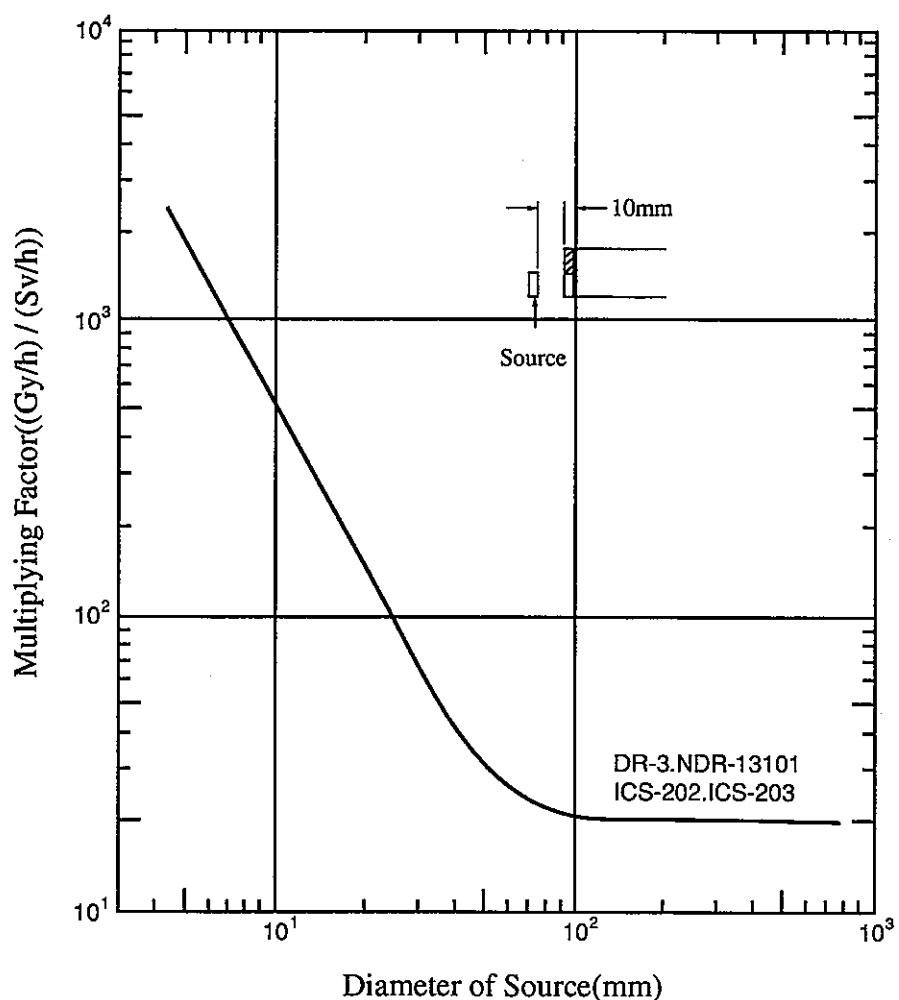


図-1 換算係数と線源の直径との関係

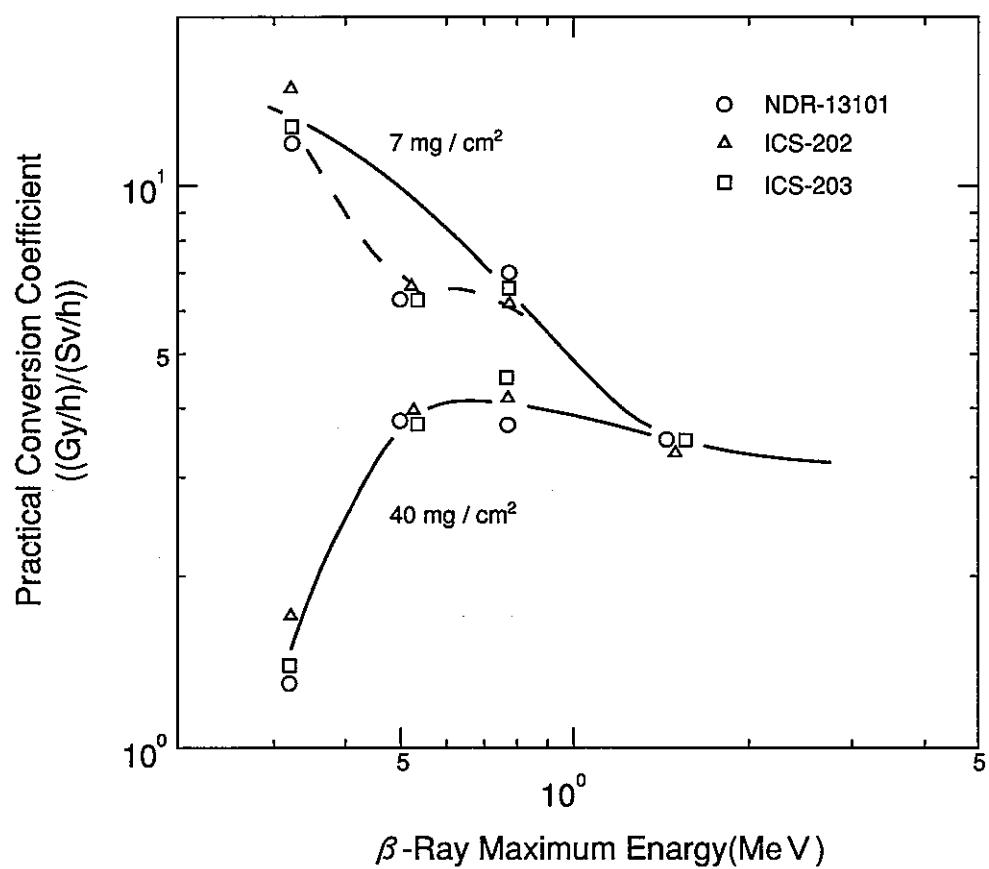


図-2 換算係数と $\beta$ 線最大エネルギーとの関係

### 3. 電離箱式サーベイメータ（新、旧）の仕様

平成3年度に実施した $\beta$ 線線量当量測定に関する動向調査の結果を踏まえ、メーカーにおいて開発された新型電離箱式サーベイメータの特性試験を実施し、そのデータを基にメーカーとの調整を図り、再処理施設への導入を図った。

新型の電離箱式サーベイメータは、用途に応じて2種類（808-BG/65、808-BG/20）である。808-BG/65は $\beta$ 線（70μm線量当量率）も $\gamma$ 線（1cm線量当量率）も測定可能であり、現在使用している808-DDEと同等の線量当量率の測定範囲が得られる機器である。また、808-BG/20は $\beta$ 線線量当量率測定用として開発され、 $\beta$ 線のエネルギー特性を808-BG/65よりも向上させた機器である。ただし、 $\gamma$ 線測定に関しては、考慮されていない。808-BG/20は $\beta$ 線のエネルギー特性を向上させるため、検出器の深さを808-BG/65の65mmから20mmとしており、そのため検出器の容量が小さく、最小測定レンジが100μSv/hレンジからと808-BG/65及び808-DDEに比べると大きくなっている。

$\beta$ 線膜厚については、808-BG/65及び808-BG/20が808-DDEよりも低い $\beta$ 線エネルギーまで測定可能とし、808-DDEでは $\gamma$ 線のエネルギー特性を向上させるために検出器内面に貼られていたアルミニウム膜のうち前面部分を取り外し、従来よりも膜厚を薄くしている。

$\beta$ 線の入射部は、 $\beta$ 線に対する感度を考慮して、808-DDEが前面の一部であったのに対して、808-BG/65及び808-BG/20は前面の全部としている。

測定方法は、 $\beta$ 線入射窓を閉じて $\gamma$ 線線量当量率を測定し、開いて $\beta$ 線線量当量率と $\gamma$ 線線量当量率を合わせて測定する。 $\beta$ 線線量当量率は、開いたときと閉じたときとの指示値の差から求める。

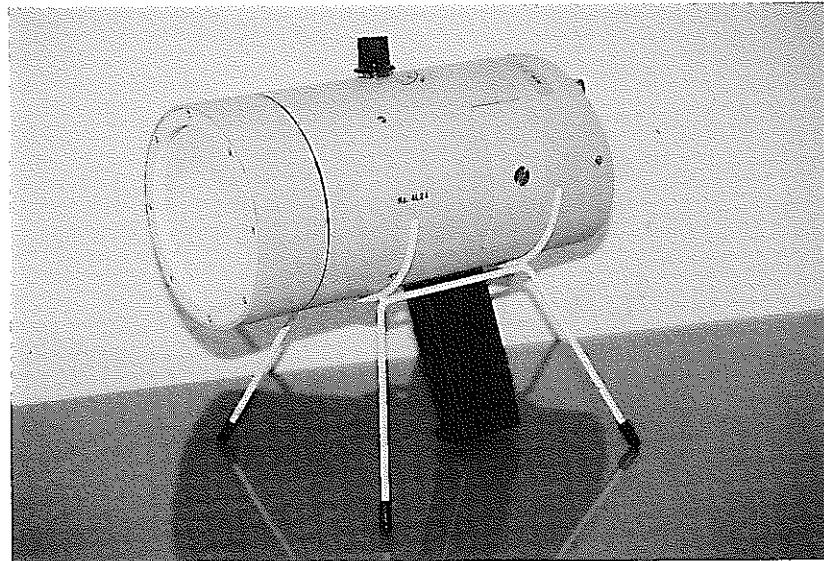
また、サーベイメータの材質を変えることにより軽量化を図っている。

なお、808-BG/65については $\gamma$ 線に関するエネルギー特性及び方向依存性についてその仕様値がJISの規格を満足している。808-BG/20については、メーカーにおいて $\gamma$ 線に関する仕様が提示されていない。

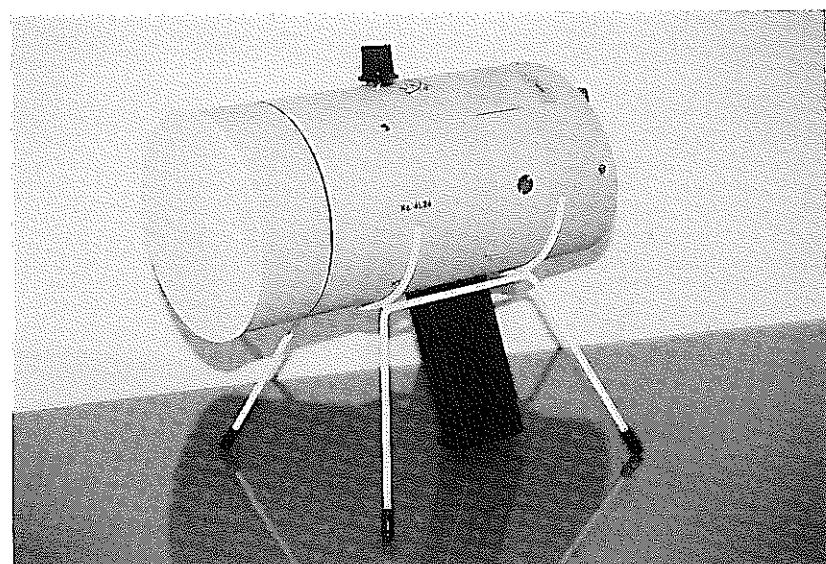
表-1にこれら新旧電離箱式サーベイメータの主な仕様<sup>4)</sup>を示す。また、図-3に外観、図-4に新型電離箱式サーベイメータの検出器内部の構造<sup>5)</sup>を示す。

表-1 電離箱式サーベイメータ(新・旧)の主な仕様

項目	808-BG/65	808-BG/20	808-DDE
測定対象 $\gamma$ ・X線 $\beta$ 線	1 cm線量当量率 70 $\mu\text{m}$ 線量当量率	— 70 $\mu\text{m}$ 線量当量率	1 cm線量当量率 —
エネルギー特性 $\gamma$ ・X線 $\beta$ 線	28keV～1.25MeV ±20% $^{147}\text{Pm} \sim ^{80}\text{Sr} - ^{80}\text{Y}$ ±50%	— $^{147}\text{Pm} \sim ^{80}\text{Sr} - ^{80}\text{Y}$ ±50%	28keV～1.25MeV ±20% (240keV～) —
方向依存性 $\gamma$ ・X線	$^{137}\text{Cs}$ で±20% (0～90°)	—	—
測定範囲 (レンジ)	0～10 $\mu\text{Sv/h}$ から 0～100mSv/hまで 5 レンジ	0～100 $\mu\text{Sv/h}$ から 0～100mSv/hまで 4 レンジ	0～10 $\mu\text{Sv/h}$ から 0～100mSv/hまで 5 レンジ
$\beta$ 線膜厚	5.1mg/cm <sup>2</sup>	8.5mg/cm <sup>2</sup>	約60mg/cm <sup>2</sup>
$\beta$ 線入射窓面積	64cm <sup>2</sup> ( $\phi$ 9 cm)	64cm <sup>2</sup> ( $\phi$ 9 cm)	36cm <sup>2</sup> (5.5×6.5cm)
検出部材料	ポリビニールクロライド (PVC)	ポリビニールクロライド (PVC)	フェノール樹脂
壁厚	5 mm (1.4g/cm <sup>2</sup> )	5 mm (1.4g/cm <sup>2</sup> )	5 mm (1.38g/cm <sup>2</sup> )
検出器容積	466cm <sup>3</sup>	145cm <sup>3</sup>	500cm <sup>3</sup>
検出器奥行き	6.5cm	2.0cm	—
外形寸法	$\phi$ 11×23.5cm	$\phi$ 11×19.3cm	$\phi$ 11×23.5cm
重量	1.4kg	1.3kg	1.8kg

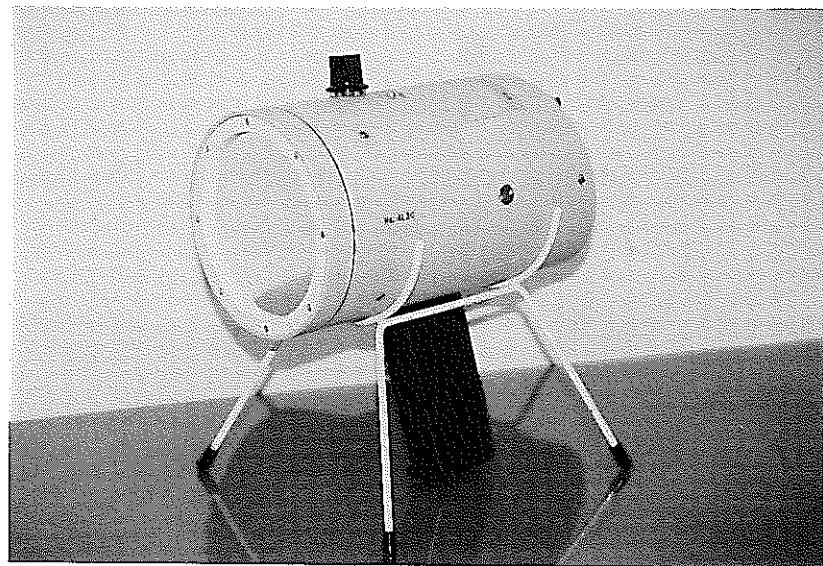


(a)  $\beta$ 線入射窓開の状態

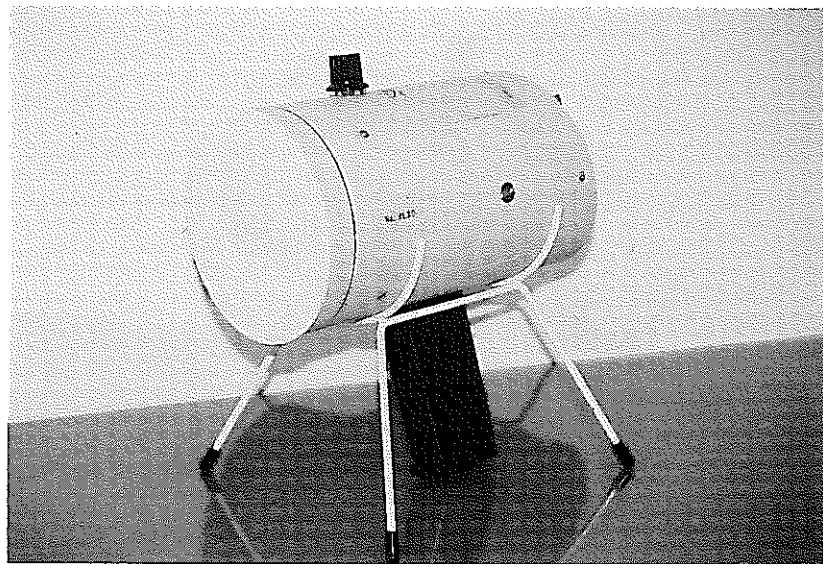


(b)  $\beta$ 線入射窓閉の状態

図-3(1) 電離箱式サーベイメータの外観図 (808-BG/65)



(a)  $\beta$ 線入射窓開の状態

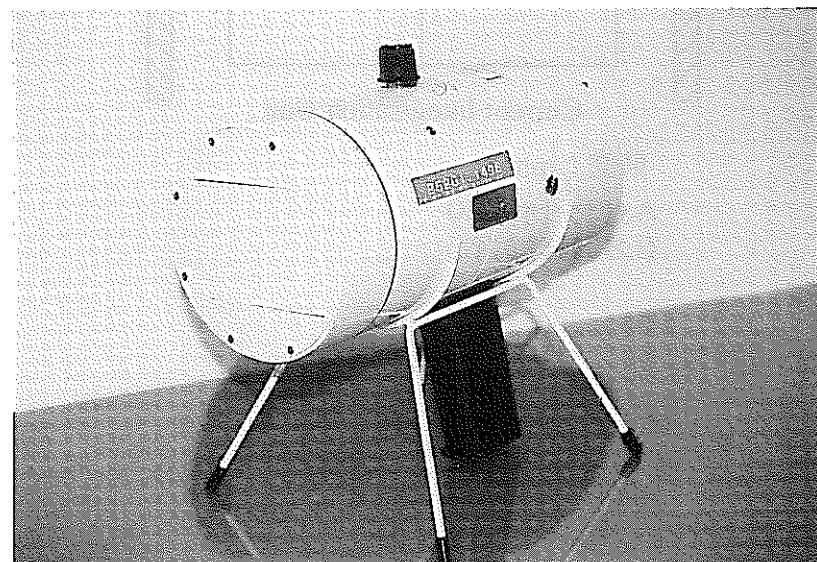


(b)  $\beta$ 線入射窓閉の状態

図-3(2) 電離箱式サーベイメータの外観図 (808-BG/20)

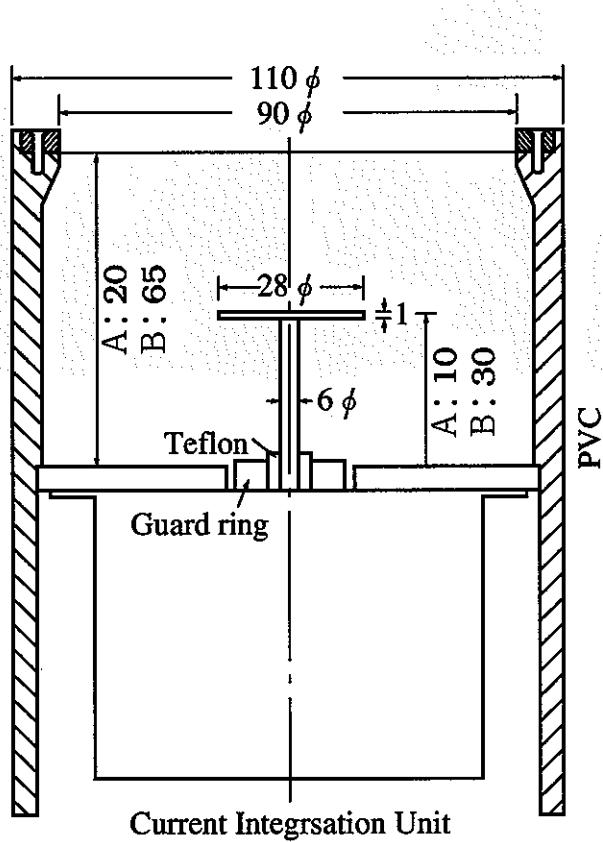


(a)  $\beta$ 線入射窓開の状態



(b)  $\beta$ 線入射窓閉の状態

図-3(3) 電離箱式サーベイメータの外観図 (808-DDE)



単位 : mm

A:808-BG/20

B:808-BG/65

図-4 新型電離箱式サーベイメータの  
検出器内部の構造

#### 4. 特性試験内容

808-BG/65及び808-BG/20を再処理施設の放射線管理業務へ導入するため、東海事業所計測機器校正施設の基準 $\gamma$ 線源及び $\beta$ 線源を用いた特性試験（エネルギー特性、方向依存性、 $\beta/\gamma$ 線混在場での $\beta/\gamma$ 線弁別性能）を実施するとともに、再処理施設の作業環境にて照射試験を実施した。なお、808-BG/20については、仕様上 $\beta$ 線のみを測定対象としているが、再処理施設においては $\beta$ 線と $\gamma$ 線が混在するため、 $\gamma$ 線測定に関する特性試験も実施した。また、808-DDEについても $\gamma$ 線及び $\beta$ 線に関する諸特性を再評価した。

##### 4.1 エネルギー特性

再処理施設では、被ばく管理において $\gamma$ 線のみならず $\beta$ 線についても測定評価が重要である。作業者の被ばくに関係する主要な核種<sup>6)</sup>としては、 $\gamma$ 線核種が<sup>241</sup>Am（Pu区域）、<sup>137</sup>Cs及び<sup>60</sup>Co、 $\beta$ 線核種が<sup>80</sup>Sr-<sup>80</sup>Y及び<sup>106</sup>Ru-<sup>106</sup>Rhであり、これらのエネルギー範囲において感度を把握することが重要である。

試験には、 $\gamma$ 線源として<sup>241</sup>Am線源、<sup>137</sup>Cs線源、<sup>226</sup>Ra線源、<sup>60</sup>Co線源及びX線発生装置、 $\beta$ 線源として<sup>80</sup>Sr-<sup>80</sup>Y線源、<sup>204</sup>Tl線源及び<sup>147</sup>Pm線源を用いた。照射方向は検出器軸方向とし、照射距離は線源と検出器実効中心とした。実効中心は、 $\gamma$ 線及び $\beta$ 線に対して検出器前面から同じ位置（808-BG/65:33mm、808-BG/20:10mm、808-DDE:35mm）である。各線源を用いた照射試験を実施する前に<sup>137</sup>Cs線源を用い、感度の校正を実施した。

また、電離箱式サーベイメータによる $\beta$ 線線量当量率測定においては、同一核種でも入射する $\beta$ 線の残留最大エネルギー（測定点に到達する $\beta$ 線の最大エネルギー）の違いによって感度が異なるので、<sup>80</sup>Sr-<sup>80</sup>Y線源を用い残留最大エネルギー（照射距離）を変化した場合の感度の依存性も試験した。

$\beta$ 線による指示値は $\beta$ 線入射窓の開閉時の指示値の差、 $\gamma$ 線による指示値は $\beta$ 線入射窓閉時の指示値とした。

##### 4.2 方向依存性

方向依存性を把握することは、線量当量率測定時において被測定物に対する測定器の向きを決定する上で重要である。

試験は、 $\gamma$ 線源として<sup>241</sup>Am線源及び<sup>137</sup>Cs線源、 $\beta$ 線源として<sup>80</sup>Sr-<sup>80</sup>Y線源及び<sup>204</sup>Tl線源を用いて実施した。照射方向は検出器軸方向を0°とし、10°間隔で実施した。808-BG/65及び808-BG/20は検出器の構造上左右対象であるので $\gamma$ 線、 $\beta$ 線とも左側のみ実施した。

808-DDEは $\gamma$ 線測定に関して検出器を左右対象とみなせるので左側のみ、 $\beta$ 線に関して $\beta$ 線入射窓の形状が左右対象でないので左右について実施した。

#### 4.3 $\beta/\gamma$ 線混在場での $\beta/\gamma$ 線弁別性能

$\beta/\gamma$ 線混在場において電離箱式サーベイメータを用いて線量当量率を測定する場合、 $\gamma$ 線測定時（ $\beta$ 線入射窓を閉じたとき）に高いエネルギーの $\beta$ 線が電離箱壁を通過してしまい $\gamma$ 線として測定される。また、 $\beta$ 線測定においては $\beta$ 線入射窓の開閉時の指示値の差から $\beta$ 線による指示値を求めるが、 $\beta$ 線入射窓を開いたときは閉じたときよりも低いエネルギーの $\gamma$ 線（散乱線等）が多く入射して $\gamma$ 線の寄与が大きくなる。

##### (1) $\gamma$ 線線量当量率測定における $\beta$ 線の影響

試験は、 $\beta$ 線3核種のうち、一番エネルギーの高い $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 線源を用いて、 $\beta$ 線入射窓の開閉時の指示値を測定した。距離は校正点のうち残留最大エネルギーが一番高い30cmとした。

##### (2) $\beta$ 線線量当量率測定における $\gamma$ 線の影響

試験は $^{137}\text{Cs}$ 線源を用いて、距離（散乱成分の割合）を変化（1～8m）させて放射線入射窓の開閉時の指示値を測定した。

#### 4.4 フィールド試験

再処理工場CB G144に設置されているUボックス及びCB R145セルから搬出された廃棄物を測定対象物として測定を実施した。Uボックスとは、再処理施設において溶解試験に用いられているセル（CB R145）からの廃棄物や試料の取り出しに用いられるボックスであり、高さ約180cm（床から90cmの高さまで支柱で支えられている）、幅約200cmであり、アクリル板（厚さ1cm）に6つのポート部（直径約20cm）がある。ポート部には、鉛グローブやビニールバックが装着されている。CB R145セルでは、溶解試験が実施されるため再処理施設の主要な核種が存在している。また、廃棄物は、ビニールバックに入って約20cm四方の物であり、内容物は鉛グローブ、ポリビン等である。

測定器として、808-BG/65、808-BG/20、808-DDE及びTLDバッジを用いた。測定器を所定の位置に設定するためにアクリル板製の支持具を用いた。

測定は通常、線量当量率の強度等を考慮して、電離箱式サーベイメータ間の比較測定のみ実施したが、Uボックスを用いた試験において1ポイントのみTLDバッジの照射試験も実施した。また、測定点における $\beta$ 線のエネルギー情報を得るために、アクリル板及び808-BG/20を用い残留最大エネルギーを求めた。ただし、測定物の表面については、アクリル板が測定器の前面に挿入できないので測定を実施しなかった。一方、TLDバッジとの比較試験においては、TLDバッジによる $\beta$ 線最大エネルギーの推定評価も行った。

廃棄物を対象物とした場合、台に測定器と廃棄物を載せ、測定器と廃棄物との中心の位置が一致するように調整し、測定を実施した。Uボックスを対象とした場合、台に測定器を載せ、測定器と対象とするポート部との中心の位置が一致するように調整し、測定を実施した。

## 5. 特性試験結果

計測機器校正施設の基準  $\gamma$  線源及び  $\beta$  線源を用いた 808-BG/65、808-BG/20 及び 808-DDE の特性試験（エネルギー特性、方向依存性、 $\beta/\gamma$  線混在場での  $\beta/\gamma$  線弁別性能）及び再処理施設の作業環境での照射試験の結果を以下に示す。なお、 $\beta$  線用線量当量率サーベイメータに関しては、JIS 等の基準とする規格がないので、 $\gamma$  線用線量当量率サーベイメータの規格を参考にして検討した。

### 5.1 エネルギー特性

#### (1) $\gamma$ 線エネルギー特性

線源は、 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{60}\text{Co}$  線源及び X 線発生装置（実効エネルギー 35keV、64 keV、100keV、208keV、線質指標：0.8）を用いた。

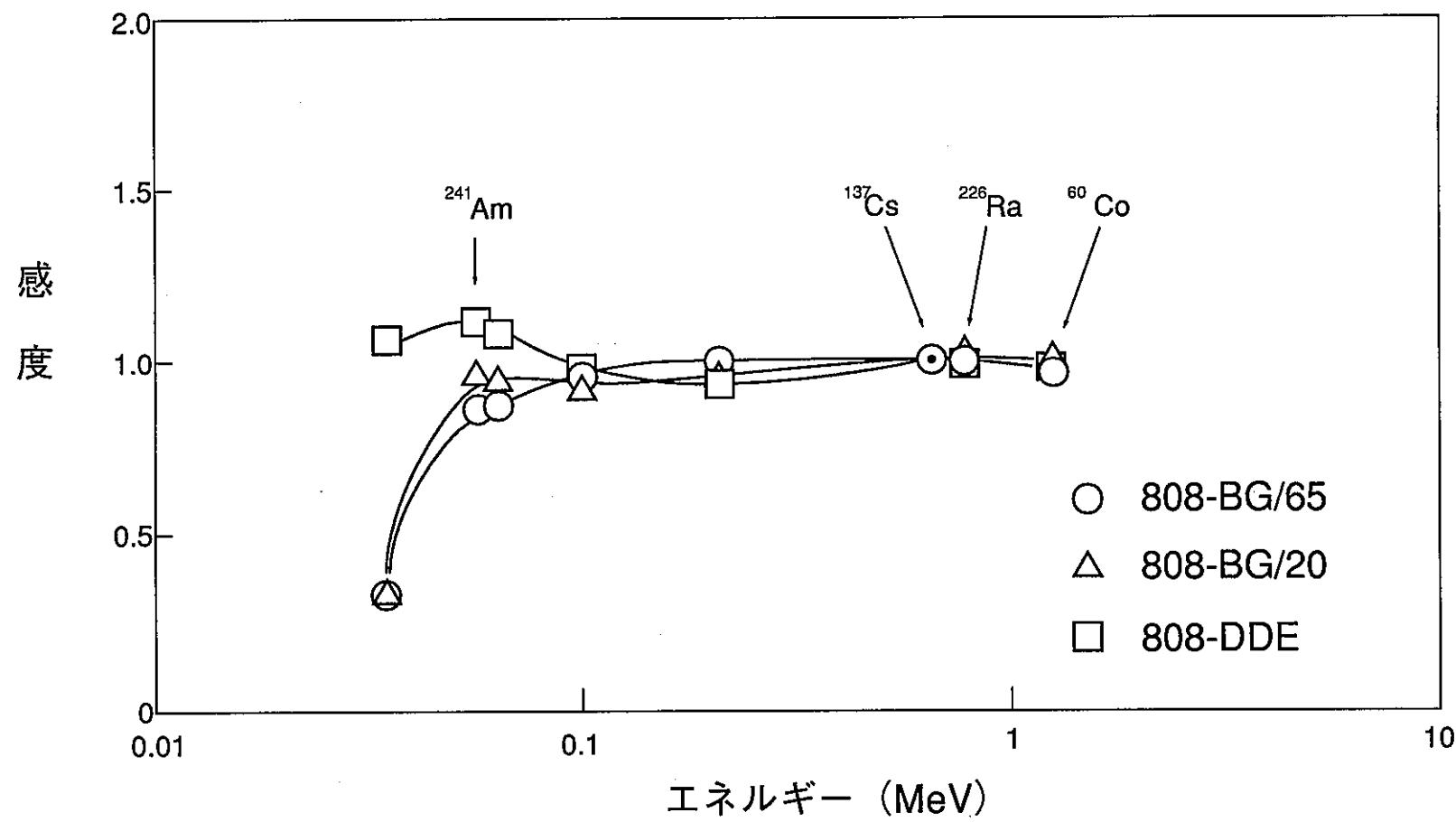
図-5 に  $\gamma$  線に対するエネルギー特性を示す。

$^{137}\text{Cs}$  による感度を 1 としたときの各エネルギーに対する感度の比（以下「感度比」という。）は、上記エネルギー範囲において 808-BG/65 が 0.33～1.01、808-BG/20 が 0.33～1.03 及び 808-DDE が 0.94～1.03 であった。JIS で規定している許容範囲 0.8～1.2 (30keV～1.5MeV) は、3 機種のうち 808-DDE のみ満足しており、808-BG/65 及び 808-BG/20 は満足していないかった。

その理由は、以下のとおりと考える。すなわち、100keV 以上のエネルギー範囲においては、主に検出器の壁と  $\gamma$  線との相互作用によって発生する二次電子による電離電流を測定していることから、808-BG/65、808-BG/20、808-DDE とも感度の差は生じていないが、35keV 付近のエネルギーでは、808-DDE が検出器内壁のアルミニウム膜と  $\gamma$  線との主に光電効果により感度を増加させ、エネルギー特性を 1 cm 線量当量率のレスポンスに合致させているのに対して 808-BG/65 及び 808-BG/20、はアルミニウム膜が前面内壁にないため感度が低下していると考えられる。

なお、再処理施設の主な核種である  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$  等のエネルギー範囲では、3 機種とも感度比が約 1.0 であり、また、Pu 取扱い区域において主となる  $^{241}\text{Am}$  では、808-BG/65 が約 0.9、808-BG/20 が約 1.0 及び 808-DDE が約 1.1 であった。

このように、808-BG/65 及び 808-BG/20 は、35keV～ $^{60}\text{Co}$  のすべてのエネルギー範囲で JIS に示されている規格を満足しているとは言えないが、808-BG/65 は 50keV 以上、808-BG/20 は 45keV 以上の範囲で JIS に示されている許容範囲 0.8～1.2 を満足していることから、再処理施設の測定対象核種を考慮すると放射線管理上は十分使用可能と考えられる。

図-5  $\gamma$ 線エネルギー特性

### (2) $\beta$ 線エネルギー特性

照射を行った残留最大エネルギーは、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 線源が2.08MeV、 $^{204}\text{Tl}$ 線源が0.68MeV及び $^{147}\text{Pm}$ 線源が0.15MeVであった。

図-6に $\beta$ 線に対するエネルギー特性を示す。

感度は、808-BG/65が0.79～0.97、808-BG/20が0.52～0.97及び808-DDEが0.002～0.51であった。

再処理施設での $\beta$ 線被ばくの原因となる主要な核種の一つである $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ に対する感度は、808-BG/65、808-BG/20とも約1.0であり、直読( $\beta$ 線入射窓を開いたときと閉じたときの指示値の差)で $\beta$ 線線量当量率(70 $\mu\text{m}$ 線量当量率)を評価できる。しかし、808-DDEについては約0.5であり、換算係数を用いて補正しなければ70 $\mu\text{m}$ 線量当量率を十分な精度で評価できない。

808-DDEについては、 $\beta$ 線膜厚が約60mg/cm<sup>2</sup>(新型は、約5～9mg/cm<sup>2</sup>である)と厚いため、エネルギーが低くなるにつれ、感度が小さくなり、70 $\mu\text{m}$ 線量当量率への換算係数が大きくなる。

なお、808-DDEについては、従来から70 $\mu\text{m}$ 線量当量率の測定に使用されており、北原ら<sup>1)</sup>によって求められた再処理施設での $\beta$ 線被ばくの主要核種の最大エネルギーの平均値0.8MeVにおける感度は0.22であり、換算係数は4.5であった。したがって、北原らに示され、従来から使用している換算係数6という値は、本結果からも妥当と言える。808-BG/65、808-BG/20の0.8MeVにおける感度は、それぞれ0.8、0.9であり、直読で70 $\mu\text{m}$ 線量当量率の評価が可能である。

### (3) $\beta$ 線残留最大エネルギーの変化による感度の変化

試験に用いた線源は $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 線源であり、その残留最大エネルギーの範囲は2.08～1.94MeV(照射距離は30～95cm、校正点は5点)であった。

図-7に残留最大エネルギーの変化に対する感度の依存性を示す。

感度は、808-BG/65が0.76～0.97、808-BG/20が0.91～1.03及び808-DDEが0.45～0.51であった。 $\beta$ 線は、検出器内においても空気による吸収によりエネルギーが失われ、エネルギースペクトルが変化する。検出器内の奥行きが短いほど検出器内での $\beta$ 線エネルギースペクトルの変化が小さく、感度のエネルギースペクトル依存が少ない。そのため、808-BG/20のほうが感度変化が約10%と808-BG/65よりも小さくなっている。

## 5.2 方向依存性

$\gamma$ 線源として $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{241}\text{Am}$ 線源、 $\beta$ 線源として $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 及び $^{204}\text{Tl}$ 線源を用いて照射試験を実施した。照射方向は検出器中心軸方向を0°とし、10°間隔で $\gamma$ 線に対しては170°

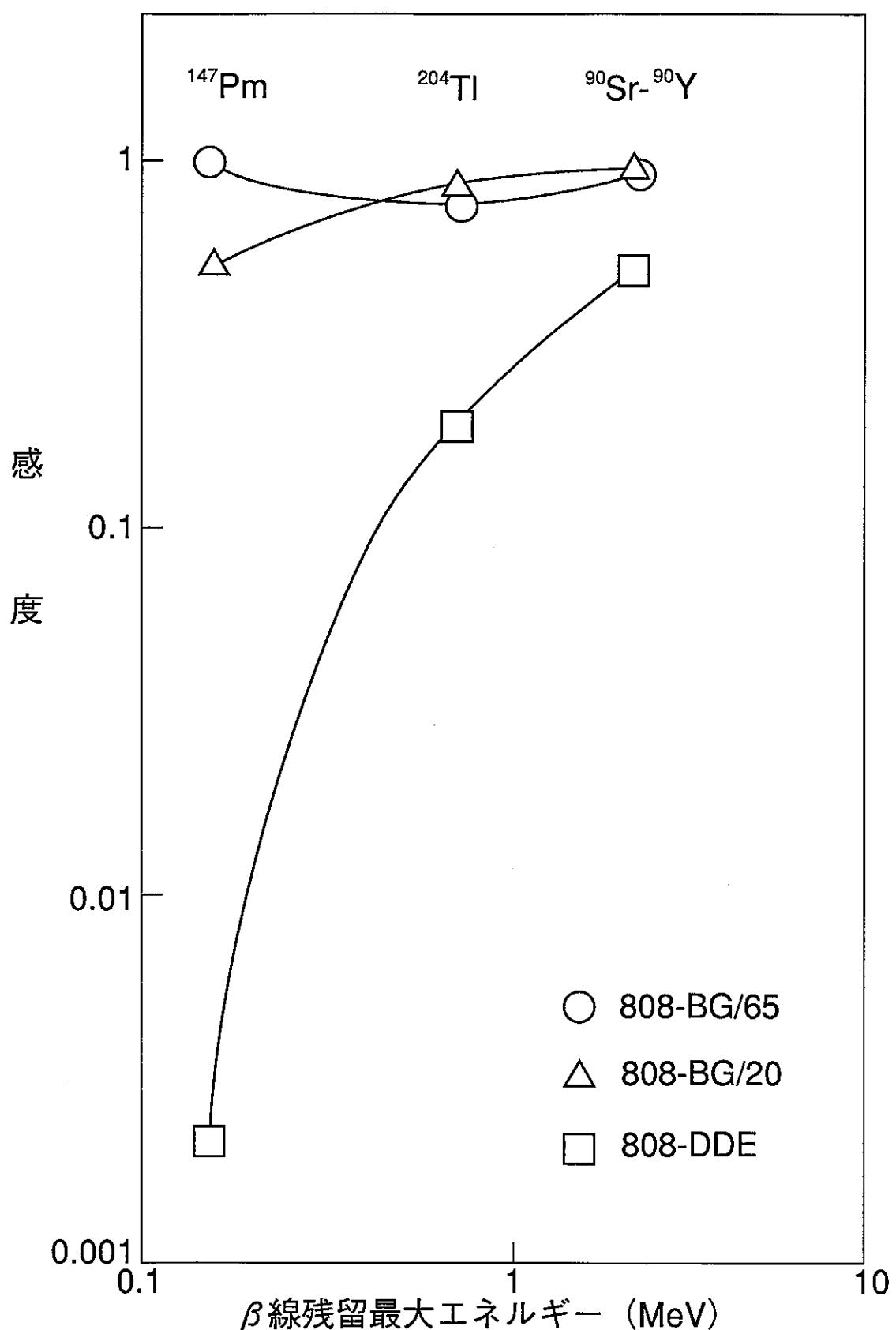
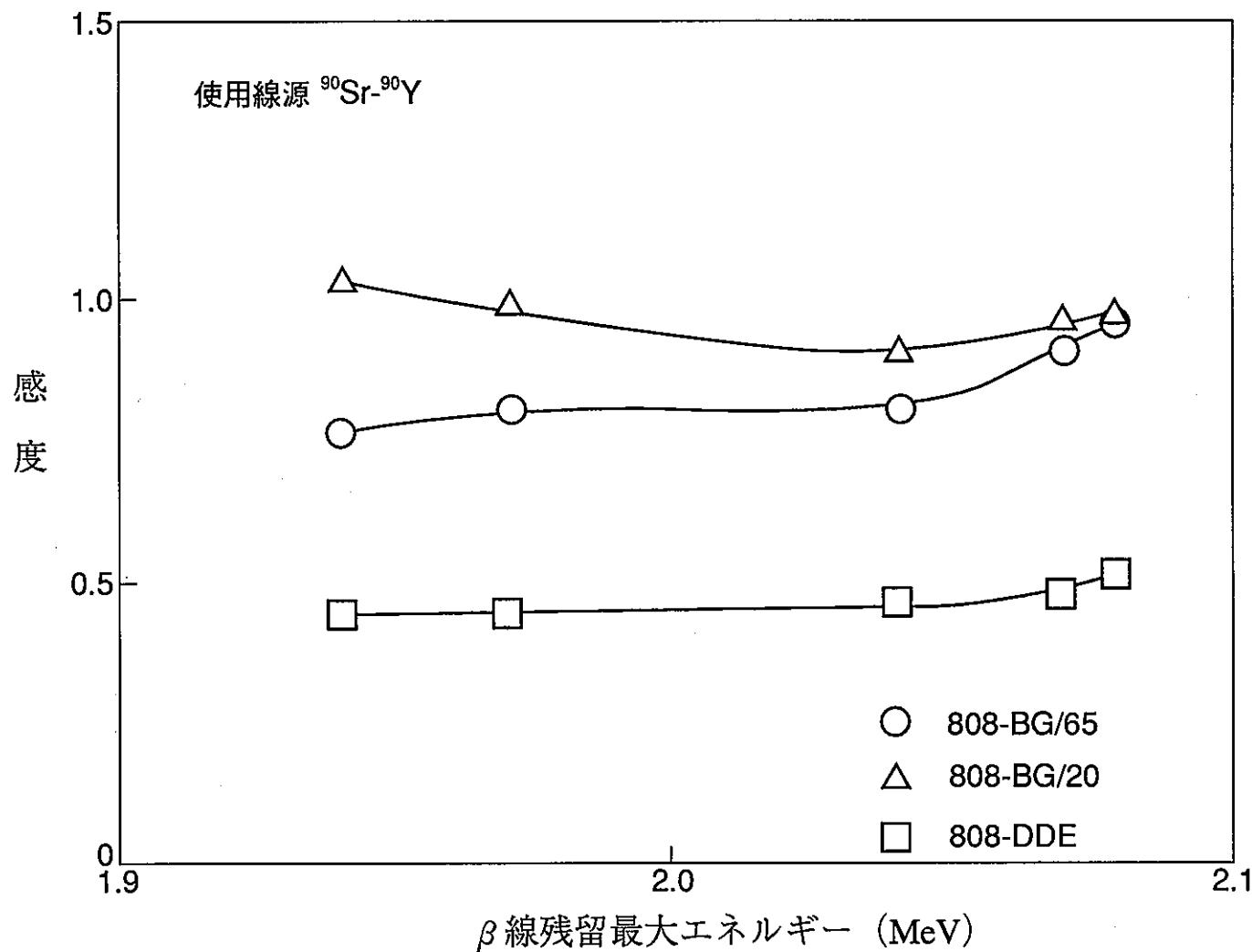


図-6  $\beta$ 線エネルギー特性

図-7  $\beta$  線残留最大エネルギーの変化に対する感度の依存性

まで、 $\beta$ 線に対する方向依存性。

(1)  $\gamma$ 線に対する方向依存性

図-8に $\gamma$ 線に対する $0^\circ$ における指示値を基準とした場合の各角度の指示値との差の比を示す。図-8の中心線の左側に $^{137}\text{Cs}$ 線源による測定結果を、右側に $^{241}\text{Am}$ 線源による測定結果を示す。

JISで規定している角度範囲 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ で $^{137}\text{Cs}$ 線源について、 $0^\circ$ の指示値を基準としたときの各方向の指示値との差の比は、808-BG/65が約±3%、808-BG/20が約±8%及び808-DDEが約±1%であった。808-BG/65及び808-DDEが808-BG/20よりも角度に対する感度の依存が小さいのは、検出部の幾何学的形状（検出器直径に対する検出器深さの比）の違いに起因する。ただし、3機種ともJISで規定している許容範囲±20%以内を満足しており使用上問題はない。JISにおいて参考として許容範囲が示されていない $^{241}\text{Am}$ 線源については、 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ の範囲で808-BG/65が約±7%、808-BG/20が約±15%及び808-DDEが±2%であり、3機種とも±20%以内に入っていた。

3機種とも $90^\circ$ 以降については、メーターや電気回路による $\gamma$ 線の減衰により感度が前方よりも小さくなっている。また、 $^{137}\text{Cs}$ 線源に対する感度より $^{241}\text{Am}$ 線源に対する感度は、エネルギーが低いため減少が大きくなっている。

$^{241}\text{Am}$ 線源に対して808-BG/65が $0^\circ$ よりも $90^\circ$ の方が感度が良いのは、検出器内壁側面にアルミニウム膜は貼られており、それと $\gamma$ 線との相互作用によって感度が増加したと考えられる。しかし、808-BG/20については検出器直径に対する検出器の深さの幾何学的形状が808-BG/65とは異なり側面が小さくなっているため、感度が808-BG/65ほど増加しないと考えられる。

(2)  $\beta$ 線に対する方向依存性

図-9に $\beta$ 線に対する $0^\circ$ における指示値を基準とした場合の各角度の指示値との差の比を示す。図-9の中心線の左側に $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 線源による測定結果を、右側に $^{204}\text{Tl}$ 線源による測定結果を示す。

$\gamma$ 線に関するJISの規格である±20%以内（ $0^\circ$ 方向の指示値を基準としたときの各方向の指示値との差の比）の範囲は、 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 線源について808-BG/65が左右約 $30^\circ$ 、808-BG/20が左右約 $50^\circ$ 及び808-DDEが左約 $30^\circ$ 、右 $25^\circ$ （左：壁材スライド方向）であった。

808-BG/65及び808-BG/20は前面の全面が $\beta$ 線入射窓であるので左右対象であり、感度が対象となっている。808-DDEは $\beta$ 線入射窓が前面の一部であり左右対象でないため、感度が左右対象となっていない。

また、808-BG/20が808-BG/65及び808-DDEよりも角度に対する依存性が良いのは、検出部の幾何学的形状（検出器直径に対する検出器深さの比）の違いに起因する。

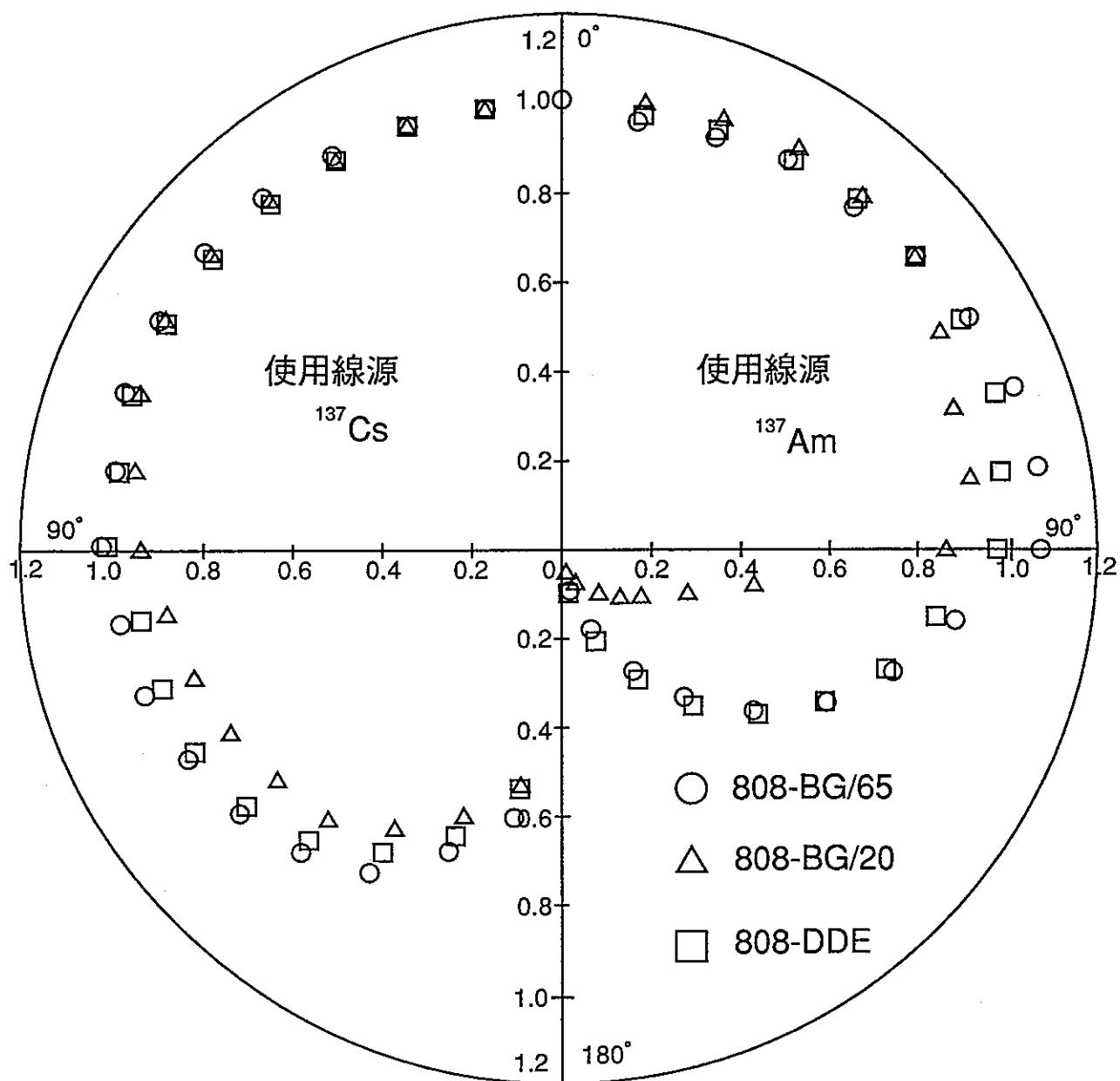


図-8  $\gamma$ 線に対する方向依存性

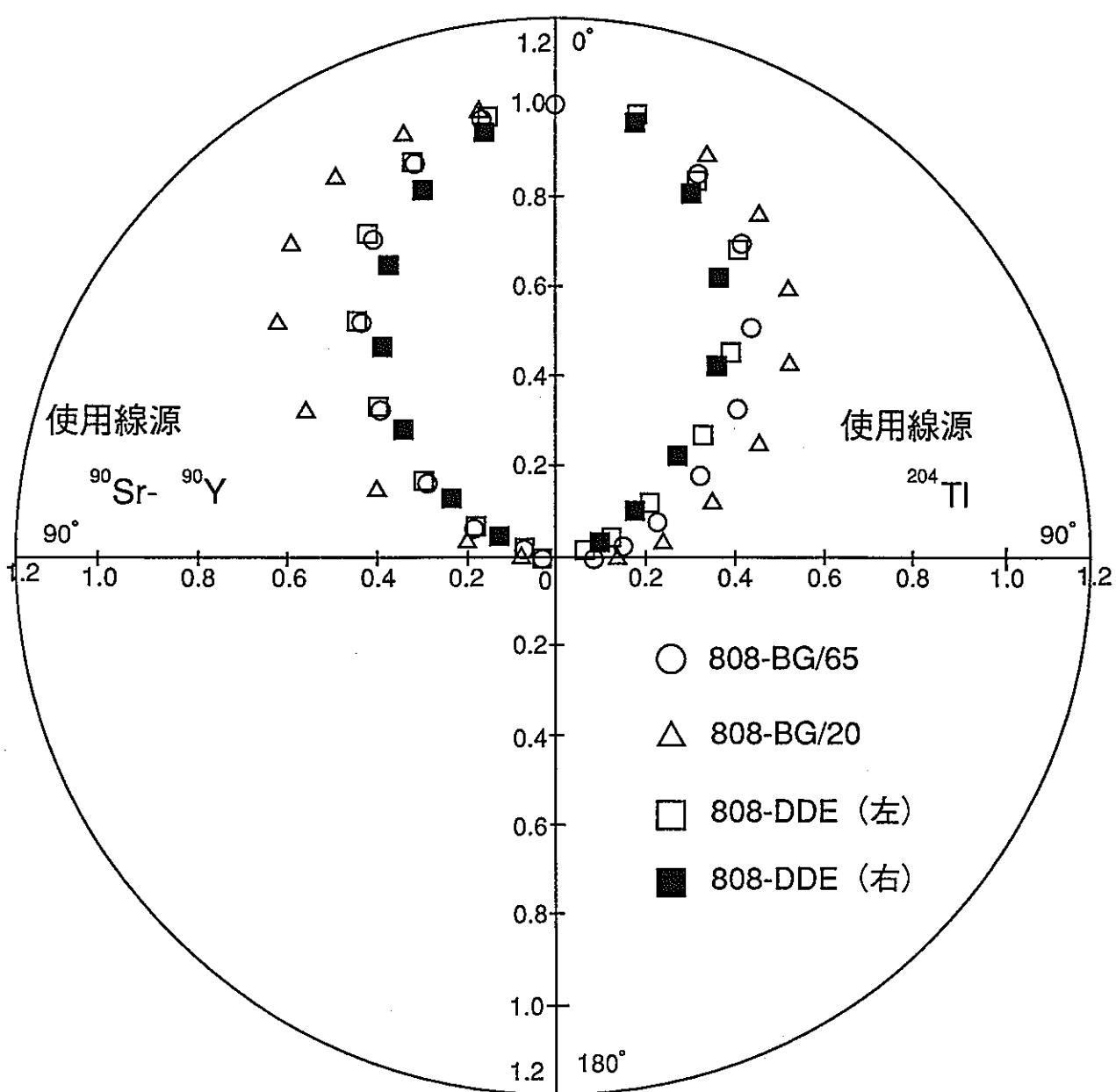
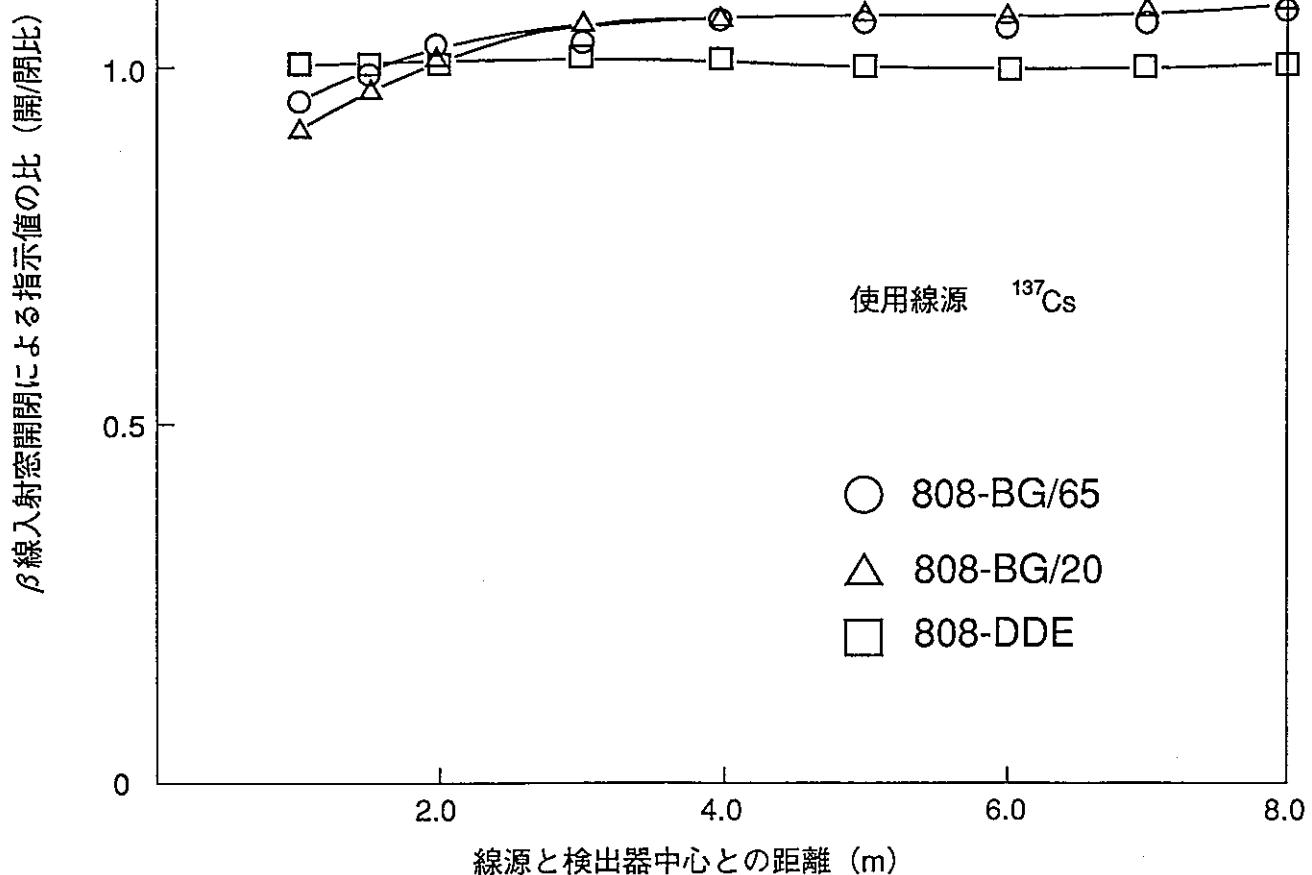


図-9  $\beta$ 線に対する方向依存性



表-2  $\gamma$ 線量当量率測定における $\beta$ 線の影響

線 源	$\beta$ 線入射窓開閉時の指示値の比(閉/開)		
$^{80}\text{Sr}-^{80}\text{Y}$	808-BG/65	808-BG/20	808-DDE
	<0.5%	<0.5%	5.5%

図-10  $\beta$ 線測定における $\gamma$ 線の影響

## 5. 4 フィールド試験

再処理施設CB G144に設置されているUボックス及びCB R145セルから搬出された廃棄物を測定対象物として測定を実施した。

測定器として、808-BG/65、808-BG/20、808-DDE及びTLDバッジを用いた。

測定点における残留最大エネルギーは、すべて1.7MeV以下であった。

表-3に作業環境における電離箱式サーベイメータの比較測定試験結果を示す。また、表-4に作業環境におけるTLDバッジと電離箱式サーベイメータとの比較試験結果を示す。

### (1) $\gamma$ 線線量当量率に対するフィールド試験

808-BG/20と808-BG/65の測定値の比(808-BG/20/808-BG/65)は、0.89～1.03であった。表面を対象としたとき以外、差は±10%以内であった。表面において指示値の比が大きくなったのは、検出器の幾何学的形状の違いに起因する。また、808-DDEと808-BG/65の測定値の比(808-DDE/808-BG/65)は、0.99～1.39であった。ポリビンを測定対象物としたとき以外、差は±10%以内であった。ポリビンにおいて指示値の比が大きくなったのは、残留最大エネルギーが高く、また、 $\beta$ 線線量当量率と $\gamma$ 線線量当量率との比( $\beta$ 線線量当量率/ $\gamma$ 線線量当量率)が10倍以上であったため、808-DDEの $\gamma$ 線測定に $\beta$ 線の影響が生じたものと考えられる。

一方、TLDバッジとの測定値の比(電離箱式サーベイメータ/TLDバッジ)は808-BG/65、808-BG/20、808-DDEともそれぞれ1.05、1.03、1.04であり、3機種ともTLDバッジと指示値はほぼ一致していた。なお、この測定場所は、 $\beta$ 線線量当量率と $\gamma$ 線線量当量率との比がほぼ1であった。

### (2) $\beta$ 線線量当量率に対するフィールド試験

808-BG/20と808-BG/65の測定値の比(808-BG/20/808-BG/65)は、1.04～1.35であった。

したがって、本作業環境での $\beta$ 線線量当量率測定に関しては、両者の測定値はほぼ一致しているとみなされる。また、808-DDEと808-BG/65の測定値の比(808-DDE/808-BG/65)は、0.35～0.47であった。これは、測定点の $\beta$ 線エネルギーに対する感度の差に起因するものである。

一方、TLDバッジとの比較において、測定値の比(電離箱式サーベイメータ/TLDバッジ)は808-BG/65、808-BG/20、808-DDEともそれぞれ1.00、1.20、0.38であり、808-BG/65及び808-BG/20についてはほぼ一致していると言えるが、808-DDEについては過小評価であり、このような $\beta$ 線エネルギーにおいては換算係数を用いて70 $\mu$ m線量当量率を評価しなければならないことが分かった。



表-4 作業環境におけるTLDバッジと電離箱式サーベイメータとの比較

測定対象物	距 離	最大エ ネル ギー	1 cm線量 当量率 (TLDバッジ)	70 μ線量 当量率 (TLDバッジ)	TLDバッジと電離箱式サーベイメータとの指示値の比						
					γ線			β線			
					808-BG/65	808-BG/20	808-DDE	808-BG/65	808-BG/20	808-DDE	
						TLDバッジ	TLDバッジ	TLDバッジ	TLDバッジ	TLDバッジ	
Uボック ス(CB G144)	ポート部 (鉛グロ ーブ)	40cm	1.3MeV	4 2 3 $\mu$ Sv/h	3 9 3 $\mu$ Sv/h	1.05	1.03	1.04	1.00	1.20	0.38

## 6. まとめ

近年 $\beta/\gamma$ 線測定用にメーカーにて開発された電離箱式サーベイメータ及び従来から $\beta$ 線線量測定に使用している電離箱式サーベイメータの特性試験を実施した。その結果のまとめを以下に示す。

### (1) $\gamma$ 線に関するエネルギー特性

808-DDEはJISの許容範囲を満足していたが、808-BG/65及び808-BG/20は50keV付近より低いエネルギー領域でJISの許容範囲を満足していなかった。しかし、再処理施設での主要測定対象核種である。 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 及び $^{60}\text{Co}$ 線源のエネルギー領域では、3機種ともJISの許容範囲を満足していた。

### (2) $\beta$ 線に関するエネルギー特性

再処理施設での $\beta$ 線被ばくに起因する核種のエネルギー範囲( $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 付近のエネルギー範囲)における照射した基準の線量当量率に対する指示値の差は、808-BG/65、808-BG/20とも±30%以内であり、808-DDEより改善されていた。

### (3) $\gamma$ 線に関する方向依存性

3機種ともJISの許容範囲を満足していた。

### (4) $\beta$ 線に関する方向依存性

808-BG/65、808-BG/20及び808-DDEの $\beta$ 線に関する感度は、 $\beta$ 線の入射方向に大きく依存する。測定対象とするものに検出器前面を向けて測定しなければならない。

### (5) $\beta/\gamma$ 線混在場での $\gamma$ 線測定時( $\beta$ 線入射窓閉時)における $\beta$ 線の影響

808-BG/65及び808-BG/20は $\beta$ 線の影響を受けない。808-DDEについては高いエネルギーの $\beta$ 線に対しては感度を有するので、感度をなくするために従来からの塩ビカバーを用いた方法を実施する必要がある。

### (6) $\beta/\gamma$ 線混在場での $\beta$ 線測定時( $\beta$ 線入射窓開時)における $\gamma$ 線の影響

808-DDEは $\gamma$ 線の影響を受けない。808-BG/65及び808-BG/20は作業環境で散乱線等の影響により $\beta$ 線線量当量率を多少高めに測定する可能性がある。

(7) 作業環境でのTLDバッジと電離箱式サーベイメータとの比較

$\gamma$ 線線量当量率測定において、TLDバッジと3機種の電離箱式サーベイメータは、測定結果が一致していた。

$\beta$ 線線量当量率測定において、TLDバッジと808-BG/65及び808-BG/20は測定結果が一致していると言える。808-DDEについては、70  $\mu\text{m}$ 線量当量率を評価する場合、換算係数(測定値から70  $\mu\text{m}$ 線量当量率を評価するために測定値に乗ずる値)を用いなければならず、その値は本試験におけるTLDバッジ等との比較結果からは「3」であった。

(8) 新型電離箱式サーベイメータの再処理施設への導入及び808-DDEによる70  $\mu\text{m}$ 線量当量率の評価

808-BG/65及び808-BG/20は、再処理施設の放射線管理に使用可能であり、 $\gamma$ 線及び $\beta$ 線の線量当量率を直読できるが、機器の導入にあたってはルーチン業務での使用や機器の仕様の統一等を考え、主として808-BG/65を導入することとした。

808-DDEについては、70  $\mu\text{m}$ 線量当量率を評価する場合に換算係数を用いれば良い。

## 7. 今後の予定

セル内等の作業環境における808-DDEとTLDバッジ及び808-BG/65、808-BG/20との比較試験を実施し、808-DDEの指示値から $70 \mu\text{m}$ 線量当量率への換算係数を決定する。

## 8. 参考文献

- 1) 北原 義久他：「 $\beta$ 線被ばくの防護に関する手引（改訂版）」  
PNC N852-83-23 1983年10月
- 2) 須賀 新一他：「電離箱型およびGM計数管型サーベイメータの校正（II）」  
保健物理、14 1979年
- 3) 備後 一義他：「電離箱型およびGM計数管型サーベイメータの校正（I）」  
保健物理、13 1978年
- 4) (株)ネスコ : 「電離箱式サーベイメータ取扱い説明書」
- 5) 原沢 進他：「外挿電離箱を用いた $\beta$ 線電離箱の評価」  
RADIOISOTOPES、41 1992年
- 6) 中田 啓他：「再処理工場における放射線管理試料の核種の種類と工程との関係」  
ZN841-80-06 1980年1月
- 7)  $\beta$ 線被曝線量評価ワーキンググループ：「 $\beta$ 線被曝線量評価の現状」  
SN143-80-01 1980年10月
- 8) (財)原子力安全技術センター：「外部被ばくにおける線量当量の測定・評価マニュアル」  
1993年5月

謝 辞

最後に、本試験においてご協力いただいた安全管理部放射線管理第一課並びに再処理工場工務部分析課の関係者に対し、この紙面を借りてお礼を申し上げます。