

γ 線基準校正場の維持管理

1997年10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線基準校正場の維持管理

江花 稔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

東海事業所の計測機器校正施設にはサーベイメータや個人線量計等の放射線測定器を校正するためのγ線基準校正場が設けられている。本件は動燃のγ線トレーサビリティ体系において電総研から直接、照射線量（率）の標準が移行されている東海事業所のγ線基準校正場の設定、維持管理についてまとめたものである。

γ線基準校正場の有効利用ならびに今後一層の校正場の精度および信頼性向上に資する。

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線基準校正場の維持管理

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 東海事業所基準γ線校正場	2
2.1 基準校正場の設定	2
2.2 照射室および照射装置	2
2.3 基準線量計	3
第3章 基準校正場の維持	5
3.1 基準校正場の性能	5
3.2 トレーサビリティ体系の維持	6
第4章 今後の課題	8

図一覧

図1：校正室平面図	9
図2：校正場の図面 照射室（A）	10
図3： ^{137}Cs 照射装置概略図	11
図4： γ 線照射装置概略図	12
図5：低エネルギー γ 線照射装置概略図	13
図6：ガラス線量計による照射野測定	14
図7：照射野（at 2 m）	15
図8：照射野（at 3 m）	15
図9：照射野概念図（照射室（A））	16
図10：特定二次標準器による照射野測定ポイント	17
図11： γ 線基準校正場のトレーサビリティ体系	18

表一覧

表1：線量率範囲〔照射室（A）〕	19
表2：線量率範囲〔照射室（B）〕	20
表3：基準線量計の変遷	21
表4：半減期補正值と実測値との比較	22
表5：逆二乗則適用値と実測値との比較	23
表6：基準線量率一覧	24

第1章 緒言

事業団では数多くの放射線測定機器が使用されている。その測定結果は現場の放射線管理に直接反映されるので測定値には確固とした信頼性がなくてはならない。信頼性の根拠の基本とするのは国家標準機関（通商産業省工業技術院電子技術総合研究所、以下「電総研」という。）へのトレーサビリティの確保である。しかし、測定機器の台数が増加するにつれて電総研へのトレーサビリティの確保のみならず各事業主体ごとに社内トレーサビリティ体系を確立する必要性が電総研より示された。このような社会情勢を鑑み事業団においても昭和54年に初めて全社的なトレーサビリティの体系化について検討^[1]がなされた。以来、社内トレーサビリティ体系の確立、および各事業所においては γ 線校正場の校正精度の維持向上に取り組んできた。その中で東海事業所は事業団の中心的事業所として位置付けられ、現在まで事業団の一次基準線量計の整備および維持・管理、一次基準校正場の設定ならびに精度の向上・維持に努め、他事業所の基準線量計等の校正業務を行ってきた。

第2章 東海事業所基準 γ 線校正場

2.1 基準校正場の設定

校正場の設定（または「値づけ」という。）とは、基準線量計を用いて照射装置から発生する γ （X）線の照射線量あるいは照射線量率を測定評価し、それを基準値として決定することをいう。この際、校正の信頼性を確保するために、基準となる照射線量等を測定する基準線量計は国家標準機関である電総研につながる体系のなかで、より上位の基準校正場において校正されていなければならない。

2.2 照射室および照射装置

昭和61年から放射線測定機器の定期点検、保守、校正を行う施設として現在の計測機器校正施設^[2]が運用されている。基準 γ 線校正場としては、照射室（A）、照射室（B）が挙げられる。室の概略図を図1および図2に示す。

照射室（A）には4種類の強度（555MBq、7.4MBq、74GBq、1.11TBq）の¹³⁷Csを内蔵したセシウム γ 線照射装置と自動校正台が配備され、パソコン制御によりサーベイメータ等の校正を遠隔操作で行うことができる。セシウム γ 線照射装置の照射口は角度22.6°の円錐型コリメータ式である。セシウム γ 線照射装置の概略図を図3に示す。

照射装置に内蔵されている線源の強度、および照射室（A）でカバーできる線量率範囲を表1に示す^[3]。

照射室（B）には、⁶⁰Co、¹³⁷Cs、²²⁶Raの γ 線源を内蔵した γ 線照射装置、⁵⁷Co、²⁴¹Am等を内蔵した低エネルギー γ 線照射装置を配備している。それぞれの照射装置の概略図を図4および図5に示す。照射室（B）でカバーする線量率範囲を表2に示す^[3]。

2.3 基準線量計

東海事業所では旧校正施設の時代から現在にいたるまで3種、4台の電離箱型基準線量計を使用しており約5年ごとに電総研による校正を受けてきた。表3にこれまで使用してきた基準線量計の変遷を示す。

平成7年まで、東海事業所で使用していた基準線量計は平成2年に購入し電総研により校正された自由空気型の電離箱型線量計（商標名：ラドコン線量計 [ビクトリーン社製：検出部550-3型、測定部500型]）であり、性能はJISZ-4511^[4]を満足していた。

2.3.1 基準線量率の測定評価

電総研での校正が終了し次第、基準校正場の設定や定期確認に使用してきた。校正場設定の精度を高めるために、基準線量計を線量測定開始24時間以上前から通電しウォーミングアップさせて線量計を安定させる。照射線量の測定は基準線量計に外づけの専用タイマーを併用して行い、同一線源、同一距離で3～10回測定し、平均値を求め、電総研による基準線量計の校正定数と気温気圧補正係数とをかけること（環境条件補正）により基準線量率としていた（式1）。環境条件補正は、照射線量の測定値は電離箱内の温度や気圧の影響を受けるのでこれらの補正を行うため必要である。基準校正場（照射室内）の気温を測定する温度計は水銀温度計であり東京管区气象台による検定済みのものを使用してきた。また照射室内の気圧の測定には気象庁による検定を受けたフォルタン型水銀気圧計を使用してきた。

$$\text{照射線量 (R)} = \text{測定値平均 (R)} \times F_{TP} \times CF \quad \dots \quad (\text{式1})$$

F_{TP} : 気温気圧補正係数

CF : 電総研校正定数

2.3.2 現在の γ 線用基準線量計

平成7年度からは、平成6年度に購入し計量法（平成4年に改正、同5年11月より施行）トレーサビリティ制度に基づく校正試験に合格し「特定二次標準器」として校正証明書を取得した線量計が基準線量計となった。

平成6年度まで使用していた基準線量計の構成は電離箱検出器と計測部及びタイマーであったが、本特定二次標準器の構成は電離箱検出器と計測部は変わらないが、タイマーの代わりにデジタルマルチメータを使用し、線量測定及び評価（環境条件補正計算や平均値、変動係数などの算出）はPCパソコンにより自動的に行われるようにした。また、その他校正業務に使用する機器等も精度向上のために、温度計は被測定器検出器（電離箱）の直近の温度が測定できるようにデジタル表示部と記録計を備えた温度センサー（電総研、あるいは計量研までトレーサビリティが確保されている。）に更新し、気圧計（フィンランドの認証機関による校正済み）もデジタル表示部を備えたものに更新し、表示部を照射準備室（操作室）に設置し照射室に入ることなく迅速簡便に気温気圧を測定できるようにしたなど、測定者の違いなどによる誤差のないよう、また系統的誤差等を小さくするようさまざまな改良を加えた^[5]。

第3章 基準校正場の維持

3.1 基準校正場の性能

第2章で述べた要領で基準校正場が設定されるとその場（照射室）はサーベイメータ等の現場測定器の校正に使用される。現場測定器による測定結果は放射線管理に直接反映されるため、基準校正場は常にその精度ならびに測定の信頼性を維持し続ける必要がある。

このような観点から、毎年定期的に基準線量計により基準校正場を測定評価し前年の測定値との比較を行い、場の設定に問題のないことを確認している。最も頻繁に利用される照射室（A）にある強度1.11TBqのセシウム線源に関して、照射線量率の年別（平成2年～8年）の測定結果を表4に示す。年別に基準校正場の値づけは半減期に従った減衰以外に有為な変動はなく、半減期補正值と実測値とは良く一致しており（偏差1%以内）校正場が適切に維持されてきたことがわかる。

また、定常業務としてサーベイメータ等の校正を行うときには照射室（A）でのパソコンによる自動校正装置利用がメインである。自動校正装置では半減期補正や距離による逆2乗補正（2mを基準としている）は自動的に行われ所要の線量率、積算線量、あるいは照射の時間による制御等が目的に応じて自由に利用できるようになっている。このパソコンによる計算値（2m基準から逆2乗則による補正值）は、 $2.58 \times 10^{-6} \text{c/kg/h}$ （10mR/h）以上の線量率では各距離における実測値と1%以内で、また $2.58 \times 10^{-6} \text{c/kg/h}$ （10mR/h）以下の線量率でも2.2%以内で一致しており、サーベイメータ校正などの定常利用のときに問題なく自動校正装置が使用できることを確認している（表5参照）。実測値と距離の逆2乗則による値が良く一致しているのは支持具からの散乱線の影響が無視できるほど少ない^[6]ためである。よって、東海事業所では基準校正場の維持として、基準線量率は半減期補正および距離の逆2乗則に基づき運用している。

平成9年現在、基準校正場で得られる基準線量率一覧を表6に、線量率範囲を表1および表2に示す。

また、基準校正場として使用頻度の最も高い照射室（A）のセシウム照射装置に関して、ガラス線量計及び特定二次標準器を用いて照射野の大きさ及び均一性を調べた。70個のガラス線量計（東芝硝子(株)製、SC-1）を縦に5段（40cm）、横に14個／各段（36cm）に並べて（図6）、距離2m～3m、線量率 5.01×10^{-4} c/kg/h（1940mR/h）（at2m）または 2.22×10^{-4} c/kg/h（860mR/h）（at3m）で共に 2.58×10^{-4} c/kg/h（1000mR）照射し、中心（下から3段目、左から7個目）のガラス線量計を基準にしたときの各ガラス線量計の読みとり値の偏差で表わし、照射野大きさの概略イメージを得た（図7および図8）。その後、特定二次標準器による1m～3mでの測定結果から、照射野の大きさはコリメータ角度からの計算値に比べて約半分の直径であることが判明した（図9）^[5]^[6]。一方、均一性については、偏差の大きかった部分について特定二次標準器を用いて測定し中心との偏差をもとめた。その結果、距離1mでは照射軸中心から半径10cm以内、距離2m以上では半径20cm以内の範囲の均一性は3%以内と良好であり、実際に現場測定器の校正を行う際には、定常の校正試験に使用する上で問題はないことが確認できた（図9および図10）。ガラス線量計による測定結果では線量の強い部分が中心からずれていたが、特定二次標準器による測定で照射野中心が最も高い線量率であることを確認している（図10）これはガラス線量計の感度のばらつきや測定精度（約4%程度）に起因するものであると判断した。

3.2 トレーサビリティ体系の維持

東海事業所計測機器校正施設では電総研より直接校正を受けた γ 線用基準線量計を所有、管理している。東海事業所計測機器校正施設では定期的に動燃の他事業所（大洗工学センター、もんじゅ建設所、人形峠事業所）が所有、管理している基準線量計を校正している。一方、ふげん発電所の

基準線量計は電総研の大阪ライフエレクトロニクスセンターにて校正されている。各事業所はそれぞれの基準線量計を用いて基準校正場を設定している。図11に γ 線基準校正場のトレーサビリティ体系を示す。

基準校正場の維持管理は各事業所ごとに適切に行われてきている。各事業所の基準線量値はすべて国家標準である電総研につながっているため、各事業所の基準校正場の評価値はある一定の精度をもって一致するはずである。ところが、校正手法や校正場の形状、あるいは基準線量計を取り扱う者などが異なるため、ある程度の誤差を生ずる。各事業所における校正場の精度向上、校正手法の標準化を図るため、また万が一ある事業所の基準校正場の基準線量値に何らかの異常が生じた場合にいち早く発見するためには、定期的に事業所間の基準線量値の横並び（コンパティビリティ）を確認しておくことが有効である。

平成3～4年にかけて、放管機器校正技術検討会（安全部）で基準線量計による校正場の事業所間相互比較を行い全社で $\pm 3\%$ 以内で一致するという結果を得、各事業所とも適切な精度で基準校正場が維持されていることを確認した^[7]。また、このような相互比較は校正場の確認に非常に有効であるため定期的に実施することが好ましい。しかし、基準線量計による方法は基準線量計の運搬時における破損のリスクや評価に時間がかかることなどから、より簡便な相互比較手法としてガラス線量計を用いる方法を採用した。

平成6年～8年にガラス線量計による相互比較を試験的行った結果、全事業所校正場間で $\pm 4\%$ 以内で一致し、ガラス線量計が相互比較の簡便法として利用できることを確認した^{[8] [9] [10] [11] [12]}。

第4章 今後の課題

γ 線基準校正場における照射設備等の品質保証を強化しさらに精度と基準場に対する信頼性を高めることが重要である。また、各事業所校正場の照射精度、作業者の技術等を確認するためにガラス線量計を用いた基準校正場の相互比較を定期的実施する^[13]。

参考文献

- [1] 放射線測定機トレーサビリティ技術の現状と問題点 N141-81-01
- [2] 保健物理、24、345～352 (1989)
- [3] 放管機器校正技術検討会検討結果報告書 PNC PN 1420 93-004
- [4] JISZ-4511 照射線量測定器及び線量当量測定器の校正方法
- [5] γ 線基準校正場における校正精度の精密評価(仮題) (登録予定)
- [6] γ 線基準校正場の散乱線評価(その1) (登録中)
- [7] 放管機器校正技術検討会検討結果報告書Ⅱ PNC PJ 1410 94-028
- [8] 放管機器校正技術検討会検討結果報告書Ⅳ PNC PN 1410 96-019
- [9] 平成6年度東海事業所研究開発等成果報告会資料集(安全管理)
PNC PN8410 95-059
- [10] 平成7年度東海事業所研究開発等成果報告会資料集(安全管理)
PNC PN8410 96-049
- [11] 動燃技報No.97 「 γ 線標準校正場の品質保証」
- [12] 日本保健物理学会第30回研究発表会要旨集A-1 「ガラス線量計を用いた校正用 γ 線場の相互比較」
- [13] 日本保健物理学会第32回研究発表会要旨集B-21 「ガラス線量計を用いた校正用 γ 線場の相互比較(2)」

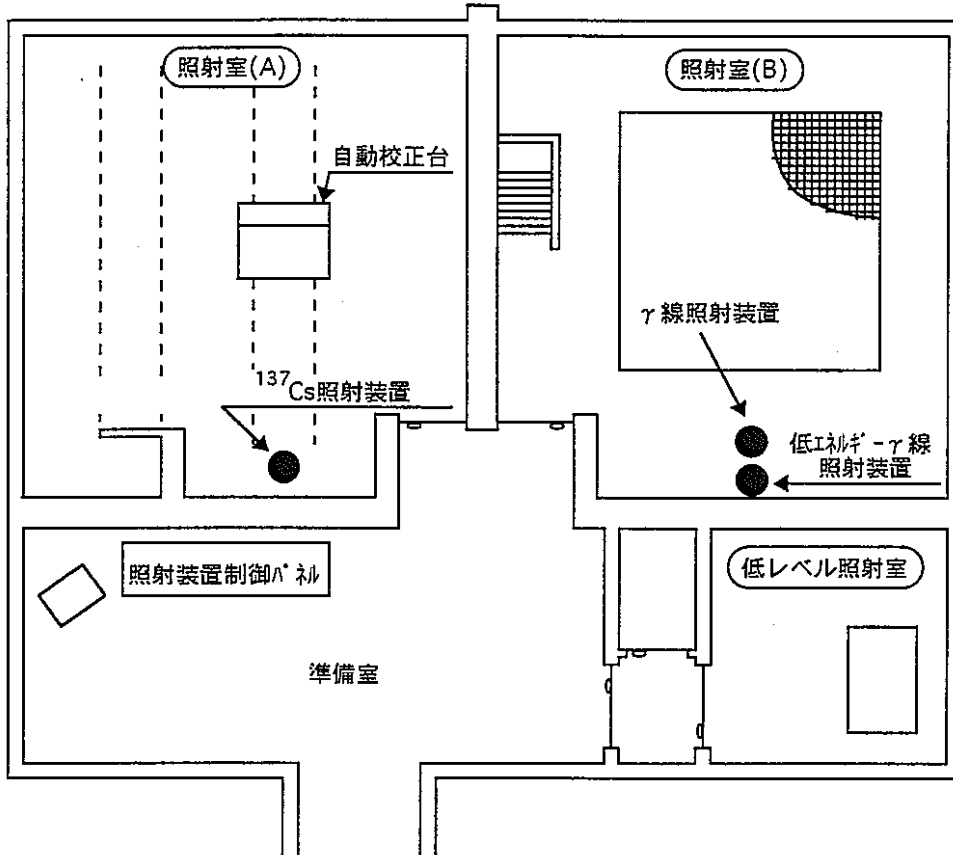
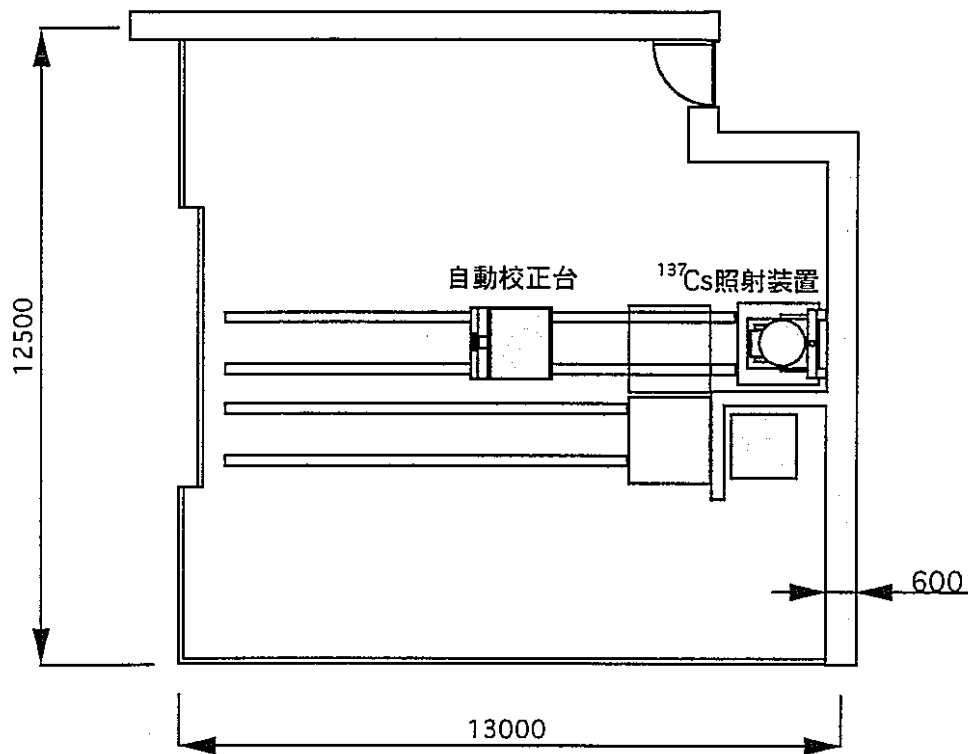
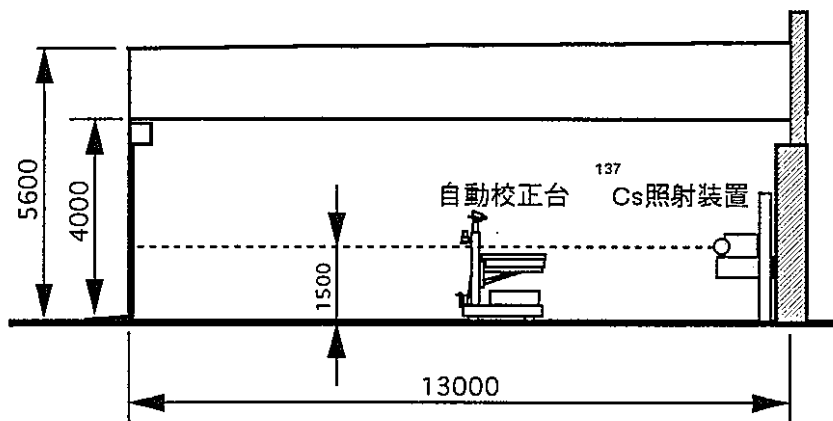


図1 校正室平面図



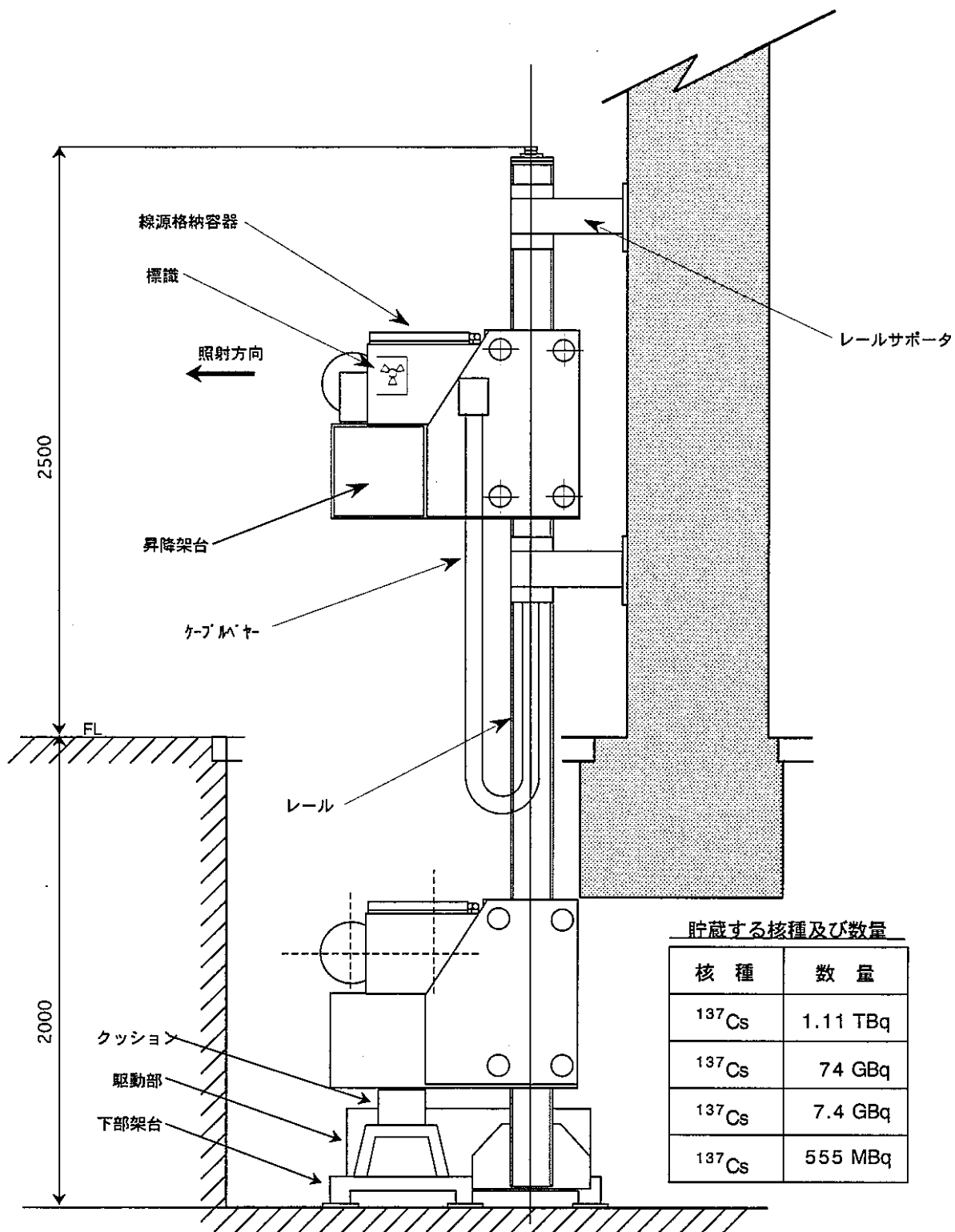
(平面図)



(立面図)

図2 校正場の図面 照射室 (A)

単位：mm



単位：mm

図3 ^{137}Cs 照射装置 概略図

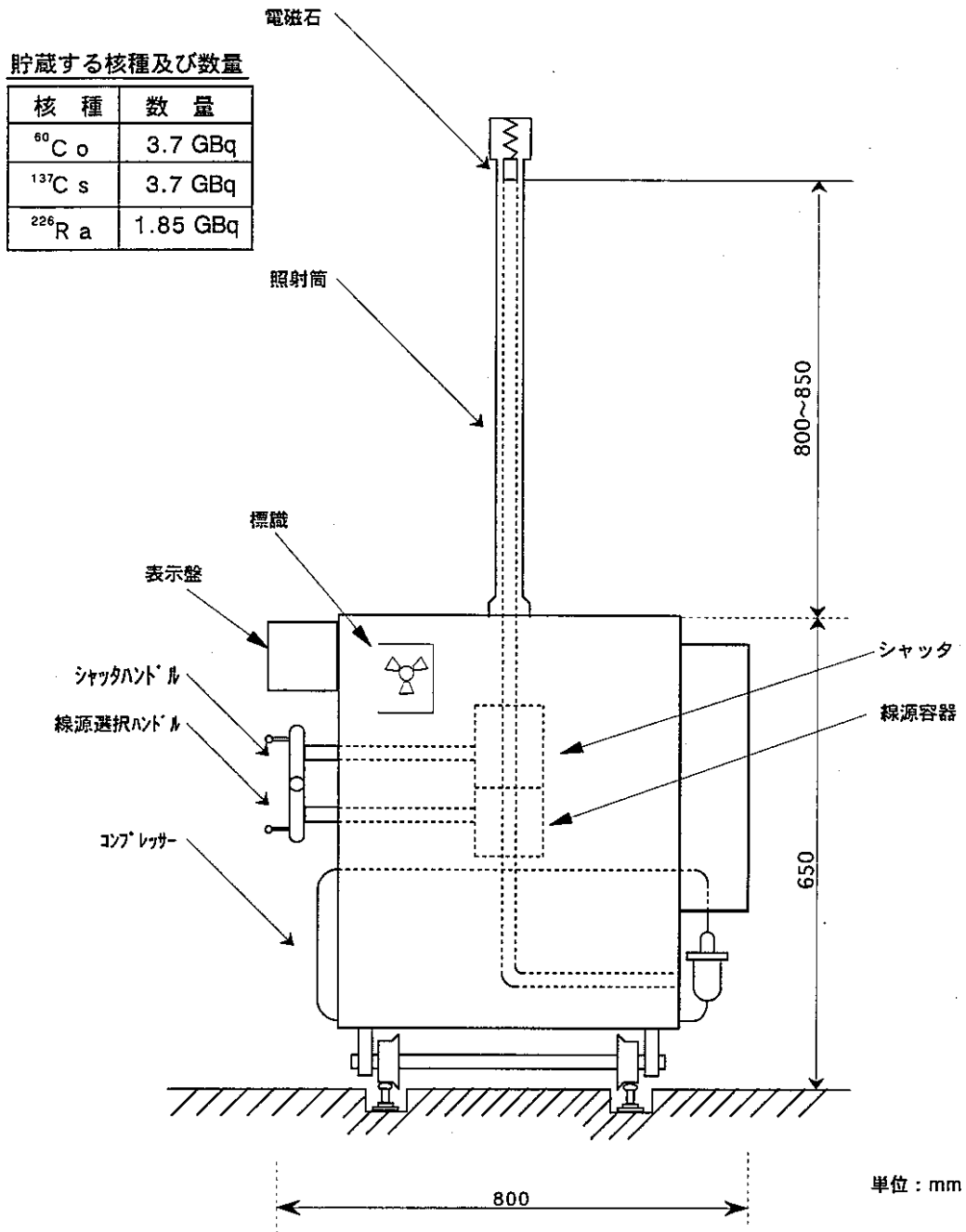


図4 γ 線照射装置 概略図

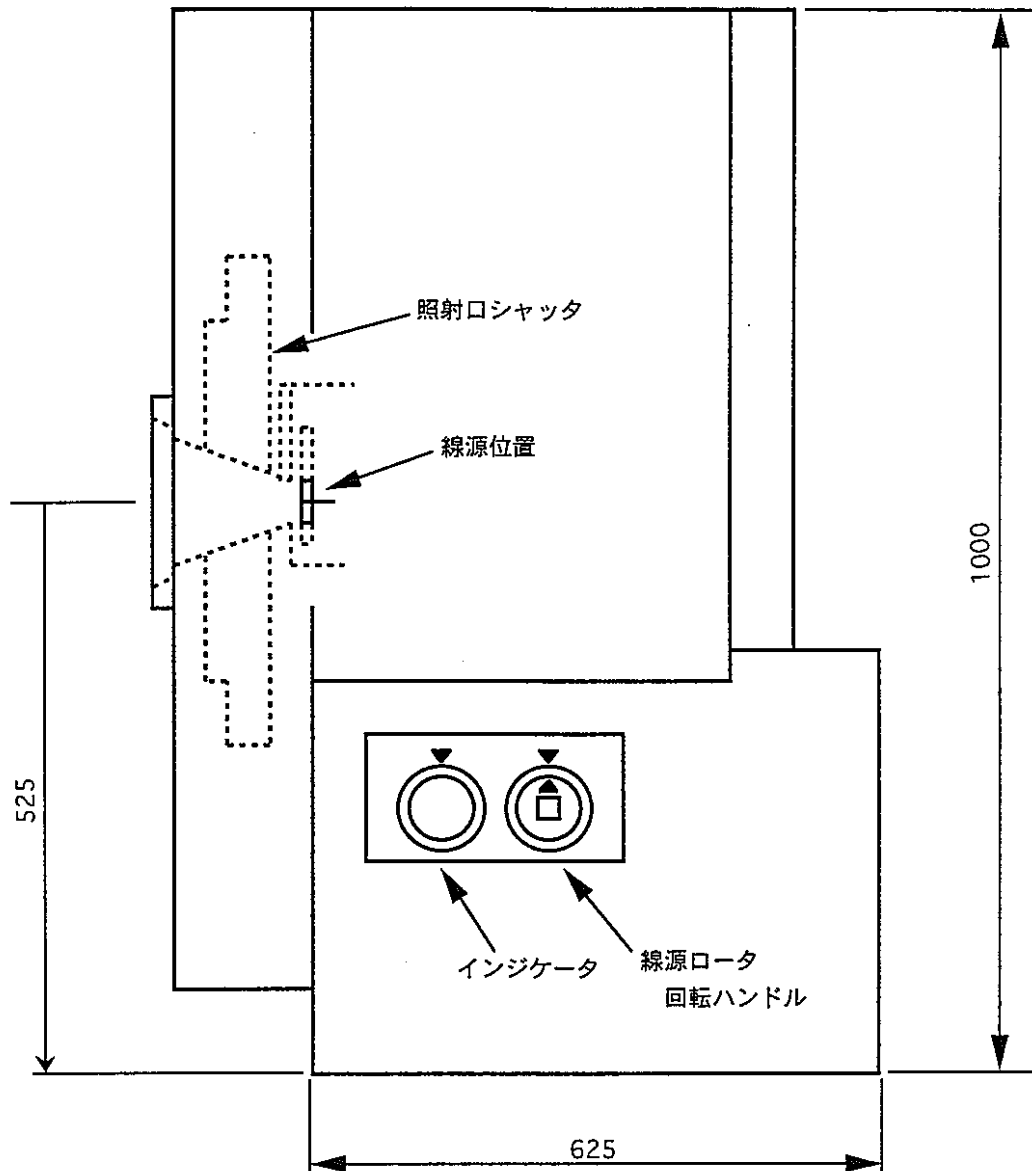


図5 低エネルギー γ 線照射装置概略図

単位：mm

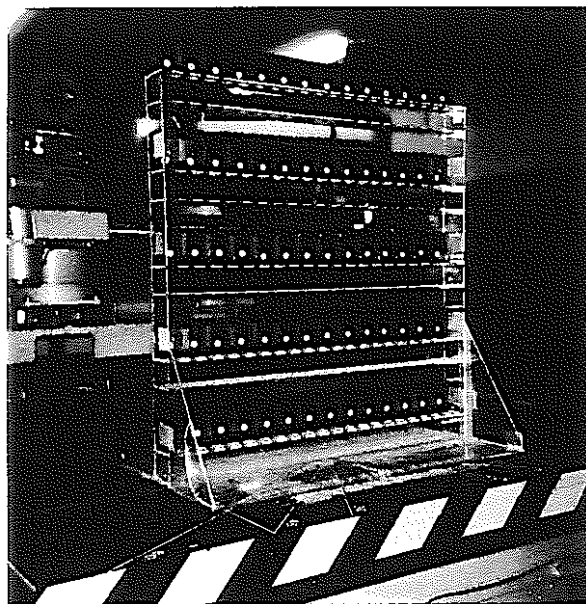


図6 ガラス線量計による照射野測定

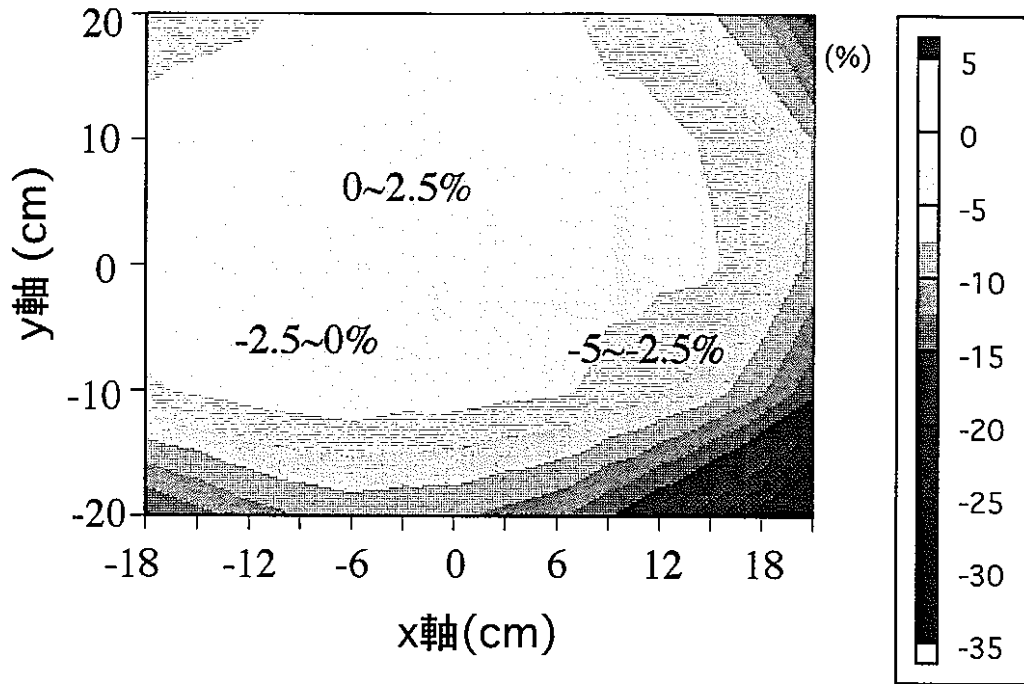


図7 照射野 (at2m)

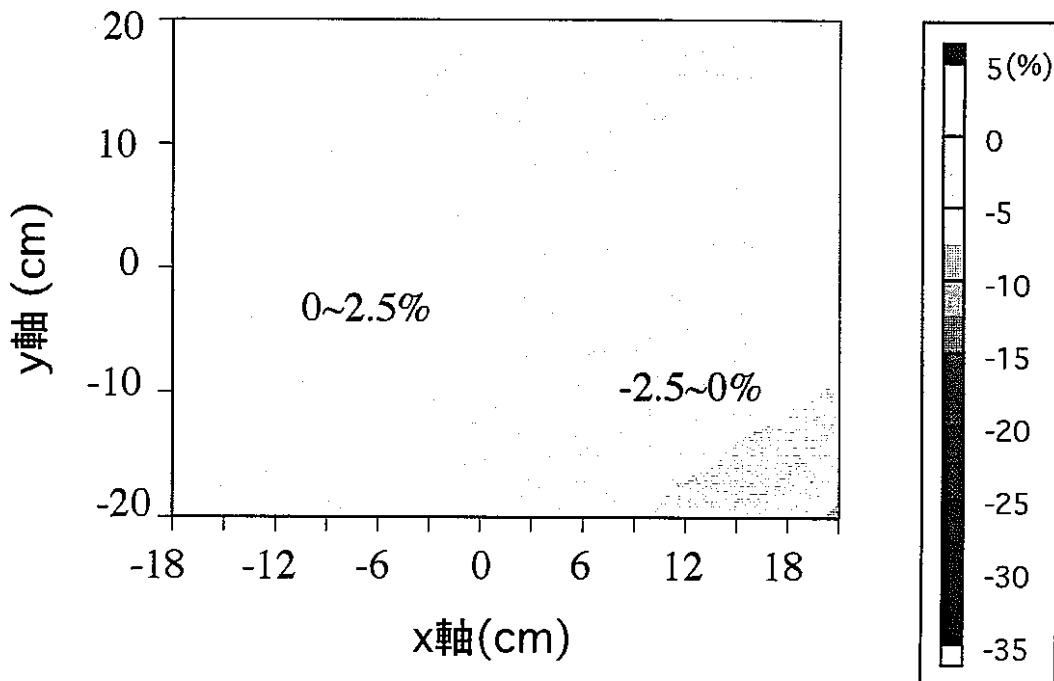


図8 照射野 (at3m)

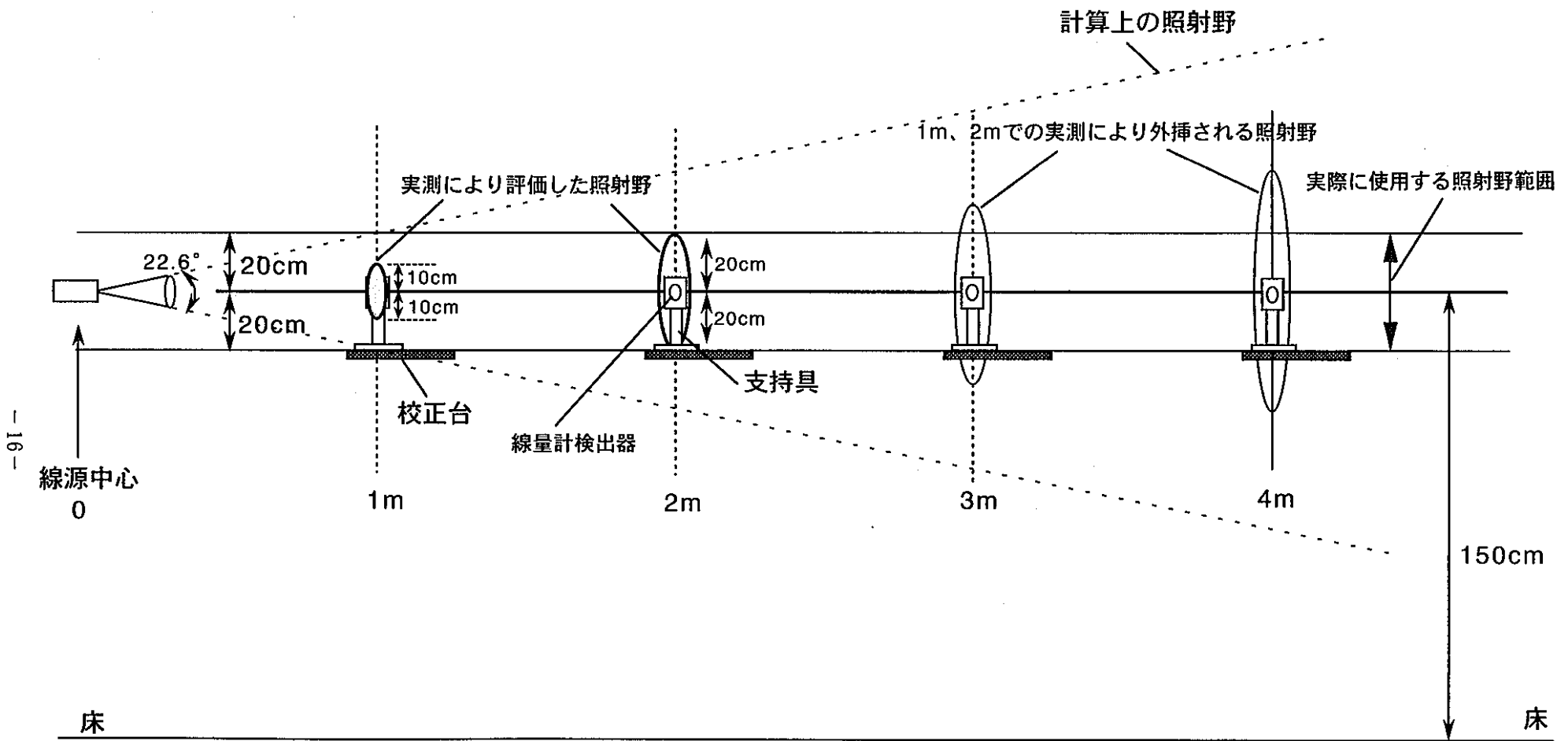


図9 照射野概念図 (照射室 (A))

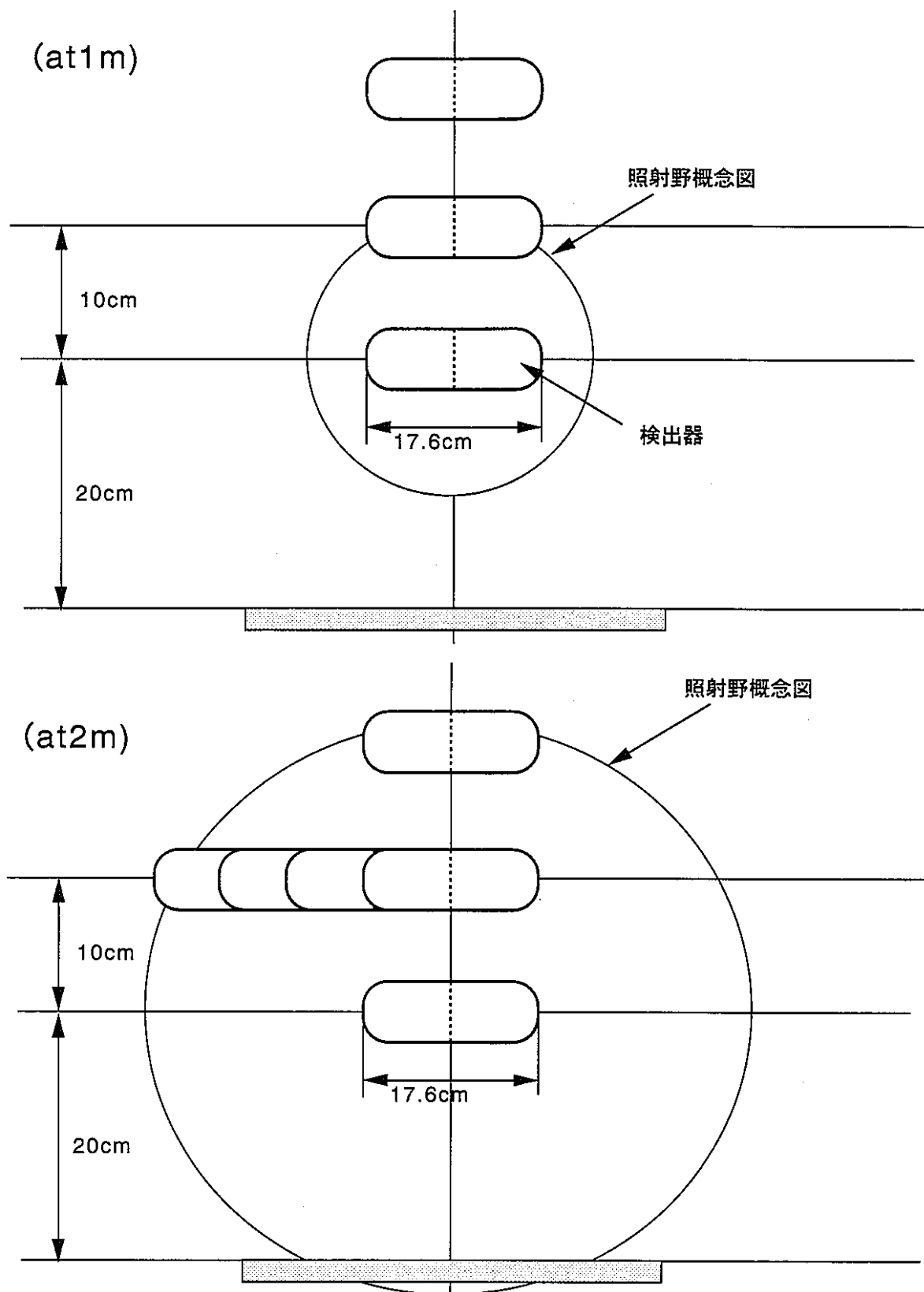


図10 特定二次標準器による照射野測定ポイント

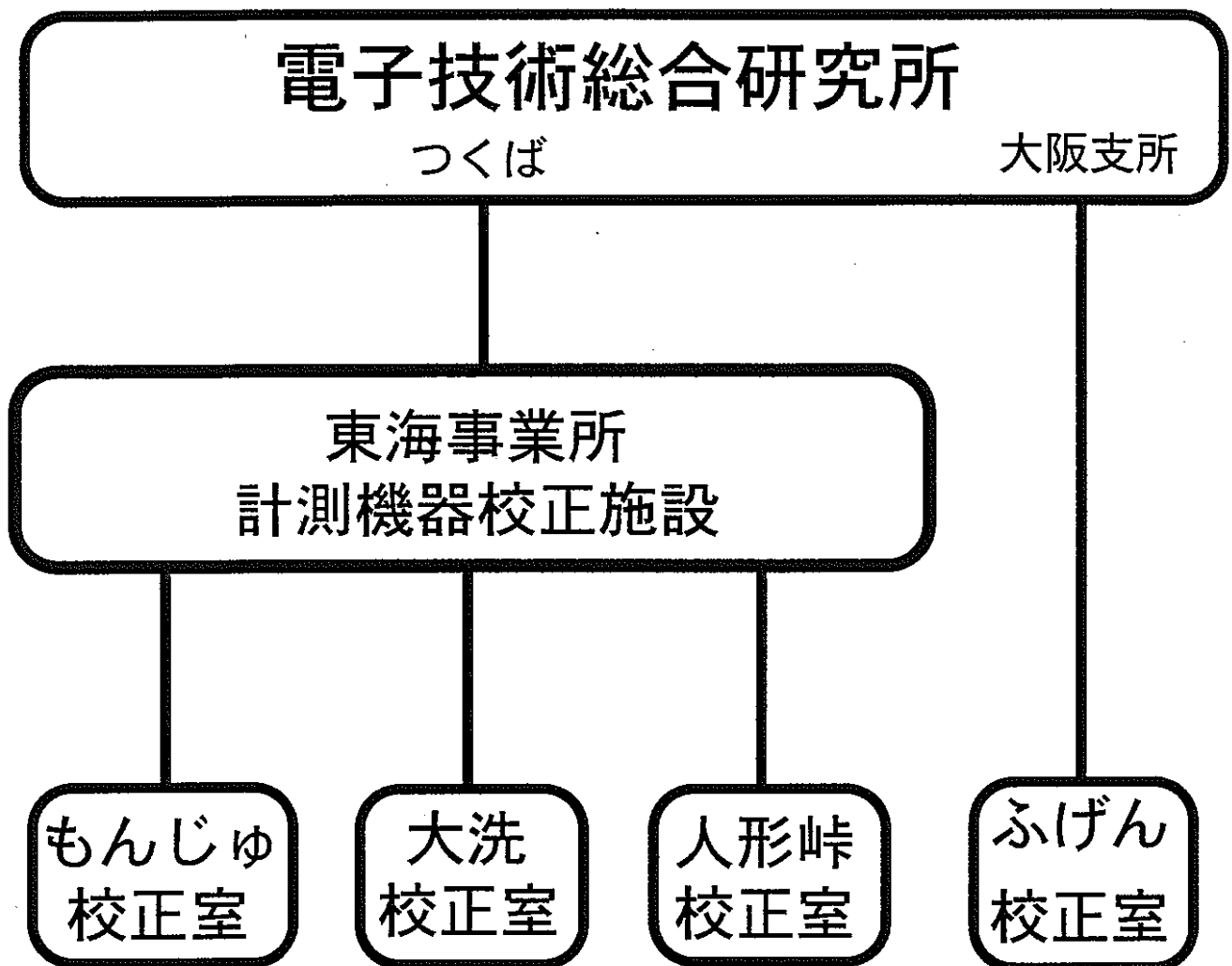


図11 γ 線基準校正場のトレーサビリティ体系

表 1 線量率範囲 [照射室(A)]

照射室	照射装置	強度	照射方式	線量当量率※							
				1 $\mu\text{Sv/h}$	10 $\mu\text{Sv/h}$	100 $\mu\text{Sv/h}$	1 mSv/h	10 mSv/h	100 mSv/h	1 Sv/h	
照射室 (A)	^{137}Cs 照射装置	1.11 TBq	ビーム照射					■			
		74 GBq					■				
		7.4 GBq	自動校正台			■					
		555 MBq		■							

※ 平成9年4月1日現在

表2 線量率範囲 [照射室(B)]

照射室	照射装置	核種・強度 $\mu\text{Sv/h}$	照射方式	線量当量率※						
				0.01 $\mu\text{Sv/h}$	0.1 $\mu\text{Sv/h}$	1 $\mu\text{Sv/h}$	10 $\mu\text{Sv/h}$	100 $\mu\text{Sv/h}$	1 mSv/h	10 mSv/h
照射室 (B)	γ 線照射装置	^{60}Co 3.7 GBq	4 π 照射				—————			
		^{137}Cs 3.7 GBq						—————		
		^{226}Ra 1.85 GBq						—————		
	低エネルギー γ 線照射装置	^{241}Am 2.96 GBq	ビーム照射					—————		
		^{57}Co 7.4 GBq						—————		

※ 平成9年4月1日現在

表3： 基準線量計の変遷

年度	S 4 7 ~ S 5 3				S 5 3 ~ S 5 8				S 5 8 ~ S 6 2				S 6 2 ~ H 2				H 2 ~ H 7				H 7 ~			
基準器	Rメータ (ヒ'クトリン社製) 測定部 電位計 570型				アイオネックス線量計 (ニ-クリ7 インテ'ライズ社製) 測定部 2500/3 検出器 電離箱 2511型 (600cc) 2530型 (30cc)				ラドコン線量計 (ヒ'クトリン社製) 測定部 500型 検出器 電離箱 550-4 (33cc) 550-3 (330cc)				ラドコン線量計 (ヒ'クトリン社製) 測定部 500型 検出器 電離箱 550-4 (33cc) 550-3 (330cc)				ラドコン線量計 (ヒ'クトリン社製) 測定部 500型 検出器 電離箱 550-3 (330cc)							
	検出器 電離箱																							
	130	188	227	621																				
基準器の校正	電総研 昭和47年3月				電総研 昭和53年6月				電総研 昭和58年5月				電総研 昭和62年4月				電総研 平成2年7月				電総研 平成7年6月			
基準器の校正の量	照射線量																照射線量及び照射線量率							
	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	^{60}Co	1.安定度検査	2.エネルギー特性 ^{137}Cs , ^{60}Co	3.目盛校正 (1)照射線量率依存性 (レンジⅢ) $4.999 \cdot 10^{-4}$, $7.241 \cdot 10^{-4}$, $1.140 \cdot 10^{-3}$, $1.497 \cdot 10^{-3}$, $2.049 \cdot 10^{-3}$, $2.972 \cdot 10^{-3}$ (C/kg/h)	(2)異なるレンジ間及び同一 レンジ内の直線性 レンジ 指示値(V) Ⅰ 0.16 Ⅱ 1.6 Ⅲ 6.4 Ⅳ 10.4 Ⅴ 16.4
基準器の校正頻度	不定期																2年ごと							
照射室	長さ25 (m) , 幅8.5 (m) , ビーム中心1.25 (m)												長さ13 (m) , 幅12.5 (m) , ビーム中心1.5 (m)											
校正線源	^{60}Co 横コリメート型												^{137}Cs 横コリメート型											

表4 半減期補正值と実測値との比較

	平成2年	平成3年	平成4年	平成5年	平成8年
実測値*1 (mR/h)	2200.9	2143.6	2099.9	2056.5	1932.9
半減期補正值*2 (mR/h)	-	2150.6	2101.5	2053.5	1916.0
偏差	-	-0.33%	-0.08%	0.14%	0.88%

*1) 実測は複数日に渡って実施するので全て当該年内の7月1日に補正した。

*2) 平成2年7月1日に補正した値を基準として算出した。

表5 逆二乗則適用値と実測値との比較

線源	距離	各距離で測定した 線量率 (実測値) [mR/h]	2m(1m)を基準と したときの逆二乗 則による計算値 [mR/h]	実測値を基準とし た時の、計算値の 実測値からの偏差 [%]
1.11TBq	1m	7765.767	7774.14	0.11
	2m	1943.535	1943.535 (基準)	-
	3m	865.0398	863.7933	-0.14
	4m	483.0973	485.88375	0.58
74GBq	1m	608.6407	612.8924	0.70
	2m	153.2231	153.2231 (基準)	-
	3m	68.22400	68.09916	-0.18
	4m	37.98609	38.30578	0.84
7.4GBq	1m	49.66025	49.19572	-0.94
	2m	12.29893	12.29893 (基準)	-
	3m	5.505649	5.466191	-0.72
	4m	3.142297	3.074733	-2.2
555MBq	1m	3.661795	3.661980 (基準)	-
	2m	1.016595	0.915449	-9.9

*測定日が複数日にわたった（平成8年3月1日から同3月19日）ので、線量率は比較のために平成8年4月5日現在に半減期補正した。

表 6 基準線量率一覧

照射装置	核種・強度	基準線量率 ※		
		線量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	吸収線量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	照射線量率 (mR/h)
^{137}Cs 照射装置	^{137}Cs 1.11 TBq	19566.25	16640.81	1899.64
	^{137}Cs 74 GBq	1542.55	1311.92	149.76
	^{137}Cs 7.4 GBq	123.82	105.31	12.02
	^{137}Cs 555 MBq	10.20	8.67	0.99
γ 線照射装置	^{60}Co 3.7 MBq	102.91	90.34	10.38
	^{137}Cs 3.7 GBq	243.80	205.93	23.67
	^{226}Ra 1.85 MBq	453.86	329.05	37.82
低エネルギー γ 線照射装置	^{241}Am 2.96 GBq	632.73	362.16	41.63
	^{57}Co 7.4 GBq	123.05	78.72	9.05

※ 基準線量率の基準距離は、 ^{137}Cs 照射装置に関しては 2 (m)、 γ 線照射装置および低エネルギー γ 線照射装置については 1 (m)としている。
また、基準線量率は平成 9 年 4 月 1 日現在の値である。