

イメージングプレートによる表面汚染測定の基礎的検討

村 中 明

Fundamental Studies on Measurement of Surface Contamination by Using Imaging Plate

Akira MURANAKA

キーワード：イメージングプレート，表面汚染，測定精度

概 要

非密封放射性同位元素による表面汚染の測定にイメージングプレート (IP) を利用することを目的に，その基礎的検討を行った。

スミヤロ紙の放射能と IP の光輝尽性発光 (PSL) 濃度は，放射能約 $10^1 \sim 10^4 \text{Bq}$ の3桁にわたり比例関係が認められた。IP の感度は放射線の種類やエネルギーによって大きく異なるが，最も測定感度の低い ^{14}C でも表面汚染の検出限界は 2Bq/cm^2 程度になり，IP は表面汚染測定に十分な感度を有すると考えられた。IP による放射能測定における繰り返し測定誤差は $\pm 4\%$ 以内，IP 間の感度差は約 4% であった。また，IP 内には読み取り装置に起因すると考えられる最大 $\pm 6\%$ 程度の感度不均一性が認められた。

IP を用いた表面汚染の測定は，誤差がやや大きい欠点があるが，短時間で多数のスミヤロ紙を簡単に測定できることや物の表面汚染状態を画像として把握することが可能であり，スクリーニング測定に適していると考えられた。

1. はじめに

イメージングプレート (imaging plate, IP) は，輝尽性蛍光体 $\text{BaFBr} : \text{Eu}^{2+}$ の微細結晶 (粒子サイズ：約 $5 \mu\text{m}$) をポリエステルフィルムに約 $150 \mu\text{m}$ の厚さで塗布したシート状の高感度放射線画像センサである¹⁾。IP に放射線が照射されると準安定状態の潜像が形成される。その後，IP 面をレーザビームで走査すると潜像強度に比例した光輝尽性発光 (photo-stimulated luminescence, PSL) を発し，それを測定することによって放射線の強度分布の像を得ることができる。IP は写真フィルムと比較し感度が高くダイナミックレンジが広いこと，データをコンピュータ処理しやすいなどの優れた特性を持っており，オートラジオグラフィ，クロマトグラフィ

などのバイオイメージングやX線撮影に多用されている。また，その他の放射線計測分野への応用が種々検討されている²⁻⁴⁾。

非密封放射性同位元素の表面汚染の測定は，日常の放射線管理に欠かせない測定の1つであり，その測定にはスミヤ法を用いることが多い。スミヤロ紙の測定には， β 線放出核種を対象とする場合には液体シンチレーションカウンタが， γ 線放出核種を対象とする場合にはウエル型 NaI (Tl) シンチレーションカウンタが用いられている。しかし，試料が多い場合には測定に長時間を要すること，使用済み液体シンチレータの廃棄物処理に手間がかかるなどの問題がある。

IP は高感度で，一度に多数のスミヤロ紙を測定できる利点があり，放射能の定量的な測定が可能であれば大幅な測定時間の短縮が可能である。また，汚染箇所を IP で直接測定すれば，他の方法では得られない汚染核種の分布を画像として把握することができる。

以上の観点から，表面汚染の測定に IP を利用することを目的に，IP による放射能の定量的

(平成10年9月17日受理)

川崎医療短期大学 放射線技術科

Department of Radiological Technology, Kawasaki College of Allied Health Professions

な測定に関する基礎的な検討を行った。

2. 使用装置および方法

使用した装置はバイオイメージングアナライザ (BAS-2000 II, 富士写真フィルム) で, 40×20cmのイメージングプレート (IP: type BAS-III) を用いた. IP の読み取りは Gradation: 256, Resolution: 200 μ m, Sensitivity: 10000, Latitude: 4 の条件で行った. 測定したイメージの定量評価, 保存等は付属のコンピュータ上で行った.

図1に測定試料の作成とその測定法の概要を示した. 種々の放射能濃度の ^{14}C , ^{32}P , ^{125}I 溶液 200 μl をスミヤ用ろ紙 (直径2.5cm) の中央に滴下し, 乾燥させて測定試料とした. IP の汚染を防ぐために試料をサランラップ1枚で覆い, IP の上に並べて専用カセット中で10~30分間露光した. その後 IP をカセットから取り出し, 2分後にバイオイメージングアナライザで読み取りを行った. 得られたイメージ上の試料ろ紙および試料ろ紙のないバックグラウンドの範囲に関心領域 (region of interest, ROI, 面積: 7.3×10 2 mm 2) を設定し, 各 ROI 中の PSL 濃度 (PSL/mm 2) を求めた. そして, 各試料の正味の PSL 濃度を計算した. 試料の放射能濃度は, 液体またはウエル型 NaI (T1) シンチレーションカウンタを用いて決定した.

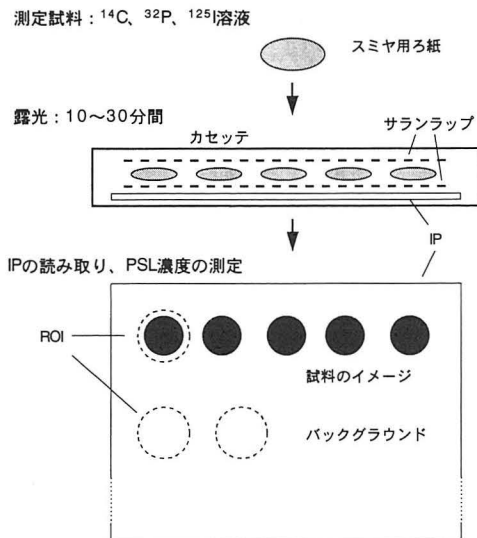


図1 測定試料の作成と測定法

測定値の再現性の検討では, ^{14}C の 5 個の試料を IP 上の一定位置に固定して置き, 同一条件 (露光時間: 10分間) で繰り返し測定を行い, 1日以内の繰り返し測定誤差と3週間における測定値の変動を求めた. また, 3枚の IP を用いて, 同様に繰り返し測定を行い, IP 間の感度差を検討した.

IP 内の感度不均一性の検討では, IP を実験室内に2週間放置しバックグラウンドを測定した. IP 上に50個の正方形の ROI (面積: 1.4×10 3 mm 2) を設定し, 各 ROI 中の PSL 濃度 (PSL/mm 2) を求め, 平均値に対する偏差 (%) を計算した. さらに, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (約1.85GBq) の点状線源を用いて, 距離3mにおいて10分間 IP の全面を γ 線で均一に照射し, バックグラウンドと同様な方法で感度不均一性を測定した.

3. 結 果

図2に露光時間30分で測定した, 試料ろ紙の ^{14}C , ^{32}P , ^{125}I の放射能と PSL 濃度との関係を示した. IP の感度は核種によって大きく異なるが, いずれの核種についても放射能約10 1 ~10 4 Bq の3桁にわたり比例関係が認められた. 露光時間30分におけるバックグラウンドレベル (BGレベル) は0.097±0.008PSL/mm 2 であった.

表1に各核種の単位放射能当たりの PSL 濃度と表面汚染の検出限界の比較を示した. 単位

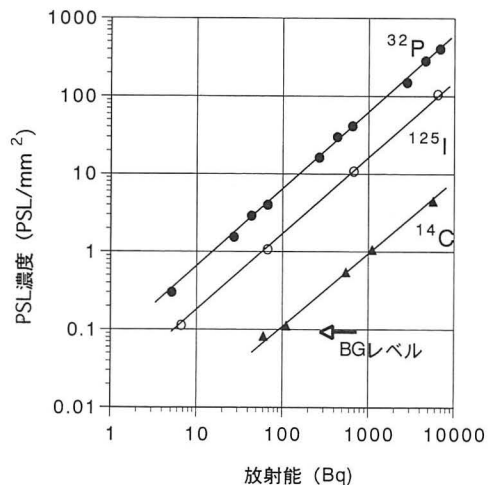


図2 試料の放射能と PSL 濃度との関係
(BG レベル: バックグラウンドレベル)

放射能当たりの PSL 濃度は、核種の放出する放射線の種類とエネルギーにより大きく異なり、¹⁴C に対して³²P では約60倍、¹²⁵I では約14倍であった。また、試料ろ紙を IP のイメージ上で視覚的に認識できる限界は、試料ろ紙に設定した ROI 中の正味の PSL 濃度がほぼバックグラウンドレベルのときであった。このときの PSL 濃度を IP による放射能測定の検出限界とし、スミヤロ紙の拭き取り面積を100cm²、拭き取り効

率を50%と仮定して、表面汚染の検出限界を計算した。その結果、最も感度の低い¹⁴C で約 2 Bq/cm²であった。

表 2 に IP (No.21979) を用いて測定値の 1 日以内の繰り返し測定誤差を検討した結果を示した。試料ろ紙No.1～5 を 4 回繰り返し同一条件で測定した結果、測定値の最大偏差は±0.6～1.7%であった。

表 3 に 3 枚の IP (No.21979, No.20404, No.20405)

表 1 各核種の単位放射能当たりの PSL 濃度および検出限界の比較

核種	崩壊形式	β線の最大エネルギー (MeV)	γ線のエネルギー (MeV)	PSL/Bq	検出限界*	
					Bq/ろ紙	Bq/cm ²
¹⁴ C	β ⁻	0.156	no γ	0.80±0.07	95	1.90
³² P	β ⁻	1.711	no γ	45.96±0.48	1.7	0.03
¹²⁵ I	EC	no β	約0.03	11.28±0.13	5.8	0.12

* 正味の PSL 濃度がバックグラウンドレベルのとき、拭き取り面積：100cm²、拭き取り効率：50%

表 2 イメージングプレートの測定値の繰り返し測定誤差

試料 No.	PSL 濃度 (PSL/mm ²)						最大偏差 (%)
	1回目	2回目	3回目	4回目	平均	標準偏差	
1	1.48	1.51	1.48	1.46	1.48	0.018	±1.7
2	1.59	1.55	1.59	1.58	1.58	0.016	±1.3
3	1.74	1.73	1.74	1.72	1.73	0.008	±0.6
4	1.58	1.59	1.57	1.58	1.58	0.001	±0.6
5	1.77	1.79	1.79	1.75	1.76	0.017	±1.1

表 3 イメージングプレートの測定値の3週間内の変動

IP No.	試料 No.	PSL 濃度 (PSL/mm ²)					最大偏差 (%)
		1週目平均	2週目平均	3週目平均	全平均	標準偏差	
21979	1	1.48(4)*	1.48(2)	1.52(2)	1.49	0.03	±2.0
	2	1.58(4)	1.58(2)	1.63(2)	1.59	0.02	±2.5
	3	1.73(4)	1.73(2)	1.80(2)	1.75	0.03	±2.3
	4	1.58(4)	1.59(2)	1.64(2)	1.60	0.03	±2.5
	5	1.76(4)	1.79(2)	1.84(2)	1.80	0.03	±2.8
20404	1	1.43(2)	1.39(2)	1.45(2)	1.42	0.03	±2.8
	2	1.53(2)	1.52(2)	1.57(2)	1.54	0.02	±2.3
	3	1.68(2)	1.68(2)	1.74(2)	1.70	0.04	±3.2
	4	1.52(2)	1.50(2)	1.57(2)	1.53	0.03	±2.9
	5	1.73(2)	1.73(2)	1.78(2)	1.75	0.03	±2.0
20405	1	1.42(2)	1.44(2)	1.48(2)	1.45	0.03	±3.1
	2	1.51(2)	1.51(2)	1.56(2)	1.53	0.03	±3.3
	3	1.66(2)	1.67(2)	1.74(2)	1.69	0.04	±3.3
	4	1.52(2)	1.52(2)	1.57(2)	1.53	0.03	±2.3
	5	1.70(2)	1.68(2)	1.74(2)	1.71	0.04	±3.5

* () 内の数値は測定回数

を用いて、測定値の3週間の比較的長期間にわたる変動を検討した結果を示した。試料ろ紙No.1～5を合計6～8回測定した結果、測定日によって測定値に変動が見られ、3週間の測定値の最大偏差は±2.0～3.5%と1日以内の繰り返し測定誤差より大きくなった。また、3枚のIPの測定値を比較すると、No.21979のIPはNo.20404およびNo.20405のIPより常に大きい値(平均+3.7%～4.0%)を示し、統計的有意($p < 0.001$)に感度が高かった。No.20404とNo.20405のIP間には有意な差は認められなかった。

図3に、バックグラウンドおよび $^{99m}\text{Tc}\gamma$ 線照射によって求めたIP(No.21979)の感度不均一性を示した。数値はIP全面のPSL濃度の平均値を基準にした各ブロックの相対値(%)を示している。各ブロックの相対感度は、バックグラウンドでは+5.57～-5.62%、 $^{99m}\text{Tc}\gamma$ 線照射では+5.95～-3.98であった。また、横方向の感度分布は両端が比較的高く、中央部が低かった。縦方向の感度分布は、上部が高く下部に行くほど低下する傾向が認められた。このIP内の感度不均一性のパターンは繰り返し測定して

も、また別のIPを用いても同様の傾向を示した。

4. 考 察

通常、イメージングプレート(IP)を用いて放射性同位元素の放射能を測定する場合、IPの汚染防止のため試料をサランラップ(塩化ビニリデン、 $10\mu\text{m}$ 厚)で包んで測定する。したがって、 α 線や ^3H の β 線(最大エネルギー:18keV)はサランラップを透過せず測定できない。 ^3H などの測定には、サランラップを用いず、使い捨ての保護層のない特殊なIPが使われている³⁾。

今回実験に使用した ^{14}C は、日常多用されている核種の中で ^3H に次いで低エネルギーの β 線(最大エネルギー:156keV)を放出し、サランラップ1枚で約1/2に減衰するといわれている³⁾。したがって、通常のIPを用いた測定では、測定可能な核種のうち ^{14}C で最も感度が低くなると予想でき、その表面汚染の検出限界は約2Bq/cm²であった。この値は、法的な表面汚染密度の限度40Bq/cm²の約1/20であり、IPは表面汚染の測定に十分な感度を有すると考えられる。

今回の実験では、IPの露光は実験室内で

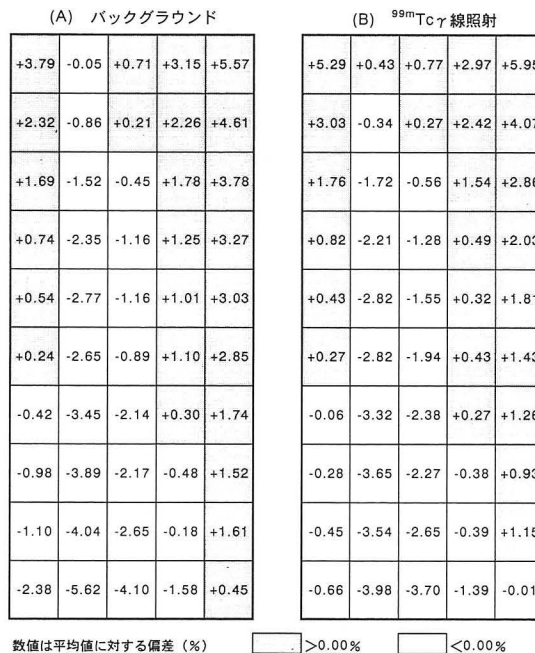


図3 イメージングプレート内の感度不均一性
(IP: No.21979)

10～30分間行った。バックグラウンドのPSL濃度レベルは露光時間に比例して増加し、露光時間の延長は検出限界を飛躍的に向上させることにはつながらない。適当な遮蔽体の中でIPを露光すれば、バックグラウンドレベルは約1/15～1/30に減少することが知られており^{5,6)}、検出限界も同程度低下させることが可能と考えられる。

IPの感度は放射線の種類やそのエネルギーによって大きく異なっており、核種が不明の場合には、PSL濃度のみからは放射能の定量ができない。しかし、ろ紙の汚染を全て¹⁴Cによるものと見なせば、実際の表面汚染密度よりもかなり高く、つまり安全側に評価することになり、汚染したろ紙を確実に選び出すことが可能である。その結果に基づき除染等の必要な処置を行えば、放射線管理の目的は達成できる。IPを用いればスミヤろ紙40～50枚を一度に簡単な手技で測定でき、大幅な時間短縮が可能であり、IPは表面汚染のスクリーニング測定に適しているといえる。

汚染核種を特定する必要がある場合には、選び出した汚染ろ紙を液体シンチレーションカウンタやウエル型NaI (Tl) シンチレーションカウンタで精密測定すればよい。また、IPのPSL濃度から放射線の種類とエネルギーを推定する方法として、種々の吸収体を用いる方法⁷⁾、IPを重ねて露光する方法やIPを数回続けて読み取りPSL濃度の強度比をとる方法¹⁾などが試みられている。

測定値の再現性の検討では、1日以内の繰り返し測定誤差は±2%以内、3週間にわたる比較的長期間の変動は±4%以内であった。また、IP間にも約4%の感度差が認められた。しかし、今回最も大きい測定値の変動を示したのは、IP面内の位置による感度差で、最大±6%であった。このIP面内の感度分布は、繰り返し測定しても、別のIPを用いても同様のパターンを示し、IPそのものの感度不均一性だけではなく、読み取り装置に起因する系統的な誤差が存在すると考えられる。従来、IP間およびIP面内の感度差は1.5%以下とされているが⁴⁾、他の施設の検討でも、読み取り装置に起因する測定誤差があることが報告⁸⁾されている。したがって、IPを用いて放射能の定量測定をする場合には、この誤差を常に念頭に置く必要がある。

今回は、スミヤろ紙の放射能測定についてのみ検討したが、IPを用いて汚染箇所を直接測定し、表面汚染の分布状態を把握することも可能である。床やスリッパ等の局所汚染の評価や除染後の残留放射能の評価に有用であるという報告⁹⁾もあり、今後IPを用いた表面汚染の直接測定についても検討する予定である。

5. 謝 辞

本研究にご協力いただいた、川崎医科大学RIセンターの職員の皆様、および放射線技術科第18期生の大西久美子、羽田野武士、本堀淳士、岡田かおり、鳥生麻衣子、第19期生の近藤寛子、西脇弘純、山内由美、山本 毅、中原 洋、中尾元昭の各氏に深く感謝いたします。

6. 文 献

- 1) 森千鶴夫：イメージングプレートを用いた放射線計測，RADIOISOTOPES 44：295-296，1995。
- 2) 宮原諄二：イメージングプレートのバイオサイエンスへの応用，第34回理工学における同位元素研究発表会要旨集：308-312，1997。
- 3) 高橋健治：IPの最新技術の動向，第35回理工学における同位元素研究発表会要旨集：236-239，1998。
- 4) 山寺 亮，金琅珠，宮田孝元，中村尚司：X， γ 線個人被曝線量計としてのイメージングプレートの特性，RADIOISOTOPES 42：676-682，1993。
- 5) 富士写真フィルム株式会社：バイオイメージングアナライザー BAS-2000II操作ガイド（第3版），東京，1996。
- 6) 小井戸伸吾，鈴木智博，森千鶴夫，宮原 洋，瓜谷 章：イメージングプレートによる自然放射能分布測定，第32回理工学における同位元素研究発表会要旨集：24，1995。
- 7) 高橋直子，久保 剛：イメージングプレートを用いた表面汚染の測定について，第32回理工学における同位元素研究発表会要旨集：46，1995。
- 8) 佐瀬卓也，浜田信義，西澤邦秀：イメージングプレート面内の位置による感度差，第32回理工学における同位元素研究発表会要旨集：22，1995。
- 9) 浜田信義，木内一壽，安達興一，西澤邦秀：イメージングプレートを用いた³²Pによる汚染の分布観察および定量，第32回理工学における同位元素研究発表会要旨集：26，1995。

