

測定値から見る放射線測定器の性能

第6報 測定値の信頼性

非破壊検査株式会社
藪下 延樹

1.はじめに

発表者は文部科学大臣「登録資格講習機関」の講師として、第2種及び第3種「放射線取扱主任者」候補の指導にあたってきたが、講習実施のうえでの問題点を感じることがあるので問題点と対策を報告する。

本報ではサーベイメータ（以下、測定器）測定値の信頼性について、バックグラウンド（以下、BG）及びガンマ線（以下、線）線源からの基準線量率（以下、基準線量）と測定値を分析し、対策を提案する。諸賢のご叱責を得れば幸いである。

2.使用装置

実験で使用する装置の主な仕様と写真を表1に示した。

表1a 使用装置の主な仕様と写真

a	3"シンチレー ション (以 下、シ ンチ) 測定器	メーカー名 / 型番 EMF ジャパン / EMF211	
b	1"シンチ測定器	測定範囲(1cm 線量 当量率) 0.001 ~ 50μSv/h (自 動レンジ)	
c	1"シンチ測定器	エネルギー補償 エネルギー補償形	
		時定数・応答時間 記載なし	
		測定値の監視出力 なし(1h 単位での出 力あり)	
		測定範囲(1cm 線量 当量率) 0.01μSv/h ~ 10,000μSv/h(手動レ ンジ)	
		エネルギー補償 エネルギー補償形	
		時定数・応答時間 時定数切換え : 3 / 10 / 30 秒	
		測定値の監視出力 アナログ出力	
		メーカー名 / 型番 HPI / HPI5000	
		測定範囲(1cm 線量 当量率) 0.001 ~ 99.9μSv/h (自動レンジ)	
		エネルギー補償 なし	
		時定数・応答時間 時定数実測値 : 約 1.5(slow) / 1.2(med) / 0.8(fast)秒	
		測定値の監視出力 1秒間隔で出力	

d	GM 測定器	メー カ名 / 型番	HPI / HPI5000GM	
		測定範囲 (1cm 線量当量率)	0.001 ~ 99.9 μ Sv/h (自動レンジ)	
		時定数・応答時間	時定数実測値：約 8(slow) / 4(med) / 2(fast)秒	
		測定値の監視出力	1秒間隔で出力	
e	GM 測定器	GM 管 / 測定系	Aloka H-2006 / HPI5000GM (電気出 力がないため異メー カ品を組み合わせ出 力、指示値は未校正)	
		測定範囲 (1cm 線量当量率)	約 0.001 ~ 99.9 μ Sv/h (自動レンジ)	
		時定数・応答時間	未測定	
		測定値の監視出力	1秒間隔で出力	
f	線源	線源の種類及び線 源量	^{137}Cs / 10MBq 及び ^{60}Co / 5MBq	

表 1b 測定器センサー容量等の比較

表 1a の番 号	名 称	型番号	センサー 容量 (mL)	BG カウント 数 cps	センサー部の放射線透過写真
a	3" シン チ測定 器	EMF211	347.5	381.99	
b	1" シン チ測定 器	TCS171B	12.9	27.79	
c	1" シン チ測定 器	HPI5000 シンチ	12.9	34.80	
d	GM 測定 器	HPI5000 GM	25.5	0.58	
e	GM 測定 器	H-2006 GM	27.5	0.85	

3. 実験条件

BG 及び 線源から 1 m の基準線量の測定器読み値（以下、指示値）を測定した。指示値の測定条件は指示値の変化を 1 秒間隔で、パソコンへ RS-232C オンライン入力又は目視読み取りで測定記録した。測定は遮へいのない一般的な実験室で実施した。線源と測定器プローブの配置例を図 1 に示した。

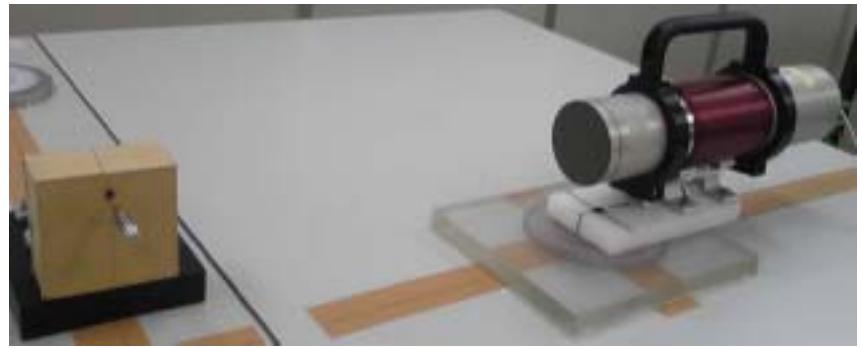


図1 線源と測定器の配置例

4. 測定値のバラツキ

第 1 報の図 7^{<1>}で表 1a の c. 1 “シンチ測定器と表 1a の d. の GM 測定器の BG 時の指示値の経時変化が時定数を最大にしても、シンチ測定器で約 1.2 倍、GM 測定器で約 5~6 倍あることを示した。この第 1 報の指示値（縦軸）を対数目盛から普通目盛へ変えて図 2 に示した。

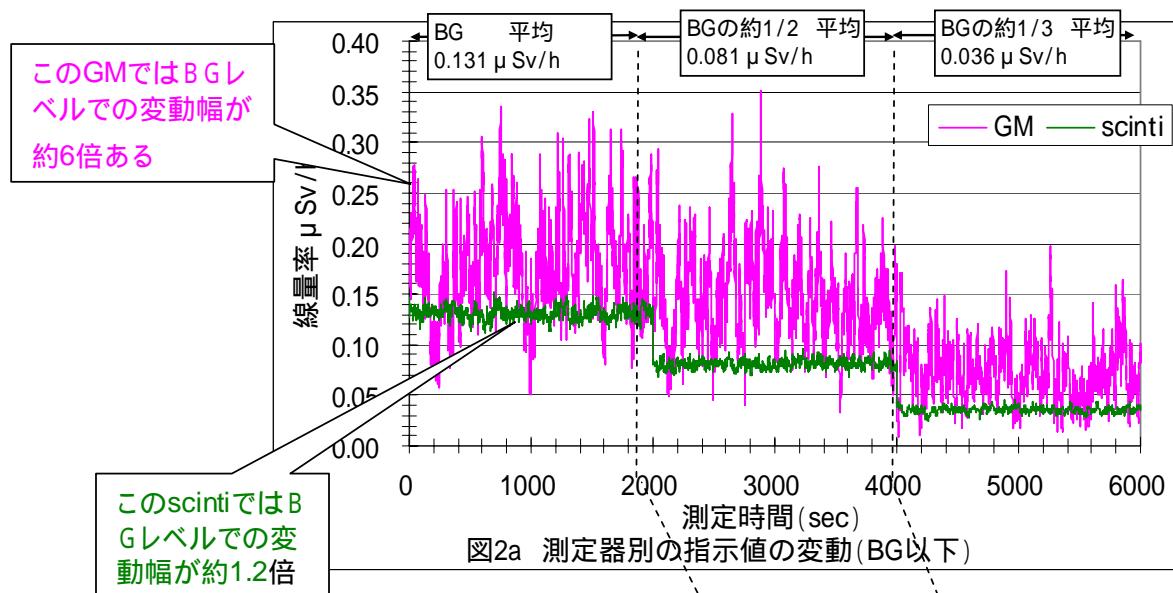


図2a 測定器別の指示値の変動(BG以下)

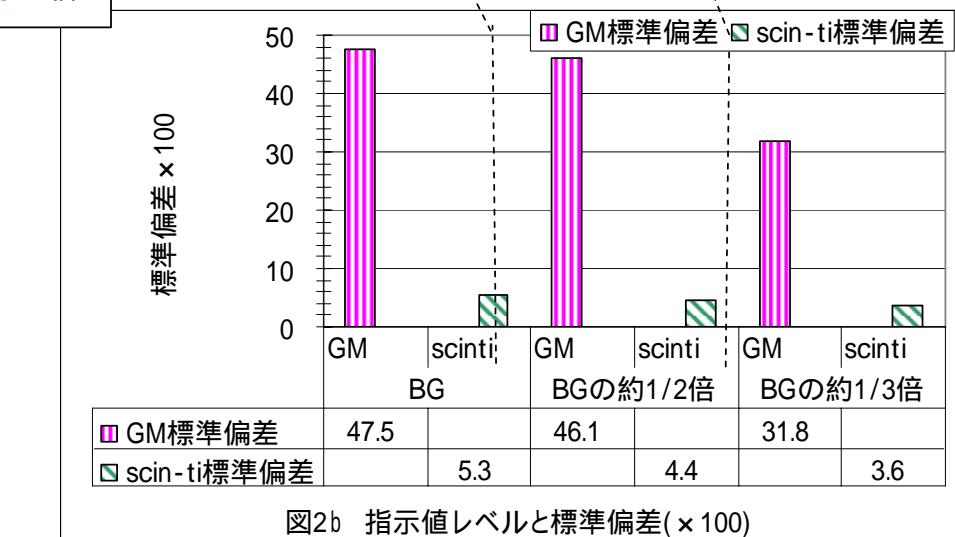


図2b 指示値レベルと標準偏差(×100)

図3はBGと法定の事業所境界線量率(正味の線量(測定値-BG))^{<5>}を示した。図3からBGの2倍の線量があると法定値を超えることが分かる。このことから、図2のGM測定器を使用するとBGの変動が約5~6倍あるので、線源使用と無関係に、一定割合でBGの測定値変動により正味の線量が法定値を超過又は逆転することが明らかである。

そこで、本報では測定器の種類を増やして追加実験を実施した。表1aの全測定器を1秒間隔で5分間連続的にBGを測定した結果を図4(縦軸はアナログ目盛)に示した。次に、¹³⁷Cs及び⁶⁰Co線源で基準線量を与えた時の全測定器を同条件で連続的に測定した結果を図5(縦軸:図5aアナログ、図5b対数目盛)に示した。

図4(BG時)、図5(基準線量付加時)共に、GM測定器では第1報と同様に相当に測定値のバラツキは大きい。一方、シンチ測定器では常にこのバラツキは小さい。このバラツキは波形観察から、線源の種類や線量率には依存しない測定器固有の性能であると考えられる。

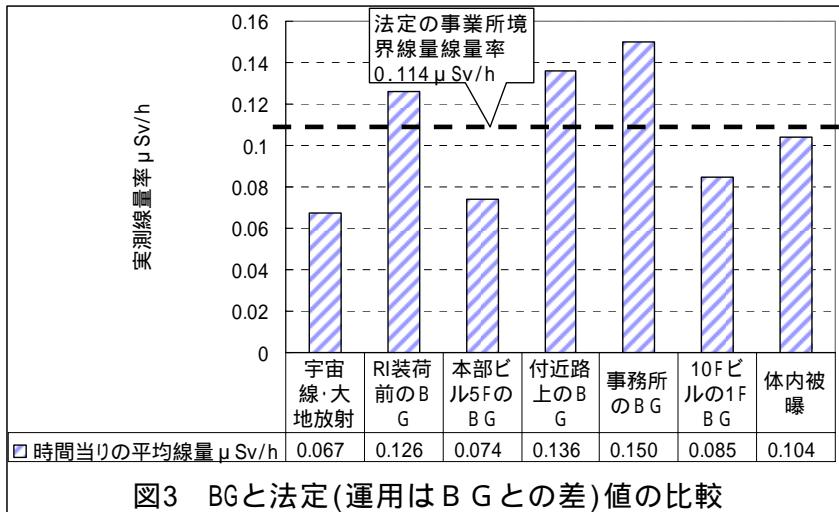


図3 BGと法定(運用はBGとの差)値の比較

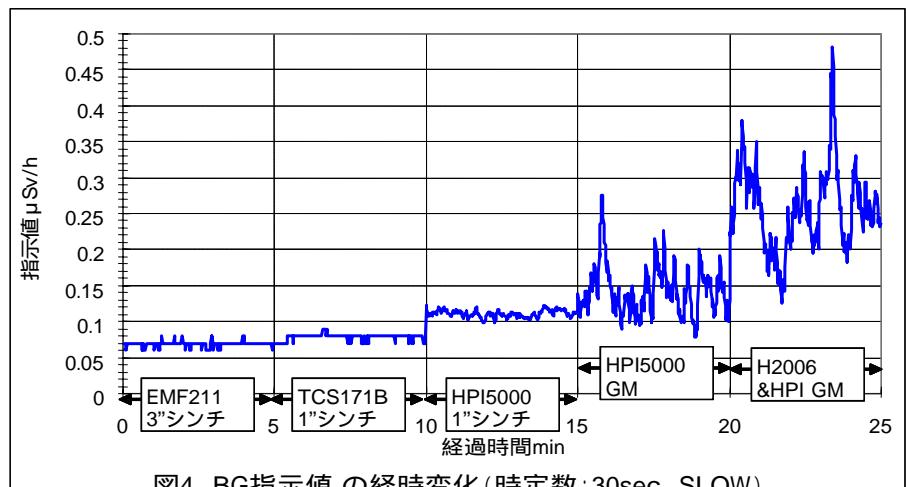


図4 BG指示値の経時変化(時定数:30sec, SLOW)

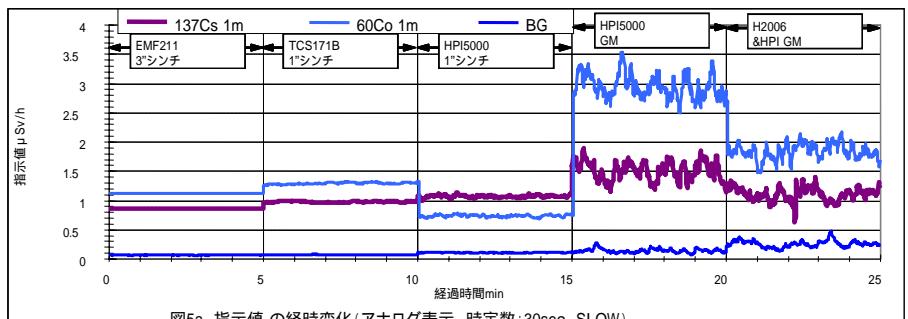


図5a 指示値の経時変化(アナログ表示、時定数:30sec, SLOW)

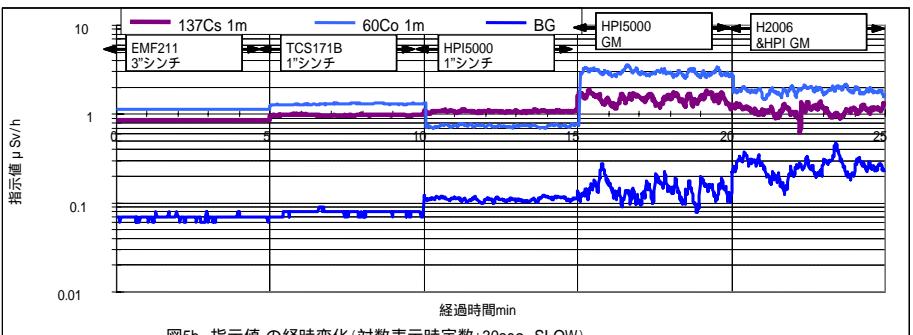


図5b 指示値の経時変化(対数表示時定数:30sec, SLOW)

5. 真の値の測定

測定値の 1cm 線量当量率（以下、真の値）は(1)式で求められる。

$$\text{真の値} = \text{校正定数} \times (\text{指示値} - \text{BG}) \times \text{レスポンス} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここで、レスポンス： ^{137}Cs からの 線感度を 1 とした時のエネルギーレスポンス（以下、レスポンス）。詳細を 5.2 節で解説。

5.1 BG 時の測定

(1)式では BG 時の真の値は () 内が 0 となり計算できない。したがって、(1)式は BG 以下には適用できない。

5.2 レスポンスの補正

(1)式のレスポンス

の例^{<5>}を図 6 に示した。
図 6 から測定時の放射線のエネルギーが明らかでないと適用できない。

そこで、BG 時のエネルギースペクトルを測定した。測定は当社ビルを上下方向に表 1a に示した 3 " シンチレーション (光子スペクトロメータ) で実施し、結果を図 7 に示した。

図 7 b の加重平均エネ

ルギーの詳細を線量率及び測定カウント数と併せて図 8 に示した。図 8 から加重平均エネルギーは測定する高さによって多少変化することが分かった。

一般的に、GB 時の放射線のエネルギーは 7a の縦軸対数目盛からは約 660keV (^{137}Cs からの 線) 程度が適当と思われる。しかし、縦軸を普通目盛にした図 7 b の加重平均結果は約 350keV であった。

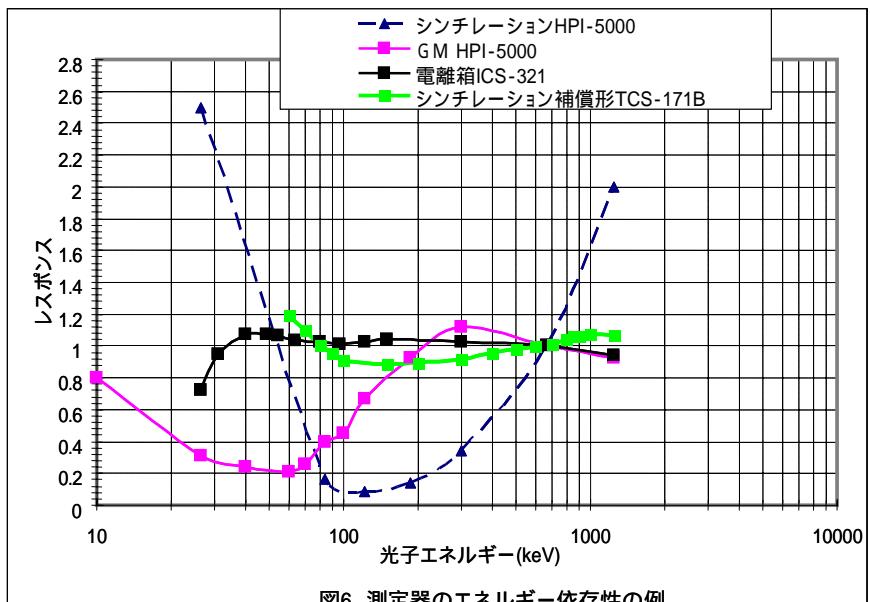


図6 測定器のエネルギー依存性の例

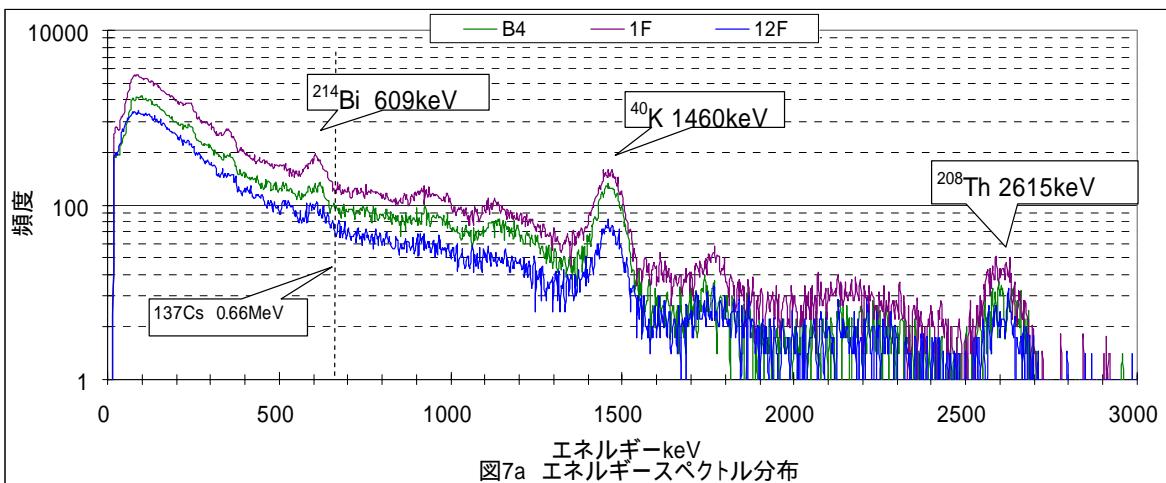
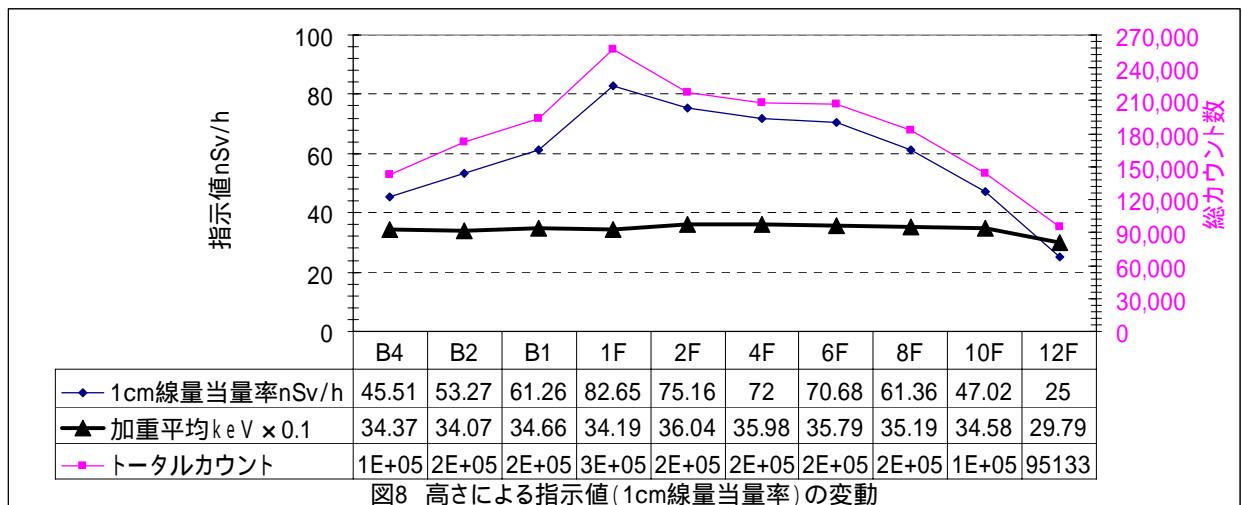
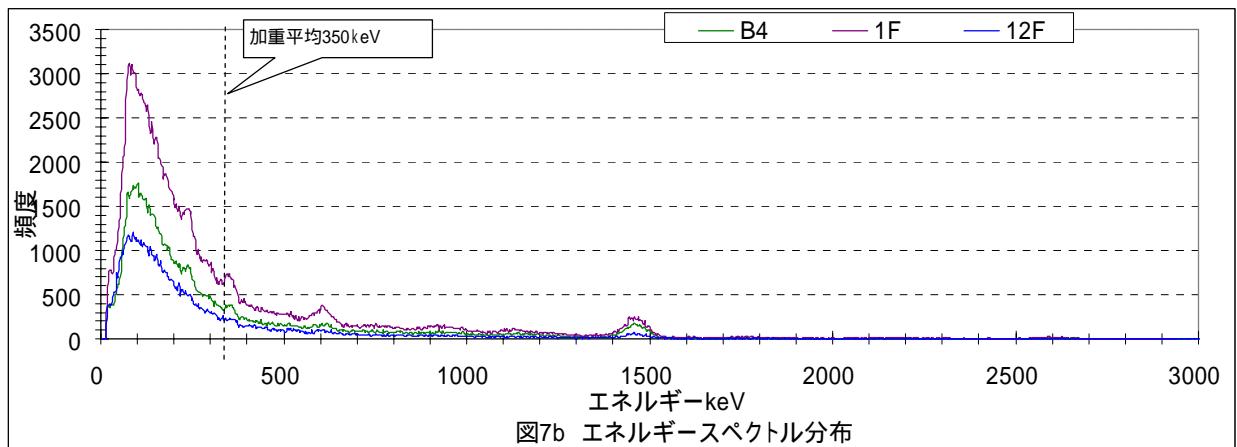


図7a エネルギースペクトル分布



6. 対策の検討

BG 測定時、(1)式では BG を差し引くので計算が出来ないので、実用上は BG を差し引かない(2)式で BG 含む真の値を求める。

$$\text{BG 含む真の値} = \text{校正定数 (BG 含む)} \times \text{指示値} \times \text{レスポンス} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

次に、BG を含む真の値と基準線量から(3)式で誤差 % を求める。

$$\text{誤差 \%} = (\text{BG 含む真の値} - \text{基準線量}) / \text{基準線量} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

6.1 BG 時の測定

BG 時の測定の指示値は図 4 を用いた。

6.2 基準線量時の測定

BG の 10 ~ 14 倍程度の ^{137}Cs 及び ^{60}Co 線源からの基準線量を測定器に与えた時の指示値を図 9 (図 5 と同一データ) に示した。

6.3 測定結果まとめ

基準線量と指示値 (図 9 で変動が大きいため 5 分間の平均値)、(2)式の真の値、(3)式の誤差等の測定結果を $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 単位で表 2 及び図 10 に示した。

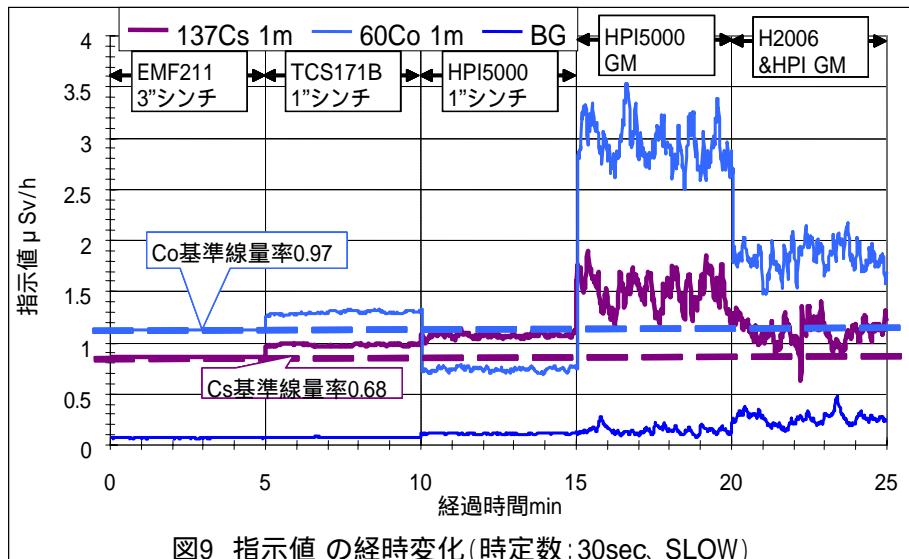


表2 測定結果まとめ(単位: $\mu\text{Sv}/\text{h}$)

表1aの番号と測定器		型番号	B G	基準線源	基準線量	指示値	(2)式校正定数	レスポンス	(2)式真の値	(3)式誤差%
a	3"シンチ	EMF211	0.07	^{137}Cs	0.68	0.86	0.79	1.00	0.68	0.0%
b	1"シンチ	TCS171B	0.08		0.68	0.98	0.69	1.00	0.68	0.0%
c	1"シンチ	HPI5000	0.11		0.68	1.08	0.63	1.00	0.68	0.0%
d	GM	HPI5000 GM	0.16		0.68	1.55	0.44	1.00	0.68	0.0%
e	GM	H2006 GM	0.25		0.68	1.12	0.61	1.00	0.68	0.0%
a	3"シンチ	EMF211	0.07	^{60}Co	0.97	1.14	0.79	1.15	1.03	6.8%
b	1"シンチ	TCS171B	0.08		0.97	1.30	0.69	1.15	1.04	7.1%
c	1"シンチ	HPI5000	0.11		0.97	0.79	0.63	2.00	0.99	2.1%
d	GM	HPI5000 GM	0.20		0.97	2.89	0.44	0.95	1.20	24.5%
e	GM	H2006 GM	0.25		0.97	1.82	0.61	0.80	0.88	8.8%
a	3"シンチ	EMF211	0.07	なしBG	0.07	0.07	0.79	0.94	0.05	25.8%
b	1"シンチ	TCS171B	0.08		0.07	0.08	0.69	0.94	0.05	26.0%
c	1"シンチ	HPI5000	0.11		0.07	0.11	0.63	0.47	0.03	53.4%
d	GM	HPI5000 GM	0.20		0.07	0.20	0.44	1.12	0.10	45.0%
e	GM	H2006 GM	0.25		0.07	0.25	0.61	1.18	0.18	* 1

* 1) : 表1aで示したように、測定器eのGM H2006 GMは未校正のため、(3)式誤差%の表示は参考又は省略とする。

* 2) : (2)式校正定数は ^{137}Cs 基準線量からの校正定数を他にも適用する。

* 3) : BGのレスポンスは加重平均値エネルギー350keVとした。

7. まとめ

(1) BG 時の指示値のバラツキは図 2a の GM 測定器では約 5 倍あるため、線源使用に無関係に、一定の割合で、法定の敷地境界線量 (BG の約 2 倍) を超過したり、敷地境界線量が BG を下回ることが起こりうる。このバラツキの原因是表 1b に示したように、GM 管の容量が小さくて入射カウント数が 0.58cps と小さいことである。そのために測定精度向上には、容量の大きな GM 管を使用する必要がある。本実験に使用した GM 測定器は価格が 30 数万円クラスで、一般的な低精度の機種ではないが、「簡易型」の価格が数万円クラスのパーソナルユースの機種では、GM 管の容量が更に小さくバラツキが更に大きいことが当然予想される。

この入射カウント数が約 60 倍の 35cps の 1" シンチ測定器では、BG 時の指示値のバラツキが約 1.2 倍でこのバラツキのリスクは殆んどない。

(2) 測定器の（エネルギー）レスポンスによる補正を実施する時、BG 時のエネルギーを特定することは困難である。最近開発されたエネルギー補償形シンチ測定器を使用することが望ましい。

(3) BG の線量測定は BG を差し引いた正味の測定ができないために、BG を含んだ校正定数で真の値を求める必要がある。この場合も、レスポンスによる補正是実施した方がよい。

参考文献

- <1> 藪下延樹、辻本忠：測定値から見る放射線測定器の性能 第 1 報 ディジタル測定値のバラツキと応答性、JSNDI 放射線分科会資料 10428、(2009)
- <2> 藪下延樹、辻本忠：測定値から見る放射線測定器の性能 第 2 報 測定値のバラツキと応答性、JSNDI 第 7 回放射線による非破壊検査評価シンポジューム講演概要集 pp.87～92、(2010)
- <3> 藪下延樹：“手のひらサイズ” X 線装置の開発、JSNDI 平成 13 年度秋季大会講演概要集、(2001)
- <4> 藪下延樹、大岡紀一：強力低エネルギー X 線源による像質の改善、JSNDI 資料 10344、(2002)
- <5> 財団法人電子科学研究所：第 2 種放射線取扱主任者テキスト、(2010)

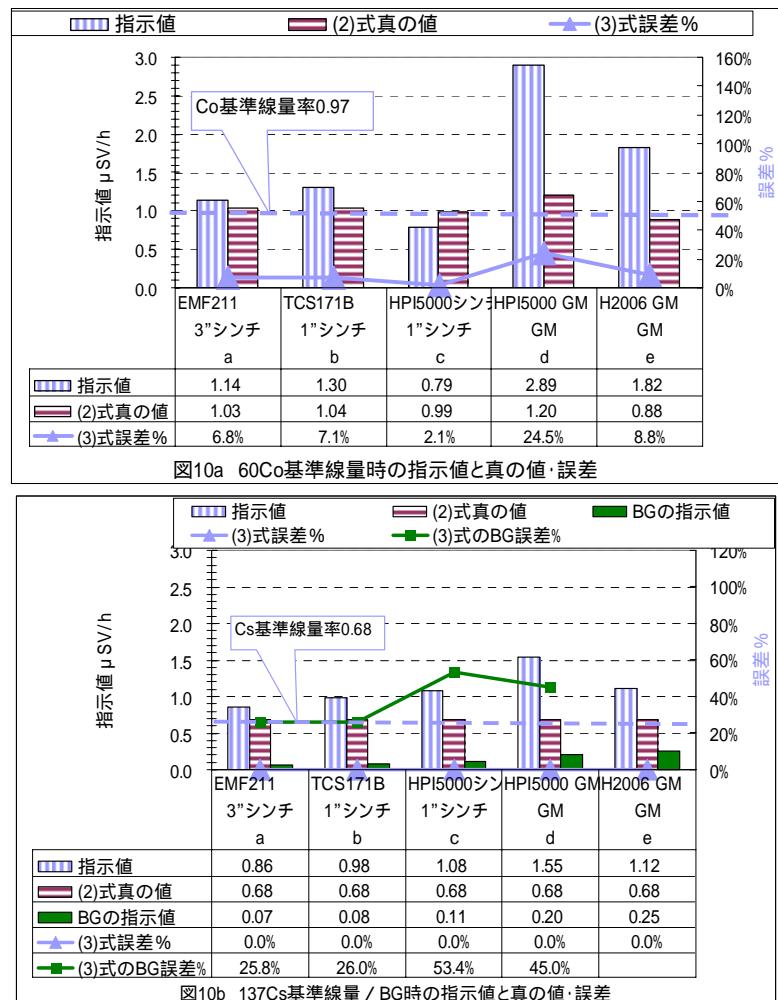


図10a 60Co基準線量時の指示値と真の値・誤差

図10b 137Cs基準線量 / BG時の指示値と真の値・誤差