



放射線管理用機器の管理

関 昭雄 野田 喜美雄 百瀬 琢磨
東海事業所安全管理部

資料番号：60-11

Maintenance and Calibration of Radiation
Monitoring Instruments

Akio Seki Kimio Noda Takuma Momose
(Health and Safety Division, Tokai Works.)

放射線管理に使用される放射線測定器や警報装置等の放射線管理用機器の保全是、安全を確保する上で極めて重要である。再処理工場をはじめとする各種核燃料サイクル分野の施設がある東海事業所は、大規模な機器の長い管理経験を持ち、保全に関する技術を蓄積している。昭和61年4月には、保全対象機器の増加に対応して規模を拡大した新しい計測機器校正施設を完成させ、使用を開始した。施設の設計にあたっては、これまでの経験を生かし、目的別の照射室の設置と校正上好ましくない散乱放射線の低減化をした他、照射作業の省力化をはかって校正装置の自動化を進めた。これまでに得られたデータを基に、この計測機器校正施設の概要を記し、主な照射設備の紹介を行うと共に、過去数年間の保全の経験についてまとめた。

Key Words: Radiation Control, Radiation Monitoring Instruments, Calibration, Maintenance,
 γ -ray Source, Automatic Calibration System, γ -ray Scatter, Monitor Trouble.

1. はじめに

放射線管理のためにさまざまな放射線測定が行われているが、これらの測定結果は施設内あるいは周辺環境の安全確認の根拠として、また作業員の被ばく線量の低減化、作業方法の改善等に直接反映されるため、常に十分な信頼度が要求される。このため、測定、評価方法の確立はもとより放射線管理用機器の適切な保全が重要である。関係法令等においても、これら機器の定期検査、校正が義務付けられている。

東海事業所内各施設には現在約2,000台を超える放射線管理用機器が配備されているが、これらの定期点検、校正及び修理は全て安全管理部計測機器校正施設を拠点として実施している。定期点検の内容及び頻度は機器の種類によって異なるが、総合的な動作試験及び校正は全ての機器について年2回である。

東海事業所における放射線管理用機器の保全の経験は長く、本格的な点検、校正施設として建設された旧校正室の使用開始から10年が経過した。この間、再処理

工場をはじめとする各種施設の増設により、定期点検及び校正の対象となる機器の台数が増加する一方で、点検、校正の方法も高精度化、自動化にむけて改良が進められて来た。新しい計測機器校正施設は、増加する保全業務に対応するため、昭和60年4月に建設が開始され、同10月に竣工した。建設された新施設は昭和61年2月に管理区域の設定が行われ、同4月から使用が開始された。現在、保全業務を実施する一方、校正設備の充実と点検、測定技術の開発が進められている。

これらの経緯をふまえ、本稿では計測機器校正施設の概要と、主な照射設備の性能及び過去数年間の保全の経験に基づきまとめた放射線管理用機器の故障の現状について報告する。

2. 計測機器校正施設

2.1 建屋

計測機器校正施設はプルトニウム燃料第3開発室東側の海岸に面した場所に建設され、建屋は放射線

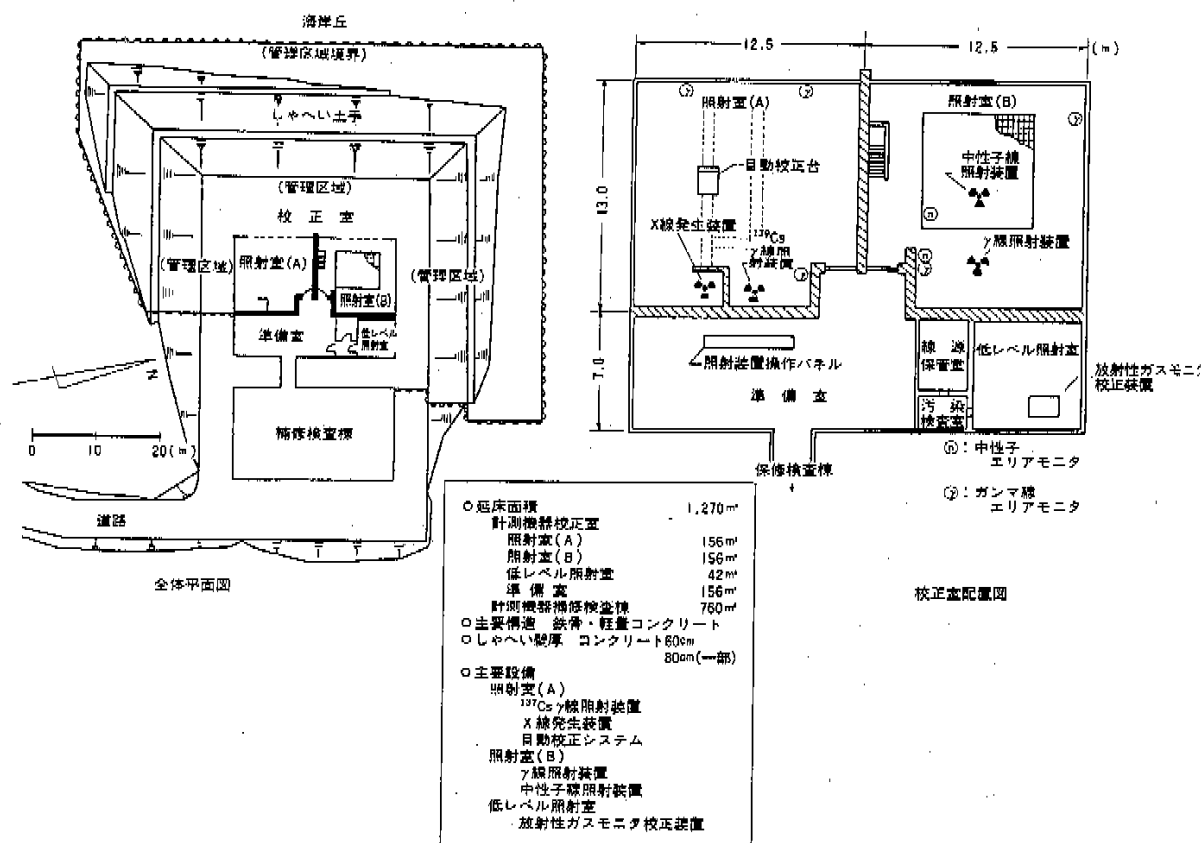


図1 計測機器校正施設概要

の照射を行う校正室と電子回路の検査及び故障修理等を行う補修検査棟に分かれている。このうち校正室には放射線の種類と線量レベルに応じた3室の照射室が設けられている。図1に施設概要と校正室配置図を示す。照射室(A)と照射装置操作パネルのある準備室を区切るしゃへい壁は高さ5.6m、厚さ60cmのコンクリート製である。照射室(A)と照射室(B)間の壁は高さ4.2m、厚さ60cmである。また、照射室(B)と低レベル照射室間の壁厚は、低レベル照射室の線量率が照射室(B)の影響を受けないよう配慮し80cmとなっている。本施設の設計にあたっては、校正の条件として好ましくない放射線照射中の散乱放射線によるエネルギースペクトルの乱れをできる限り低減化するために壁及び屋根、天井材等に軽いつ材の建材を採用した。即ち、建屋外壁は鉄骨構造で、壁材として厚さ10cmの軽量発泡コンクリート(ALC板: 絶対比重0.5)を使用している。床から天井までの高さは、照射室(A)、(B)において4.0m、低レベル照射室において2.6mで天井材質は厚さ6mmの石綿板である。このようにしゃへい壁が片面のみの

ため、放射線の放出される方向の大部分は床面を除き散乱体の少ない条件となる。校正室建屋外周は海岸丘を方状に切り通した土手となっており、しゃへい用の土手として利用されている。

2.2 照射設備

照射室(A)にはX線発生装置と ^{137}Cs γ線照射装置があり、いずれもビーム状に放射線を放出させることができる。本照射室では、特に定常的な校正作業の省力化や校正精度の向上を図る目的で自動校正システムが設置されており、 ^{137}Cs γ線照射装置と自動校正台とをコンピュータで制御することにより、短時間のうちに多数の放射線測定器を校正することができる。

照射室(B)には $^{238}\text{Pu}-\text{Be}$ 、 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 、 ^{252}Cf を内蔵した中性子線照射装置及び ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{226}Ra を内蔵したγ線照射装置があり、いずれも4π方向の照射が行える。中性子線の床面による散乱の影響を防ぐため、室内中央には6.0×6.0×2.0mの地下ビットが設けられ、このビットの天井部、即ち照射室

照射室	照射装置・線源		線 量 率							
			1 μrem/hr	10 μrem/hr	100 μrem/hr	1 mrem/hr	10 mrem/hr	100 mrem/hr	1 rem/hr	10 rem/hr
照射室 (A)	X線発生装置	250kVp-5mA								
		³⁰ Co								
	¹³⁷ Cs γ線照射装置	2Ci								
		0.2Ci								
		0.015Ci								
照射室 (B)	γ線照射装置	⁶⁰ Co-0.1Ci								
		¹³⁷ Cs-0.1Ci								
		²²⁶ Ra-0.05Ci								
	中性子線照射装置	²³⁸ Pu-Be10Ci								
		²⁴¹ Am-Be 1Ci								
低レベル照射室										

図2 主な基準線源と線量率範囲

(B)の床面には鉄製グレーチングが敷かれている。グレーチング中央には中性子線照射装置の照射筒が固定されており、中性子線源が地下ビットからグレーチング床上1.2mの高さにエアシュータで送り出され、照射筒上限で電磁石により保持される構造となっている。

低レベル照射室には、環境モニタリング用機器の校正等を行うための比較的放射能の弱い線源が準備されている他、非密封の放射性ガス(⁸⁵Kr、³H、¹⁴C)を用いてガスモニタの校正を行うための基準測定器、ガス循環装置、フード、排気設備等が設置されている。なお、この照射室では非密封の放射性同位元素を取扱うことから、入口に汚染検査室が設けられている。

校正室で保有する主な線源と得られる線量率の範囲を図2に示す。

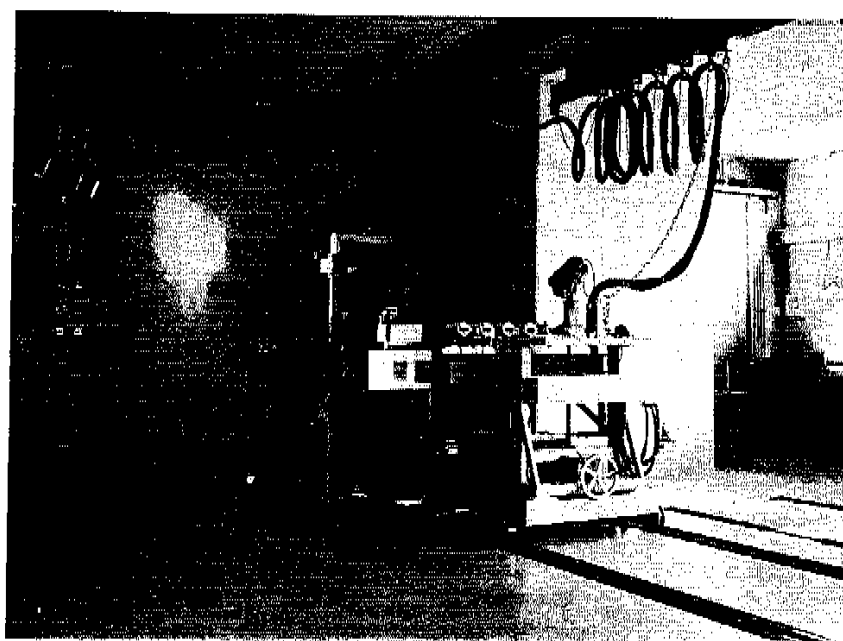
3. 自動校正システムの概要

計測機器校正施設の諸設備のうち、その中心となる自動校正システムについて、¹³⁷Cs γ線照射装置を組合せて使用した場合の性能について述べる。

3.1 装置概要

自動校正システムは¹³⁷Cs γ線照射装置と自動校正台、操作パネル等から構成されている。¹³⁷Cs γ線照射装置の線源格納容器は直径580mm、高さ360mmの鉛製で、厚さ10mmの鉄製外枠で囲まれている。線源の放射能は30Ci、2Ci、200mCi、15mCiの4種類である。照射口前面に鉛厚155mm相当の円筒形シャッタがあり、照射時にはこのシャッタが開き、鉛製コリメータにより中心軸から開き角度11.3°(1mの距離において照射半径20cm)の円錐状にγ線が放射される。床から照射野中心までの高さは通常1.5mに設定される。得られる照射線量率の範囲は、線源の放射能と照射距離の選択により0.1mR/h～40R/hの範囲である。但し自動校正台を使用した場合、距離設定が0.9m以上となるため、最大線量率は10R/h程度となる。

自動校正台は縦1.5m×横1.4mで、巾1.2m、長さ10mの軌道上を照射軸方向へ前後に移動する。自動校正台の校正用テーブルは1m×1mで床からの高さは通常1.3m(照射野中心の下方20cm)に設定されている。本テーブルは、照射軸に対し直角方向へ左右に40cm以内で移動可能なため、テーブル上に並列に配置された5台の被校正測定器を順次、短時間内

写真1 ^{137}Cs γ 線照射装置と自動校正台

に校正することができる。また、線源からの距離の測定方法は、ラックアンドピニオンを利用したエンコーダによる機械的計測と、レーザ光を利用した計測法を独立して併用しており、その位置決め精度は1 m～9 mの範囲で設定値に対していずれも ± 1 mm以内である。また、この自動校正台は、X線発生装置を用いた校正作業に対しても使用できるようになっており、レールトラバースにより両照射装置用軌道間を移動することができる。これらの装置の概要を写真1に示す。

^{137}Cs γ 線照射装置及び自動校正台の動作制御は、準備室の操作パネルにおいてマイクロコンピュータによる対話形式で行い、照射する線量率に適した線源の選択、照射距離の計算、自動校正台の移動等を行うと共に、校正結果の処理や線源使用記録作成も可能である。本システムにより、校正作業のみに着目した場合、作業に要する時間は距離設定等入手を中心とする従来の作業方法に比べ約1/4～1/5に短縮できると見込まれる。

3.2 自動校正システムの放射線的特性

大部分の被校正測定器は、検出器の有感部の大きさが照射野の面積と比べ点と見なすことができないため、校正を行う場合の照射野の線量率分布は均一であることが望ましい。また、散乱放射線の寄与によ

り照射する γ (X)線の線質が変化するため、線源と検出器、散乱体の位置関係が校正精度に影響を与える場合がある。これらのことから照射野均一性、自動校正台及び壁、床による散乱放射線の寄与について評価した。測定に用いた基準線量計は空気等価壁電離箱で、主な構成及び検定結果を表1に示す。

3.2.1 照射野均一性

前述のように ^{137}Cs γ 線照射装置からの γ 線ビームは円錐型鉛コリメータによりコリメートされており、照射ビームの開き角度は1 mの位置で半径20 cmである。しかし、実際に得られる照射野は線源容器の形状、コリメータ端における放射線の散乱等の影響により同一距離でも照射線量率が均一とはならない。図3及び図4に、自動校正台上で線源からの距離が2 mの位置における水平方向及び垂直方向の線量率分布の測定結果を示す。図中、点線は散乱

表1 基準線量の構成及び検定結果

構 成	
検 出 器	Victoreen 550-3 (330cc 空気等価壁電離箱) ビルドアップキャップ使用
測 定 器	Victoreen 500 (MOSFET 入力オペアンプ)
国家標準による検定結果	
検 定 日	昭和61年7月31日～8月5日
校正定数	1.00 (^{137}Cs γ 線)
検定精度	$\pm 3\%$ (試験品の再現性を含まない)

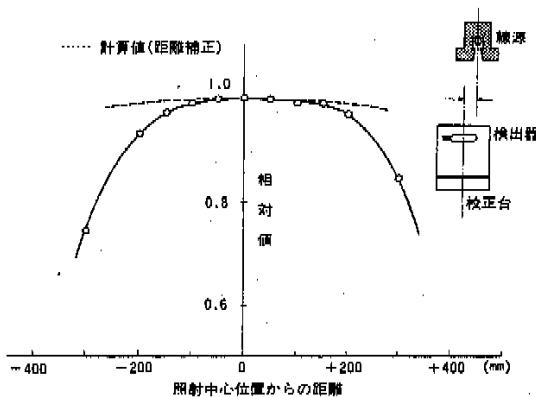


図3 線源から2 mの位置における
照射線量率の分布(水平方向)

等を考慮しない場合の計算値である。本結果から、まず水平方向について照射野中心の線量率から1%以内の領域は中心から左右約10cm以内で、20cm～40cmの間では中心部線量率の約80%、40cmの位置では50%以下となることがわかった。また、垂直方向について、図4中○印で示した実線は、線量計を校正台の上方25cmに固定し、校正台レベル(床から校正用テーブルまでの高さ)を変化させた場合の測定結果であるが、水平方向と同様に照射野中心に対し上下約10cm内で均一であった。また、本図中▲印で示した実線は校正台レベルを照射野中心から20cm下に固定した場合の校正用テーブル上の線量率分布であるが、校正台レベルを変化させた場合と比べ、分布が一様になった。本結果は、校正用テーブルからの散乱放射線により、テーブル近傍の線量率が増加し、直接放射線の減少分を補充したものと考えられる。この場合、散乱放射線による照射線量率への寄与は、校正用テーブルより5 cmの位置で約4%であるが、20cmの位置ではほとんど無視できると考えられる。

3.2.2 照射室内散乱放射線の影響

室内散乱放射線の評価方法として、遮蔽体を用いて線源からの直接放射線をカットする方法が知られているが、各距離における照射線量率の測定値と、ある点を基準として距離の逆二乗則から求められた各距離における計算との比により、評価を行うことが可能である。即ち、直接放射線による線量率は、空気中での吸収及び散乱を無視すれば、正

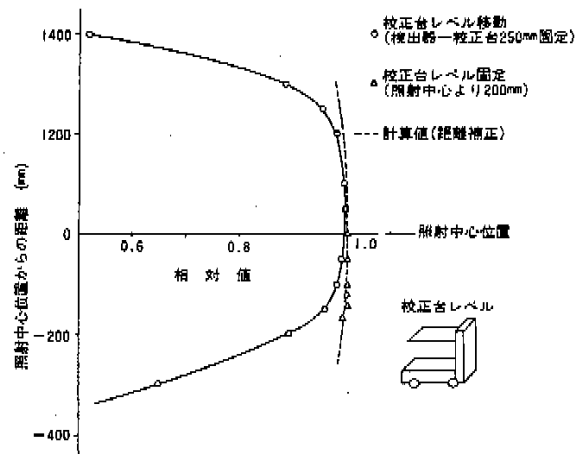


図4 線源から2 mの位置における
照射線量率の分布(垂直方向)

確に線源からの距離の二乗に反比例するのに対し、散乱放射線による線量率は、散乱体との位置関係により決まるため、逆二乗則には従わないことが知られている。照射室(A)において ^{137}Cs γ線照射装置を用いた場合の各位置における照射線量率の測定値と計算値の比を線源から1 mの距離での測定値を基準として示す。本結果において1 mから2 mまでの間で測定値が計算値より約2%程度大きくなっているが、これは散乱放射線による線量率の増加ではなく、照射野均一性によるものと考えられる。即ち、3.2.1の結果から1 mの位置における均一な照射野は半径5 cm程度となるのに対し、基準線量計の検出部の大きさは円筒形で56mmφ×176mmLと、これを上まわるため測定値が低下したものと考えられる。また、2 mから3 mの付近を頂点として測定値の割合が減少するが、これはγ線の空気による吸収及び散乱の減衰効果と、校正台等の散乱による線量増加効果が重なった結果と考えられる。なお、線源から11mの位置に大型物品搬入口があり、ここにはスチールシャッターが設置され後方壁となっているが、それによる散乱の顕著な効果は表われなかった。

以上のことから本照射装置では逆二乗則計算値で校正を行う場合でも誤差は最大3%以内となることが確認された。本結果は、2.1で述べた散乱放射線に対する配慮が有効であること、及びコリメータにより照射野が十分に絞られていることを示すものと考えられる。

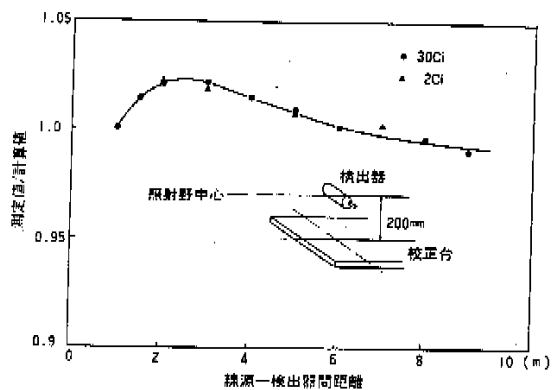


図5 ^{137}Cs γ 線照射装置による照射線量率の測定値と逆自乗則計算値との比

表2 基準線量計による ^{137}Cs γ 線照射装置の照射線量率測定結果

(1986.9.1現在)

線源名	距離(m)	照射線量率(mR/h)
^{137}Cs 30Ci	2	$2,400 \pm 7.0$
^{137}Cs 2Ci	2	189 ± 7
^{137}Cs 200mCi	2	15.4 ± 0.5
^{137}Cs 15mCi	1	4.9 ± 0.2

3.2.3 基準照射線量率測定結果

表1に示す基準線量計を用いて ^{137}Cs γ 線照射装置に内蔵している各線源の1mまたは2mの位置における照射線量率を測定した。結果を表2に示

す。本結果における精度には、国家標準による検定精度3%と測定器の再現性による精度が含まれる。本線量計の再現性は、測定時間の適切な設定と測定時のノイズ、リーク電流及びゼロ点ドリフトに対する補正の結果、180mR/h以上の線量率の測定には0.5%(3 σ)以下であったが、10mR/h付近では2%(3 σ)程度となった。従って10mR/h付近の領域の基準線量場設定の際の精度は4%となる。

4. 放射線管理用機器保全の現状

計測機器校正施設では、東海事業所内各施設の放射線管理用機器に対し年2回の定期検査を実施し、保守管理に努めている。過去3年間の主な機器の故障率を図6に示す。サーベイメータ類は、1台あたり年間約0.5件の故障が発生しているが、 α 線測定用ハンド・フット・クローズモニタでは、検出面の破損等により約20件となっている。それぞれの故障率は、使用頻度が極端に変化しなければほぼ一定しており、点検頻度や予備品の数量等を決定する上で有用である。

さらに、昭和60年度の保全データに基づき、サーベイメータ及びハンド・フット・クローズモニタに発生した故障等を、故障部位別に図7にまとめた。本図において、斜線部分は機器使用期間中に発生した故障で、白ぬき部分は定期点検により発見された故障、または点検基準に入らなかったも

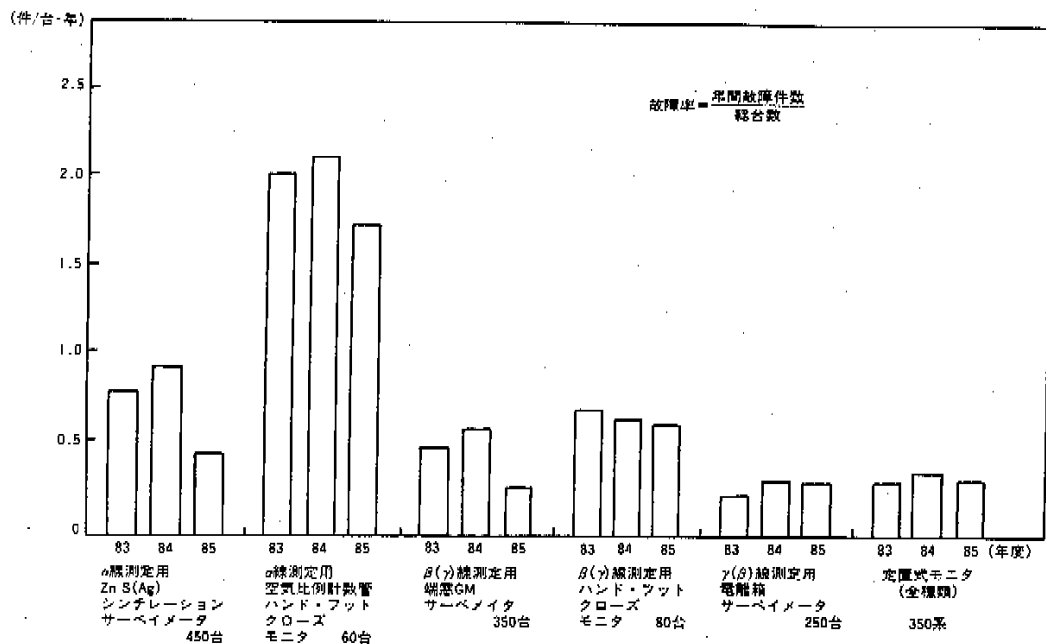


図6 東海事業所における主な放射線測定器の故障率

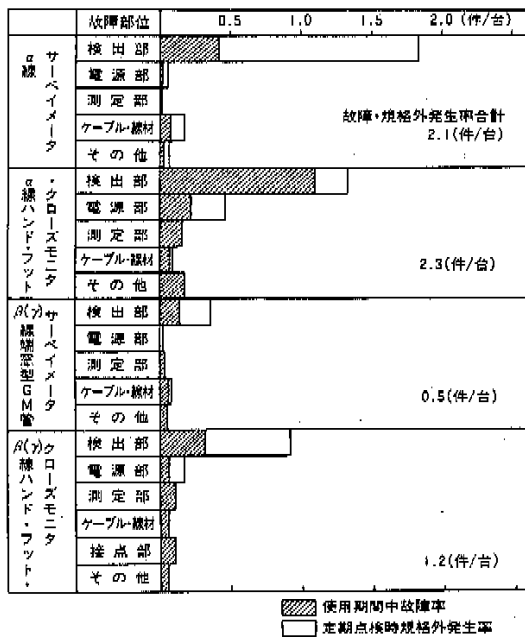


図7 故障等発生部位の内訳 (昭和60年度)

のである。本結果において、検出部の故障に注目すると、定期点検により発見された割合が多く、予防的な保全の効果が認められる。また、いずれの機種についても、検出部の故障が全体の2/3以上を占めており、これらの機器の故障の特徴となっている。本結果は、検出部の定期交換方式の導入等保全管理の内容を検討する上で有用である。

また、表3に各機種毎の点検、修理に要する平均的な作業時間をまとめた。本数値は、昭和59年度と昭和60年度に専任の保全作業担当者が点検及び修理に要した時間に基づき算出したものである。機種毎に作業所要時間が異なる理由は、点検の内容が異なることに加え、点検場所の作業条件、即ちモニタの設置現場での作業か、あるいは専用作業室での作業かどうかが異なっているためである。

表3 放射線管理用機器の平均点検所要時間及び修理時間 (昭和59～60年度実績)

機 種	点検所要時間 (時間/台)	平均修理時間 (時間/件)
α線サーベイメータ	1.5	0.8
β(γ)線線型GM管 サーベイメータ	2.0	
γ(β)線電離箱 サーベイメータ	3.0	
α線ハンド・フット・ クロースモニタ	5.5	2.6
β(γ)線ハンド・フット・ クロースモニタ	7.0	
定置式モニタ (ダストモニタ エリアモニタ ガスモニタ 他)	23	4.4

5. まとめ

本稿では計測機器校正施設の概要と照射設備の諸性能について報告した。特に、 ^{137}Cs γ線照射装置と自動校正台を用いた場合の散乱放射線の影響に関する評価を行い、2次基準線量計等を校正するための基礎データを得た。また、放射線管理用機器の保全について現在の年2回の定期検査体制下で発生する故障の実態について定量化した。

今後の課題として、基準照射設備、基準照射技術の強化があげられる。これは、ICRP勧告等で提案され法令にも取り入れられると予想される被ばく線量評価に関する新しい概念や方法に積極的に対応できる校正技術の確立を進めていくことを目的とするもので、当面の具体的な計画としては、軟X線に対する照射線量基準の整備、β線に対する基準照射設備の整備等がある。また、放射線管理用機器の効率的な保全を推進していくために、点検、校正作業の自動化やコスト評価に基づく点検内容及び点検頻度の合理化を進めていくことが必要である。計測機器校正施設を拠点として放射線管理用機器の管理に関するこれらの諸課題の検討を進めていく。