The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	放射線の熱量的測定法に関する研究(その1),(100～300KVP X線のエネルギー束について)
Author(s)	稲田, 哲雄; 川島, 勝弘; 高久, 祐治 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1961, 21(3), p. 197-202
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16524
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

放射線の熱量的測定法に関する研究 (その 1)
(100~300 kVp X 線のエネルギー束について)

放射線医学総合研究所物理研究部(部長 伊藤岳郎)
稲田哲雄 川島勝弘 高久祐治
星野一雄 松沢秀夫

(昭和36年6月13日受付)

Calorimetric study on ionizing radiation (I)
(On the energy flux of 100-300 kVp x-ray beams)

By
T. INADA, K. KAWASHIMA, Y. TAKAKU, K.HOSHINO
and H. MATSUZAWA.
Physics Division, National Institute of Radiological Sciences

A method on the calorimetric determination of x-ray energy flux from 100 to 300 kVp is described with some results (Table 1). This method gives an absolute unit measurement. Therefore it seems to be more reasonable to estimate the effective energy of x-ray from the energy flux Ef, because there are doubtful points in the effective energy determination based on the half-value layer. Fig. 6 shows the corrected relation between them.

Then, the attenuation of x-ray intensity through muscle equivalent material is discussed. In non-filtered x-ray range, Ef changes with material thickness, but in medium filtered or more hard range, such a change is not found.

I. 緒 言

放射線の熱量的測定法 (Calorimetry) は, 被照射体中に発生する熱量を物理的に直接測定することであり, エネルギーの絶対測定法として優れたものと考えられる. 然しこの方面の研究は, Rump, Stahel, Callendar ら[1)-3)]による初期の業績にもかゝわらず, その後は比較的低調であつた. その主な理由は, 放射線 (とくにX, γ線) の吸収による温度上昇が極めて微小なために検出し難いこと, これに反して電離法は検出感度が高くしかも一般的に使い易いこと, したがつてX, γ線の線量が空気の電離によるレントゲン単位で定義されたことなどであつた.

ところが使用する放射線の種類とエネルギー域が拡大するにしたがつて, その出力や吸収線量を絶対単位で求めることが必要となつてきた. たとえば, X線出力は従来照射線量rから求められていたけれども, これを高エネルギー域まで延長することはできない－3 MeV 以上のレントゲン測定が実際上難かしいから[4)]. また吸収線量 rad は放射線の諸作用を評価する基準として重要であるが, その算定には一般に気体の電離による間接法が用いられ, 吸収係数, 阻止能, W-値などのパラメーターが介在するので精度が悪い. したがつて, 放射線の出力や吸収線量を熱量的測定法によつて直接求めることは, 高エネルギー域において

特に緊急であるのみならず，在来のデータを検討するためにも亦重要と考えられる[5)-8)].

我々は，0.1 ～35MeV のX線，^{137}Cs および ^{60}Co のγ線について，1)出力 beam power (erg/cm^2-mA, erg/cm^2-r, erg/esu など)，2)生体または生体等価物質中の吸収線量（間接法との比較），3)高エネルギー域における阻止能，W- 値[9)10)]などを検討するために熱量的測定法による研究を始めた．その第一報として，まず100 ～300 kVp のX線出力に関する結果をこゝに報告する．

II. 実験方法

1　実験装置の構成

Fig. 1. Constructional view of Pb-absorber.

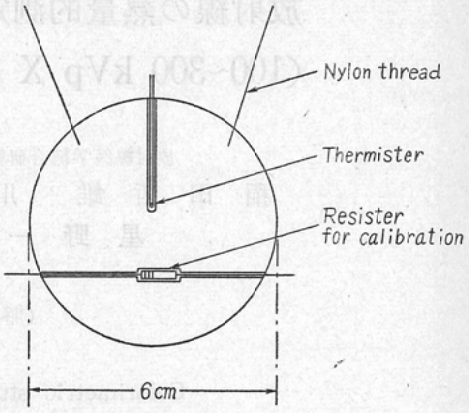
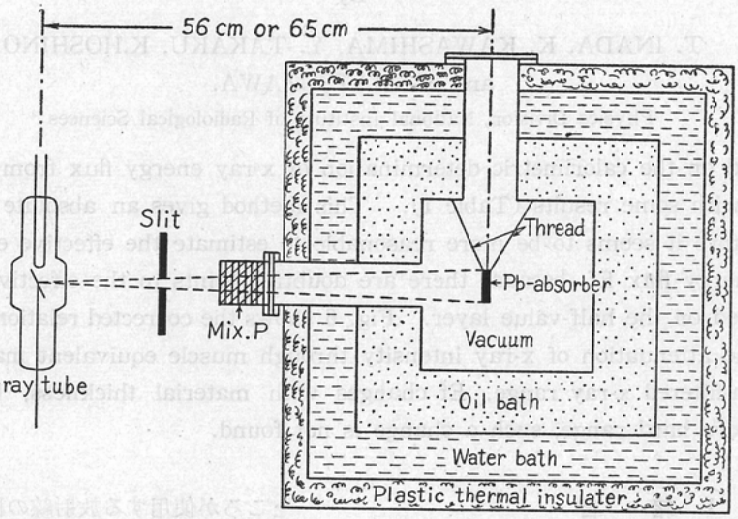


Fig. 2. Thermostat and experimental arrangement.



真空恒温槽内にナイロン糸（0.4 mmφ）で吊した鉛にX線を吸収せしめ，その温度上昇をサーミスターで検出してX線束のエネルギーを求めた．鉛吸収体は直径6cm，厚さ4mmの円板で，内部には温度測定用サーミスターと較正用電気抵抗が封入されている（Fig. 1). X線束の入射方向はこの円板に垂直である．サーミスターは2mmφ×5mmのガラス内に封入され，その抵抗は2360Ω（0 ℃）～82Ω（1000℃）である．較正用抵抗は2180Ωで，6 V蓄電池によつて通電せしめた．

恒温槽は，外側から順にポリスチロール保温材，水槽および油槽によつて囲まれた真空槽(10^{-4} mmHg）である（Fig. 2). また真空槽の内面および鉛吸収体の外表面には，熱輻射損失を防ぐために全反射率75%のアルペーストを塗布した．

2.　温度変化の測定

照射実験は，X線焦点—鉛円板距離56cmおよび65cm，温度20℃において実施した．X線照射または較正用抵抗通電の場合，サーミスターの抵抗変化は12AX7 2段増巾の後6AQ5を介してブリッヂ型記録計に記録された．その1例を Fig. 3 に示す．記録計はフルスケール 200mm（1℃）を

100 等分した目盛をもち，測定範囲は19°C～25°C の6段切替，検出感度は$^{1}/_{1000}$°Cである．

3. 熱量計の較正

較正用抵抗に 2 mA (8.72mW), 1.64mA (5.88 mW) の電流を流した時の温度変化を測定し，記録計の1目盛に対応する値として 1.98×10^{6}erg (18例の平均)を得た．鉛円板の直径は6cmであるから，X線照射の場合この単位断面積に7.01×10^{4} erg/cm^2 のエネルギー束が吸収されると記録計の指針が真に1目盛ふれることになる（較正係数＝7.01×10^{4}erg/cm^2-div).

4. 照射線量

Victoreen condenser chamber, 東芝深部線量計を用い，X線管焦点から56cm, 65cmの空気中における照射線量および半価層を求めた (Table 1). なお本実験に使用したX線発生装置は，島津製信愛号Ⅱ型および東芝製EX－300型装置である．

Fig. 3. Typical curves during calibration and x-irradiation runs. (1) Calibration by heating the resistor (2 mA, 2.18 kΩ). (2) Irradiation of x-ray (300 kVp, 10mA, 0.5 Cu + 0.5 Al filter)

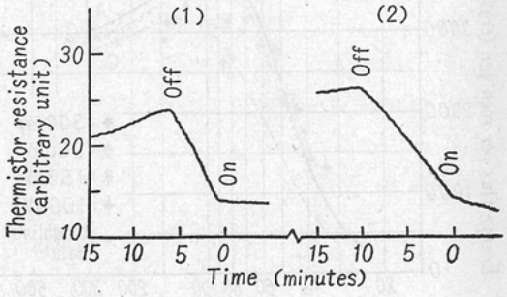


Table 1. Energy flux per r etc.

FSD: 56cm, Tube currents: 25mA (100—200kVp), 10mA (300kVp).

Tube potential kVp	Filter[1] mm	HVL mm	Effective energy[2] kV	Calorimeter reading div/10min	Exposure dose rate r/min	Beam intensity[3] μW/cm²-mA	Energy flux per r erg/cm²-r
100	—	2.9 Al	34	10.0	52.4	4.67	1330
	2.0 Al	4.1 Al	39	6.25	30.8	2.92	1420
150	—	4.5 Al	41	26.2	107	12.2	1780
	2.0 Al	5.9 Al	48	23.5	73.7	11.0	2230
	0.5 Cu	0.7 Cu	71	12.8	28.7	5.98	3150
200	—	5.3 Al	45	52.0	169	24.3	2130
	2.0 Al	7.3 Al	53	47.5	121	22.2	2760
	0.5 Cu	0.86 Cu	77	33.2	63.5	15.5	3660
	0.9 Cu	1.2 Cu	88	22.8	45.1	10.6	3540
300	—	1.15 Cu	86	22.2	59.2	26.7	2620
	0.5 Cu	2.23 Cu	120	18.3	38.6	22.2	3320
	1.0 Cu	2.63 Cu	132	14.1	30.9	17.1	3170
	1.5 Cu	2.94 Cu	141	11.7	26.2	14.2	3130

1) 0.5mm Al filter was added to Cu filter.
2) The effective energy was estimated by the usual relation between HVL and effective kV.
3) The beam intensity is evaluated at 56 cm from x-ray target, per unit mA of tube currents.

III. 結果および考按

管電圧 100～300kVp のX線について，濾過板の厚さを変えた時の beam power (erg/cm²-mA) および 1r 当りの平均エネルギー束 (erg/cm²-r) を測定して Table 1 の値を得た．

さて単一エネルギーX線では，1r 当りのエネルギー束 (E_f) を次式から求めることができる．

$$E_f = J_0 W/_m \mu_{air} \quad \text{erg/cm}^2\text{-r} \qquad (1)$$

たゞし，J_0 は照射線量1r 当り空気1g中に

Fig. 4. Energy flux per roentgen as a function of photon energy.

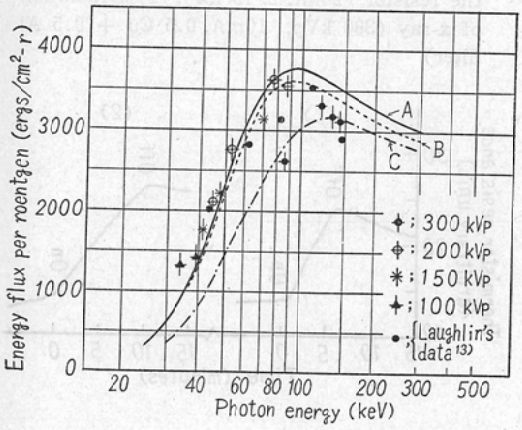


Fig. 5. Attenuation of x-ray beams through copper.
—; obtained by calorimetry.
…; obtained by ionization (exposure doses)

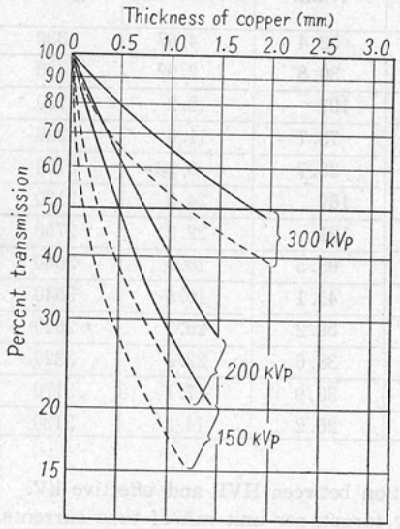
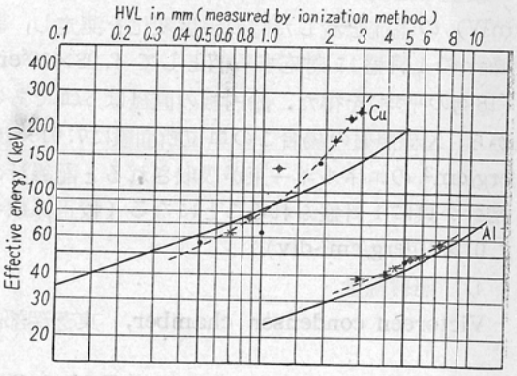


Table 2. HVL for unfiltered x-ray.

Tube potential (kVp)	(HVL mm) from calorimetry	from ionization
150	0.48 Cu	0.18 Cu (4.5 Al)
200	0.72 Cu	0.28 Cu (5.3 Al)
300	1.80 Cu	1.15 Cu

Fig. 6. Relation between HVL and effective energy of X-ray.
—; Curves of general use.
---; Curves after correction.

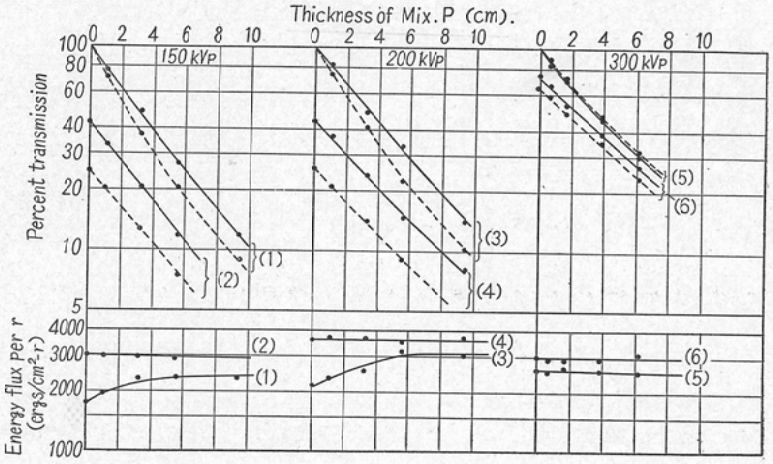


生ずるイオン対の数（$=1.61\times10^{12}$個），Wは2次電子が空気中に1イオン対をつくる時消費する平均のエネルギー，$_m\mu_{air}$ はX線に対する空気の質量吸収係数である．今ICRU Report[4] および Whyte[11] の $_m\mu_{air}$ を用い，W＝34eV（J_oW＝87.7erg）または32.5eV（J_oW＝83.8erg）とすれば，それぞれ Fig. 4 のA，B曲線が得られる．またMayneord[12]によると曲線Cとなる．

ところで，連続スペクトルをもつ不均一X線ではどうか．連続X線の実効エネルギーは通常 Cu または Al 半価層（r- 線量の半減値）から決めることができるので，その実効エネルギーに対する平均の E_f 値を Fig. 4 にプロットした．図にみられる如く，実験値は単一エネルギーについての曲線にほゞ近以した一定の傾向を示すけれども，実効エネルギーの求め方には疑点がある．例えば，Fig. 5 に示すようにX線の透過率はr-単位と erg/cm² 単位とで異るから，半価層も勿論異ることになる．これは軟X線を多く含む場合（濾過板 0.5mmCu 以下）とくに著明である（Table 2）．また厳密に云えば，半価層の概念は濾過板中に著るしく吸収される部分についてのみ当てはまるもので，X線束全体の線質を表示することはできない．

それ故，連続X線の実効エネルギーは，それのもつ E_f が単一エネルギーX線のそれに等価であると云うことによつて一層適切に表現されるであ

Fig. 7. Attenuation of x-ray beam through Mix. P and energy flux per roentgen.
—; obtained by calorimetry. ---; obtained by ionization method.
(1) no filter (2) 0.5 Cu+0.5 Al filter (3) no filter (4) 0.9 Cu+0.5 Al filter
(5) no filter (6) 0.5 Cu+0.5 Al filter



ろう，Fig. 6は，このような観点から半価層（-r単位による）と実効エネルギーの関係を補正したものである．

つぎに，筋肉等価物質 MixP[14] によるX線の減弱を Fig. 7 に示す．たゞし，縦軸は濾過板を附加しない場合の入射X線強度（r-線量および beam power）に対する相対値である．図にみられる如く，無濾過X線では実線と破線の傾斜が可成り異るので，E_f は MixP の厚さと共に増加する（150kVp で4cm，200kVp では6cm厚まで）．然し，0.5 mm 以上の Cu 濾過および 300 kVp では，このような傾向はみられなかつた．

IV 結 論

100～300kVp X線束のエネルギーを絶対単位で求めるために熱量的測定法による実験を行い，Table 1 の結果を得た．しかし連続X線の実効エネルギー算定法には疑点があるので，我々はこれをエネルギー束 E_f から求める方が一層適切であろうと考え，通常用いられている半価層—実効エネルギーの関係に補正を試みた（Fig. 6 の破線）．

つぎに筋肉等価物質によるX線の減弱を検討した．すなわち，無濾過X線では筋肉等価物質の厚さが増すに従つて透過X線の E_f が増加するが，中等度以上に濾過したX線ではこのような変化が認められなかつた．

（本論文の要旨は第 20 回日本医学放射線学会総会において発表した）．

文 献

1) Rump, W.: Energiemessungen an Röntgenstrahlen. Z. Physik 44, 396 (1927). —2) Stahel, E.: Bestimmung der bei Gamma-und Röntgenstrahlbehandlung vom Gewebe absorbierten Energiemengen. Strahlentherapie 33, 296 (1929). —3) Callendar, H.A.: A thermoelectric balance for the absolute measurement of radiation, with applications to radium and its emanation. Proc. Phys. Soc. 23, 1 (1911). —4) Report of the ICRU 1956, NBS Handbook 62(1957).—5) Laughlin, J.P.: Physical significance of the roentgen for 22.5 MeV x-rays. Brit. J. Radiol. 25, 12 (1952). —6) Laughlin, J.S. et al. Calorimetric evaluation of the roentgen for 400kV and 22.5 MeV roentgen rays. Am. J. Roentgenol. Radium Therapy Nuclear Med. 70, 294(1953). —7) Skarsgard, L.D. et al.: Calorimetric determination of the ratio of energy absorption to ionization for 22 MeV x-rays. Rad. Research 7, 217 (1957). —8) Goodwin, P.N.: Calorimetric measurement on a Cesium-137 teletherapy unit. Rad. Research 10, 6 (1957). —9) Bay, Z. et al.: Abso-

lute measurement of Wair for S^{35} beta rays. Rad. Research 7, 558 (1957). —10) Reid, W.B. and Johns, H. E.: Measurement of absorbed dose with calorimeter and determination of W. Rad. Research 14, 1 (1961). —11) Whyte, G. R.: NBS Report 1003 (1952). —12) Mayneord, W.V.: Brit. J. Radiol. Suppl. No. 2 (1950). —13) Radiation Dosimetry edd. by G.J. Hine and G.L. Brownell, p 444 (1956). —14) 川島他：組織等価物質の試作日本医放会誌20, 2460 (1961).