

イメージングアナライザーによる 表面汚染密度の測定実習の検証

筑波大学人文・数理等教育研究支援室
(アイソトープセンター) 伊藤達夫

論文要旨

イメージングアナライザーは放射線に対し高い感度、潜像蓄積効果のある積分型 2 次元放射線検出器である。これを利用し放射線業務従事初心者講習会の実習「表面汚染の検査と除染」で使用されている汚染試料を測定し、実習過程での放射能物質の表面汚染状況を 2 次元にイメージングして、実習への応用を含めて検討したので報告致します。

1. はじめに

放射線管理区域内において放射性同位元素や放射線を取り扱う人を放射線業務従事者と呼び、放射線障害防止法等により、その人たちに対して教育と訓練を行うことを使用者（事業者）に義務づけています。筑波大学では筑波大学放射線予防規定により、放射線業務従事者、および初めて放射線業務に従事する教職員、学生を対象として、全学放射線管理委員会で企画した教育訓練の講習会をアイソトープセンターが実施しています。講習会は講義と実習からなり、講義では放射線についての知識や法的規制について学び、実習では放射線安全管理のための基礎としての個人被曝管理及び作業環境管理の技術を修得することを目的に、実習を通して各種の安全管理用放射線機器や放射線防護器材の使用方法を学習している。実習は選択制になっており、X線・加速器・密封線源を取り扱う者は実習Ⅰ「ガンマー線による被曝線量当量と被曝線量当量率の測定」を、非密封放射性同位元素を取り扱う者は実習Ⅲ「表面汚染の検査と除染」を履修する。今回の報告では、実習Ⅲ「表面汚染の検査と除染」における実習過程を、実習の進行状況を再現しながら輝尽性蛍光体を用いた積分型 2 次元放射線検出器：(バイオ・イメージングアナライザー BAS-1800 II 富士写真フィルム、平成 14 年に導入) を使用して、実習で使用されている試料の表面汚染状況をラジオルミノグラフィ (RLG) 法で測定することで、試料の表面汚染状況を 2 次元的にとらえ実習過程を分析し今後の実習に役立てることを目的に行った。

2. バイオ・イメージングアナライザーについて

輝尽性蛍光体材料とレーザービーム技術を組み合わせた積分型 2 次元放射線検出器である。輝尽性蛍光体材料であるイメージングプレート (IP) は通常の X 線フィルムの千倍にもおよぶ高い感度、また 5 桁にもわたる広いダイナミックレ

レンジ、 $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ に達する位置分解能、大きな面積、及び放射線潜像の蓄積効果を有しており、X線回折、医療診断、電子顕微鏡写真X・ γ 線非破壊検査等多方面に利用されている。また、IPは可視光を当てることで既存の画像データを消去し、繰り返し使用できる。なお得られたイメージは電子ファイルとして保存もできる。

(1). 装置

①. 画像読取部

BAS-1800II IP Reader

対応核種： ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{33}P 、 ^{35}S 、 ^{125}I 、 ^3H 、中性子

読取サイズ：最大 $23\text{cm} \times 25\text{cm}$ (範囲指定方式)

画素サイズ： $50\ \mu\text{m}$ / $100\ \mu\text{m}$ / $200\ \mu\text{m}$ 選択

階調数：65,536 階調 / 256 階調

ダイナミックレンジ：5 桁

感度： $S = 4000$

画像サイズ：約 47MB/1 枚 (最大)

IP 消去器

イメージングプレート (IP)：BAS-MS2325 (サイズ： $23\text{cm} \times 25\text{cm}$)

②. 解析部

コンピューター：メインメモリー (380MB)、HDD (40GB)

15 インチ液晶モニター、CD-R/RW、解析ソフトウェア：Science Lab

(2). ラジオルミノグラフィ (RLG) 法

RI を含んだ試料を一定時間露出させた IP をセンサーとし、読取り機であるバイオ・イメージングアナライザー (BAS1800 II) において、レーザー照射により IP 上の画素 (ピクセル) から輝尽蛍光 (photostimulated luminescence.PSL) を発生させ、これをスキャンして放射能強度をデジタル化する二次元の放射線計測法である。

3. 実習Ⅲ「表面汚染の検査と除染」の概要

実習は2人1組で行われる。この実習では作業室の床の表面材であるロンリウムシート ($30\text{cm} \times 30\text{cm}$) に水溶性の ^{32}P (約 3.7kBq) を付着させた模擬汚染試料を用意し、この試料の表面汚染状況をサーベイ法とスミヤ法で測定して評価し、次に除染の作業をした後、再びサーベイ法とスミヤ法で汚染の状況を評価する。この実習を通じて GM サーベイメータの使用法、ゴム手袋の着脱法、ポリエチレンろ紙の使用法、放射性廃棄物の分別処理法などを学習すると

ともに、実務として自分の実験室管理をする際の技法を学ぶ。

(1) 実習内容と手順

①. サーベイ法による汚染個所の発見と測定

GM サーベイメータで ^{32}P を付着させた汚染試料の汚染個所を測定する。

②. スミヤ法による汚染個所の測定

スミヤろ紙にて汚染個所を拭き取り、そのろ紙を GM サーベイメータで測定する。

③. スミヤ拭き取り後の汚染個所の測定

スミヤろ紙で拭き取り後の汚染個所を GM サーベイメータで測定する。

④. 汚染除去作業後の測定

水で湿らした紙ガーゼで汚染個所を拭き取り、除染作業後汚染個所を GM サーベイメータで測定する。汚染が残っていたら、水の代わりに除洗剤(デコン 99)を使う。測定値が BG(バックグラウンド) の3倍以下もしくは、5回以上除染しても3倍以下にならない場合は除染作業を終わる。

⑤. 廃棄前の測定

除染作業を終了した後のロンリウムシートを廃棄する前に、スミヤ法により汚染検査を実施しスミヤろ紙を測定する。

(2) 実習の測定結果

測定値は同一場所において GM サーベイメータで5回の測定を行い、その平均値を測定値とした。

作業内容	測定方法	測定値 cpm					
		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値
作業前BG	サーベイ法	65	60	62	64	68	64
汚染検査	サーベイ法	25000	26000	25000	26000	26000	25600
	スミヤ法	18200	18200	18200	18300	18500	18280
スミヤ後	サーベイ法	5200	5400	5400	5300	5400	5340
除染後	サーベイ法	2900	3000	3000	3100	3100	3020
	サーベイ法	2500	2600	2550	2600	2500	2550
	サーベイ法	700	680	720	730	720	710
	サーベイ法	400	380	400	390	410	396
	サーベイ法	380	380	360	390	370	376
廃棄前	スミヤ法	120	130	130	120	125	125
作業後BG	サーベイ法	68	67	70	72	66	69

4. ラジオルミノグラフィ (RLG) 法による試料の表面汚染状況の測定

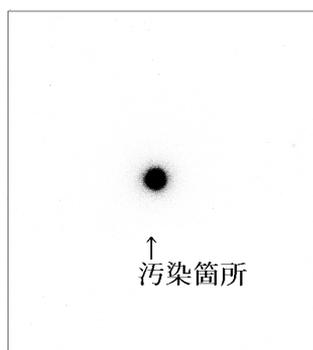
前記実習状況に即し、実習で使用した汚染試料を一定時間 IP に露出しその IP をバイオ・イメージングアナライザー で読みとった。

(1) 測定試料及び露出時間

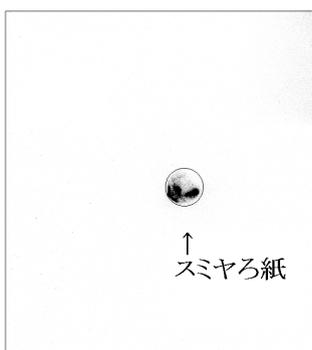
実習内容	測定試料	試料の状況	露出時間
汚染検査	① ロンリウム汚染試料	32Pで汚染させた試料	10min
	② スミヤろ紙	汚染箇所を拭き取ったスミヤろ紙	10min
スミヤ後	③ ロンリウム汚染試料	スミヤろ紙で拭き取られた後	10min
除染後	④ ロンリウム汚染試料	水で湿らしたガーゼで除染作業(1回目)した後の試料	10min
	ロンリウム汚染試料	水で湿らしたガーゼで除染作業(2回目)した後の試料	10min
	ロンリウム汚染試料	除染剤で湿らしたガーゼで除染作業(1回目)した後の試料	10min
	ロンリウム汚染試料	除染剤で湿らしたガーゼで除染作業(2回目)した後の試料	10min
	ロンリウム汚染試料	除染剤で湿らしたガーゼで除染作業(3回目)した後の試料	15min
廃棄前	⑤ スミヤろ紙	除染作業終了後の試料の汚染箇所を拭き取ったスミヤろ紙	15min、5h

(2) 測定結果

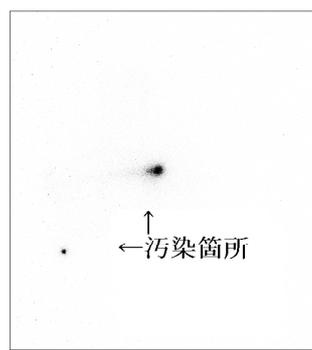
以下にバイオ・イメージングアナライザー で読みとった画像の結果を図 1 に示す。各画像は IP を測定 (測定エリアは 22.5cm × 25cm) したイメージ画像であり、黒化された部分は放射線を検知した場所を示し、放射線の量は画像上の黒化量に比例する。実習③スミヤ後の汚染箇所の画像化ではスミヤ作業により遊離性の放射性物質が別の箇所に移ってしまったことを示していることがわかる。実習⑤スミヤろ紙による除染後の汚染箇所拭き取りの画像化では、得られた画像上の情報量が少なく放射能物質を判別できる黒化量が得られなかったので露出時間を 5 時間に増やし再度測定した結果を露出時間 15min の結果といしょに画像化した。図 2 は、汚染箇所における除染の過程について放射性物質が除染作業により拭き取られていく様子を得られた画像の黒化部分の輝尽蛍光量について分析し、それをグラフ化したものである。横軸は検出された領域の長さを示し単位は mm である。縦軸は PSL 値 (Photo Stimulated Luminescence の略、1 画素の生データの QL 値 (Quantum Level : 機器が読み取った発光量を濃度階調で分割したもので画素形成、定量単位の基となる値) を 1 対 1 で変換した場合の 1 画素の値) を示し、IP に露光された放射線量に比例した輝尽蛍光量を示した任意単位 (放射線の絶対量を表す単位ではない) である。



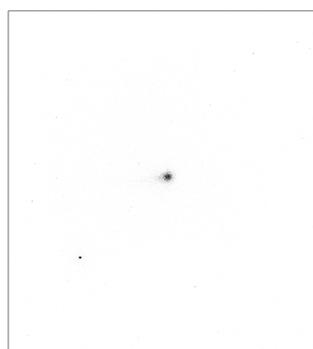
実習①汚染試料



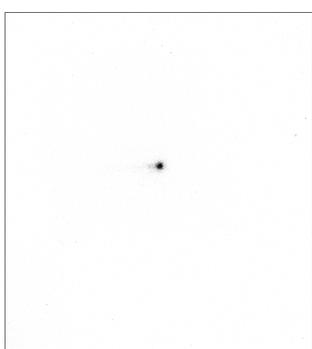
実習②スミヤろ紙
汚染箇所を拭き取る



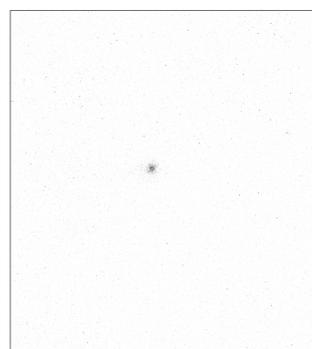
実習③スミヤ後の汚染箇所
遊離性の汚染が別に移る



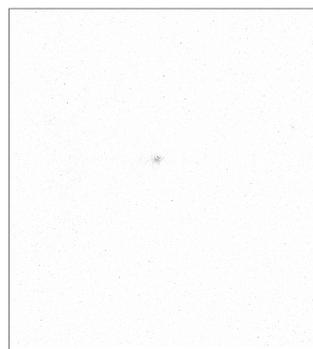
実習④除染 1 回目汚染箇所
水で湿らしたガーゼ



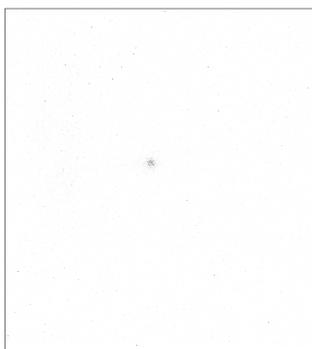
除染 2 回目汚染箇所
水で湿らしたガーゼ



除染 3 回目汚染箇所
除染剤で湿らしたガーゼ



除染 4 回目汚染箇所
除染剤で湿らしたガーゼ

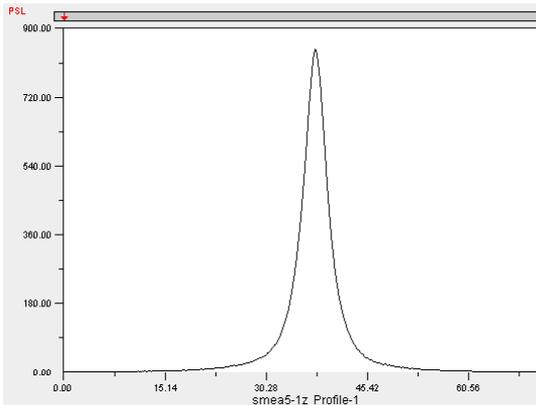


除染 5 回目汚染箇所
除染剤で湿らしたガーゼ

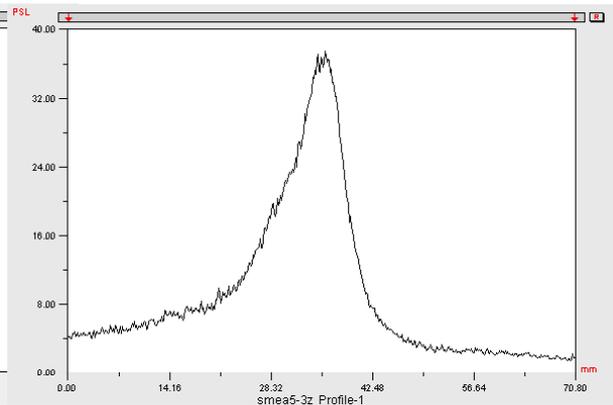


実習⑤スミヤろ紙
除染後汚染箇所を拭き取る

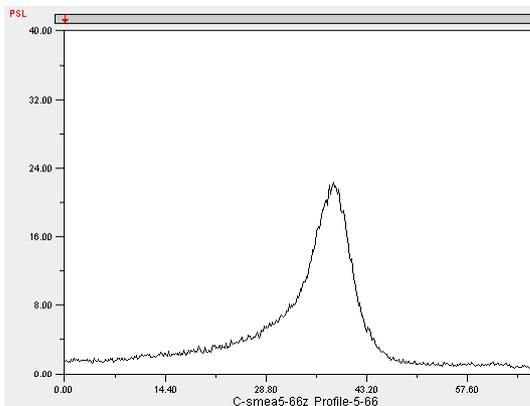
図 1 イメージングアナライザーで読みとった画像



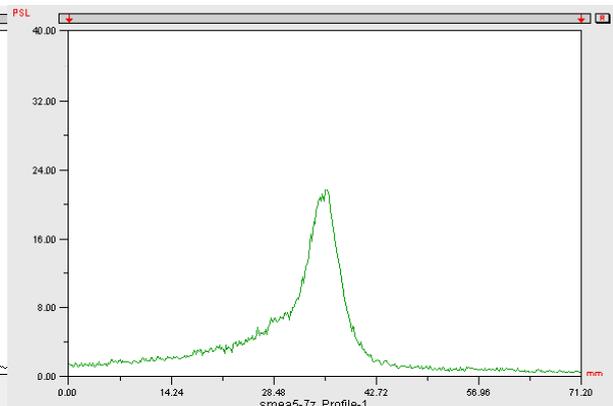
実習①ロンリウム汚染試料
(PSL 値レンジ : 900)



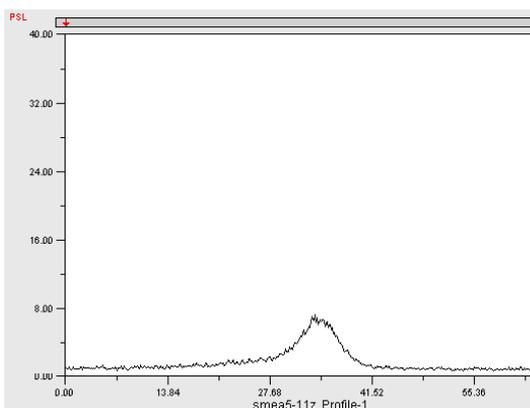
実習③スミヤ後汚染箇所 (除染前)
(PSL 値レンジ : 40)



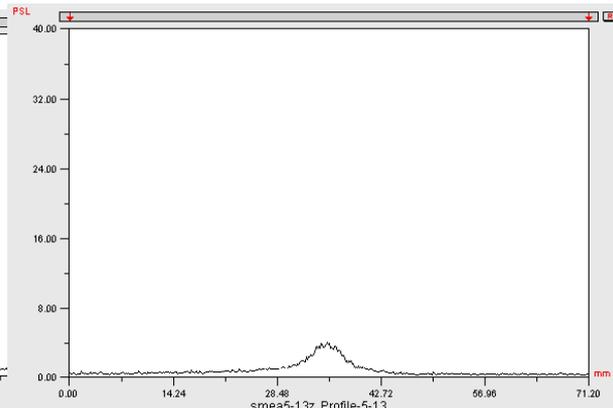
除染 1 回目汚染箇所
水で湿らしたガーゼで拭き取る



除染 2 回目汚染箇所
水で湿らしたガーゼで拭き取る



除染 3 回目汚染箇所
除染剤で湿らしたガーゼで拭き取る



除染 5 回目汚染箇所
除染剤で湿らしたガーゼで拭き取る

図 2 汚染箇所の除染時の輝尽蛍光量の変化

5. まとめ

実験の結果、図1、2より実習の過程をIPで取ることによって放射性同位元素による汚染の状況を画像としてとらえることができ、視覚として認識できるようになることがわかる。実習においては、使用している放射線の測定機（GMサーベイメータ）の窓面積（約21cm²（直径5.2cm））が大きく、汚染の拡がり、除染作業の進行状況を検出器の数値の読み取りだけから正確に把握することは初心者にとってなかなか難しいが、これを画像化することで容易に理解できることがわかる。また、実習③に見られるように汚染が拡がっていった場合にも状況を見ることが可能でありかつイメージ画像の輝度蛍光量を分析することにより、汚染の拡がり領域及び放射線量についても正確に把握出来ることがわかる。実際の実習においてもスミヤ及び除染等の拭き取り作業では汚染を拡げてしまう場合もあり、その状況をイメージ画像化できることで汚染を広げない除染作業を視覚によって理解させることができる。以上のことからイメージングアナライザーを放射線業務従事初心者講習会の実習「表面汚染の検査と除染」で使用することは実習者が実習過程を理解する上で大変有効であると思われるが、1データの測定時間（IPの露出時間（今回は10~15min）、イメージ画像の読取時間（4min））に時間がかかること、使用したIPのデータを消去し再び使用可能な状況にするのに時間（15min）がかかること、および測定システムが高価（1セット500万円以上）であるため台数を準備出来ないなどの問題点は多々ある。しかし、今回得られた結果を実習に導入していくため、および放射線管理の実務としての放射性同位元素による汚染の状況の定期測定への応用などに有効であると思われるので、今後さらに検討していく。

謝辞

本報告書を作成するにあたり、御指導ならびに御助言をいただいたアイソトープセンター末木啓介助教授に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 富士写真フィルム：バイオ・イメージングアナライザー操作ガイド
- 2) 森 千鶴夫；Radioisotopes, 48,589-599(1999)
- 3) 中島榮一；Radioisotopes, 47,953-965(1998)
- 4) 海老原 寛；筑波大学放射線業務従事者講習会実習テキスト UTRIC-68