

シンチレーションサーベイメーターの確認校正

核燃料管理施設（工学系第3 環境・安全技術系）

下山 哲矢

概要

サーベイメーターの校正機関での定期的な点検校正による指示値等の不良確認は理想的であるが、しかし、現実には困難な場合があるため、JIS Z4511:2005 で確認校正について規定している。今回、新しいシンチレーションサーベイメーターを購入したこともあり、校正線源 (^{137}Cs) を用いて、シンチレーションサーベイメーター2種・3台の確認・比較校正を行った。

1. 確認・比較校正の方法

使用したシンチレーションサーベイメーターは、アロカ製 TCS-161・1台、TCS-172・2台である。校正線源は、 ^{137}Cs ($0.662\text{MeV}@^{137m}\text{Ba}$) 照射線量率 $8.07 \times 10^{-9} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (2007/2/16) であり、工学部・工学研究科 放射線管理室より借用した。

確認・比較校正では、JIS Z4333:1990 にできるだけ準じるように、散乱線の影響を少なくするために、校正線源とサーベイメーターの位置及び保持方法を取った。図1に示すように、線源とサーベイメーター表面間の距離1mを基準として、50cm及び25cmとサーベイメーターを近づけて、各サーベイメーターの指示値を確認した。

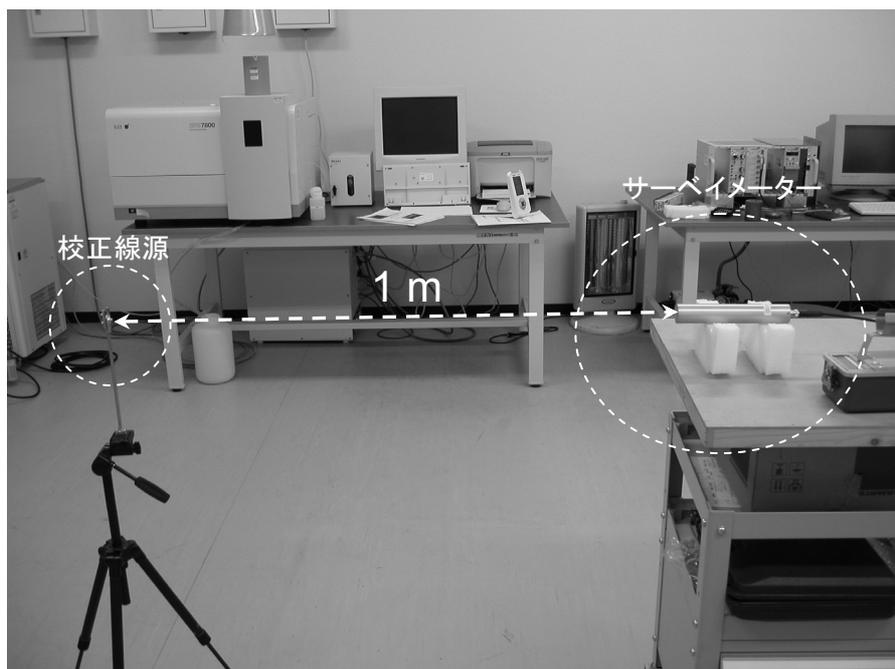


図1 サーベイメーター確認・比較校正外観

2. 結果

表1及び表2にバックグラウンドの指示値の読み取り結果を示す。測定回路の時定数をアロカ製のサーベイメーターでは10secとした。指示値の校正定数は、アナログ表示の各測定レンジで決められていたが、一般的に使っているオートレンジであるデジタル表示値を確認した。また、サーベイメーターの借用の不幸で全てのサーベイメーターを同日に測定できなかったため、TCS-161で各測定の差異を判断することにした。

次に線源とサーベイメーター表面までの距離1mの指示値を表3及び表4に示す。校正線源と検出器部分の距離1mと検出器部分の有効中心（表面から2cm）を足し合わせた1.02mでの1cm線量当量率は、照射線量率と1cm線量当量率換算係数の変換（JIS Z4333:2001）及び ^{137}Cs の校正日からの経過時

間を考慮すると、 0.31 ± 0.03 ($k=2$) である。測定はバックグラウンド同様に 7 回行い、その平均値を表では用いている。また、サーベイメーターの校正定数は、計測レンジ毎に与えられているが、デジタル表示のため、その平均値を用いた。(校正機関の校正報告書では、アナログとデジタル表示の差は 3% 以内とされている。)TCS-161 以外は、不確かさの範囲内で推定される線量率と一致した。

表 1 バックグラウンド測定値 1 日目

測定結果	TCS-161	TCS-172
測定環境	0.07	0.11
気温 23.4°C	0.08	0.09
湿度 62.0%	0.08	0.10
気圧 100.7kPa	0.07	0.10
	0.08	0.10
平均値	0.07	0.10
標準偏差/平均値	0.06	0.06

表 2 バックグラウンド測定値 2 日目

測定結果	TCS-161	TCS-172
測定環境	0.06	0.10
気温 21.6°C	0.07	0.09
湿度 62.0%	0.07	0.10
気圧 100.3kPa	0.07	0.09
	0.07	0.09
平均値	0.07	0.09
標準偏差/平均値	0.07	0.05

表 3 1m での測定値 1 日目

測定結果	TCS-161	TCS-172
検出表面まで 1m 線源校正値	0.31 ± 0.03	
平均値-Bg	0.23	0.36
標準偏差/平均値	0.03	0.01
x 校正定数		0.34
不確かさ(距離のみ)		± 0.01

表 4 1m での測定値 2 日目

測定結果	TCS-161	TCS-172
検出表面まで 1m 線源校正値	0.31 ± 0.03	
平均値-Bg	0.23	0.32
標準偏差/平均値	0.02	0.02
x 校正定数		0.32
不確かさ(距離のみ)		± 0.01

次に 50cm、25cm で同様に測定を行った結果を表 5 及び表 6 に示す。各距離での 1cm 線量当量率は、1m での 1cm 線量当量率を基準として距離の二乗の反比例を用いて推定している。TCS-172 の 2 台の指示値は、不確かさの範囲以内で推定される線量率と一致した。表 3~6 までを図 2 にまとめる。それぞれのデータには、距離の二乗で反比例する曲線をフィッティングしてある。各測定は、曲線とよく一致し、散乱線の影響が少なかったことがわかる。

表 5 50cm、25cm での測定値 1 日目

測定結果	TCS-161	TCS-172
50cm (線量率 1.13 ± 0.10)		
平均値-Bg	0.82	1.26
標準偏差/平均値	0.01	0.01
x 校正定数		1.19
不確かさ(距離のみ)		± 0.02
25cm (線量率 4.20 ± 0.39)		
平均値-Bg	3.41	4.40
標準偏差/平均値	0.00	0.01
x 校正定数		4.22
不確かさ(距離のみ)		± 0.15

表 6 50cm、25cm での測定値 2 日目

測定結果	TCS-161	TCS-172
50cm (線量率 1.13 ± 0.10)		
平均値-Bg	0.82	1.14
標準偏差/平均値	0.01	0.01
x 校正定数		1.14
不確かさ(距離のみ)		± 0.02
25cm (線量率 4.20 ± 0.39)		
平均値-Bg	3.37	4.31
標準偏差/平均値	0.01	0.00
x 校正定数		4.27
不確かさ(距離のみ)		± 0.15

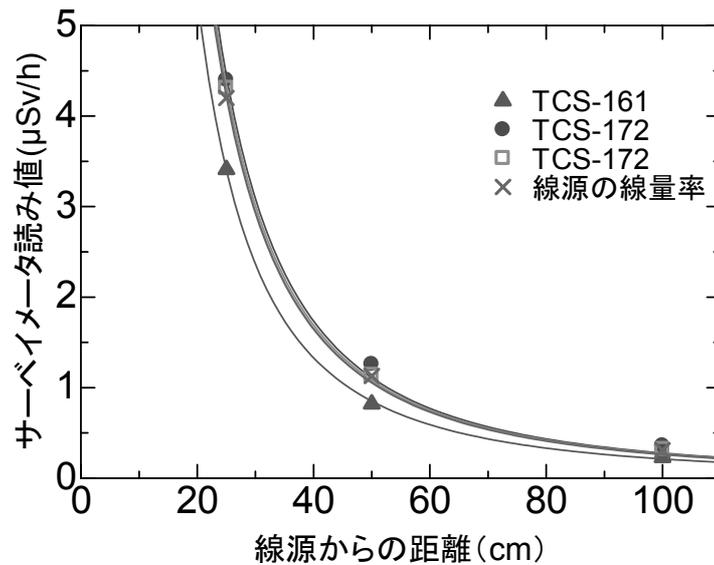


図2 計測結果のまとめ図

TCS-161の比較校正でもとめた校正定数の平均値は、1.32であった。TCS-161は、10年ほど前に購入したものであり、説明書・校正書の所在がわからない。ある報告¹⁾では、校正定数が1.32であり、このずれは経年変化によるものだと報告されており、このTCS-161もNaI結晶の劣化による光出力の減少と結論づけるのが妥当であろう。しかしながら、仮にエネルギー補償回路が付いていないサーベイメーターで同様な結果が得られた場合、校正に用いた線源も注意しなければならない。¹³⁷Csの指示値を1としたエネルギー補償回路がないシンチレーションサーベイメーターの応答は、JIS Z4333:1990の解説図で示されており、その図での²²⁶Raの実効エネルギーでの値は、約0.75(²²⁶Raの実効エネルギーを1とした場合、¹³⁷Csの値は約1.3)である。また、EGS5モンテカルロシミュレーションコード²⁾によって簡略化した検出器の体系において応答計算をした結果(図3参照)では、²²⁶Raの実効エネルギーでの値は、約0.8(²²⁶Raの実効エネルギーを1とした場合、¹³⁷Csの値は約1.3)となった。²²⁶Raの応答を1とした場合(²²⁶Raで校正した場合)、偶然にも校正定数が1.3のシンチレーションサーベイが存在してしまう結果となる。

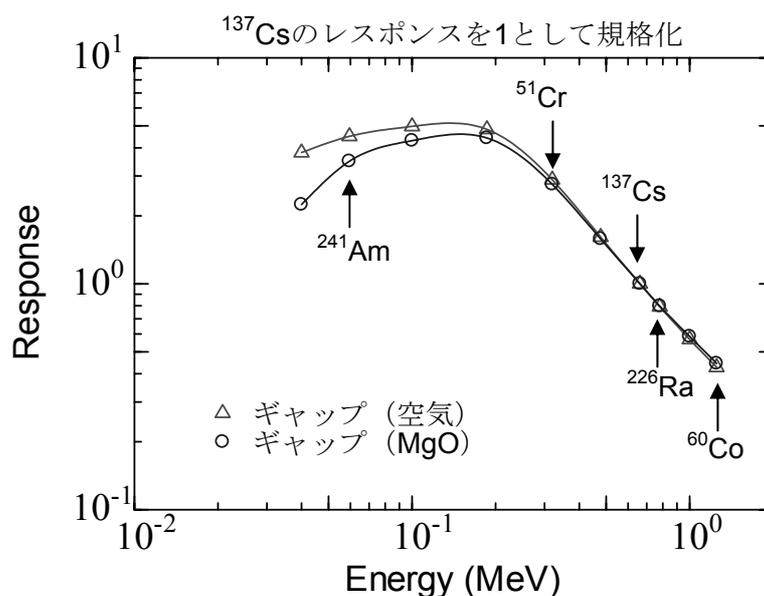


図3 EGS5で計算したシンチレーションサーベイメーターの応答
 ※ギャップとは検出器ケースとNaI結晶との間

3. 点検校正後の確認校正

TCS-161 については校正機関に点検校正にだした結果、NaI 結晶の劣化によって、検出効率の減少が原因であるとの結論であった。交換はずした NaI 結晶を図 4 に示す。結晶内部ではなく、反射材と結晶との間に黄色の変色が見られる。(図 4 の点線で囲った部分) 結晶の発光効率が落ちたのか、又は、発光の反射の効率が落ちたのか定かではない。一方で点検校正報告書を見ると、光電子増倍管の高電圧を約 9V (599V を 610V に変更) 上げ、光電子増倍管の利得を上げている。その結果として、NaI 結晶交換を含めて、ある条件の出力値は 70mV(590mV が 660mV へ)上がっている。このことを考えると、光電子増倍管の設定も 1 つの要因だったのかもしれない。

点検校正後、1. で述べたのと同様に確認校正を行った。結果を表 7 に示す。表 7 に示すように、50cm と 25cm では若干低い値を示しているが、不確かさの範囲内で推定される線量率と一致した。

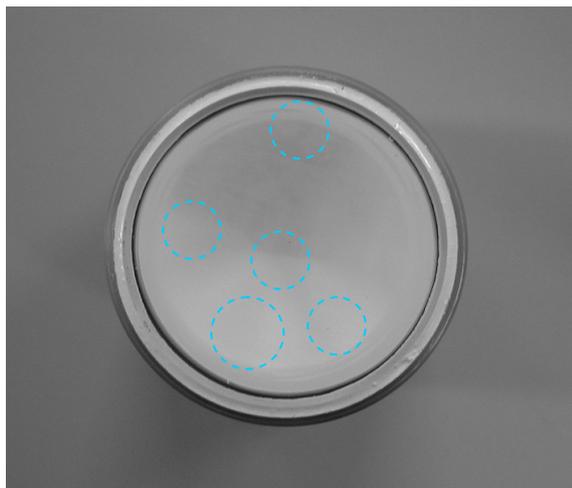


図 4 シンチレーションサーベイメーターの NaI 結晶

表 7 点検校正後の確認校正結果

1m (線量率 0.30±0.03)		25cm (線量率 4.12±0.38)	
平均値-Bg	0.30	平均値-Bg	4.02
標準偏差/平均値	0.02	標準偏差/平均値	0.00
x 校正定数	0.30	x 校正定数	4.02
不確かさ(距離のみ)	±0.01	不確かさ(距離のみ)	±0.14
50cm (線量率 1.11±0.10)			
平均値-Bg	1.09		
標準偏差/平均値	0.01		
x 校正定数	1.09		
不確かさ(距離のみ)	±0.02		

4. まとめ

シンチレーションサーベイメーター1種・2台の確認校正及び1種・1台の比較校正を行った。その結果、TCS-172の指示値の有意なずれは、確認できなかった。TCS-161は、NaI結晶の劣化により表示される線量率の不都合があった。TCS-161については、校正機関で点検校正を行った後、正常な値を示し、確認校正を行った。今後、1年以内ごとに確認校正を行っていきたい。

参考文献

1. K. Ichida et al, : EXAMINATION OF THE LONG-TERM STABILITY OF RADIATION SURVEY METERS AND ELECTRONIC POCKET DOSEMETERS, Radiat. Prot. Dosim. (2007)
2. H. Hirayama et al, : Report SLAC-R-730

確認校正参考書

原子力安全技術センター 確認校正マニュアル (<http://www.nustec.or.jp/jisz4511/jisz4511-3.htm>)