



Title	エックス線管の主エックス線軸に垂直な平面上に於ける強度分布に就いて
Author(s)	江藤, 秀雄; 土屋, 武彦
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1954, 14(7), p. 460-466
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18308
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

エックス線管の主エックス線軸に垂直な平面上に 於ける強度分布に就いて

東京大學醫學部放射線醫學教室(主任 中泉正徳教授)

助 教 授 江 藤 秀 雄

助手醫學士 土 屋 武 彦

On the intensity distributions of x-rays on the plane normal to the central ray
emitted from the target of the X-ray tube.

(Radiological Department, Faculty of Medicine, Tokio Univ. Director:

Prof. M. Nakaidzumi)

Assist. Prof. Hideo Etô. Assist. Igakusi. Takehiko Tutiya.

(昭和29年5月13日受付)

(内容梗概)

研究目標：ターゲットを中心とする球面上のエックス線強度は均等ではなく、各管に特有な分布を示す。かかる事實は古くより知られているが、主エックス線軸に垂直な平面上の等強度曲線を論じた例が少ないので二三の例につき實測し、考察を試みた。

研究方法：r—メーター, Victoreen condenser chamber, Universal dosismesser 等を用い診察用及び治療用エックス線管につき二三の條件の下に測定した。

結果及び考按：實測の結果によれば、強度の方向性は複雑であつて、これは定量的實驗に對しては無視し得ぬ場合がおこる。例えは小さい生物試料の照射實驗ではしばしば可及的線強度を大にし、大線量を短時間に照射する目的でエックス線管の放射窓に近い平面上に密に多くおく場合の如きは、この強度分布の影響を考慮せぬと思わぬ誤りを生ずるであろう。

1. 緒 言

(1) エックス線管のターゲットを中心とする球面上のエックス線強度は決して均等ではなく、各管に特有な方向性を示すことはすでに古くより

知られている。實用上には餘り問題とならぬが、或る種の照射實驗ではこの影響は無視し得ない。例えは小さい生物試料に對し、大線量を短時間に照射する目的でエックス線管の放射窓（特に濾過板を除き）に近い平面上に密に多く置く場合などである。

(2) エックス線強度の方向性に關する純物理學的な測定^①は別として實用上のエックス線管について Kaye^② (1909年) が管軸の方向の強度が對陰極の表面より垂直に放出されるものよりも約40%低いことを報告し（管電壓は10KV程度）、又 Bouwers^③ は同様の測定を寫真法により行つて、Kaye の結果と比較している。Coolidge 及び Kearsley^{④⑤} はU一型管につき陽極面に垂直な平面並びに管軸に垂直な平面上の強度分布を極めて詳細に電離測定し（管電壓：200KVp, 127KVp, フィルター：銅、アルミニウム）、フィルターを用いぬ場合は強度の方向性は著しいが、フィルターを用いると殆んど均等になることを示している。比較的新しい測定としては J. Zintheo^⑥ (1937年) がメタリックス管(6及び10KW, 實効焦點の大きさ各々 2.9及び 3.9mm) につき管軸を含み陽極面に垂直な平面内の強度分布を求めたものがあ

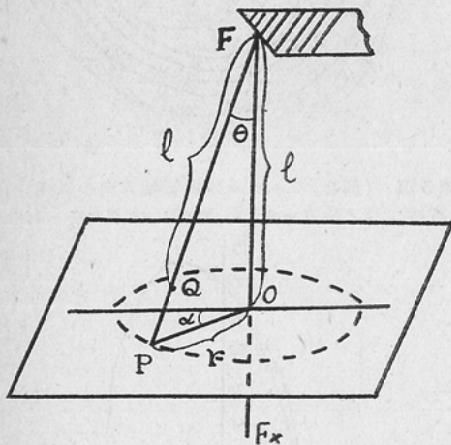
る。(管電圧60KVp 焦點—測定點間距離25cm)。

(3) 著者はたまたまかかる方向性の問題につき考察する必要にせられたので上記の測定データを参照し且つ二三の例につき實測により等強度曲線を求めてみた。

2. エックス線強度の方向性

(1) 第1圖に於いて主エックス線軸の方向を F_x とすればO點に於いて、これに垂直な平面上の點Pに於ける強度はエックス線管及び管の動作條件に特有な方向性及び F よりの距離の逆自乗法則により定められる。すなわちO點に於ける強度を I_0 、 F 上のQ點($FQ=1$)に於けるそれを $I_Q = I_0 \times \varphi(\theta, \alpha)$ とすればP點に於ける強度は附表の(1)式で表わされる。

第1圖



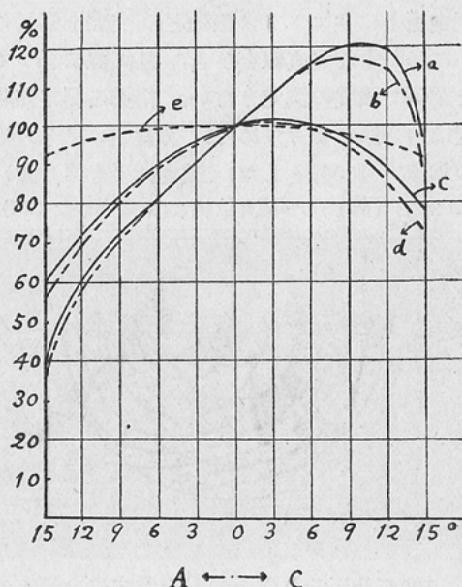
附表

$$I_P = I_Q \times \frac{l^2}{l^2 + r^2} = I_0 \times \varphi(\theta, \alpha) \times \frac{1}{1 + t^2} = I_0 \times \varphi(\theta, \alpha) \times f(t) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{但し } t = \frac{r}{l}$$

(2) 具體的に強度の方向性の程度を知るため上式を前記の J. Zintho の測定例に適用してみる。(この例では $\alpha=0$, $\theta=+15 \sim -15$)。原論文に掲載されている主エックス線軸と θ の角をなす方向に於けるエックス線強度を表わすグラフを計算に便宜なように百分率に書き改めたものが第2圖で實線(a)及び(c)は各々フィルター無し及び有りの場合の $\varphi(\theta)$ を、又點線(e)は $f(t)$ の値を、更に破線(b)及び(d)は各々の場合に於ける兩者の積 $\varphi(\theta) \times f(t)$ の値を示した。

第2圖 A: 陽極側 C: 陰極側



圖より明らかな如く測定範囲では $f(t)$ (距離に関する因子) の影響は少なく強度分布は主として $\varphi(\theta)$ によって支配され、又當然フィルター無しの場合に強度の変化が著しく、例えば主エックス線軸よりわずか約 2.6cm ($\theta=6^\circ$) 離れた點に於いて、陽極側では 80%，陰極側で 115%となり兩者の差は 30%以上となる。

3. 主エックス線軸に垂直な平面上の強度分布の測定

(1) 實際上問題となるのは單に一つの方向の強度變化よりも一つの平面上の強度分布であるがこの種の測定例^[7,8]は極めて少ないので著者は2, 3の例につき測定を試みた。但し測定に使用した電離槽の容積が小さくないこと及び多少の波長依存性を有すること等の理由により、當然測定結果にはある種の誤差が伴うものと考えねばならない。従つてこれより求めた等強度曲線は單にその大様を示すものと解釋すべきである。

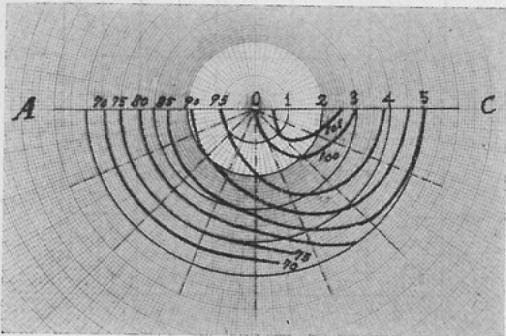
(例1) 深部治療用装置A (グライナツヘル式)
條件

エックス線管: I (STO-200-3)
管電圧: 80kVp, 附加フィルターなし,
ターゲット—測定平面間距離: 15cm

測定器：マツダ r メーター

測定面上に主エックス線軸との交點を横ぎり、互いに 45° をなす直線をひき、各直線に沿つて適當な間隔で強度の測定を行い、相隣る測定點間の強度は内挿法により求めた。勿論主エックス線軸上の強度を 100%とした。測定結果を第3圖に示す。

第3圖 (例1) の等強度曲線 (距離の単位 CM)



す。100%乃至それ以上の點を示すには測定の精度は充分でない。なお STO-200-3 はターゲット面が管軸となす角は $(60 \pm 1)^{\circ}$ であるから、陽極側では測定面上では中心より約 8.7cm のところで直接線がカットされる筈である。

(例2) 半波整流式装置

條件

エックス線管: SW-10kW

半價層: 1.4mmAl (フィルター 0.5mmAl) 及び 1.0mmAl (フィルターなし)

ターゲットー測定平面間距離: 35cm

測定器: Victoreen condenser chamber 及び Siemens 社製 Universal dosimeter.

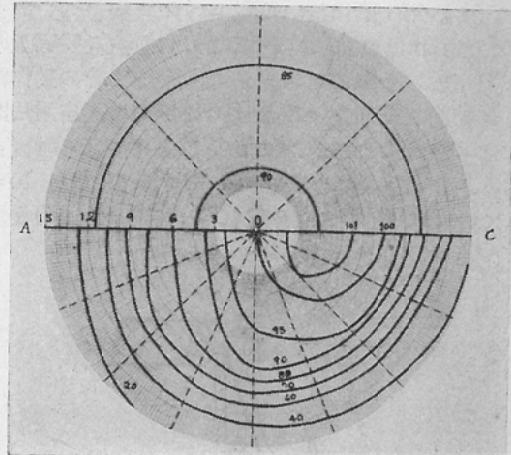
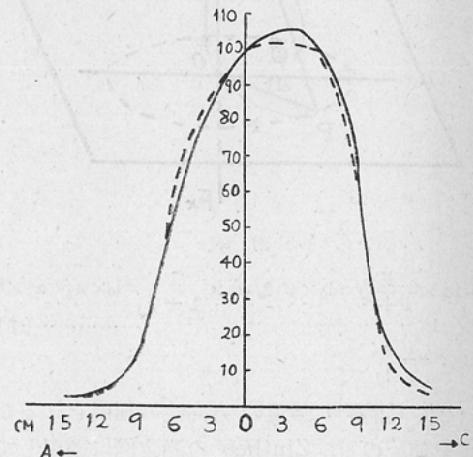
實驗用のエックス線装置であるため管電圧の値が明らかでないので半價層を測定した。

(半價層より管電圧は大體 60kV 前後と推定される。)

直接の測定用としては Victoreen condenser chamber を用いた。なおエックス線管のフィラメント變壓器一次回路にスタビライザーを挿入し、フィラメント電圧の安定化を計ると共に、更に安全のために Universal dosimeter をエックス線管ターゲットに對し一定の位置に固定しておき、その積算量がある一定値に達する迄毎回の曝

射を行つた。測定法は殆んど前と同様である。フィルター有及び無しの場合の結果は管軸の方向を除き大體同じであるので等強度曲線はフィルター無しの場合のみを示した。(第4圖及び第5圖)

第4圖 (例2) の等強度曲線(下方)上方は距離の逆自乗法則より推定される等強度曲線(距離の単位 CM)

第5圖 (例2) のエックス線管軸方向の強度分布
實線: フィルター無し 點線: フィルター有り(例3) 深部治療用装置B (グライナツヘル式)
條件

エックス線管: II (STO-200-3)

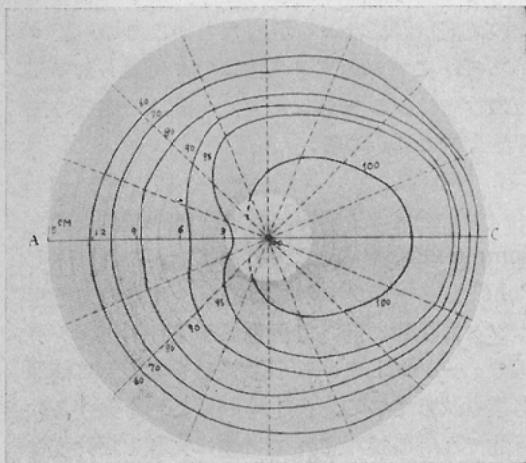
管電圧: 80kVp, 附加フィルターなし

ターゲットー測定平面間距離: 50cm

測定器: Siemens 社製 Universal dosimeter

測定結果は第6圖に示す如くである。

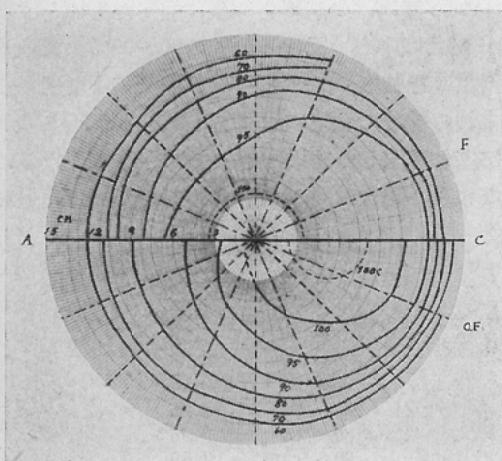
第6圖 (例3)の等強度曲線(距離の単位 CM)



(例4) 深部治療用装置C(グライナツヘル式)
條件

エツクス線管: III (S T O - 200-3)
管電圧: 150kVp, 附加フィルター-0.3mm Cu
+ 1.0mmAl 及びなし

ターゲット-測定平面間距離: 50cm
測定器: Siemens社製Universal dosismesser
測定結果は第7圖に示す。

第7圖 (例4)の等強度曲線 上方: フィルター有り
下方: フィルター無し(距離の単位 CM)

(例5) 深部治療用装置D(グライナツヘル式)
條件

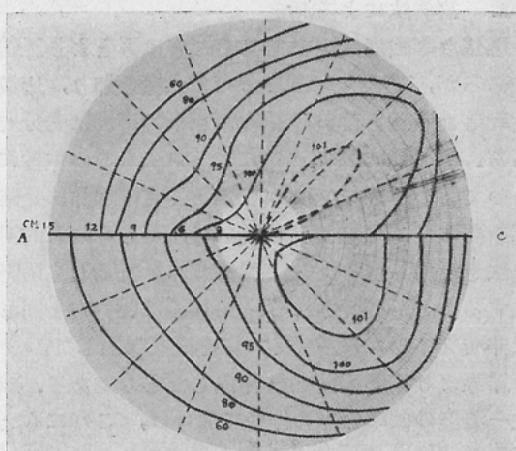
エツクス線管: IV (S T O - 200-3)
管電圧: 150kVp, 附加フィルター 0.3mm Cu

+ 1.0mmAl 及びなし

ターゲット-測定平面間距離: 35cm

測定器: Siemens社製 Universal dosismesser 及び Momentum dosismesser

直接の測定用としては Universal dosismesser を用い、momentum dosismesser はエツクス線管ターゲットに對し一定の位置に固定し、エツクス線出力の變動の較正用として使用した。第8圖はその測定結果であるが、等強度曲線が非常に非對稱な不規則な形となつてるのは、おそらくエツクス線管軸が測定面に對し若干傾き且つその方向が多少偏よつていたものと思われる。

第8圖 (例5)の等強度曲線 上方: フィルター有り
下方: フィルター無し(距離の単位 CM)

(例6) 深部治療用装置E(Siemens社製スタビリボルト號)
條件

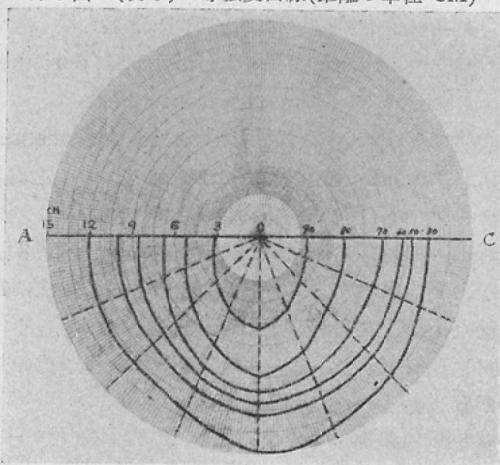
エツクス線管: V (S T O - 200-3)
管電圧: 150kVp, 附加フィルター: 0.3mm Cu + 1.0mmAl

ターゲット-測定平面間距離: 35cm

測定器: Victoreen condenser chamber 及び Siemens Universal dosismesser.

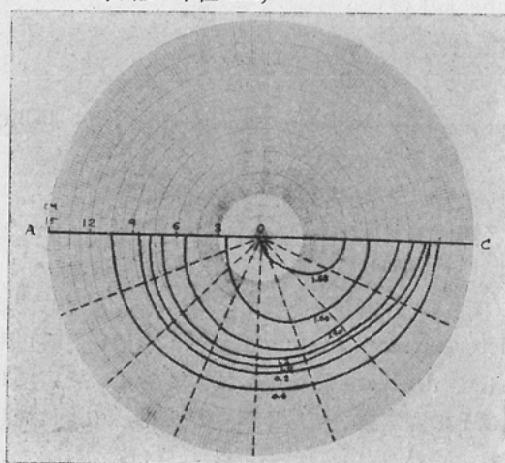
(例2) の場合と同様に直接の測定用としては Victoreen condenser chamber を用い、較正用として Universal dosismesser を用いた。第9圖はその測定結果であるが等強度曲線の形は豫想とは大變異つたものが得られた。

第9圖 (例6)の等強度曲線(距離の単位 CM)



4. 寫眞法による測定

正確な等強度曲線を求めるることはもとより至難であるが、實際上は強度分布の大様を知り、比較的均等な照射を行い得る範囲を求めて得れば充分である。著者等の電離測定による方法もこの主旨に沿つて行つたものではあるが、測定の操作に長時間を要する。この意味に於いて、若しも寫眞的測定法を活用し得るならば實驗操作を著しく簡略化することが期待される。第10圖は(例2)と同じ條件でフィルムにエツクス線を直接曝射して、その結果より等濃度曲線を作成したものである。線量-濃度の標準を豫め作つておけば、これにもとづき線強度に換算することも出来るわけである。

第10圖 (例2)の等濃度曲線 數値は濃度を表わす
(距離の単位 CM)

然し第4圖の電離測定の結果と比較するに強度分布の傾向は似てはいるが、なおかなりのへだりがある。これに對する理由は色々考えられるが、その検討は次の機會に譲り、今回は一應その結果を紹介するに止める。

5. 考 按

(1) 強度の方向性に關する純物理的な研究は Sommerfeld⁹⁾¹⁰⁾等により行われた。これに對して Pohl¹¹⁾はターゲットの厚い場合、すなわち實用的エツクス線管に就いて入射電子及び射出エツクス線のターゲットによる吸收係数を考慮して簡単な考察を試みている。然しこれはこれを論ずるのが目的でないので、こゝでは單に文献を紹介するに止める。

(2) 實際には強度の方向性のみならず線質にも方向性がある。從つて測定器の波長依存性が問題となつてくるが一般に使用し得る實用的測定器を用いる以上或る程度の誤差は止むを得ないであろう。

(3) 緒言で述べたように小試料を平面上に一様に密に並べた場合、それらの試料の受ける線量について考えてみる。假りに等強度曲線が(例1)の如きの場合、主エツクス線軸に垂直な平面上の半径4 cmの圓内に小試料を一様に並べたものとすれば、例え中心で受ける線量の90%と95%を受ける試料數は線強度の90%と95%の曲線によつて取り囲まれる部分の面積に比例するであろう。この考えに基き算出した結果は第1表に示す如くなる。すなわちA欄は試料の受ける線量の範囲で、B欄

第 1 表

A	B
101% <	4.99%
101~100	6.35
95~100	23.93
90~95	19.14
85~90	14.26
80~85	13.95
80% >	17.38

の數値はその範囲の線量を受ける試料の全數に対する百分率を示す。これよりみれば全數の約半分強が90%以上の線量を受け、残り半分弱が10%以上少くない線量を受け、全體としての平均曝射量

は90.2%となる。

(4) 以上の例より知られる如く、ターゲットよりの距離に応じて照射範囲を適當に選べば實用上は強度の方向性は餘り問題にはならない。然し等強度曲線の形が簡単でなく、かつ個々の装置並びに動作條件、管の方向、傾き等により可なり相違することを考慮すれば、正確を期する照射實驗の場合には單にターゲットよりの距離の逆自乗法則を基として線強度を決定することは感心出來ない。

終りに臨み、本文の御校閲を賜つた中泉教授並びに線量測定に便宜を賜つた國立遺傳學研究所松村博士、同藤井太朗氏、三樂病院坂本院長、關東遞信病院放射線科吉村部長、聖路加病院放射線科野邊地科長、當教室助手福田隆氏等に深謝する次第である。

なお本研究は文部省科學研究費により行われたもので、本文の要旨は第13回日本醫學放射線學會（昭和29年4月）に於いて報告したものである。

文 獻

- 1) G.W.C. Kaye: Proc. Roy. Soc. 83.189 (1909).
- 2) Bouwers u. Diepenhorst: Die Intensitäts der Rontgenstrahlen als Funktion des Winkels eines Austritts and der Antikathodenoberfläche: Fortschri. Röntgenstr. 38, (1928)894.
- 3) W.D. Coolidge & W.K. Kearsley: High Voltäge X-ray Work; Am. J. Roentgenol & Rad. Thera. 9(1922), 77.
- 4) G. Grossmann: Physikalische und technische Grundlagen der Röntgentherapie.
- 5) 中泉正徳: 臨床放射線學.
- 6) J. Zinthes: Variations in intensity and quality of röntgen-ray output as affected by the angle to the central, the roentgen tube and the roentgen machine: Am. J. Roentgenal. & Rad. Thera. 37. (1937)98.
- 7) 奥村秀一: 輻射X線の分布状況に就いて.
- 8) Theodore J. Wang: Calibration of therapeutic X-ray generators: Radiology, 60, (1953)885.
- 9) Handbuch der Physik 2 (Röntgenstrahlung).
- 10) Compton & Allison: X-rays in theory and experiment.
- 11) R. Pohl: Die Physik der Röntgenstrahlen: Verlag. Vieweg, 1912, D, 12.
- 12) 田中正道、三島初太郎: X線管の研究: 第2號, 88頁(昭和28年)(X線協議會).
- 13) R. Huer, H. Thiel u. H. Simon: Strahlentherapie. 94 (1954). 460

On the intensity distributions of X-rays on the plane normal to the central ray emitted from the target of the X-ray tube.

(Radiological Department, Faculty of Medicine, Tokio Univ.

Director : Prof. M. Nakaidzumi)

Assist. Prof. Hideo Etô

Assist. Igakusi Takehiko Tutiya

Object of Investigation

It is well known that X-ray intensity on the every point of equal distance from the target is not generally equal and the spatial distribution of intensity is peculiar to each X-ray tube and apparatus.

The authors measured the spatial intensity distribution of X-rays emitted from the target of X-ray tubes, with and without filter, and so obtained several isodose curves on the plane normal to the central ray.

Method

The "r"-meter, Siemens's universal dosismesser and Victoreen chamber were used for measuring.

In order to calibrate the fluctuation of the X-ray output, one ionization chamber (Siemens's momentum or universal-dosismesser) was kept in a fixed position to one side axis of the X-ray beam during the measurement.

The measurements were carried out on both therapeutic and diagnostic tubes.

Results

- (i) There is a marked difference in the shape of the iso-dose curve for different tube and apparatus.
- (ii) Intensity distributions are appreciably different from those benign expected from the inverse square law of distance (from the target).
- (iii) Slight variations in the positioning of the tube may lead to discordant results in measuring of X-ray intensity distribution.
- (iv) When the many small test materials being irradiated are placed densely on a same plane normal to the central ray, for example as in the case of biological experiment, care must be taken to consider the shape of the iso-dose curve, lest the X-ray intensity over its area vary too greatly from uniformity.