

プルトニウム粒子径迅速測定評価法の開発

1995年8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

1995年8月

プルトニウム粒子径迅速測定評価法の開発

江花 稔* 松本 盛雄* 伊東 康久
岡崎 良仙** 遅塚 孝治*** 杉山 聡***
山本 浩二***

要 旨

α 放射性粉塵の粒子径測定方法のひとつとしてオートラジオグラフ法がある。この方法を日常の放射線管理により使い易いものにするため、1978年に曝射用カメラと蛍光膜を組み合わせたオートラジオグラフ装置（以下「ARG」という）が製作され、その装置を用いて粒子径測定方法が確立された。筆者らは、この粒子径測定方法での、ARG写真からのスポット像の読み取り及びデータ処理に、多大の労力と時間を費やしていることに着目し、読み取り装置とデータ処理を含むシステムの自動化の検討と試作機（以下「画像解析装置」という）の製作並びに性能試験を実施した。

この結果、以下のことがわかった。

- (1) スポット径の測定を自動化することで、分単位で粒子径の測定が可能となった。
- (2) PuO_2 粒子の最小検出径は、0.35mmが得られた。従来は光学顕微鏡の測定でオートラジオグラフのスポット径が0.42mmであった。
- (3) 放射能強度によってもARG写真の露光時間が異なるが、最小検出径0.35mmを評価するためには、曝射量35disintegrationsが必要となりARGに要する露光時間は20時間50分となる。
- (4) プルトニウム燃料第三開発施設の粒度分布の測定結果は、質量中央径(MMD)で3.18~6.24 μm 、幾何標準偏差(σ_g)で1.27~2.25、空気力学的質量中央径(MMAD)で10.8~21.1 μm であった。

* 放射線管理第一課

** 放射線管理第一課（千代田メンテナンス(株)）

*** 検査開発(株)

目 次

1. はじめに	1
2. オートラジオグラフ解析装置の概要	2
2. 1 装置の概要	2
2. 2 装置の構成	2
2. 3 各部の仕様	4
2. 4 画像解析装置の測定方法	5
2. 5 粒度分布測定方法	8
3. 画像解析装置の特性試験	14
3. 1 画像解析装置の特性試験	14
3. 2 試験用線源	14
3. 3 A R G露光時間の最適化	22
3. 4 自動演算について	25
4. 粒度分布	28
4. 1 プルトニウム燃料第三開発施設における粒度分布	28
4. 2 プルトニウム燃料第二開発室と第三開発室の粒径分布の比較	34
5. まとめ	36
参考文献	38
付録	
1 放射能から粒子径への変換法 (マッキントッシュ)	39

1. はじめに

放射性物質の体内摂取に伴う被ばく線量は、その物理的・化学的性質、半減期、放射線の種類とエネルギー及び体内での代謝速度などできまる。特に吸入摂取の場合には、その粒度分布によって肺砲への沈着割合や体内における挙動の異なることが指摘されており、作業環境中の放射性粒子の粒度分布の把握が、肺負荷量や内部被ばく線量の評価上重要となる。

粒子径の測定方法としては、放射性粉塵の場合で、特にプルトニウムのように比放射能が高い核種については、最も普通に用いられる方法としてオートラジオグラフ法がある。1978年に曝射用カメラと蛍光膜を組み合わせた装置が製作され、その装置を用いて粒子径測定方法が確立された¹⁾。しかし、日常的な放射線管理で使用するには、ARG写真のスポット像の読み取り及びデータ処理に多大の時間や労力を費やしていた。

今回、緊急時において内部被ばく線量評価に必要な粒子径及び粒度分布情報が迅速に得られることを目的として、ARG写真のスポット像の読み取り方法及びデータ処理の自動化の検討を行い、正確に迅速に測定できる装置の試作機（以下「画像解析装置」という）を製作した。

画像解析装置は、撮影部、画像処理部、データ処理部にて構成されている。測定手法は、ARG写真からスポット像を撮影部のCCDカメラで読み取りその画像の直径測定を行いパソコンにてデータ処理し、そのデータをスポット径と放射能の関係から粒子径に変換し、肺砲への沈着割合を示すパラメータのひとつである空気力学的質量中央径（以下「MMAD」という）を求めることができる。

この画像解析装置を用いて、装置自体の性能確認とプルトニウム燃料第三開発室（製造ライン）で採取された試料（エアスニッフャろ紙）を用いて性状把握を実施した。

本報告書は、以上の経緯を経て製作された画像解析装置について、機器の概要、仕様、特性試験方法及び結果並びにプルトニウム燃料第三開発室の性状把握についてまとめたものである。

2. オートラジオグラフ解析装置の概要

2. 1 装置の概要

画像解析装置は、撮影部、画像処理部、データ処理部から構成されている。画像解析装置の概要と特徴を以下に示す。なお、本装置のシステム構成を図2-1に、画像解析装置の外観をPhot 1に示す。

画像解析装置の概要としては、ARG写真の像をテレビカメラで映し出しその映像信号をリアルタイムにA/D-D/A変換し、動画をモニタテレビでモニタしながらデジタル画像に記憶し、この画像をパーソナルコンピュータのCRT上のメニューと対話しながら、ファンクションコマンドを入力し、画像解析処理（前処理、特徴抽出、計算）し粒子径の測定を行うことを目的としたものである。

特徴としては、A/D変換する映像信号の入力電圧の範囲をソフトウェアにより上限電圧と下限電圧の間で256階調コントロールすることができる。

2. 2 装置の構成

撮影部は、CCDカメラ及び画像入力ステージで構成されている。CCDカメラは、光電変換撮像素子にCCDを使用した白黒ビデオカメラで、画像処理入力用として使用されている。

画像処理部の機能は、基本処理機能のもとにあり、ティーチングモニタ機能、画像解析計算機能、基礎統計機能により構成される。ティーチングモニタ機能は、基本の処理機能において対話型で処理した内容を計算機に記憶させ繰り返し処理させるものである。画像解析計算機能や基礎統計処理機能は、画像計算ソフトウェアで実現されている。この画像計算ソフトウェアは、テレビカメラにより入力した画像を測定し、その特徴を定量的に表現する。

データ処理部は、パーソナルコンピュータ（PC-98）を用いて、画像処理部の制御を対話式で行えるようにしている。また、粒度分布測定用のプログラムも組み込まれており、画像処理部で測定されたデータを粒子径に変換しMMA Dに算出できる。

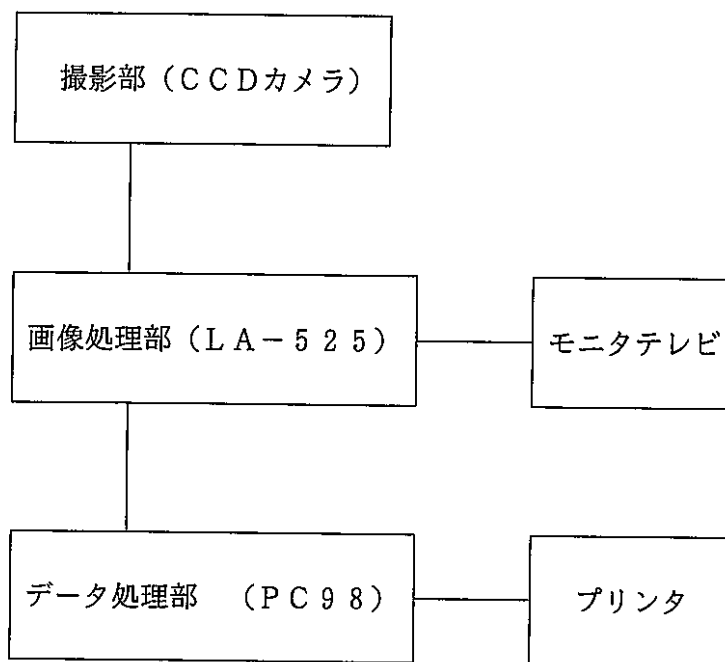
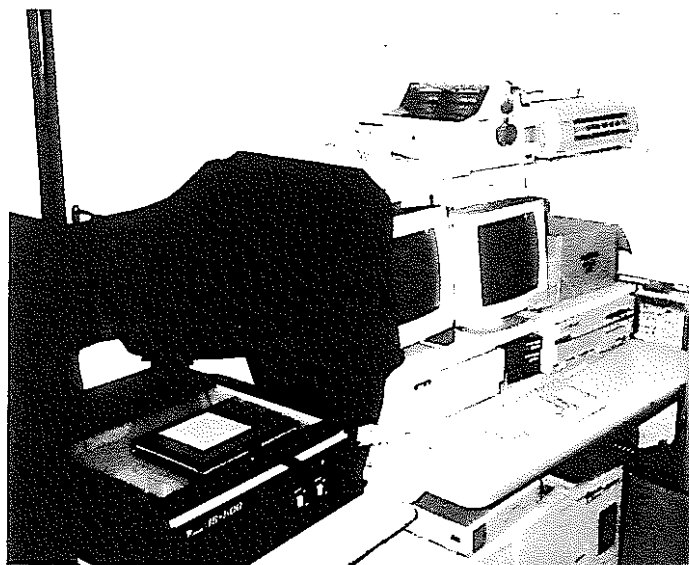


図 2 - 1 システム構成図



Phot 1. 画像処理装置外観

2. 3 各部の仕様

画像解析装置の撮影部、画像処理部、データ処理部の各部の仕様、性能を以下に示す。

(1) 撮影部

① CCDカメラ (PX390A)

- ・撮影素子 : 2/3 インターライン転送方式
- ・有効画素数 : 768 (H) × 493 (V)
- ・走査方式、周波数 : 525本、2:1 インターレス、
水平 15.734 kHz 垂直 59.94 Hz
- ・同期方式 : 内部同期/外部同期 (HD・VD)
- ・映像出力 : VS1.0V_{P-P} / 75Ωコンポジット信号 (EIA)
- ・水平解像度 : 570TV本
- ・最低被写体照度 : 2ルクス、F1.4 (AGC、ON)
- ・S/N比 : 50dB以上 (AGC、OFF)
- ・レンズマウント : C-マウント
- ・寸法 : 56 (W) × 48 (H) × 161 (D) mm
- ・重量 : 650 g

② 画像入力ステージ (IS-500)

- ・撮影サイズ : 反射光撮影24×36 (ライカ判) ~297 ×420 (A3判)
透過光撮影24×36 (ライカ判) ~297 ×356 (大四切)
- ・ステージ部 : サイズ 522 ×422 mm
- ・カメラ移動部 : ヘッド部上下 320mm、前後 90mm、回転 360度
マイクロフォーカスアジャスター部上下90mm、左右90mm
ラックピニオン方式
- ・反射光照明器 : 超高演色性蛍光灯 10W 6本
- ・透過光照明器 : 超高演色性蛍光灯 10W 6本
- ・蛍光灯点灯方式 : 高周波点灯方式
- ・電源 : AC100V 50/60Hz

- ・消費電力 : 最大270W

(2) 画像処理部

- ・画素数 : 512画素×512画素 (有効画素 縦480 横512)
- ・輝度レベル : 256階調
- ・画面縦横比 : 約1:1
- ・記憶画面数 : 4画面
- ・取り込み時間 : 1/30秒 (33.3 msec) 最小取り込み時間
- ・入力チャンネル数 : 4
- ・入力ビデオ信号 : コンポジット白黒ビデオ信号 1Vp-p (75Ω)
水平同期周波数 : 15.75 kHz
垂直同期周波数 : 60 kHz
- ・出力ビデオ信号 : コンポジット白黒ビデオ信号 1Vp-p (75Ω)
アナログRGB疑似カラー信号 (標準16色) 2系統
水平同期周波数 : 15.75 kHz
垂直同期周波数 : 60 kHz
モニターテレビ表示方式 : インターレース方式
- ・電源 : AC100V 50/60Hz
- ・消費電源容量 : 消費電力 約150W
- ・寸法 : 430W×140H×365D
- ・重量 : 約11kg

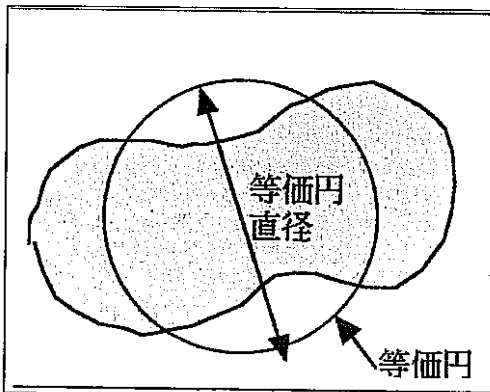
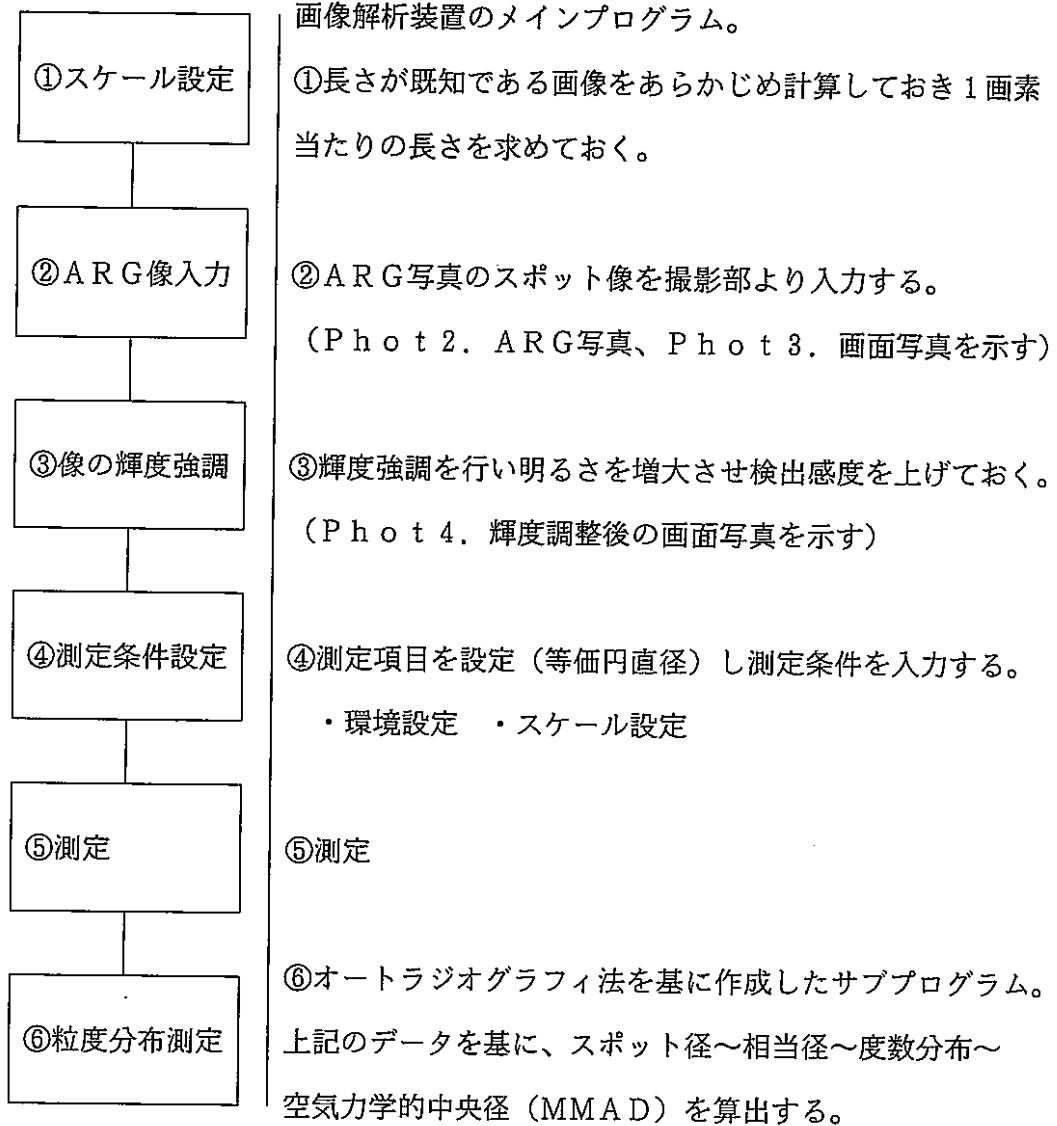
(3) データ処理部

- ・計算機 : パーソナルコンピュータ (PC98シリーズ)
- ・プリンタ : PC-PR101-001

2.4 画像解析装置の測定方法

ARG写真のスポット像を撮影部より画像処理部に入力し、画像を基本処理機能により前処理を施した後、スポット像の画像を測定しこの結果をモニタ上に表示している。また、ろ紙上に付着している粒子の形状が必ずしも球形とは限らず変形してい

ることが多いため、ARG写真のスポット像の面積値から等価円として直径を測定している。その等価円直径の算出方法を図2-2に示す。また、測定方法のフローチャートを下記に示す。

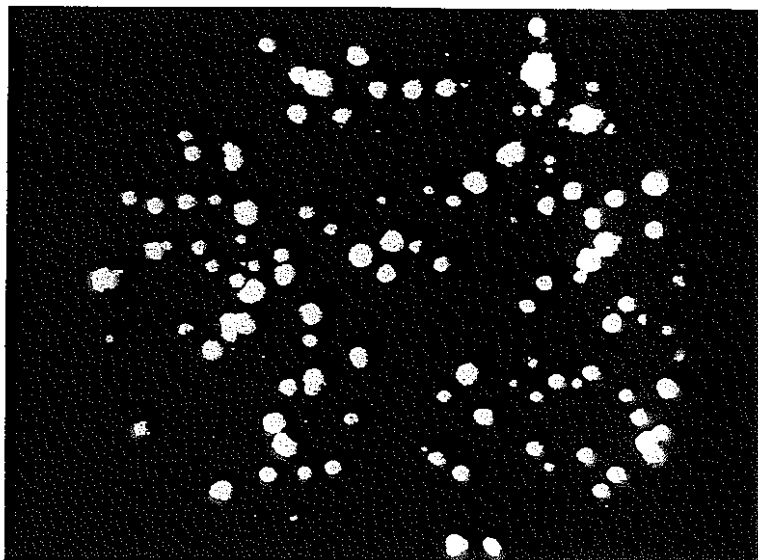


(算出式)

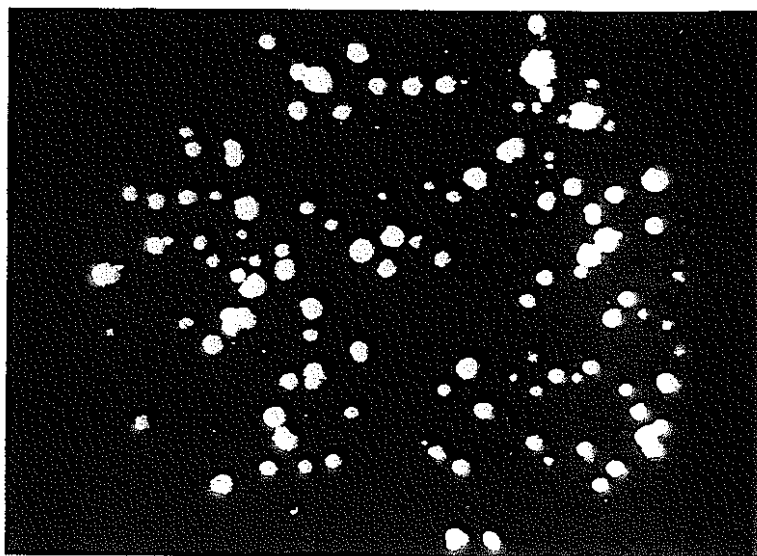
$$d = 2 \times \sqrt{\frac{\text{面積の和}}{\pi}}$$

d = 等価円直径

図2-2 等価円直径の算出方法



Phot 2. ARG写真



Phot 3. 画面写真



Phot 4. 輝度調整後の画面写真

2. 5 粒度分布測定方法

(1) 測定プログラム

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より算出方法を引用して測定プログラムを作成した。

① スポット径測定

画像解析装置にて、オートラジオグラフの黒スポット像のスポット径の測定を行う。

② スポット径から α 放射能強度へ変換¹⁾

①で得られた個々のスポット径を校正曲線の算出方式を用いて α 放射能強度に変換する。この校正曲線を図2-3に示す。

$$Y = 7.39 \times 10^3 \times X^{5.11} \quad (0.4 \text{ mm} < X \leq 0.8 \text{ mm})$$

$$Y = 2.83 \times 10^4 \times X^{11.1} \quad (X > 0.8)$$

Y : 放射能強度 X : スポット径

次に、その α 放射能強度を露光時間で除し、個々の粒子の単位時間当たりの α 放射能強度を求める。

③ α 放射能強度から粒子径へ変換

α 放射能強度から粒子径への変換は、粒子を球形と仮定すれば、以下に示す放射性物質の放射能強度と質量の関係式を用いて行う。

$$\begin{aligned} - \frac{dN}{dt} &= \lambda N \\ &= \lambda \frac{A}{M} W \\ W &= \rho \times V \times f = \frac{4\pi (d/2 \times 10^{-4})^3}{3} \times \rho \times f \\ &= \frac{\pi \times d^3 \times \rho \times f}{6} \times 10^{-12} \\ &= \lambda \frac{A}{M} \times \frac{\pi \times d^3 \times \rho \times f}{6} \times 10^{-12} \\ &= \frac{\lambda \times \pi \times d^3 \times A \times \rho \times f}{6M} \times 10^{-12} \end{aligned}$$

(算出式)

ARGスポット径 $y = 7.39 \cdot 10^3 \cdot x^{5.11}$
 $0.4\text{mm} < x \leq 0.8\text{mm}$

ARGスポット径 $y = 2.03 \cdot 10^4 \cdot x^{11.1}$
 $0.8\text{mm} < x$

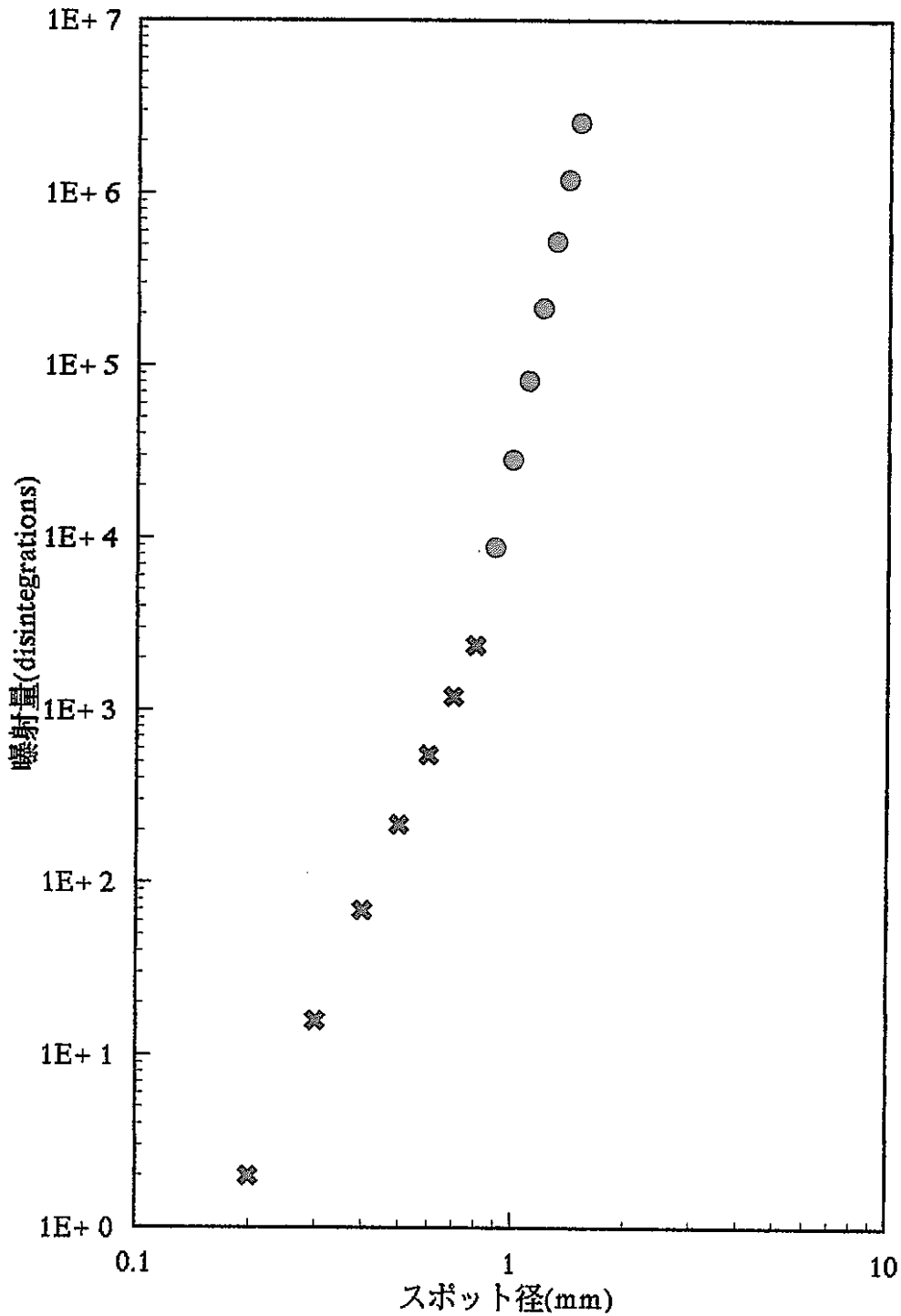


図 2-3 校正曲線

(出典：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) 1)

$$= k \times d^3 \quad \left(k = \frac{\lambda \times \pi \times A \times \rho \times f}{6 M} \times 10^{-12} \right)$$

dN : dt 時間に崩壊する原子数

λ : 崩壊定数

N : 放射性核種の原子数

A : アボガドロ数

M : 放射性エアロゾルの分子量

W : 放射性エアロゾルの質量 (g)

V : 放射性エアロゾルの体積 (cm³)

ρ : 放射性エアロゾルの密度 (g/cm³)

f : 化合物又は混合エアロゾルにおいて放射性原子の占める割合

d : 粒子の直径 (μm)

- dN/dt は、単位時間当たりの放射能強度で、いま dpm で表現すると放射性の粒子の直径 d と放射能強度 (dpm) の関係は下記の式で表すことができる。

$$d = (1/k \times \text{放射能強度 (dpm)})^{1/3}$$

すなわち、個々の粒子について、単位時間当たりの放射能が定まり、λ、M、ρ、f が定まれば、粒子を球形と仮定することによって、その粒子の直径を知ることができる。その関係図を図 2-4 に示す。

④ 度数分布の作成

③で得られた個々の放射能相当径をもとに度数分布を作成し、この度数分布の結果を対数確率紙にプロットしグラフから 50% 粒子径として、個数中央値 (Count Median Diameter: CMD) が求められる。表 2-1 に対数正規分布する代表するパラメータを示す。

幾何標準偏差 (Geometric Standard Deviation: σ_g) は、下記の式で算出する。

$$\sigma_g = \frac{84.13\% \text{ 粒子径}}{50\% \text{ 粒子径}} = \frac{50\% \text{ 粒子径}}{15.87\% \text{ 粒子径}}$$

⑤ 空気力学的質量中央径 (MMAD) 算出

④で計算された CMD と ρ_g がわかれば、質量中央径 (Mass Median Diameter: MMD) を求めることができる。さらに、エアロゾルの密度がわかれば、空気力学的質量中央径 (Mass Median

できる。

$$\log MMD = \log CMD + 6.91 \log^2 \sigma g$$
$$(MMD = CMD \exp(3 \log^2 \sigma g))$$

$$MMAD = \sqrt{\rho} \times MMD$$

表2-1 対数正規分布する粒子群を代表するパラメータ

パラメータ	記号	説明	数学的関係式
最頻度径 mode diameter	d_{mod}	最も多い粒子径。 (最多径ともいう)	—————
算術平均径 arithmetic mean diameter	d_a	個々の粒子の径 (d) にその個数 (n) を乗じて平均した時の径。	$\bar{d} = \frac{\Sigma (n \cdot d)}{\Sigma n}$
放射能球相相当径 —————	d_A	粒子1個の放射能から球径粒子に換算した径。	本文から求められる
幾何平均径 geometric mean diameter	d_g	対数平均径ともいう。 (個数中央径に等しい)	$\log d_g = \frac{\Sigma (n \log d)}{\Sigma n}$
個数中央径 Count median diameter	CMD	粒子を大きさ順に並べたときの個数を基準とした中央の粒子径。	$CMD = d_g$
質量中央径 mass median diameter	MMD	重量を基準にして個数平均径と同様に求めたもの。	$\log MMD = \log CMD + 6.91 \log^2 \sigma_g$ $MMD = CMD \exp(3 \ln^2 \sigma_g)$
空気力学的質量中央径 mass median aerodynamic diameter	MMAD	吸入評価のための粒子の空気力学的な運動やエアロゾル粒子の密度 (ρ) を考慮して求めた径。	$MMAD = \sqrt{\rho} MMD$ $MMAD = \sqrt{\rho} CMD \exp(3 \ln^2 \sigma_g)$
幾何標準偏差 geometric standard deviation	σ_g	粒度分布の分散の度合いを表す。	$\log \sigma_g = \left[\frac{\Sigma n (\log d - \log d_g)^2}{\Sigma n} \right]^{1/2}$

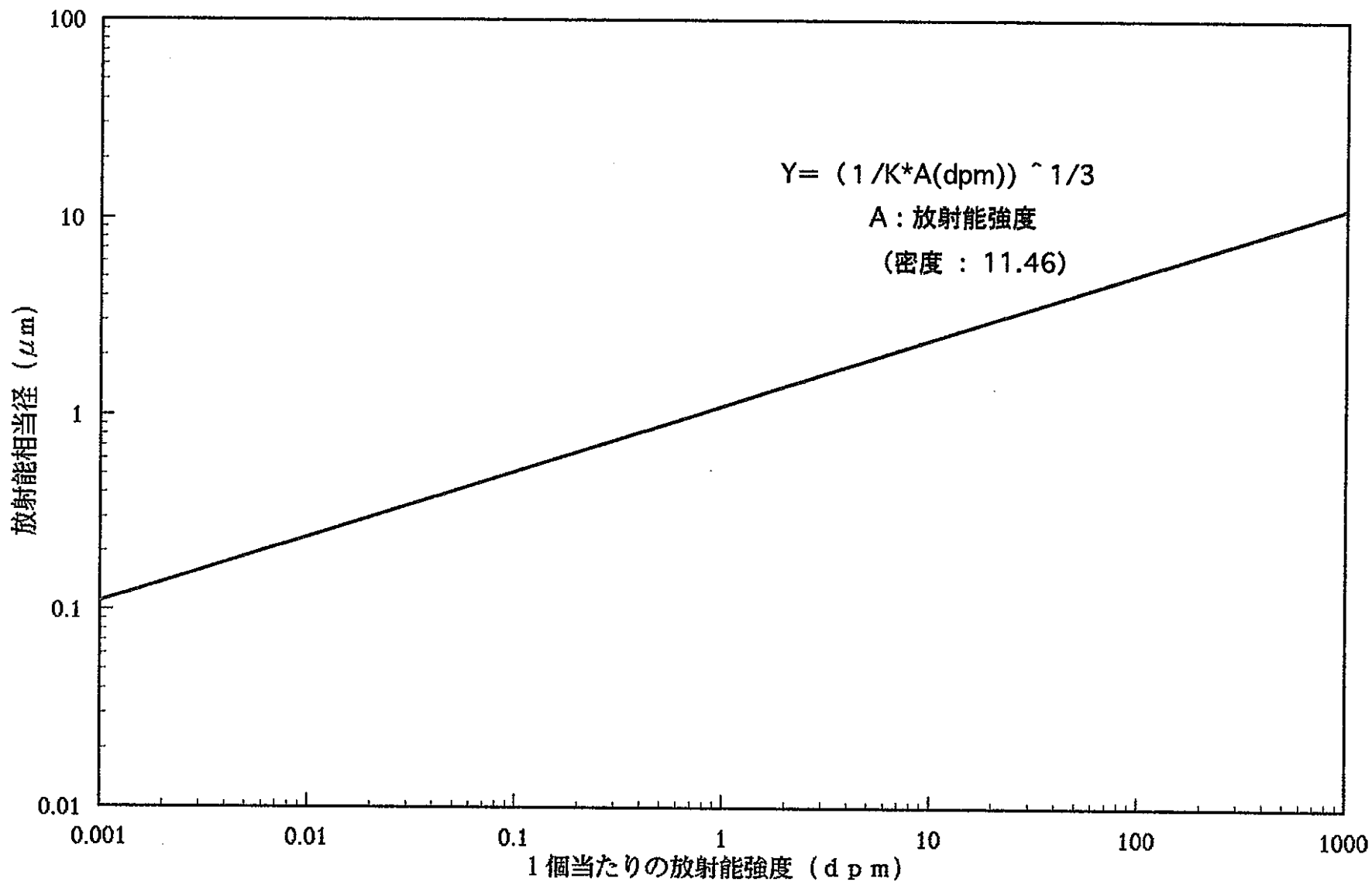


図2-4 粒子1個当たりの放射能強度と放射能球相当径の関係

3. 画像解析装置の特性試験

画像解析装置の特性試験を実施するにあたって、①画像解析装置が日常の放射線管理に適用、②先に報告されているオートラジオグラフィ法による粒子径測定方法の検証、③画像解析装置の基礎特性の把握を考慮し特性試験を実施した。試験及び判定にあたっては、「ZnS (Ag) 増感オートラジオグラフィ法による α 放射性粒子の粒子径」(以下「技術報告書」という)を参考にして実施した。

3. 1 画像解析装置の特性試験

ARGのスポット径(輝点の大きさ)が既知のもの(顕微鏡などで寸法を測定したもの)を用いて、正しく寸法が計測・評価されることを確認(校正)する必要があるが、既知な標準試料を保有していないため試験用線源を用いて以下の方法により各特性試験を実施した。

3. 2 試験用線源

プルトニウム燃料第三開発室の各工程室より得られた試料を試験用放射線源とした。この試料は、ARGにおいて、17時間(1020分)以上曝射しても輝点がひとつしか確認されない、いわゆるOne Spot試料を使用した。放射能強度の決定にあたっては、放射能測定装置で10分間試料を測定した。試験においては放射線源A(放射能強度0.9Bq:ラミクリンパック養生)、放射線源B(放射能強度7.4Bq:ラミクリンパック養生)の2種類の放射線源を用いた。

3. 2. 1 輝度強調確認試験

(1) 試験方法

画像解析装置の輝度強調レベルは0~255の段階で、サンプリングされた画像の輝度を変化させることができる。そのため、得られる測定値にどのような変動があるか、3.2の試験用線源を用いて、露光時間と輝度強調レベルをパラメータとして、変動確認試験を行った。また、CCDカメラの絞りや焦点の設定も映像上関係があるため、絞りを最大、焦点を適正位置として固定して実施した。

(2) 試験結果

露光時間と輝度強調レベルを変化させ測定したスポット径の測定結果を表3-1に輝度強調とスポット径の関係を図3-1に示す。

測定結果からみると輝度強調レベルは0～255段階でレベルの強調ができ、レベルを低い方に設定すると、装置からの固有なノイズがモニタ画面に映し出されることや、スポット像が小さく映ることも判明した。また、反対にレベルを高くすれば、スポット像の輝度が強調され過度的に像が大きく見えてしまうことも判明した。

3. 2. 2 校正曲線の確認試験

(1) 試験方法

このシステムでARGのスポット径を測定する目的は、ARGのスポット径と粒子の全放射能強度にある一定の関係²⁾が成立することから、粒子一つ一つの放射能強度を評価することにある。そこで、関係式が我々の方法においても成立することを前提として、スポット径と放射能強度(2系統放射能測定装置)との関係を確認することとした。

試験方法としては、放射線源を用い、露光時間を1分から17時間まで増加させARG写真を作成する。その写真を基に画像解析装置にて測定して行う。

(2) 試験結果

3.2で述べたOne Spot試料を実測して、全放射能強度とARGのスポット径の関係を求め、技術報告書の校正曲線を基準とした基準曲線を比較した。その比較結果を図3-2～3-4に示す。

画像解析装置の輝度強調レベル設定は、写真の精度(フィルムの劣化、シンチレータの劣化等)にもよるがスポット像がモニタ上で周縁部がぼやけない適正な像を得るために、また、輝度強調レベルによる測定誤差やノイズ等を考慮して適格なレベルを150(しきい値)とする。また、輝度強調レベルが200(しきい値)以上では像が大きくなりすぎることや装置のノイズが乗りやすいため測定上不適格であることが判明した。また、比較結果図からもわかるように画像解析装置輝度強調を高くするにつれて基準曲線に合致してくることが

表 3-1 露光時間と輝度強調レベルとのスポット径の関係

輝度強調 露光時間	放射線源 A (放射能強度 : 0.9 Bq)															
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
1	—	—	—	—	0.162	0.175	0.187	0.198	0.229	0.238	0.265	0.273	0.281	0.303	0.324	0.362
4	0.281	0.303	0.324	0.344	0.362	0.362	0.374	0.386	0.402	0.423	0.423	0.439	0.448	0.453	0.481	0.495
16	0.386	0.408	0.444	0.448	0.468	0.477	0.499	0.512	0.529	0.533	0.537	0.549	0.573	0.584	0.602	0.620
64	0.512	0.537	0.561	0.573	0.591	0.602	0.617	0.624	0.641	0.655	0.671	0.674	0.690	0.697	0.715	0.727
256	0.591	0.617	0.644	0.671	0.681	0.690	0.703	0.718	0.736	0.739	0.751	0.771	0.780	0.796	0.810	0.823
1020	0.697	0.715	0.739	0.765	0.782	0.799	0.804	0.815	0.834	0.844	0.854	0.865	0.877	0.897	0.914	0.923
輝度強調 露光時間	放射線源 A (放射能強度 : 7.4 Bq)															
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
1	0.423	0.448	0.458	0.463	0.477	0.486	0.499	0.512	0.533	0.533	0.549	0.557	0.573	0.580	0.591	0.613
4	0.537	0.529	0.561	0.580	0.599	0.610	0.620	0.627	0.641	0.651	0.661	0.674	0.681	0.700	0.718	0.742
16	0.651	0.668	0.681	0.693	0.712	0.724	0.745	0.757	0.757	0.768	0.791	0.799	0.810	0.815	0.836	0.862
64	0.765	0.791	0.807	0.821	0.836	0.857	0.865	0.875	0.890	0.902	0.916	0.930	0.940	0.956	0.976	0.987
256	0.904	0.921	0.933	0.956	0.974	0.992	1.007	1.022	1.031	1.050	1.064	1.078	1.090	1.114	1.143	1.166
1020	1.043	1.066	1.086	1.108	1.120	1.138	1.145	1.162	1.177	1.190	1.212	1.216	1.225	1.253	1.275	1.291

注) — は、測定不可である。

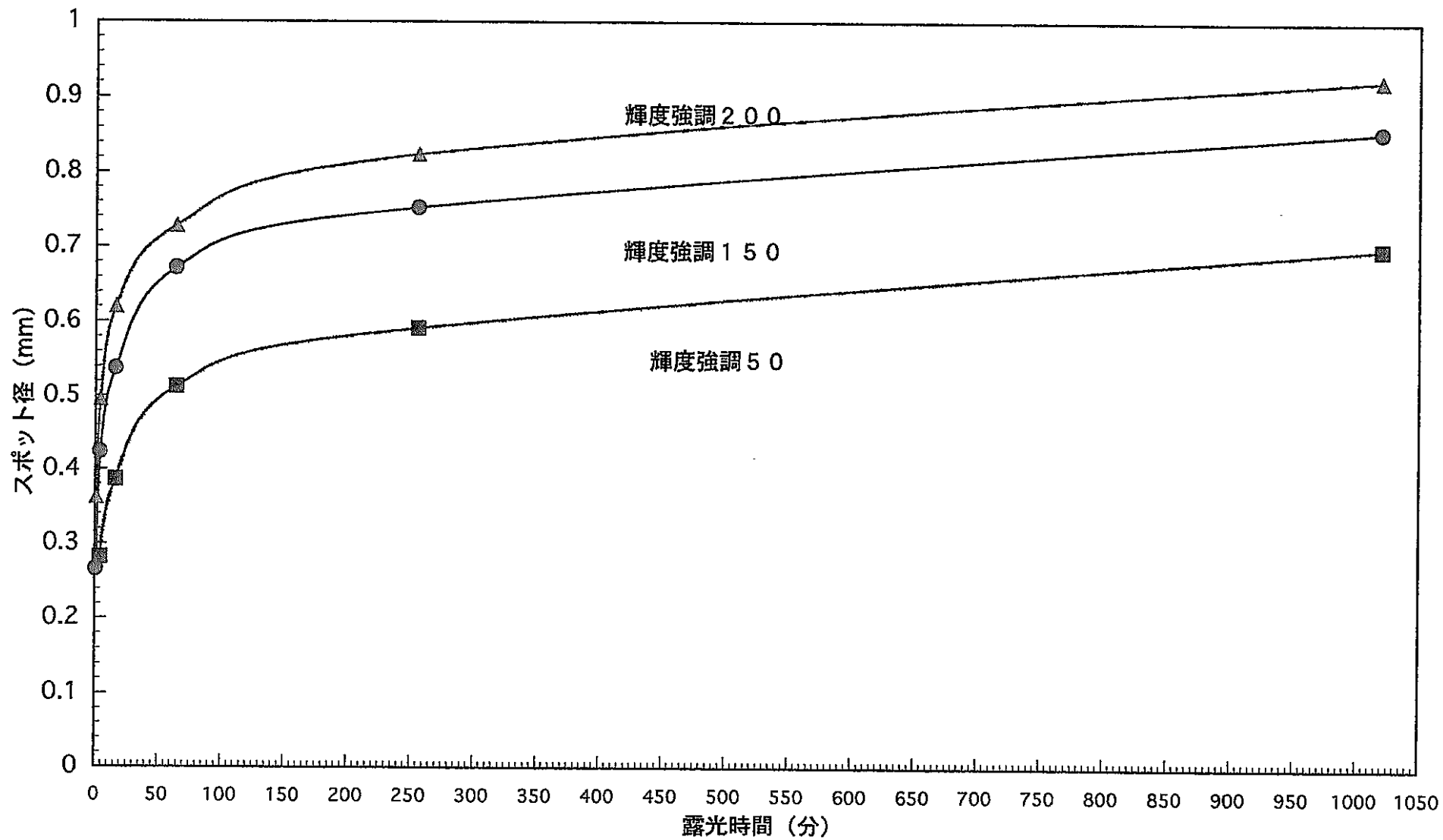


図 3-1 露光時間と輝度強調とのスポット径の関係

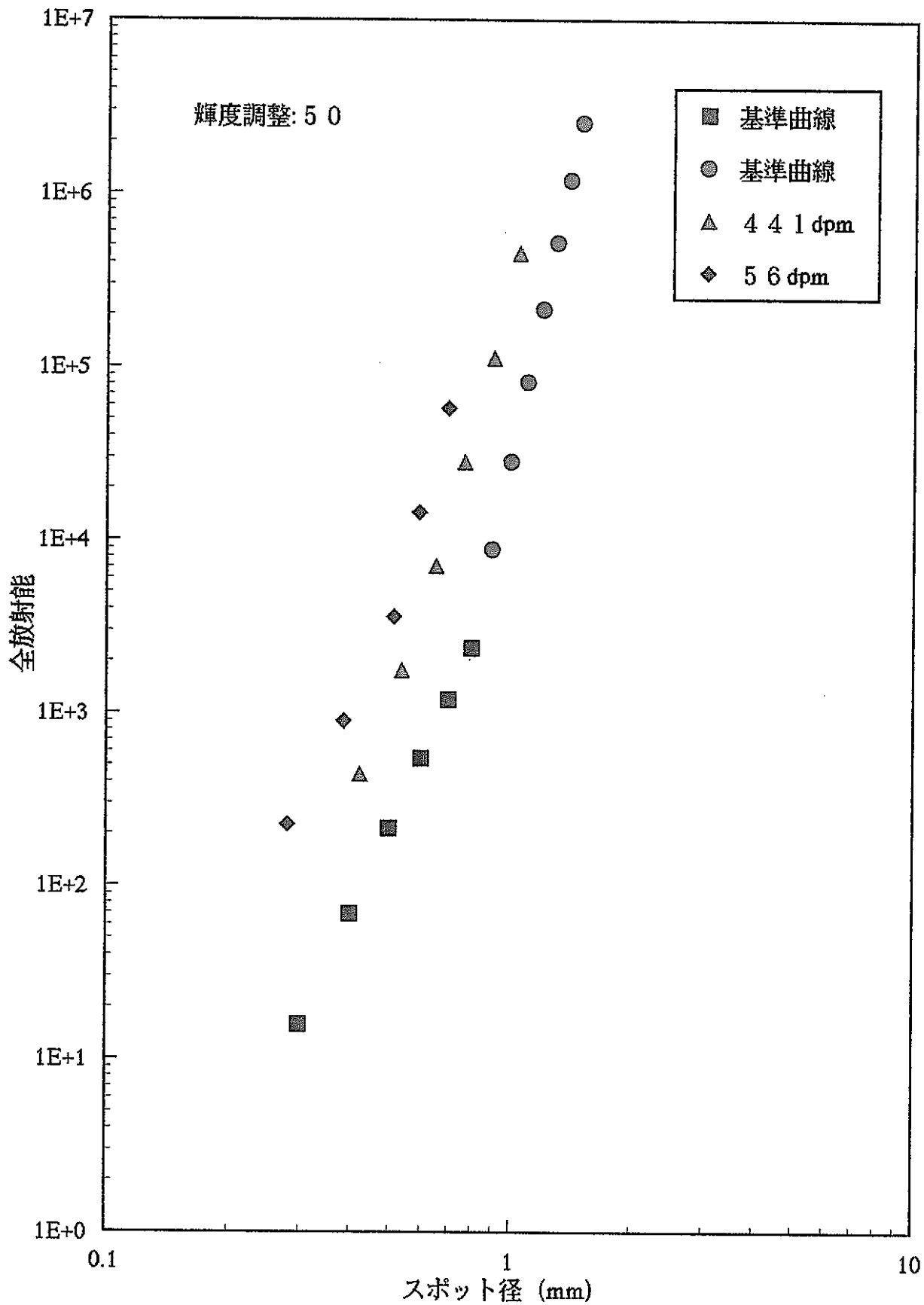


図 3-2 画像解析装置特性試験結果

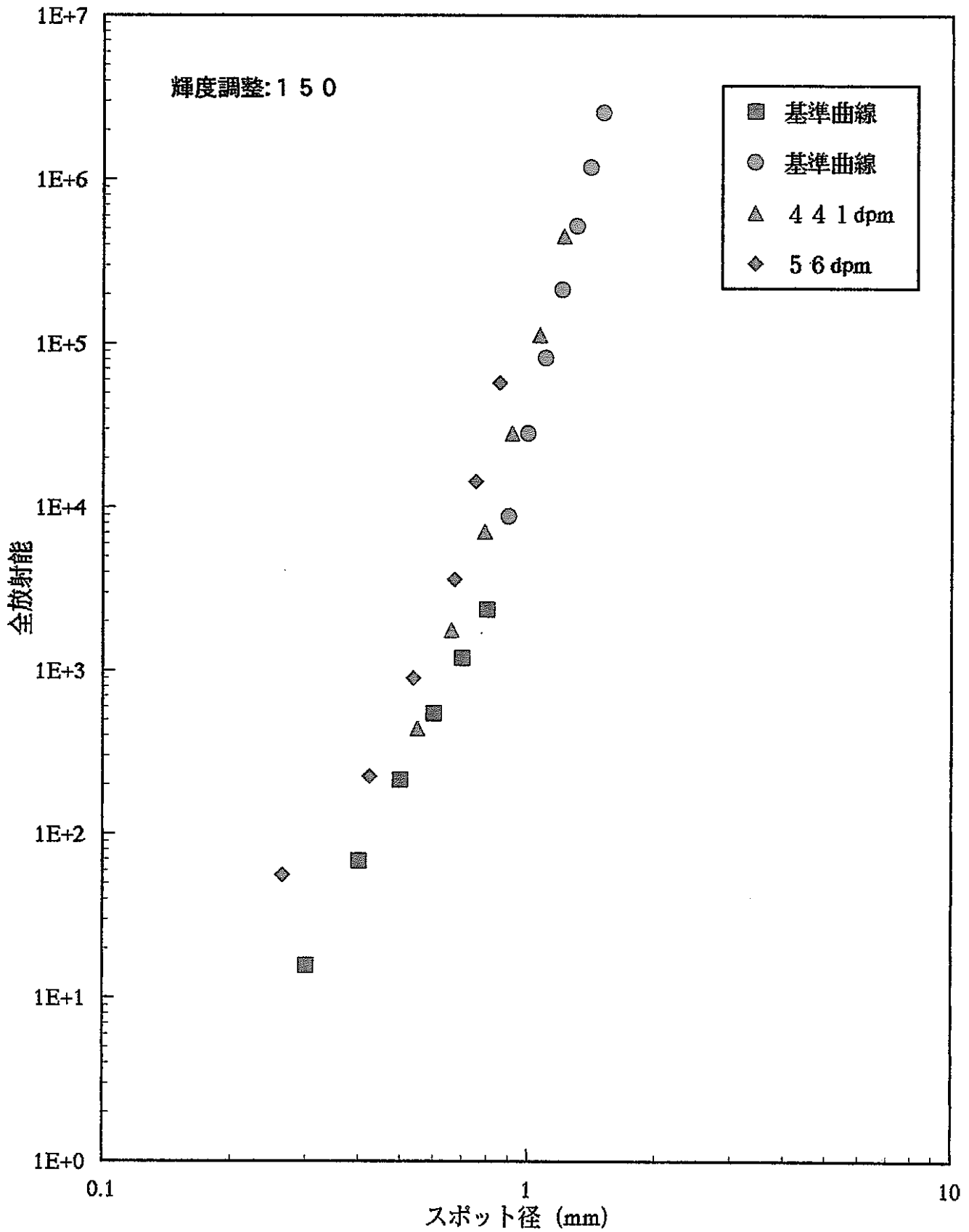


図 3-3 画像解析装置特性試験結果

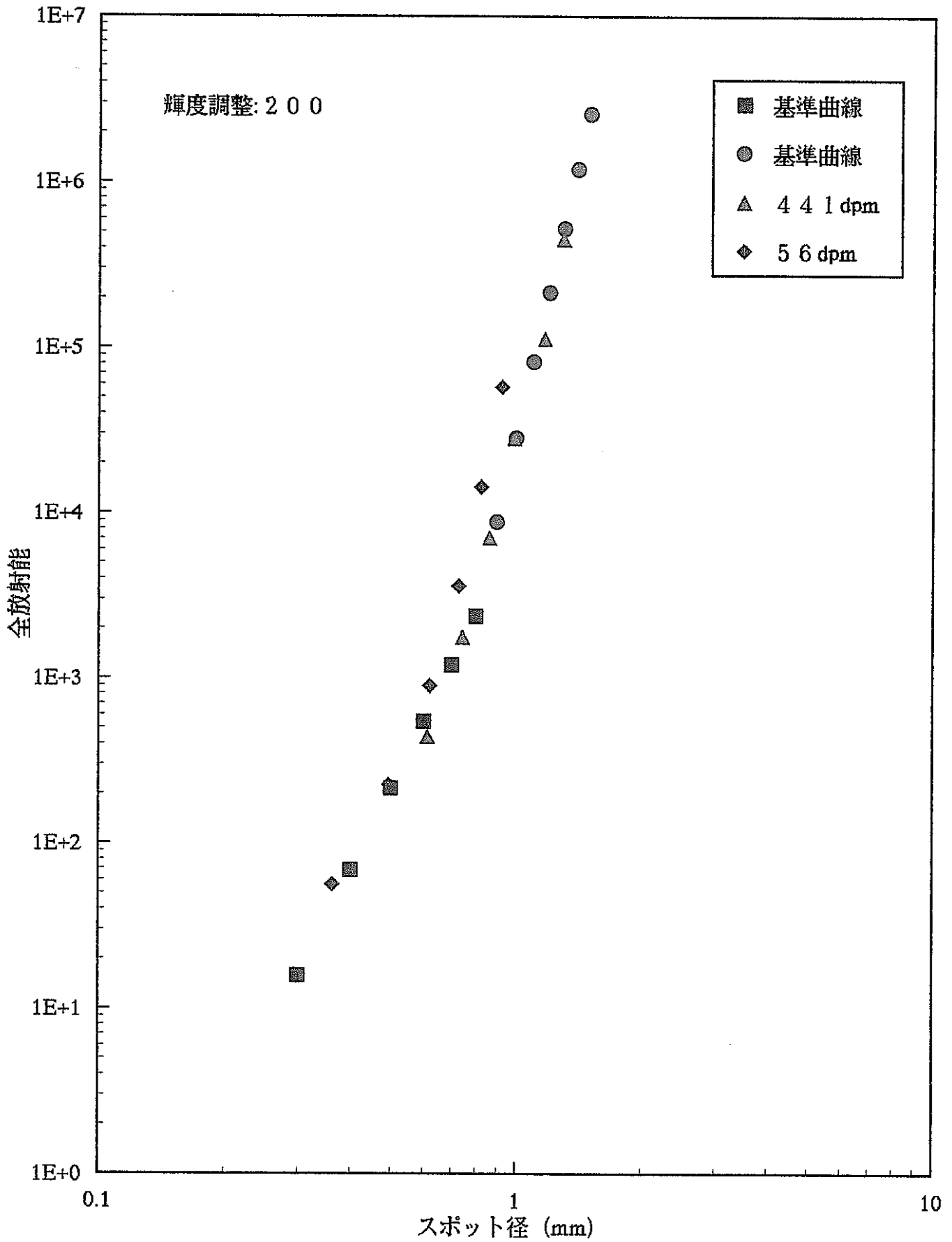


図3-4 画像解析装置特性試験結果

わかる。このことから、輝度強調は150（しきい値）であることがわかる。また、画像解析装置の測定結果から判断すると装置自体のスポット径の最小検出値は、0.16mmであるが、基準曲線に乗っておらず外挿が必要なため評価対象外とし、評価上で必要なスポット径の最小検出値を0.35mm（曝射量35 disintegrations）とした。これは、技術報告書¹⁾による光学顕微鏡での最小検出径0.42mm（曝射量100 disintegrations）により、測定精度が向上したことにより、検出限界値を大幅に向上させることができた。また、放射能相当径においても0.2 μ mとなり、これはプルトニウム燃料第三開発室の各グローブボックス内での取扱う粉末の粒度分布の最も小さい場合の最頻値の0.2 μ mと同一であり、測定、評価に支障をきたさず最小検出径での評価ができる。

3. 2. 3 画像解析装置の再現性

(1) 試験内容

放射能強度、露光時間を1分間から17時間まで数分おきに变化させた写真のスポット像を繰り返し（20回）測定を行い、画像解析装置のCCDカメラ及び画像取り込みに誤差が生じるか確認する。また、生じた誤差が、スポット径の測定にどの程度影響をあたえるか確認する。

(2) 試験結果

露光時間を1分間から17時間までに数分おきに变化させた写真を繰り返し測定し得られたスポット径の測定値について20個の平均値と相対誤差についてその測定結果を表3-2に示す。

この結果、全体的にみると一部スポット径の相対誤差が4%を超えるものがあるが最小検出径より小さく測定対象外であり相対誤差は約4%以下である。また、測定対象範囲での誤差は、最大3.6%であり、光学顕微鏡の誤差よりも低く、また、本装置の精度が良いことが結果として得られた。

表 3-2 繰り返し測定

試料 露光時間	放射線源 A		放射線源 B	
	平均値 (mm)	相対誤差 (%)	平均値 (mm)	相対誤差 (%)
1	0.239	4.1	0.479	1.4
4	0.382	3.6	0.619	3.3
1 6	0.489	2.1	0.743	0.8
6 4	0.623	1.0	0.868	0.5
2 5 6	0.714	1.1	0.993	0.3
1 0 2 4	0.814	0.9	1.150	0.6

画像解析装置測定条件：校正曲線確認試験時と同一条件で測定を行った。

3. 3 ARG 露光時間の最適化

(1) 試験方法

露光時間を 1 分から 17 時間までに数分おきに変化させた写真を画像解析装置で測定し、スポット径と露光時間の関係を調査する。

(2) 試験結果

放射能強度、露光時間等の違いにより、ARG に写しだされるスポット像の大きさが異なることは一般的に知られているが、特に露光時間が一定していない状態では、画像解析装置での正確な測定ができない。また、ARG 作成にもただ露光時間を長くして作成しても周縁部のぼやけが大きくなるだけで真の値が正確に測定できない。そのためにも、ARG の露光時間を放射能強度別に分類し、最適露光時間を決定する。

調査、試験した結果、放射能強度にもよるが、露光時間を長くするにつれて 20 分位から平行状態となってしまうことが図 3-5 ~ 3-6 に示した露光時間とスポット径の関係図でもわかる。これは、1 度感光したスポット象の中央部が再度感光を受けてもスポット径を大きくすることにはならないからである。

しかし、0.35 mm の最小検出径を正しく評価するには、35 disintegrations 以上の曝射量が必要であり、ARG に要する露光時間は 1250 分 (20 時間 50 分) となることが確認できた。

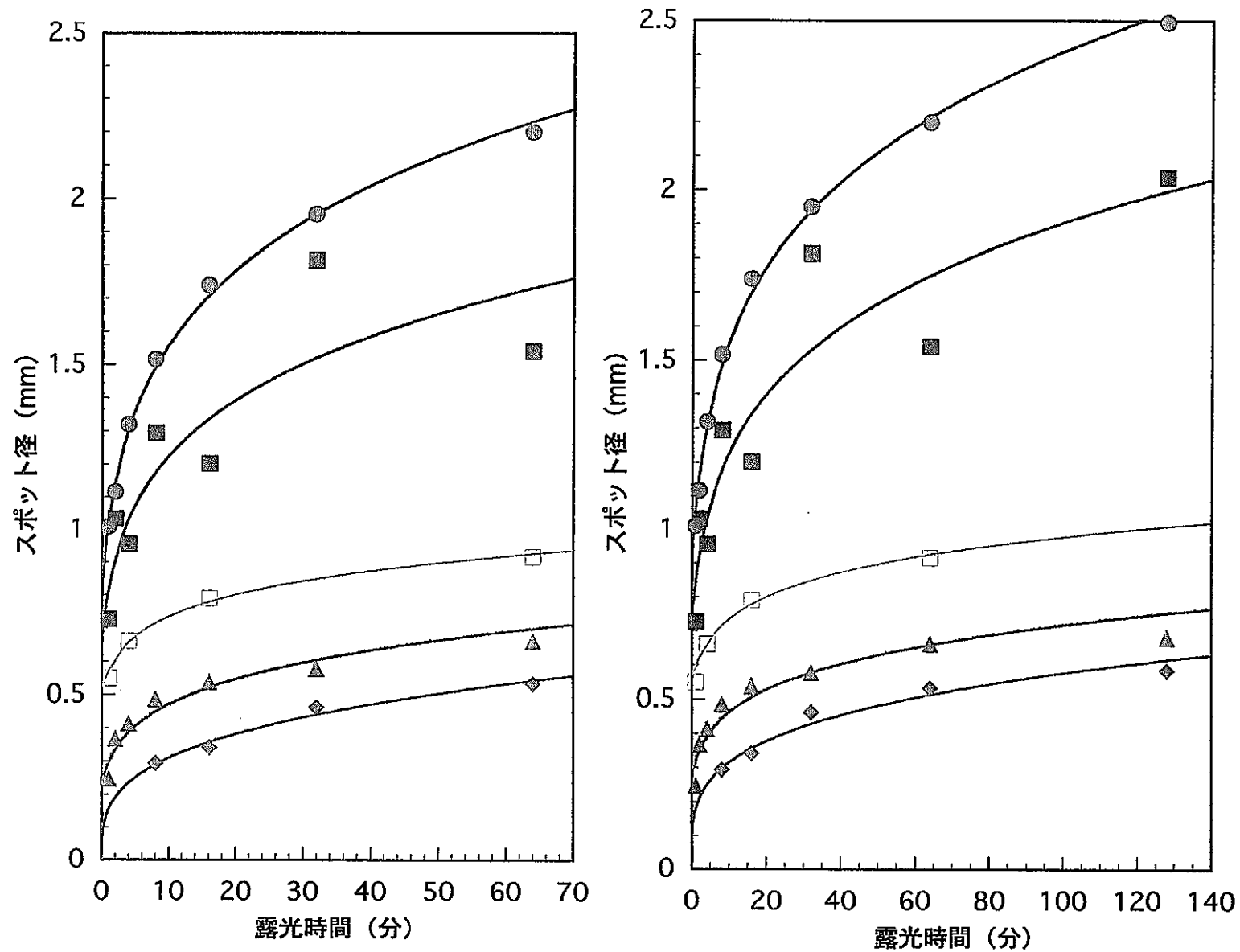


図 3-5 露光時間とスポット径の関係

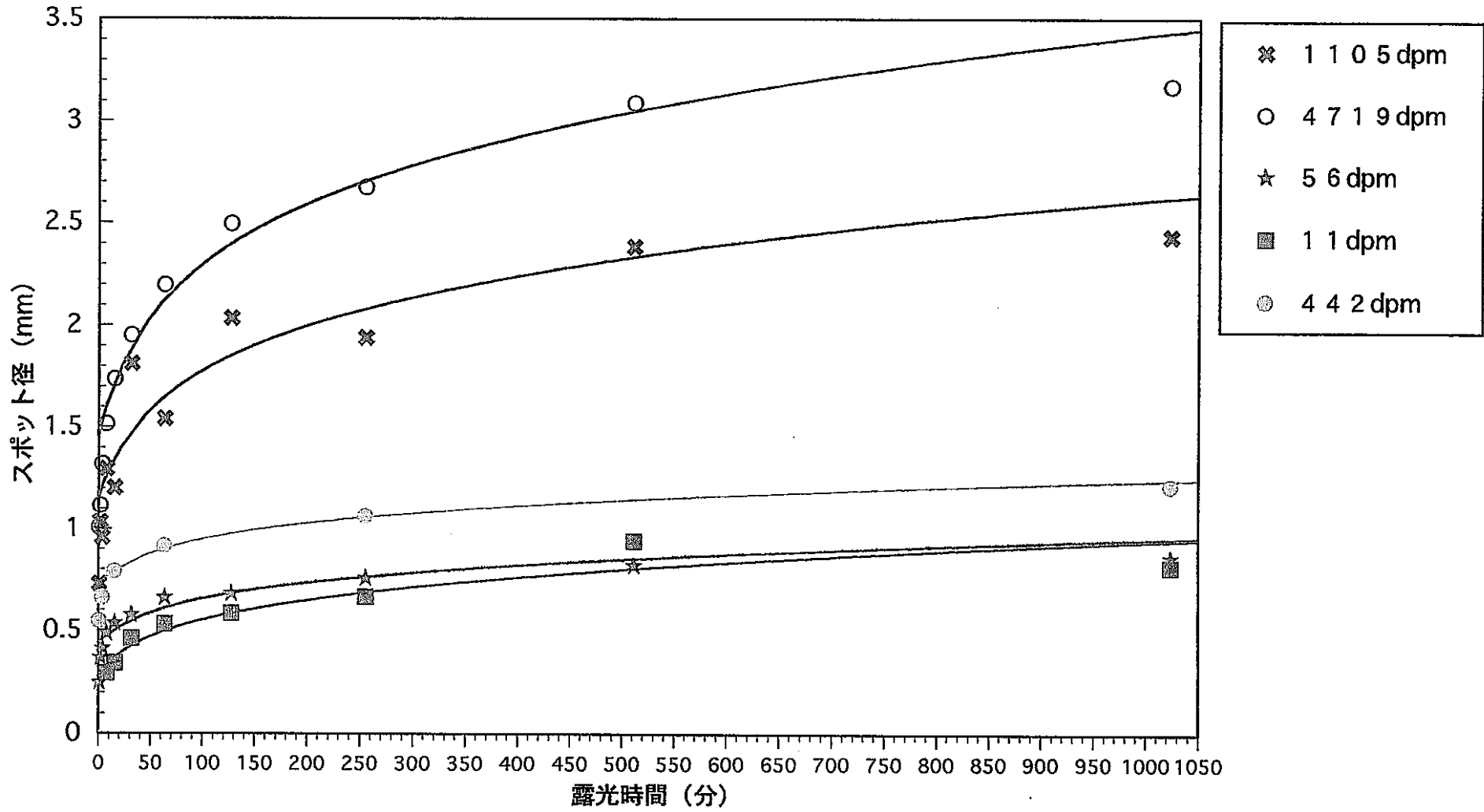


図3-6 露光時間とスポット径の関係

3. 4 自動演算について

(1) 粒子の放射能強度の自動算出について

画像解析装置で試験測定を行ったところ、測定視野及び自動算出（プログラム）が問題点として挙げられた。

その測定視野での問題点は、測定視野（CCDカメラの測定範囲が30mmである）が狭いため、エアスニッフャろ紙の直径50mmに対して全体を捕らえることができないことである。自動算出では、長時間の曝射を行った場合、ろ紙上に付着したプルトニウムのダスト粒子の位置によって、複数のスポット像が重なり合ってしまう画像解析処理を行った際に、1個のスポット像（巨大な）としてカウントしてしまうという点である。また、プログラムの上で平均粒径（個数中央径）を求めるのに対数正規確率紙に累積度数をプロットし回帰直線を求めて50%径を得ているが、標本数が少ないため誤差が大きいことも判明した。

このことから、正確な値として算出するためには、重なったスポット像の値を削除して算出する。そのため、自動算出の方法（既存のプログラム）を用いず、同じ算出式をパーソナルコンピュータ（マッキントッシュ）に設定して個々に評価できるようにした。プルトニウム粒子が近接してスポット像を形成した場合に、これらをまとめて1個の粒子として評価してしまう点については、プルトニウム粒子の粒度分布を求める際に大きな障害となるが、今のところ解決となる対策はない。しかし、少なくともより適度な粒度分布（MMAD）を求めようとするならば、この複合体は標本から除外する必要がある。

(2) Pu粒子径を求めるさいの計算について

今回、技術報告書にも今後の課題とされていたPu同位体組成の考慮した場合のPu粒子径の算出についても取り組んだ。ここでは、「もんじゅ」燃料内側燃料製造時のPu同位体組成を用いて算出を実施した。この製造工程のPu同位体組成を表3-4に示す。

従来のPu-239のみと仮定した計算値と比較すると、当然同じ放射能強度での粒子評価径は小さくなる。

なお、Pu同位体組成を考慮した場合とPu酸化物単一の場合を比較した図

を図 3-7 に示す。

表 3-4 製造工程の Pu 同位体組成

核 種	組成 (%)
Pu-238 (α)	1.09
Pu-239 (α)	63.58
Pu-240 (α)	23.78
Pu-241 (β)	7.86
Pu-242 (α)	3.69
Am-241 (α)	1.4

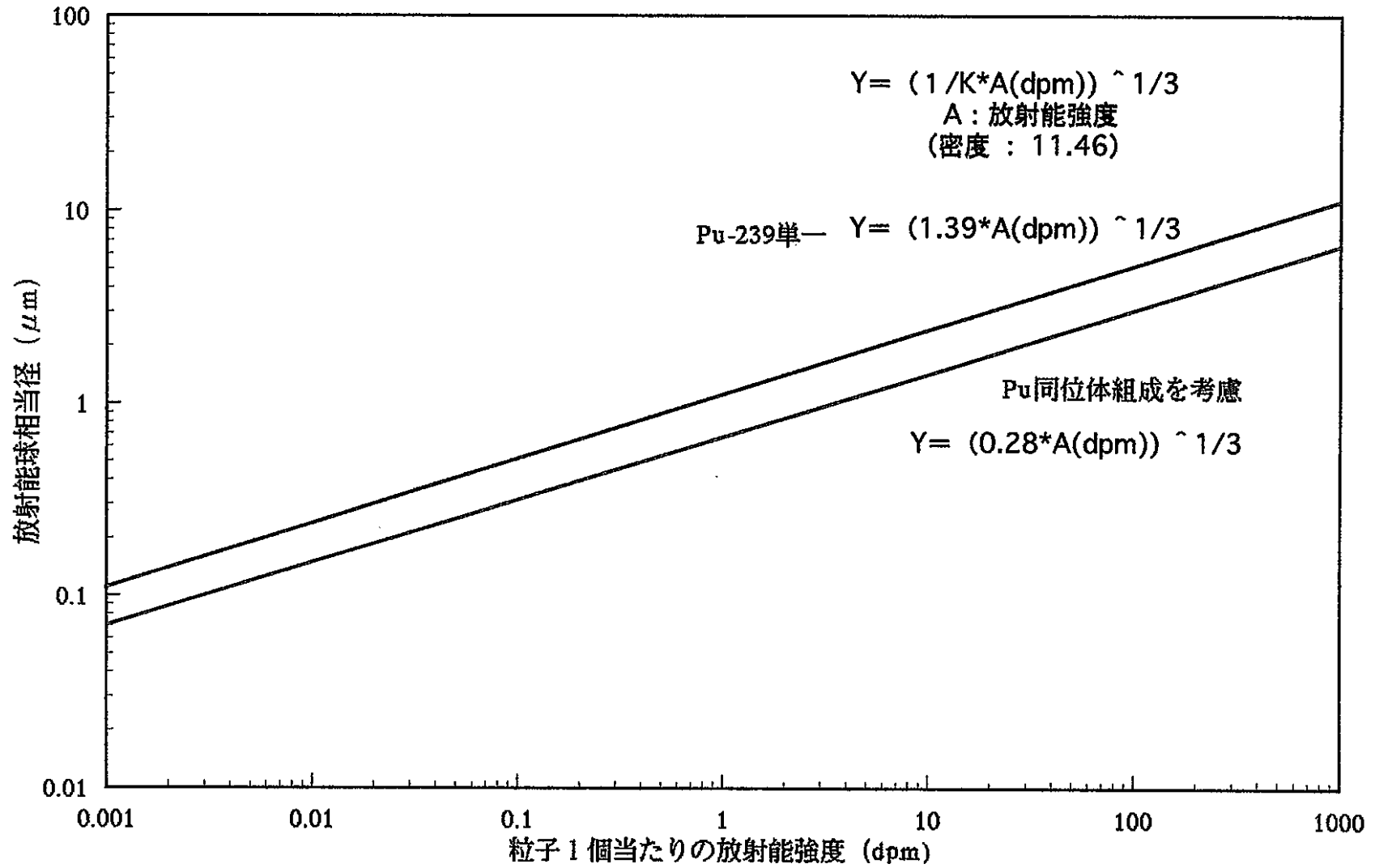


図 3-7 Pu-239単一とした場合とPu同位体組成を考慮した場合の放射能球相当径の比較

4. 粒度分布

4. 1 プルトニウム燃料第三開発施設における粒度分布

(1) 各工程における粒子径

プルトニウム燃料第三開発施設において燃料製造時（ロット毎）に各工程毎に試料を定常的にサンプリングを行い、それを検査課において遠心沈降法により分析した。その結果を表4-1に示す。このデータは、「もんじゅ」燃料製造（内側燃料）時のものであり、各工程（原料、粉末、検査）でのグローブボックス毎に、最頻値、質量中央径等についてまとめたものである。

(2) 各工程における粒度分布

プルトニウム燃料第三開発施設において採取された試料を基に、画像解析装置で測定した結果について以下に示す。なお、 $\text{Pu}239$ 単一のみと Pu 同位体組成を考慮した場合を想定して性状把握を行った。

- ① MOX Pu 取扱室で空気サンプリングろ紙上に捕集した試料を放射線源に使用し測定を行った。それぞれの放射線源の放射能強度は線源No.1（全放射能1.7 Bq）、線源No.2（全放射能2.8 Bq）、線源No.3（全放射能1.4 Bq）、線源No.4（全放射能1.1 Bq）、線源No.5（全放射能6.6 Bq）であり、そのARG写真をPhoto. 6～10に示す。

このARG写真を、2章に示す「画像解析装置による測定手順」に従って酸化プルトニウムの粒子径に換算し、各粒子径から質量中央径、個数中央径を求めた。またプルトニウム発生源における化学形としては酸化プルトニウムであり、かつ密度1.46を用いて、空気力学的質量中央径を求めた。その結果について、 $\text{Pu}-239$ 単体を表4-2に、 Pu 同位体組成を考慮した場合を表4-3に示す。

$\text{Pu}-239$ 単体でのMMDは3.18～6.24 μm であり σ_g は1.27～2.25である。 Pu 同位体でのMMDは1.87～3.68 μm であり σ_g は1.27～2.25である。

表4-1 各グローブボックスにおける粉末等の粒径

グローブ ボックス NO.	設備名	最頻値 (μm)	質量中央径 (MMD) (μm)	空気力学的 質量中央径 (AMAD)	グローブ ボックス NO.	設備名	最頻値 (μm)	質量中央径 (MMD) (μm)	空気力学的 質量中央径 (AMAD)	
1 班	CPG04b	Pu開缶・詰替	1.0~2.0	0.5~0.8	1.7~2.7	3 班	FPG24b	焙焼還元	—	—
	CPG10c	原料混合	1.0~2.0	0.5~0.8	1.7~2.7		FPG24c	焙焼還元	—	—
	CPG11b	粉末試料採取	0.2~0.4	0.4~0.5	1.3~1.7	4 班	FPG28b	粗粉碎・分級	—	—
	FPG05b	原料秤量	1.0~2.0	0.5~0.8	1.7~2.7		FPG30b	研削(乾式)	1.0~2.0	1.0
FPG01b	粉末混合	0.2~0.4	0.4~0.5	1.3~1.7	FPG30c		粉碎	1.0~3.0	1.0~2.0	3.3~6.6
FPG03b	造粒・整粒	0.2~0.4	0.4~0.5	1.3~1.7	FPG35b		研削(乾式)	1.0~2.0	1.0	3.3
FPG03c	添加剤混合				FPG35c	研削(乾式)				
2 班	FPG07b	造粒・整粒	0.2~0.4	0.4~0.5	1.3~1.7					
	FPG07c	均一化混合								
	FPG09b	成型・整列(1)								
	FPG09c	成型・整列(1)								
	FPG11b	成型・整列(2)								
	FPG11c	成型・整列(2)								

計算方法：AMAD=MMAD

$$\text{MMAD} = \sqrt{\rho} \text{MMD} \quad \rho (\text{密度}) : 11.46$$

注) — は未測定である。

表 4—2 画像処理装置での粒度分布測定結果 (P u 2 3 9 単体)

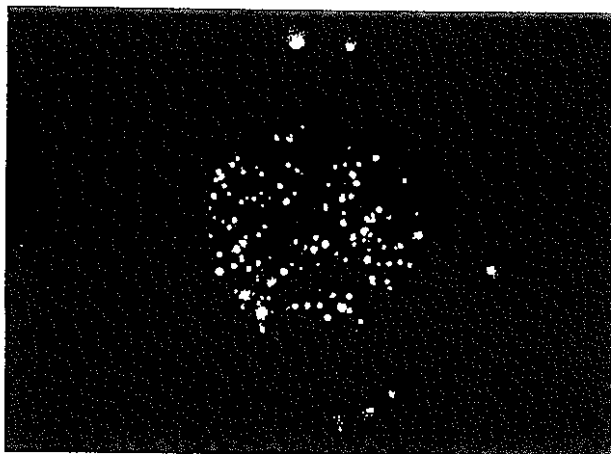
		化学形態	個数中央径 (CMD) (μm)	幾何標準偏差 (σg)	質量中央径 (MMD) (μm)	密 度	空気力学的質量中央径 (MMAD) (μm)
試料 (ろ紙)	(1)	酸化物	2. 9 2	1. 2 7	3. 4 6	1 1. 4 6	1 1. 7
	(2)	酸化物	0. 8 7	2. 2 5	6. 2 4	1 1. 4 6	2 1. 1
	(3)	酸化物	2. 9 8	1. 4 6	4. 5 7	1 1. 4 6	1 5. 5
	(4)	酸化物	0. 8 4	1. 9 5	3. 1 8	1 1. 4 6	1 0. 8
	(5)	酸化物	0. 9 9	2. 0 4	4. 6 3	1 1. 4 6	1 5. 7

表 4—3 画像処理装置での粒度分布測定結果（同位体組成考慮）

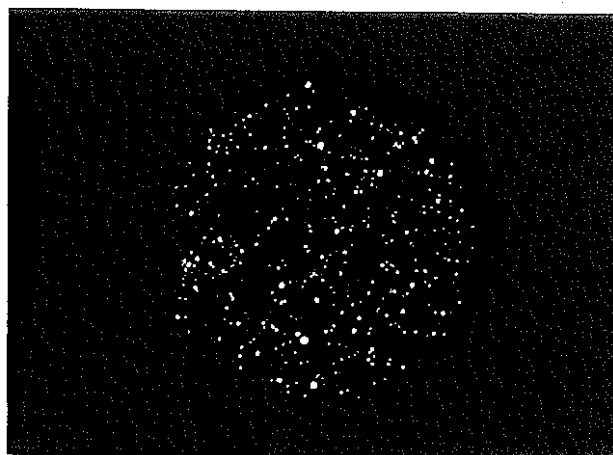
		化学形態	個数中央径 (CMD) (μm)	幾何標準偏差 (σ_g)	質量中央径 (MMD) (μm)	密度	空気力学的質量中央径 (MMAD) (μm)
試料（ろ紙）	(1)	酸化物	1.72	1.27	2.04	11.46	6.9
	(2)	酸化物	0.51	2.25	3.68	11.46	12.4
	(3)	酸化物	1.75	1.46	2.69	11.46	9.1
	(4)	酸化物	0.49	1.95	1.87	11.46	6.3
	(5)	酸化物	0.58	2.05	2.73	11.46	9.2



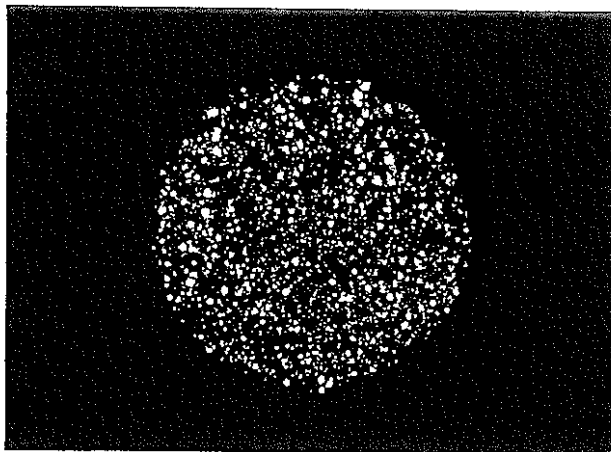
Phot 6. エアスニファろ紙 (1. 7 Bq、露光時間 17 時間)



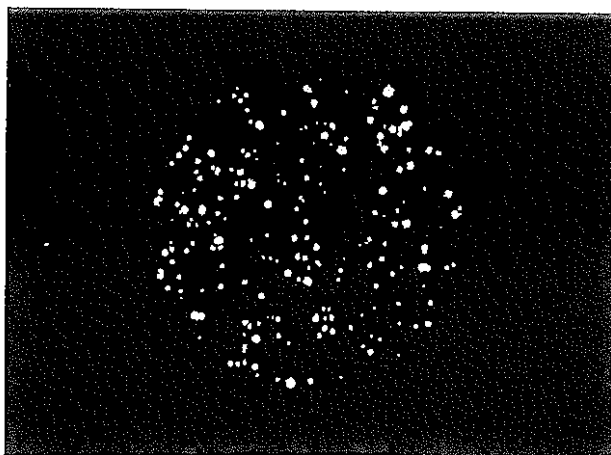
Phot 7. エアスニファろ紙 (2. 8 Bq、露光時間 17 時間)



Phot 8. エアスニファろ紙 (1. 4 Bq、露光時間 17 時間)



Phot 9. エアスニファろ紙 (11 Bq、露光時間17時間)



Phot 10. エアスニファろ紙 (6.6 Bq、露光時間17時間)

4. 2 プルトニウム燃料第二開発室と第三開発室の粒径分布の比較

プルトニウム燃料第二開発施設において空気サンプリングろ紙上等に捕集した試料（エアスニッフア等）をもちいてオートラジオグラフィ法で粒度分布を測定した結果を表4-4に示す。

このデータは、オートラジオグラフ法によるプルトニウム粒度分布測定及び性状把握の結果と今回の画像解析測定データを比較してみると、プルトニウム燃料第二開発室については、MMDで0.62～1.52 μ m、 σ_g で1.45～1.67である。プルトニウム燃料第三開発室については、MMDが3.18～6.24 μ m、 σ_g が1.27～2.25であり両者の値に相違があることが分かった。

プルトニウム燃料第二開発室と第三開発室でのデータが合わない原因としては、データ数、評価範囲、施設側の運転状況の差異等の要因によって合わないものとみられる。また、幾何標準偏差については、プルトニウム燃第三開発室が大きく、粒度分布の分散の幅が大きいことがわかる。

表 4-4 プルトニウム第二開発室の粒度分布

		化学形態	個数中央径 (CMD) (μm)	幾何標準偏差 (σg)	質量中央径 (MMD) (μm)	密度	空気力学的質量中央径 (MMAD) (μm)
試料 (ろ紙)	(1)	酸化物	0.39	1.48	0.62	11.46	2.1
	(2)	酸化物	0.68	1.59	1.30	11.46	4.4
	(3)	酸化物	0.63	1.45	0.96	11.46	3.3
	(4)	酸化物	0.59	1.67	1.30	11.46	4.4
	(5)	酸化物	0.46	1.54	0.80	11.46	2.7
	(6)	酸化物	0.84	1.56	1.52	11.46	5.2
	(7)	酸化物	0.64	1.53	1.1	11.46	3.7

5. まとめ

ZnS (Ag) オートラジオグラフ法によるARG写真のスポット径の読み取りや画像解析の自動化を行い、日常的な放射線管理に適用させるために各種試験と性状把握を行った。得られた結論は以下の通りであった。

- (1) ZnS (Ag) オートラジオグラフ法の測定方法を自動化にすることで測定時間の短縮化や、迅速なデータ処理が行えることが確認された。

この画像解析装置は、オートラジオグラフ法の粒子径測定方法の手法に基づいて製作され、試料測定、データ処理、粒度分布解析等は実用上問題なく評価できることが特性試験の結果から検証された。

今後は日常の放射線管理の中で運用していきたい。

- (2) 技術報告書では、スポット径の最小検出径が0.42mm (スポット像) であったが、今回の試験では、最小検出径が0.35mmが得られ、かつ技術報告書の関係式と一致することが確認できた。

- (3) 最小検出径は、スポット像で0.35mm、放射能球相当径では0.2 μ mとなり、プルトニウム燃料第三開発室の製造工程ラインの定常的な分析データの最頻値と合っていることが確認できた。

- (4) 日常的な放射線管理に適用するには、ARG写真を作成させる曝射時間 (露光時間) が問題になってくる。正確な値を求めるには、最小検出径を満足させる曝射時間 (\approx 20時間) が必要である。

- (5) プルトニウム燃料第三開発室の製造ラインの粒度分布を測定したところ、Pu-239単体では、MMDで3.18~6.24 μ m、 σ_g で1.27~2.25、MMADで10.8~21.1 μ mであった。また、Pu同位体組成を考慮した場合は、MMDで1.87~3.68、 σ_g で1.27~2.25、MMADで6.3~12.4 μ mであることが確認できた。

今後の課題としては以下の通りである。

- (1) 粒子径の自動算出プログラムの中で、粒子が重なり合った場合は、粒子をひとつとして測定を行ってしまう。そのため、スポット径が重なり合った場合の分離操作ができる様にプログラム上の手直しが必要である。また、粒子が重なり合った場合の測定評価に影響がないかを検討する必要がある。
- (2) CCDカメラの測定視野が30mmであるため、エアスニフファろ紙全体を測定視野の範囲に捉えることができない。このため、画像解析装置のプログラム内の測定視野を分割し、プログラム上でひとつのデータとして扱えるように画像処理プログラムの改造が必要である。
- (3) 既知の標準試料がないため、画像解析装置の測定は、等価円直径で測定評価している。そのため、等価円直径の妥当性を確認するため、画像処理装置の測定結果値（放射能球相当径）と電子顕微鏡等の測定した幾何径との比較測定を行う必要がある。
- (4) 今回の特性試験では、ろ紙上に付着した表面の粒子のみを測定対象にしているため、今後ろ紙内に浸透または粉塵によりかぶった粒子についても測定対象として、測定評価を行う必要があるか検討を行う必要がある。
- (5) 緊急時の内部被ばく線量評価は迅速に行うことが要求される。今回の画像解析装置では、スポット径の読み取り及び測定データ処理の時間が短縮されたが、試料の前処理等、ARG写真の露光時間に20時間かかり、迅速に測定情報が提供出来ない。このことから、今後迅速に粒子径の測定をするために前処理や露光時間に時間を費やせず測定できる装置を開発していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 齊藤節子、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 8 4 1 - 7 8 - 4 7 (1 9 7 8)

- 2) 関 昭雄、小泉勝三：オートラジオグラフ法によるプルトニウム粒度分布測定および性状把握、S N 8 4 1 - 8 2 - 0 4 (1 9 8 2)

付 録

1 放射能から粒子径への変換法 (マッキントッシュ)

放射能から粒子径への変換 (Si-61)

(1) PuO₂をすべてPu-239として評価した場合

$$\text{粒子径}(d) = ((1/k) \cdot A)^{1/3} \quad A: \text{粒子の放射能強度 (Bq)}$$

$$\text{定数}(k) = (\lambda \cdot \pi \cdot A_0 \cdot \rho \cdot f / 6M) \cdot 10^{-12}$$

λ : 崩壊定数	$\lambda =$	9.1106E-13
π : 円周率	$\pi =$	3.14159265
A_0 : アボガドロ数	$A_0 =$	6.0221E+23
ρ : 粒子の密度	$\rho =$	11.46
f : 分子中の放射性 原子の割合	$f =$	0.88191882
M : 放射性元素の分子量	$M =$	239

$$\lambda / M = 3.81199E-15$$

$$k = 0.012148255$$

$$\text{粒子の放射能} \quad 0.28 \text{ (dpm) のときの} \quad (0.005 \text{ Bq})$$

$$\text{粒子の放射能相当径は} \quad 0.727 \mu\text{m}$$

(2) Puの同位体組成を考慮して評価した場合

・ λ/M の計算						
Pu-238	1.09 %	$\lambda =$	2.505E-10 M=	238 半減期 (s)	2.767E+09	87.74 年
Pu-239	63.58 %	$\lambda =$	9.111E-13 M=	239 半減期 (s)	7.606E+11	24120 年
Pu-240	23.78 %	$\lambda =$	3.345E-12 M=	240 半減期 (s)	2.072E+11	6570 年
Pu-241	7.86 %		M=	241		
Pu-242	3.69 %	$\lambda =$	5.844E-14 M=	242 半減期 (s)	1.186E+13	376000 年
Am-241	1.4 %	$\lambda =$	5.084E-11 M=	241 半減期 (s)	1.363E+10	432.2 年
	$\lambda/M=$	2.01707E-14	Mm=	242.8688		
			M α =	223.9262		

・ f の計算
 $f = 0.814665761$

・ k の計算
 $k = 0.05937905$

粒子の放射能 3.6 (dpm) のときの (0.06 Bq)

粒子の放射能相当径は 1 μ m

²³⁹Pu単一

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.4581	136.821	13.65475172	2.6558664	0.9768
0.3855	56.6538	5.654071691	1.97954506	0.6829
0.4813	176.112	17.57606986	2.88903107	1.0609
0.5078	231.598	23.11353629	3.16519464	1.1522
0.606	571.583	57.04424367	4.2774233	1.4534
0.5078	231.598	23.11353629	3.16519464	1.1522
0.3798	52.5013	5.239653459	1.9299489	0.6575
0.4992	212.24	21.18165078	3.07443199	1.1231
0.5035	221.749	22.13064306	3.11967702	1.1377
0.561	385.341	38.45713598	3.75062751	1.3219

曝射時間= 0.167 10.02 分

個数中央径 2.92081 幾何標準偏差 1.267

空気力学的放射能中央径 11.6969599

質量中央径 3.45526

組成考慮

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.4581	136.820612	13.6547517	1.5649475	0.44785227
0.3855	56.6537983	5.65407169	1.16643069	0.1539484
0.4813	176.11222	17.5760699	1.70233786	0.53200252
0.5078	231.597634	23.1135363	1.86506498	0.62329589
0.606	571.583322	57.0442437	2.5204366	0.92443214
0.5078	231.597634	23.1135363	1.86506498	0.62329589
0.3798	52.5013277	5.23965346	1.13720656	0.12857487
0.4992	212.240141	21.1816508	1.81158383	0.59420151
0.5035	221.749043	22.1306431	1.8382441	0.60881082
0.561	385.340503	38.457136	2.2100265	0.79300451

曝射時間= 0.167 10.02 分

個数中央径 1.72106259 幾何標準偏差 1.26702205

空気力学的放射能中央径 6.89233769

質量中央径 2.03598343

放射能から粒子径への変換 (Pu-9)

(1) PuO₂をすべてPu-239として評価した場合

粒子径(d)= $((1/k) \cdot A)^{1/3}$ A: 粒子の放射能強度 (Bq)

定数(k)= $(\lambda \cdot \pi \cdot A_0 \cdot \rho \cdot f / 6M) \cdot 10^{-12}$

λ: 崩壊定数	λ =	9.1106E-13
π: 円周率	π =	3.14159265
A ₀ : アボガドロ数	A ₀ =	6.0221E+23
ρ: 粒子の密度	ρ =	11.46
f: 分子中の放射性 原子の割合	f =	0.88191882
M: 放射性元素の分子量	M =	239

λ / M = 3.81199E-15
k = 0.012148255

粒子の放射能 0.028 (dpm) のときの (5E-04 Bq)

粒子の放射能相当径は 0.337 μm

(2) Puの同位体組成を考慮して評価した場合

・ λ/M の計算						
Pu-238	1.09 %	$\lambda =$	2.505E-10 M=	238 半減期 (s)	2.767E+09	87.74 年
Pu-239	63.58 %	$\lambda =$	9.111E-13 M=	239 半減期 (s)	7.606E+11	24120 年
Pu-240	23.78 %	$\lambda =$	3.345E-12 M=	240 半減期 (s)	2.072E+11	6570 年
Pu-241	7.86 %		M=	241		
Pu-242	3.69 %	$\lambda =$	5.844E-14 M=	242 半減期 (s)	1.186E+13	376000 年
Am-241	1.4 %	$\lambda =$	5.084E-11 M=	241 半減期 (s)	1.363E+10	432.2 年

$\lambda/M =$ 2.01707E-14 Mm= 242.8688
 M $\alpha =$ 223.9262

・ f の計算
 f = 0.814665761

・ k の計算
 k = 0.05937905

粒子の放射能 3.6 (dpm) のときの (0.06 Bq)

粒子の放射能相当径は 1 μ m

239Pu単一

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.7362	1545.23	1.514931066	1.2761721	0.2439
0.7028	1218.86	1.19496318	1.17913391	0.1648
0.4859	184.884	0.181258725	0.62884642	-0.464
0.5035	221.749	0.217401023	0.66813694	-0.403
0.4484	122.647	0.120241809	0.54844126	-0.601
0.5726	427.824	0.419434966	0.83176345	-0.184
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.4533	129.651	0.127108704	0.55868891	-0.582
0.7121	1303.55	1.277993673	1.20583492	0.1872
0.6775	1010.63	0.990810927	1.10775032	0.1023
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.5839	472.753	0.46348307	0.85991643	-0.151
0.533	296.634	0.290817345	0.73618177	-0.306
0.671	962.048	0.943183826	1.08970866	0.0859
0.4533	129.651	0.127108704	0.55868891	-0.582
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.6512	825.515	0.809328454	1.03550744	0.0349
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.5764	442.531	0.433854158	0.84118763	-0.173
0.7653	1883.76	1.846818948	1.36328418	0.3099
0.4022	70.3628	0.068983182	0.45571434	-0.786
0.3681	44.7435	0.043866158	0.39188155	-0.937
0.5248	274.039	0.268666006	0.71699456	-0.333
0.6966	1164.9	1.142062309	1.1614706	0.1497
0.5248	274.039	0.268666006	0.71699456	-0.333
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.4948	202.852	0.198874906	0.64859205	-0.433
0.4484	122.647	0.120241809	0.54844126	-0.601
0.4533	129.651	0.127108704	0.55868891	-0.582
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.4768	167.858	0.1645669	0.60891843	-0.496
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.4533	129.651	0.127108704	0.55868891	-0.582
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.4813	176.112	0.172659039	0.61873981	-0.48
0.4076	75.3253	0.073848368	0.46618532	-0.763
0.4628	144.147	0.141320214	0.57877938	-0.547
0.5532	358.734	0.351699833	0.78433635	-0.243
0.5532	358.734	0.351699833	0.78433635	-0.243
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.5571	371.846	0.364554704	0.79377824	-0.231
0.4182	85.8849	0.084200884	0.48702416	-0.719
0.4581	136.821	0.134137855	0.56880326	-0.564
0.5764	442.531	0.433854158	0.84118763	-0.173
0.5289	285.157	0.279565254	0.72656201	-0.319
0.4182	85.8849	0.084200884	0.48702416	-0.719
0.7121	1303.55	1.277993673	1.20583492	0.1872
0.5726	427.824	0.419434966	0.83176345	-0.184
0.5802	457.643	0.448669387	0.85065561	-0.162
0.4581	136.821	0.134137855	0.56880326	-0.564
0.7739	1994.45	1.955346972	1.38948192	0.3289

0.7212	1390.94	1.363669056	1.23220023	0.2088
0.7934	2264.9	2.2204929	1.44964419	0.3713
0.5289	285.157	0.279565254	0.72656201	-0.319
0.4768	167.858	0.1645669	0.60891843	-0.496
0.7906	2224.35	2.180738374	1.44094082	0.3653
0.4076	75.3253	0.073848368	0.46618532	-0.763
0.6131	606.638	0.594742935	0.9344471	-0.068
0.6934	1137.82	1.115505396	1.15239716	0.1418
0.4675	151.785	0.148808699	0.58882702	-0.53
0.7212	1390.94	1.363669056	1.23220023	0.2088
0.5206	263.015	0.257857961	0.70724812	-0.346
0.4129	80.4659	0.078888122	0.4765577	-0.741
0.5726	427.824	0.419434966	0.83176345	-0.184
0.6202	643.401	0.630785309	0.95295446	-0.048
0.5802	457.643	0.448669387	0.85065561	-0.162
0.4386	109.551	0.107402639	0.52818161	-0.638
0.6342	721.142	0.70700151	0.98988574	-0.01
0.5452	333	0.326471027	0.76511463	-0.268
0.3681	44.7435	0.043866158	0.39188155	-0.937
0.748	1676.03	1.643165969	1.31120954	0.271
0.4182	85.8849	0.084200884	0.48702416	-0.719
0.5532	358.734	0.351699833	0.78433635	-0.243
0.671	962.048	0.943183826	1.08970866	0.0859
0.606	571.583	0.560375805	0.91608987	-0.088
0.6444	782.401	0.767059466	1.01715694	0.017
0.4386	109.551	0.107402639	0.52818161	-0.638
0.6272	681.38	0.668019562	0.97134762	-0.029
0.6966	1164.9	1.142062309	1.1614706	0.1497
0.5764	442.531	0.433854158	0.84118763	-0.173
0.748	1676.03	1.643165969	1.31120954	0.271
0.6612	892.371	0.874873182	1.06273909	0.0608
0.5035	221.749	0.217401023	0.66813694	-0.403
0.641	761.533	0.746601396	1.00803255	0.008
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.5764	442.531	0.433854158	0.84118763	-0.173
0.5987	537.259	0.526724568	0.89737262	-0.108
0.748	1676.03	1.643165969	1.31120954	0.271
0.3967	65.5822	0.064296319	0.44515063	-0.809
0.5726	427.824	0.419434966	0.83176345	-0.184
0.5289	285.157	0.279565254	0.72656201	-0.319
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.7767	2031.6	1.991767566	1.39805581	0.3351
0.3681	44.7435	0.043866158	0.39188155	-0.937
0.4336	103.317	0.101290906	0.51796662	-0.658
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.7243	1421.77	1.393887508	1.24123553	0.2161
0.6478	803.725	0.787966019	1.02631526	0.026
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.6307	701.034	0.687288272	0.98059859	-0.02
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.374	48.5309	0.047579312	0.4026407	-0.91
0.374	48.5309	0.047579312	0.4026407	-0.91

0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.8284	3501.48	3.432821845	1.67621109	0.5165
0.887	7477.19	7.330581793	2.15852842	0.7694
0.887	7477.19	7.330581793	2.15852842	0.7694
1.1772	173071	169.6774297	6.15157488	1.8167
1.1566	142272	139.4824767	5.76259599	1.7514
0.9762	21660.4	21.23571952	3.07704572	1.124
0.8968	8447.1	8.281469737	2.24809208	0.8101
0.9209	11338.2	11.11590211	2.47985636	0.9082
0.8337	3758.33	3.684639983	1.71623456	0.5401
1.0743	62701.8	61.47239791	4.38535754	1.4783
0.8337	3758.33	3.684639983	1.71623456	0.5401
0.8969	8457.56	8.291725769	2.24901973	0.8105
0.8646	5629.06	5.518681497	1.96361677	0.6748
1.1317	111739	109.5478529	5.31675007	1.6709
0.9558	17134.1	16.79810356	2.84576068	1.0458
0.9161	10699.2	10.48943912	2.43236667	0.8889
0.9443	14979.8	14.6861226	2.72111777	1.001
1.062	55178.3	54.09640435	4.20243581	1.4357
1.0264	37792.1	37.05109138	3.70434952	1.3095
1.064	56342.8	55.2380494	4.23179285	1.4426
1.1901	195327	191.497283	6.40470544	1.857
0.8337	3758.33	3.684639983	1.71623456	0.5401
0.8671	5812.39	5.698417051	1.98470684	0.6855
1.0454	46325.7	45.41736843	3.96447434	1.3774
1.0157	33642.1	32.98244037	3.56346544	1.2707
1.1044	85209.8	83.53900172	4.85744676	1.5805
0.8258	3381.41	3.31510597	1.65682801	0.5049
0.862	5443.99	5.337242239	1.94185707	0.6636
0.9939	26441.8	25.92329067	3.2885794	1.1905
1.02	35257.2	34.56592397	3.61960361	1.2864
0.9065	9518.51	9.331875527	2.33938267	0.8499
0.8124	2819.89	2.764600087	1.55951322	0.4444
0.8441	4312.79	4.228229547	1.79679201	0.586
0.8124	2819.89	2.764600087	1.55951322	0.4444
0.8993	8712.19	8.541364402	2.27136732	0.8204

曝射時間= 17 1020 分

個数中央径 0.99278 幾何標準偏差 2.047

空氣力学的放射能中央径 15.6766826

質量中央径 4.63086

同位体組成考慮

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.7362	1545.22969	1.51493107	0.75197394	-0.2850536
0.7028	1218.86244	1.19496318	0.69479499	-0.3641385
0.4859	184.8839	0.18125873	0.3705426	-0.9927869
0.5035	221.749043	0.21740102	0.39369421	-0.9321808
0.4484	122.646646	0.12024181	0.32316452	-1.1295937
0.5726	427.823666	0.41943497	0.49010979	-0.7131258
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.4533	129.650878	0.1271087	0.32920286	-1.1110811
0.7121	1303.55355	1.27799367	0.71052834	-0.3417464
0.6775	1010.62715	0.99081093	0.65273279	-0.4265874
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.5839	472.752732	0.46348307	0.5066987	-0.6798387
0.533	296.633692	0.29081734	0.43378907	-0.8351969
0.671	962.047502	0.94318383	0.64210189	-0.4430083
0.4533	129.650878	0.1271087	0.32920286	-1.1110811
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.6512	825.515023	0.80932845	0.61016427	-0.4940271
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.5764	442.531241	0.43385416	0.49566291	-0.7018592
0.7653	1883.75533	1.84681895	0.80330402	-0.219022
0.4022	70.362846	0.06898318	0.26852594	-1.3148078
0.3681	44.7434807	0.04386616	0.23091299	-1.4657143
0.5248	274.039326	0.26866601	0.42248317	-0.8616057
0.6966	1164.90356	1.14206231	0.68438703	-0.3792317
0.5248	274.039326	0.26866601	0.42248317	-0.8616057
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.4948	202.852404	0.19887491	0.38217754	-0.96187
0.4484	122.646646	0.12024181	0.32316452	-1.1295937
0.4533	129.650878	0.1271087	0.32920286	-1.1110811
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.4768	167.858238	0.1645669	0.35880019	-1.0249896
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.4533	129.650878	0.1271087	0.32920286	-1.1110811
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.4813	176.11222	0.17265904	0.36458736	-1.0089891
0.4076	75.3253354	0.07384837	0.27469587	-1.2920907
0.4628	144.146618	0.14132021	0.341041	-1.0757526
0.5532	358.73383	0.35169983	0.46216376	-0.771836
0.5532	358.73383	0.35169983	0.46216376	-0.771836
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.5571	371.845798	0.3645547	0.46772732	-0.7598698
0.4182	85.8849019	0.08420088	0.28697499	-1.2483602
0.4581	136.820612	0.13413786	0.33516265	-1.0931393
0.5764	442.531241	0.43385416	0.49566291	-0.7018592
0.5289	285.156559	0.27956525	0.42812071	-0.8483501
0.4182	85.8849019	0.08420088	0.28697499	-1.2483602
0.7121	1303.55355	1.27799367	0.71052834	-0.3417464
0.5726	427.823666	0.41943497	0.49010979	-0.7131258
0.5802	457.642775	0.44866939	0.50124184	-0.6906666
0.4581	136.820612	0.13413786	0.33516265	-1.0931393
0.7739	1994.45391	1.95534697	0.81874083	-0.1999877

0.7212	1390.94244	1.36366906	0.72606388	-0.3201173
0.7934	2264.90276	2.2204929	0.85419095	-0.1576005
0.5289	285.156559	0.27956525	0.42812071	-0.8483501
0.4768	167.858238	0.1645669	0.35880019	-1.0249896
0.7906	2224.35314	2.18073837	0.84906256	-0.1636224
0.4076	75.3253354	0.07384837	0.27469587	-1.2920907
0.6131	606.637794	0.59474294	0.55061529	-0.5967189
0.6934	1137.8155	1.1155054	0.67904058	-0.3870744
0.4675	151.784873	0.1488087	0.34696149	-1.0585415
0.7212	1390.94244	1.36366906	0.72606388	-0.3201173
0.5206	263.01512	0.25785796	0.41674016	-0.8752924
0.4129	80.4658846	0.07888812	0.28080772	-1.2700851
0.5726	427.823666	0.41943497	0.49010979	-0.7131258
0.6202	643.401015	0.63078531	0.5615206	-0.5771068
0.5802	457.642775	0.44866939	0.50124184	-0.6906666
0.4386	109.550692	0.10740264	0.31122668	-1.1672338
0.6342	721.14154	0.70700151	0.58328206	-0.5390844
0.5452	333.000448	0.32647103	0.45083752	-0.7966483
0.3681	44.7434807	0.04386616	0.23091299	-1.4657143
0.748	1676.02929	1.64316597	0.77261947	-0.2579686
0.4182	85.8849019	0.08420088	0.28697499	-1.2483602
0.5532	358.73383	0.35169983	0.46216376	-0.771836
0.671	962.047502	0.94318383	0.64210189	-0.4430083
0.606	571.583322	0.56037581	0.53979844	-0.6165595
0.6444	782.400655	0.76705947	0.59935139	-0.5119072
0.4386	109.550692	0.10740264	0.31122668	-1.1672338
0.6272	681.379953	0.66801956	0.57235862	-0.5579895
0.6966	1164.90356	1.14206231	0.68438703	-0.3792317
0.5764	442.531241	0.43385416	0.49566291	-0.7018592
0.748	1676.02929	1.64316597	0.77261947	-0.2579686
0.6612	892.370646	0.87487318	0.6262103	-0.468069
0.5035	221.749043	0.21740102	0.39369421	-0.9321808
0.641	761.533424	0.7466014	0.59397491	-0.5209182
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.5764	442.531241	0.43385416	0.49566291	-0.7018592
0.5987	537.25906	0.52672457	0.52876946	-0.6372028
0.748	1676.02929	1.64316597	0.77261947	-0.2579686
0.3967	65.5822455	0.06429632	0.26230136	-1.3382612
0.5726	427.823666	0.41943497	0.49010979	-0.7131258
0.5289	285.156559	0.27956525	0.42812071	-0.8483501
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.7767	2031.60292	1.99176757	0.82379292	-0.1938361
0.3681	44.7434807	0.04386616	0.23091299	-1.4657143
0.4336	103.316724	0.10129091	0.30520758	-1.1867631
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.7243	1421.76526	1.39388751	0.73138785	-0.3128114
0.6478	803.725339	0.78796602	0.60474785	-0.5029437
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.6307	701.034037	0.68728827	0.57780968	-0.5485107
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.374	48.5308978	0.04757931	0.23725273	-1.4386293
0.374	48.5308978	0.04757931	0.23725273	-1.4386293

0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.8284	3501.47828	3.43282185	0.98769364	-0.0123827
0.887	7477.19343	7.33058179	1.27189517	0.24050804
0.887	7477.19343	7.33058179	1.27189517	0.24050804
1.1772	173070.978	169.67743	3.62476504	1.28778947
1.1566	142272.126	139.482477	3.39556242	1.22246941
0.9762	21660.4339	21.2357195	1.81312395	0.5950513
0.8968	8447.09913	8.28146974	1.32466982	0.28116324
0.9209	11338.2202	11.1159021	1.46123502	0.37928199
0.8337	3758.33278	3.68463998	1.01127714	0.01121402
1.0743	62701.8459	61.4723979	2.58403596	0.9493525
0.8337	3758.33278	3.68463998	1.01127714	0.01121402
0.8969	8457.56028	8.29172577	1.32521643	0.28157579
0.8646	5629.05513	5.5186815	1.15704508	0.14586941
1.1317	111738.81	109.547853	3.13285138	1.14194357
0.9558	17134.0656	16.7981036	1.67684114	0.51691175
0.9161	10699.2279	10.4894391	1.43325211	0.35994607
0.9443	14979.845	14.6861226	1.60339633	0.47212409
1.062	55178.3324	54.0964044	2.47625084	0.90674566
1.0264	37792.1132	37.0510914	2.18275757	0.78058902
1.064	56342.8104	55.2380494	2.49354923	0.91370709
1.1901	195327.229	191.497283	3.77392015	1.32811429
0.8337	3758.33278	3.68463998	1.01127714	0.01121402
0.8671	5812.38539	5.69841705	1.16947223	0.15655256
1.0454	46325.7158	45.4173684	2.33603399	0.84845462
1.0157	33642.0892	32.9824404	2.09974278	0.74181485
1.1044	85209.7818	83.5390017	2.86221067	1.05159429
0.8258	3381.40809	3.31510597	0.97627232	-0.0240137
0.862	5443.98708	5.33724224	1.14422335	0.13472611
0.9939	26441.7565	25.9232907	1.93776844	0.66153702
1.02	35257.2424	34.565924	2.13282174	0.75744586
0.9065	9518.51304	9.33187553	1.37846205	0.32096842
0.8124	2819.89209	2.76460009	0.91893038	-0.0845449
0.8441	4312.79414	4.22822955	1.05874496	0.0570842
0.8124	2819.89209	2.76460009	0.91893038	-0.0845449
0.8993	8712.19169	8.5413644	1.33838456	0.29146334

曝射時間= 17 1020 分

個数中央径 0.5849856 幾何標準偏差 2.04719607

空氣力学的放射能中央径 9.23735666

質量中央径 2.72869757

放射能から粒子径への変換 (Si-49)

(1) PuO₂をすべてPu-239として評価した場合

$$\text{粒子径}(d) = ((1/k) \cdot A)^{1/3} \quad A: \text{粒子の放射能強度 (Bq)}$$

$$\text{定数}(k) = (\lambda \cdot \pi \cdot A_0 \cdot \rho \cdot f / 6M) \cdot 10^{-12}$$

λ : 崩壊定数	$\lambda =$	9.1106E-13
π : 円周率	$\pi =$	3.14159265
A_0 : アボガドロ数	$A_0 =$	6.0221E+23
ρ : 粒子の密度	$\rho =$	11.46
f : 分子中の放射性 原子の割合	$f =$	0.88191882
M : 放射性元素の分子量	$M =$	239

$$\lambda / M = 3.81199E-15$$

$$k = 0.012148255$$

$$\text{粒子の放射能} \quad 0.028 \text{ (dpm) のときの} \quad (5E-04 \text{ Bq})$$

$$\text{粒子の放射能相当径は} \quad 0.337 \mu\text{m}$$

(2) Puの同位体組成を考慮して評価した場合

・ λ/M の計算						
Pu-238	1.09 %	$\lambda =$	2.505E-10 M=	238 半減期 (s)	2.767E+09	87.74 年
Pu-239	63.58 %	$\lambda =$	9.111E-13 M=	239 半減期 (s)	7.606E+11	24120 年
Pu-240	23.78 %	$\lambda =$	3.345E-12 M=	240 半減期 (s)	2.072E+11	6570 年
Pu-241	7.86 %		M=	241		
Pu-242	3.69 %	$\lambda =$	5.844E-14 M=	242 半減期 (s)	1.186E+13	376000 年
Am-241	1.4 %	$\lambda =$	5.084E-11 M=	241 半減期 (s)	1.363E+10	432.2 年

$\lambda/M =$	2.01707E-14	Mm=	242.8688
		M $\alpha =$	223.9262

・ f の計算

f =	0.814665761
-----	-------------

・ k の計算

k =	0.05937905
-----	------------

粒子の放射能 3.6 (dpm) のときの (0.06 Bq)

粒子の放射能相当径は 1 μ m

239Pu単一

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.5248	274.039	27.34923416	3.34780391	1.2083
0.3911	60.9867	6.086497618	2.02877604	0.7074
0.7212	1390.94	138.8166105	5.75341146	1.7498
0.5649	399.226	39.84294792	3.79514852	1.3337
0.4768	167.858	16.75231913	2.84317288	1.0449
0.3681	44.7435	4.465417232	1.8297804	0.6042
0.5571	371.846	37.11035908	3.70632365	1.31
0.356	37.7185	3.764317152	1.72851714	0.5473
0.5571	371.846	37.11035908	3.70632365	1.31

曝射時間= 0.167 10.02 分

個数中央径 2.97616 幾何標準偏差 1.459

空気力学的放射能中央径 15.4597157

質量中央径 4.56677

組成考慮

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.5248	274.039326	27.3492342	1.972666	0.67938593
0.3911	60.9867061	6.08649762	1.19543964	0.17851402
0.7212	1390.94244	138.816611	3.39015052	1.22087432
0.5649	399.226338	39.8429479	2.23626014	0.80480489
0.4768	167.858238	16.7523191	1.6753163	0.51600198
0.3681	44.7434807	4.46541723	1.07818309	0.0752773
0.5571	371.845798	37.1103591	2.18392081	0.7811218
0.356	37.7184579	3.76431715	1.01851455	0.01834524
0.5571	371.845798	37.1103591	2.18392081	0.7811218

曝射時間= 0.167 10.02 分

個数中央径 1.75367987 幾何標準偏差 1.45905357

空気力学的放射能中央径 9.10951071

質量中央径 2.69093212

放射能から粒子径への変換 (Si-54)

(1) PuO₂をすべてPu-239として評価した場合

粒子径(d)= $((1/k) \cdot A)^{1/3}$ A: 粒子の放射能強度 (Bq)

定数(k)= $(\lambda \cdot \pi \cdot A_0 \cdot \rho \cdot f / 6M) \cdot 10^{-12}$

λ: 崩壊定数	λ =	9.1106E-13
π: 円周率	π =	3.14159265
A ₀ : アボガドロ数	A ₀ =	6.0221E+23
ρ: 粒子の密度	ρ =	11.46
f: 分子中の放射性 原子の割合	f =	0.88191882
M: 放射性元素の分子量	M =	239

$\lambda / M =$ 3.81199E-15
k = 0.012148255

粒子の放射能 0.028 (dpm) のときの (5E-04 Bq)

粒子の放射能相当径は 0.337 μm

(2) Puの同位体組成を考慮して評価した場合

・ λ/M の計算							
Pu-238	1.09 %	$\lambda =$	2.505E-10	M=	238 半減期 (s)	2.767E+09	87.74 年
Pu-239	63.58 %	$\lambda =$	9.111E-13	M=	239 半減期 (s)	7.606E+11	24120 年
Pu-240	23.78 %	$\lambda =$	3.345E-12	M=	240 半減期 (s)	2.072E+11	6570 年
Pu-241	7.86 %			M=	241		
Pu-242	3.69 %	$\lambda =$	5.844E-14	M=	242 半減期 (s)	1.186E+13	376000 年
Am-241	1.4 %	$\lambda =$	5.084E-11	M=	241 半減期 (s)	1.363E+10	432.2 年

$\lambda/M =$ 2.01707E-14 Mm= 242.8688
 $M\alpha =$ 223.9262

・ f の計算
 $f =$ 0.814665761

・ k の計算
 $k =$ 0.05937905

粒子の放射能 3.6 (dpm) のときの (0.06 Bq)

粒子の放射能相当径は 1 μ m

239Pu単一

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.3681	44.7435	0.043866158	0.39188155	-0.937
0.7961	2304.57	2.259377632	1.45805721	0.3771
0.6023	553.972	0.543110248	0.90658311	-0.098
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.7362	1545.23	1.514931066	1.2761721	0.2439
0.7121	1303.55	1.277993673	1.20583492	0.1872
0.5802	457.643	0.448669387	0.85065561	-0.162
0.4813	176.112	0.172659039	0.61873981	-0.48
0.6677	938.113	0.919718875	1.08059592	0.0775
0.5164	252.35	0.247402407	0.69755683	-0.36
0.3967	65.5822	0.064296319	0.44515063	-0.809
0.5248	274.039	0.268666006	0.71699456	-0.333
0.4992	212.24	0.208078569	0.65844687	-0.418
0.7823	2107.57	2.066245802	1.41526886	0.3473
0.5877	488.686	0.479104055	0.86947061	-0.14
0.374	48.5309	0.047579312	0.4026407	-0.91
0.4484	122.647	0.120241809	0.54844126	-0.601
0.3798	52.5013	0.05147189	0.4133345	-0.883
0.3681	44.7435	0.043866158	0.39188155	-0.937
0.4233	91.3728	0.089581209	0.49718413	-0.699
0.6839	1060.37	1.039576543	1.12563377	0.1183
0.4182	85.8849	0.084200884	0.48702416	-0.719
0.4628	144.147	0.141320214	0.57877938	-0.547
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.5914	504.612	0.494718115	0.8788152	-0.129
0.3964	65.3292	0.064048239	0.44457737	-0.811
0.7767	2031.6	1.991767566	1.39805581	0.3351
0.4484	122.647	0.120241809	0.54844126	-0.601
0.3798	52.5013	0.05147189	0.4133345	-0.883
0.5571	371.846	0.364554704	0.79377824	-0.231
0.4022	70.3628	0.068983182	0.45571434	-0.786
0.6997	1191.64	1.168271931	1.1702885	0.1573
0.4533	129.651	0.127108704	0.55868891	-0.582
0.3798	52.5013	0.05147189	0.4133345	-0.883
0.7422	1610.67	1.579087956	1.29393878	0.2577
0.709	1274.81	1.24981729	1.19690716	0.1797
0.7212	1390.94	1.363669056	1.23220023	0.2088
0.7303	1482.98	1.453904608	1.25880056	0.2302
0.7851	2146.4	2.104315727	1.42390798	0.3534
0.6023	553.972	0.543110248	0.90658311	-0.098
0.5492	345.675	0.338896644	0.77470087	-0.255
0.6023	553.972	0.543110248	0.90658311	-0.098
0.6775	1010.63	0.990810927	1.10775032	0.1023
0.7303	1482.98	1.453904608	1.25880056	0.2302
0.5035	221.749	0.217401023	0.66813694	-0.403
0.7273	1452.11	1.423641696	1.2500053	0.2231
0.7121	1303.55	1.277993673	1.20583492	0.1872
0.4859	184.884	0.181258725	0.62884642	-0.464
0.7273	1452.11	1.423641696	1.2500053	0.2231
0.6677	938.113	0.919718875	1.08059592	0.0775

0.6023	553.972	0.543110248	0.90658311	-0.098
0.3798	52.5013	0.05147189	0.4133345	-0.883
0.7059	1246.59	1.222142723	1.18800681	0.1723
0.5914	504.612	0.494718115	0.8788152	-0.129
0.4022	70.3628	0.068983182	0.45571434	-0.786
0.6512	825.515	0.809328454	1.03550744	0.0349
0.3681	44.7435	0.043866158	0.39188155	-0.937
0.6775	1010.63	0.990810927	1.10775032	0.1023
0.5035	221.749	0.217401023	0.66813694	-0.403
0.4336	103.317	0.101290906	0.51796662	-0.658
0.6096	589.148	0.57759577	0.92537897	-0.078
0.595	520.506	0.510300462	0.88794679	-0.119
0.771	1956.56	1.918192279	1.38062479	0.3225
0.4722	159.745	0.156613083	0.59894595	-0.513
0.4813	176.112	0.172659039	0.61873981	-0.48
0.4992	212.24	0.208078569	0.65844687	-0.418
0.6478	803.725	0.787966019	1.02631526	0.026
0.5839	472.753	0.46348307	0.85991643	-0.151
0.5078	231.598	0.227056504	0.67788539	-0.389
0.6839	1060.37	1.039576543	1.12563377	0.1183
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.7059	1246.59	1.222142723	1.18800681	0.1723
0.5839	472.753	0.46348307	0.85991643	-0.151
0.4813	176.112	0.172659039	0.61873981	-0.48
0.7567	1778.05	1.743189283	1.33729269	0.2906
0.4022	70.3628	0.068983182	0.45571434	-0.786
0.3967	65.5822	0.064296319	0.44515063	-0.809
0.6966	1164.9	1.142062309	1.1614706	0.1497
0.5688	413.512	0.405403748	0.82238316	-0.196
0.5206	263.015	0.257857961	0.70724812	-0.346
0.7243	1421.77	1.393887508	1.24123553	0.2161
0.5206	263.015	0.257857961	0.70724812	-0.346
0.561	385.341	0.377784806	0.80326674	-0.219
0.6478	803.725	0.787966019	1.02631526	0.026
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.7121	1303.55	1.277993673	1.20583492	0.1872
0.7152	1332.81	1.306678728	1.21479006	0.1946
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.3967	65.5822	0.064296319	0.44515063	-0.809
0.4992	212.24	0.208078569	0.65844687	-0.418
0.5532	358.734	0.351699833	0.78433635	-0.243
0.5802	457.643	0.448669387	0.85065561	-0.162
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.3681	44.7435	0.043866158	0.39188155	-0.937
0.6997	1191.64	1.168271931	1.1702885	0.1573
0.5164	252.35	0.247402407	0.69755683	-0.36
0.4022	70.3628	0.068983182	0.45571434	-0.786
0.5289	285.157	0.279565254	0.72656201	-0.319
0.4948	202.852	0.198874906	0.64859205	-0.433
0.4533	129.651	0.127108704	0.55868891	-0.582
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.5452	333	0.326471027	0.76511463	-0.268
0.6997	1191.64	1.168271931	1.1702885	0.1573

0.561	385.341	0.377784806	0.80326674	-0.219
0.6871	1085.97	1.06467291	1.1346198	0.1263
0.5839	472.753	0.46348307	0.85991643	-0.151
0.5726	427.824	0.419434966	0.83176345	-0.184
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.4336	103.317	0.101290906	0.51796662	-0.658
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.5164	252.35	0.247402407	0.69755683	-0.36
0.374	48.5309	0.047579312	0.4026407	-0.91
0.5649	399.226	0.391398371	0.81280174	-0.207
0.5914	504.612	0.494718115	0.8788152	-0.129
0.7625	1848.8	1.812549559	1.35479916	0.3037
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.4484	122.647	0.120241809	0.54844126	-0.601
0.5726	427.824	0.419434966	0.83176345	-0.184
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.4182	85.8849	0.084200884	0.48702416	-0.719
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.4386	109.551	0.107402639	0.52818161	-0.638
0.4076	75.3253	0.073848368	0.46618532	-0.763
0.7028	1218.86	1.19496318	1.17913391	0.1648
0.4076	75.3253	0.073848368	0.46618532	-0.763
0.5248	274.039	0.268666006	0.71699456	-0.333
0.6131	606.638	0.594742935	0.9344471	-0.068
0.6903	1112.06	1.090254278	1.14363531	0.1342
0.4859	184.884	0.181258725	0.62884642	-0.464
0.3967	65.5822	0.064296319	0.44515063	-0.809
0.374	48.5309	0.047579312	0.4026407	-0.91
0.7567	1778.05	1.743189283	1.33729269	0.2906
0.7451	1643.09	1.610870712	1.30256234	0.2643
0.7625	1848.8	1.812549559	1.35479916	0.3037
0.5452	333	0.326471027	0.76511463	-0.268
0.6871	1085.97	1.06467291	1.1346198	0.1263
0.374	48.5309	0.047579312	0.4026407	-0.91
0.5802	457.643	0.448669387	0.85065561	-0.162
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.4076	75.3253	0.073848368	0.46618532	-0.763
0.5078	231.598	0.227056504	0.67788539	-0.389
0.5764	442.531	0.433854158	0.84118763	-0.173
0.6272	681.38	0.668019562	0.97134762	-0.029
0.4675	151.785	0.148808699	0.58882702	-0.53
0.4859	184.884	0.181258725	0.62884642	-0.464
0.4076	75.3253	0.073848368	0.46618532	-0.763
0.4813	176.112	0.172659039	0.61873981	-0.48
0.6839	1060.37	1.039576543	1.12563377	0.1183
0.533	296.634	0.290817345	0.73618177	-0.306
0.6645	915.364	0.897415655	1.07178951	0.0693
0.7451	1643.09	1.610870712	1.30256234	0.2643
0.6444	782.401	0.767059466	1.01715694	0.017
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.6342	721.142	0.70700151	0.98988574	-0.01
0.6342	721.142	0.70700151	0.98988574	-0.01

0.4076	75.3253	0.073848368	0.46618532	-0.763
0.374	48.5309	0.047579312	0.4026407	-0.91
0.4129	80.4659	0.078888122	0.4765577	-0.741
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.4948	202.852	0.198874906	0.64859205	-0.433
0.7243	1421.77	1.393887508	1.24123553	0.2161
0.5649	399.226	0.391398371	0.81280174	-0.207
0.6307	701.034	0.687288272	0.98059859	-0.02
0.7028	1218.86	1.19496318	1.17913391	0.1648
0.4903	193.6	0.189803642	0.6385768	-0.449
0.4722	159.745	0.156613083	0.59894595	-0.513
0.5802	457.643	0.448669387	0.85065561	-0.162
0.4182	85.8849	0.084200884	0.48702416	-0.719
0.5412	320.703	0.314414497	0.75557772	-0.28
0.7212	1390.94	1.363669056	1.23220023	0.2088
0.6839	1060.37	1.039576543	1.12563377	0.1183
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.6545	847.116	0.830505633	1.04446161	0.0435
0.7879	2185.81	2.14294779	1.43256879	0.3595
0.8043	0.29709	0.00029126	0.07365553	-2.608
0.862	33.6943	0.03303362	0.35653077	-1.031
1.1883	537.413	0.526875573	0.89745837	-0.108
0.8696	46.2673	0.045360102	0.39628074	-0.926
0.9535	439.246	0.430633382	0.8391009	-0.175
1.1547	72.1346	0.070720177	0.45950764	-0.778
0.8043	58.0679	0.056929344	0.42745495	-0.85
0.9762	0.35874	0.000351709	0.07843428	-2.545
1.0964	78603.6	77.06238787	4.72852594	1.5536
1.1809	179206	175.6919749	6.22341741	1.8283
0.9256	11997.4	11.76211453	2.52700881	0.927
0.8671	5812.39	5.698417051	1.98470684	0.6855
0.9627	18558.2	18.19432931	2.92251651	1.0724
0.8796	6813.22	6.679627029	2.09264564	0.7384
0.8968	1395.24	1.367881818	1.23346779	0.2098
0.935	0.84369	0.000827144	0.10430504	-2.26
0.8518	3.84835	0.003772893	0.17298288	-1.755
1.0722	58.0679	0.056929344	0.42745495	-0.85
1.0702	0.84369	0.000827144	0.10430504	-2.26
1.0005	1.7748	0.001739999	0.13364764	-2.013
0.9237	0.71888	0.000704785	0.09888504	-2.314
0.8098	3.01126	0.002952215	0.1594022	-1.836
1.037	42357.5	41.52699061	3.84788227	1.3475
0.8284	3501.48	3.432821845	1.67621109	0.5165
1.0496	48434.1	47.48437087	4.0237271	1.3922
1.0433	45303.2	44.4148772	3.93508796	1.3699
0.8671	5812.39	5.698417051	1.98470684	0.6855
0.862	5443.99	5.337242239	1.94185707	0.6636
1.1394	9.38549	0.009201462	0.23284338	-1.457
1.1433	0.98791	0.000968538	0.10993868	-2.208
0.8016	0.51364	0.000503571	0.08840265	-2.426
0.857	1281.86	1.256723426	1.1991077	0.1816
0.8258	1079.86	1.058687822	1.1324897	0.1244
1.0049	1395.24	1.367881818	1.23346779	0.2098

0.8389	33.6943	0.03303362	0.35653077	-1.031
0.9209	439.246	0.430633382	0.8391009	-0.175
0.8796	6813.22	6.679627029	2.09264564	0.7384
0.9137	10392.2	10.18841204	2.40887236	0.8792
0.8151	2925.68	2.868317203	1.5787766	0.4567
1.0924	75478.5	73.9985209	4.6650106	1.5401
1.0391	43319.5	42.47005186	3.87679246	1.355
0.862	5443.99	5.337242239	1.94185707	0.6636
0.9581	17597.3	17.25228364	2.87118043	1.0547
0.9983	27770.5	27.22601962	3.3427688	1.2068
1.0027	29159.8	28.58804978	3.39760692	1.2231
1.0157	33642.1	32.98244037	3.56346544	1.2707
1.1528	137169	134.4792587	5.69285415	1.7392
1.0496	48434.1	47.48437087	4.0237271	1.3922
0.9397	14189.5	13.91126686	2.67239417	0.983
0.8258	3381.41	3.31510597	1.65682801	0.5049
0.9017	8973.78	8.797823341	2.29387651	0.8302
0.8796	6813.22	6.679627029	2.09264564	0.7384
0.9829	23369	22.91078042	3.15591223	1.1493
0.9649	19034.4	18.66121278	2.94730384	1.0809
0.862	5443.99	5.337242239	1.94185707	0.6636
1.122	101556	99.56506362	5.15007967	1.639
1.1809	179206	175.6919749	6.22341741	1.8283
0.8178	3035.07	2.975562952	1.59821304	0.4689
0.9466	15389.9	15.08809519	2.74572114	1.01
1.0599	53979.2	52.92082022	4.17177116	1.4283
0.8284	3501.48	3.432821845	1.67621109	0.5165
1.0157	33642.1	32.98244037	3.56346544	1.2707
1.1063	86851.2	85.14822347	4.88843846	1.5869
1.1901	195327	191.497283	6.40470544	1.857
1.037	42357.5	41.52699061	3.84788227	1.3475
0.8595	5271.28	5.167917156	1.92110073	0.6529
0.8518	4770.17	4.676640867	1.85818791	0.6196
1.062	55178.3	54.09640435	4.20243581	1.4357
0.9961	27098.7	26.56739047	3.31559331	1.1986

曝射時間=	17	1020 分
個数中央径	0.86582	幾何標準偏差 2.251
		空氣力学的放射能中央径 21.1193306
質量中央径	6.23861	

同位体組成考慮

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.3681	44.7434807	0.04386616	0.23091299	-1.4657143
0.7961	2304.56518	2.25937763	0.85914825	-0.1518138
0.6023	553.972453	0.54311025	0.53419666	-0.6269912
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.7362	1545.22969	1.51493107	0.75197394	-0.2850536
0.7121	1303.55355	1.27799367	0.71052834	-0.3417464
0.5802	457.642775	0.44866939	0.50124184	-0.6906666
0.4813	176.11222	0.17265904	0.36458736	-1.0089891
0.6677	938.113252	0.91971887	0.63673228	-0.451406
0.5164	252.350455	0.24740241	0.41102964	-0.8890899
0.3967	65.5822455	0.06429632	0.26230136	-1.3382612
0.5248	274.039326	0.26866601	0.42248317	-0.8616057
0.4992	212.240141	0.20807857	0.38798442	-0.9467901
0.7823	2107.57072	2.0662458	0.83393557	-0.1815991
0.5877	488.686136	0.47910405	0.51232842	-0.6687894
0.374	48.5308978	0.04757931	0.23725273	-1.4386293
0.4484	122.646646	0.12024181	0.32316452	-1.1295937
0.3798	52.5013277	0.05147189	0.24355397	-1.4124167
0.3681	44.7434807	0.04386616	0.23091299	-1.4657143
0.4233	91.372833	0.08958121	0.29296167	-1.2277135
0.6839	1060.36807	1.03957654	0.66327047	-0.4105724
0.4182	85.8849019	0.08420088	0.28697499	-1.2483602
0.4628	144.146618	0.14132021	0.341041	-1.0757526
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.5914	504.612477	0.49471811	0.51783465	-0.6580993
0.3964	65.3292043	0.06404824	0.26196357	-1.3395498
0.7767	2031.60292	1.99176757	0.82379292	-0.1938361
0.4484	122.646646	0.12024181	0.32316452	-1.1295937
0.3798	52.5013277	0.05147189	0.24355397	-1.4124167
0.5571	371.845798	0.3645547	0.46772732	-0.7598698
0.4022	70.362846	0.06898318	0.26852594	-1.3148078
0.6997	1191.63737	1.16827193	0.6895829	-0.3716684
0.4533	129.650878	0.1271087	0.32920286	-1.1110811
0.3798	52.5013277	0.05147189	0.24355397	-1.4124167
0.7422	1610.66972	1.57908796	0.76244281	-0.2712278
0.709	1274.81364	1.24981729	0.70526773	-0.3491778
0.7212	1390.94244	1.36366906	0.72606388	-0.3201173
0.7303	1482.9827	1.45390461	0.7417379	-0.2987593
0.7851	2146.40204	2.10431573	0.8390261	-0.1755135
0.6023	553.972453	0.54311025	0.53419666	-0.6269912
0.5492	345.674576	0.33889664	0.45648614	-0.784197
0.6023	553.972453	0.54311025	0.53419666	-0.6269912
0.6775	1010.62715	0.99081093	0.65273279	-0.4265874
0.7303	1482.9827	1.45390461	0.7417379	-0.2987593
0.5035	221.749043	0.21740102	0.39369421	-0.9321808
0.7273	1452.11453	1.4236417	0.73655537	-0.3057709
0.7121	1303.55355	1.27799367	0.71052834	-0.3417464
0.4859	184.8839	0.18125873	0.3705426	-0.9927869
0.7273	1452.11453	1.4236417	0.73655537	-0.3057709
0.6677	938.113252	0.91971887	0.63673228	-0.451406

0.6023	553.972453	0.54311025	0.53419666	-0.6269912
0.3798	52.5013277	0.05147189	0.24355397	-1.4124167
0.7059	1246.58558	1.22214272	0.70002327	-0.3566417
0.5914	504.612477	0.49471811	0.51783465	-0.6580993
0.4022	70.362846	0.06898318	0.26852594	-1.3148078
0.6512	825.515023	0.80932845	0.61016427	-0.4940271
0.3681	44.7434807	0.04386616	0.23091299	-1.4657143
0.6775	1010.62715	0.99081093	0.65273279	-0.4265874
0.5035	221.749043	0.21740102	0.39369421	-0.9321808
0.4336	103.316724	0.10129091	0.30520758	-1.1867631
0.6096	589.147685	0.57759577	0.54527197	-0.6064706
0.595	520.506471	0.51030046	0.52321537	-0.6477621
0.771	1956.55612	1.91819228	0.81352184	-0.2063825
0.4722	159.745344	0.15661308	0.35292399	-1.0415026
0.4813	176.11222	0.17265904	0.36458736	-1.0089891
0.4992	212.240141	0.20807857	0.38798442	-0.9467901
0.6478	803.725339	0.78796602	0.60474785	-0.5029437
0.5839	472.752732	0.46348307	0.5066987	-0.6798387
0.5078	231.597634	0.2270565	0.3994384	-0.9176957
0.6839	1060.36807	1.03957654	0.66327047	-0.4105724
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.7059	1246.58558	1.22214272	0.70002327	-0.3566417
0.5839	472.752732	0.46348307	0.5066987	-0.6798387
0.4813	176.11222	0.17265904	0.36458736	-1.0089891
0.7567	1778.05307	1.74318928	0.78798875	-0.2382715
0.4022	70.362846	0.06898318	0.26852594	-1.3148078
0.3967	65.5822455	0.06429632	0.26230136	-1.3382612
0.6966	1164.90356	1.14206231	0.68438703	-0.3792317
0.5688	413.511823	0.40540375	0.48458253	-0.7244675
0.5206	263.01512	0.25785796	0.41674016	-0.8752924
0.7243	1421.76526	1.39388751	0.73138785	-0.3128114
0.5206	263.01512	0.25785796	0.41674016	-0.8752924
0.561	385.340503	0.37778481	0.47331834	-0.7479871
0.6478	803.725339	0.78796602	0.60474785	-0.5029437
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.7121	1303.55355	1.27799367	0.71052834	-0.3417464
0.7152	1332.8123	1.30667873	0.71580508	-0.3343474
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.3967	65.5822455	0.06429632	0.26230136	-1.3382612
0.4992	212.240141	0.20807857	0.38798442	-0.9467901
0.5532	358.73383	0.35169983	0.46216376	-0.771836
0.5802	457.642775	0.44866939	0.50124184	-0.6906666
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.3681	44.7434807	0.04386616	0.23091299	-1.4657143
0.6997	1191.63737	1.16827193	0.6895829	-0.3716684
0.5164	252.350455	0.24740241	0.41102964	-0.8890899
0.4022	70.362846	0.06898318	0.26852594	-1.3148078
0.5289	285.156559	0.27956525	0.42812071	-0.8483501
0.4948	202.852404	0.19887491	0.38217754	-0.96187
0.4533	129.650878	0.1271087	0.32920286	-1.1110811
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.5452	333.000448	0.32647103	0.45083752	-0.7966483
0.6997	1191.63737	1.16827193	0.6895829	-0.3716684

0.561	385.340503	0.37778481	0.47331834	-0.7479871
0.6871	1085.96637	1.06467291	0.66856541	-0.402621
0.5839	472.752732	0.46348307	0.5066987	-0.6798387
0.5726	427.823666	0.41943497	0.49010979	-0.7131258
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.4336	103.316724	0.10129091	0.30520758	-1.1867631
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.5164	252.350455	0.24740241	0.41102964	-0.8890899
0.374	48.5308978	0.04757931	0.23725273	-1.4386293
0.5649	399.226338	0.39139837	0.47893676	-0.7361867
0.5914	504.612477	0.49471811	0.51783465	-0.6580993
0.7625	1848.80055	1.81254956	0.79830429	-0.2252654
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.4484	122.646646	0.12024181	0.32316452	-1.1295937
0.5726	427.823666	0.41943497	0.49010979	-0.7131258
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.4182	85.8849019	0.08420088	0.28697499	-1.2483602
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.4386	109.550692	0.10740264	0.31122668	-1.1672338
0.4076	75.3253354	0.07384837	0.27469587	-1.2920907
0.7028	1218.86244	1.19496318	0.69479499	-0.3641385
0.4076	75.3253354	0.07384837	0.27469587	-1.2920907
0.5248	274.039326	0.26866601	0.42248317	-0.8616057
0.6131	606.637794	0.59474294	0.55061529	-0.5967189
0.6903	1112.05936	1.09025428	0.67387773	-0.3947066
0.4859	184.8839	0.18125873	0.3705426	-0.9927869
0.3967	65.5822455	0.06429632	0.26230136	-1.3382612
0.374	48.5308978	0.04757931	0.23725273	-1.4386293
0.7567	1778.05307	1.74318928	0.78798875	-0.2382715
0.7451	1643.08813	1.61087071	0.76752418	-0.2645853
0.7625	1848.80055	1.81254956	0.79830429	-0.2252654
0.5452	333.000448	0.32647103	0.45083752	-0.7966483
0.6871	1085.96637	1.06467291	0.66856541	-0.402621
0.374	48.5308978	0.04757931	0.23725273	-1.4386293
0.5802	457.642775	0.44866939	0.50124184	-0.6906666
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.4076	75.3253354	0.07384837	0.27469587	-1.2920907
0.5078	231.597634	0.2270565	0.3994384	-0.9176957
0.5764	442.531241	0.43385416	0.49566291	-0.7018592
0.6272	681.379953	0.66801956	0.57235862	-0.5579895
0.4675	151.784873	0.1488087	0.34696149	-1.0585415
0.4859	184.8839	0.18125873	0.3705426	-0.9927869
0.4076	75.3253354	0.07384837	0.27469587	-1.2920907
0.4813	176.11222	0.17265904	0.36458736	-1.0089891
0.6839	1060.36807	1.03957654	0.66327047	-0.4105724
0.533	296.633692	0.29081734	0.43378907	-0.8351969
0.6645	915.363968	0.89741566	0.63154318	-0.459589
0.7451	1643.08813	1.61087071	0.76752418	-0.2645853
0.6444	782.400655	0.76705947	0.59935139	-0.5119072
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.6342	721.14154	0.70700151	0.58328206	-0.5390844
0.6342	721.14154	0.70700151	0.58328206	-0.5390844

0.4076	75.3253354	0.07384837	0.27469587	-1.2920907
0.374	48.5308978	0.04757931	0.23725273	-1.4386293
0.4129	80.4658846	0.07888812	0.28080772	-1.2700851
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.4948	202.852404	0.19887491	0.38217754	-0.96187
0.7243	1421.76526	1.39388751	0.73138785	-0.3128114
0.5649	399.226338	0.39139837	0.47893676	-0.7361867
0.6307	701.034037	0.68728827	0.57780968	-0.5485107
0.7028	1218.86244	1.19496318	0.69479499	-0.3641385
0.4903	193.599715	0.18980364	0.37627614	-0.977432
0.4722	159.745344	0.15661308	0.35292399	-1.0415026
0.5802	457.642775	0.44866939	0.50124184	-0.6906666
0.4182	85.8849019	0.08420088	0.28697499	-1.2483602
0.5412	320.702787	0.3144145	0.44521797	-0.8091913
0.7212	1390.94244	1.36366906	0.72606388	-0.3201173
0.6839	1060.36807	1.03957654	0.66327047	-0.4105724
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.6545	847.115746	0.83050563	0.61544044	-0.4854171
0.7879	2185.80675	2.14294779	0.84412941	-0.1694495
0.356	0.29708547	0.00029126	0.04340092	-3.1372747
0.5452	33.6942923	0.03303362	0.21008283	-1.5602534
0.6997	537.413084	0.52687557	0.52881998	-0.6371072
0.561	46.2673042	0.0453601	0.23350518	-1.454551
0.6871	439.24605	0.43063338	0.49443332	-0.704343
0.5839	72.1345806	0.07072018	0.27076111	-1.3065184
0.5726	58.0679308	0.05692934	0.25187432	-1.378825
0.3621	0.35874269	0.00035171	0.04621676	-3.0744128
1.0964	78603.6356	77.0623879	2.78624513	1.02469486
1.1809	179205.814	175.691975	3.66709767	1.29940052
0.9256	11997.3568	11.7621145	1.48901922	0.39811766
0.8671	5812.38539	5.69841705	1.16947223	0.15655256
0.9627	18558.2159	18.1943293	1.72206888	0.54352641
0.8796	6813.21957	6.67962703	1.23307428	0.20951047
0.7625	1395.23945	1.36788182	0.72681078	-0.3190891
0.3911	0.84368668	0.00082714	0.06146089	-2.7893542
0.4484	3.84835067	0.00377289	0.10192874	-2.2834813
0.5726	58.0679308	0.05692934	0.25187432	-1.378825
0.3911	0.84368668	0.00082714	0.06146089	-2.7893542
0.4182	1.7747989	0.00174	0.07875077	-2.5414672
0.3855	0.71888112	0.00070479	0.0582672	-2.842716
0.4386	3.01125961	0.00295222	0.09392644	-2.3652434
1.037	42357.5304	41.5269906	2.26733307	0.81860428
0.8284	3501.47828	3.43282185	0.98769364	-0.0123827
1.0496	48434.0583	47.4843709	2.3709482	0.86328996
1.0433	45303.1747	44.4148772	2.31871831	0.84101458
0.8671	5812.38539	5.69841705	1.16947223	0.15655256
0.862	5443.98708	5.33724224	1.14422335	0.13472611
0.4859	9.38549138	0.00920146	0.13720105	-1.9863079
0.3967	0.98790882	0.00096854	0.06478047	-2.7367512
0.374	0.51364282	0.00050357	0.05209054	-2.9547719
0.7567	1281.8579	1.25672343	0.70656438	-0.347341
0.7451	1079.86158	1.05868782	0.66731027	-0.4045002
0.7625	1395.23945	1.36788182	0.72681078	-0.3190891

0.5452	33.6942923	0.03303362	0.21008283	-1.5602534
0.6871	439.24605	0.43063338	0.49443332	-0.704343
0.8796	6813.21957	6.67962703	1.23307428	0.20951047
0.9137	10392.1803	10.188412	1.41940828	0.35024008
0.8151	2925.68355	2.8683172	0.93028116	-0.0722684
1.0924	75478.4913	73.9985209	2.74881924	1.01117145
1.0391	43319.4529	42.4700519	2.28436816	0.82608947
0.862	5443.98708	5.33724224	1.14422335	0.13472611
0.9581	17597.3293	17.2522836	1.69181952	0.52580459
0.9983	27770.54	27.2260196	1.9696991	0.67788079
1.0027	29159.8108	28.5880498	2.00201201	0.69415268
1.0157	33642.0892	32.9824404	2.09974278	0.74181485
1.1528	137168.844	134.479259	3.35446762	1.21029308
1.0496	48434.0583	47.4843709	2.3709482	0.86328996
0.9397	14189.4922	13.9112669	1.57468635	0.45405611
0.8258	3381.40809	3.31510597	0.97627232	-0.0240137
0.9017	8973.77981	8.79782334	1.35164792	0.30132453
0.8796	6813.21957	6.67962703	1.23307428	0.20951047
0.9829	23368.996	22.9107804	1.8595954	0.62035894
0.9649	19034.437	18.6612128	1.73667462	0.55197215
0.862	5443.98708	5.33724224	1.14422335	0.13472611
1.122	101556.365	99.5650636	3.03464221	1.11009353
1.1809	179205.814	175.691975	3.66709767	1.29940052
0.8178	3035.07421	2.97556295	0.94173393	-0.0600325
0.9466	15389.8571	15.0880952	1.61789366	0.48112509
1.0599	53979.2366	52.9208202	2.45818194	0.89942203
0.8284	3501.47828	3.43282185	0.98769364	-0.0123827
1.0157	33642.0892	32.9824404	2.09974278	0.74181485
1.1063	86851.1879	85.1482235	2.88047227	1.05795426
1.1901	195327.229	191.497283	3.77392015	1.32811429
1.037	42357.5304	41.5269906	2.26733307	0.81860428
0.8595	5271.2755	5.16791716	1.13199285	0.12397966
0.8518	4770.17368	4.67664087	1.09492198	0.09068311
1.062	55178.3324	54.0964044	2.47625084	0.90674566
0.9961	27098.7383	26.5673905	1.95368617	0.66971793

曝射時間= 17 1020 分

個数中央徑 0.51017917 幾何標準偏差 2.25092879

空氣力学的放射能中央徑 12.4443923

質量中央徑 3.67604979

放射能から粒子径への変換 (Si-69)

(1) PuO₂をすべてPu-239として評価した場合

$$\text{粒子径}(d)= \left(\frac{1}{k} \cdot A\right)^{1/3} \quad A: \text{粒子の放射能強度 (Bq)}$$

$$\text{定数}(k)= (\lambda \cdot \pi \cdot A_0 \cdot \rho \cdot f / 6M) \cdot 10^{-12}$$

λ : 崩壊定数	λ =	9.1106E-13
π : 円周率	π =	3.14159265
A ₀ : アボガドロ数	A ₀ =	6.0221E+23
ρ : 粒子の密度	ρ =	11.46
f : 分子中の放射性 原子の割合	f =	0.88191882
M : 放射性元素の分子量	M =	239

λ / M =	3.81199E-15
k =	0.012148255

$$\text{粒子の放射能} \quad 0.028 \text{ (dpm) のときの} \quad (5E-04 \text{ Bq})$$

$$\text{粒子の放射能相当径は} \quad 0.337 \mu\text{m}$$

(2) Puの同位体組成を考慮して評価した場合

・ λ/Mの計算						
Pu-238	1.09 %	λ =	2.505E-10 M=	238 半減期 (s)	2.767E+09	87.74 年
Pu-239	63.58 %	λ =	9.111E-13 M=	239 半減期 (s)	7.606E+11	24120 年
Pu-240	23.78 %	λ =	3.345E-12 M=	240 半減期 (s)	2.072E+11	6570 年
Pu-241	7.86 %		M=	241		
Pu-242	3.69 %	λ =	5.844E-14 M=	242 半減期 (s)	1.186E+13	376000 年
Am-241	1.4 %	λ =	5.084E-11 M=	241 半減期 (s)	1.363E+10	432.2 年

λ/M= 2.01707E-14 Mm= 242.8688
 Mα= 223.9262

・ f の計算

f = 0.814665761

・ k の計算

k = 0.05937905

粒子の放射能 3.6 (dpm) のときの (0.06 Bq)

粒子の放射能相当径は 1 μm

239Pu単一

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.4129	80.4659	0.078888122	0.4765577	-0.741
0.4435	115.95	0.113676498	0.53827208	-0.619
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.6645	915.364	0.897415655	1.07178951	0.0693
0.5764	442.531	0.433854158	0.84118763	-0.173
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.5726	427.824	0.419434966	0.83176345	-0.184
0.4768	167.858	0.1645669	0.60891843	-0.496
0.4581	136.821	0.134137855	0.56880326	-0.564
0.4129	80.4659	0.078888122	0.4765577	-0.741
0.6743	986.47	0.967127901	1.09885299	0.0943
0.606	571.583	0.560375805	0.91608987	-0.088
0.7538	1743.51	1.709318948	1.32857474	0.2841
0.4675	151.785	0.148808699	0.58882702	-0.53
0.6444	782.401	0.767059466	1.01715694	0.017
0.4129	80.4659	0.078888122	0.4765577	-0.741
0.5164	252.35	0.247402407	0.69755683	-0.36
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.6023	553.972	0.543110248	0.90658311	-0.098
0.4076	75.3253	0.073848368	0.46618532	-0.763
0.4336	103.317	0.101290906	0.51796662	-0.658
0.6775	1010.63	0.990810927	1.10775032	0.1023
0.7182	1361.63	1.334929298	1.22348236	0.2017
0.7767	2031.6	1.991767566	1.39805581	0.3351
0.6512	825.515	0.809328454	1.03550744	0.0349
0.6096	589.148	0.57759577	0.92537897	-0.078
0.4675	151.785	0.148808699	0.58882702	-0.53
0.709	1274.81	1.24981729	1.19690716	0.1797
0.595	520.506	0.510300462	0.88794679	-0.119
0.4628	144.147	0.141320214	0.57877938	-0.547
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.3798	52.5013	0.05147189	0.4133345	-0.883
0.374	48.5309	0.047579312	0.4026407	-0.91
0.7243	1421.77	1.393887508	1.24123553	0.2161
0.4022	70.3628	0.068983182	0.45571434	-0.786
0.5035	221.749	0.217401023	0.66813694	-0.403
0.4336	103.317	0.101290906	0.51796662	-0.658
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.3967	65.5822	0.064296319	0.44515063	-0.809
0.4581	136.821	0.134137855	0.56880326	-0.564
0.5688	413.512	0.405403748	0.82238316	-0.196
0.7059	1246.59	1.222142723	1.18800681	0.1723
0.7879	2185.81	2.14294779	1.43256879	0.3595
0.5078	231.598	0.227056504	0.67788539	-0.389
0.6934	1137.82	1.115505396	1.15239716	0.1418
0.4484	122.647	0.120241809	0.54844126	-0.601
0.6202	643.401	0.630785309	0.95295446	-0.048
0.5289	285.157	0.279565254	0.72656201	-0.319
0.3967	65.5822	0.064296319	0.44515063	-0.809

0.606	571.583	0.560375805	0.91608987	-0.088
0.5532	358.734	0.351699833	0.78433635	-0.243
0.6871	1085.97	1.06467291	1.1346198	0.1263
0.5764	442.531	0.433854158	0.84118763	-0.173
0.4484	122.647	0.120241809	0.54844126	-0.601
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.641	761.533	0.746601396	1.00803255	0.008
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.4859	184.884	0.181258725	0.62884642	-0.464
0.6578	869.169	0.852126238	1.05344759	0.0521
0.4768	167.858	0.1645669	0.60891843	-0.496
0.6478	803.725	0.787966019	1.02631526	0.026
0.5164	252.35	0.247402407	0.69755683	-0.36
0.7795	2069.31	2.028731803	1.40665146	0.3412
0.7152	1332.81	1.306678728	1.21479006	0.1946
0.6202	643.401	0.630785309	0.95295446	-0.048
0.4628	144.147	0.141320214	0.57877938	-0.547
0.3855	56.6538	0.05554294	0.42395645	-0.858
0.3798	52.5013	0.05147189	0.4133345	-0.883
0.533	296.634	0.290817345	0.73618177	-0.306
0.7795	2069.31	2.028731803	1.40665146	0.3412
0.356	37.7185	0.03697888	0.37019414	-0.994
0.3967	65.5822	0.064296319	0.44515063	-0.809
0.7362	1545.23	1.514931066	1.2761721	0.2439
0.4533	129.651	0.127108704	0.55868891	-0.582
0.6677	938.113	0.919718875	1.08059592	0.0775
0.5078	231.598	0.227056504	0.67788539	-0.389
0.3621	41.1394	0.040332768	0.38106375	-0.965
0.4182	85.8849	0.084200884	0.48702416	-0.719
0.4129	80.4659	0.078888122	0.4765577	-0.741
0.533	296.634	0.290817345	0.73618177	-0.306
0.4533	129.651	0.127108704	0.55868891	-0.582
0.5248	274.039	0.268666006	0.71699456	-0.333
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.5914	504.612	0.494718115	0.8788152	-0.129
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.4182	85.8849	0.084200884	0.48702416	-0.719
0.5987	537.259	0.526724568	0.89737262	-0.108
0.606	571.583	0.560375805	0.91608987	-0.088
0.4285	97.2553	0.095348308	0.50763234	-0.678
0.5248	274.039	0.268666006	0.71699456	-0.333
0.5078	231.598	0.227056504	0.67788539	-0.389
0.3911	60.9867	0.059790888	0.43450018	-0.834
0.6612	892.371	0.874873182	1.06273909	0.0608
0.5035	221.749	0.217401023	0.66813694	-0.403
0.4768	167.858	0.1645669	0.60891843	-0.496
0.7653	1883.76	1.846818948	1.36328418	0.3099
0.7989	2346.28	2.300279128	1.46680304	0.3831
0.4022	70.3628	0.068983182	0.45571434	-0.786
1.1772	173071	169.6774297	6.15157488	1.8167
0.9604	18072	17.71761026	2.89676548	1.0636
0.8258	3381.41	3.31510597	1.65682801	0.5049

1.064	56342.8	55.2380494	4.23179285	1.4426
0.8231	3260.7	3.19676081	1.63687307	0.4928
1.1846	185538	181.8998948	6.29587028	1.8399
0.9256	11997.4	11.76211453	2.52700881	0.927
1.1547	139699	136.960081	5.72764761	1.7453
1.1471	129826	127.2800887	5.58939899	1.7209
1.1103	90401.2	88.62862991	4.9541555	1.6002
0.9113	10093.2	9.895266014	2.38554409	0.8694
0.8284	3501.48	3.432821845	1.67621109	0.5165
0.9961	27098.7	26.56739047	3.31559331	1.1986
1.0803	66700.5	65.39263511	4.47666471	1.4989

曝射時間= 17 1020 分
 個數中央徑 0.83827 幾何標準偏差 1.948
 空氣力學的放射能中央徑 10.7628852
 質量中央徑 3.17934

同位体組成考慮

スポット径	曝射量	放射能強度 (dpm)	相当径(μ)	ln(径)
0.4129	80.4658846	0.07888812	0.28080772	-1.2700851
0.4435	115.950028	0.1136765	0.31717241	-1.1483098
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.6645	915.363968	0.89741566	0.63154318	-0.459589
0.5764	442.531241	0.43385416	0.49566291	-0.7018592
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.5726	427.823666	0.41943497	0.49010979	-0.7131258
0.4768	167.858238	0.1645669	0.35880019	-1.0249896
0.4581	136.820612	0.13413786	0.33516265	-1.0931393
0.4129	80.4658846	0.07888812	0.28080772	-1.2700851
0.6743	986.470459	0.9671279	0.64749011	-0.4346518
0.606	571.583322	0.56037581	0.53979844	-0.6165595
0.7538	1743.50533	1.70931895	0.78285177	-0.2448119
0.4675	151.784873	0.1488087	0.34696149	-1.0585415
0.6444	782.400655	0.76705947	0.59935139	-0.5119072
0.4129	80.4658846	0.07888812	0.28080772	-1.2700851
0.5164	252.350455	0.24740241	0.41102964	-0.8890899
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.6023	553.972453	0.54311025	0.53419666	-0.6269912
0.4076	75.3253354	0.07384837	0.27469587	-1.2920907
0.4336	103.316724	0.10129091	0.30520758	-1.1867631
0.6775	1010.62715	0.99081093	0.65273279	-0.4265874
0.7182	1361.62788	1.3349293	0.72092694	-0.3272175
0.7767	2031.60292	1.99176757	0.82379292	-0.1938361
0.6512	825.515023	0.80932845	0.61016427	-0.4940271
0.6096	589.147685	0.57759577	0.54527197	-0.6064706
0.4675	151.784873	0.1488087	0.34696149	-1.0585415
0.709	1274.81364	1.24981729	0.70526773	-0.3491778
0.595	520.506471	0.51030046	0.52321537	-0.6477621
0.4628	144.146618	0.14132021	0.341041	-1.0757526
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.3798	52.5013277	0.05147189	0.24355397	-1.4124167
0.374	48.5308978	0.04757931	0.23725273	-1.4386293
0.7243	1421.76526	1.39388751	0.73138785	-0.3128114
0.4022	70.362846	0.06898318	0.26852594	-1.3148078
0.5035	221.749043	0.21740102	0.39369421	-0.9321808
0.4336	103.316724	0.10129091	0.30520758	-1.1867631
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.3967	65.5822455	0.06429632	0.26230136	-1.3382612
0.4581	136.820612	0.13413786	0.33516265	-1.0931393
0.5688	413.511823	0.40540375	0.48458253	-0.7244675
0.7059	1246.58558	1.22214272	0.70002327	-0.3566417
0.7879	2185.80675	2.14294779	0.84412941	-0.1694495
0.5078	231.597634	0.2270565	0.3994384	-0.9176957
0.6934	1137.8155	1.1155054	0.67904058	-0.3870744
0.4484	122.646646	0.12024181	0.32316452	-1.1295937
0.6202	643.401015	0.63078531	0.5615206	-0.5771068
0.5289	285.156559	0.27956525	0.42812071	-0.8483501
0.3967	65.5822455	0.06429632	0.26230136	-1.3382612

0.606	571.583322	0.56037581	0.53979844	-0.6165595
0.5532	358.73383	0.35169983	0.46216376	-0.771836
0.6871	1085.96637	1.06467291	0.66856541	-0.402621
0.5764	442.531241	0.43385416	0.49566291	-0.7018592
0.4484	122.646646	0.12024181	0.32316452	-1.1295937
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.641	761.533424	0.7466014	0.59397491	-0.5209182
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.4859	184.8839	0.18125873	0.3705426	-0.9927869
0.6578	869.168763	0.85212624	0.62073535	-0.4768504
0.4768	167.858238	0.1645669	0.35880019	-1.0249896
0.6478	803.725339	0.78796602	0.60474785	-0.5029437
0.5164	252.350455	0.24740241	0.41102964	-0.8890899
0.7795	2069.30644	2.0287318	0.82885784	-0.1877066
0.7152	1332.8123	1.30667873	0.71580508	-0.3343474
0.6202	643.401015	0.63078531	0.5615206	-0.5771068
0.4628	144.146618	0.14132021	0.341041	-1.0757526
0.3855	56.6537983	0.05554294	0.24981286	-1.3870432
0.3798	52.5013277	0.05147189	0.24355397	-1.4124167
0.533	296.633692	0.29081734	0.43378907	-0.8351969
0.7795	2069.30644	2.0287318	0.82885784	-0.1877066
0.356	37.7184579	0.03697888	0.21813386	-1.5226464
0.3967	65.5822455	0.06429632	0.26230136	-1.3382612
0.7362	1545.22969	1.51493107	0.75197394	-0.2850536
0.4533	129.650878	0.1271087	0.32920286	-1.1110811
0.6677	938.113252	0.91971887	0.63673228	-0.451406
0.5078	231.597634	0.2270565	0.3994384	-0.9176957
0.3621	41.1394234	0.04033277	0.22453869	-1.4937073
0.4182	85.8849019	0.08420088	0.28697499	-1.2483602
0.4129	80.4658846	0.07888812	0.28080772	-1.2700851
0.533	296.633692	0.29081734	0.43378907	-0.8351969
0.4533	129.650878	0.1271087	0.32920286	-1.1110811
0.5248	274.039326	0.26866601	0.42248317	-0.8616057
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.5914	504.612477	0.49471811	0.51783465	-0.6580993
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.4182	85.8849019	0.08420088	0.28697499	-1.2483602
0.5987	537.25906	0.52672457	0.52876946	-0.6372028
0.606	571.583322	0.56037581	0.53979844	-0.6165595
0.4285	97.2552737	0.09534831	0.2991182	-1.2069165
0.5248	274.039326	0.26866601	0.42248317	-0.8616057
0.5078	231.597634	0.2270565	0.3994384	-0.9176957
0.3911	60.9867061	0.05979089	0.25602567	-1.3624776
0.6612	892.370646	0.87487318	0.6262103	-0.468069
0.5035	221.749043	0.21740102	0.39369421	-0.9321808
0.4768	167.858238	0.1645669	0.35880019	-1.0249896
0.7653	1883.75533	1.84681895	0.80330402	-0.219022
0.7989	2346.28471	2.30027913	0.86430166	-0.1458334
0.4022	70.362846	0.06898318	0.26852594	-1.3148078
1.1772	173070.978	169.67743	3.62476504	1.28778947
0.9604	18071.9625	17.7176103	1.7068953	0.53467611
0.8258	3381.40809	3.31510597	0.97627232	-0.0240137

1.064	56342.8104	55.2380494	2.49354923	0.91370709
0.8231	3260.69603	3.19676081	0.96451403	-0.0361309
1.1846	185537.893	181.899895	3.70978993	1.31097525
0.9256	11997.3568	11.7621145	1.48901922	0.39811766
1.1547	139699.283	136.960081	3.37496938	1.21638625
1.1471	129825.69	127.280089	3.29350751	1.19195311
1.1103	90401.2025	88.6286299	2.9191955	1.07130806
0.9113	10093.1713	9.89526601	1.40566229	0.34050857
0.8284	3501.47828	3.43282185	0.98769364	-0.0123827
0.9961	27098.7383	26.5673905	1.95368617	0.66971793
1.0803	66700.4878	65.3926351	2.63783797	0.96995963

曝射時間= 17 1020 分

個数中央径 0.49394617 幾何標準偏差 1.94761185

空氣力学的放射能中央径 6.34194186

質量中央径 1.87339755