The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	透視時に於ける散乱X線の特性
Author(s)	筧, 弘毅; 有水, 昇; 内山, 暁 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1968, 28(4), p. 457-462
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19634
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

透視時に於ける散乱X線の特性

千葉大学医学部放射線医学教室（主任　筧弘毅教授）
筧　弘　毅，有　水　昇，内　山　暁
田　中　仁，有　馬　昭

理化学研究所
岡　野　真　治

（昭和42年11月10日受付）

Spectral Measurements of Scattered Radiation in Fluoroscopy

Hirotake Kakehi, M.D., Noboru Arimizu, M.D., Guio Uchiyama, M.D.,
Hitoshi Tanaka, B.Sc., Akira Arima
Department of Radiology, Chiba University School of Medicine, Chiba, Japan
Shiji Okano, Ph.D.
Rikagaku Kenkyusho (The institute of Physical and Chemical research), Yamoto-machi Saitama, Japan

The quality and quantity of the scattered radiation were determined at various places close to the patient in the diagnostic X-ray fluoroscopy. The tube voltages of the X-ray instrument used were 45 60, 75 and 80 Kev. A narrow collimated scintillation detector with 1-1/4 in. in diameter by 1/4 in. high NaI (Tl) crystal connected to a 400 channel puls hight analyser, TMC-Model 402, was used to show the energy spectrum of X-rays and those scatter.

The measurements indicated that the energy spectrum of the scattered radiation changed with the places where the measurements were taken. The quantity of the scattered radiation was derived by analysis of the energy spectrum. The result showed that at every points of measurement the primary scatter originating directly from the patient has a large part of the scattered radiation there. But, at some points the secondary scatter had a tendency of increases and was worth to consider its amount.

The lead rubber apron, usually used for the protection of X-ray in fluoroscopy, was effective enough to protect the doctor from the scattered radiation.

緒　言

X線透視により診断を行うとき検者は散乱X線の被曝について充分に注意しなければならない．その為に個人用放射線モニターを着用しているが，しかし散乱X線の線質を知らなければ精度のよい測定値を得ることが出来ない，このことは放射線防護に重要であるばかりでなく，モニターの線質依存性に対して，特に低エネルギー部分が充分に測定し得るかと云う疑問についても大きな意義をもつている．

散乱X線の特性（線質，線量分布）は，使用するX線のエネルギー分布並びに被曝者からの幾何学的位置によつて理論上算出が可能である．しかし実際には被検者の形，大きさ，位置などによつて多くの仮定をしなければならず，計算によつて充分に知ることは困難である．そこで我々は一般に多く使用されている透視用X線装置で透視時に於ける散乱X線の線質及び線量分布を測定した．

エネルギースペクトルの測定は種々の方法があるが Scintillation Spectrometry については Wang[1], Hettinger and Starfelt[2], Cormack and Burke[3], 竹井力[4] 等によりX線エネルギー分布の測定

が行なわれ，散乱X線のエネルギー分布は Hettinger and Liden[5]，Hettiger[6] 竹井力[7]，等により報告されている．

測定装置は従来，単チャンネル波高分析器が使用されていたが，我々の研究では多チャンネル波高分析器を用いた．従つて測定が短時間に出来，且つ安定度が大きく，これをマルチスケーラーとして用いることにより，散乱X線の方向分布の測定も容易に出来る．

実験装置

X線発生装置は単相全波整流装置（東芝製KXO-8型）を使用し，透視を行う際の被検者としては厚さ20cm，高さ45cmの躯幹 MiX-D ファントームを用い，その中心を原点として測定を行つた．測定装置はシンチレーションカウンターを用い，検出器は東芝製DD5-γ型，シンチレーターには 0.5mmBe+0.01mmAl の反射体に覆れた $1\,^1/_4'' \times ^1/_4''$ NaI (Tl) 結晶を用い，TMC-model 402型および 404型の 400チャンネル波高分析器を用いている．コリメーションの必要なときは，検出ヘッドに円筒型で孔の内径2cm，長さ4cmの鉛コリメーターを取付けた．これらの検出器の計数効率は10KeV～80KeV に於てはほぼ 100%で，半値巾で表したエネルギー分解能は30 KeV，80 KeV でそれぞれ50%，30%であつた．

測定方法

測定は次の3項目について行つた．すなわち，

1)被検者からの散乱X線ならびにこれら散乱X線が，さらに室内の物体によつて散乱したものの方向分布およびエネルギースペクトル

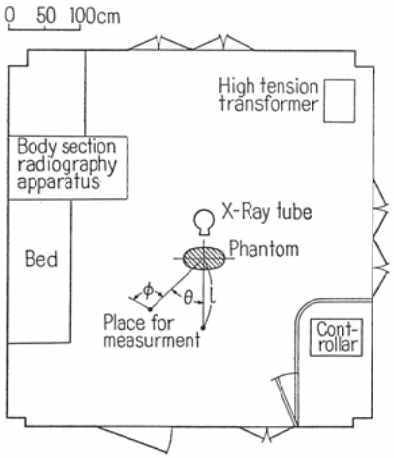
2) 被検者よりの散乱X線の強度およびプロテクター使用による吸収効果の評価．

3) 使用したX線発生装置（油浸管）の線質の測定である．

エネルギースペクトルは多チャンネル波高分析器を用い，チャンネル巾を1 KeV/チャンネルに選定して測定を行つた．X線管に与えた電圧はそれぞれ45，60，75，80KeV で管電流はいずれも 2.5mA，照射野は18×18cm² である．

方向分布の測定はシンチレーション検出器を回転台に固定し，1回転約40秒の速さで回転させながら，波高分析器をマルチスケーラーとして用い各角度の放射線強度を測定した．この際の計数間隔は 0.1秒/チャンネルであり，1回転で大体 400チャンネルになる．測定点の座標は被検者ファントームの中心を原点とし，X線の照射方向を基準線にとり上方より見て時計廻りの角を θ とし原点からの距離を l とした．散乱X線の方向分布の測定に際しては測定点と原点を結ぶ線を基準線とし反時計廻りの角を ϕ で表している．測定を行つた室内の実験用具配置状況は第1図の如くである．

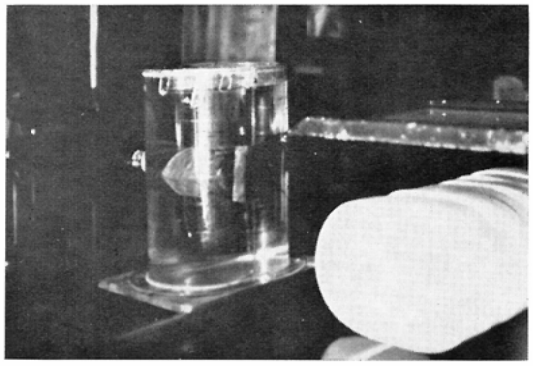
Fig. 1　The X.ray room for the experiment. The "θ" is given clockwise and the "ϕ" counterclockwise.



る．線量の決定は各エネルギー域の計数値 $N_{E\gamma}$ を実測し，照射線量Dは $D=\underline{K}\cdot\Sigma N_{E\gamma}\sigma_a f_{E\gamma}$ $E\gamma$で10 KeV（10チャンネル）毎に部分加算をして算出した．$\underline{K}$は立体角で検出器の有効面積に関係する定数，$N_{E\gamma}$ は平均エネルギー域の計数率，σ_a は空気の真吸収係数，$f_{E\gamma}$ は E_γ のエネルギーに対するシンチレーターの計数効率，E_γ は散乱X線のエネルギーである．測定は被検者が立位の場合と臥位の場合を想定し，ファントームを透視台上に乗せて被検者の場合と同様の手法で行つた．（第2図）

検者の被曝線量の測定に通常着用している個人用放射線モニター（フィルムバッヂ，蛍光ガラスバッヂ，ポケット線量計等）に対しては前方よりの被曝並びに後方よりの被検者を散乱体とした二

Fig. 2 Body phantoms of physician's (left) and patient's (right). Physician,s phantom is made of plastic and a scintillation detector is placed in the center hole. Patient's phantom is made of Mix D.



次散乱X線による被曝の両者を考慮しなければならない．このために第2図の様に検出体をプラスチック製躯幹ファントーム中に挿入して測定を行つた．

X線エネルギースペクトルは理論的には低エネルギー部分で欠損を生じないはずであるが，通常使用している診断用X線管のX線スペクトルはガラス壁，絶縁油等による吸収のために欠損を生ずる．この欠損を調べるためには，空冷型で軟線の吸収が少ないベリリウム1㎜の窓のX線管（10KW）を使用し，X線強度が強いのでX線管と検出器の距離を 660㎝とし，この間の空気の吸収を除くために，直径8㎝，厚さ1㎝の真鍮パイプで両端面にベリリウム1㎜の窓を設け，パイプ内を真空ポンプで約10^{-3}㎜Hgの真空度にしてエネルギースペクトルの測定を行つた．

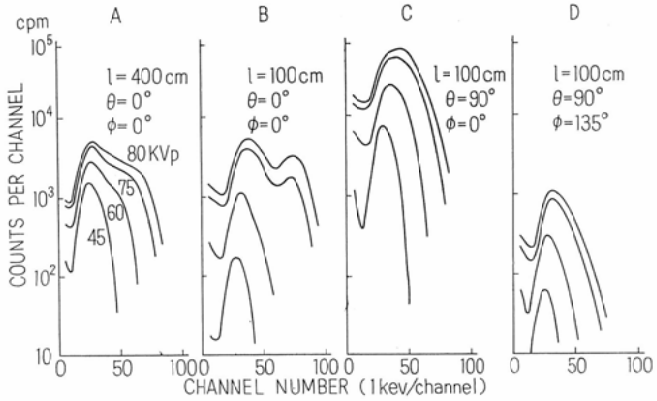
測定結果

第3図に示される散乱X線のエネルギースペクトルは，被検者ファントームの中心を原点とし，照射方向および90° 方向の位置において測定したスペクトルである．

l = 400㎝，θ=0°，ϕ=0° の条件(A)のものは直接線（一次線）のエネルギースペクトルであり，低エネルギー部分に見られる欠損はX線管のガラス壁，絶縁油並びにX線管と検出器との間の空気層による吸収と考えられる．この直接線が他の3つの異なる条件のエネルギースペクトルに比べて計数率の少ないのは，測定距離が約4倍であるとともに，管電流は 0.5mA，照射野1㎜ ϕ と条件が違うためである．

l = 100㎝，θ=0°，ϕ=0° の条件（B）は通常検者（医師）が行つている立位の透視状態の位置で，管電圧80KVp，75KVp のエネルギースペクトルの中央部に見られるくぼみは蛍光板面

Fig. 3 Energy spectra of the X-rays. (Patient's phantom is in the upright position). A: a direct X-ray spectrum without any absoorbers, B: a spectrum of the X-ray through the fluorescent screen in the fluorogrphic condition. C. a spectrum of X-ray that scattered to the lateral direction from the patient's phantom, and D: a scattered X-ray spectrum from the back at the same measuring position as that of C.

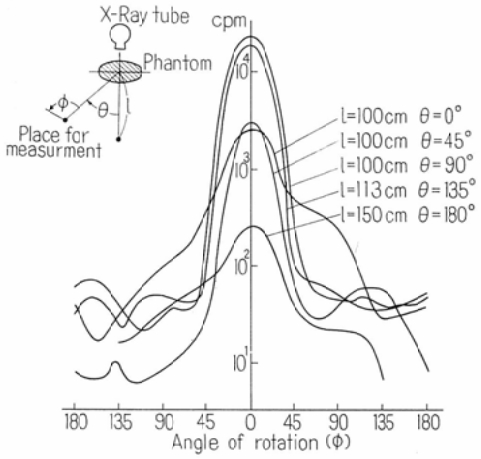


の鉛ガラスの鉛による撰択吸収である．$l=100$ cm，$\theta=90°$ $\phi=0°$ の条件（C）は被検者の側方から入射する散乱X線のスペクトルである．$l=100$cm，$\theta=90°$，$\phi=135°$ の条件（D）は被検者の側方にいる検者に対して 135° の方向から入射する散乱線であり，その強度は弱く，二次，三次散乱X線を示している．この散乱X線のエネルギーはX線管の印加電圧に関係なくほぼ30KeVである．

CとDのエネルギースペクトルにより検者がうける放射線の大部分は被検者から散乱される散乱X線で，そのエネルギーは30～50KeV であつた．

被検者以外で生ずる二次，三次の散乱X線を調べるために回転台に検出器を固定し床面と平行に 2π の角度にわたり測定した．その結果は，第4

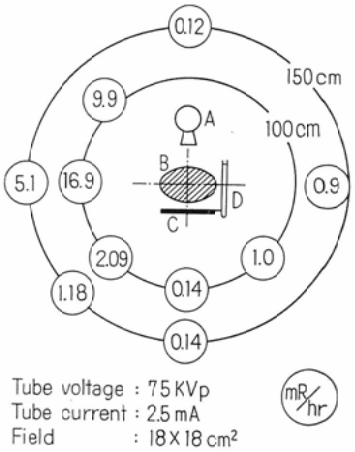
Fig. 4　Angular distributions (ϕ) of the scattered X-rays at the several mesuring points (l, θ).



図の如く各角度の強度分布の位置により異つているとともに，拡がりの様子からも二次，三次散乱X線の生成を十分に知ることが出来る．

以上の各位置における散乱X線のエネルギースペクトルと強度の方向分布の測定結果より，管電圧75KVp，管電流 2.5mA，昭射野18×18cm² の条件で空間散乱線量をエネルギーフラックスより算出すると，第5図に示す値を得た．$\theta=0°$ では蛍光板の鉛ガラス，$\theta=180°$ ではX線管容器による吸収のためどちらも小線量となつている．

Fig. 5　Dose distribution arround the patient's phantom. A: X-ray tube, B: patient's body phantom, C: Fluorescent screen, D: Supporting arm of the fluorescentscreen.



$\theta=90°$ と $\theta=270°$ の対称的位置において同線量値を示さないのは $\theta=270°$ の方向に蛍光板を支える腕があるためである．

$\theta=90°$ の方向が最も放射線強度が高く，被検者から1mの位置で約17mR/hr である．

透視時に検者が使用する透視用プロテクターの効果を調べる場合には，検者自身も又散乱体と考えなければならぬため，検出器を第2図のように散乱体中に挿入して測定した．その結果は，第6図の如くであつた．この場合は被検者が臥位で，透視台が水平で側面より検者が診断を行うときに相当する．当然第3図Cの条件のときのエネルギースペクトルに似ている．次に検出器前面に透視用プロテクターを置き，エネルギースペクトルを測定すると，低エネルギー部分が吸収されプロテクターの効果が見られる．このスペクトルより線量を算出すると，$l=45$cm，管電圧75KVp，管電流 2.5mA の場合，検者の被曝線量は約 200mR/hr であつたが，プロテクターを使用すると 1/3000の 66μR/hr に減少した．

次にプロテクターの鉛当量を知る目的で検出器前面に種々の厚さの鉛板を置き，それぞれ厚さの異つた鉛板により吸収された後のエネルギースペクトルを測定した．第7図に見られるようにプロテクターは 0.5mmの厚さの鉛板のスペクトルと非

Fig. 6 The laterally scattered X-ray spectra from the patient's phantom in supine position. The absorption effect of the protector is shown clearly.

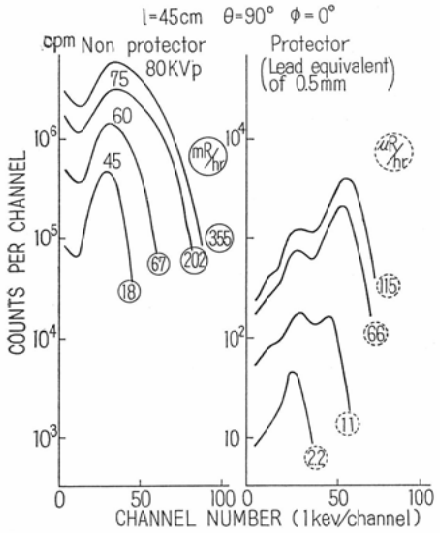
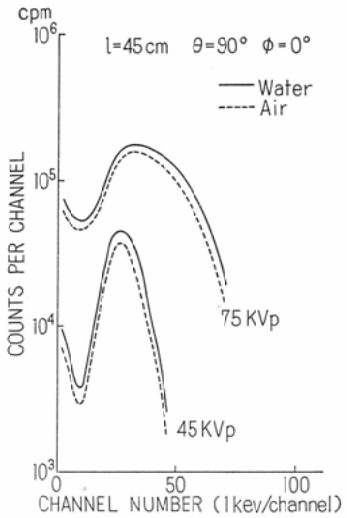


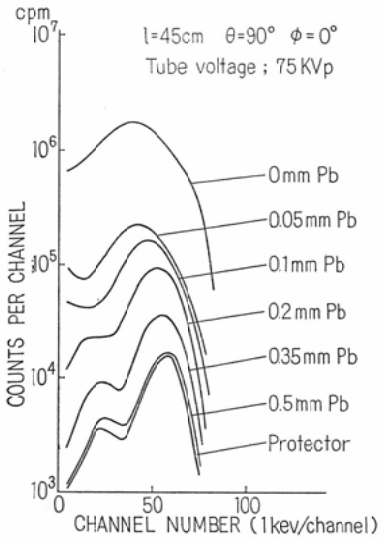
Fig. 7 Changing the thickness of the lead filter in front of the physician's body phantom, the lead equivalent of the protector was measured.



常に類似しており，このことからプロテクターの鉛当量は約 0.5㎜であることが想定される．

人体自身が二次散乱体であることはすでに述べたが，この二次散乱X線は如何なる値を示すかを，第2図に示したプラスチックファントームに水を入れた（二次散乱体が存在する）場合と，

Fig. 8 The scatterer effect of physician's body phantom. When the phantom is filted with water, the phantom itself becomes a second scatterer.



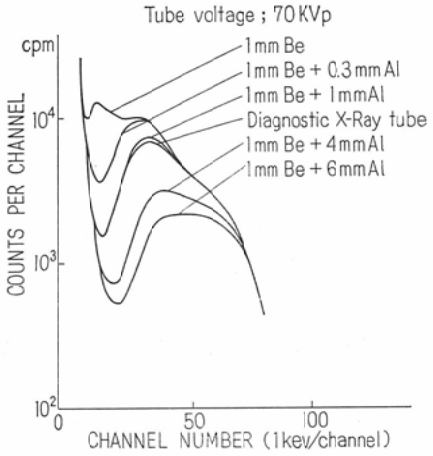
水を入れない（二次散乱体が存在しない）場合にどのような差異が生ずるかにより吟味した．結果は，第9図の如く，両者のエネルギースペクトルの形は大差がないが，このスペクトルより線量を算出すると，水に入れた方が約20％の線量の増加が示された．

第3図の直接線のエネルギースペクトルの低エネルギー部分による欠損は前述の如くX線管のガラス壁，絶縁油並びにX線管と検出器間の空気層の吸収に起因するものである．そこでX線管と検出器の間に真鍮パイプをおき，パイプの両端には1㎜厚のベリリウム窓を設け，その間の空気を真空ポンプで排気し，空気層の吸収を無視出来得る状態にした．更に軟線の吸収の少ない1㎜厚さのベリリウム窓を有するX線管を用いたところ第9図の上部の曲線となり低エネルギーの欠損がほとんど消失している．また散乱線測定に使用した回転陽極X線管（東芝製DRX-70）の自己吸収を測定するために，ベリリウム窓の前面に種々の厚さの吸収板を附加し，それぞれのエネルギースペクトルを測定した．第9図に示す如く回転陽極X線管の自己吸収はアルミニユーム当量で1㎜に相当

している．このとき使用した高圧発生装置はコンデンサーを用い定電圧にし，管電圧は高圧側で直読することにより，X線管に負荷した高圧電源を充分な安定度のもとに測定した．

以上の測定結果はあくまでも NaI (Tl) のシンチレーターの分解能のため，エネルギー分布が真のスペクトルより拡つていることに注意すべきである．

Fig. 9 The selfabsorption of to X-ray tube used for this experiment.



結　論

1) 検者がうける放射線の大部分は被検者から散乱される散乱X線である．その散乱線のエネルギーは30～50KeV であつた．更に被検者以外からの二次，三次散乱X線のエネルギーはX線管の印加電圧に関係なく，ほぼ30KeV であつた．

2) 被検者からの散乱X線による線量分布は管電圧75RVp，管電流 2.5mA，照射野18×18 cm² の場合，被検体から1m以上では数 mR/hr であり，照射方向に直角な方向の最も放射線強度の高い場所でも17mR/hr であつた．

3) 検者（医師）が被検者（患者）を臥位にして診断する位置（l =45cm）で管電圧75KVp，管電流 2.5mA の場合，検者の被曝線量は鉛当量 0.5mmのプロテクターを使用すると，1/3000の66 μR/hr に減少しプロテクターを使用するかぎり被曝線量について恐れる必要はない．

4) 直接線の低エネルギー部の欠損は明らかにX線管の自己吸収（ガラス壁，絶縁油による吸収），および空気層によるものである．散乱X線測定に用いた，回転陽極X線管の自己吸収は，約1mmアルミ当量であつた．

本論文の要旨は，昭和41年4月第25回日本医学放射線学会総会に於て発表した．

稿を終るにあたり，本研究に対して御助力いただいた東京都立診療エックス線技師養成所山田穣所長並びに青柳泰司氏に深く感謝致します．

文　献

1) Wang. P.K.S, Raridon, R.T, and Tidurell, M.: X-ray spectrum from a beryllium window tube : I, sintillation spectrometry, Bri. J. Radiol. 30, 70. 1957.
2) Hettinger, G., and Starfelt, N.: Bremsstrahlung spectra from roentgen tube, Acta Radiol, 50, 381. 1958.
3) Cormack, D.V., and Burke, D.G.: Spectoral distribution of primary and scattered 140 Kvp X-ray, Radiology 74, 743. 1960.
4) 竹井力：X線のエネルギー分析 第一報，一次X線日医放誌，19，6．1959．
5) Hettinger, G., and Liden, K.: Scattered radiation in a water phontom irradiated by roentgen photons between 50 and 250 KeV, Acta Radiol. 53, 73. 1960.
6) Hettinger, G.: Angular and spectral distribution and lead irradiated by photons between 50 and 250 KeV Acta Radiol. 54, 129. 1960.
7) 竹井力：X線のエネルギー分析，第二報，散乱X線，日医放誌，19，6．1959．