X線校正場による電離箱サーベイメータの校正方法の検討

(平成 24 年 11 月 30 日受理)

若月佑介¹⁾, 関本道治²⁾, 加藤二久³⁾, 佐藤昌憲¹⁾
1) 駒澤大学大学院 医療健康科学研究科
2)東京大学医学部附属病院
3)首都大学東京大学院 人間健康科学研究科

lcm線量当量の測定には電離箱式サーベイメータが有用であるが、線量校正では¹³⁷Cs(662keV) γ線源を用いているため、診断用X線エネルギー領域での線質依存性は必ずしも保証されない。 そのため、漏洩X線などのエネルギー領域の線量測定には、診断領域X線エネルギーによる校正 が必要である。そこで、本研究ではX線線源を用い、電離箱式サーベイメータによるH₁₀測定の 校正方法の検討を行った。

X線撮影室からの漏洩X線は非常に濾過されていると考えられるため、Cuフィルタを用いて 線質指標(QI)を0.8まで硬くしたX線を用いた。また、電離箱式サーベイメータは電離箱線量計 に比べて感度が高いため、両者は同じ線源一検出器間距離で測定できない。したがって、線量の 逆二乗推定法を用いて測定を行った。

サーベイメータの基準線源である ⁵⁷Co および ¹³⁷Cs 線源で得られた校正係数と QI=0.8 の X 線 線源で得られた校正係数を比較したところ、 ⁵⁷Co で得られた校正係数は 1.04[(μ Sv/h)/(μ Sv/h)]、 ¹³⁷Cs で得られた校正係数は 1.01[(μ Sv/h)/(μ Sv/h)]に対し、QI=0.8X 線により得られた校正係数は 0.99[(μ Sv/h)/(μ Sv/h)]であり、大きな差異は見られなかった。この結果から、QI=0.8 によるサー ベイメータ校正方法は γ 線線源による線量校正と同等の結果が得られ、かつエネルギーを任意に 変更できる利点を持った校正方法だといえる。

1. 序論

1.1. 目的

電離箱式サーベイメータは持ち運びが容易であ り、短時間で測定が行えることから、病院などの 施設における漏洩 X 線の測定に有用である。しか し、サーベイメータは主に高エネルギー用に作ら れているため、診断領域の漏洩 X 線を測定する際 にはエネルギー特性が必ずしも保証されない。そ のため、診断領域の線量測定を行うためには診断 領域エネルギーによる校正を行う必要がある。

サーベイメータの校正には基準線源として ¹³⁷Cs、エネルギー特性測定用線源として²⁴¹Am、 ⁵⁷Co が用いられているが、漏洩 X 線は連続スペク トルであるため、線スペクトルの線質とは異なる。 また、放射性同位元素のγ線のエネルギーは核種 に固有のため、エネルギー特性を知るためには多 くの核種のγ線源が必要になる。他の方法として、 一般撮影用の X 線発生装置による校正もあるが、 漏洩X線は非常に濾過されていると考えられるた め、こちらも線質が異なっている。

本研究では電離箱式サーベイメータによる漏洩 X線測定を対象とした線量校正をX線を用いた方 法で検討し、従来のγ線源による線量校正との比 較検討を行った。

2. X線用校正線源の設定

2.1. X 線用校正線源

線量校正用 X 線源には PANTAC 社製 HF-160S を使用した。HF-160S 仕様の各パラメータは Table1 に示す。この装置は長時間 X 線を照射でき るため、シャッタの開閉を用いて、管電圧の立ち 上がり立ち下りによる損失をなくし、安定した線 量を照射することができる。シャッタは 10[mm] 厚の鉛製で開閉時間は 0.3[sec]であり、校正時の照 射時間に与える影響は、1 分間の照射では 0.01%以下になる。また、照射時間を変化させたときの 電離電荷量は 0.5sec まで直線上に沿って変化する ため、照射時間の測定限界は 0.5[sec]である。シャ ッタ遮蔽能力として漏洩線量率を測定した結果、 管電圧 160[kV]、管電流 19[mA]の条件において焦 点-検出間距離 50[cm]で 0.2[μ C/kg/min]、100[cm] で 0.07[μ C/kg/min]であった。

Table 1	HF-160S S	<u>pecifications X-ra</u>	V S	generator

ターゲット:	タングス	ミテン(W)20°
固有フィルタ:		1mmBe
管電圧:	10~160	xV (連続可変)
管電流:	大焦点	0.1~50mA(Max)
	小焦点	0.1~10mA(Max)
焦点サイズ:	大焦点	3.0×3.0mm
	小焦点	0.4×0.4mm
リプル:	±0.1%以	т
管電圧安定度:	0.05%	
管電流安定度:	0.05%	
シャッタ開閉時間:	0.3sec	

リファレンス線量計は チェンバーに Exradin 社製 A4、エレクトロメータに東洋メディック社製 RAMTEC 1500B を用いた。(Fig.1-2) A4 チェンバ ーの電離体積は 30[cm³]であり、入射壁は 0.5[mm] の Shonka air-equivalent plastic C552、集電極の直径 は 4[mm]、信号コネクタに Triaxial BNC plug、高 電圧コネクタに Integral with traiaxial connector を 使用しており、チェンバーの首にある通気孔によ り電離体積内の空気と外気とを同じ密度にしている。また、今回は被校正サーベイメータとしてデジタル式の Aloka 社製 ICS-323 (fig.3)を用いた。



Fig. 1 Reference dosimeter A4、 RAMTEC 1500B



Fig.2 Cross-sectional structure of the ionization chamberA4



Fig. 3 ICS-323 Ionization chamber survey meter

2.2. 線質の設定

本研究では撮影室の壁を透過してきた漏洩 X 線を測定対象としている。漏洩 X 線は非常に濾過 されていると考えられるため、線量校正に用いる 照射 X 線の線質は Cu フィルタを用いて可能な限 り硬く、かつ線量が十分に確保できる線質指標(以 下、QI)QI=0.8 とした。QI は(1) 式のように実効 エネルギー(E_{eff})と最大光子エネルギー(E_{max})の比 で示される。そのため、線質の設定は X 線の半価 層から(2)式で質量減弱係数 (μ/ρ)を求め、 National Institute of Standards and Technology(NIST) のフィルタ材質の光子エネルギーと質量減弱係数 の関係を参照して実効エネルギーを算出すること で設定した。

Table 2 Parameter for creating QI=0.8X

$$QI = \frac{E_{gff}}{E_{max}} \cdot \cdot \cdot (1)$$

QI:線質指標
 $E_{eff}: 実効エネルギー[keV]$
 $E_{max}: X 線管電圧[kV]$

$$\frac{\mu}{p} = \frac{In}{t \cdot \rho} \cdot \cdot \cdot (2)$$

 μ/ρ :質量減弱係数

ρ:密度[g/cm³]

t:半価層值[cm]

上記の方法により、QI=0.8の得られる管電圧と 付加フィルタ条件をTable.2に示す。

Potential	40	50	60	70	80	00	100	120	140
(kV) .	40.	50.	00.	70.	0 U ₽	90.	100-	1200	140.
Filter	0.2	0.5	0.7	1 1	1 5	2	2.4	10	E /I
(mmCu) 。	0.3-	0.5	0.7.	1.10	1.5	Z٥	5.4	4.0-	5.4.
HVL_{\circ}	0.004	0 166	0.257	0.206	0 544	0 719	1 012	1 522	1 056
(mmCu) .	0.094.	0.100	0.2570	0.590*	0.544	0.7100	1.0120	1.3320	T.920°
Effective energy.									
(keV) .	33.	41.	48₀	56₀	64.	72.	80.	97.	113.



Fig. 4 Spectrum of QI=0.8Xray

Effective energy (keV)	33	41	48	56	64	72	80	97	113
C10 (Sv/Gy)	1.251	1.414	1.252	1.697	1.740	1.742	1.712	1.625	1.551

Table 3 Effective energy conversion factor for each

40-140kVの各管電圧に対し、Table.2上のCuフィル タを付加することで、半価層、実効エネルギーの とおりQI=0.8を作成できる。測定の際は各管電圧 毎に付加フィルタを変化させ、常に照射されるX 線がQI=0.8となるようにし、校正線源とした。ま た、作成したQI=0.8の設定条件から、Crnleyのソ フトウエア⁵⁾を用いて得られたスペクトルはFig.4 の通りである。

2.3. 1cm 線量当量への変換

サーベイメータで測定する 1cm 線量当量 H^{*} 10 の単位は[Sv]であるのに対し、リファレンス電離 箱で得られる電離電荷量 Q の単位は[C]である。 そのため、単位の換算を行う必要がある。

まず、測定によって得られたリファレンス線量 計の電離電荷に校正係数を乗じる。当施設で保有 している校正係数の単位は[R/pC]および [(C/kg)/pC]であるため、電離電荷から照射線量 X[R]の単位に換算する。

Q[pC] · 校正係数 $[^{R}/_{pc}] = X[R]$ · · · (3)

$%1[R]=2.58 \times 10^{-4}[C/kg]$

空気の W 値は約 34[eV]であり、このことから 照射線量が 1[C/kg]および 1[R]のとき、空気の吸収 線量は 34 [Gy]、8.77[mGy]であるため、照射線量 から空気の吸収線量 D_{air}[Gy]に換算する。

 $X[R] \cdot 0.00877 = D_{air} \cdot \cdot \cdot (4)$

1cm 線量当量と空気の吸収線量の関係は式(5) である。

 $\mathbf{H}^{*}_{10} = \mathbf{C}^{*}_{10} \cdot \mathbf{D}_{air} \cdot \cdot (5)$

C^{*}₁₀は変換係数[Gy/Sv]であるが、変換係数はエ ネルギーに依存する。γ線の線スペクトルの変換 はエネルギーが一定のため、上記の式を用いるが、 本研究で用いる線源はX線の連続スペクトルであ るためスペクトルの各エネルギーに応じた変換係 数を乗じる必要がある。本研究では Report78 ソフ トウエア⁵⁾で得られたスペクトルを使用し、式(6) で算出した。

$$H^{*}_{10} = \int_{0}^{E \max} \phi(E) C^{*}_{10}(E) dE \cdot \cdot \cdot (6)$$

ここで、 $\phi(E)$ はエネルギーごとのフルエンスで ある。 $\phi(E)$ のエネルギーに応じた $C^*_{10}(E)$ の値は (5)式の値を Lagrange4 点補間式で内挿した。各エ ネルギーに対する変換係数を Table3 に示す。

3. 校正方法

3.1. QI=0.8X 線によるサーベイメータの校正

線量校正には通常、測定精度が良いため置換法 が用いられているが、電離箱式サーベイメータは 感度が高いため、リファレンス線量計 A4 と同じ 線源 - 検出器間距離で測定することができない。 また、チェンバーの体積を大きくするなどして、 リファレンス線量計の感度を大きくすると、測定 値の変動が大きくなり、測定精度が悪くなってし まう。そのため、本研究では逆二乗推定法で行っ た。逆二乗推定法は、リファレンス線量計の測定 を線源から 1[m]の距離で行い、被校正サーベイメ ータの測定は 3.2[m]の距離で行った。リファレン ス線量計の測定値から、線源 - 検出器間距離 3.2[m]での照射線量を算出し、被校正サーベイメ ータの校正を行った。

逆二乗推定法では、測定開始前にリファレンス 線量計および被校正サーベイメータで 1[m]、 3.2[m]間で距離の逆二乗が成立し、且つ空気の減 弱が測定値に影響を与えていないことを確認した。

もし、逆二乗推定法でリファレンス線量計と被 校正サーベイメータの感度差を埋められなかった 場合は測定レンジの広い半導体検出器 RTI 社製 Solidose 308 を媒介線量計として用いる。まず、リ ファレンス線量計で Solidose 308 を校正し、校正 係数を与える。次に、Solidose 308 をリファレンス として、被校正サーベイメータの測定ができる条 件で校正を行う。

3.2. ⁵⁷Co および ¹³⁷Cs 線源との比較

QI=0.8X線線源による線量校正が適正に行われ ていることを確認するため、 5^{7} Co(122keV) および 1^{37} Cs(662keV)線源による線量校正を行い比較した。 1^{37} Cs が電離箱式サーベイメータの線量校正の基 準であり、 5^{7} Co がエネルギー依存性を測定するた めに用いられるため、比較する QI=0.8X 線の実効 エネルギーは 5^{7} Co と同じ 122[keV]とした。

⁵⁷Coの線量校正は、周囲 2[m]に物体が無い状態 で、床から 1[m]の高さで被校正サーベイメータを⁵⁷Co線源から 1[m]の距離に置き、1cm線量当量変 換係数[µSv/h・MBq・m²]を用いてサーベイメー タの測定位置での照射線量をリファレンスとし、 サーベイメータの指示値との比を校正係数とした。

¹³⁷Cs では、γ線照射装置(ポニー工業社製)を用 いて JQA にて線量校正を行ったサーベイメータ の測定値をリファレンスとし、被校正サーベイメ ータの指示値との比を校正係数とした。照射時の 幾何学的配置は、線源-検出器間距離を 1[m]とし、 床からの後方散乱を除去するため、床から 5[cm] 鉛ブロック、2[mm]鉛板、30[cm]発泡スチロール を置き、その上にサーベイメータを配置して測定 を行った。測定時の幾何学的配置を Fig.5 に示す。

この測定を行うにあたって、発泡スチロールの

位置に鉛ブロックを置き、測定値が変化しなかっ ため、鉛ブロックからサーベイメータの測定値に 変化を与える程の後方散乱がないことを確認した。



Fig. 5 The geometry of the measurement source ¹³⁷Cs

4. 校正結果および考察

QI=0.8X による校正で得られた校正係数を fig.6 に示す。横軸は実効エネルギー、縦軸は校正係数 である。



Fig. 6 Calibration results by QI=0.8X-ray

また、122[keV]X 線と⁵⁷Co および¹³⁷Cs 線源か ら得られた校正係数はそれぞれ 0.99[(μSv/h)/(μ Sv/h)]、1.04[(μSv/h)/(μSv/h)]、1.01[(μSv/h)/(μ Sv/h)]であり、校正係数の差は小さく QI=0.8X 線 による線量校正でもγ線と同様の校正係数が得ら れたといえる。

校正の結果から、実効エネルギーが 80[keV]以 上の領域では校正係数はほぼ一定の値となってい るが、80[keV]より小さい領域で校正係数が変動し ていることが見て取れる。変動している校正係数 の最大値と最小値の差は10%に満たないため大き な差ではないが、線量測定の精度に影響を与える 要因である。この結果により、QI=0.8X 線による 校正を行うことで、実効エネルギーを変化させ、 変動している各エネルギーに応じた校正係数を得 ることが可能であるといえる。また、照射線量実 用測定器を実用校正する際の精度は±20%である ⁷⁾ため、得られた校正係数は実用に耐えうるとい える。

5. 結語

QI=0.8X 線線源を用いた撮影室漏洩線量を測定 するサーベイメータの線量校正が可能となり、そ の校正係数は⁵⁷Coγ線による校正係数と大きな差 は見られず、同等の精度を持つ校正係数が得られ るといえる。さらに、線源をX線にすることによ り、任意のエネルギーで線量校正を行うことが可 能である。今回は、デジタルの電離箱式サーベイ メータのみで実験を行ったが、アナログ式の電離 箱式サーベイメータを校正する場合、各レンジに 応じた線量を調節する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、⁵⁷Coによるγ線線量校 正の実験に関して東京工業大学の実吉敬二様、駒 澤大学の小川雅生様、鳥山保様には大変お世話に なりました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1.若月佑介,関本道治,加藤二久,佐藤昌憲
 "サーベイメータによる診断領域 X 線測定用の
 校正方法の検討". 駒澤大学医療健康科学研究
 科論集,2012
- 2.若月佑介, 関本道治, 加藤二久, 佐藤昌憲
 "Calibration of survey meters in H₁₀ for hospital use" 第 18 回 AACRT 25-27,3,2011
- 清水滋,高橋史明,澤畠忠広,當波弘一,菊池寛,村 山卓"放射線測定器の性能試験に用いる X 線校 正場の特性評価"

JAERI-memo 01-022,2,1989

- 4.関本道治"線量計の性能評価に用いる X 線発生 装置の性能と諸特性" 駒澤短期大学放射線科 論集,2003
- 5. J. H. Hubbell and S. M. Seltzer"Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest" NISTIR5632
- 関本道治,佐藤昌憲,小山修司,加藤二久"放射線 測定器の性能試験に用いる X 線校正場の特性評 価その2" 日本放射線技術学会 東京部会雑 誌 No.88.52-53,2003
- 7. 日本規格協会;JISZ4511「照射線量測定器及び線 量当量測定器の校正方法」,1999

Study of ionization chamber survey meter calibration method by X-ray calibration fields

Yusuke Wakatsuki¹⁾, Michiharu Sekimoto²⁾, Tsuguhisa Katho³⁾, Masanori Satho¹⁾

1) Komazawa University Health Sciences 2) University of Tokyo Hospital 3) Tokyo Metropolitan Uninersity

Abstruct

Ion chamber survey meter expression is useful for the measurement of dose equivalent H_{10}^* . However, the characteristics of energy is not necessarily guaranteed in diagnostic X-ray energy region. Therefore, the measurement of X-ray energy range such as leakage, energy calibration is necessary diagnostic region. In this study, we have examined the H_{10}^* calibration method of measurement by ionization chamber type survey meter using a line source X-ray.

X-ray leakage from X-ray imaging room has been filtered very. So, the author used hard X-rays to 0.8 QI made of Cu filter. In addition, the ionization chamber type survey meter sensitivity is higher than that of the ionization chamber, the same souce can not be measured by the distance between the detector. It was carried out by inverse square estimation method.

Calibration coefficients obtained by ⁵⁷Co is 1.04 [(μ Sv / h) / (μ Sv / h)], Calibration coefficients obtained by ¹³⁷Cs is 1.01 [(μ Sv / h) / (μ Sv / h)]. On the other hand, the calibration factor obtained by QI = 0.8X -ray was 0.99 [(μ Sv / h) / (μ Sv / h)]. There was no significant difference in the QI = 0.8X-ray souce and γ -ray souce.

From these results, the survey meter calibration method by QI = 0.8X-ray is the same as the calibration results can be obtained by γ -ray nuclide. And it has the advantage that energy can be changed arbitrarily.

(Received: November 30, 2012)