

Title	高エネルギーX線および電子線に対する電離箱のラド変換係数について
Author(s)	安徳, 重敏; 砂屋敷, 忠; 竹下, 健児
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1973, 33(8), p. 683-688
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20270
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

高エネルギー X 線および電子線に対する 電離箱のラド変換係数について

広島大学原爆放射能医学研究所 障害基礎研究部門
安徳 重敏 砂屋敷 忠 竹下 健児

(昭和48年6月13日受付)

Rad Conversion Factor of Ionization Chamber for High Energy X-rays and Electrons

Shigetoshi Antoku, Tadashi Sunayashiki and Kenji Takeshita
Department of Radiation Biology, Research Institute for Nuclear Medicine and Biology,
Hiroshima University, Kasumi-cho, Hiroshima, 734, Japan

Research Code No.: 203

Key Words: rad/R, Ionization chamber, Fricke dosimeter,
High energy X-rays, High energy electrons

Conversion factors from roentgens to rads for Ionex, JAPM substandard and Radocon 555 dosimeters for high energy X-rays and electrons were experimentally determined using a Fricke dosimeter.

The conversion factors obtained for Co-60 γ -rays and high energy X-rays agreed within one percent with the values cited in "A Practical Code for Dosimetry of 2 to 35 MV X-rays and Cobalt-60 gamma-ray beams in Radiotherapy in Japan", which were calculated by Greene and Massey.

The values for high energy electrons were slightly lower than those described in ICRU Report 21, but the differences were well within variation of experimental errors. The factors by depth in water also agreed with those in the ICRU Report for 20 and 30 MeV electrons, assuming that the effective center of the chamber located one half of the cavity radius in front of the center of the cavity.

緒 言

市販の指頭型電離箱による高エネルギー放射線の吸収線量の測定については International Commission of Radiation Units and Measurements (ICRU) 報告¹⁰⁾¹¹⁾や日本医学放射線学会物理部会¹²⁾によって基準的な方法が示されている。いずれも Co-60 γ 線について電離箱の校正係数を決定しておき、放射線の種類、エネルギーに応じてレントゲンからラドへの変換係数を線量計の読みに乗ずることによって吸収線量を求める方法が採用され

ている。各医療施設の電離箱の校正係数は、国内各地区に設備されている J A P M 標準線量計との比較によって決定することができる。

日本における標準測定法（以下「標準測定法」と略記）には、Co-60 γ 線、高エネルギー X 線のラド変換係数として、Greene および Massey⁷⁾ の理論的計算値を採用している。本研究の目的は、J A P M 線量計および市販の電離箱のラド変換係数を実験的に決定し、X 線については標準測定法に採用されている値と比較し、また電子線では、

今後の標準測定法作製の参考資料を提供することにある。

材料および方法

放射線源としては、Co-60 γ 線（島津RT-10000 S）および35MeV リニア・アクセラレータ（NELAC-4030, 日本電気—Varian 製）¹⁵⁾を使用した。線量計はJonex 0.6cm³および0.2cm³電離箱（Nuclear Enterprises), JAPM 標準線量計I型（応用技研）ならびにRadocon 555, 100 MA 電離箱（Victoreen）を用いた。Fricke線量計は3回蒸留水に硫酸第一鉄アンモニウム： 10^{-3} M, 食塩： 10^{-3} M, 硫酸： 0.4 Mを溶解して作製し、 $1.5\text{cm}\phi \times 4\text{cm}$ の硬質ガラスアンプルに封入した。Co-60 γ 線では3 cm, X線および電子線では共に水中のピークとなる深さに電離箱を中心に置き、その両側にFricke線量計を並べて照射した。SSDはCo-60 γ 線では60cm, X線および電子線では、100cmとした。Co-60 γ 線では3 cmとした理由は、電離箱と化学線量計の直径の違いによる差を小さくするためである。ラド変換係数は、イオン再結合による損失、温度、気圧ならびに校正常数について補正した電離箱の読みで、Fricke線量計で得られた吸収線量を除することによって得られる。各電離箱の校正常数は、Co-60 γ 線についてFricke線量計との比較で求めた。JAPMの校正常数は、放射線医学総合研究所物理研究部によって与えられた値と0.5%以内で一致した。ラド変換係数はICRU報告¹⁰⁾¹¹⁾に従ってX線では C_2 , 電子線では C_E という記号で記載する。

電子線の深さによる C_E は電離箱およびFricke線量計で求めた深部量百分率の比較から決定した。電離電流の深部量百分率はIonex 0.6cm³電離箱によつて求め、一方吸収線量百分率は $18\text{mm}\phi \times 6\text{mm}$ のポリスチレン製容器に封入したFricke線量計を1 cm間隔で水中において測定した。この容器は容積が小さいので、吸光度の測定（分光光度計：日立124型）は $2 \times 10 \times 30\text{mm}$ の石英製マイクロセルによつて行なつた。このセルは、通常の大サイズのセル（ $10 \times 10 \times 40\text{mm}$ ）に比べて、線量値で3%低い指示値を与えるが、吸光度と濃度の直線性は良好であるので、その補正を行なえば絶対線量の測定にも利用できる。

結 果

1. X線の C_2 値

Ionex 0.6cm³電離箱について得られた結果を第1表に示す。表中のG値は35MV X線を除いてICRU Report14¹⁰⁾の値を採用した。35MV X線についてのG値は同報告書に記載がないため、他の資料⁶⁾を参照した。イオン再結合損失については、実験的に測定された値⁴⁾に基づいて補正した。使用した電子線の電荷密度は $0.2 \sim 0.45\text{esu}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{pulse}^{-1}$ であり、これに対する補正は最高6%であった。表にはGreene およびMassey⁷⁾の値も示してあるが、本実験で得られた C_2 は、 $\pm 1\%$ 以内で良い一致を示した。JAPMおよびRadocon 555線量計は、いずれもIonex 0.6cm³電離箱と似た傾向を示した。結果を第2表に示す。

Table 1 Conversion factor (C_2) of an Ionex 0.6cm³ chamber for high energy X-rays

Energy (MV)	G-value	Depth (cm)	C_2		
			Present study	Greene and Massey ⁷⁾	Present study/Greene and Massey
Co-60 γ -rays	15.5	3.0	0.95 \pm 0.00	0.95	1.00
10	15.6	1.0	0.92 \pm 0.02	0.93	0.99
15	15.7	2.0	0.92 \pm 0.02	0.92	1.00
20	15.7	3.0	0.91 \pm 0.02	0.90	1.01
25	15.7	4.0	0.90 \pm 0.00	0.90	1.00
30	15.7	4.0	0.90 \pm 0.02	0.89	1.01
35	15.8	4.0	0.89 \pm 0.01	0.88	1.01

Table 2 Conversion factor (C_2) of JAPM substandard dosimeter and Radocon 555, 100 MA chamber for high energy X-rays

Energy (MV)	C_2	
	JAPM	Radocon
Co-60 γ -rays	0.95	0.95
10	0.92	0.93
20	0.90	0.90
30	0.89	0.91

2. 電子線の C_E 値

Fricke 線量計はガラス容器に封入され、かつ直径も電離箱より大きい。ガラス容器とポリスチレン容器の化学収率の違いは 0.4%以内であつたので、この影響は無視した⁹⁾。大きさの違いによる影響は、後述する深部量百分率曲線から、10 MeV について 2.0%の補正を行なつた。Fricke 線量計の G 値は、ICRU Report 21¹¹⁾に従つて 15.7 を採用した。Ionex 0.6cm³電離箱について実験的に得られた C_E を電子線エネルギーの函数として第 3 表に示す。電子線エネルギーは、水ファントム中における最大飛程から求めた値が示してある。Kessaris の資料¹²⁾を基に計算された ICRU 報告の C_E ¹¹⁾ に比べ 1~2%低い値となつていますが、広いエネルギー範囲に亘つて良い一致を示していると云える。JAPM, Ionex 0.2cm³ならびに Radocon 100MA 線量計についての結果を総括して第 4 表に示す。JAPM 線量計については Ionex 0.6cm³ とほぼ同様で、わずかに低い値が得

Table 4 Conversion factor (C_E) of JAPM substandard dosimeter, Ionex 0.2 cm³ chamber and Radocon 555—100 MA chamber for high energy electrons

Energy (MeV)	C_E		
	JAPM	Ionex 0.2 cm ³	Radocon 100 Ma
Co-60 γ -rays	0.95*	0.95*	0.95*
10	0.87	0.90	0.89
20	0.83	0.85	0.84
30	0.82	0.84	0.80

* C_2

られた。

3. 深さによる電子線の C_E

ICRU 報告¹¹⁾には、入射エネルギーごとに深部における C_E が掲載されている。実験的には、Fricke 線量計で得られた深部量率を電離箱で得られた電離電流の深部量率で除した比を求め、前述のピーク深における C_E を基準にして各深さにおける C_E を求めることができる。しかし電離箱の実効中心の位置によつて電離電流の深部率は変わるので一義的に C_E を決めることはできない。

第 1 図は、20MeV 電子線について、Ionex 0.6cm³電離箱 (内径 6 mm) の実効中心として、幾何学的中心、それより 1.5mm および 2.0mm 入射側とした例について実験値と ICRU 報告値とを比較したものである。幾何学的中心から前方 1.5 mm の位置をもつて実効中心とする場合が、最も良い一致を示している。幾何学的中心を採用すると深部においてその差が著明となる傾向がみられた。

Table 3 Conversion factor (C_E) of an Ionex 0.6 cm³ chamber for high energy electrons

Energy (MeV)	G-value	Depth (cm)	C_E		
			Present study	ICRU Report ^{9,10)}	Present study/ICRU Report
Co-60 γ -rays	15.5	3.0	0.95±0.01*	0.95*	1.00
10	15.7	1.8	0.87±0.03	0.893	0.98
15	15.7	2.0	0.85±0.01	0.858	0.99
20	15.7	3.0	0.84±0.02	0.848	0.99
25	15.7	3.0	0.82±0.01	0.830	0.99
30	15.7	3.0	0.81±0.01	0.816	0.99

* C_2

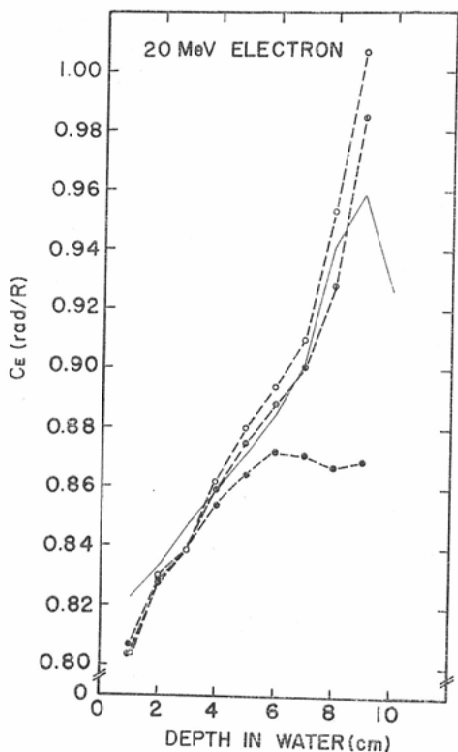


Fig. 1 Conversion factor(C_E) of 20 MeV electrons by the postulated effective center location of chamber plotted against depth in water

- ICRU Report 21,
- Geometrical center,
- 1.5 mm in front of the center,
- 2.0 mm in front of the center

第2, 3図に10, 20, 30MeV電子線について電離箱およびFricke線量計で得られた深部量百分率を示す。電離箱については、前述の理由で、実効中心として幾何学的中心より1.5mm入射側としてある。両曲線の比較から求めた C_E を第4図に示す。20および30MeVでは、実測値とICRU報告値はほぼ1%以内で一致した。10MeVの実験値は、かなりばらつきがみられるが、10MeV電子線の深部量百分率の変化が急激であるため、実験的に正確な C_E の決定は困難であった。

考 察

Co-60 γ 線および高エネルギーX線について報告されている C_E 値は、実験的²⁾⁵⁾および理論的計

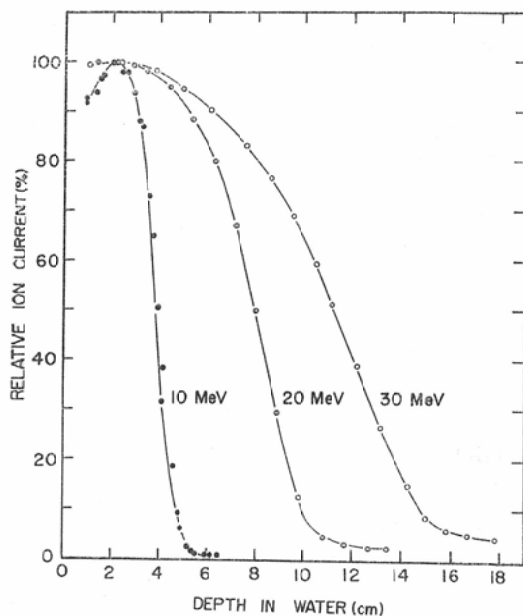


Fig. 2 Depth ionization curves of high energy electrons measured with Ionex 0.6 cm³ chamber Effective center: 1.5 mm in front of the center of the cavity

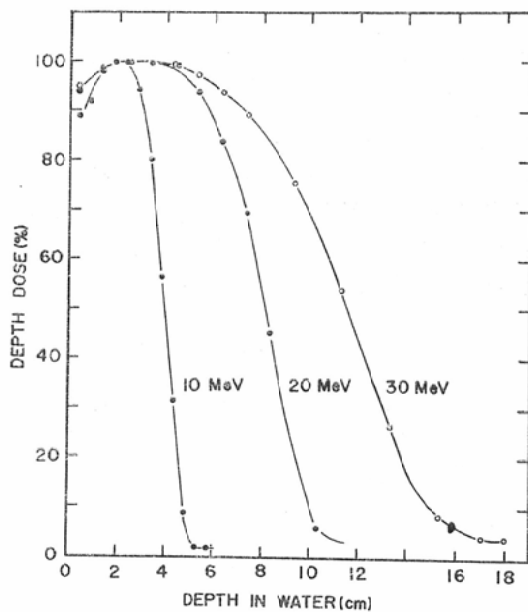


Fig. 3 Depth dose curves of high energy electrons measured with Fricke dosimeter

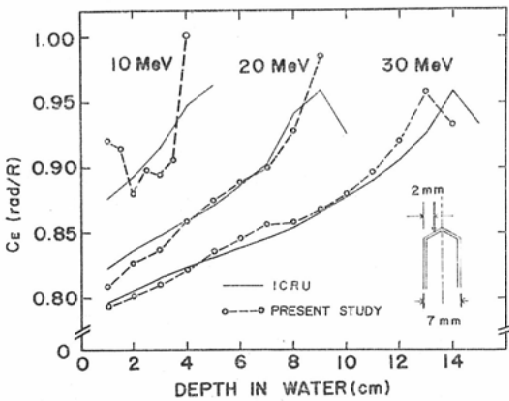


Fig. 4 Comparison of conversion factors (C_E) by ICRU Report 21 and in the present study

算値⁷⁾⁸⁾を含めて1%内外の誤差で一致している。本研究の結果も Greene および Massey の計算値⁷⁾と実験誤差の範囲内に収まっている。

電子線については Kessaris の報告¹²⁾を基にした ICRU の計算値¹¹⁾、尾内ら¹⁴⁾および Almond¹⁾の Fricke 線量計による測定値が報告されている。尾内ら¹⁴⁾は 5.5MeV から 24MeV の電子線について 0.96 から 0.84 の値を報告している。低エネルギー電子線で ICRU 値より数%高いが一般に良く一致している。Almond は 6 MeV から 18MeV 電子線について 0.929 ~ 0.909 の範囲の値を得ているが、これらは ICRU の値に比べて 1 ~ 6% 高い。本研究では ICRU に比べ 1 ~ 2% 低い C_E 値となっているが、G 値の精度、実験誤差を考慮すれば、その差は有意とは云えない。Almond の報告値との違いは、彼が使用した G 値 15.4 との違いによつて 2% については説明できるが、それ以上の誤差の原因は不明である。また深さによる C_E の比較から電離箱の実効中心として、幾何学的中心ではなく、それより電離箱の空洞半径の約 $1/2$ 入射側の位置を仮定すると、ICRU 報告値と本実験の結果が 1% 以内で一致する。Hospital Physicist's Association の報告⁹⁾では、この実効中心を Measuring position と呼んでいるが、この位置として中心軸より前方へ $0.75r$ (r = 半径) を採用している。本研究では、この値よりわずかに幾何学的中心に近い位置となった。この値は、Ionex

0.6cm³電離箱で得られたものであるため、幾何学的型状がほぼ同じである JAPM 線量計には適用できるが、電離箱の壁厚又は型状の異なる電離箱に適用できるとは限らない。しかしピーク深近傍では、いずれの位置を実効中心としても C_E の値に大きな違いはないので、深部線量が急激に変化する深さを除いては、幾何学的中心を実効中心としても実用上問題はない。

放射線治療における線量は大部分の施設で“R”単位が使用されている。しかし電子線を例にとると 5 MeV で 8%、30 MeV では 18% の差が吸収線量との間に生ずることになる。この差は臨床的にも許容誤差を超えている。その意味で、電子線の標準測定法の早急な確立と共に、放射線治療成績の比較またはその向上のために、吸収線量で表示することが望まれる。

要 約

Ionex, JAPM 標準ならびに Radocon 555 型線量計の高エネルギー X 線および電子線に対するラド変換係数を Fricke 線量計との比較から実験的に求めた。

Co-60 γ 線および高エネルギー X 線の C_E は、国内の標準測定法に採用されている値即ち Greene および Massey の理論的計算値と $\pm 1\%$ 以内の差で一致した。

電子線の C_E は ICRU 報告値より 0 ~ 2% 低目の値が得られたが、その差は有意ではなかつた。深さによる C_E については電離箱の実効中心として、幾何学的中心より半径の約 $1/2$ 入射側をとれば、20 MeV および 30 MeV 電子線で ICRU 報告値と 1% 以内の違いで良い一致を示した。

リニア・アクセラレータの運転などの技術面には、竹岡清二および加藤和司氏、また化学線量計の作製、吸光度測定は、安田キミ子氏の援助を受けた。記して感謝の意を表す。

(本研究の一部は文部省科学研究費の援助により行われた。)

文 献

- 1) Almond, P.R.: Phys. Med. Biol., 12 (1967) 13—24.

- 2) Almond, P.R.: *Phys. Med. Biol.*, 13 (1968) 285—286.
- 3) 安德重敏, 竹下健児, 楠本五郎: 日本医放会誌, 29 (1970), 1294—1303.
- 4) 安德重敏, 砂屋敷忠, 竹下健児: 日本医放会誌, 投稿中.
- 5) Bewley, D.K.: *Brit. J. Radiol.*, 36 (1963) 865—878.
- 6) Fricke, H. and Hart, J.: *Chemical Dosimetry*. In *Radiation Dosimetry II*, 2nd edition, edited by F.H. Attix and W.C. Roesch, pp. 167—239. Academic Press, New York and London, 1966.
- 7) Greene, D. and Massey, J.B.: *Phys. Med. Biol.*, 12 (1967) 257—258.
- 8) Hospital Physicists Association: *Phys. Med. Biol.*, 14 (1969) 1—8.
- 9) Hospital Physicists Association, Radiotherapy Physics Committee: *A Practical Guide to Electron Dosimetry (5—35 MeV)*.
- 10) ICRU: Report 14. *Radiation Dosimetry: X-rays and gamma rays with maximum photon energies between 0.6 and 50 MeV*. ICRU Publications, Washington D.C., 1969.
- 11) ICRU: Report 21. *Radiation Dosimetry: Electrons with initial energies between 1 and 50 MeV*. ICRU Publications, Washington D.C., 1972.
- 12) Kessaris, N.D.: *Radiat. Res.*, 43 (1970) 288—301.
- 13) 日本医学放射線学会物理部会: 日本医放会誌, 31 (1971), 723—772.
- 14) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅二, 内田勲, 梅垣洋一郎, 松川収作: 日本医放会誌, 29 (1970), 1473—1483.
- 15) 竹下健児, 安德重敏, 砂屋敷忠, 大谷四郎, 上総中童: 日本医放会誌, 30 (1970), 687—697.