The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	高エネルギー放射線の線量測定に関する国内相互比較 第1報 高エネルギー電子線についての予備的相互比較
Author(s)	白貝, 彰宏; 星野, 一雄; 加藤, 義雄 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1974, 34(6), p. 422-427
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16490
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

高エネルギー放射線の線量測定に関する国内相互比較

第一報　高エネルギー電子線についての予備的相互比較

放射線医学総合研究所物理研究部
白貝　彰宏　　安徳　重敏*　　星野　一雄
加藤　義雄　　橋詰　雅

(昭和49年2月13日受付)
(昭和49年3月15日最終原稿受付)

Intercomparison of High Energy Radiation Dosimetry in Japan

I. Preliminary Intercomparison of High Energy Electron Dosimetry

by

Akihiro Shiragai, Shigetoshi Antoku,* Kazuo Hoshino, Yoshio Kato and Tadashi Hashizume

Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences, Chiba-Shi

Research Code No.: *203*

Key Words: *Intercomparison High energy electron Electron dosimetry*

An intercomparison of high energy electron dosimetry was attempted, in early 1972, by using mailed LiF-TLD. LiF-TLDs prepared in National Institute of Radiological Sciences (NIRS) and Hiroshima University (HU) were mailed and withdrawn together by NIRS. Institutions of 10 in Japan were randomly selected in this preliminary intercomparison. The institutions that showed absorbed dose were only three, and in the other institutions the irradiated doses were shown in terms of "exposure".

Therefore the irradiated doses were calculated by using the values of absorbed dose conversion factor C_E in ICRU Report 21. The water or water-equivalent phantoms were used in the five institutions and in the other institutions lucite phantom used. The absorbed doses of water in lucite phantom were calculated approximately by deducing a conversion equation of C_E for water in water into that for water in lucite. The standard deviation of TLD measurements for each institution was less than or about $\pm 2\%$ except for a few institutions. The dose estimations in NIRS and HU agreed nearly within the error in intercomparison by using mailed LiF-TLD. The absorbed doses in two institutions were very small to be about 80 and 40% of those in NIRS and HU.

As to the intercomparison among the three institutions that showed the absorbed doses, the standard deviation of the absorbed doses was about $\pm 2\%$ with agreement of the estimations in NIRS and HU.

* 広島大学原爆放射能医学研究所障害基礎研究部門
*Department of Radiation Biology, Research Institute for Nuclear Medicine and Biology, Hiroshima University, Hiroshima-Shi

序　論

近年高エネルギー放射線の線量測定の相互比較が重要視されるようになり，線量計を郵送することによつて比較する方法も検討されてきている．高エネルギー電子線の線量測定に関する相互比較はこれまでにもかなり行なわれてきている．郵送線量計によるものとしては，外国ではＩＡＥＡによる研究[12]や Almond らによる研究[1]等があり，国内では我々が放医研と広大とでそれぞれ独立に 15 MeV（または16 MeV）電子線について行なつた研究がある[10][3]．放医研は LiF-TLD を使用して1968年８月に，広大は Fricke 線量計を使用して同年の末に行なつたが，同一施設に関する両者の評価は施設により必ずしもよい一致が見られない所があつた．

そこで我々は郵送線量計として何が適しているかということについても再検討を加え，LiF-TLD が適しているとの結論を得た上で放医研と広大とでそれぞれ LiF-TLD を用意し，各施設え一諸に郵送し，照射してもらつて別々に線量評価を行なうことにより全国の高エネルギー電子線の線量測定について再度比較検討することを計画した．この相互比較は1972年１月から３月にかけて行なつた．

郵送線量計の検討

相互比較のための郵送線量計としては蛍光ガラ

Table 1. Intercomparison of absorbed dose for Co-60 gamma-ray between NIRS and HU.

(a) by NIRS

		No. 1			No. 2			No. 3		
		A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	B/A
Fricke	Ⅰ	4104	4168	1.02	4077	4039	0.99	4040	4022	1.00
	Ⅱ	4104	4168	1.02	4077	4098	1.01	4040	3989	0.99
	Ⅲ	4370	4231±27	0.97	4390	4275±26	0.97	4296	4256±53	0.99
LiF-TLD	Ⅰ	243	242± 4	1.00	239	239± 3	1.00	237	237± 4	1.00
	Ⅱ	243	243± 3	1.00	239	239± 3	1.00	237	238± 3	1.00
	Ⅲ	272	263± 3	0.97	272	264± 4	0.97	269	261± 3	0.97
Fluoro-glass	Ⅰ	243	240±14	0.99	239	240±13	1.00	237	242±11	1.02
	Ⅱ	243	266±11	1.09 (0.98)	239	270±11	1.13 (1.02)	237	253±13	1.07 (0.99)
	Ⅲ	272	286±15	1.05 (0.98)	272	280±12	1.03 (0.97)	269	269±15	1.00 (0.95)

(b) by HU

		No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		
		A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	B/A
Fricke*	Ⅰ	1200	1200±20	1.00	1200	1200	1.00	1200	1190±10	0.99	1200	1210±15	1.01
	Ⅱ	1200	1180±20	0.98	1200	1190± 5	0.99	1200	1190±20	0.99	1200	1190±15	0.99
	Ⅲ	1144	1210±20	1.06	1140	1210±10	1.06	1136	1170±10	1.03	1133	1180±15	1.04
LiF-TLD	Ⅲ	345	336± 3	0.97	344	340± 2	0.99	342	338± 2	0.99	341	343± 4	1.01

A: Irradiated dose (rad).
B: Estimated dose (rad).
Ⅰ: Estimated immediately after irradiation by NIRS (or HU).
Ⅱ: Both of irradiation before and estimation after mailing were performed by NIRS (or HU).
Ⅲ: Irradiated by NIRS (or HU) and estimated by HU (or NIRS).
* Modified Fricke (see text).

ス線量計[7]，Fricke 線量計[12)3)]，LiF-TLD[1)10)16-18)]などがこれまでにも使用されてきているが，それらの適否について同一条件の下で比較検討された充分なデータはほとんどない[11)15)21)]．

そこで放医研では Fricke 線量計(1mM $FeSO_4$, 1mM NaCl, 0.4M H_2SO_4)，蛍光ガラス線量計 (Toshiba FD-R1-1A)，LiF-TLD[19)]を広大では改良 Fricke 線量計(1mM $FeSO_4$, 10mM C_2H_5OH, 0.4M H_2SO_4)[4)]および LiF-TLD (Harshaw TLD-100)をそれぞれ用いて，相互に ^{60}Co γ 線線量を比較することにより郵送線量計としての適否を比較検討した．

Table 1(a) は放医研が広大との間で実施した相互比較の結果で，Table 1(b) は広大が放医研との間で実施した相互比較の結果である．照射した線量は放医研では Farmer 準標準線量計での，広大では改良 Fricke 線量計での測定値である．

第1回目の相互比較の結果，放医研と広大との間に線量の違いがみられ，また線量計間で必らずしもよい一致を示していない部分のあることがわかつたが，その点はあらためて別に検討することとし，その後も第1回目と全く同じ手順で相互比較を繰返した．（その後の慎重な検討により，広大では改良 Fricke 線量計での測定を標準にしたが Ionex, JAPM 両電離箱線量計に対して改良 Fricke 線量計が1～2％高い線量値を示していたこと，また広大の用意した線量計を放医研で照射した際線量測定した時のフアントム中での深さが違つていたことがわかり，両者の線量は一致した．）

放医研の行なつた3回の，広大の行なつた4回の相互比較ともそれぞれ一貫した値を示しており，誤差が約±5％と大きい蛍光ガラス線量計を除けば Fricke 線量計，改良 Fricke 線量計，LiF-TLD とも±1～2％の誤差であり郵送による線量測定の相互比較に充分使えることがわかつた．しかし，照射線量（照射時間）が大きくなること，郵送中に破損する危険のより大きいこと，取扱いにより慎重さを要求されることなどから化学線量計は LiF-TLD に比していく分か不向きであると考えられる．なおこの郵送線量計の検討は夏期（7月～9月）に行つた．

この結果から，LiF-TLD を用いて高エネルギー電子線の線量測定に関する国内相互比較を行なうこととした．

実験方法

使用した LiF-TLD 素子は放医研では自家調整したもの[19)]，広大では Harshaw 社製 TLD-100 である．LiF は両方とも放医研で薄いポリエチレンの袋に約 250mgを2×2cm² の大きさで厚さを薄く密封した．照射用8箇（放医研5，広大3），郵送変化点検用2箇（放医研，既知線量照射済），BG用2箇（放医研1，広大1）を1組として放医研が各施設に発送，回収し，その内 TLD-100 は広大え転送した．

放医研では15MeV 電子線を用いて水中 1.5cm の深さで Farmer 準標準線量計により "R" 測定を行い，ラド変換係数 0.851[9)] を乗じて水の吸収線量を出し，同じ位置で LiF を照射してグロー曲線の主ピークの高さをレスポンスとしてえた線量—レスポンス曲線上から返送されてきたTLDのレスポンスに相当する線量を読み取つた．広大では15MeV 電子線を用いて水中2cmの深さで Fricke 線量計によりG値を15.7として吸収線量を評価し，同位置で TLD-100 を照射して Harshaw 社製2000型TLアナライザーで全蛍光量を測定してえた線量—レスポンス曲線上から返送されてきたTLDのレスポンスに相当する線量を読み取つた．放医研では1回の測定に80mg使用し，1箇の素子から3回測定してその平均値を1測定値とした．広大では1回測定に27mg使用し，1箇の素子から3～5回測定してその平均を1測定値とした．

照射は約 250Rとし各施設で使用頻度の多いエネルギーで，表面照射野10×10cm² (又はこれに近い大きさ)，深部量のピークの位置で行ない，吸収線量の評価できる施設はそれをも示し，"R"でのみ評価されている施設は "R" 値のみ示してもらつた．

相互比較の対象としたのは放医研，広大を含め

10施設であるが，日本の高エネルギー電子線治療を行なつている全施設にある加速器をメーカー別，ベータトロン・リニアック別に分け，それぞれの数で重みづけした数だけ各グループからランダムサンプリングすることにより決めた．

実験結果及び考察

LiF-TLD を使用して高エネルギー電子線の線量測定の相互比較を行なうには，高エネルギー電子線に対する LiF-TLD レスポンスのエネルギーによる違いが問題となる．この高エネルギー電子線に対する LiF-TLD のエネルギー依存性に関する研究は水吸収体に対してかなりなされてきており，それらの結果を総合的に判断すると，^{60}Co γ線えのレスポンスに対する相対比は必ずしも一致していないが数 MeV 以上のエネルギーの電子線の間ではエネルギー依存性はないと結論してよいように思える[6)20)2)]．我々は相互比較を行なうに先立つて Fricke 線量計を使用してG値を15.7として LiF-TLD のエネルギー依存性に関する予備的実験を行なつたが，同様の結果がえられた．Table 2 の 4～6 欄に示すようにエネルギー，使用ファントム，照射の深さは施設によつてかなり異なり，従つて照射位置でのエネルギーはそれぞれかなり違うが，その結果から，LiF-TLD による相互比較上エネルギーの違いについては何も問題ないことがわかつた．

10施設の内7施設が "R" 値しか示さなかつたので水に対するラド変換係数 C_E をどうとるかが問題となつたが，ここでは一応統一して考えうる数値として ICRU Report 21[9)]の値を採用することとした．また使用されたファントムの内 MixDP, MixD は水と同じとして水中での C_E を，ルサイトについては Appendix に従つて次式よりルサイト中で照射した時の水に対するラド変換係数 ${}_1C_E$ を求めた．

$$ {}_1C_E = 0.993 \cdot \frac{{}_1(S_m)^w_{a,e}}{{}_w(S_m)^w_{a,e}} \cdot C_E $$

ここで ${}_w(S_m)^w_{a,e}$ および ${}_1(S_m)^w_{a,e}$ はそれぞれ水中およびルサイト中における電子の空気に対する水の平均質量阻止能比である．電子線は単色エネルギーであるとし，ファントム中で1cmごとに階段的にエネルギーを失うと仮定して照射位置でのエネルギーを決めた．質量阻止能の値は全て Berger ら[5)]によつた．

このようにして得た C_E の値を Table 2 の7欄に示す．そして各施設で測定された "R" 値にこの C_E を乗じた照射線量で LiF-TLD から放医研，広大がそれぞれ評価した線量を割つた値を8欄に示す．線量計による電子線場の擾乱はないと仮定した．

Table 2. Intercomparison of high energy electron dosimetry by using mailed LiF-TLD, in 1972.

Institution	Dosimeter	Exposure Calibration	Phantom	Energy MeV	Depth cm	C_E	Estimated dose / Irradiated dose	
							NIRS	HU
NIRS	Farmer	yes	water	15	1.5	0.851	1.00	1.01
HU	JAPM	yes	water	20	2.5	0.841	1.00	1.00
A	Radocon	no	water	18	1.5	0.838	1.02	0.97
B	Ionex	yes	MixDP	10	2	0.893	0.99	0.99
C	Radocon	no	MixD	10	1.1	0.879	1.04	1.09
D	Duplex	yes	Lucite	10	1.4	0.883	0.38(0.89)	0.40(0.87)
E	Radocon	yes	Lucite	10	2	0.894	0.88(0.91)	0.81(0.94)
F	Siemens	yes	Lucite	9	1	0.885	1.03	1.05
G	Radocon	no	Lucite	8	1.3	0.899	1.04	1.07
H	Ionex	no	Lucite	7	1	0.902	0.95	0.94

The figures in parentheses are the values obtained by a repeated intercomparison..
C_E values were after ICRU Report 21 ar calculated according to Appendix.

Table 3. Intercomparison of absorbed dose for high energy electron by using mailed LiF-TLD, in 1972.

Institution	C_E	Estimation*	
		NIRS	HU
NIRS	0.854	1.004	1.014
HU	0.834	1.021	1.009
B	0.94	0.973	0.977

* (Estimaten dose/Irradiated dose)/(Average of (Estimated dose/Irradiated dose)). Energy, phantom and depth are shown in Table 2.

このようにして相互比較の結果が Table 2 に要約してある．なお郵送によるＴＬＤレスポンスの変化は観測されなかつた．この実験の行なわれたのは1972年の初めであるが，高エネルギー電子線の線量評価を線量計の読みのみによつている施設がまだあつた．エネルギーや C_E の決定等々吸収線量を測定するにはさらに大きな複雑な問題が含まれてくることから判断すると国内の線量統一えの道はかなり困難を伴うことが予想されよう．とはいえ，近年すぐれた電離箱線量計が製作されるようになつてきたことや，橋詰ら[7)8)]の２度にわたる ^{60}Co γ 線の線量測定の国内相互比較，加藤ら[10)]や安徳ら[3)]による高エネルギー電子線に対する同様の研究，そして1971年のＪＡＰＭ準標準線量計の全国11地区センターえの配備[14)]などによる国内線量統一えの努力等を反映してかそれらの施設もそれ程他と違つた線量評価とはなつていない．

放医研，広大の評価はともに測定結果の標準偏差でＡ，Ｄ，Ｅ施設では±２％を越えたがそれ以外の施設では±２％より小さく，最初に述べた ^{60}Co γ線照射による郵送線量計の検討結果とよく一致している．

1968年に放医研と広大それぞれが独自に行なつた相互比較では，その実施方法などの違いによるのか，施設により両者の評価の間にかなりの違いのあるところもあつたが，今回は放医研と広大との評価に５％以上の違いがあつたのはＡ，Ｃ，Ｅの３施設でよく一致しているといえよう．Ａ，Ｃ施設についての５％の違いは，この相互比較が一度しか行なわれていないことおよび測定結果の標準偏差が±２％程度は見込まれることなどから，あるいは起こりうる可能性のある限界値程度かもしれない．Ｅ施設の 7％の違いは大きすぎ，またこれはＡ，Ｃ施設の評価の違いと逆向きであり，検討を要することがわかつた．またＤ，Ｅ施設では放医研，広大の線量に対してそれぞれ約40％，80数％で他と比して大きく異なつた．

我々はそこでＤ，Ｅ施設について再度相互比較を実施した．その結果が Table 2 の８欄に括弧をつけて示してある．放医研，広大の評価はほぼ一致し，両施設ともやや改善されたがなお線量は低めであつた．このことはおそらくこれらの施設における高エネルギー電子線の線量測定，照射等に問題があることを示しており，Ａ，Ｃ施設についても同様のことが言えるかもしれない．

Table 3 に吸収線量を示した３施設についての吸収線量の相互比較を要約した．３施設とも Fricke 線量計でＧ値を15.7として測定し，電離箱による“R”値測定との比較から C_E を求めておりそれぞれ ICRU Report 21[9)]の値とは必ずしも一致していない．吸収線量は放医研と広大の評価でそれぞれ標準偏差で± 2.4％，± 2.0％のばらつきであつた．

この実験では“R”値で照射した施設が多かつたためにラド変換係数 C_E は全て ICRU Report 21[9)] から引用しており，またルサイトファントムを使用した施設についてはかなり粗い近似で C_E の変換を行なうなど，高エネルギー電子線の吸収線量の比較としては相当問題点を含む結果となつた．このことはとりもなおさず1972年初めの時期での日本国内での高エネルギー電子線の線量測定の実情を示すものであろう．

本研究は一部1971年度文部省科研費の援助を受けた．本研究を行なうに当たり御協力下さった各施設の関係者の方々に感謝いたします．また本研究を遂行するに当たり御指導下さった放医研物理研究部松沢秀夫博士および広大原医研竹下健児教授に深く感謝いたします．

文　献

1) Almond, P.R., and Shalek, R.J.: Solid State and Chemical Radiation Dosimetry in Medicine and Biology, IAEA, (1967), 149—155.
2) Almond, P.R., and McCray, K.: Phys. Med. Biol. 15 (1970), 335—342.
3) Antoku, S., Takeshita, K., and Kusumoto, G.: Nippon Acta Radiol. 29 (1970), 1294—1303.
4) 安徳重敏，砂屋敷忠，竹岡清二，竹下健児：広大原医研年報 12 (1971)，69—75.
5) Berger, M.J., and Seltzer, S.M.: NASA SP-3012, NASA, (1964).
6) Binks, C.: Phys. Med. Biol. 14 (1969), 327—328.
7) 橋詰　雅，丸山隆司：文部省科研費による研究報告集録（放射線影響編），(1965)，177.
8) 橋詰　雅，加藤義雄，樋口喜代治：第29回日医放学会抄録集，(1970)，216—217.
9) ICRU Report 21 (1972).
10) 加藤義雄，白貝彰宏，隈元芳一，丸山隆司，吉田吉一，橋詰　雅：Nippon Acta Radiol. 29 (1969)，7—11.
11) Laughlin, J.S., Shalek, R.J., Ovadia, J., and Holt, J.G.: Phys. Med. Biol. 10 (1965), 429—431.
12) Nagl, J. und Sanielevici, A.: Strahlentherapie 133 (1967), 561—566.
13) NBS Handbook 85, (1964). (ICRU Report 10b 1962).
14) 日医放学会：Nippon Acta Radiol. 31 (1971)，9月号，会告 5.
15) Pettersson, C., and Hettinger, G.: Acta Radiol. Therapy Phys. Biol. 6 (1967), 160—176.
16) Pfalzner, P.M., and Alvarez, S.M.: Acta Radiol., Therapy Phys. Biol. 7 (1968), 379—388.
17) Pfalzner, P.M., and Jayaraman, S.: Acta Radiol., Therapy Phys. Biol. 9 (1970), 501—512.
18) Puite, K.J., Crebalder, D.L.J.M., Hogeweg, B., and Broerse, J.J.: Phys. Med. Biol. 17 (1972), 390—399.
19) 白貝彰宏，吉田吉一：Nippon Acta Radiol. 29 (1969)，1—6.
20) Suntharalingam, N., and Cameron, J.R.: Phys. Med. Biol. 14 (1969), 397—410.
21) Svensson, H., Pettersson, C., and Hettinger, G.: Solid State and Chemical Dosimetry in Medicine and Biology, IAEA, (1967), 251—255.

Appendix

$_1C_E$ の計算

物質mで作られたフアントム中で ^{60}Co ガンマ線を照射した時の物質mの吸収線量 D_m は，電離箱線量計を用いてその点での exposure X_m を測定することにより次式から得られる．ここで電離箱の壁は薄いか，フアントム物質と等価なものであるとする．

$$D_m = 0.869 \cdot (\mu_{en}/\rho)_a^m \cdot A_m \cdot X_m \equiv 0.869 \cdot (S_m)_a^m \cdot Q_m \qquad (1)$$

ただし

0.869 ：空気に対する R-rad 変換係数

$(\mu_{en}/\rho)_a^m$：物質mの空気に対する質量エネルギー吸収係数の比

A_m ：cap displacement factor

$(S_m)_a^m$：物質mの空気に対する2次電子の平均質量阻止能比

Q_m：Bragg-Gray 空洞により測定される電荷

水フアントム中で電子線を照射した時の水の吸収線量 D_w は，そこでの電子の空気に対する水の平均質量阻止能比を $_w(S_m)_{a,e}^m$ とすると

$$D_w = 0.869 \cdot Q_w \cdot {}_w(S_m)_{a,e}^w$$

ここで (1)式より

$$D_w = 0.869 \cdot (\mu_{en}/\rho)_a^w \cdot A_w \cdot {}_w(S_m)_{a,e}^w \cdot X_w/(S_m)_a^w$$

従つて水中での水に対するラド変換係数 C_E は，

$$C_E = 0.869 \cdot (\mu_{en}/\rho)_a^w \cdot A_w \cdot {}_w(S_m)_{a,e}^w/(S_m)_a^w \qquad (2)$$

次にルサイトフアントム中で電子線を照射した時の水の吸収線量 $_1D_w$ は，そこでのルサイトの吸収線量を $_1D_l$，空気の吸収線量を $_1D_a$，電子のルサイトに対する水の平均質量阻止能比を $_1(S_m)_{l,e}^w$ とすると，

$$^1D_w = {}_1D_l \cdot {}_1(S_m)_{l,e}^w = {}_1D_a \cdot {}_1(S_m)_{a,e}^l \cdot {}_1(S_m)_{l,e}^w = 0.869 \cdot Q_l \cdot {}_1(S_m)_{a,e}^w$$

ここで (1)式より

$$_1D_w = 0.869 \cdot (\mu_{en}/\rho)_a^l \cdot A_l \cdot {}_1(S_m)_{a,e}^w \cdot X_l/(S_m)_a^l$$

従つてルサイト中での水に対するラド変換係数 $_1C_E$ は，

$$_1C_E = 0.869 \cdot (\mu_{en}/\rho)_a^l \cdot A_l \cdot {}_1(S_m)_{a,e}^w / (S_m)_a^l \qquad (3)$$

故に (2)，(3)式より

$$\frac{_1C_E}{C_E} = (\mu_{en}\rho)_w^l \cdot \frac{A_l}{A_w} \cdot \frac{(S_m)_a^w}{(S_m)_a^l} \cdot \frac{_1(S_m)_{a,e}^w}{_w(S_m)_{a,e}^w}$$

ここで NBS Handbook 85[13] より $(\mu_{en}/\rho)_w^l = 0.970$，$A_l = A_w = 0.985$，$(S_m)_a^w = 1.135$，$(S_m)_a^l = 1.109$ であるから，

$$_1C_E = 0.993 \cdot \frac{_1(S_m)_{a,e}^w}{_w(S_m)_{a,e}^w} \cdot C_E$$

なお線量計による電子線場の擾乱はないものと仮定した．