

帝国理工学研究所における線量計測の較正

*Die Eichung von Dosismessern in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt**

Behnken H. Fortschr Geb Röntgenstr 31:479-81,1924

全てのX線の線量の基礎として、Christenの定義を参照するのが一般的となっている。すなわち、物理学的線量は物質に吸収されX線エネルギー量をその体積で除して得られ、生物学的線量(実効線量)は物理学的線量に感受性係数を乗じたものとする。

この定義の利点は、理論的に明確で線量の概念が明確であることに加えて、物理学で使用されているエネルギーの単位(エルグ、ジュール、カロリー)を線量に持ち込んで、計測装置に依存しない絶対単位を提供できる可能性があることにある。

残念ながら、従前知られていた放射線の熱効果に基づくエネルギー測定法はどれも感度が不足しており、このような理論的な利点は現状では非実用的である。

しかし、だからといって特定の計測装置に依存しない絶対単位が存在しないということではない。幸いなことに、熱効果よりもはるかに正確なX線の電離効果が存在する。

この電離効果は、熱効果と同程度に線量単位として相応しいものである。実際のところ、ガスの電離は熱効果と同じくガスの吸収エネルギーに比例すると長い間考えられてきた。現在はこの電離の比例性は、同一線質の場合にのみ成り立ち、線質が異なる場合は適用できないことが分かっている。波長、エネルギー、電離力の関係は現在のところ知られていない。Holthusenは理論的には非常に蓋然性が高いと思われる方法で、アインシュタインの式 $eV = h\nu$ を使って吸収エネルギーから放射線によって発生して電離を引き起こす速中性子の数と加速電圧を計算し、ここからLenardの計測に基づいて生成電荷数の総数を求めたが、Boosの計測とは一致しない。

幸いなことに、ここでの実際的な目的には波長と吸収エネルギーの電離の関係は不要で、必要なのは生物学的効果との関係であり、電離により定義、計測した物理学的効果から生物学的効果への変換は、感度係数を乗じることで可能である。

もちろん双方における係数の大きさは同じではない。エネルギーによって定義される物理量の係数を実験で求められる見通しはないが、電離によって定義される量については、これを計測できるのでこれを求められる可能性が高い。

線量の単位の選択にあたっては、良く知られたFriedrichのものに変更を加える。オリジナルは、飽和電流による空気1ccの電離によって発生する電気量(静電単位)を与える放射線量を単位とするものである。

しかしこの定義は2つの面で不十分である。ひとつには、空気の密度、すなわち圧力と温度が線量計測に影響することから、これを定義に含める必要がある。

もうひとつは、Holthusenが指摘したように、電離を計測する場合は、電離箱の壁から放出される電子による誤差(壁効果)を避ける必要があり、また空気中で発生した高速電子も照射野内で完全な電離作用を持ちうる。

このような点を考慮すると、線量の単位の定義としては以下のようになる。

「物理学的X線量の絶対単位は、温度18℃、圧力760mmHgにおける空気1ccに照射したとき、空気中で放出される電子を完全に利用し壁効果の無い状態で、飽和電流によって1静電単位の電気量を発生するような放射線量である。線量の単位は、Friedrichにならってeで表わす。1秒間に1eの線量が得られる場合、線量率1bとする」

上記の定義によるbあるいはeを計測する方法には、いくつかの方法がある。完全に閉鎖された電離箱で発生する壁効果は、適当な形状の電極を選び、また照射される壁の近傍、例えば入射窓あるいは出射窓の近傍の計測対象外の領域に接地保護電極を設けることによって回避できる。空気中の電子を完全に利用する方法としては、Holthusenによれば、電子が電離箱の壁に到達する前に飽和しないように電離箱を十分大きくしたり(ただし、非常に硬い放射線の場合は非常に大きなものとなる)、あるいはSiemens & Halske社が実際的な方法として初めて提案したように、電離箱を圧縮空気を満たして電子の分布範囲を縮小する方法がある。この場合、装置の大きさは手頃であることから、帝国理工学研究所ではこちらの方法を較正装置に採用している。較正標準装置は、直径7cm、長さ15cm、黒鉛紙を内張りした真鍮製の圧縮空気電離箱で、直径4~7mmの細いX線束をセルロイドを張った窓から長軸方向に入射する。3本の偏心性に配置した桿状電極が、電離箱の長軸と平行に離れて配置されている。中央のものが実際の計測電極で、その他は保護電極である。照射空間の大きさは、計測電極の長さにX線束の断面積を乗じたものになる。電流計測は、極めて高

* 訳注：現 Physikalisch-Technische Bundesanstalt (ドイツ連邦理工学研究所)。1872年の創立以来、現在もドイツの法定計量システムを担う公的機関として計量器の較正、研究を行なっている。著者のBehnkenはその所長。

感度な象限電位計を大きな抵抗を介して並列に接続して行なう。電流計測は、数%の精度で可能である。電離箱内の圧は、精密圧力計で1%の精度で計測する。電離箱内の圧力が十分高いことは、高硬度の放射線において、飽和電流が圧に比例して増大することから確認できる。管電圧180kVp、フィルターは0.5mmCu + 1mmAl、7気圧以上とする。この圧力下では、計測室内で放出された固有の電子がセルロイド窓に達して壁効果による余剰電子を発生する。

非常に軟らかいX線(管電圧59kVp、フィルターなし)の場合は、圧縮空気内のX線吸収が大きくなるため電流と圧は比例しない。このような軟らかいX線では、空気中の吸収係数を特に求めて、考慮する必要がある。このような設定における絶対単位の精度は約1%である。

例として、約1ccの小さな電離箱を備えたいいわゆるSiemens線量計における計測を示す。一定の線質に対して、小電離箱内のイオン流は絶対線量率に比例した。管電圧を100~200kVに変化させ、0.5mmCu + 1mmAlフィルターを使用しても同様であった。これに対して、管電圧を180kV一定、フィルターを0.0mmCu + 1mmAlから1.0mmCu + 1mmAlまで変化させると、比例性は失われた。この場合、変換係数はフィルターの厚さに応じて実験的に決定する必要があった。線量率/イオン電流の比は、フィルターを厚くすると初期には減少し、0.4mmCu + 1mmAl付近で最小となり、その後増加して0.8mmCu + 1mmAl付近で一定となった。実用上この較正結果は、フィルター厚、較正する装置の示度、絶対線量率の3本のスケールを備えた簡便なノモグラムにすることができる。これに1本の定規を当てれば、3本のスケールの点を決定できる。

帝国理工学研究所(Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Charlottenburg, Werner-Siemensstr. 8-12)では、既述の方法によって、暫定的には180kVpまでのX線管を1mmCu + 1mmAlまでのフィルターを使用して、較正の依頼に応じている¹⁾。さらに硬いX線への拡大を準備中である。較正費用は、所望の較正範囲に応じて異なり、事例に応じて依頼者に連絡する。較正の技術的詳細については、技術物理学系雑誌に近いうちに掲載予定である。

発言

G. Großmann (Behkenの講演に対して): Behken氏の努力により、帝国理工学研究所でSiemens & Halske社が1年半以上前に提供した線量計の較正を既に実施可能であることを喜ばしく思います。

先のX線学会で、GöttingenのKüstenerが、標準線量計の作製と、それを利用した較正センターの設立を

提案しました。ドイツレントゲン学会は、この問題を解決すべく委員会を設立し、この委員会が数日前にGöttingenで開催されました²⁾。その席上Küstenerは、自ら設計した標準計測装置について発表しましたが、私はその内容について知らないので意見を述べる立場にありません。

1つの問題が異なる場所で同時に扱われていることは、それ自体は喜ばしいことですが、異なる場所で2つのX線量単位が存在することは好ましくありません。従って、Göttingenの計測値を帝国理工学研究所の絶対計測値と照合してみるべきでしょう。

Behken氏が述べたように、Siemens社線量計と圧縮空気電離箱による計測値は、管電圧一定としてフィルターを変更すると比例しなくなります。この変動の原因は、Siemens社線量計の問題ではなく、小型電離箱の問題です。その他の小型電離箱を備えた線量計も同様な変動があります。小型電離箱の電荷数は、壁によるX線吸収に影響されるからです。電離箱の壁が吸収するX線エネルギーは、壁の材質と厚さに依存します。入射口の窓でもX線は同様に吸収されますが、大型電離箱の場合はそれほどではありません。

この結果、フィルターなしの電離箱で計測される電荷数は最も影響を強く受け、フィルターが厚くなるほど影響は弱くなります。従って、小型電離箱で計測した電離をフィルターの厚さの関数として描いた曲線の最初の部分は、常に正しくないこととなります。同じ材質、内径の2つの小型電離箱を比較し、他の条件がすべて同じで異なる壁の厚さに対して、フィルターの厚さの関数として対数プロットを描くと、最初の部分は異なるが、いわゆる均一点以降のほぼ直線状の部分は互いに平行になります。対数プロットにおける2つの線量曲線の平行性は、線量値が比例関係にあることを示しています。

従って、このような2つの電離箱から得られた値は、フィルターを使っていれば比較可能です。小型電離箱は、フィルター厚に対する対数曲線で直線部分の傾きが、大型電離箱から得られた曲線の傾きに等しければ、有用と言えます。一方、この条件を満たさない小型電離箱は使うべきではありません。Behken氏のグラフが示すように、管電圧180kV、0.4mm以上の銅フィルターを使えば、Siemens社線量計と圧縮空気電離箱のデータはほぼ比例します。Siemens社の小型線量計は、フィルターを使った放射線の計測には適しています。小型電離箱は、放射線治療に使用するようなフィルターを使用した放射線には適していますが、物理学的計測には不適であることに注意する必要があります。

1. 本巻末の告知を参照

2. 後続頁の報告を参照

告知

帝国理工学研究所における X 線計測較正について

Fortschr Geb Röntgenstr 31:565-6,1924

帝国理工学研究所では、依頼に応じて X 線線量計を絶対単位で較正する。当面は、200kVp 管球、1mm Cu + 1mm Al フィルターまでとする。良く知られた W. Friedrich の方法に則り、標準状態下の大気の電離能の単位は以下の様に定義される。

X 線量の単位は、温度 18°C、圧力 760mmHg における空気 1cc に X 線を照射し、空気中で放出される電子を完全に利用し、壁効果の無い状態で、飽和電流によって 1 静電単位の電気量を発生するものとする。線量の単位は Friedrich に従って「e」とする。1 秒間に 1e の線量を得られる場合、線量率 1b とする。

標準較正は、圧縮空気を封入した適当な形状の電離箱を使用して行ない、これにより上記の定義による正確な X 線量計測が保証される。較正の技術的詳細については、本誌に掲載されている^{*1}。さらに詳しい内容についてはまもなく物理学系雑誌に掲載予定である^{*2}。

帝国理工学研究所, Charlottenburg

1923 年 11 月 7 日

1. 本誌 479 頁, レントゲン学会 (ベルリン), 1923 年 10 月 25 日, 議事録, Behken 講演

2. Behken. Die Vereinheitlichung der Röntgenstrahlendosismessung und die Eichung von Dosismessern (Mitteilung aus der P.T.R.)