

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. -6

社内一般

[技術情報室]

プルトニウム粒子検出用 α 線イメージング装置 (実用化のための特性試験)

An alpha particle imaging system for detecting air-born
plutonium (Characteristic test for practical use)

1984年2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

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



プルトニウム粒子検出用 α 線イメージング装置

実施責任者 関 昭 雄*

報告者 小 泉 勝 三*

期 間 1982年10月1日～1983年11月31日

目 的 α 線イメージング装置の基本特性を把握し、装置の実用化のための試験を行なう。

要 旨

昭和53年から昭和56年にかけて、名古屋大学工学部原子核工学教室、放射線安全工学研究室に「施設内空气中放射性エアロゾルの挙動についての研究」を委託した。この委託研究の成果の一つとして、 α 放射性粒子を画像として識別する α 線イメージング装置が開発された。

本報告は、この α 線イメージング装置を実用化に向けて改良し、そのカメラの基本特性について調べ、装置の取扱い者が装置の原理、特性を理解し、得られた画像を正しく評価し、日常の放射線管理に有効に活用できるようにまとめたものである。

* 安全管理部・放射線管理第一課

目 次

はじめに	1
1. α 線イメージング装置の動作原理	2
2. α 線イメージング装置の特性	6
2.1 バックグラウンド光	6
2.2 イメージンテンシファイヤの特性	8
(1) ゲイン - 出力特性	8
(2) 画像のひずみ	8
(3) 光利得むら	11
3. 画像の評価	13
3.1 最適露光時間	13
3.2 プルトニウム空気汚染濃度と画像の関係	16
3.3 露光時間とスポット径の関係	18
(1) プルトニウム粒子の場合	18
(2) Rn 娘核種エアロゾルの場合	18
3.4 プルトニウムと Rn 娘核種弁別測定のための最適露光条件	22
3.5 撮影例	25
4. 結 言	28
参考文献	29
付 録	
1. 操作手順	30
2. I . I およびテーパーファイバの仕様と特性	30

はじめに

プルトニウム燃料製造施設（以下「Pu燃施設」という）等プルトニウム（以下「Pu」という）を取扱う施設において、空気汚染や表面汚染の疑いが生じた場合、それがPuによるものか、空气中に存在するラドン娘核種（以下「Rn娘核種」という）の α 線によるものか判別することが必要となる。現在、Pu燃施設では、2種類の検出法でPuとRn娘核種の判別を行っている。1つは α 線の異常計数が生じた場合、それが、PuによるものかRn娘核種によるものかの判別法として、Si表面障壁型半導体検出器を用い、多重波高分析器により α 線のエネルギースペクトルを測定する方法である。この方法は、Rn娘核種濃度が高いか、Pu汚染濃度が低い場合には判別に困難を伴ない、Rn娘核種の減衰を待つ必要を生じる。2つ目の判別法として、オートラジオグラフ法を用いている。この方法は、PuO₂の放出する α 線を蛍光体で光に変え、この光をポラロイドフィルムにスポット像として検出する方法である。現在用いている方法は、検出に数10本の α 線が蛍光体に入射することが必要で、PuO₂の粒子径が小さい場合は検出時間が長くなる。Pu燃施設において、放射線測定器により異常計数が検出された場合には、当該工程を停止し、作業者は当該室から退室し、その計数がPu汚染か、Rn娘核種によるものかの判別を待たねばならない。工程の作業能率向上のため、判別時間の短縮は極めて重要である。そこで、PuとRn娘核種の判別時間の短縮を目的として、イメージ・インテンシファイヤを利用した α 線イメージング装置を名古屋大学原子核工学教室に委託して開発した。この委託研究において開発した装置は実験目的には適していたが、シャッター部からの光もれや、試料のセッティングが繁雑であるなどの難点があった。そこで、装置全体の上下を逆にし、試料のセッティングに、従来から α 線の測定に用いていた暗箱試料ホルダの一部を改良して組み合わせ、シャッター部は全て取りはずし、操作手順の簡略化を図り、日常の放射線管理に容易に利用出来るものとした。本報告は、この改良した装置について、日常の取扱上の観点から基本特性について調べた結果についてまとめたものである。

なお、第2節の特性については、イメージインテンシファイヤとテーパファイバを新しく購入したため名古屋大学において行った試験項目について比較確認する目的で、第3節は、実用上の観点から必要と思われる項目について新たに試験した結果についてまとめ、付録に取扱上の注意事項と操作手順について述べた。

1. α 線イメージング装置の概要

α 線イメージング装置の外観を Photo. 1 に、外観を Fig. 1 にその動作原理図を Fig. 2 に示す。 α 線イメージング装置は、 $ZnS(Ag)$ 蛍光膜、テーパファイバ、イメージインテンシファイヤ（以下「I.I」という）、ポラロイドフィルムおよび暗箱で構成されている。

試料中の α 放射性核種から放出された α 線は $ZnS(Ag)$ 蛍光膜に入射してエネルギーを失う。この時、 $4 \times 10 \sim 10^{-8}$ sec (速成分) と $4 \sim 10 \times 10^{-5}$ sec (遅成分) の減衰時間を得つ 4500 \AA の光を放出する。 $ZnS(Ag)$ の発光像は、テーパファイバを通り、像として $1/2$ に縮小され、イメージインテンシファイヤの MCP (Microchannel Plate) の蛍光面 (S-25) に入り、そこで電子に変換される。MCP は二次電子放出率の高い鉛ガラスを材質とする直径が数 $10 \mu\text{m}$ のチャンネルが数 10 万本束ねられた構造のプレートである。電子は MCP により 2 次元的に数千倍に増幅される。MCP で増幅された電子は、電場で加速されながら出力蛍光面 (P-20) に入射する。そこで 5500 \AA の光に変換される。この像は再びテーパファイバにより 2 倍に拡大され、その像がポラロイドフィルムに撮影される。

名古屋大学において試作した α 線イメージング装置と、今回製作した装置の改良点は以下の点である。

- (1) 装置の構成の上下を逆にし、試料ホルダに従来 α 線測定に利用していた暗箱を一部改良し、試料には常にスプリングの一定圧力が加わる様にした。
- (2) (1)の改良により、従来あったシャッタ部は不要となり取りはずした。このことにより操作手順は11ステップから5ステップに簡略化し、シャッタ部からの光もれも解決した。

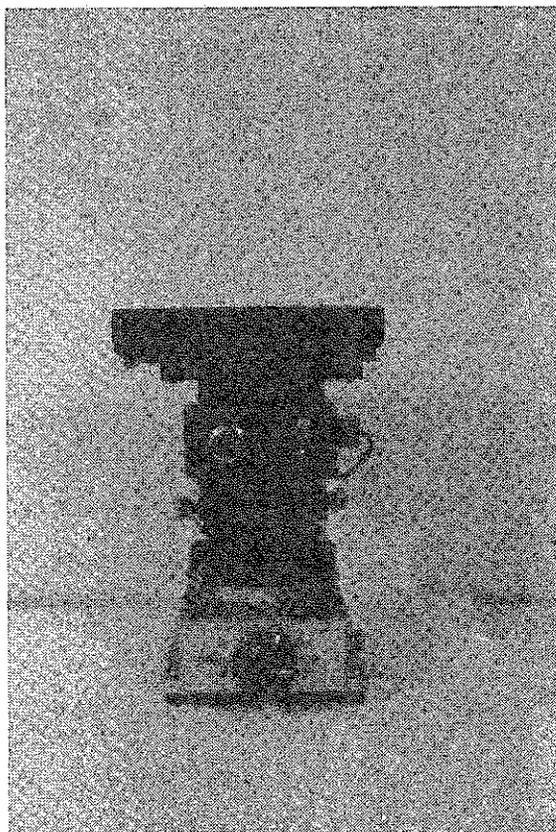


Photo.1 α -particle imaging device

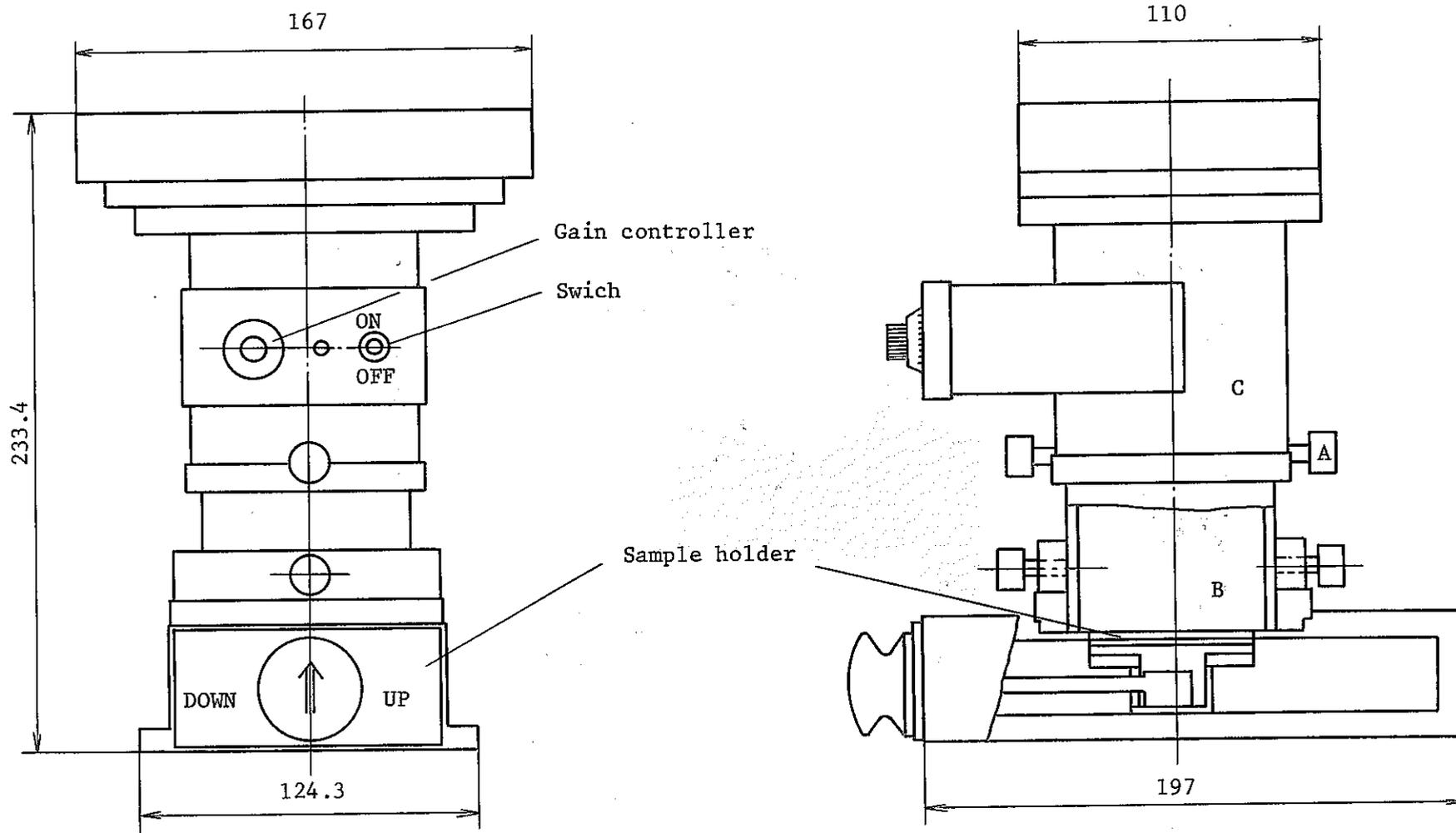


Fig.1 Schematic configuration of α -particle imaging device

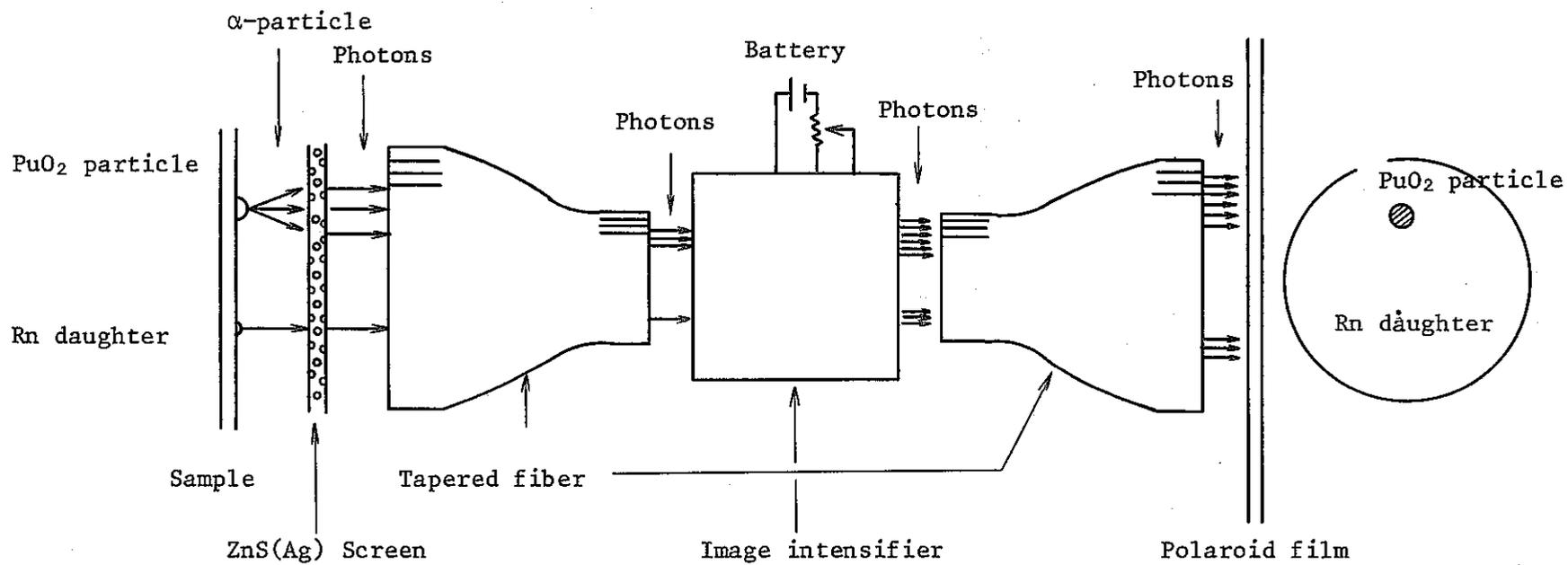


Fig.2 Schematic diagram of the α-particle imaging system

2. α 線イメージング装置の特性

2.1 バックグラウンド光

α 線イメージング装置のバックグラウンド光としては

- (1) 装置の光もれによるもの
- (2) ZnS (Ag) の残光によるもの
- (3) I . I の光電面や MCP 中で熱や自然放射線によって発生する電子による発光

がある。(1)は暗箱の遮光性能を保つことによって少なくすることができるが、僅かな光もれであっても I . I によって光が増幅されるため、従来の ZnS (Ag) カメラより一段と厳しい遮光対策が必要で、このため今回のカメラでは全ての接合部は凹凸の構造とし遮光を保つように工夫した。

(2)の ZnS (Ag) の残光特性は、従来の ZnS (Ag) カメラでは残光は約一分間で減衰し問題とならなかったが、新しい装置は、I . I で光増幅があり微弱な残光もカブリの原因となる可能性があるため、残光特性を調べた。

まず、ZnS (Ag) 膜に、室内にて蛍光灯光を10分間照射し、1分、3分、5分、10分……60分後に、ゲイン最小と中間の位置にて撮影した。ポラロイドフィルム ASA 75 を使用した場合には、露光時間は60秒間とした。

撮影から得られたフィルムの黒化度 (ASA 3000 の場合にはネガフィルムが得られないため ASA 75 の印画紙の濃度から、ネガフィルム相当の黒化度を目視で推定して数値化した。) の測定結果を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 から ASA 3000 フィルムを用いて、ゲイン中間で撮影する場合、カブリ濃度を 0.1 以下にするためには60分以上残光を減衰させる必要のあることがわかる。また、ASA 75 のフィルムを用いて、ゲイン中間で撮影する場合、カブリ濃度を 0.1 以下にするためには15分以上残光を減衰させる必要のあることがわかる。

以上のように、ZnS (Ag) 膜に一旦光を当てると残光によるカブリが問題にならない濃度にするためには、最低でも15分間の減衰時間が必要となる。従って、ZnS (Ag) 膜の交換作業は、光の当たらない状態で保管した ZnS (Ag) 膜を用いて、暗室内で交換することによって ZnS (Ag) 膜に室内光を当てない様にするか、一旦光を当てた時には上に述べた所要の時間暗箱中にて残光を減衰させることが必要である。

(3)の発光は、ZnS (Ag) 膜の残光が充分減衰した後にも発生するもので、I . I そのものによるものである。このバックグラウンド光は、I . I のゲインと、露光時間で定まり、3節において詳しく述べるが、測定の結果 ASA 3000 フィルムの場合、ゲイン最小では6分から、ゲイン中間で3分から、ゲイン最大で30秒からカブリとして発生する。また、ASA 75 のフィ

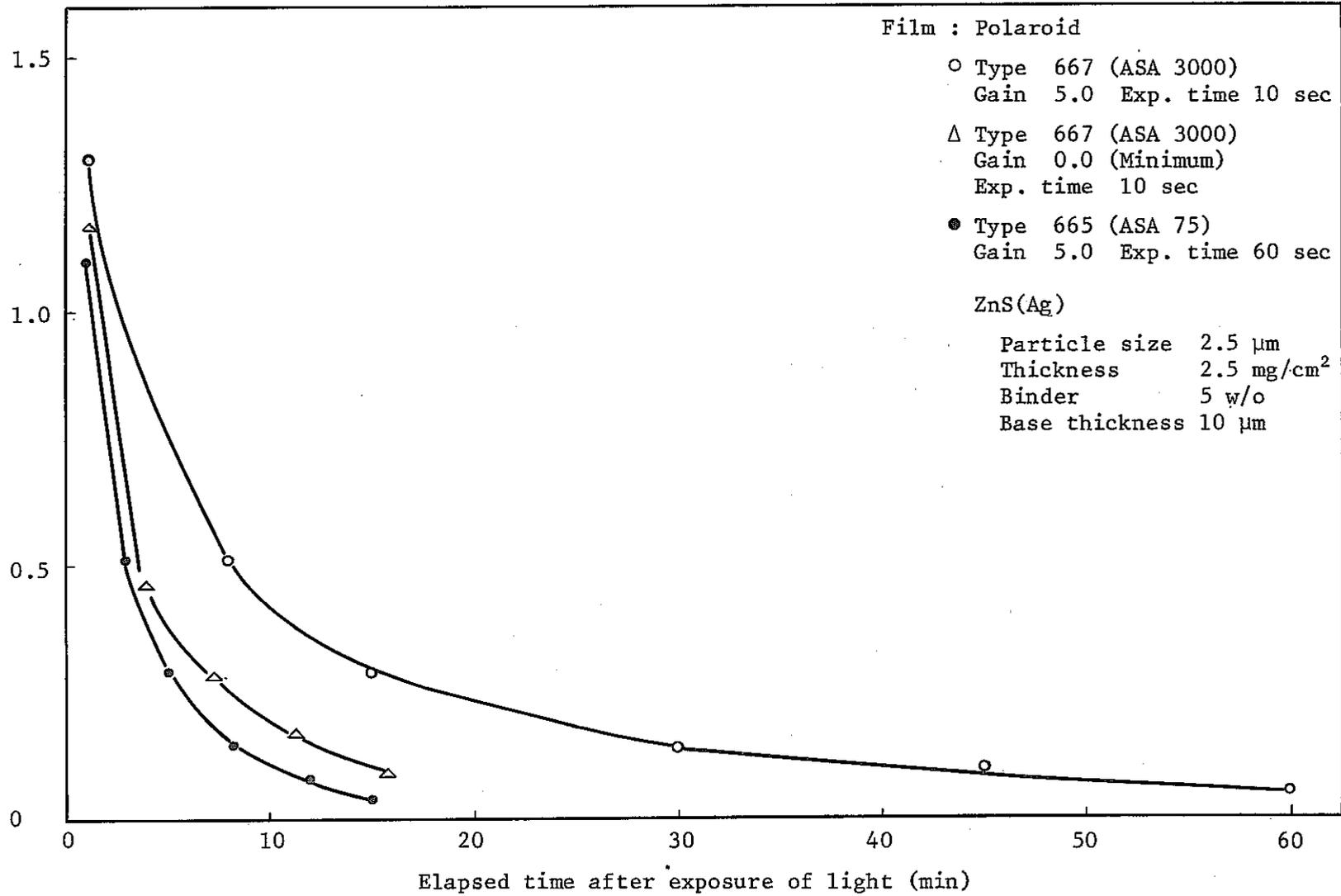


Fig.3 Characteristic curve of Zn(Ag) screen

ルムの場合、ゲイン最小で60分から、ゲイン中間で30分から、ゲイン最大で10分からカブリとして発生する。したがってカブリのない画像を得るためには、上に述べたそれぞれのゲインによって定まる時間以内で撮影することが必要である。

2.2 イメージンテンシファイヤの特性

(1) ゲインー出力特性

イメージンテンシファイヤを暗室内に持込み、暗室内の微弱なもれ光を入力とし、その時のゲインの目盛と出力の関係を、出力面に光電子増倍管を接続して調べた。その結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 からわかるようにゲイン目盛が 0 から 5.0 に変化した場合には出力光は約 2.5 倍に増加するものに対し、ゲイン目盛が 5.0 から 10.0 に変化した時には出力光は 3.6 倍に変化し、ゲイン目盛の大きい位置での変化率が大きいという特性をもっている。実験目的のためや、Pu と Rn 娘核種の判別測定時には、このゲインボリウムを適正な位置に設定することが必要となるが、試料の定性的な画像を得る目的のためには、ゲイン目盛は、例えば 5.0 (中位) に固定し、密着時間のみを変数として撮影した方が日常の使用上は便利であり、又画像相互間の比較判定も容易となる。

(2) 画像のひずみ

α 線イメージング装置に使用した I.I とテーパファイバはそれぞれ図形ひずみをもっているため、 α 線イメージング装置全体での画像ひずみを評価した。

イメージング装置の入力側のテーパファイバ上に方眼紙 (Fig. 5 の (a)) をおき、この上に蛍光灯の光に曝した ZnS (Ag) 蛍光膜を重ね、ZnS (Ag) の残光を利用して方眼紙の図形を撮影した。撮影したポラロイド写真を Fig. 5 の (b) に示す。ポラロイド写真には、名古屋大学にて用いた I.I で撮影したものと同様の糸巻形ひずみが認められる。得られたポラロイド写真からひずみ率を求めると、 α 線イメージング装置の画像ひずみ率は最大で 3.0 % で、名古屋大学で使用した α 線イメージング装置の 2.5 % に比べ若干大きめであったが、この程度のひずみは、プルトニウム粒子の汚染試料の画像を得る目的のためには全く問題にならないといえる。

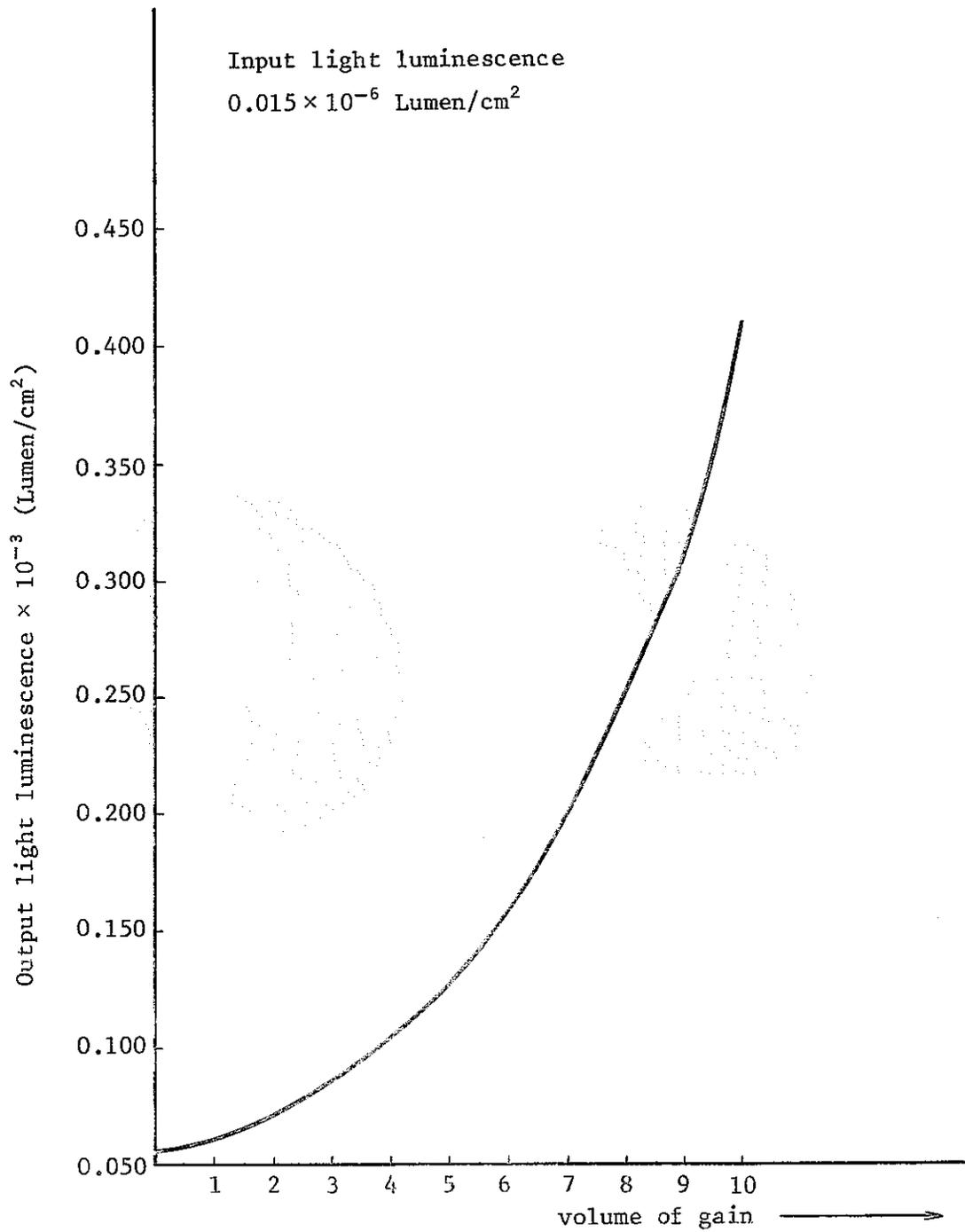
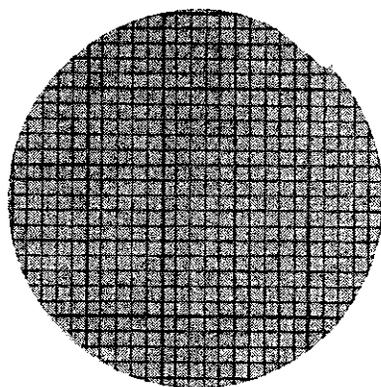
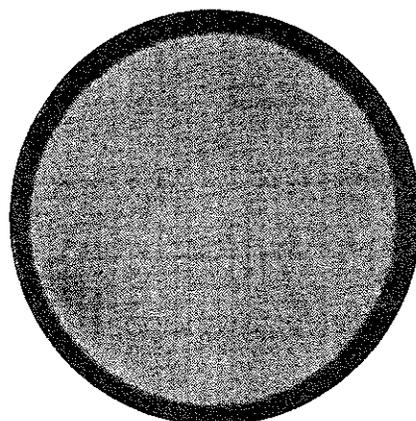


Fig.4 Characteristic curve between volume of gain and light luminescence of imaging tube



(a) Sample



(b) Polaroid photograph

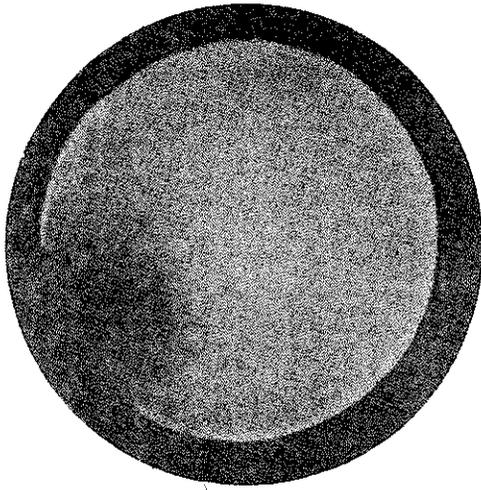
Fig.5 The strain of α -imaging device

(3) 光利得むら

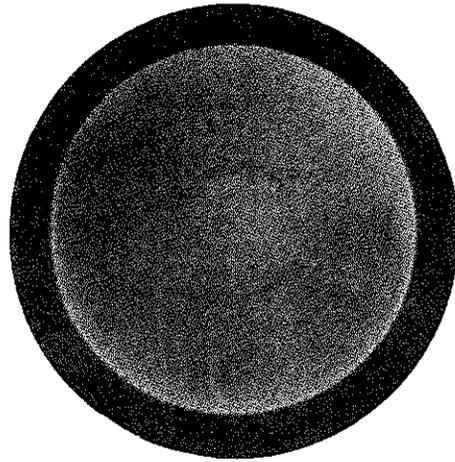
名古屋大学にて用いた I.I には出力面上に、ゲイン最大で撮影した時の光利得最小部は中心部の $1/20$ の光利得しかなく、又、ゲイン中間及び最小で撮影した時の光利得最小部は中心部の $1/10$ の光利得となっていることが報告されている。そこで、今回使用した I.I について、出力面上の光利得むらについて測定した。

まず、 α 線イメージング装置の ZnS(Ag) 蛍光膜をとりはずし、入力面上の 1 m の距離にあるピンホールの光源で照射して撮影を行なった。撮影は ASA 3000 のフィルムと ASA 75 のフィルムを用いて、ゲイン最小で 3 秒間撮影した。その結果を、名古屋大学が使用した I.I を用いて撮影した写真と比較して Fig. 6 に示す。Fig. 6 から今回新らしく購入した、I.I は全体に光利得むらは、名大の実験において用いたものより改善されており、ASA 3000 のフィルムで、ゲイン最少の条件においては、実用上程んど問題のないことがわかった。

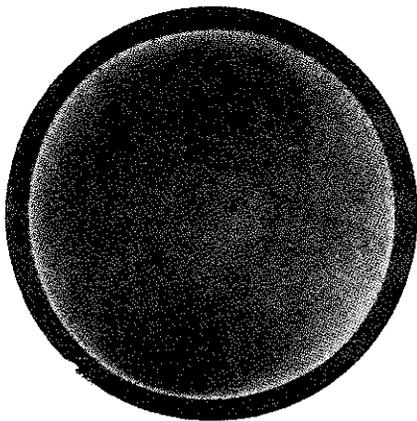




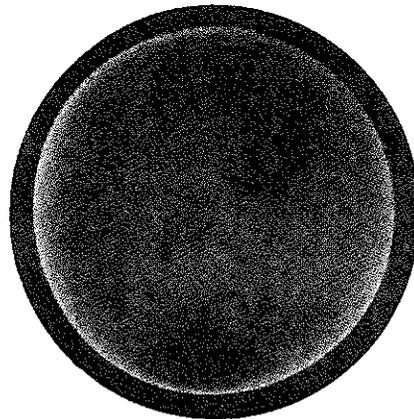
ASA 75
Gain : Medium
(Nagoya Univ.)



ASA 3000
Gain : Minimum
(This work)



ASA 75
Gain : Maximum
(This work)



ASA 75
Gain : Minimum
(This work)

Fig.6 Characteristics of uneven of imaging device

3. 画像の評価

3.1 最適露光時間

α 線イメージング装置は、I. Iによって著しく感度を高めた結果、露光時間の大幅な短縮が可能となった。しかし、露光時間を短かくすると放射性崩壊のランダム性が現われ、画像の再現性が得られないことになる。また、露光時間が長くなるとI. Iの固有のノイズの影響で、バックグラウンドとしてのカブリを生じることになる。

そこで、約200 dpm (8.6×10^{-5} μ Ci)の放射能を持つる紙試料を用いて、ASA 75とASA 3000のポラロイドフィルムについて、I. Iのゲインと露光時間を変数にして、適正な像を得る露光条件を調べた。ゲインについては、最少、中間、最大の3点とした。

ASA 75のポラロイドフィルムを使用した時の結果をFig. 7に、ASA 3000のフィルムを使用した時の結果をFig. 8に示す。得られた画像から判定した各フィルムの最適条件をまとめてTable. 1に示す。Table. 1に示した露光時間以上ではバックグラウンドとしてのカブリが問題となり、カブリのない像を得るためにはそれぞれのゲインにおいて、Table. 1に示した時間以内で撮影することが必要である。 α 線イメージング装置は、1本の α 線がZnS (Ag)に入射した時にも、ポラロイドフィルム上に白いスポット像を可視像として識別できる長所を持つが、このことは、短い露光時間では得られる画像が、放射性崩壊の統計的なゆらぎの影響を直接受けることになりFig. 7やFig. 8見られる様に画像の再現性が良くない点があり、画像の再現性という点では従来のZnS (Ag)オートラジオグラフ法が優れている。

この α 線イメージング装置を用いて短い露光時間で撮影した画像を定量的な評価に用いる時には、放射性崩壊の統計的なゆらぎを念頭において撮影した画像を評価することが必要である。

Table 1 Optimum condition of exposure

Type of film	Exposure time		
	Gain : Minimum	Gain : Medium	Gain : Maximum
Type 665 (ASA : 75)	60 min	30 min	3 min
Type 667 (ASA : 3000)	3 min	1 min	10 sec

Sample 200 dpm (8.6×10^{-5} μ Ci)

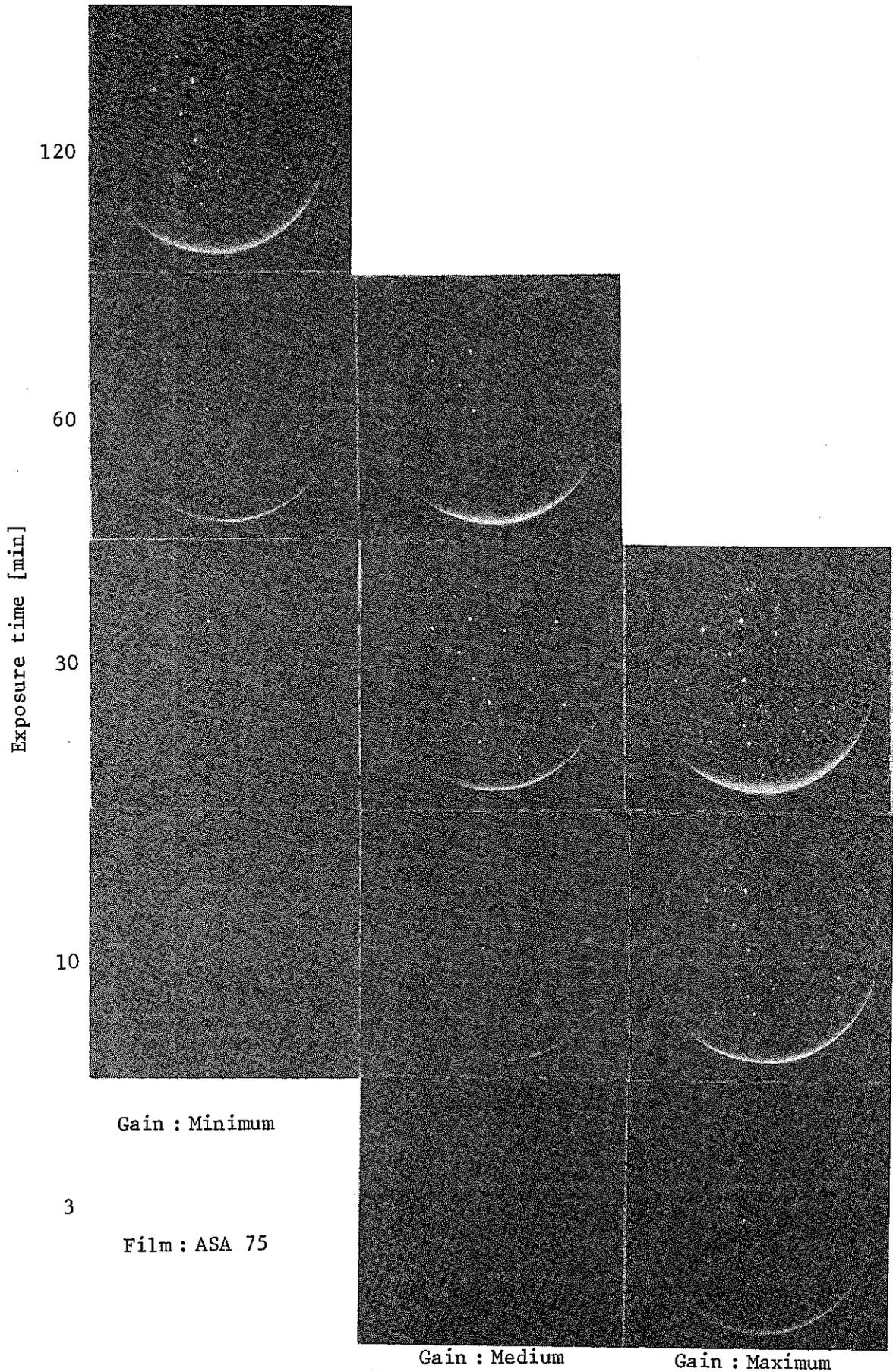


Fig.7 Polaroid photograph of the sample on which PuO₂ particle are present (Photograph obtained using film of ASA 75)

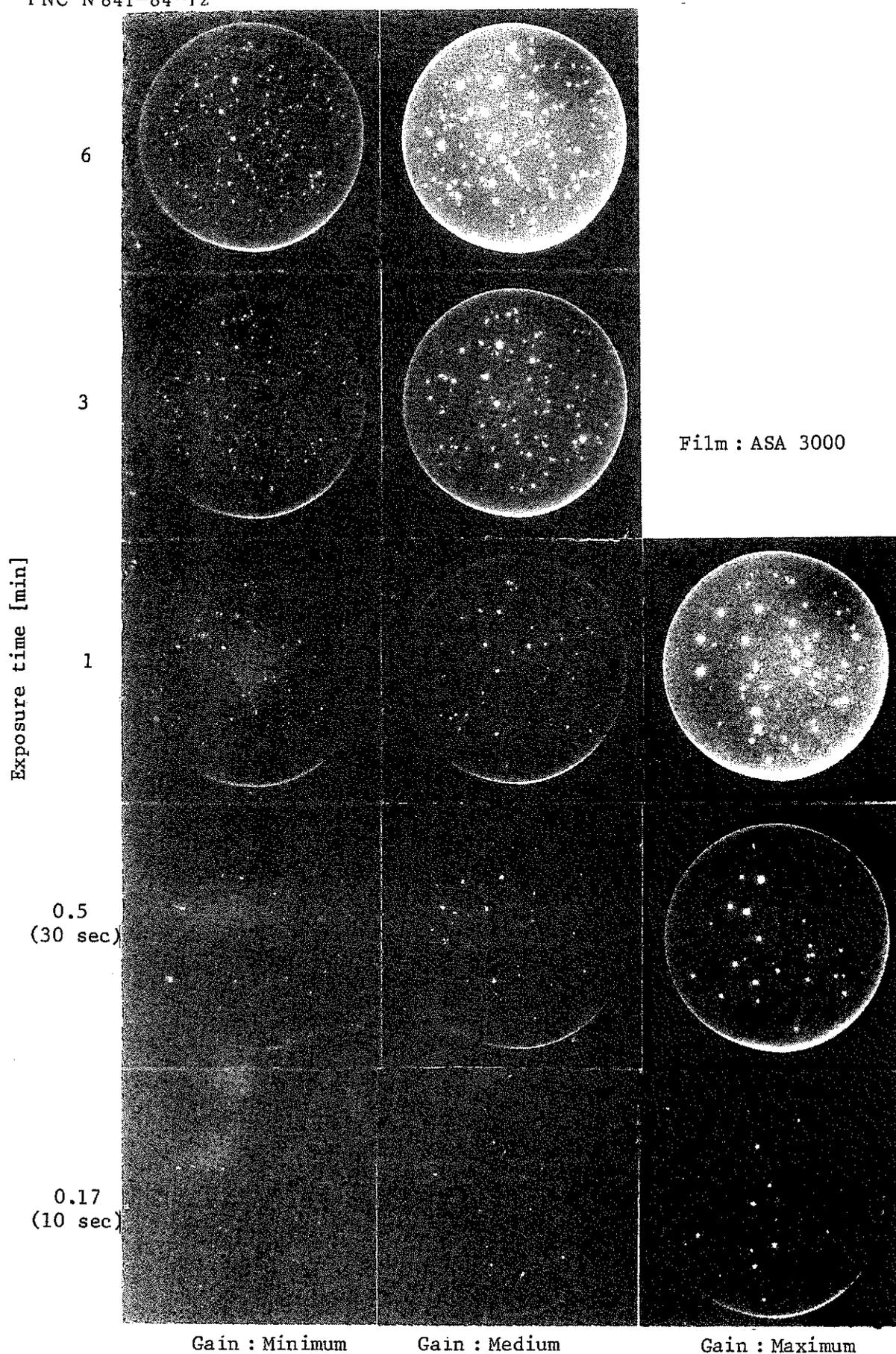


Fig.8 Polaroid photograph of the sample on which PuO_2 particles are present
(Photograph obtained using film of ASA 3000)

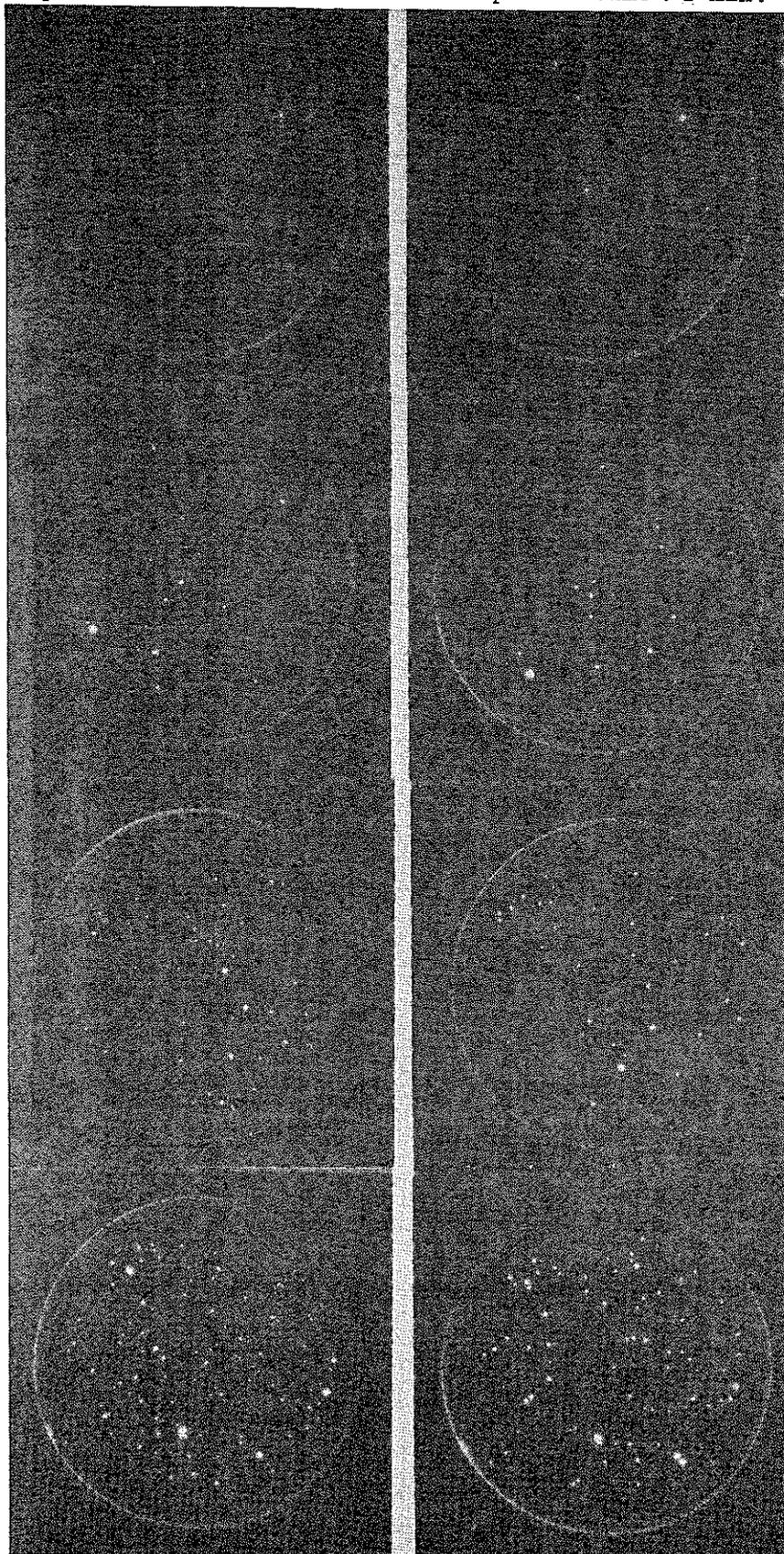
3.2 プルトニウムの空気汚染濃度と画像の関係

前節において、ASA 3000 のフィルムを用いた時の最適露光時間として、ゲイン最小の時は3分、ゲイン中間では1分という結論を得たので、ASA 3000 のフィルムを用いる場合には、以後この2通りの撮影条件にて撮影することとした。

プルトニウム取扱施設においてサンプリングした、放射能強度が異なる4種類の試料を用いて撮影した結果を Fig. 9 に示す。空気汚染濃度(1週間の平均濃度)で表わすと $2.3 \times 10^{-14} \sim 3.2 \times 10^{-13} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ に対応するものであるが、Fig. 9 から画像の現われ方として空気汚染濃度(放射能)の異いは、スポット像の数の違いとして現われていることに注目できる。これは空気汚染時のプルトニウムの粒度分布が、発生源からある距離離れたサンプラに到達するプルトニウム粒子は、大きいものは初期沈降することなどによって、ある限定された幅の粒度分布をもつため、空気汚染濃度の大小はある程度粒子の数の大小で表現されていることによるものと考えることができる。従って、限定された工程から、同一の原因(グローブの損傷など)によって、発生し、定置式のエアースンプラのろ紙上に捕集されるプルトニウム空気汚染濃度は、 α 線イメージング装置を用いて撮影した画像から、その画像のスポット数の大小を、標準試料の画像と比較することによって、大ざっぱに推定することができる。

Gain : Minimum
Exposure time : 3 min.

Gain : Medium
Exposure time : 1 min.



Sample - ①
27 dpm
 $1.2 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}$
($2.3 \times 10^{-14} \mu\text{Ci/cm}^3$)

Sample - ②
91 dpm
 $4.1 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}$
($8.1 \times 10^{-14} \mu\text{Ci/cm}^3$)

Sample - ③
184 dpm
 $8.3 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}$
($1.6 \times 10^{-13} \mu\text{Ci/cm}^3$)

Sample - ④
355 dpm
 $1.6 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}$
($3.2 \times 10^{-13} \mu\text{Ci/cm}^3$)

Fig.9 Polaroid photograph of the sample on which different air concentration of PuO_2 are present (Photograph obtained using film of ASA 3000)

3.3 露光時間とスポット径の関係

(1) プルトニウム粒子の場合

フィルムにASA 3000 (タイプ 667)を用い、ゲイン目盛最小(0.0)と最大(10.0)の場合の露光時間とその時のポラロイドフィルム上のスポット径の関係を Fig. 10 に、このスポット径を光学顕微鏡を用いて測定した結果を Fig. 11 に示す。

Fig. 10 から、露光時間の増加と共に、ポラロイドフィルム上のスポット径が徐々に大きくなっていくことがわかる。それと共にバックグランド光の影響がゲイン最小では6分位から、ゲイン最大では20秒位からでてくることがわかる。Fig. 10 に示した露光時間 A とスポット径 d の関係は、近似式として、 $\log A = a + b \times d$ (ここに、a, b は定数)が良く当てはまる。

この式で近似するとゲイン最小の時は

$$\log A = 0.989 d - 0.396$$

ゲイン最大の時は

$$\log A = 1.005 d - 1.308$$

の関係式で表わすことができる。

(2) Rn娘核種エアロゾルの場合

空気中のRn娘核種をHE 40 Tろ紙上に1週間集塵した試料を用いて、取りはずし5分後から、露光時間を、1分、2分、3分、4分、5分と順次かえて撮影したオートラジオグラフを Fig. 12 に示す。得られた白いスポット像から任意に10ヶ抽出し、そのスポットの直径を光学顕微鏡を用いて測定した結果、露光時間1分、2分、3分、4分、5分に対し、それぞれ、10ヶのスポット径の平均値は、0.34, 0.37, 0.34, 0.33, 0.36mmで、Rn娘核種の場合には、スポット像の径は、露光時間が増加しても、Pu粒子の場合の様に大きくなる。これは、Rn娘核種のフリー原子はRn娘核種の単体原子が気中に多量に存在するエアロゾルに1個付着したもので、個々の単体原子の放出する α 線はRaAとRaCがそれぞれ1崩壊し、合計で2本の α 線を放出するのみである。従って、露光時間を長くしても、他の位置のRn娘核種が次々と崩壊するが、ZnS (Ag) 蛍光膜の同一位置が繰り返し照射されることはなく、PnO₂粒子の場合の様にスポットの径は大きくなることによる。

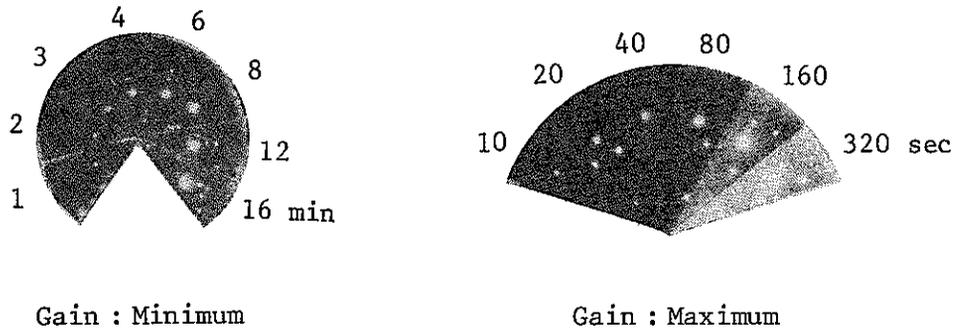
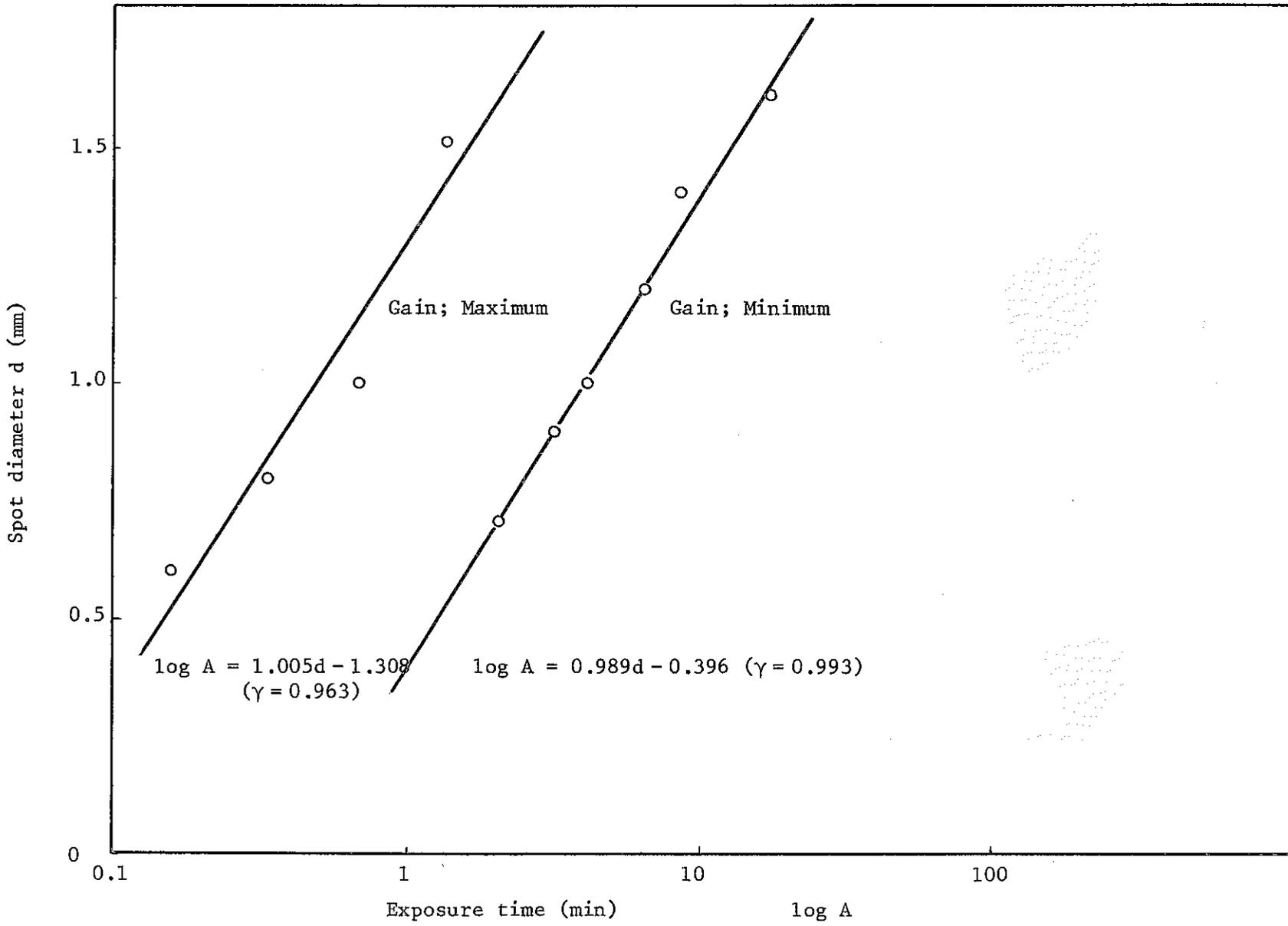
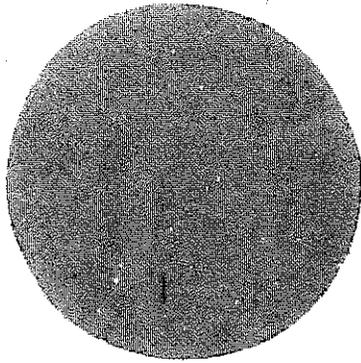


Fig.10 Relation between exposure time and spot size
(Sample PuO_2 particle, Film : ASA 3000)

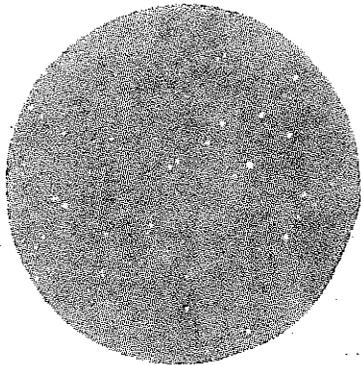




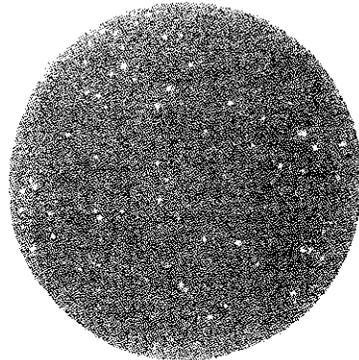
Exposure time : 1 min.



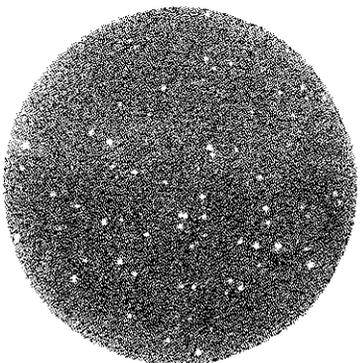
Exposure time : 2 min



Exposure time : 3 min.



Exposure time : 4 min.



Exposure time : 5 min.

Fig.12 Relation between exposure time and spot size
(Sample Rn daughter aerosols, Film : ASA 3000)

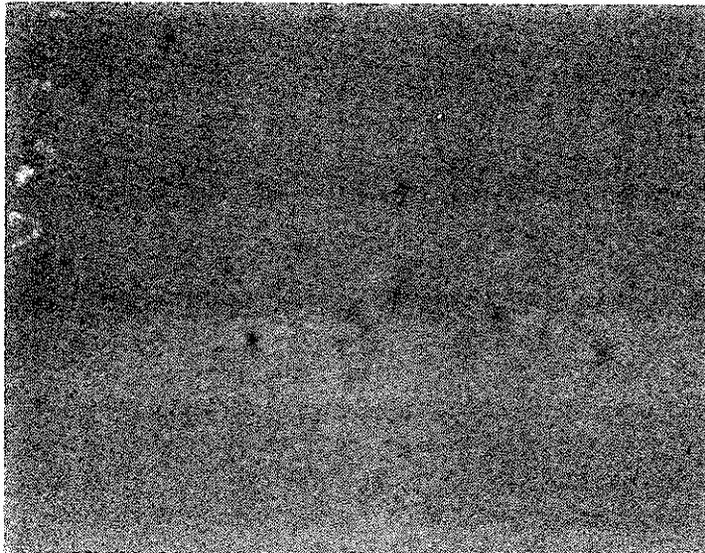
3.4 プルトニウムとRn娘核種の弁別測定のための最適露光条件

プル燃施設内で空気汚染時にエアースニファろ紙上に捕集されるPuO₂の1個の粒子の α 放射能は通常数dpm～数十dpmである。一方Rn娘核種の1個のエアロゾルの放射能崩壊は、多くて2崩壊である。従ってPuO₂粒子とRn娘核種エアロゾルを弁別測定する場合にはこの差を利用すれば良い。即ち、フィルムには感度の低いASA75を用い、 α 線が1本～2本では像の出ない条件で、かつ数十本程度では像の出る条件にて撮影すれば良い。そこで、ASA75のフィルムを用いて、ろ紙上に捕集したRn娘核種と、ろ紙上に捕集したPuO₂粒子をゲイン中間で撮影した。その撮影結果をFig. 13に示す。Rn娘核種を捕集した試料の α 放射能は約200dpm、PuO₂を捕集した試料の α 放射能は350dpmである。撮影時間は10分間である。撮影結果からRn娘核種試料の像は現われていない。一方、PuO₂試料は、ゲイン中間で数個のスポット像を認めることができる。

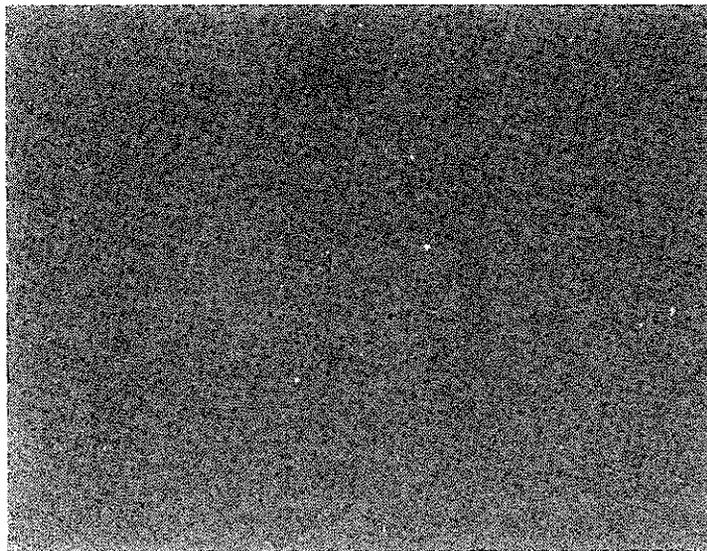
以上の撮影結果から、PuO₂粒子とRn娘核種が混在している試料を、ゲイン中間で撮影すれば、PuO₂粒子のみをスポット像として弁別して撮影できることがわかる。ゲイン最小でも同様の像を撮影できるが露光時間が60分以上必要で実用的でない。次に、Rn娘核種試料をASA 3000のフィルムを用いてゲイン最小で1分間撮影した結果をFig. 14に示す。Fig. 14から、ASA 3000のフィルムの場合にはRn娘核種の崩壊による1～2本の α 線による像が認められ、PuO₂粒子と弁別する方法としては撮影時間を変えた2枚の写真から3.3に述べた性質を利用して、スポット像の大きさの違いからPuO₂とRn娘核種の違いを識別することが必要となる。

以上の結果からPuO₂とRn娘核種を弁別するための撮影条件としてはASA 75のフィルムを用いてゲイン中間で10分の露光時間で撮影する方法が適しているといえる。

従来のZnS(Ag)オートラジオグラフィカメラの場合にはPuO₂とRn娘核種の判別には約1時間を必要としていたのに対し、 α 線イメージング装置では約10分で判別が可能となり、判別に要する時間は約1/6に短縮された。

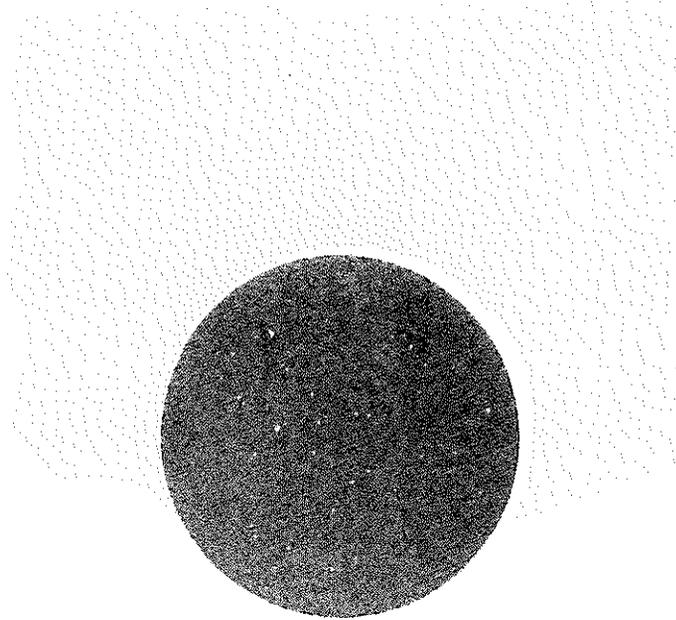


(a) Sample : Rn-daughter (200 dpm)
Film : ASA 75
Gain : Medium
Exposure time : 10 min



(b) Sample : PuO₂ particle (350 dpm)
Film : ASA 75
Gain : Medium
Exposure time : 10 min

Fig.13 Polaroid photograph of the samples on which PuO₂ particle and Rn daughter are present



Sample : Rn daughter
Film : ASA 3000
Gain : Minimum
Exposure time : 1 min

Fig.14 Polaroid photograph of the sample on
which Rn daughter are present

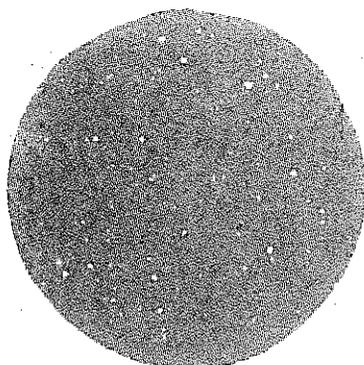
3.5 撮影例

(1) ZnS (Ag)オートラジオグラフカメラによる像と α 線イメージング装置による像の比較

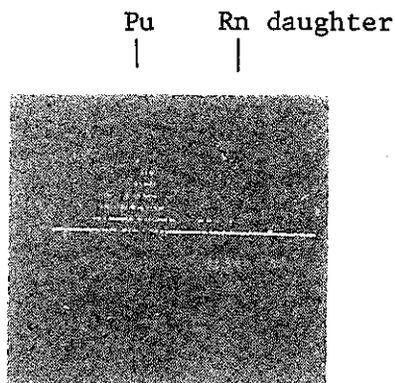
試料はRn娘核種を捕集したろ紙上にPuO₂粒子が捕集されているものである。ZnS (Ag)オートラジオグラフカメラで撮影した像をFig. 15(a)に、 α 線イメージング装置で撮影した像をFig. 15(b)に示す。また、この試料をSi半導体検出器を用いて5分間測定した α 線スペクトルをFig. 15(c)に示す。 α 線スペクトルから、この試料の放出する α 線は大部分Puによるものであるが、Rn娘核種も僅かに存在していることがわかる。(a)のZnS (Ag)オートラジオグラフカメラによる像の中で、微少なスポット像はRn娘核種の α 線によるもので、白くはっきりとしたスポット像はPuO₂の α 線によるものである。(b)の α 線イメージング装置による像では、大きな白いスポット像はPuO₂の α 線によるものといえるが、小さい点についてはRn娘核種によるものかPuO₂によるものかを区別できない。Rn娘核種が減衰した後に撮影した像を附Fig. 1(d)に示す。この像はPuO₂の α 線によるもので附Fig. 1(b)と比較するとスポットの数が少くなっているのがわかる。

(2) 鼻スミア試料

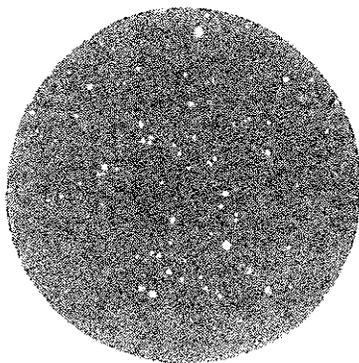
鼻スミアろ紙に捕集したPuO₂を撮影した結果をFig. 16に示す。従来、ZnS (Ag)オートラジオグラフカメラを用いていた時には、同様の像を得るのに約1時間を必要としていたが、 α 線イメージング装置とASA 3000のフィルムを使用すれば、約1分の露光時間で像を得ることが出来る。



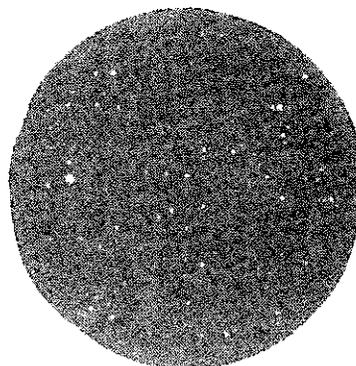
(a) ZnS(Ag) autoradiograph camera
(PuO₂ + Rn daughter)
Exposure time : 60 min
Film : ASA 3000



(c) α spector of the sample
(PuO + Rn daughter)

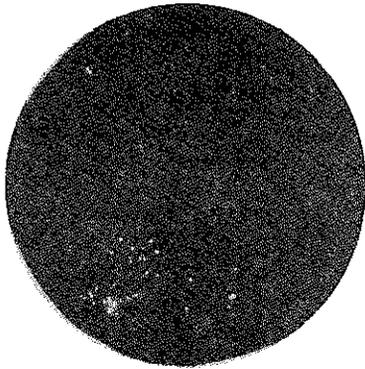


(b) α particle imaging system
(PuO₂ + Rn daughter)
Exposure time : 1 min
Gain : Medium
Film : ASA 3000

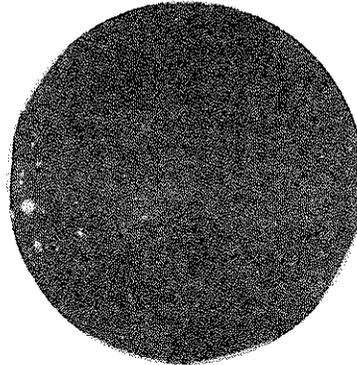


(d) α particle imaging system
(PuO₂)
Exposure time : 1 min
Gain : Medium
Film : ASA 3000

Fig.15 Autoradiograph of PuO₂ particles



(a) Activity : 80 pCi



(b) Activity : 70 pCi

Exposure time : 1 min
Gain : Medium
Film : ASA 3000

Fig.16 Autoradiograph of PuO₂ particle
(Sample : Nose swab)

4. 結 言

α 放射性粒子を画像としてとらえる α 線イメージング装置について、名古屋大学において開発したものに改良を加え、この改良型装置の基本特性と、実用化のための試験を行なった。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 装置の上下を逆にし、試料装着部を改良した結果、操作手順が簡単になり光もれの問題が解消した。
- (2) 装置の基本特性として、バックグラウンド光、ゲイン出力特性、画像のひずみ、光利得むらについて調べた結果、画像のひずみは最大で3%、光利得むらは1/10以下であり実用上問題のないことがわかった。また、バックグラウンド光についてはZnS(Ag)蛍光膜に光を当てた場合には残光による影響が最低でも15分、最大では1時間残ることがわかった。
- (3) 装置の最適露光時間は、ASA 3000のフィルムでゲイン中間では1分間、ゲイン最少では3分間で、従来のZnS(Ag)オートラジオグラフカメラが1時間必要としていたのに比べ大幅に短縮された。
- (4) PuO_2 粒子とRn娘核種の像を弁別するための条件としてはフィルムにASA75を用い、ゲイン中間で10分間露光を行なう方法が適している。撮影時間は従来のZnS(Ag)オートラジオグラフカメラに比べ1/6に短縮できた。

以上の実験結果から、改良型 α 線イメージングカメラは、数分の露光時間で α 放出核種の分布測定や、 PuO_2 とRn娘核種の弁別測定を行なうことができZnS(Ag)検出器による α 線計数率測定と同等の簡便さで、プルトニウム取扱施設の日常の放射線管理のための測定器として利用できることが明らかになった。

参 考 文 献

- 1) 中田 啓, 福田整司 Radioisotope, 41 (1977), 747
- 2) 小泉勝三, 大高 正, 斎藤節子: 保健物理, 14 (1979), 16
- 3) 池辺幸正他「施設内放射性エアロゾルの挙動についての研究」SJ 868-81-01(1981)
- 4) Takao Iida et. al. Nuclear Instruments and Methods; 212(1983) 413-418
- 5) 小泉勝三, 関 昭雄「オートラジオグラフ法によるプルトニウムの粒度分布測定および性状把握」SN 841-82-04
- 6) 小泉勝三他「ZnS(Ag)増感オートラジオグラフ法による α 放射性粒子の粒子径測定」
N 841-78-4

付 録

1. 操作手順

装置の操作に先だって以下の確認を行なうこと。

- ① ポラロイドフィルムホルダ部のローラのクリーンアップとフィルムのセッティングを行なう。
- ② 電池の電圧の確認（電池の寿命約50時間，電圧 $\overset{1.4 \times 2}{V}$ ）を行なう。
- ③ ZnS (Ag) 蛍光膜のセッティング(蛍光体面を下向にセットする。ZnS (Ag) 蛍光体に一旦光を当てた場合には約 1 時間残光を減衰させる必要がある。)を行なう。

以上の確認後，以下の手順にて撮影する。

- (1) 試料は ZnS (Ag) 蛍光膜への汚染防止のため $4 \mu\text{m}$ のマイラ膜にて包み $50\text{mm}\phi$ 以下にする。
- (2) 試料を DOWN にして引き出す
- (3) 試料皿に(1)の試料をのせる
- (4) 試料皿を入れ UP にする
- (5) ねじ A をゆるめ筒 C を下げる
- (6) ゲインをセットする (通常は 5.0)
- (7) スイッチを ON にする
- (8) 一定時間この状態にて照射 (放置) する
- (9) 一定時間経過後スイッチを OFF にする
- (10) 筒 C を上げねじ A をしめる
- (11) ポラロイドフィルムを引き抜き所定の時間 (20°C にて一分間) 現像 (放置) の後，フィルムと印画紙を引きはなす。(タイプ 665 の場合には所定の定着処理を行なう)

2. I.I およびテーパファイバの仕様と特性

I.I には ITT 社 (International Telephone and Telegram) のタイプ F4727 (25mm) を使用している。この I.I の特性を Table A-1 に示す。又 I.I の寸法図を Fig. A-1 に，テーパファイバの寸法図を Fig. A-2 に示す。この I.I の諸特性を Fig. A-3 ~ 6 に示す。

Table A-1 Characteristic of image intensifier

PERFORMANCE

PHOTOCATHODE

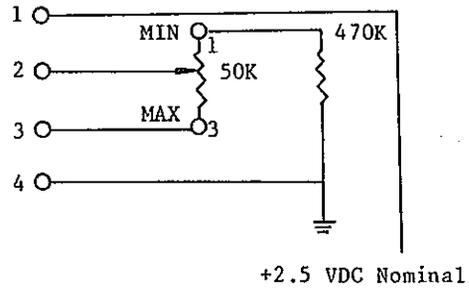
Entrance Window Plano surface, fiber optic
 Photocathode Type S-20/S-25
 Useful Diameter 25mm

SCREEN

Exit Window Plano surface, fiber optic
 Phosphor Type P-1/P-39, Aluminized
 Useful Diameter 25mm

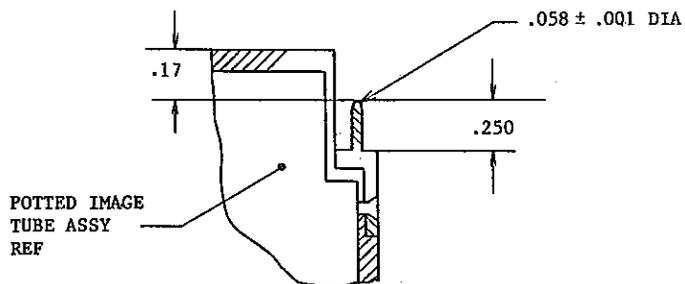
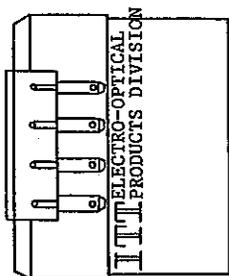
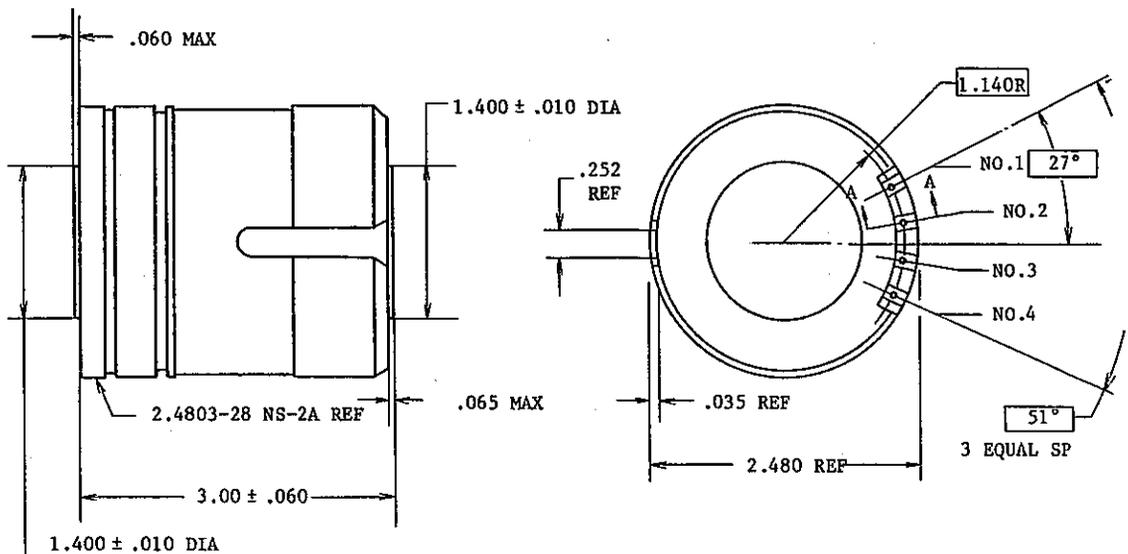
MANUAL GAIN CONTROL WIRING DIAGRAM

The manual gain control operates in conjunction with a 50 thousand ohm gain control and a 470 thousand ohm resistor. The minimum manual gain setting is obtained with the wiper at position 1. The maximum manual gain setting is obtained with the wiper at position 3.



	MIN	TYPICAL	MAX	UNITS
Photocathode Luminous Sensitivity	200	350		μA/lm
Radiant Sensitivity				
@ 0.8 nanometers	12	30		mA/W
@ 0.85 nanometers	8	15		mA/W
Equivalent Background Input		1×10^{-11}	3×10^{-11}	lm/cm ²
Luminance Gain	20,000	50,000	70,000	
Center Resolution	25	30		line pairs/mm
Peripheral Resolution	25	30		line pairs/mm
Luminous Uniformity		1.5:1	3.0:1	
Magnification (over 25mm dia.)	96	1.01	1.04	
Distortion (over 25mm dia.)		4.0	5.0	%
Weight		310	350	grams
Useable Cathode Diameter	24.5	25		mm
Input Voltage	2.4	2.5	3.2	Vdc
Input Current		17	35	mA
Axial Eccentricity*		0.10	0.20	inch

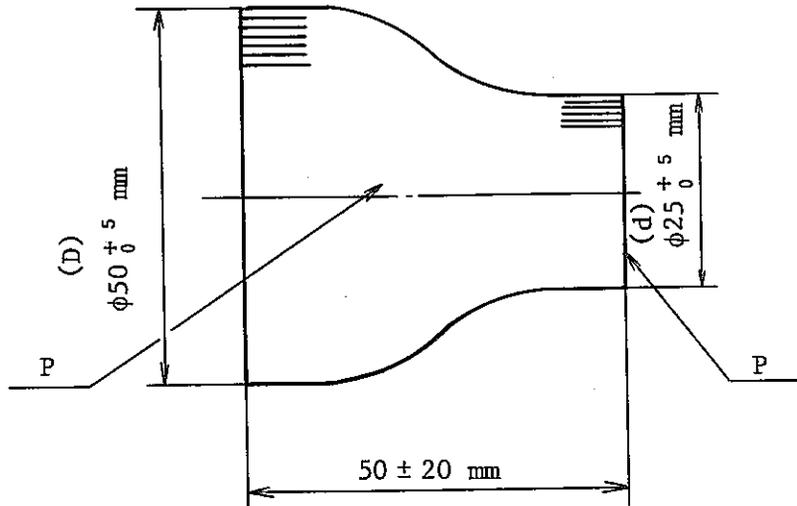
* Alignment difference of optical and mechanical centers at output of tube



PIN	CONNECTIONS
1	+2.7 VOLTS
2	GAIN
3	GAIN
4	GROUND

Fig.A-1 Schematic configuration of image tube

Fiber line



(Resolution : 15 lines/mm)

Fig.A-2 Schematic configuration of taper fiber

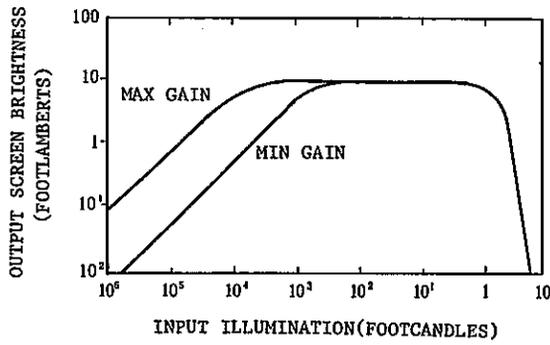


Fig.A-3 Typical gain saturation curve

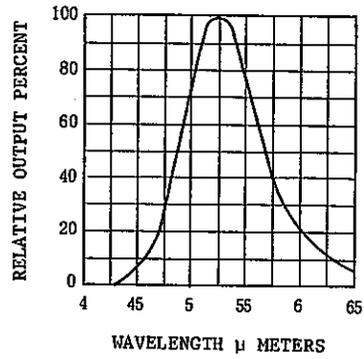


Fig.A-4 Spectral output P-1/P-39 phosphor

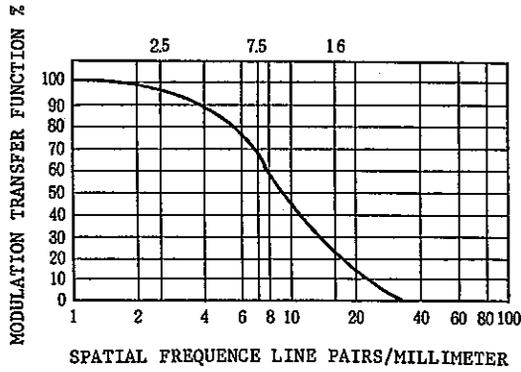


Fig.A-5 Typical modulation transfer function

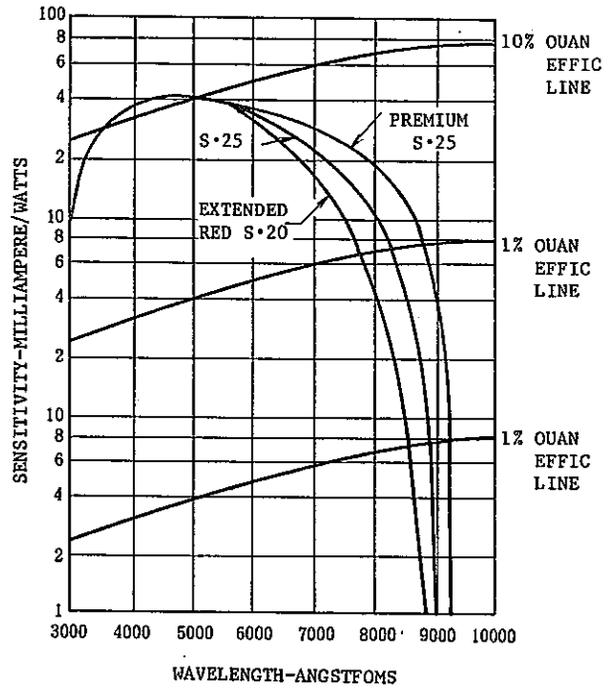


Fig.A-6 Typical absolute spectral response characteristics of various photocathodes on fiberoptics