

論文

# イメージングプレートの線及び線に対する特性

高田 茂\* 小山元子\* 谷崎良之\*

Response of Imaging Plate to alpha-rays and gamma-rays

Shigeru TAKATA, Motoko KOYAMA and Yoshiyuki TANIZAKI

**Abstract** Characteristics of Imaging Plate to alpha-rays and gamma-rays were studied. Gamma-ray energy dependence of the response of the Imaging Plate was measured by irradiation of gamma-rays with different energy which was emitted from Am-241, Cs-137 and Co-60. As a result, the PSL value to one gamma-ray from these nuclides was  $3.1 \times 10^{-3}$ ,  $3.1 \times 10^{-4}$  and  $3.6 \times 10^{-4}$  respectively. Also, the PSL value per 1 keV absorbed energy in Imaging Plate was  $1.4 \times 10^{-4}$ ,  $2.3 \times 10^{-4}$  and  $3.4 \times 10^{-4}$  respectively. Possibility of alpha-ray counting by Imaging Plate was examined using alpha-ray emitted from Np-237. As a result, when the incident alpha-ray was perpendicular to Imaging Plate, the number of incident alpha particles could be measured by counting spot images in the picture taken by the Imaging Plate. When the incident alpha-ray was diagonal, the number of incident alpha particles could be estimated by comparing the picture of the sample with the picture of standard alpha-ray source.

**Keywords** Imaging plate, gamma-ray sensitivity, alpha-ray counting, Am-241, Cs-137, Co-60, Np-237

## 1. はじめに

放射線の2次元分布を測定することは、放射線透過試験やオートラジオグラフィなどの分野で、基本となっている技術である。現在、放射線2次元分布測定器にはX線用フィルムをはじめ、イメージングプレート<sup>1)</sup>、X線CCDカメラ<sup>2)</sup>、フラットパネルディテクタ<sup>3)</sup>などが実用化されている。特に輝尽発光体を利用したイメージングプレート(IP)は、開発当初から放射線検出器としての性能の良さ<sup>1)</sup>が注目され、放射線診断や非破壊検査など様々な分野に普及している。

IPは広く使われているにもかかわらずその放射線測定器としての特性が十分に明らかにされていない。これはIPが放射線測定器としてではなく「従来の病院におけるレントゲン写真撮影から画像診断までの流れを変えないデジタルX線イメージングシステム」<sup>4)</sup>の一部として開

表1 線応答特性の測定に用いた線源とその特性<sup>5)</sup>

核種	壊変率 MBq	線 keV	放出率	吸収エネルギー* keV
<sup>137</sup> Cs	2.76	661.7	0.851	1.27
		37.5	0.0026	
		36.4	0.0104	
		32.2	0.0377	
		31.8	0.0205	
<sup>60</sup> Co	2.26	1173.2	0.9992	1.05
		1332.5	1.000	
<sup>241</sup> Am	2.70	59.5	0.359	9.95
		33.2	0.0012	
		26.3	0.0241	
		21.0	0.052	
		17.6	0.202	
		15.9	0.0033	
	14.0	0.13		

\* 1壊変で放出される線がすべてIPに垂直に入射した場合、IPの蛍光層で吸収されるエネルギー

発されたためと思われる。IPの応用範囲が大きく広がった現在、IPの放射線測定器としての基本性能は不可欠な情報である。本研究では、線透過試験で重要な要素である線エネルギー応答特性と半導体製造分野で注目されている微量線計測への応用の可能性について調べたので報告する。

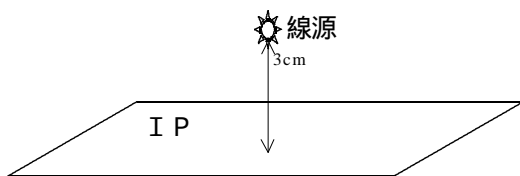


図1 IPの線エネルギー特性測定のための照射方法

## 2. 方法

### 2.1 IPの線エネルギー応答特性

IPは線が入射するとそのエネルギーの一部を吸収

\*精密分析技術グループ

・蓄積し、刺激光を受けるとその蓄積エネルギーを輝尽光として放出する性質を持っている。これまでに、輝尽光の量が入射線のエネルギーに依存することは知られているが、そのエネルギー依存性を定量的に扱った報告はない。そこで、エネルギーの異なる線を放出する三種類の線源を用いて、それぞれの線に対するIPの輝尽光量を測定した。実験に用いた線源はプラスチック円盤に封入された直径1mm以内の点状線源である。それぞれの核種、壊変率及び放出線は表1に示した。IPは富士写真フィルム製SR2025を使用した。線の照射はIPを遮光性の薄いプラスチック袋に入れ、図1に示すようにIP表面から3cm離れた位置に線源を置いて行った。照射時間は2時間とし、照射後5分以内に読み取りを行った。照射から読み取りまでのフェーディング効果については考慮しなかった。IPの応答はIP専用読み取り器であるBAS-5000MACで測定した。BAS-5000MACはIPの応答をIP面上の微小面積(ピクセル)当たりの発光量で表示するようになっている。ここでは、微小面積を25 $\mu\text{m}^2$ に設定した。輝尽光の量は物理量で測定することが望ましいが、BAS-5000MACでは「IPにWターゲットでX線(80kV、照射線量:0.15mR)を照射した後の輝尽性蛍光の発光により得られるシステムの検出量の値を100PSL/mm<sup>2</sup>と定義する」<sup>6)</sup>と規定されたPSLあるいはその対数圧縮量であるQLという独自の単位で出力されるので、これらの単位で測定した。応答特性は各ピクセルに入射した線の個数とそのピクセルからのPSL値を比較することで測定した。各ピクセルへの線の入射個数は、次式により計算した。

$$= \frac{A \times f \times S}{4 \times \pi \times r^2} \quad \text{式(1)}$$

ここで、Aは線源の壊変率(Bq)、fは線の放出率、Sはピクセルの面積(mm<sup>2</sup>)、rは線源とピクセル中心の距離(mm)である。

線源とピクセルの距離が大きくなると、入射線はIP面に斜めに入射するようになる。しかし、IPの蛍光層の厚さ120 $\mu\text{m}$ と線の透過力を考慮すると、線の検出は1ピクセルを底面とし高さ120 $\mu\text{m}$ の立体全体でほぼ均等に行われることが分かる。従って、上式では入射線に対するIP面の傾きは考慮していない。

### 2.2 微量線計測への応用

IPによる線の計数測定は、線放出率が値付けられている標準線源ネプツニウム-237(<sup>237</sup>Np):26.4/s<sup>2</sup>を用いて行った。IP面に線が通過する厚さ6 $\mu\text{m}$ の汚染防止用マイラーフィルムを被せ、その上に線源を密着させ39秒及び67秒間放置してから輝尽光画像を読み出し、その画像から線による像を検出することを試みた。この方法は実際の試料測定に近い形態である

が、IP面に斜めに入射する線が多くなるため、明瞭な線の像が得られない可能性がある。そこで、IP面に線が通過しない厚さ60 $\mu\text{m}$ のフィルムを置き、そのフィルムに直径約10mmの穴をあけた。線源を穴の真上にIP面から10mm離して28分間放置した後、密着と同様の測定を行った。この形態では線はほとんどIP面に90度から60度までの角度で入射する。実験に用いた装置は線測定の場合と同じであるが、IPは表面の保護膜がないTR2025を使用した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 IPの線エネルギー応答特性

図1のような照射条件では、線源の真下のPSL値が最も多い、同心円状の画像が得られる。図2にセシウム-137(<sup>137</sup>Cs)線源の真下を通る直線上のピクセルにおけるPSL値を示した。図中に表示した実線は式(1)から

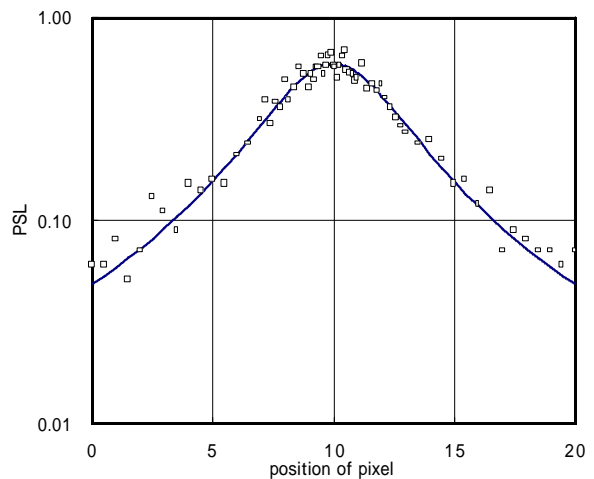


図2 <sup>137</sup>Cs線源からの距離が異なるピクセルにおけるPSL値。横軸中央が線源の真下約3cmにあたる。実線は式(1)による計算値。

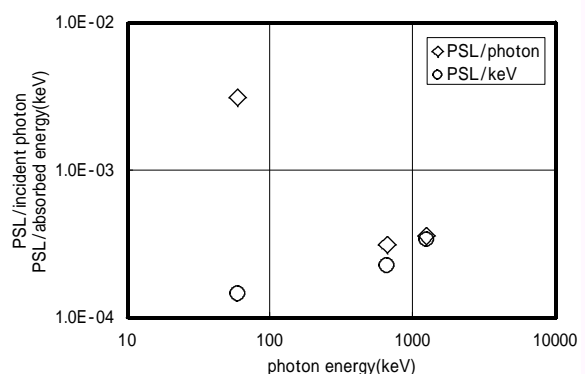


図3 IP(SR2520)の線のエネルギーに対する感度特性。は主要線の入射個数に対する感度。はIP蛍光層での吸収エネルギーに対する感度。

計算した各ピクセルごとの入射線個数に定数を乗じたものである。図から明らかなように、この定数を最小二乗法で決めることにより、実測 PSL 値と計算値を良く一致させることができた。この定数  $3.1 \times 10^{-4}$  は  $^{137}\text{Cs}$  の線 (662keV) 1個当たりの I P の PSL 値、すなわち 662 keV 線に対する感度 (PSL/photon) と考えることができる。コバルト-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) 及びアメリシウム-241 ( $^{241}\text{Am}$ ) の線についても同様のことを行ない、それぞれの線に対する感度を求めた。その結果を、図3に菱形印で示した。 $^{60}\text{Co}$  及び  $^{241}\text{Am}$  からの線に対する感度はそれぞれ  $3.6 \times 10^{-4}$ 、 $3.1 \times 10^{-3}$  であった。なお、図3では、各線源から放出される主要線に対するエネルギー応答特性として示した。すなわち、 $^{241}\text{Am}$  からは 60keV、 $^{137}\text{Cs}$  からは 662keV、 $^{60}\text{Co}$  からは 1173keV 及び 1333keV の線だけが出ているとして感度を計算した。図3から、使用した I P は 60keV の線に対する感度が 662keV や 1173keV 及び 1333keV の線に対する感度より約10倍高いことが分かる。この違いは、I P 蛍光層で吸収される線のエネルギーの差によるものと考えられる。そこで、実際に I P の蛍光層で吸収されるエネルギーに対する PSL 出力を比較した。I P の蛍光層はバリウム (Ba) や臭素 (Br) という比較的原子番号が大きい元素を含むため、低エネルギー線に対するエネルギー吸収係数は急速に増加する。従って、考慮する線は前述の主要線だけでなく、副次的な線や特性 X 線も含めた。表1に、各線源からの線と X 線及び計算された吸収エネルギーを示した。このようにして得た吸収エネルギーに対する感度は  $1.4 \times 10^{-4}$  PSL/keV、 $2.3 \times 10^{-4}$  PSL/keV、 $3.4 \times 10^{-4}$  PSL/keV となった。その値を図3に丸印で表示した。I P の発光原理から考えると、ピクセル当たりの PSL 値はピクセル当たりの吸収エネルギーだけに依存し、従って、吸収エネルギー当たりの PSL 値は入射線のエネルギーには無関係、つまり核種に依存しないはずである。しかし、図3の丸印は  $^{241}\text{Am}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{60}\text{Co}$  の順に吸収エネルギーに対する感度が高くなっており、 $^{60}\text{Co}$  は  $^{241}\text{Am}$  より約2.4倍高いことを示している。この理由は、線源容器による低エネルギー線の吸収、蛍光層による線減弱のエネルギーによる違い、読み出し刺激光の蛍光層による減衰及び放出輝尽光の蛍光層による自己吸収などが相互に関係しているのではないかと考えられるが、現在のところ明らかでない。以上から、応答特性が未知の核種に対して、その核種が放出する線のエネルギーと放出割合や I P の蛍光層による線の吸収エネルギーを計算することにより、前もって I P の出力を予想することができるようになった。

### 3.2 微量線計測への応用

標準線源を用いて線を照射したときに得られた画

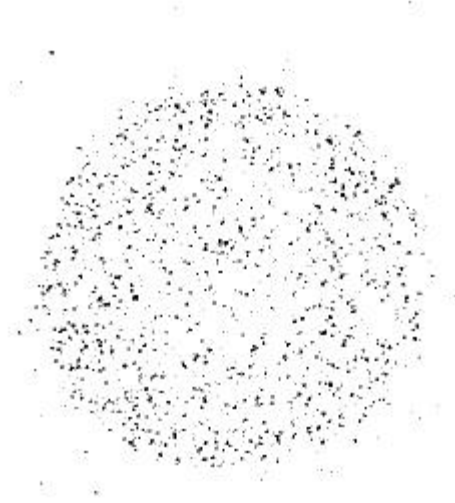


図4 線源を密着した場合の線画像

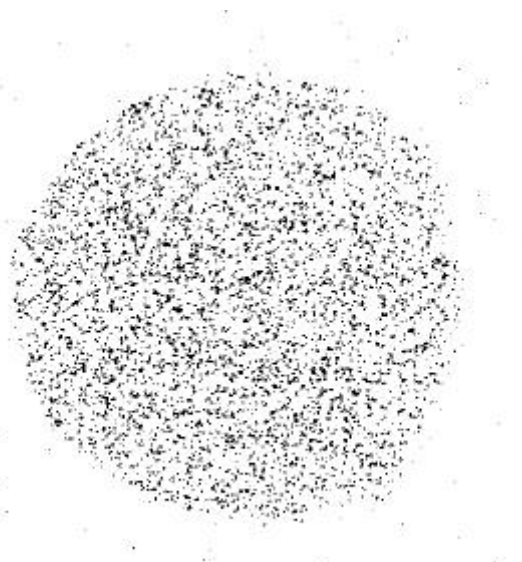


図5 1 cm 離して照射した場合の線画像

像を図4と5に示した。図4は線源を I P 面に密着した場合、図5は線源を I P 面から 1 cm 離して、直径 1 cm の穴を通した場合の画像の例である。なお、画像は一定 PSL 値を境に二値化して表示してある。これらの画像からは線によると考えられる点状の画像が観察され、この点状像の個数を数えることで線の計数が可能なように思われる。実際に二値化する PSL 値を変化させて、計数される点状像の個数を調べると図6のようになった。図6は PSL 値を対数圧縮した QL 値に変換して示してある。図から明らかなように、線源を離れた場合は二値化レベルを変化させても点状像の個数が変わらない部分があり、その値を線の個数と見なすことができる。これは  $^{237}\text{Np}$  からの線が 4.8MeV という高いエネルギーを持ち、I P の蛍光層内での飛程が  $15 \mu\text{m}$  と短く、しかも I P 面に垂直に近い角度で入射するため、1個の線

は1個か2個のピクセルにだけ入射し、線が入射しなかったピクセルとは輝尽光の強さが大きく異なるためと考えられる。しかし、線源を密着した場合は、二値化レベルを下げるに従って、点状像の個数が増加し、画像だけから線の個数を特定することはできないことが分かった。これは密着の場合、IP面に浅い角度で入射する線が汚染防止のフィルムを斜めに通過することにより多くのエネルギーを失い、PSL値の少ないピクセルが増加するためと思われる。

さらに、線源から放出される線の個数と点状像の数を比較した。線源を離れた場合、線源を点線源と見なして線放出率から穴を通過した線の個数を計算すると、線源を1cm離れた場合の点状像の個数は、入射線の87%となった。このことは、線がIPに垂直に近い

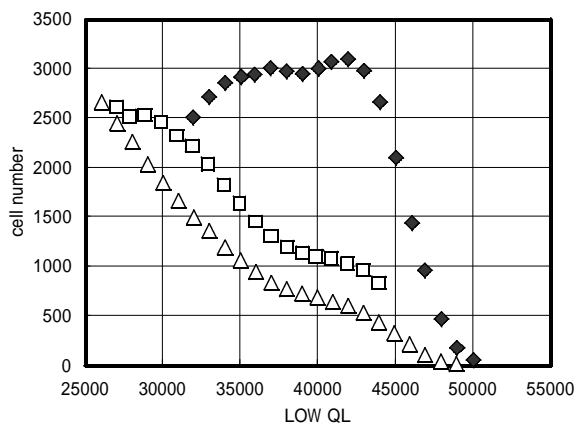


図6 線照射画像のLOW QL以上の点状像の個数。  
 は1cm離して照射した場合。 は密着して67秒間照射した場合。  
 は密着して39秒間照射した場合。

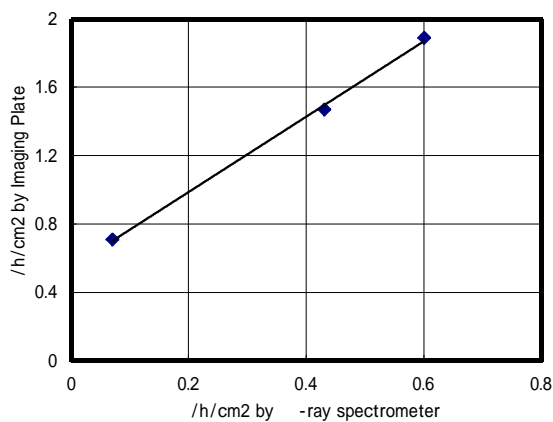


図7 線スペクトロメータとイメージングプレートによるセミック板表面からの線個数測定値

角度で入射する場合は、点状像の個数を線の個数と考えても大きな違いがないことを示している。一方、密着画像における点状像の個数と計算された入射線の個数を比較すると、およそQL値で35000あたりの個数が入射線の個数に対応していることが分かった。この結果を用いて、3種類のセラミック板を3日間IPに密着させて得た画像から、線の放出率を求め、表面障壁型Si半導体線スペクトロメータによる測定結果と比較したのが図7である。両方の測定結果は傾向としてよく一致しているが、IPの測定値の方がバックグラウンド値が高く、バックグラウンドを引いた値は線スペクトロメータの測定値の約2倍になっている。これは線スペクトロメータが線以外にはほとんど感度がなく、バックグラウンド計数率も非常に低いのに対して、IPは線や線にも感じるためと思われる。以上から、セラミック板の表面から放出される線の計数は、線がIP面に垂直に近い角度で入射する場合は画像を解析するだけで可能であることが分かった。また、密着して測定する場合は標準線源などで、あらかじめ線を分離する二値化レベルを決めておくことが必要である。

#### 4.まとめ

IP (SR2520)の線に対する応答特性は $^{241}\text{Am}$ の線に対して $3.1 \times 10^{-3}$  PSL/photon,  $^{137}\text{Cs}$ の線に対して $3.1 \times 10^{-4}$  PSL/photon,  $^{60}\text{Co}$ の線に対して $3.6 \times 10^{-4}$  PSL/photonであった。また、IPの蛍光層での吸収エネルギーで比較すると、それぞれ $1.4 \times 10^{-4}$  PSL/keV,  $2.3 \times 10^{-4}$  PSL/keV,  $3.4 \times 10^{-4}$  PSL/keVとなった。吸収エネルギーでの応答特性は核種による違いが少ないので、応答特性が分かっていない核種についてもある程度の応答特性を予想できるようになった。線については、線がIPへ垂直に近い角度で入射する場合は、入射した個々の線に対応した点状の像が得られ、その像の数を数えることで微量線を計数できた。しかし、試料をIPに密着させた場合は線による像と他の原因による像を明確に区別することが困難であった。この場合、標準試料による像との比較により、線を計数することが可能であった。

#### 参考文献

- 1) 高田茂, 小山元子, 櫻井昇, 渡辺是彦, 谷崎良之: 東京都立産業技術研究所研究報告第1号, 52-55, (1998).
- 2) 伊藤和輝, 雨宮慶幸: 放射線, 25, 39-52(1999).
- 3) 稲邑清也: 新医療, 292, 4月号, 72-77(1999).
- 4) 宮原諄二: 保健物理, 34, 24-28(1999).
- 5) E. Browne, R. B. Firestone: Table of Radioactive Isotopes, John Wiley & Sons(1986).
- 6) BAS Technical Information No.1., 富士写真フィルム(1993).

(原稿受付 平成11年8月9日)