

X線の直接計測装置

Instruments de mesure a lecture directe pour les rayon X

Villard P. Arch Elect Med (Bordeaux) 16:692-9,1908

I. 透過力の計測

X線硬度計の概要については前稿 [1] に述べたので、ここではこの装置の原理、理論に限って述べるものとする。

基本的な部分について述べると、これは象限電位計で、その針 E (図 1) が、一定の電位に保たれた 2 枚のブレード B, C の間に置かれた適当な厚さの (例えばアルミニウムのような) 選択的 X 線透過性 [訳注 1] をもつ金属 AA に連結されている。ブレードの 1 枚 B は、圧延アルミニウムのように X 線が完全透過性である程度に十分薄い必要がある。もう 1 枚の C はどのようなものでもよい。二次線に起因する問題を避けるためにも、アルミニウムを前提としている。

保護筐体の開口部 DD' から X 線束が 3 枚のブレードに入射することを考える。この X 線束は、ブレード B では有意の吸収を受けずに通過し、変化することなく空間 AB に到達し、ここで電離して AB 内の空気に一定の導電性を賦与する。一方空間 AC は、AA によってフィルターされた X 線のみが到達し、透過量は減弱し、硬線成分は減少している。従って、AC 内の空気の電離と導電性は AB に比して小さく、この差は入射光線の透過力と成分に依存する。

この差は、透過力と成分のみに依存する。ここが重要な点で、AB 間、AC 間の電離比は、これらの電離の絶対値、すなわち入射光線の強度にはまったく依存しない。その強度いかに関わらず、AA は当該光線の構成成分と一定の関係で減弱し、入射光線の絶対値が変化しても、AB、AC の強度はその相対的な値を維持する。これは吸収現象一般に言えることで、例えば青ガラスは一定の割合で黄色の光線を吸収するが、その光線が単なる蠟燭のものあれ、強力な太陽光からのものであれ同じように吸収する。

このように AB 間、AC 間の電離比は、入射光線の強度には依存せず、その透過力にのみ依存するのでこれを計測しうる。

これには電位計が役割を果たす。AA の電位は AB、AC の空気に賦与された導電性、すなわち電離の比によって変化し、これが X 線束の線質に対応する。

針 E は正確にこの電位の変化に応じて動くので、AB、AC の電離比、すなわち目的とする透過力を文字盤から直読できるように目盛るだけでよい [2]。

入射光線が限りなく柔らかいとすると、AA で完全に

阻止され、電離は AB 間でのみ発生する。AA と針 E は B の電位に等しくなり、すなわちゼロを指す。反対に入射光線が限りなく硬いと、吸収されることなく AA を通過し、AC 間と AB 間の電離は等しくなり、E はブレード B の電位とブレード C の電位の平均を示す。中間的な硬度の場合は、この両極端の間の示度となる。B と C を象限電位計とともに、例えばに 0 ボルト、110 ボルトに保てば、硬度の範囲は 0~55 ボルトとなる。

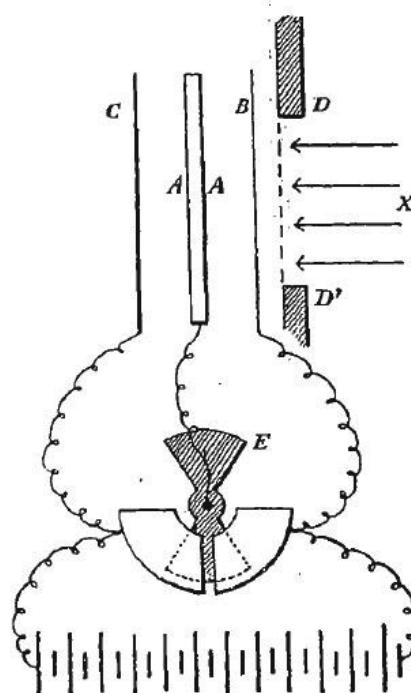


図 1. AA: 選択的 X 線透過性金属フィルター。電位計の針に接続されている。B: 圧延アルミ箔。電位計の象限ペアのひとつに接続されている。C: もうひとつの象限ペアに接続されている金属板。DD: X 線開口部。(象限ペアの一方のみ図示している)

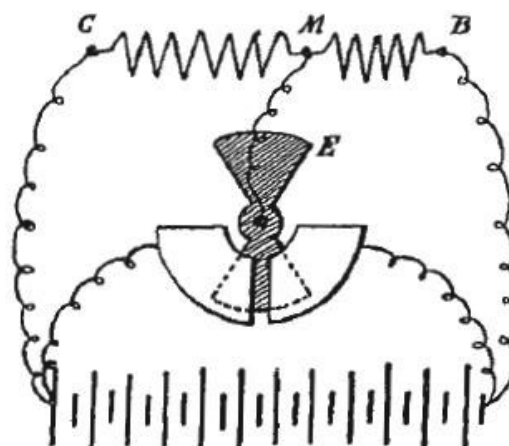


図 2. 放射線硬度計モードで使用する場合。RR': 電離した空気により装置本体に発生する電流を表わす抵抗器。

経験上、すべてここに述べたことは正しいことが分かっている。すなわち測器の示度は、X線の透過力のみ依存し、強度には依存しない。これはAAの電位平衡が達成される速度、すなわち電極、針、電線が作る容量がイオンによって充電されるのに必要な時間によるものである。

これは例えば、線源を遠ざけたり近づけたりしても、示度が変化しないことから知ることができる [1]。X線束の行路に、Benoist氏の言い得て妙なるX線非選択的透過性 (aradiochroïque) の、つまり全てのX線を等しく吸収する純粋な銀箔を置いてもやはり同じである。これに対して、アルミニウム箔を置いたりあるいは、X線管球に浸透圧調節器を使用すれば、針は直ちに振れることになる。

これまで、A, B, Cはいずれも、二次線を放出しない金属アルミニウムであることを前提としてきた。実際には、二次線を大量に放出する金属を使用すると、二次線が入射X線に加わって電離が増加し、速やかに電離平衡が得られる利点がある。例えばフィルターAAには、非常にX線選択的透過性が高く二次線を放出する銅を使用することができる。二次線については銀はさらに有利であるが、銀はX線非選択性であり、この点においてCに適している。Bは圧延アルミニウムのままとする。

この条件下では、空間ABの壁A、および空間ACの壁AとCから、二次線の放射がある。従って、AB間の電離は一定の比で増強され、AC間ではさらに大きな比となり、これはAAによる吸収を補って余りある。このためAAの電位はBの電位 (透過力ゼロの光線の場合) からCの電位の範囲で変化し、このため感度の低い電位計も使用できる。二次線は入射光線の透過力とともに増加し、フィルターAのX線選択的透過性が増強されたのと同じ結果になることから、その利用はなおのこと有利である。

このような変更を加えても、各空間の二次線の放出は常に一次線の強度に比例し、電離能力は一定の比で増強するだけなので、装置の基本的な特性は変化しない。例えば、ブレードCが銀でもアルミニウムでも、入射光線が限りなく軟らかければ空間ACには到達せず、電離はゼロである。

装置を真の透過力 (吸収指数係数) に対して較正することもできる。しかし、これは任意に選んだ標準金属に依存したものであり、特定の色ガラスの吸収スペクトルに対して較正するのと同じことで、そのような較正に科学的な意義は乏しい。X線の種類を定義づける固有の特性を知ることができるまでは、その波長で色調を定義するものとし、著者は非常に実用的なBenoist氏のラジオクロメータを使用する。

II. 線量の計測

測器の原理は非常に単純である。電極A (図3) は、筐体B内の電位計の針に接続されている。Bは一定の電位に保たれ、光線が入射する開口部を備えている。開口部は、もちろん非常に薄い導電性の箔で覆われている。

X線により電離が起こると、電極板と針の共通電位は、筐体の電位に接近する。針が振れて第1象限ペアから離れてロッドTによって第2象限ペアに接続された接点Cに接触する。針の電荷が逆転すると、針は速やかに初めの位置に戻り、新たなX線が必要な電位を回復すると再びこれを繰り返す。針は常に同一条件下で動作し、一連の針の振れはX線量に比例し、これはシステムの電気容量と筐体の大きさによってのみ決まる。

この往復運動は、計時機構 (秒数カウント) のエスケープシリンダーを利用している。この歯車の針が文字盤上に電位計の振動回数を刻み、回数は筐体に入ったX線量に正確に比例する。

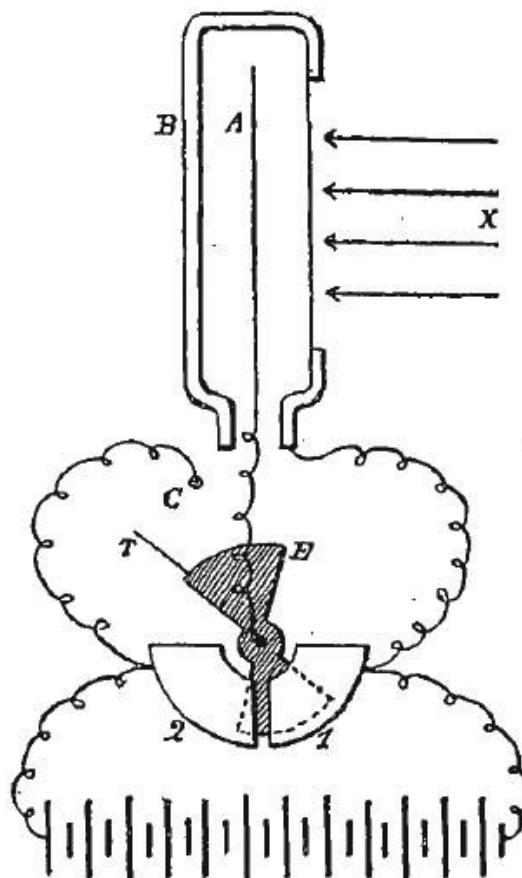


図3. 線量計の図。A: 非常にX線不透過性のブレード、あるいはその反対に非常に薄くしてその両面でイオンを収集する。B: 圧延アルミニウム箔を張った開口部をもつ受光筐体。E: 電位計の針。ロッドTに取り付けられ、針が振れると接点Cに接触する。図の状態では、針は第2象限ペア (図にはその1つのみ描かれている) の電位を指しており、従って第1象限ペアに向けて押し出される。X線による電離でAとEは1の電位となり、2に引かれる。これに伴う針の振れによってロッドTがCに接触する。すると針は2の電位となり、図の位置に復帰する。

しかし実際にこの装置を製作することは、わずか 110 ボルトで動作する電位計では力が著しく小さいために、非常に困難である。

電位計は一定の X 線量によって一定の電荷がないと動かずにゼロの位置にある。静止時には、針は小さな磁石に吸引されてストッパーに接している。図 3 は、この静止時の位置を示す。

十分な電荷があると、針はストッパーから離れ、距離が増すと磁石の引力は急速に減少して加速する。針は、通常のスプリング張力のような漸増性の拮抗力に抗して定速で振れるのではなく、ひとたび動くとき加速度的に終端まで振り切れる。この加速は、装置の較正や針の電位が振れによって容量が増しても一定に保つために使われる空気コンデンサーを加えることによっても増幅される。運動機構は、稼働中ほぼ一定の動作を繰り返す。

これに対して逆荷電時の接触は、振動毎に完全に初期状態に復帰するようになる必要がある、また固着しないようにしなくてはならない。この 2 つの条件は、非常に柔軟なスプリングが、時計機構によって回転するスピンドルに当たるようにすることで得られる。これにより固着が回避され、屈曲したスプリングが針に反跳して力が大部分温存されることにより接触を延長する。

電荷の符号が反転すると、運動機構の回転も反転し、磁石の吸引力も手伝って針は強制的に初期位置に戻る。

この活発な運動は、往路、復路ともに、時計のエスケープ機構によって、相応に大きくかつ変動性の外乱を高速に処理することを可能としている [訳注 2]。電位計の動きはすべて、その記録系とは独立で、指針によって純粋に電氣的に、一定に決まる X 線量を容易に知ることができる。電位計の一連の振動は常に同一の条件

下で繰り返され、振動毎に電荷の反転によって初期状態に戻るため、文字盤の示度は受光した光線の総量に良く比例する。

装置の全体構成は、放射線硬度計のそれと大略同じである。すなわち、X 線不透過性筐体内に電氣的に絶縁された電位計がある。受信箱は可動腕に取付けられている。ここでは電線の容量は問題にならないので、受信箱を柔軟な導電性物体の先端に置くことができる。

暫定的に、単位 H で目盛られているが、この機により理論的な単位を定義することが必要である。次のような基本単位を採用することはいたって論理的と言えよう。すなわち、電離によって標準温度、標準気圧下の空気 1cc に 1 静電単位を付与するような X 線量を単位とする。

この単位は、非常に単純であり、我々の現状の知識で容易に実現しうるものである。

【訳注】

1. radiochromique: X 線の線質 (硬度) によって透過性が変化する性質。ここでは選択的 X 線透過性と訳した (藤浪剛一「れんとげん学」では透過差別性としている)。基本的にすべての物質がこの性質をもつが、当時銀など一部の金属にはこの性質がないと思われており (aradiochromique, 非選択的 X 線透過性, 透過無差別性)、このため Benoist の X 線硬度計には対照として銀が使われている。

2. わかりにくい表現だが、針が勢いよく動くため、多少の抵抗があっても端から端まで振り切って往復運動するという意味と解される。

【注】

1. P. Villard. Radiosclérometre. Arch d'électr Méd. 1 月号, 236 頁, 1908.

2. 針 E が 2 つの抵抗器 RR' (図 2) によって、一定電位に保たれる B, C に接続されているように全てがふるまう。E の電位は R と R' の比によって決まり、抵抗の絶対値には依存しない。

3. 一般的なサスペンションワイヤを使う場合、ギャップが広がると張力が増加することは事実であるが、この張力をほとんどゼロにすることは容易であり、そのようにすれば完全に調整可能である。[訳注: この脚注に対する引用箇所の記事は見当たらない]