

γ 線基準校正場の散乱線評価（その1）

1997年9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)

γ線基準校正場の散乱線評価（その1）

江花 稔¹⁾

大関 清¹⁾

小林博英¹⁾

三上 智¹⁾

豊田素子¹⁾

広沢雅也^{1) 2)}

大柳勝美^{1) 2)}

要 旨

東海事業所計測機器校正施設に設けられている複数の照射室のうち照射室Aに関して、線源－検出器間距離が1mから4mの間で、校正テーブル及び線量計支持具による散乱線の寄与の程度を評価した。その結果、放管機器の校正作業時には無視できるほど散乱線の寄与は少ないことがわかった。

1) 安全管理部放射線管理第一課

2) 日本放射線エンジニアリング(株)

γ 線基準校正場の散乱線評価（その1）

目 次

1. 目 的	1
2. 評価試験条件	1
2. 1 試験距離及び高さ	1
2. 2 線 量 計	1
2. 3 線 源	1
2. 4 付帯設備機器	1
3. 試験方法	2
4. 評 価	3
5. 結 果	3
6. 考 察	3
7. 今後の課題	5
参考文献	5

図一覧

図1：レーザーマーキング設置状況	6
図2：校正場の図面 照射室（A）	7
図3：照射野の概略図	8

写真一覧

写真1：（照射装置から発生する γ 線のみを測定の様子）	9
写真2：（校正テーブルによる散乱線を測定の様子）	9
写真3：（校正テーブル及び支持具による散乱線を測定の様子）...	10

表一覧

表1：試験に使用した温度計及び気圧計の仕様	11
表2：散乱線評価試験データ（No.1）	12
表3：散乱線評価試験データ（No.2）	12
表4：散乱線評価試験データ（No.3）	13
表5：散乱線評価試験データ（No.4）	13
表6：散乱線割合一覧	14

1. 目的

東海事業所計測機器校正施設における主要校正場である照射室Aに関して、他事業所の基準線量計の校正作業や、個人線量計あるいはサーベイメータ等現場の放管機器の校正時にその影響が考えられる、基準線量計支持具や校正台車による散乱線の影響を評価する。

2. 評価試験条件

2.1 試験距離及び高さ

線源検出器間距離が1m、2m、3m、及び4mの位置において散乱線の測定評価を行った。校正テーブルの高さは床から校正テーブル表面まで1300mm、校正テーブル表面から線量計中心までの高さは200mmであり、床から線源中心までの距離1500mmに一致させた。

2.2 線量計

国家標準機関である工業技術院電子技術総合研究所（以下、電総研という）で校正済みの特定二次標準器（以下、基準線量計という。）、及び線量評価プログラム（文献 [1] 参照のこと）の線量率モードを用いて線量率測定評価を行った。

2.3 線源

散乱線の寄与が考えられ、当室において所有する線源のうち最大の放射能である1.11TBqの¹³⁷Cs線源^[2]を使用した。

2.4 付帯設備機器

1) レーザーマーキング装置

床上1500mmに床と平行にすなわち水平に照射するもの、校正テーブルのレールに沿って線源中心を通り床及び天井に対して垂直方向のもの、

線源検出器間距離が2mの位置を示す垂直方向のもの、及び可搬型で垂直方向に照射するもの、それぞれ各1本合計4本のレーザを使用して（図1）試験の際の線量計据え付け位置の精度及び再現性を高めた。

2) 温度計、気圧計

基準線量計による測定値の環境条件による線量率測定値の補正を行うためにデジタル温度計（記録計 μ R1000：横河電機(株)製、測温抵抗体SR6 Pt100：林電工(株)製、工業技術院計量研究所及び電総研までトレーサビリティが明確である。）及びデジタル気圧計（PTB200A：ヴァイサラ(株)製、フィンランドの認証機関により校正済み。）を使用した（表1）。

3 試験方法

①照射装置から発生する γ 線のみの測定

校正台車による散乱線の影響を無視できるように、校正台車を線源から約9mの距離まで後退させ、次に所定距離（1～4m）に校正テーブルのレールと平行して天井を走っているクレーンのレールからロープを2本垂らし、その先端に基準線量計検出器を結び付け固定した。エンコーダとレーザーを併用して距離及び高さ（床上1500mm）のほか放射線入射角度を正確に確認し、固定した（写真1）。Cs照射装置のシャッターを開け照射を行い、線量率を測定した。線量率を線量評価プログラムにより同一測定点を5回繰り返し測定し、平均値をもって評価した。

②校正テーブルによる散乱線の測定

荷造り用ロープも検出器もそのまま、9mに後退させてあった校正台車を各距離の定位置まで移動した（写真2）。この状態で照射を行い線量率を測定した。①の測定評価方法と同様に、線量率を線量評価プログラムにより同一測定点を5回繰り返し測定し、平均値をもって評価した。

③校正テーブル及び支持具による散乱線の測定

通常の照射条件と同一に、すなわち校正台車の上に線量計支持具を設置

し支持具により線量計を固定した（写真3）。そして、①及び②の方法と同様に、線量率を線量評価プログラムにより同一測定点を5回繰り返し測定し、平均値をもって評価した。

4. 評価

3.の各試験から、演算 $(②-①) / ① \times 100$ により直接線のみに対する校正テーブルによる散乱線割合が評価できる。また、 $(③-②) / ② \times 100$ により支持具による散乱線割合が評価できる。

なお、上述した通り測定値は平均値をもって評価し測定値の不確かさは標準偏差の3倍（ 3σ ）とした。別紙の「散乱線の評価」参照のこと。

5. 結果

各距離（1m、2m、3m及び4m）における散乱線評価試験データを表2から表5に、また直接線に対する散乱線の割合を表6の散乱線割合一覧に示す。

試験の結果から、校正テーブルによる散乱線の割合が最大で3mでの2.3%であった。一方、支持具による散乱線については有為な影響は検出しなかった。よって、これらの結果から、放射線測定器の通常の校正作業においては校正テーブル等による散乱線の補正をする必要はないことが判明した。

6. 考察

照射野の大きさ、線量率の強さ、距離、校正テーブル高さ、線量計の設置位置等から試験結果を考察する。

ガラス線量計及び特定二次標準器を使って照射野を測定評価した結果、照射野の概要（均一性が3%以内の範囲）は図3のごとくであることがわ

かっている^[3]。図3に示すとおりat1mでは γ 線は校正テーブルに達していないと考えられテーブルからの散乱線は無視できる。また、支持具も完全に照射野範囲に入らないので、支持具による散乱線は測定誤差範囲内であったと考えられる。

at2mでは照射野範囲の下端がテーブル表面にかかる程度なので、校正テーブルによる散乱線の割合は極めて小さい。at3m、及びat4mでは校正テーブルが照射野内に入り、十分に散乱線の割合を評価できる。結果は表2から表6に示すように、散乱線の割合はat3mで有為値を示し、at4mでは誤差範囲内であった。

at3m付近で散乱線寄与の程度が有為値となることの要因として考えられることは、①<線量率の強度>距離が離れるに従って線量率が減弱する。その結果、散乱の割合は不変であるとしても測定線量率の絶対値が小さくなるために、標準偏差が大きくなってしまい、校正テーブル等による散乱線の程度を有為値として検出できなくなる。よって、十分に照射野に入りかつ適当な強度の線量率を有するat3mで散乱線が最大になった。②<校正テーブルとの立体角>検出器をセットする位置は校正テーブルの線源側の端から10cmの位置である。校正テーブル上の支持具に保持された検出器の高さは20cmである(図3参照)。at2m以上の距離では、支持具の線源に対する立体角に距離依存性はないと考えられるので各距離ごとの散乱の割合の違いは線量率強度に依存するところが大きいと考える。しかしながら、校正テーブルからの散乱線に注目した場合、線源から校正テーブルへの γ 線の入射角度はテーブルに対して鋭角になっていく。at2mのときテーブルへの入射角度 θ は、実測した照射野範囲から計算すると、照射野中心から校正テーブルまでの距離が20cm、線源検出器間距離が200cmであるので、以下のように算出できる。

$$\theta = \tan^{-1} (20/200) = 5.71^\circ$$

一方、同様にしてat4mではおよそ半分の 2.86° である。そのため、テーブル上20cmに位置する検出器に入射する散乱線の割合が小さくなるためと考えられる。

以上、散乱線の割合が3mにおいて最も大きくなった理由について考察した。

しかし、放射線管理用機器の校正作業、あるいは他事業所の基準線量計の校正試験等においては例外なく校正テーブルを使用するので、基準校正場の値づけは校正テーブルからの散乱線も含めて評価してある。一般の放管機器の校正作業と基準校正場の値づけで異なる点は、基準線量計で値づけの際に専用の支持具を使うところにある。この支持具については、今回の測定では指示具による散乱線は有為に検出できなかった。これにより、照射室Aは全体的に散乱線の影響は小さく、これまで距離の逆2乗則を適用した値と各距離における実測値とがよく一致していた^[2]という事実が裏付けられた。

7. 今後の課題

散乱線評価距離は今回は、1m、2m、3m及び4mの4点で、かつ検出器の位置は標準位置（テーブル上20cm）であったが、今後中間距離における散乱線の評価や検出器を校正テーブルに近づけた場合の影響などについて試験を行いたい。また、同一距離における測定回数は2m以外は5回であったが、さらに精度の高い測定評価を実施したい。

参考文献

- [1] γ 線基準線量評価方法（技術資料登録予定）
- [2] γ 線基準校正場の維持管理（技術資料登録中）
- [3] γ 線基準校正場における校正精度の精密評価（技術資料登録予定）

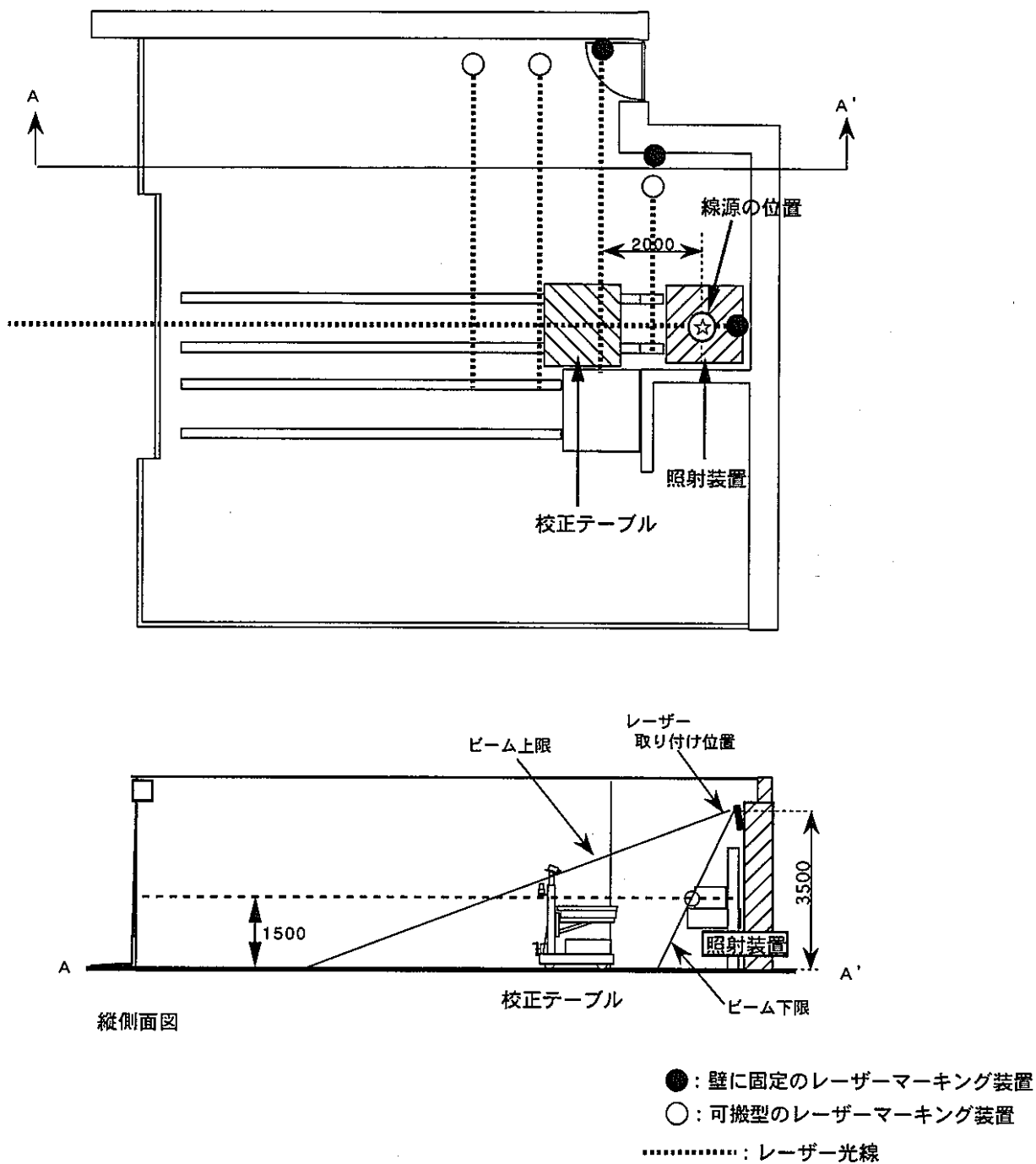
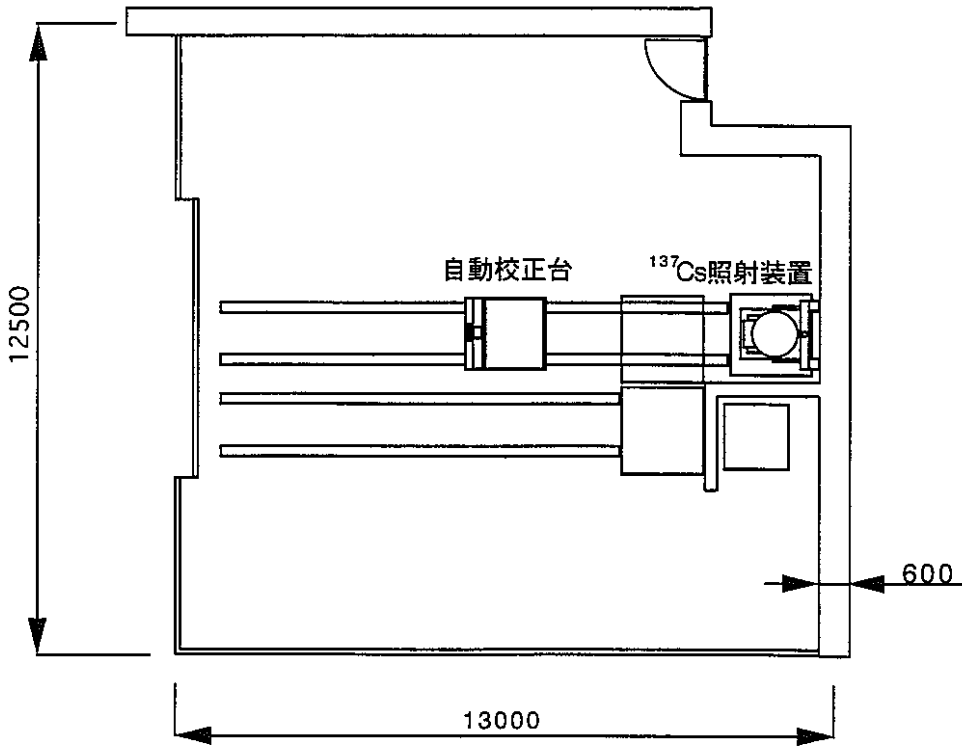
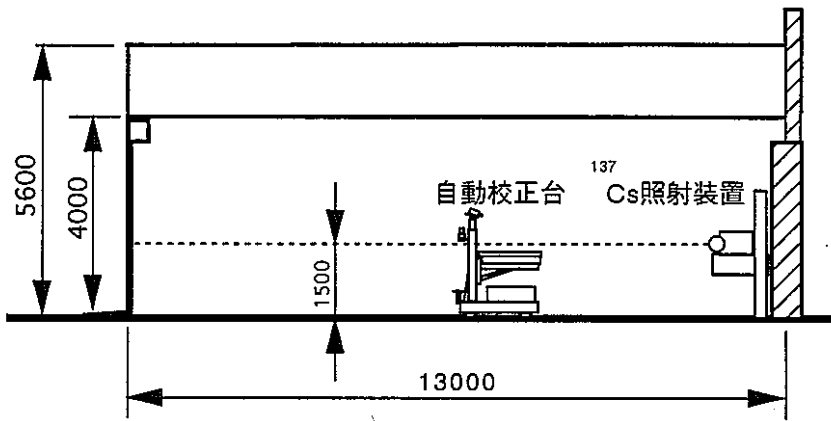


図1 レーザーマーキング設置状況



(平面図)



(立面図)

図2 校正場の図面 照射室 (A)

単位 : mm

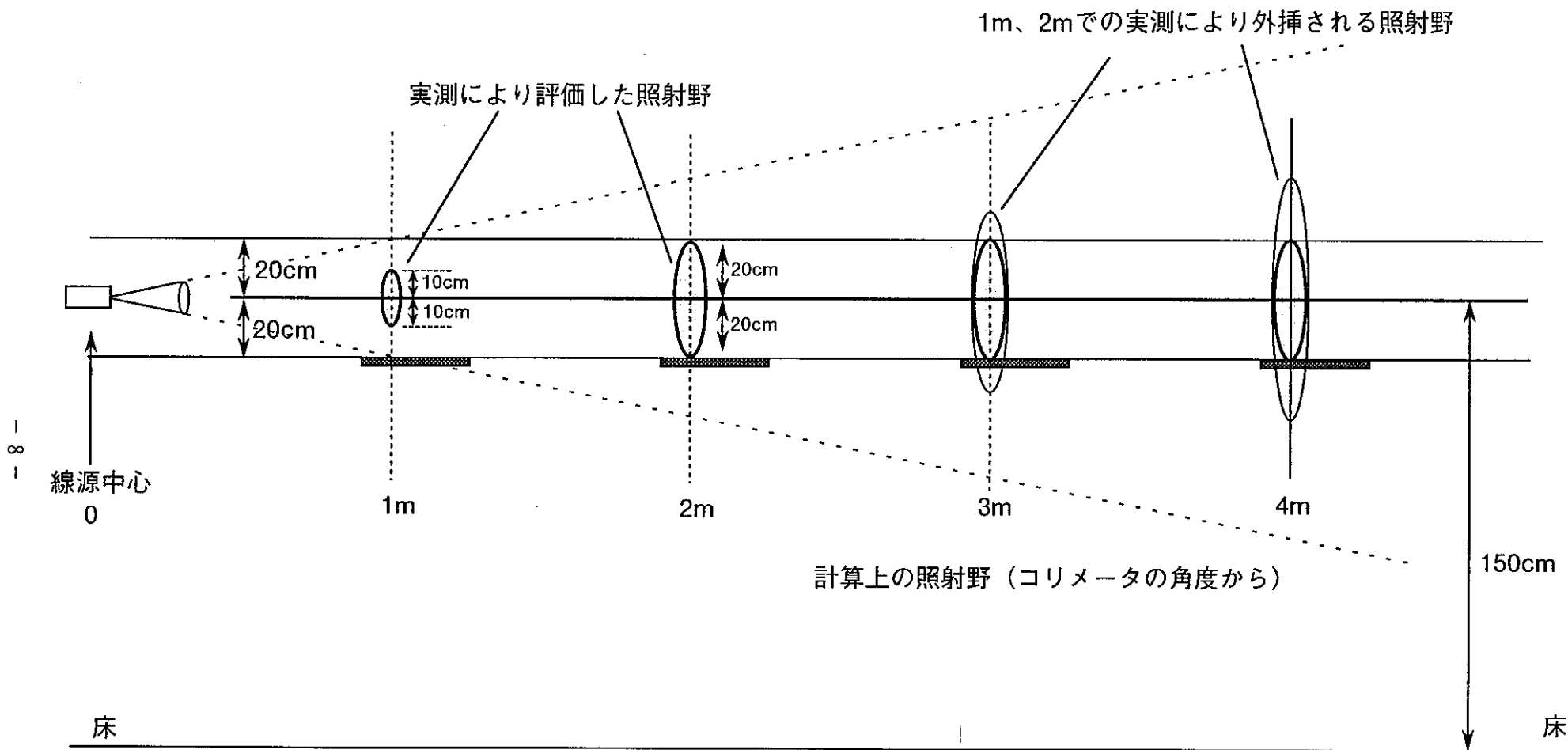


図3 照射野の概略図

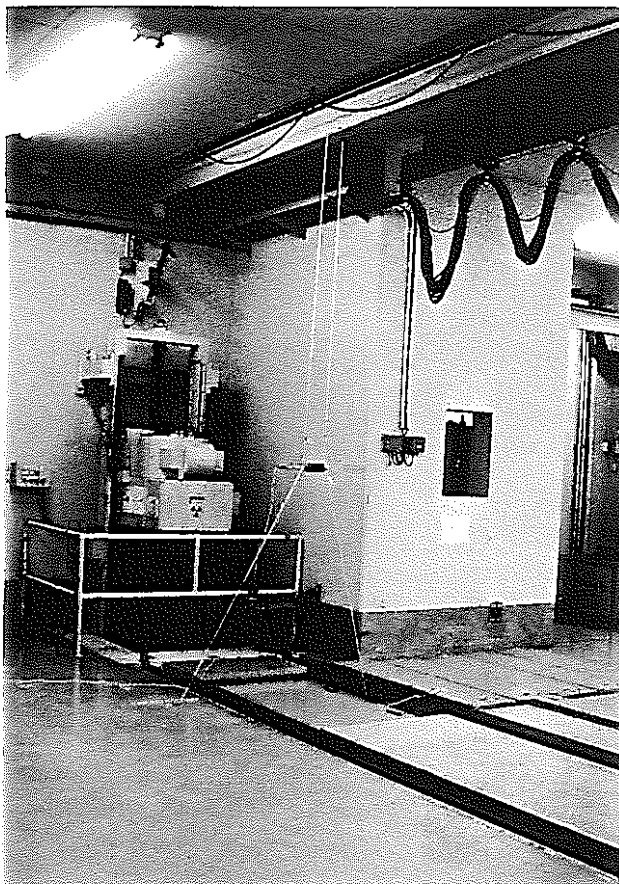


写真 1 照射装置から発生する γ 線のみを測定の様子

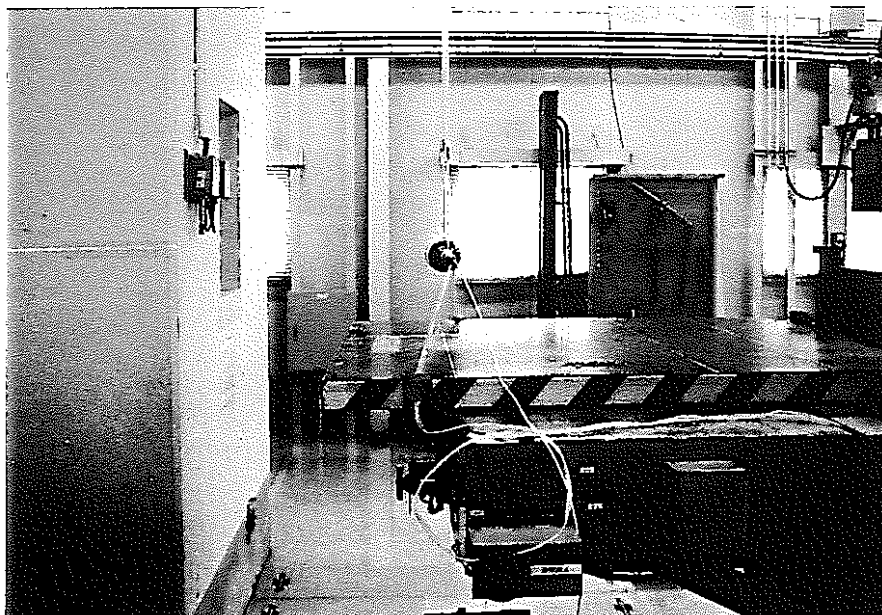


写真 2 校正テーブルによる散乱線を測定の様子

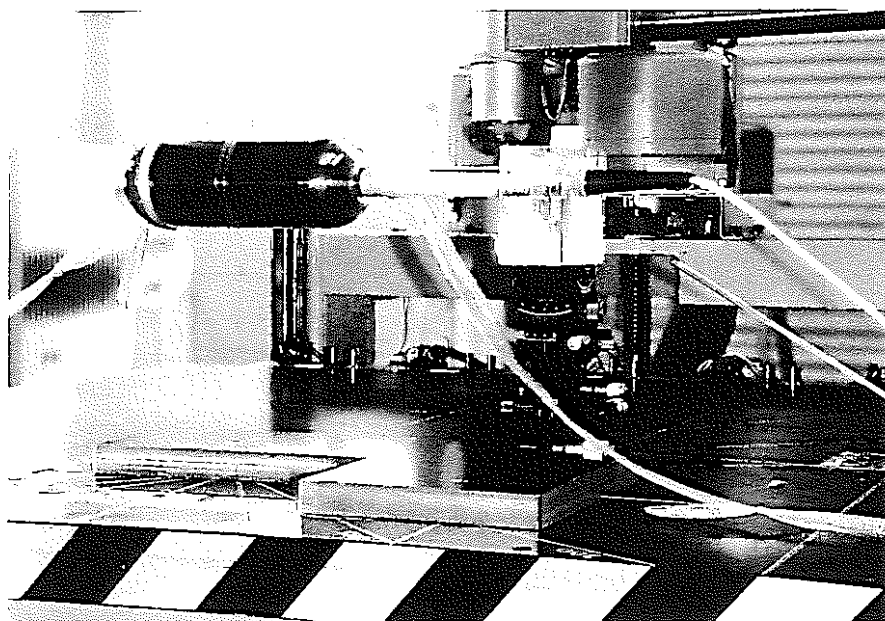


写真 3 校正テーブル及び支持具による散乱線を測定の様子

表1 試験に使用した温度計及び気圧計の仕様

名称	製造者名	形式	製造番号	性能
温度計	林電工株式会社	SR6X-PT100-Z	—	測温抵抗体及び記録計 測定範囲：-200～600℃ 測定の不確かさ：0.15% of readings
気圧計	新川電機株式会社	PTB200A	491124	デジタル気圧計 測定範囲：600～1100hpa resolution：0.01hpa 測定の不確かさ：0.01% of readings

表2 散乱線評価試験データ (No.1)

条件	線量計のみ (天井から宙吊り)	線量計と校正テーブル (支持具は使用しない)	線量計と校正テーブルと支持具
線源- 検出器間距離 [mm]	986 ± 5	986 ± 5	986 ± 5
線量率 [mR/h]	7940.68	7948.67	7954.54
	7962.48	7958.26	7952.20
	7969.71	7968.48	7946.66
	7970.22	7996.86	7948.35
	7948.82	8003.46	7964.80
平均値 [mR/h]	7958.382	7975.146	7953.31
標準偏差 (3σ)	39.65	72.00	21.40
変動係数 (3σ) [%]	0.498	0.903	0.269

表3 散乱線評価試験データ (No.2)

条件	線量計のみ (天井から宙吊り)	線量計と校正テーブル (固定治具は使用しない)	線量計と校正テーブルと固定治具
線源- 検出器間距離 [mm]	2000 ± 1	2000 ± 1	2000 ± 1
線量率 [mR/h]	1910.15	1935.77	1937.86
	1909.48	1934.94	1938.21
	1909.31	1935.52	1938.06
	1909.83	1935.43	1938.02
	1909.46	1936.03	1938.35
	1909.82	1936.06	1938.18
	1910.65	1936.22	1938.83
	1910.26	1935.75	1938.97
	1910.50	1935.09	1938.85
	1910.73	1936.25	1938.62
平均値	1910.019	1935.706	1938.395
標準偏差 (3σ)	1.55	1.37	1.18
変動係数 (3σ) [%]	0.081	0.071	0.061

表4 散乱線評価試験データ (No.3)

条件	線量計のみ (天井から宙吊り)	線量計と校正テーブル (固定治具は使用しない)	線量計と校正テーブルと固定治具
線源- 検出器間距離 [mm]	3000±5	3000±5	3000±5
線量率 [mR/h]	836.762	855.413	868.247
	838.178	857.203	863.678
	840.389	859.56	861.573
	841.934	860.922	860.452
	842.056	861.385	863.089
平均値 [mR/h]	839.8638	858.8966	863.4078
標準偏差 (3σ)	7.01	7.61	8.96
変動係数 (3σ) [%]	0.834	0.886	1.038

表5 散乱線評価試験データ (No.4)

条件	線量計のみ (天井から宙吊り)	線量計と校正テーブル (固定治具は使用しない)	線量計と校正テーブルと固定治具
線源- 検出器間距離 [mm]	4125±5	4125±5	4125±5
線量率 [mR/h]	446.240	451.464	452.127
	444.364	452.144	450.013
	443.582	449.387	449.520
	442.730	448.070	449.368
	444.222	448.236	450.776
平均値 [mR/h]	444.2276	449.8602	450.3608
標準偏差 (3σ)	3.89	5.58	3.39
変動係数 (3σ) [%]	0.876	1.241	0.753

表6. 散乱線割合一覧

	at1m	at2m	at3m	at4m
台車による散乱	——	1.3%	2.3%	——
支持具による散乱	——	——	——	——

散乱 (%) はコメータから照射される線量に対する割合
—— : は誤差範囲内 (有意差なし)

(別紙)

散乱線の評価

以下のように、各距離における校正テーブル及び線量計支持具による散乱線の程度を計算評価した。

1. 距離1mにおける、成分ごとの散乱線による線量率を求める。

1-1) 校正テーブルによる散乱線

(線量計と校正テーブル) - (線量計のみ) = (校正テーブル)

$$(7975.146 \pm 72.00) - (8007.032 \pm 39.65) = -31.89 \pm 82.19 \text{ [mR/h]} \dots \textcircled{1}$$

1-2) 支持具による散乱線

まず、校正テーブル及び支持具による散乱線は以下のとおりである。

(線量計と校正テーブルと支持具) - (線量計のみ) = (校正テーブルと支持具)

$$(7953.31 \pm 21.40) - (8007.032 \pm 39.65) = -53.72 \pm 45.06 \text{ [mR/h]} \dots \textcircled{2}$$

よって、支持具のみによる散乱線は、演算②-①により以下のごとくである。

(校正テーブルと支持具) - (校正テーブル) = (支持具)

$$(-53.72 \pm 45.06) - (-31.89 \pm 82.19) = -21.83 \pm 93.73 \text{ [mR/h]}$$

しかし、支持具による散乱線の程度は真値に対して誤差範囲が大きいので有為値としない。

2. 距離2mにおける、成分ごとの散乱線による線量率を求める。

2-1) 校正テーブルによる散乱線

(線量計と校正テーブル) - (線量計のみ) = (校正テーブル)

$$(1935.706 \pm 1.37) - (1910.019 \pm 1.55) = 25.69 \pm 2.06 \text{ [mR/h]}$$

したがって、「線量計のみ」の場合に対する「校正テーブルによる散乱線」の割合は $25.69 / 1910.019 \times 100 = 1.34$ (%)

2-2) 支持具による散乱線

・校正テーブル及び支持具による散乱線

$$\begin{aligned} & (\text{線量計と校正テーブルと支持具}) - (\text{線量計のみ}) = (\text{校正テーブルと支持具}) \\ & (1938.395 \pm 1.18) - (1910.019 \pm 1.55) = 28.38 \pm 1.95 \text{ [mR/h]} \end{aligned}$$

よって、支持具のみによる散乱線は以下のごとくである。

$$\begin{aligned} & (\text{校正テーブルと支持具}) - (\text{校正テーブル}) = (\text{支持具}) \\ & (28.38 \pm 1.95) - (25.69 \pm 2.06) = 2.69 \pm 2.84 \text{ [mR/h]} \end{aligned}$$

支持具による散乱線の程度は真値に対して誤差範囲が大きいので有為値としない。

3. 距離3mにおける、成分ごとの散乱線による線量率を求める。

3-1) 校正テーブルによる散乱線

$$\begin{aligned} & (\text{線量計と校正テーブル}) - (\text{線量計のみ}) = (\text{校正テーブル}) \\ & (858.8966 \pm 7.61) - (839.8638 \pm 7.01) = 19.03 \pm 10.3 \text{ [mR/h]} \end{aligned}$$

したがって、「線量計のみ」の場合に対する「校正テーブルによる散乱線」の割合は $19.03 / 839.8638 \times 100 = 2.27$ (%)

3-2) 支持具による散乱線

・校正テーブル及び支持具による散乱線

$$\begin{aligned} & (\text{線量計と校正テーブルと支持具}) - (\text{線量計のみ}) = (\text{校正テーブルと支持具}) \\ & (863.4078 \pm 8.96) - (839.8638 \pm 7.01) = 23.54 \pm 11.38 \text{ [mR/h]} \end{aligned}$$

よって、支持具のみによる散乱線は、以下のごとくである。

$$\begin{aligned} & (\text{校正テーブルと支持具}) - (\text{校正テーブル}) = (\text{支持具}) \\ & (23.54 \pm 11.38) - (19.03 \pm 10.3) = 4.51 \pm 15.35 \text{ [mR/h]} \end{aligned}$$

支持具による散乱線の程度は真値に対して誤差範囲が大きいので有為値としない。

4. 距離4mにおける、成分ごとの散乱線による線量率を求める。

4-1) 校正テーブルによる散乱線

$$\begin{aligned} & (\text{線量計と校正テーブル}) - (\text{線量計のみ}) = (\text{校正テーブル}) \\ & (449.8602 \pm 5.58) - (444.2276 \pm 3.89) = 5.633 \pm 6.80 \text{ [mR/h]} \end{aligned}$$

校正テーブルによる散乱線の程度は真値に対して誤差範囲が大きいので有為値としない。

4-2) 支持具による散乱線

・校正テーブル及び支持具による散乱線

$$(\text{線量計と校正テーブルと支持具}) - (\text{線量計のみ}) = (\text{校正テーブルと支持具})$$

$$(450.3608 \pm 3.39) - (444.2276 \pm 3.89) = 6.133 \pm 5.160 \text{ [mR/h]}$$

よって、支持具のみによる散乱線は、以下のごとくである。

$$(\text{校正テーブルと支持具}) - (\text{校正テーブル}) = (\text{支持具})$$

$$(6.133 \pm 5.160) - (5.633 \pm 6.80) = 0.5 \pm 8.536 \text{ [mR/h]}$$

支持具による散乱線の程度は真値に対して誤差範囲が大きいので有為値としない。

以上