

セシウム照射装置適正照射時間に関する試験

1997年12月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to:Technology
Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)

セシウム照射装置適正照射時間に関する試験

三上 智*

小林博英*

江花 稔*

要 旨

安全管理部計測機器校正施設内には、事業所内の放射線管理用機器や個人線量計及び他事業所の基準線量計などを線源校正するための照射室及び照射装置が設けられている。より信頼性の高い照射を行うためには、使用する装置の特性をよく把握しておくことが必要である。照射装置に関しては、照射装置の照射口シャッターの開閉動作に伴うシャッター端効果などのため短時間の積算照射を行う場合は不確かさの程度が大きくなるので、装置に応じて要求する不確かさを実現できる使用条件を明らかにしておく必要がある。

今回は計測機器校正施設内で最も使用頻度の高い照射室（A）内のセシウム照射装置に関して、その照射の際のシャッター開閉に伴う不確かさを0.1%（包含係数¹⁾ $k=2$ ）に抑えるべく標記の試験を実施した。その結果、照射時間を少なくとも220秒以上とすれば、照射時間に対するセシウム照射装置のシャッター開閉時間に係る不確かさを0.1%（包含係数¹⁾ $k=2$ ）以下に抑えられることがわかった。

* 安全管理部放射線管理第一課

セシウム照射装置適正照射時間に関する試験

目次

要旨

1.はじめに	1
2.目的	2
3.セシウム照射装置	3
3.1セシウム照射装置シャッター	3
3.2照射装置シャッターに関する特徴的事項	3
4.試験	7
4.1使用機器	7
4.2試験方法	7
4.2.1線量評価プログラム	7
4.2.2試験概要	10
4.2.3試験条件	10
4.2.4試験手順	11
4.3試験結果及び評価	11
5.最適照射時間（最短時間）	16
6.今後の課題	17
7.終わりに	18
参考文献	18

1.はじめに

セシウム照射装置²⁾は東海事業所内で使用されている電離箱式サーベイメータ等の放射線管理用機器の線源校正だけでなく他事業所所有の γ 線用基準線量計の線源校正にも使用されている。セシウム照射装置から射出される γ 線の線量は、国家標準機関である電子技術総合研究所（以下、電総研という。）で校正された γ 線用基準線量計（特定二次標準器）により正確に測定され、校正場が値づけされている²⁾。

校正試験時において、照射開始即ちシャッター開の信号の入力と全く同時にシャッターが全開状態になることは不可能である。つまり、シャッターが全開になるまで数秒を要する。このとき照射装置からの線量に着目すると、照射される線量率はシャッター開の信号入力後、シャッターが全開状態になりつつある数秒の間にも γ 線がわずかながら出始め、線量率は徐々に増加し定常的な値になる（図-1参照）。シャッターを閉じる場合も同様に線量率は徐々に減少しゼロになると考えられる。

線量率が徐々に増加し定常的な値になる、または徐々に減少してゼロになる。これらの線量率の立ち上がり、たち下がりの状態は定常的に照射される線量率に比べると明らかに差があり、不確かさの要因である。これをシャッター端効果という。

校正場の値づけはセシウム照射装置のシャッターを開放した状態で行われる。これは測定する基準線量率にシャッターの開閉動作に伴う不確かさやシャッター端効果が含まれないようにするためである。

しかしながら、実際の校正では時間照射や積算線量照射を行う場合があり、短時間の照射や少量の積算線量照射の際にはシャッター端効果などが無視できない程度に寄与してくる可能性があった。

2.目的

積算線量を測定するTLDやガラス線量計等の校正では、照射線量率の精度に加えて照射時間も不確かさの要因として含まれる。照射時間に関係してくる不確かさの要因の一つに照射装置シャッターの開閉動作に由来する不確かさがある。

シャッター開閉に伴う不確かさの程度は照射時間の長さに依存し照射時間がシャッター開閉動作の時間に対して十分に長ければ無視できるものとなることは容易に予想できるが、照射試験の要求からある程度短時間の照射も必要である。

そこで、本件試験の目的はシャッターの開閉に伴う不確かさを無視できる程度、すなわち包含係数¹⁾ *k=2で0.1%未満にするために最適な最短照射時間を求めることにある。

*：計測結果の表現のルールを示す国際文書「計測における不確かさの表現のガイド」に示される考え方で信頼の水準を反映する係数として'包含係数k'が使われている。総合的な不確かさである拡張不確かさを表示するためにk=2または3を採ることが推奨されている。k=2は95%信頼度であり、従来の不確かさの程度を示す2σにほぼ相当する。

：ISO国際文書「計測における不確かさの表現のガイド」¹⁾について

計測分野を代表する国際機関である国際度量衡委員会(CIPM)及びその事務局である国際度量衡局(BIPM)が提言し、国際標準化機構(ISO)が中心となって協議した結果をもとに、1993年、ISO、国際度量衡局(BIPM)、国際電気標準会議(IEC)、国際臨床化学連合(IFCC)、国際純正及び応用化学連合(IUPAC)、国際純粹応用物理学連合(IUPAP)及び国際法定計量機関(OIML)の7機関の共同編集による、計測結果の表現のルールを示す国際文書(Guide to the expression of uncertainty in measurement:GUM)が発行された。

日本においてもGUMの概念は導入されてきており、特に計量法のトレーサビリティ制度における指定校正機関の指定や認定事業者の認定に際しては不可欠な事項となっている。

3.セシウム照射装置

セシウム照射装置²⁾は秒単位で設定した時間だけ照射ができる「時間照射」、事前に設定した所要の総線量を照射できる「積算照射」、及び任意のタイミングでシャッターを開閉することのできる「任意照射」の3つのモードがあり装置コントロール用のパソコンにキー入力することにより各モードを選択することができ、照射作業を遠隔で行うことができる。

3.1 セシウム照射装置シャッター

シャッターは図-2に示すように、一部にコリメータがある回転式のシャッターである。シャッター開閉の動作速度は実測値で、シャッター開の信号入力から全開までの時間は4.2秒、シャッター閉の信号入力から全閉するまでの時間は4.5秒である。

3.2 照射装置シャッターに関する特徴的事項

時間照射モードでは、照射時間を計測しパソコン画面上に経過秒数が表示される。1.はじめにでも述べたように、シャッター開の信号入力によりシャッター開の動作が始まるが、シャッターが全開の状態になる以前に照射時間の計測が開始され設定時間に到達と同時にシャッター閉の動作が開始される。つまり、シャッター開又は閉の動作中には計測時間に不確かさが存在し、さらに、シャッター開の動作中には、シャッター開の動作開始から全開の状態になるまでの間に線量（ γ 線）が出始め、またシャッター閉の動作中には、動作開始から全閉の状態になるまでの間にも線量率の変動（所定の線量率からゼロまで）がある。これらの状態を模式的に表わすと図-1のようになる。図-1において①はシャッター開の信号を入力した時刻、②はシャッターが全開になった時刻、③はシャッター閉の信号が入力された時刻、④はシャッターが全閉になった時刻、さらに、②はシャッター開信号入力後、全開に至るまでに損失する線量、⑥はシャッター閉の信号入力後、全閉になるまでに余分に照射される線量を表わす。図-1②と⑥の部分の面積が完全に一致していれば、②と⑥が互いに補完しあい不確かさは無視できるが、3.1でも示したように実際にはシャッター開閉の動作速度は完全には一致しておらず、さらに、図-1の概念図に示す①から②の間の線量率増加の曲線及び③から④の間の同じく減少の曲線の実際の様子を正確に把握することは困難である。これらは、シャッター全開状態での線量率計測においては問題にはならないが、時間照射や積算照射で積算線量を照射するには図-1の②及び⑥の部分が照射した積算線量の不確かさの一部となり、短時間の照射や少量の積算線量照射の際にはそのシャッター開閉に伴う不確かさは無視できなくなる可能性があった。そこで、存在する不確かさを総合的に把

握し評価する方法を採り、不確かさが無視できるほどの最適な最短照射時間を把握することとした。

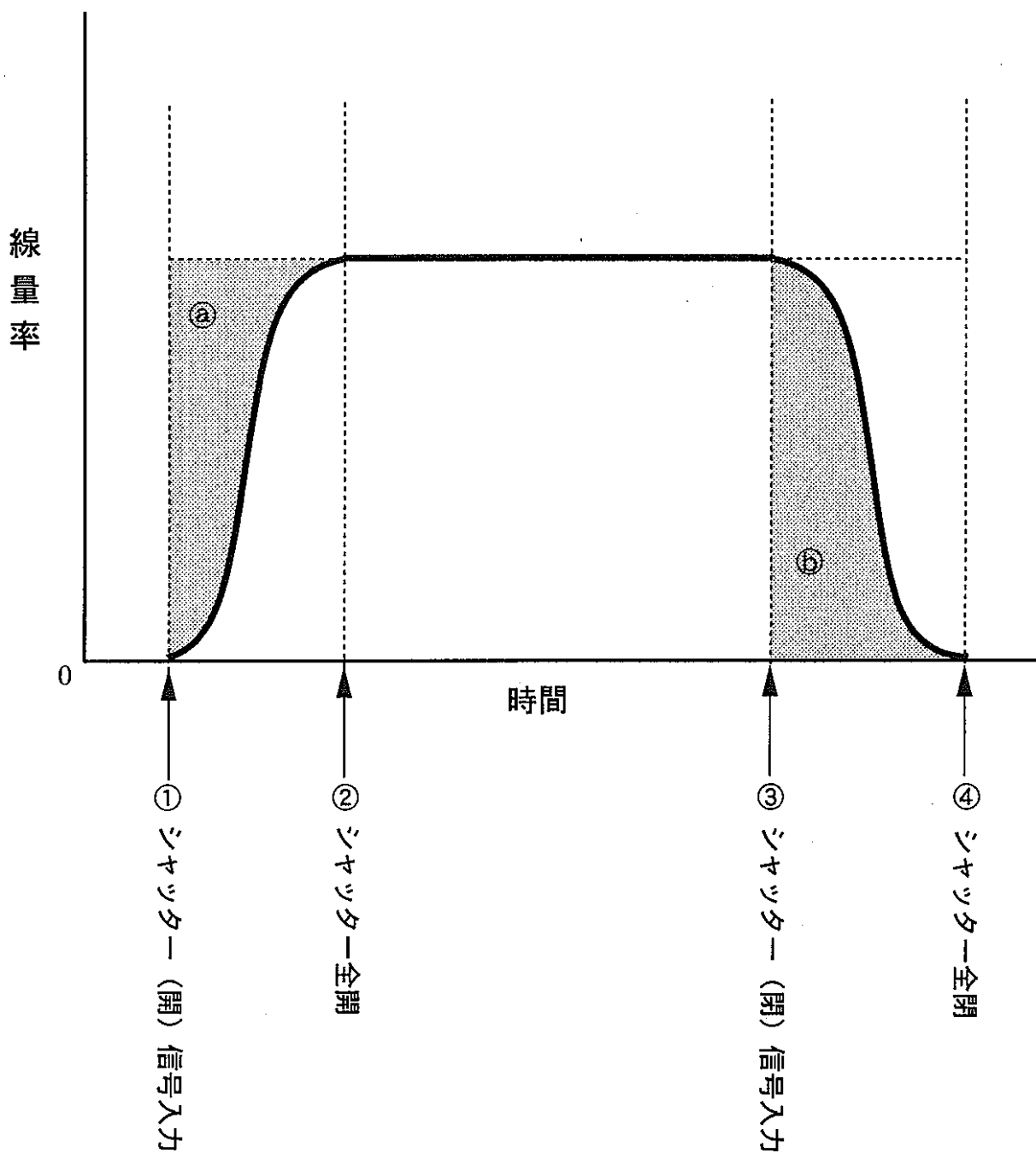
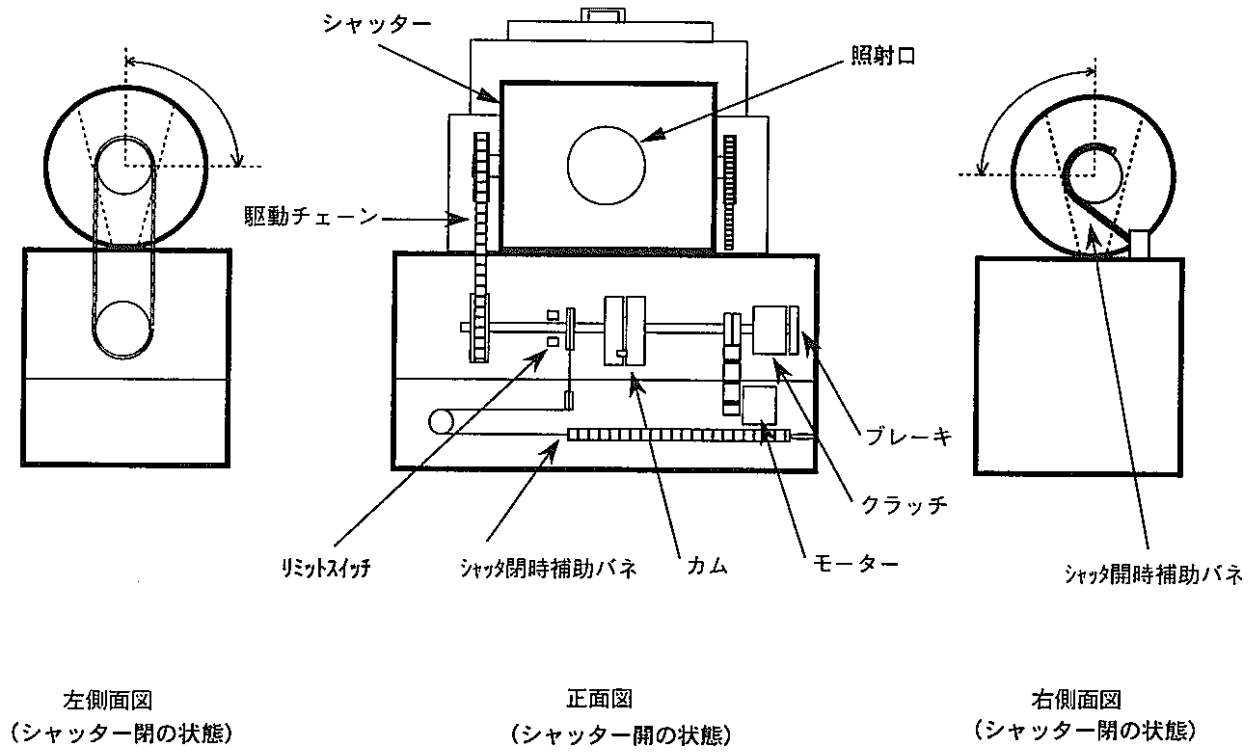
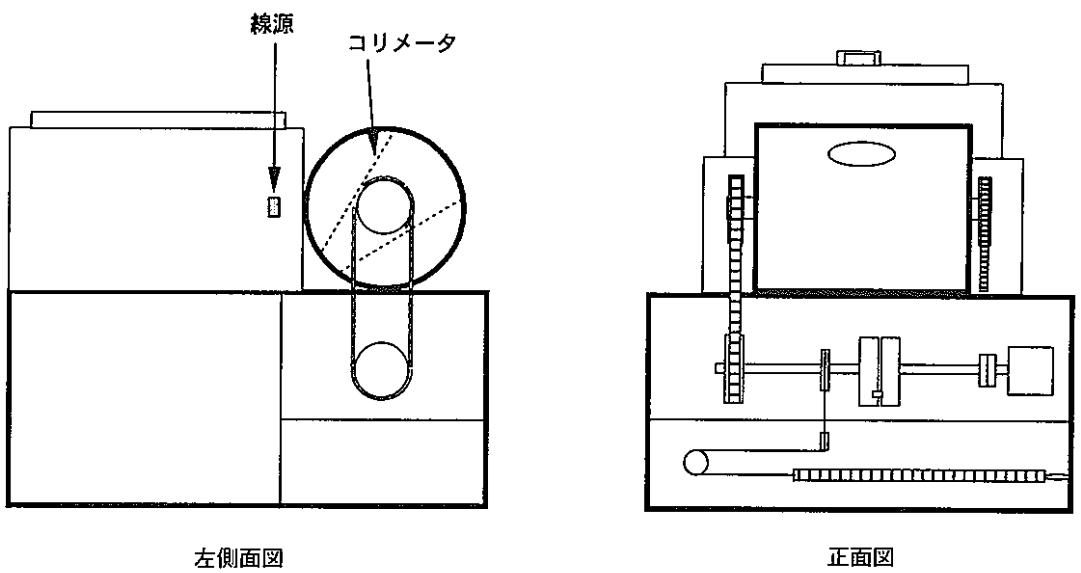


図-1 シャッター開閉に伴う線量率の変化（概念図）



セシウム照射装置シャッター部分の構造



シャッターが開き（閉じ）つつある状態の図

図-2 セシウム照射装置（シャッター部分）

4. 試験

4.1 使用機器

本試験に使用した機器は以下のとおり。

① γ 線用電離箱式照射線量計

構成 電離箱 (Exradin社製 model A6 容積800cc) 器物番号: 223

計測部 (横河電機(株)製 model 756201-C-1) 器物番号: 7562FA016

② 線量評価プログラム³⁾

③ セシウム照射装置

製造番号: 5009 (キソー工業株式会社製)

④ ストップウォッチ

4.2 試験方法

4.2.1 線量評価プログラム

本プログラムは、計量法に基づく認定事業者あるいは認定事業者になることを希望する校正機関のために、電総研により各機関ごとにかつ測定対象量に応じて作成され提供されたものを動燃用に多少の手を加えたものである。

1) 機器の接続

Exradin社製の電離箱式検出器を東洋メディック社製の計測部 (商品名; RAMTEC1000) を仲介して横河電機社製のデジタルマルチメータに接続した (図-3)。

2) 線量測定原理

γ 線照射時の検出器 (電離箱) 内空気の電離による仲介器 (東洋メディック社製RAMTEC1000) 内のコンデンサーの電圧変化をデジタルマルチメータ (ボルトメータ) で読取り、線量評価プログラムに基づき照射線量 (率) に換算する³⁾。

3) 線量評価プログラム

本プログラムに従い、まず、測定対象線源の核種、強度、及び検出器の線源からの距離、線量計の校正定数などの諸情報を入力する。また、環境条件により測定値を補正するため、測定直前の照射室内に設置した検出器近傍の気温、気圧、などの環境条件を測定し入力する。次に、バックグラウンドを測定した後、線量率を測定する。バックグラウンドは自動的に減算される。

バックグラウンド及び線量率の測定は本プログラムによりデジタルマルチメータを動作させることにより行うが、その測定手法は以下の通りである。

図-4に示すように、データ (電圧値) は26回繰り返しサンプリングを行う。1回目のサンプリングデータから順に26回目のサンプリングデータまでをNo1、No2、...、No25、No26と表記すると、本プログラムはサンプリングデータか

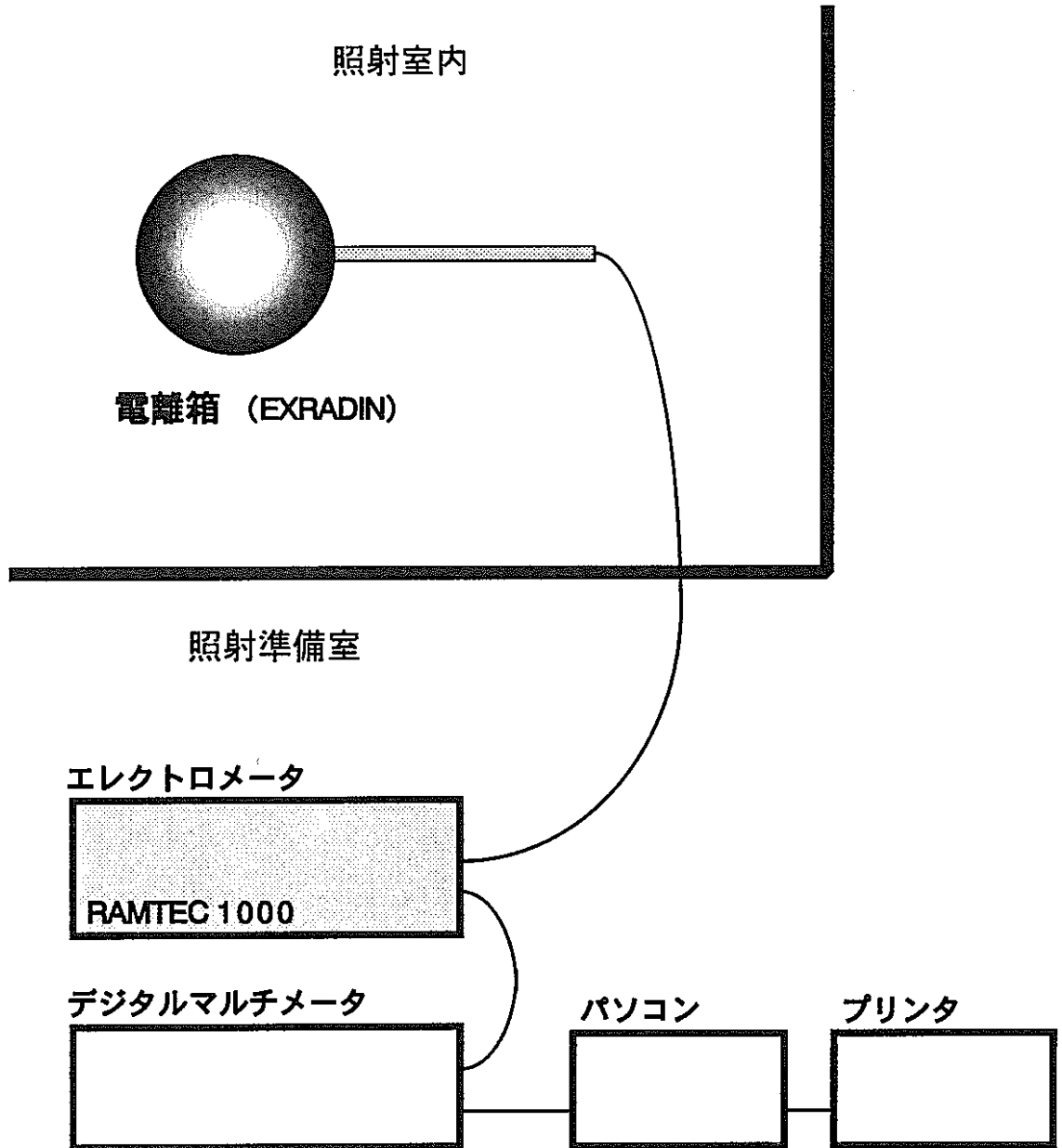


図-3 機器の接続

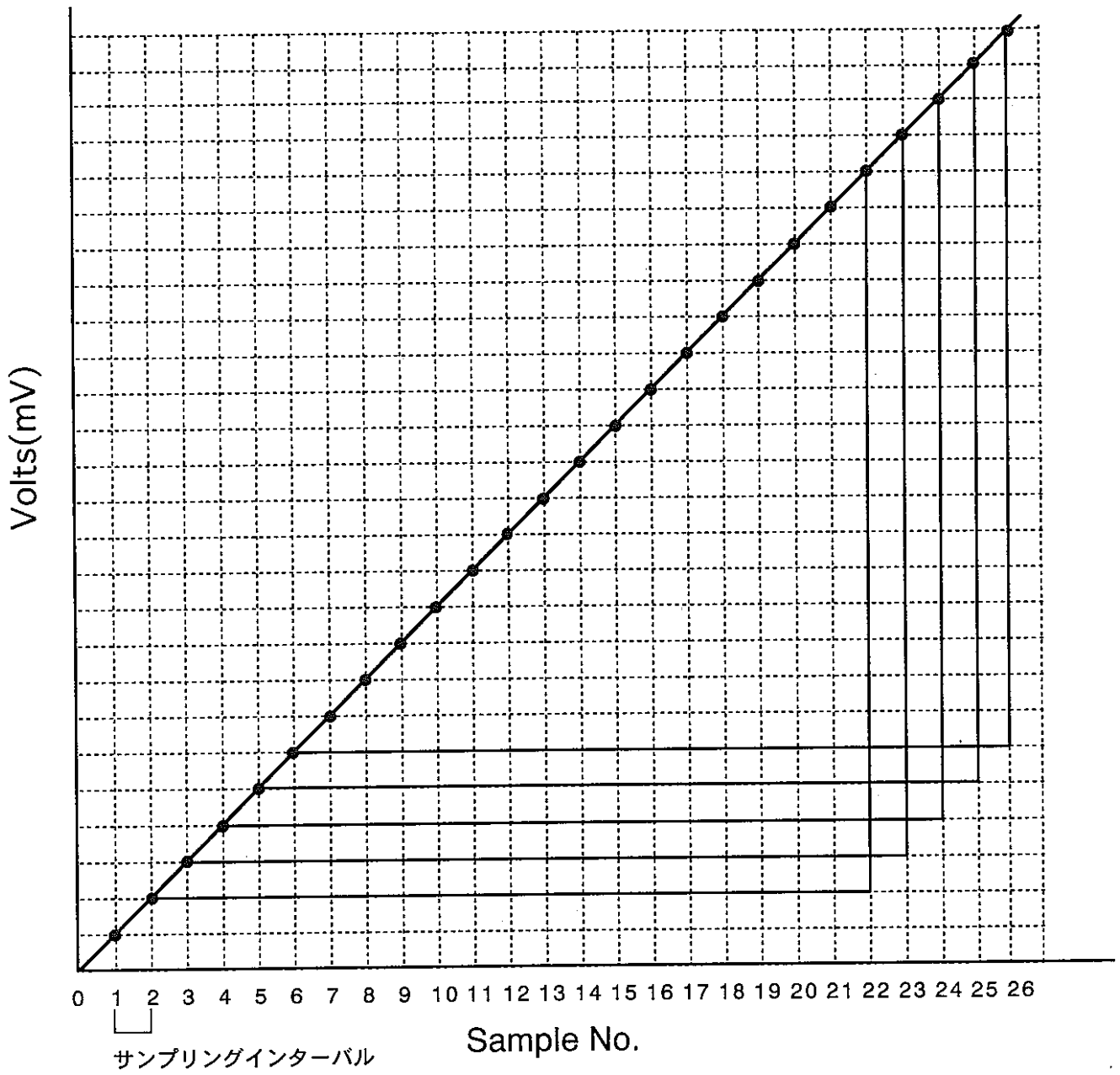


図-4 線量評価プログラムによるデータサンプリング

ら電圧値の差を5つ（No22-No2、No23-No3、No24-No4、No25-No5、No26-No6）計算する。また、繰り返しサンプリングの頻度、サンプリングインターバルは秒単位で自由に設定することができるが、通常1秒又は2秒とする。サンプリングインターバルが1秒の場合は電圧値の差（dV [mV]）1つ（例えばdV=No22-No2 [mV]）に対しその間に20回のサンプリングが行われているので、その電圧の計測時間（dt）は20秒である。よって、（式1）により単位時間当たりの電圧変化（dV/dt）が計算される（サンプリングインターバルが2秒の場合はdt=40秒）。

$$dV/dt = (\text{No22-No2}) \text{ [mV]} / 20 \text{ [sec]} \cdots \cdots \text{(式1)}$$

このようにして、26回の繰り返しサンプリングのデータから都合5つの（dV/dt）が計算される。これ（26回の繰り返しサンプリング）を5回繰り返し、平均値（dV/dt）が計算される。最終的に平均値（dV/dt）に校正定数（[R/V] また [C/kg/V]）を掛けることにより照射線量率が求められる。これらの操作はパソコンで自動的に行われ、筆者らは測定したデータを照射線量率の単位で得ることができる。

4.2.2 試験概要

以下に示すように、セシウム照射装置の時間照射のモードを利用して60秒、20秒、5秒などの短い時間シャッターを開閉させた。各々について、その間に照射された γ 線の総線量を γ 線用電離箱式照射線量計で測定した。そのデータ（数秒当たりの照射線量から計算した照射線量率 [〇〇mR/40sec] など）をもとに1時間当たりの照射線量率 [〇〇mR/h] を算出する。算出結果が基準の照射線量率に比べて偏差があるのであれば、それは、シャッターの端効果やシャッターの開閉機構などによる誤差（不確かさ）だと考えられる。これらは、照射時間が長くなるにつれて小さくなっていくものと考えられる。

4.2.3 試験条件

試験条件は以下のとおりである。

- 1) 試験日：1997年7月30日、同年8月1日、及び同年8月4日
- 2) セシウム照射装置のモード：時間照射モード
- 3) 線量評価プログラムのモード：積算モード（dose-mode）
- 4) 線量評価プログラムで設定したサンプリングインターバル：1秒、2秒、3秒、5秒（時間照射のプリセット時間に応じて選択した）
- 5) セシウム照射装置で設定したプリセット時間：1秒、3秒、5秒、10秒、15秒、20秒、25秒、30秒、35秒、60秒

- 6) 試験日が異なった場合は、試験日ごとに基準線量率を測定評価し比較を行った。

4.2.4 試験手順

プリセット時間が30秒でサンプリングインターバルを3秒とした場合の試験手順を次に示す(図-5参照)。サンプリングインターバルは最後の5回(22、23、24、25、26)のサンプリングが余裕をもって行われるような秒数に設定した。

- 1) 電離箱による測定を開始する(線量は出ていない。)
- 2) 21秒経過(6回目のデータサンプリングが行われる時)後にセシウム照射装置のシャッター開を入力する(このときまでに入力をするだけという状態まで装置を準備しておき、入力のタイミングを待っていること。)
- 3) シャッター開を入力後、30秒経過すると照射装置シャッターは自動的に閉じる。
- 4) シャッターが閉じた後、最後の5回(22、23、24、25、26)のサンプリングが行われ、1回の測定が終了する。
- 5) 1)から4)を5回繰り返す。
- 6) 5回繰り返し測定が終了すると測定結果(照射線量率)がプリントアウトされる。

4.3 試験結果及び評価

4.2.4 試験手順で紹介したプリセット時間が30秒でサンプリングインターバルを3秒とした場合の例は、測定した照射線量率は照射時間30秒であるにもかかわらず、 $dt = 20 \text{回} \times 3 \text{秒} = 60 \text{秒}$ として計算されているので、測定結果から1時間当たりの照射線量率に換算して比較評価した。同様に他の場合についても1時間当たりの照射線量率に換算して比較評価した(表-1参照)。表-1においてプリセット照射時間が1秒や3秒の場合、測定結果から1時間当たりの照射線量率に換算した評価値(B)が実際の照射線量率(A)よりも4.4倍、及び1.5倍それぞれ過大評価されている。これは照射装置の1秒あるいは3秒のプリセット照射時間にかかわらず、機械的に必要なシャッター開閉動作時間のために、実際にシャッターが開いており線量が照射されている時間が4.5秒程度あることを示している。また、3.1項よりシャッター開動作あるいは閉動作の一方だけで約4.5秒要すことがわかっているので、4.5秒を要するシャッター閉から開への動作のうち動作開始から約2.25秒経過後に線量が出始め、逆にシャッター開から閉への動作の場合は、動作開始から約2.25秒後に線量がゼロになると考えられる。しかし、個々の動作の時間を精密に求めるのは困難なので、シャッター開閉動作に伴う線量率の不確かさとして総合的に評価することにした。

立て軸に基準線量率（通常の方法で測定評価した線量率）と測定結果から評価した線量率との偏差（基準線量率を基準）をとり、横軸に時間照射のプリセット時間を取りグラフに記すと図-6に示すように偏差は指数関数的に減少することがわかった。白丸及び実線は実測値から作成したものであり、点線は実測値のデータを元にMacintoshの表計算ソフト「クリケットグラフ」により評価した近似外挿曲線である。

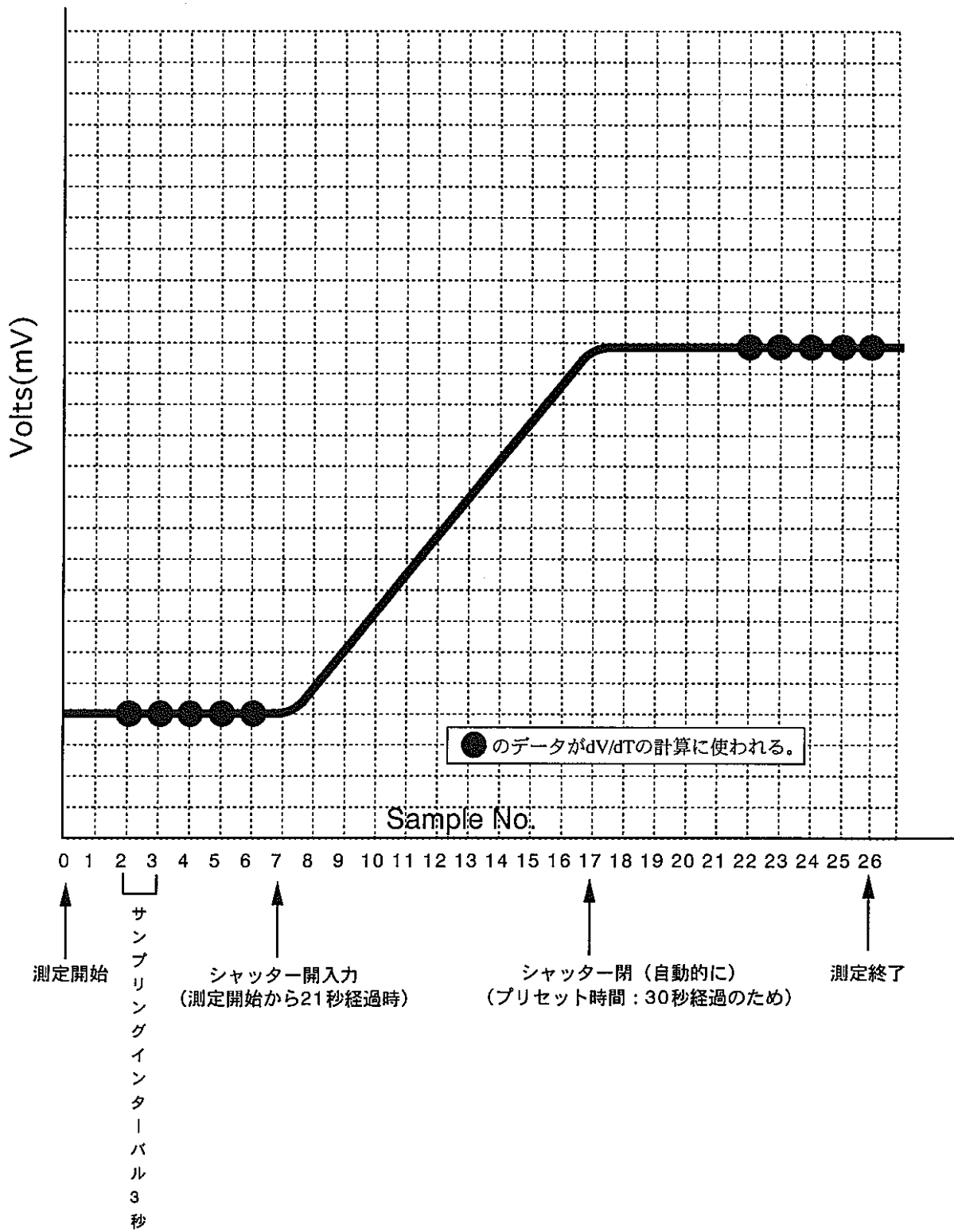


図-5 試験手順概念図

(プリセット時間: 30秒、サンプリングインターバル: 3秒の場合)

表1.測定データ

照射時間 [秒] (時間照射モード)	サンプリング インターバル [秒]	基準照射線量率 [mR/h] (A)	測定評価した 線量率 [mR/h] (B)	(A)を基準とした ときの(B)の(A) からの偏差 [%]
1	2	1891.68 ②	8375.48*	342.75
3	2	1891.68 ②	2778.68*	46.89
5	2	1891.68 ②	2078.37*	9.87
10	2	1879.3 ①	1958.48*	4.21
15	2	1879.3 ①	1922.73*	2.30
20	2	1891.68 ②	1939.21*	2.51
25	2	1891.68 ②	1923.09*	1.66
30	3	1891.68 ②	1913.99	1.18
35	3	1883.40 ③	1912.89	1.57
60	5	1883.40 ③	1889.54	0.33

① : H9年7月30日測定 ② : H9年8月1日測定 ③ : H9年8月4日測定

* : 3回測定の平均値、他は1回測定

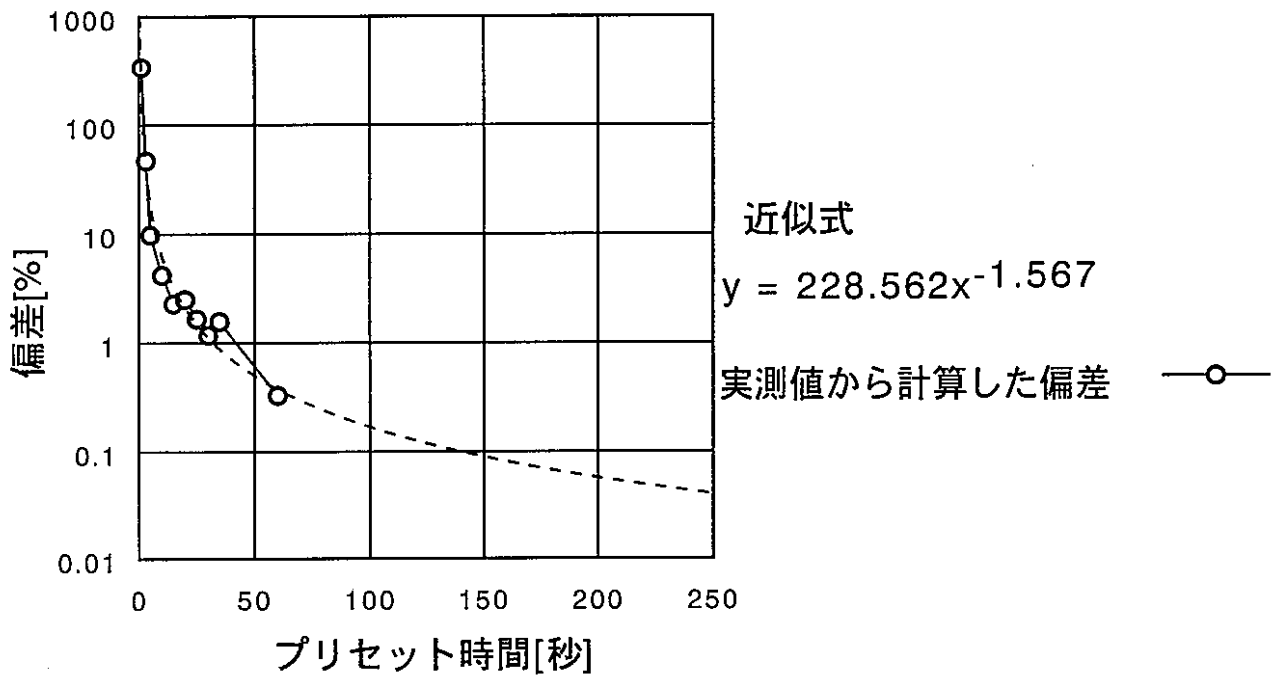


図-6 シャッター開閉に伴う不確かさと照射時間（プリセット時間）との関係

5. 最適照射時間（最短時間）

4.3で作成した図-6から曲線の近似式を求めた結果、（式2）のとおりとなった。

$$\text{近似式：} y=228.562X^{-1.567} \dots \dots \text{（式2）}$$

ただし、yは偏差（%）

Xは時間（秒）である

（式2）から、偏差が0.05%以下になる照射時間を算出した。その結果、最短でも220秒以上の照射時間をとれば偏差が0.05%以下になり、シャッターの開閉に係る不確かさは包含係数¹⁾ k=2としたとき0.1%未満であると評価した。

以上より、通常のセシウム照射装置の使用において、シャッターの開閉に係る不確かさが0.1%（包含係数¹⁾ k=2）を担保するために照射時間は最短でも240秒（4分）以上とすることをルール化する。

6.今後の課題

追試験を重ね、今回の結果の精度と信頼性を高めたい。また、線量計の測定精度の問題等で困難かと思われるが、今回は短時間のプリセット時間の結果からの外挿により求めたので、200秒辺りの比較的長時間の範囲でも図-6のグラフに実測値が近似曲線に合うかどうか確認したい。

7.終わりに

今回初めてセシウム照射装置に関して、積算照射や時間照射をする場合に適当な最短の照射時間が明らかになり、不確かさも算出された。

約1分以下の照射時間ではシャッターの不確かさが1%を超えることもわかったが、通常の校正試験では、距離を離すことによってより小さい線量率を利用するなどしていたので、約1分以下という短時間の照射は行ったことはなかった。通常の照射時間は経験的あるいは感覚的に、少なくとも3分以上の照射時間としていた。このときのシャッター開閉に係る不確かさは0.2%程度である。これは、一般の放射線測定器やTLDなどの個人線量計の校正を行ったとしても無視できる程度である。

なお、本報告書の要点は1997年11月に動力炉・核燃料開発事業団東海事業所において安全管理部門を中心として開催されたIAEA/ RCA training course on recent development in basic radiation protection のうちサーベイメータの校正実習に関するトレーニングセッション（11月17日）の中で紹介した。

参考文献

- 1) 日本規格協会 「ISO国際文書 計測における不確かさの表現のガイド」
- 2) 大柳、広沢、豊田、三上、小林、江花 「 γ 線基準校正場の維持管理」 (PNC PN8410 97-302)
- 3) 三上、小林、江花 「 γ 線基準線量測定評価方法」 (執筆中)