

## 自動走査法によるがん治療用 $^{125}\text{I}$ シード放射線強度 検定システムの開発

黒崎裕、佐瀬卓也<sup>1)</sup>、桑原義典<sup>2)</sup>、古谷俊介<sup>2)</sup>、伏見賢一、川口佳彦、  
中山信太郎\*

徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部、〒770-8502 徳島市南常三島町 1-1

1) 徳島大学アイソトープ総合センター、〒770-8503 徳島市蔵本町 3-18-15

2) 徳島大学大学院ヘルスバイオサイエンス研究部、〒770-8503 徳島市蔵本町 3-18-15

\*nakayama@ias.tokushima-u.ac.jp

## A new scanning system to calibrate all medical radioactive seeds in a sterile package

Yutaka Kurosaki, Takuya Saze<sup>1)</sup>, Yoshinori Kuwahara<sup>2)</sup>, Shunsuke Furutani<sup>2)</sup>,  
Kenichi Fushimi, Yoshihiko Kawaguchi, Shintaro Nakayama\*

*Institute of Socio-Arts and Sciences, The University of Tokushima 770-8502, Japan*

*1) Radioisotope Research Center, The University of Tokushima 770-8503, Japan*

*2) Institute of Health Biosciences, The University of Tokushima 770-8503, Japan*

*\*Correspondence: nakayama@ias.tokushima-u.ac.jp*

---

### Abstract

A new scanning system using a NaI(Tl) scintillation survey meter, copper slit and drive-unit has been developed for quality control of radioactive seeds. Radioactive seed implants, also called brachytherapy, are widely used modality in the treatment of early stage prostate cancers. Seeds containing the iodine-125 are most commonly used for permanent implant prostate brachytherapy. These seeds are commercially available and delivered in a sterile environment in the form of packaged cartridge. It is impractical to re-sterilize and re-load seeds after calibration. This paper describes a new method to calibrate all seeds in the seed cartridge in a sterile package.

*Keywords: medical radioactive seed, brachytherapy, quality control, radiation detector*

---

## 1. はじめに

前立腺がん治療において小放射線源  $^{125}\text{I}$  (シード) 永久挿入療法は外科手術に比べ患者への身体的負担が軽く、我が国でも前立腺がんの治療における新たな選択肢として施術数が増加している[1]。それに伴いシードの品質が問題視されている。この治療法の先進国である欧米や中国において、一部の製品において空線源、漏れだし線源、異常放射能線源などの存在が報告されている。日本でも供給されている代表的なシードの放射線強度は、公表検定値 $\pm 7\%$ 以内、実測値 $\pm 2\%$ 以内と安定しているが、カートリッジからシードが脱落していたという事例の報告があった。一般に治療に用いるシードは滅菌状態で搬入され、放射能は約 15 MBq と強いため、臨床の場での放射能計測は容易に行えない。患者の安全や治療の有効性を語る上で、シードの品質検定は必須である。

治療に用いられるシードに対して米国医学物理学会 (AAPM) は、「使用する少なくとも 10%、可能であれば全てのシード放射能を測定すべきである」とガイドラインに記している[2]。しかし、現在臨床の場ではほとんど測定が行われていない。現在推奨されている検定では、井戸型電離箱測定器での品質検定が唯一の方法である。この装置を使う問題点は再滅菌処理など煩雑で長時間の手間がかかり、医療被ばくの危険性があること、また装置が高価で多くの医療現場では導入できないことにある。簡便で迅速な測定システムの開発は急務である。

これまで、シード品質検定システムの開発において治療に用いる複数個のシード放射能を一括して画像化し、不良シードを視覚化することに成功した。しかしながら、無菌状態での測定や放射線強度を精度よく定量する上で問題があった[3]。

本研究では簡便、迅速、再滅菌処理の必要がなく、被ばくの危険性が少ないなど、臨床の場での測定に問題のある部分をできるだけ解決することを目指して検討した。スリットと  $\gamma$  線検出器を使用した、シード自動走査検定法を開発した。臨床の場で使われているシードの放射能を測定し、シード自動走査検定法の有効性について検討したので報告する。

## 2. 測定装置及び測定方法

### 2-1 シード自動走査検定法

シード自動走査検定法は単スリットの真下に放射線源が来たときのみスリットの隙間を通り抜けた  $\gamma$  線を計測して、放射線源の強度を推定する方法である。シード自動走査検定装置は線源、駆動装置、スリット、放射線検出器から構成されている。検出器と放射線源の間にスリットがあり、駆動装置で放射線源を一定速度で移動させ線源からの放射線を検出することができる。

### 2-2 線源

#### 2-2-1 $^{241}\text{Am}$ 標準 $\gamma$ 線源

シード自動走査検定法でスリットは放射線源の形状を測定する上で重要な働きをする。スリットが放射線を適切に制限して放射線源の強度を測定できるかを判断するために標準  $\gamma$  線源  $^{241}\text{Am}$  [半減期：432 年、 $\gamma$  線エネルギー 59.54 keV、放射能：436 kBq] を用いた。 $\gamma$  線源はプラスチック

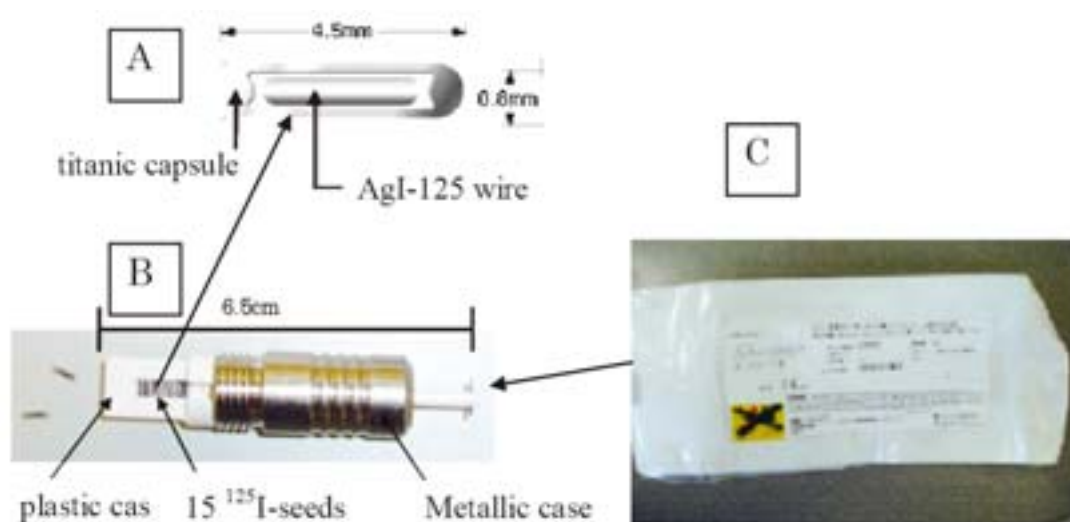


図 1 測定シードとその構成

A、B、C はそれぞれシード、カートリッジ、滅菌袋である。シードは直径 0.8 mm、長さ 4.5 mm の大きさである。カートリッジには 15 本のシードが装填されている。カートリッジは滅菌袋に封入されている。写真の一部は日本メジフィジックス HP より転載した。

のケースに入っており、 $\gamma$ 線源の広がり約 1 mm であった。スリット幅、 $\gamma$ 線源から放射線検出器までの距離、駆動速度などを調整した。

## 2-2-2 がん治療用密封小線源 $^{125}\text{I}$ (シード) 及びカートリッジ

測定対象となる、がん治療用密封小線源  $^{125}\text{I}$  (シード) は日本メジフィジックス社のオンコシードを使用した[4]。全体図を図 1 に示す。シードは直径約 0.8 mm、長さ 4.55 mm、重量 9.39 mg の純チタン製カプセルの中に  $^{125}\text{I}$  がヨウ化銀として封入されている。 $^{125}\text{I}$  は質量数：125、 $\gamma$ 線及び X 線のエネルギー：27.5～35.5 keV、半減期：59.4 日の放射性物質である。15 本のシードがカートリッジに装填されている。カートリッジは滅菌状態で滅菌袋に封入されている。

使用したカートリッジは 3 種類である。カートリッジ A は 8 番目のシード (約 1.5 MBq) を除き、ほぼ同じ放射能 (約 5 MBq) を持つシードが 15 本装填されている。カートリッジ B はカートリッジ A の中で 8 番目のシードだけを残し、他はすべて空シードにしてある。カートリッジ C (シード 15 本装填) は 2 種類の放射能を持つシード 15 本

を装填してある。カートリッジ A、B は NaI (Tl) 検出器を用いて、カートリッジ C はサーベイメータを用いて測定をした。

15 本のシードが装填できるカートリッジはシード保持のため 1, 13, 14, 15 番目のシードに対してプラスチックのケースの覆いがある。このため放出されるガンマ線は減弱される。その効果を入れた放射能は  $^{125}\text{I}$  の組織半価層 [5] から評価した。個々のシードの放射能は校正済み井戸型電離箱検出器により測定をした。測定された放射能を表 1、表 2、表 3 に示す。ここで、1, 13, 14, 15 番目のシードは減弱の効果を入れた放射能になっている。表 1 と表 3 には 4 番目のシードの放射能を 1 に規格化した相対放射能も示してある。

## 2-3 検出部

### 2-3-1 NaI (Tl) 検出器

NaI (Tl) (2"x2"φ) 検出器の入射窓は  $^{125}\text{I}$  のエネルギーである 27.5～35.5 keV の  $\gamma$  線が透過するように薄くしてある。線源からの  $\gamma$  線が周囲の物質で後方コンプトン散乱されて、スリットを通

表 1 カートリッジ A 中のシードの放射能と計測値

シード番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
放射能(MBq)	5.3	5.5	5.3	5.4	5.3	5.7	5.5	1.5	5.4	5.6	5.6	5.6	4.8	4.6	4.6
相対放射能 <sup>a)</sup>	0.98	1.02	0.98	1.00	0.98	1.06	1.02	0.28	1.00	1.04	1.04	1.04	0.89	0.85	0.85
相対計数 <sup>a)</sup> (あり)	0.91 ± 0.03	0.91 ± 0.03	0.92 ± 0.03	1.00 ± 0.03	0.91 ± 0.03	0.88 ± 0.02	0.99 ± 0.03	0.27 ± 0.02	0.83 ± 0.02	0.89 ± 0.02	0.94 ± 0.03	0.9 ± 0.02	0.87 ± 0.02	0.73 ± 0.02	0.75 ± 0.02
相対計数 <sup>a)</sup> (なし)	0.86 ± 0.02	0.98 ± 0.02	0.90 ± 0.02	1.00 ± 0.02	0.97 ± 0.02	1.04 ± 0.02	1.04 ± 0.02	0.31 ± 0.01	0.94 ± 0.02	0.95 ± 0.02	1.01 ± 0.02	1.02 ± 0.02	0.87 ± 0.02	0.86 ± 0.02	0.83 ± 0.02

a) 相対放射能と相対計数はそれぞれ 4 番目のシードの放射能と計数値で規格化した値である。

表 2 カートリッジ B 中のシードの放射能と計測値

シード番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
放射能(MBq)	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0
相対放射能	0	0	0	0	0	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0
相対計数	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.27 ± 0.01	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>	0.01 <sub>2</sub>

表 3 カートリッジ C の中のシードの放射能と計測値

シード番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
放射能(MBq)	8.6	8.8	11.7	11.9	11.5	9.1	9.1	9.3	9.3	9.2	9.1	9	7.9	7.5	7.8
相対放射能	0.72	0.74	0.98	1.00	0.97	0.76	0.76	0.78	0.78	0.77	0.76	0.76	0.66	0.63	0.66
相対計数率 <sup>a)</sup>	0.68	0.7	0.93	1.00	0.99	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.77	0.66	0.63	0.68

a) 相対計数率は 4 番目のシードをサーベイメータで測定した計数率で規格化した値である。

過しないで検出器に入射する  $\gamma$  線を防ぐために検出器の側面を遮蔽材で囲んである。

### 2-3-2 サーベイメータ

エネルギー補償型  $\gamma$  線用シンチレーションサーベイメータ(型名 TCS-163) [6] を使用した。このサーベイメータは  $^{125}\text{I}$  の 27.5~35.5 keV の  $\gamma$  線を測定できるように入射窓は薄くしてあり、広く臨床の場に導入されている。また、サーベイメータの側面は遮蔽材で囲んである。

### 2-3-3 スリット

スリットは検出器へ  $\gamma$  線の入射を制限するもので、その幅は  $\gamma$  線源からの立体角を考慮して決定した。シードの放射能が強いこと、シードが 1 mm 弱と小さいことから、幅を 0.1 mm にした。線源と検出器の距離が約 3 cm であることから、 $\gamma$  線をシードの直径方向の角度で約  $0.2^\circ$  に制限できる単スリットになっている。同じサイズの厚さ 1 cm の銅板 2 枚(150 mm×70 mm)を用い、0.1 mm のポリエチレンフィルムを挟むようにして幅 0.1 mm の単スリットを作成した。図 2 に使用した単スリットを示す。

## 2-4 駆動部

### 2-4-1 駆動装置

駆動装置はカートリッジが固定された台をコンピュータ制御によりパルスモーターを用いて一定速度で動かすことができる。全体図を図 3 に示す。駆動装置は横 130 mm×縦 250 mm×高さ 56.5 mm の大きさで、横 120 mm×縦 170 mm のアクリル製固定台を 45 mm の可動範囲で移動できる。駆動方向は単スリットに垂直に水平方向に移動させるようになっている。駆動速度は 0.008 mm/s ~ 0.033 mm/s の範囲で設定した。

### 2-4-2 固定用具

臨床で用いるカートリッジは滅菌袋に入って

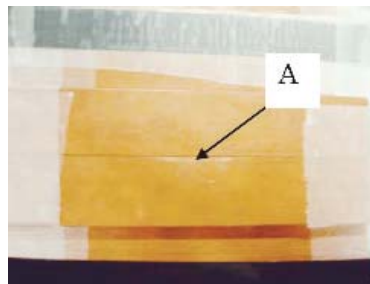


図 2 スリットの全体図

厚さ 1 cm の銅板 2 枚で厚さ 0.1 mm のポリエチレンシートを挟むことで、単スリットを作った。A は 0.1 mm のポリエチレンシートを 1 枚挟んでいる部分を示している。



図 3 駆動装置の全体図

上部のアクリルの部分に、固定用具にカートリッジを固定したものを設置し画面左方向水平方向に移動する。



図 4 固定用具の全体図

アクリルで挟む形でカートリッジを固定する。A は固定部でこのアクリルで上から締め付ける。B は検出窓でこの場所にカートリッジを置き、アクリルによる  $\gamma$  線の吸収がないようになっている。



いて、手術以外ではとり出すことはのぞましくない。このため滅菌袋に入ったカートリッジの向きを想定して、滅菌袋に封入したままでカートリッジを固定する必要がある。

固定用具は縦 150 mm×横 100 mm のアクリルで作られている。全体図を図 4 に示す。カートリッジを固定するためにカートリッジに沿ったくぼみがあり、そこに収まるようにできている。これにより測定に影響がない範囲でカートリッジの方向を一定に保つことができる。

### 3. 実験方法

シード自動走査検定装置を放射線検出器、駆動装置を組み合わせることにより作成した。全体図を図 5 に示す。

スリットを通過してきた  $\gamma$  線を放射線検出器で検出して、その計数の変化から、線源の強度が求められる。基本的な測定の手順は次のようになっている。

1. 駆動装置上部にスリットを設置する。
2. スリットの中心に放射線検出器を設置する。
3. 駆動装置の台にカートリッジを装着した固定用具を置く。
4. 測定を開始する。

#### 3-1 NaI(Tl) 検出器を用いた $^{241}\text{Am}$ によるスリットの性能評価

スリットがシードからの  $\gamma$  線が放射される方向を有効に選別できるかを、 $^{241}\text{Am}$  を用いて測定した。 $^{241}\text{Am}$  を使用した理由は  $^{125}\text{I}$ - $\gamma$  線エネルギーに  $^{241}\text{Am}$ - $\gamma$  線エネルギーが近いためである。標準  $\gamma$  線源  $^{241}\text{Am}$  (436 kBq) はプラスチックのケースに収められ、線源範囲は約 1 mm の大きさであ

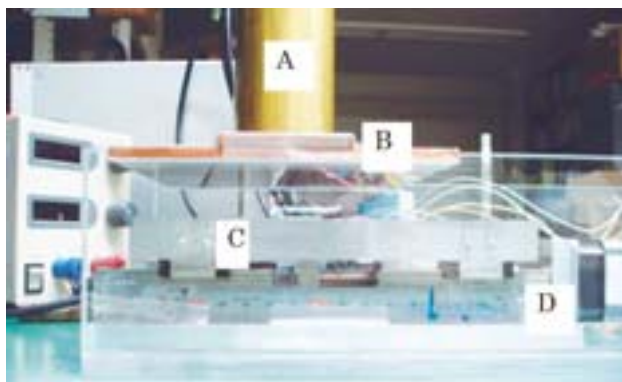


図 5 シード自動走査検定法の全体図

A は検出器部分で真鍮のシールドケースの中に放射線検出器が設置されている。B は単スリットである。C はカートリッジを装着した固定用具を設置する台である。D は駆動装置で、パルスモーターにより一定速度で移動できる。

る。駆動装置の速度を 0.008 mm/s, 0.011 mm/s, 0.0017 mm/s, 0.033 mm/s の 4 種類に設定して測定した。

#### 3-2 NaI(Tl) 検出器を用いた $^{125}\text{I}$ シードの測定

##### 3-2-1 カートリッジ中の隣接するシードの影響の有無

カートリッジ中に隣接しているシードが測定に影響を与えているかを確認するために実験を行った。カートリッジ A とカートリッジ B (カートリッジ A の中で 8 番目のシードだけを残したもの) を測定し、その結果を比べることにより隣接するシードに影響があるかを調べた。カートリッジ A、B を固定用具に設置し、駆動装置の速度を 0.033 mm/s に設定して測定を行った。

##### 3-2-2 滅菌袋による影響の有無

臨床で用いる手術用のカートリッジは滅菌袋に入った状態で準備される。そのため、カートリッジ A を滅菌袋がある状態とない状態の 2 回測定し、滅菌袋の影響を調べた。

カートリッジ A において、滅菌袋がある状態とない状態でカートリッジを固定用具に設置し、駆動装置の速度を 0.033 mm/s に設定して測定を行った。

#### 3-3 サーベイメータを用いた $^{125}\text{I}$ シード測定

臨床の場での測定を想定し、病院で広く利用されている  $^{125}\text{I}$  用シンチレーションサーベイメータを検出器として用いて測定した。サーベイメータでシードによる計数率を計測して、カートリッジの中のシードによる計数率の変化を調べた。

カートリッジ C を固定用具に設置し、駆動装置の速度を 0.033 mm/s に設定して測定を行った。

### 4. 測定結果と考察

#### 4-1 NaI(Tl) シンチレータを用いた $^{241}\text{Am}$ によるスリットの性能評価

単スリットによる放射線源から  $\gamma$  線が放射される方向を制限できるかを、 $^{241}\text{Am}$  を用いて調べた。駆動速度を 0.008 mm/s～0.033 mm/s の範囲で変化させ、 $^{241}\text{Am}$ - $\gamma$  線源からの 60 keV の  $\gamma$  線を NaI(Tl) 検出器で測定した。

駆動速度が 0.008 mm/s での測定結果を図 6 に示す。図中の曲線は  $^{241}\text{Am}$ - $\gamma$  線源は約 1 mm の大きさに一様に分布していると仮定して、測定値の立ち上がりとしち下りの部分をガウス関数でフィッティングして求めた曲線である。ガウス関数の半値幅で位置分解能を求めると  $0.26 \pm 0.01$  mm とな

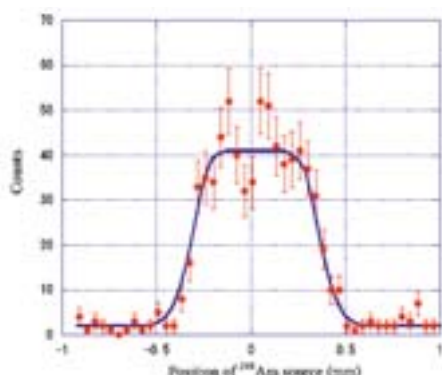


図6 NaI(Tl)検出器を用いた $^{241}\text{Am}$ によるスリットの性能評価

カートリッジを水平方向に  $0.008 \text{ mm/s}$  の速度で移動させて測定した結果を [●] で示す。スペクトルは5秒間計測で60 keVのフォトピークの部分を計数値とした。横軸に単スリットに対する $^{241}\text{Am}$ 標準線源の水平方向の位置をとり、縦軸に5秒間の計数をとって表してある。曲線は測定結果をガウス関数で合わせた補正曲線である。

った。得られた曲線をシードの直径  $0.8 \text{ mm}$  の大きさに換算して、図6中の補正曲線を求めた。  
また、駆動装置の速度によって位置分解能はほとんど変化しないことが示された。このことから、シードを用いたすべての測定では 駆動装置の速度を  $0.033 \text{ mm/s}$  に設定して行った。

## 4-2 NaI(Tl)を用いた $^{125}\text{I}$ シード測定

### 4-2-1 $^{125}\text{I}$ シードから放射される放射線

シード内の $^{125}\text{I}$ からの放射線をNaI(Tl)検出器で調べた。図7は $^{125}\text{I}$ から放出されるX線や $\gamma$ 線のエネルギースペクトルである。 $^{125}\text{I}$ はEC崩壊して安定な $^{125}\text{Te}$ になる。この際、 $35.4 \text{ keV}$ の $\gamma$ 線や崩壊に伴う $^{125}\text{Te}$ からの $27.5\sim 32 \text{ keV}$ のX線が放出される。 $27.5\sim 35.4 \text{ keV}$ の領域に1つのピークだけが顕著に観測されている。

以下の測定では、 $^{125}\text{I}$ からの放射線を  $30 \text{ keV}$  付近のフォトピークの計数を評価して個々のシードの放射線強度を評価した。

### 4-2-2 カートリッジ中の隣接するシードの影響の有無

カートリッジA、Bによる測定結果を図8に示す。ここで、縦軸はカートリッジAに装填されたシードからの計数値を4番目のシードからの計数値に規格化した相対計数値にとってある。図中の曲線は表1に示す相対放射能をもつシード15本が  $0.8 \text{ mm}$  間隔で装填されているとして、 $^{241}\text{Am}$ の測定値を用いて得られた 補正曲線の結果であ

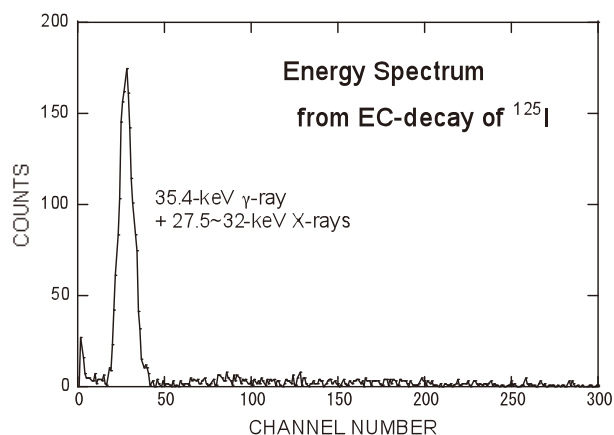


図7  $^{125}\text{I}$ 放射線のエネルギースペクトル  
 $^{125}\text{I}$ シードからの放射線を  $2''\times 2''$  NaI(Tl)検出器で測定した。 $30 \text{ keV}$  付近に $^{125}\text{I}$ から放射されたX線と $\gamma$ 線のフォトピークが顕著に観測される。

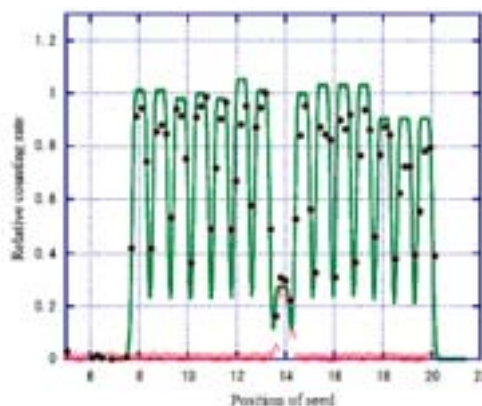


図8 カートリッジ中の隣接するシードの影響  
カートリッジAの結果を [●] で、カートリッジBの結果を [△] で示す。縦軸に4番目のシードの計数値に規格化した相対計数値をとり、横軸をカートリッジの水平方向の位置をとって示す。曲線は相対放射能による相対計数値に換算した $^{241}\text{Am}$ による補正曲線である。

る。NaI(Tl)検出器の相対計数値は表1に示してある。カートリッジAでは15本のシードが個別的に放射能に比例した相対計数値になっていることがわかる。相対放射能に対する相対計数値の比は  $0.91\pm 0.05$  である。個々のシードからの放射線がはっきりと区別できている。

一方、1番弱い放射能を持つ8番のシードだけが入っているカートリッジBの測定結果は図8の [△] で示してある。カートリッジBの計数値はカートリッジAで測定した8番目の計数値と誤差の範囲で一致する結果が得られた。これはカートリッジ内の個々のシードからの放射能に比例した計数値になっていることを示し、隣接するシードからの影響はないと考えられる。

### 4-2-3 滅菌袋による影響の有無

滅菌袋に入れた状態と出した状態で固定具に設置したカートリッジAを測定した。表1に測定結果を示す。カートリッジを滅菌袋にいれた状態と出した状態では $2.3 \pm 0.8\%$ 程度の差異で一致していることがわかった。このシード自動走査検定法でのスクリーニング目的では滅菌袋の有無による影響は少ないと考えられる。

### 4-3 サーベイメータを用いた $^{125}\text{I}$ シード測定

臨床の場合での測定を想定し、病院に多用されているシンチレーションサーベイメータを検出器とし用いた測定結果を図9に示す。縦軸は最大の放射能をもつ4番目シードで規格化した相対計数率で示してある。また、図中の[■]は4番目のシードの放射能を1に規格化した相対放射能である。得られた相対計数率を表3に示す。相対放射能に対する相対計数率の比は $0.98 \pm 0.05$ で、シードの放射能に比例した計数率が誤差5%以内で評価できることを示している。カートリッジ内のシード15本について個々のシードからの放射線を識別できた。サーベイメータを用いたシード自動走査検定法でもカートリッジに装填された個々のシードを識別して測定できた。

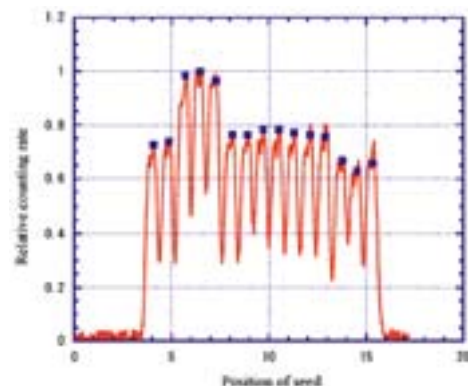


図9 サーベイメータによる  $^{125}\text{I}$  シードの測定  
縦軸に 放射能が最大である4番目のシードの計数率で規格化したサーベイメータの相対計数率をとり、横軸にカートリッジの水平方向の位置をとって示す。曲線はサーベイメータの測定値である。図中の[■]はシードの相対放射能である。

そのため、すべての構成機器を一体化し、自動化することが残された課題である。

### 参考文献

- [1] シード線源による前立腺永久挿入密封小線源治療の安全管理に関するガイドライン 第四版 日本放射線腫瘍学会 日本泌尿器科学会 日本医学放射線学会。
- [2] Yan Yu, Lowell L. Anderson, Zuofeng Li, David E. Mellenberg, Ravinder Nath, M.C. Schell, Frank M. Waterman, Andrew Wu, and John C. Blasko: Permanent prostate seed implant brachytherapy, Report of the American Association of Physicists in Medicine Task Group No.64 (1999) 2055~2073.
- [3] Shunsuke Furutani, Takuya Sase, Hitoshi Ikushima, Masataka Oita, Kyousuke Ozaki, Yoshiomi Kishida, Yoshihiro Takegawa, and Hiromi Nishitani: Quality Assurance of  $^{125}\text{I}$  Seeds for Prostate Brachytherapy using an Imaging Plate, International Journal of Radiation (2006) 603~609.
- [4] 機械器具第10号放射性物質診療用器具高度管理医療機器 非中心循環系永久刺入向け手動式ブラキセラピー装置用放射線源オンコシード (2006)
- [5]  $^{125}\text{I}$  の組織半価層のデータが載っている参考資料
- [6] アロカ社エネルギー補償形  $\gamma$  線用シンチレーションサーベイメータ(TCS-163)カタログ

## 5. 結論

本研究においてスリットと  $\gamma$  線検出器を用いて、治療用密封小線源(シード)を簡便かつ迅速な方法で品質検定できるシード自動走査検定装置を開発した。この装置は滅菌袋に封入されたカートリッジを一定速度で移動させることにより単スリットの真下にきたシードからの  $\gamma$  線だけを通過させて  $\gamma$  線検出器で測定し、その放射能を評価するシステムである。この装置を用いて、カートリッジ中の個々のシード放射能に比例した計数測定に成功した。滅菌袋の存在が測定に与える影響は  $2.3 \pm 0.8\%$  程度であるため、スクリーニング目的では滅菌袋の存在が測定に与える影響は小さいことがわかった。サーベイメータを使用した場合では個々のシードからの放射線を識別して、誤差5%程度で相対放射能を評価できた。このことは滅菌袋に入ったままカートリッジに装填された各シードの放射能を評価できるシードの品質検定システムになっていることを示す。1個のカートリッジを測定するのに10分弱の時間で完了する。1回の手術で使用する7個のカートリッジであれば、すべてのシードを品質検定するのに1時間ほどで終了することになる。短時間かつ簡易的な方法で  $^{125}\text{I}$  シード品質検定が可能になる。

今回の実験において使用したシード自動走査検定装置は駆動装置を含め放射線検出器などの設定が必要とされる。臨床の場合ではできるだけ少ない設定で、簡単に操作できることが求められる。

論文受付 2010年9月21日  
改訂論文受付 2010年9月29日  
論文受理 2010年9月30日