

## 資料

## 005 原子炉施設の放射線管理設備の更新と試験検査結果

森 嶋 彌 重, 古 賀 妙 子, 伊 藤 哲 夫  
三 木 良 太, 本 田 嘉 秀\*

**Characteristic Test of the Renewed Radiation Monitoring System  
at the Nuclear Reactor Facilities of Kinki University.**

Hiroshige MORISHIMA, Taeko KOGA, Tetsuo ITO,  
Ryota MIKI and Yoshihide HONDA\*

(Received October 2, 1978)

## 1. はじめに

近畿大学原子力研究所の原子炉施設は昭和35年4月に建設を開始し、それとともに施設内の放射線管理を行うために神戸工業製（現富士電機製）の放射線管理設備を設置し、過去17年施設内の $\gamma$ 線線量率、空气中放射性物質濃度、水中放射性物質濃度の連続測定、記録管理が行われてきた。原子炉施設の放射線管理は「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」「原子炉設置、運転等に関する規則」など法的に実施が義務づけられ、さらに原子炉施設の定期自主検査などの規定により保安上原子炉関連計器および放射線測定器について点検、校正を定期的に行われ、計器の設置当初の性能の維持が要求される。しかしここ数年(1)機器の故障および誤信号の発生などの頻発、(2)修理に要する経費および維持費の高騰、(3)修理部品の製造中止などが重なってきた。

原子炉施設における作業従事者および周辺の公衆の安全を確保し施設設置者としての責任を果たす上での放射線管理設備の更新が計画され、昭和53年2月初旬から第1表に示した様な経過で順調に進み、8月18日および8月29、30日にそれぞれ、富士電機株式会社東京工場および当研究所において科学技術庁原子力安全局原子炉規制課検査官による使用前検査が実施され、10月4日に合格証が交付された。ここにこれらの放射線管理設備の使用前検査の試験結果の概要を報告する。

\* 理工学部原子炉学科

## 第1表 放射線管理設備更新経過

昭和53年2月上旬	放射線管理設備更新を大学に申請
3月31日	科学技術庁と打合せ
4月15日	「施設更新に係る設計および工事の方法認可申請」第1回打合せ
4月28日	「同上」第2回打合せ
5月8日	「同上」草案提出
5月25日	「同上」を科学技術庁に提出 (近大原研第762号)
6月20日	「放射線管理設備更新に係る使用前検査」第1回打合せ
6月28日	「同上」第2回打合せ
6月29日	「施設更新に係る設計および工事の方法の認可、53安(原規)第181号」受ける
7月10日	「放射線管理設備更新に係る使用前検査」申請(近大原研第769号)
7月18日	「同上」方法第1回打合せ
7月25日	「同上」方法第2回打合せ
8月18日	富士電機株式会社東京工場において使用前検査実施
8月29、30日	近畿大学原子力研究所において使用前検査実施
10月4日	放射線管理設備の使用前検査合格証交付

## 2. 構成機器の外観、員数、寸法検査

更新した放射線管理設備の $\gamma$ 線エリアモニタ4基、連続口紙式ダストモニタ1基、ガスモニタ1基および水モニタ1基の各構成要素を第2表に示した。それぞれの構成要素について外観検査では傷、よごれのない

第2表 放射線管理設備の構成

モニタ	機器名	型式	数量	モニタ	機器名	型式	数量
γ線エリア モニタ	γ線対数電離箱	NDC22101	4	ダストモニタ (βγ, α)	ハロゲン消滅式 端窓型GM管	NGMH9310-1	1
	対数線量率表示 モジュール	NFU22121	4		シンチレーション プローブ	NDP22CV1-1	1
	警報表示器	NAA10001	4		ZnSシンチレータ	NSR04AY0-1	1
水モニタ (βγ)	水サンプラー	NAW21101	1	放射線監視盤	増幅器	NFL11001	2
	シンチレーション プローブ	NDP25YY1-6	1		直線計数率計 モジュール	NFR13121	2
	プラスチック シンチレータ	NSB24YY0-1	1		収納盤 (1610×540×750mm)	NBK	1
	増幅器	NFL11001	1		記録計	PGN8EYY1-4	1
	直線計数率計 モジュール	NFR13121	1		警報モジュール	NFA13021	1
	チェック用線源	<sup>14</sup> C	1		低圧電源モジュール	NFV12021	2
ガスモニタ (βγ)	ガスサンプラー	NAG21101	1	放射線監視盤	高圧電源モジュール	NFV12021	4
	シンチレーション プローブ	NDP25YY1-6	1		ブザー停止パネル	—	1
	プラスチック シンチレータ	NSB24YY0-1	1		ビシン	NFK	4
	増幅器	NFL11001	1		アンカボルト (12×160mm)	—	4
	直線計数率計 モジュール	NFR13121	1		グラフィック警報パネル (500×500×150mm)	—	1
ダスト モニタ (βγ, α)	ダストサンプラー	NAD21801	1	ローカル指示 監視盤	ローカル指示盤	—	1
	GMプローブ	NDP12AG1-1	1		対数線量率表示メータ	NFU22121	3

こと、員数検査では機器の員数に過不足のないことおよび寸法検査では主要寸法について許容誤差範囲以内(±10%)であることを充分満足出来る結果が得られ、問題となる事例は認められなかった。

### 3. 指示精度試験

#### 3.1 γ線エリアモニタ

γ線対数電離箱の印加電圧を徐々に上げ、指示値の変動を計数し、飽和プラトー領域内に作動電圧(550~650V)があることを確認し、<sup>226</sup>Ra, <sup>137</sup>Cs および <sup>60</sup>Co 標準線源でγ線を照射した時の対数線量率表示モジュールの指示値を読み、バックグラウンドを差引いた正味指示値は照射線量率に対し、変動の範囲が最高のものに対して±0.10デカードであり、判定基準±0.16デカード以内であった。

#### 3.2 直線計数率計

連続口紙式ダストモニタ、ガスモニタおよび水モニタについて、各検出器からの信号を模擬してパルスゼ

ネレータから10<sup>2</sup>~10<sup>6</sup>cpmの信号を入れ、直線計数率計の指示を読み、その指示値の変動巾の最大のものは入力信号の2%で、判定基準の±3%以内であった。

### 4. 動作確認試験

連続口紙式ダストモニタ、ガスモニタおよび水モニタについて。

- (1) 高、低圧電源のスイッチ操作で測定系に電源供給が出来ること。
  - (2) 直線計数率計のスイッチ操作で内部パルス発振器を作動し、校正および測定ができること。
  - (3) 入力信号を与えて設定値以上にした時、警報ランプが点灯し、指示が設定値以下の時リセットできる。
  - (4) 吸水装置および空気吸引装置の電源スイッチ操作でコントロール系、吸水および吸引装置への電源が供給でき、吸水および吸引装置、コントロール系のスイッチでポンプの起動、停止ができる。
- 以上の各項が正常に動作することを確認した。

## 5. 性能検査

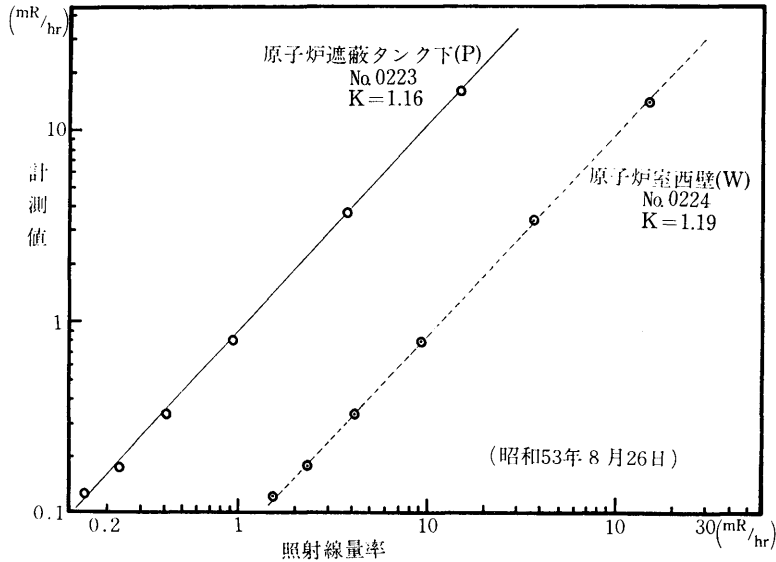
### 5.1 $\gamma$ 線エリアモニタ

#### 5.1.1. $^{60}\text{Co}$ および $^{137}\text{Cs}$ による校正

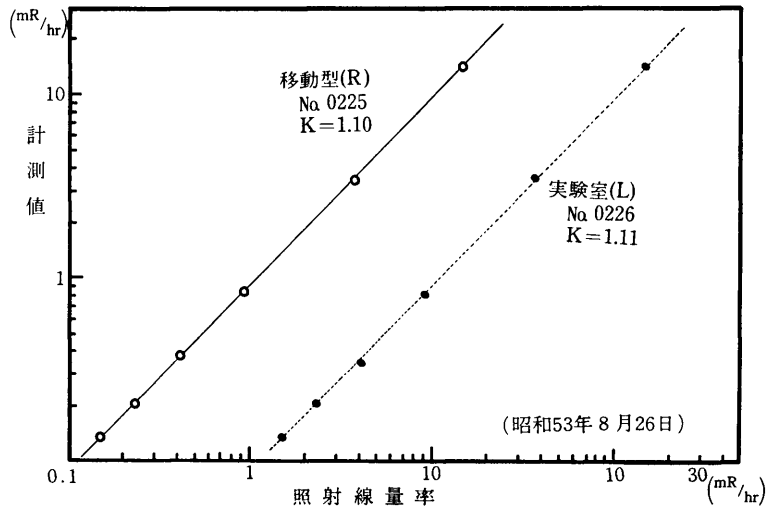
$\gamma$ 線対数電離箱の中心より水平方向に0.5mより5mまでの距離に $^{60}\text{Co}$ 標準線源（昭和53年7月、2.78mCi）を設置して $\gamma$ 線を照射し、その時の指示値から得た校正曲線を第1, 2図に示した。原子炉室内、遮

蔽タンク下 P(No. 0223), 西壁 W(No. 0224), 移動型（遮蔽タンク上）R (No. 0225) および実験室 L (No. 0226) の $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線による校正係数はそれぞれ1.16, 1.19, 1.10および1.11であった。電離箱の中心より水平方向に線源を置いて校正を行ったがこの検出器の方向依存性および $\gamma$ 線エリアモニタの時定数特性をそれぞれ第3図および第4図に示した。

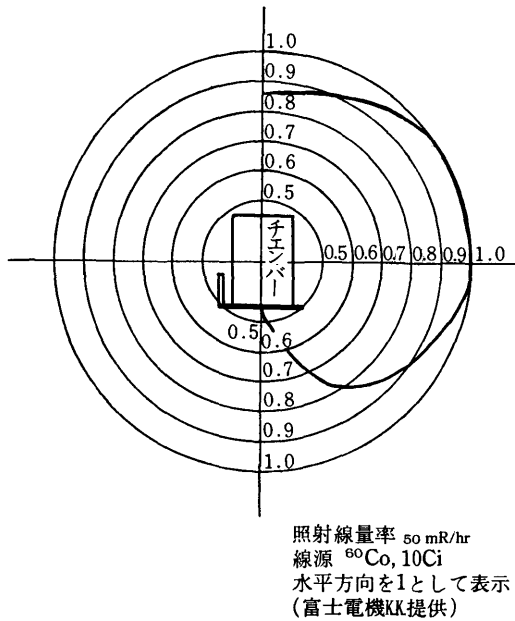
これによると1mR/hr および0.1mR/hr の $\gamma$ 線線量率の測定の場合、時定数はそれぞれ約2秒および20秒であった。



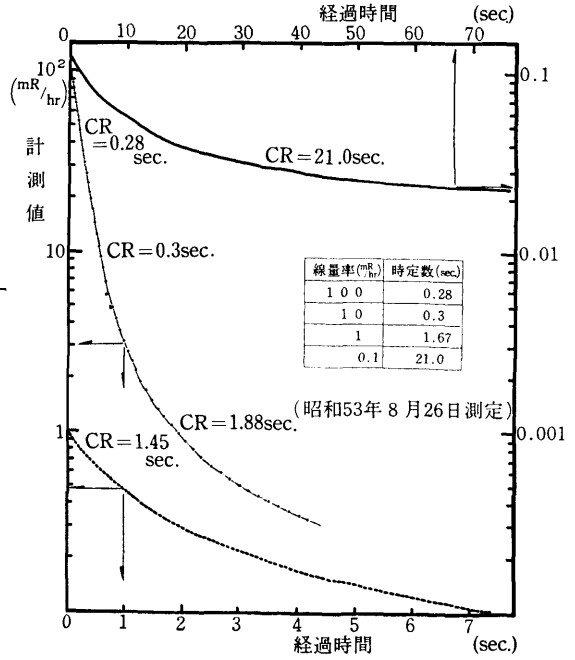
第1図  $^{60}\text{Co}$  による  $\gamma$ 線エリアモニタの校正曲線 (1)



第2図  $^{60}\text{Co}$  による  $\gamma$ 線エリアモニタの校正曲線 (2)



第3図  $\gamma$ 線エリアモニタの方向依存性(垂直方向)

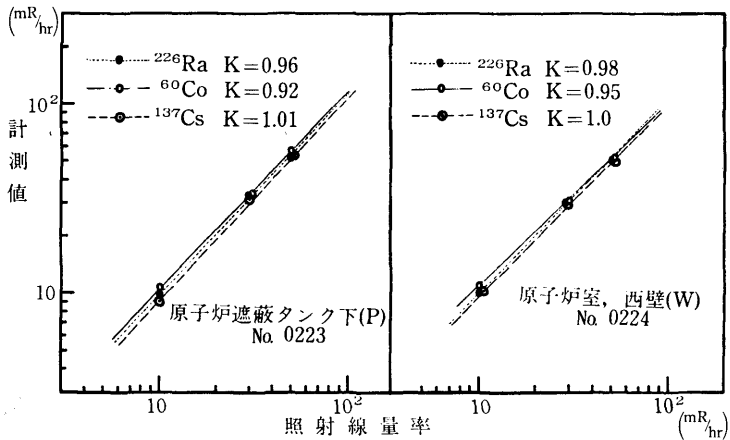


第4図  $\gamma$ 線エリアモニタ時定数特性(記録紙より)

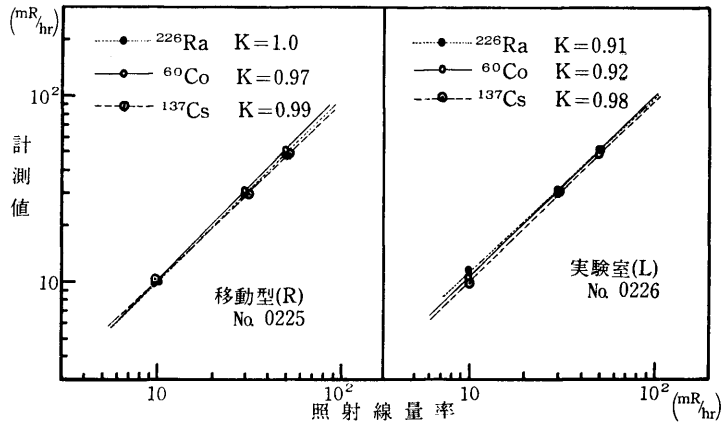
5. 1. 2 エネルギー特性試験

$\gamma$ 線電離箱に  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  および  $^{226}\text{Ra}$  の各標準線源を用いて、照射線量率10, 30, 50mR/hr における測定値から各  $\gamma$ 線エネルギーによる測定値のズレの最大値は $\pm 10\%$ であった。それぞれの校正曲線および

校正係数を第5, 6図に示した。用いた線源は  $^{60}\text{Co}$  および  $^{137}\text{Cs}$  それぞれ 10Ci,  $^{226}\text{Ra}$  は 29.73mg で線源校正は昭和53年4月25日にビクトーリン線量計により行った。測定は高線量では1分後に、低線量は10分後にいった。



第5図  $\gamma$ 線エリアモニタの  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  による校正曲線 (1)  
(昭和53年8月18日富士電機東京工場において)



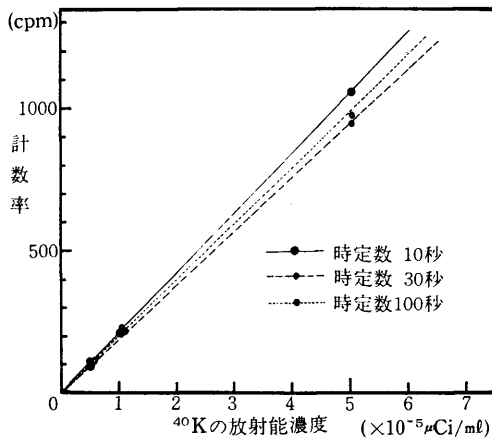
第6図  $\gamma$ 線エリアモニタの $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ による校正曲線(2)  
(昭和53年8月18日富士電機東京工場において)

5.2 水モニタの校正

吸水装置に水道水を流しバックグラウンドの計数を測定した後、市販試薬塩化カリウムの任意の各濃度 ( $5 \times 10^{-6}$ ,  $1 \times 10^{-5}$ ,  $5 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ) の水溶液をそれぞれ流入し、 $^{40}\text{K}$  の  $\beta$  放射能による計数率値を直線計数率計で測定した。計数率計の時定数は1~100秒の切替が出来るが、今回は(このモニタのバックグラウンドに近い測定が主流になるため)10, 30, 100秒について行い、校正曲線は第7図に、校正係数(K)および検出感度を第3表に示した。検出感度はバックグラウンドの標準偏差の2倍とし、

$$\text{検出感度} = \sqrt{\frac{2n_b}{\tau}} \times K \quad (\mu\text{Ci}/\text{cm}^3), \tau = \text{時定数 (min)}$$

nb: バックグラウンド計数率(cpm)  
K: 校正係数( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3/\text{cpm}$ )



第7図  $^{40}\text{K}$ による水モニタの校正曲線  
(昭和53年8月25日)

第3表 水モニタの検出限界

時定数 (秒)	校正係数 ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}/\text{cpm}$ )	検出限界 ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )
10	$4.9 \times 10^{-8}$	$2.1 \times 10^{-6}$
30	$5.0 \times 10^{-8}$	$1.2 \times 10^{-6}$
100	$4.9 \times 10^{-8}$	$6.3 \times 10^{-7}$

で求めた。これによると時定数100秒の場合の $^{40}\text{K}$ による校正係数は  $4.9 \times 10^{-8} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3/\text{cpm}$  検出感度は  $6.3 \times 10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$  となった。

5.3 ガストモニタの校正

連続ロ紙式ガストモニタの検出器は  $\alpha$  放射能に対しては  $\phi$  5cm の ZnS シンチレータを、 $\beta$  放射能に対しては  $\phi$  5cm の GM計数管を用い、まずバックグラウンド計数率 ( $N_b$ ) を測定した後、集塵器に実装状態を模擬して放射能の異なる3種の  $\text{UO}_2$  標準線源を用いて、それぞれの計数率値 ( $N_s$ ) を測定して次式で計数効率を求めた。

$$\text{計数効率} = [(N_s - N_b) / A \times 2.22 \times 10^6] \times 100 (\%)$$

ここにAは  $\text{UO}_2$  標準線源の放射能 ( $\mu\text{Ci}$ )である。 $\beta$  放射能については  $\alpha$  粒子を遮蔽できるアルミニウムフィルタ ( $27\text{mg}/\text{cm}^2$ )をつけて、 $\alpha$  放射能についてはこのフィルタをつけずに測定し、計数効率は  $\alpha$  および  $\beta$  放射能に対してそれぞれ5%および10%以上で、経時的に計数効率の低下の有無を検査する。検出感度はバックグラウンドの  $2\sigma$  として、バックグラウンド0の場合には最小目盛により計算した。

$$I_m = \sqrt{\frac{2n_b}{\tau}} / 2.22 \times 10^6 \cdot F \cdot T \cdot \epsilon_c \cdot \epsilon_s \cdot 10^3 \cdot 0.5$$

- $I_m$ : 検出感度 ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ )     $\epsilon_c$ : 計数効率
- $n_b$ : 自然計数率 (cpm)         $\epsilon_s$ : 捕集効率(0.99)
- $\tau$ : 計数率計の時定数 (min)
- $F$ : 平均流量 (N l/min)
- $T$ : 捕集時間 (144min)
- 0.5: 流量に係る補正係数 ( $\beta$  放射能を測定する場合のみ,  $\alpha$  放射能の時 は 1 とする。)

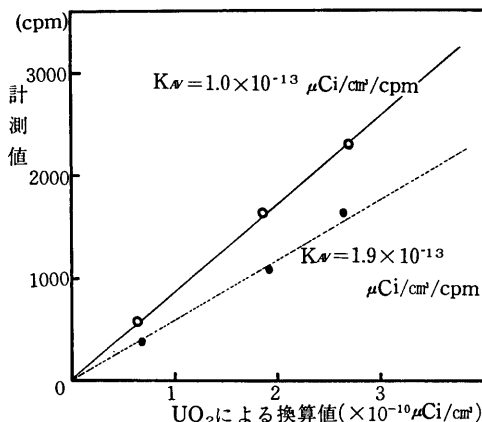
しかしダストモニタの線源実装状態での検出器の校正は特製の線源を必要とするので、当所では標準線源としては  $\text{UO}_2$  の平面線源 ( $10 \times 10 \text{cm}$ ) を用い、中央に  $\phi 5 \text{cm}$  の円を抜いた銅板 ( $10 \times 10 \text{cm}$ ) を検出器との間におき測定を行った。富士電機 K. K. 所有の実装状態用線源 ( $\alpha: 208 \text{pCi}/\text{cm}^2$ ,  $\phi 5 \text{cm}$ ,  $\beta: 208 \text{pCi}/\text{cm}^2$ ,  $6 \times 3.45 \text{cm}$ ) についても同時に校正を行い、両者の比較から計数の補正係数を求めた。第 4 表にその結果を示し、 $\alpha$  および  $\beta$  放射能測定に対する補正係

第 4 表 連続口紙式ダストモニタの検出限界

線種	測定条件	線源, 面積	時定数 (秒)	実装状態への補正係数	校正係数 ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}/\text{cpm}$ )	検出限界 ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )
$\beta\gamma$	ダストモニタ実装状態	富士電機所有 $\text{UO}_2 (6 \times 3.45 \text{cm})$	10	1	—	—
			30	1		
			100	1		
	線源より 5mm の距離	近畿大学所有 $\text{UO}_2 (\phi 5 \text{cm})$	10	0.86	$1.9 \times 10^{-13}$	$3.4 \times 10^{-12}$
			30	0.90	$1.8 \times 10^{-13}$	$1.6 \times 10^{-12}$
			100	0.86	$1.9 \times 10^{-13}$	$9.8 \times 10^{-13}$
$\alpha$	ダストモニタ実装状態	富士電機所有 $\text{UO}_2 (\phi 5 \text{cm})$	10	1	—	—
			30	1		
			100	1		
	線源より 3.3mm の距離	近畿大学所有 $\text{UO}_2 (\phi 5 \text{cm})$	10	1.13	$1.2 \times 10^{-13}$	$2.4 \times 10^{-13}$
			30	1.09	$1.1 \times 10^{-13}$	$2.2 \times 10^{-13}$
			100	1.09	$1.0 \times 10^{-13}$	$2.0 \times 10^{-13}$

数はそれぞれ 1.09 および 0.86 であった。

計数率計の時定数 100 秒の場合における  $\alpha$  および  $\beta$  放射能測定の最小検出限界はそれぞれ  $2.0 \times 10^{-13} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$  および  $9.8 \times 10^{-13} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ 、校正係数はそれぞれ  $1.0 \times 10^{-13} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3/\text{cpm}$  および  $1.9 \times 10^{-13} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3/$



第 8 図 連続口紙式ダストモニタの校正曲線

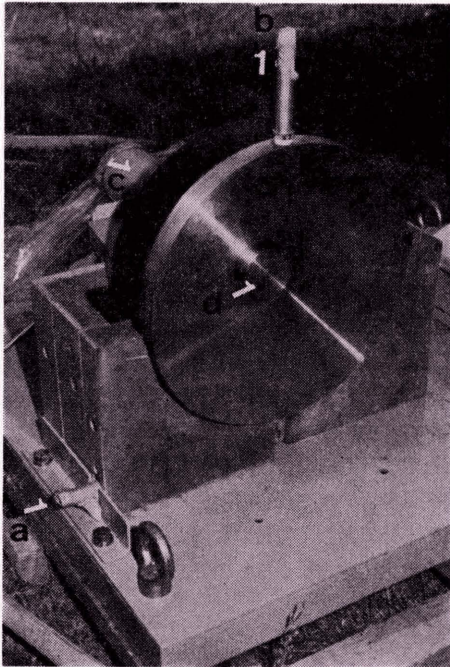
cpm で、 $\text{UO}_2$  標準線源による校正曲線を第 8 図に示した。

#### 5.4 ガスモニタ

校正係数としては同型式ガスモニタについて、日本原子力研究所 JRR-3 の被照射空気系で発生する  $^{41}\text{Ar}$  を使用して求めたものを基準にしたが、定期的な校正には  $^{14}\text{C}$  標準線源 (昭和 53 年 7 月 20 日 113.4 dps) を用いて、プラトー特性および計数効率をチェックする。今回の検査においては校正係数は  $2.5 \times 10^{-9} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3/\text{cpm}$  で、計数効率は 26.7% であった。ガスモニタについて若干の改良を行い、 $^{14}\text{C}$  チェック用線源をガスサンプラー (第 9 図) の (d) 部に挿入し校正出来る様にした。正常のモニタリング測定中には  $^{14}\text{C}$  チェック用線源は取りはずす。

#### 5.5 連続動作試験

エリアモニタ、水モニタ、ガスモニタおよびダストモニタを所定の場所に設置し、その信号を計数および



第9図 ガスサンプラー  
 a. ガス吸引口  
 b. ガス流出口  
 c. 検出部  
 d. チェック用線源挿入部

記録できる状態で、24時間連続動作試験を行った。ダストモニタについてはバックグラウンドレベルの空気の吸引中においても空中のラドンおよびトロン崩壊生成物の変動によって計数率値が影響されるので、 $UO_2$  の標準線源によって一定の計数率値を得るようにしたが、他の検出器についてはバックグラウンド測定状態で行った。それらの結果はいずれも判定基準の許容範囲内の計数率値が記録され、各機器の安定性が確認出来た。

## 6. 警 報 試 験

放射線管理設備の各モニタの警報レベルの設定には  $\gamma$  線エリアモニタについては原子炉施設、放射線作業場所における許容週線量、100mR/W をもとに 2mR/hr とした。ダストモニタ ( $\alpha$  および  $\beta\gamma$ ) およびガスモニタについては注目する核種の許容濃度の10分の1以下に相当する計数率をそれぞれのバックグラウンドの  $3\sigma$  に加えたものを警報レベルとして設定した。第5表に更新した放射線管理設備の管理基準値（警報レベルとした）などを示した。排気ダストのバックグラウンドレベルは、天然のラドンおよびトロン崩壊生成物を含むが、気象条件および時間的因子などによっても大きく変動するので昭和53年8月末より6週間

第5表 放射線管理設備の管理基準値（暫定）

(昭和53年9月10日現在)

モ ニ タ	校正係数または換算係数	最小検出限界	校正線源	注目する核種	管理基準値	
$\gamma$ 線エリア	原子炉遮蔽タンク下(P)	1.16	0.01mR/hr	$^{60}Co$	—	2.0mR/hr
	原子炉室西壁(W)	1.19	0.01mR/hr	$^{60}Co$	—	2.0mR/hr
	移動型(R)	1.10	0.01mR/hr	$^{60}Co$	—	2.0mR/hr
	実験室(L)	1.10	0.01mR/hr	$^{60}Co$	—	2.0mR/hr
排気ダスト	$\alpha$	$1.0 \times 10^{-13} \mu Ci/cm^3/cpm$	$2 \times 10^{-13} \mu Ci/cm^3$	$^{238}U$	$^{235}U$	500cpm ( $1.5 \times 10^{-12} \mu Ci/cm^3$ )
	$\beta\gamma$	$1.9 \times 10^{-13} \mu Ci/cm^3/cpm$	$9.8 \times 10^{-13} \mu Ci/cm^3$	$^{238}U$	$^{131}I$	3000cpm ( $6.7 \times 10^{-11} \mu Ci/cm^3$ )
排気ガス ( $\beta\gamma$ )	$2.5 \times 10^{-9} \mu Ci/cm^3/cpm$	$3.3 \times 10^{-8} \mu Ci/cm^3$	$^{41}Ar$ (Fuji)	$^{41}Ar$	200cpm ( $2.5 \times 10^{-9} \mu Ci/cm^3$ )	
廃水 ( $\beta\gamma$ )	$4.9 \times 10^{-8} \mu Ci/cm^3/cpm$	$6.3 \times 10^{-7} \mu Ci/cm^3$	$^{40}K$	$^{90}Sr$	160cpm ( $2.5 \times 10^{-7} \mu Ci/cm^3$ )	

の変動をもとに暫定的に設定した。今後長期間の観測のもとに順次調整する必要がある。

各モニタの対数線量率表示計および直線計数率計の警報レベルを一定値に設定し、外部線源などで擬似信号を出し警報を発生させ、警報回路のブザー停止および計数率計のリセット回路についてもその動作を確認した。グラフィック警報パネルおよびローカル指示監視盤についても同様に試験し異常のないことを確認した。その他放射線監視盤の外線ケーブル接続端子台と監視盤アース間の絶縁抵抗検査および耐電圧検査についても異常はなかった。

## 7. 総 括

原子炉施設内の放射線管理を十分に行えるように今回各放射線モニタを更新し、それらの諸特性について試験した。 $\gamma$ 線エリアモニタの検出器としては円筒形電離箱(10l)を用いバックグラウンドレベルが充分測定可能となった。空气中放射性物質濃度の測定は連続

的に吸引し、検出器には $\beta$ ( $\gamma$ )線用としてGM計数管( $\phi$  5cm)を、 $\alpha$ 線用としてはZnSシンチレータ( $\phi$  5cm)を用い、天然のラドンおよびトロン崩壊生成物の濃度の測定が十分可能であった。 $\beta$ 線用ガスおよび水モニタの検出器にはプラスチックシンチレータ( $\phi$  20cm)を用い、検出部は鉛で遮蔽し、バックグラウンドの影響を少なくし低エネルギー $\beta$ 線に対し検出感度をよくした。旧モニタに比べ更新したモニタの検出感度はおよそ1桁改良された。また放射線監視盤はアンカーボルトを用いて施工され、機器の耐震設計についても十分な配慮がなされた。

今回更新した放射線管理設備は原子炉施設内の放射線レベルを監視し、職員の作業環境の安全を確認するとともに、万一の放射線レベルの異常に対してその早期発見を行い、それらの事態に敏速かつ確実に対処するに十分であり、職員および周辺一般公衆の放射線障害を未然に防止しうるものである。