

X線写真術の最近の進歩

Some recent developments in radiography*

Clyde Snook. *J Franklin Inst* 175:1-13,1913

X線発生装置

1907年以來過去数年間、X線写真用装置として、誘導コイルは急速変圧器型に置換されてきました。

変圧器型の装置は、誘導コイルにおける最大の問題点、すなわち電氣的効率が低く、二次電流の周波数が低く、通常サイズの装置では二次出力に限界がある断続器の使用に伴う難点を克服するものでした。変圧器はこのようなコイルの欠点を克服し、それ自体はなんら欠点がないものです。

X線装置用の最初の変圧器型装置は、1907年6月にJefferson病院に設置され現在もなお日々稼働しています。以來、アメリカおよびヨーロッパの著名な放射線研究室や病院に導入されています。

この装置は、ヨーロッパおよびわが国で Interrupterless, Eresco, Transverter, High Potential Rectifier, Snook's Röntgen Apparatus 等、さまざまな名前と呼ばれています**。

図1に、電気回路とSnook装置(Snook apparatus)の各部分の関連を示します。通常の病院で使われるものでは、4~10kWのエネルギーをX線管球に供給します。

高圧整流スイッチは、変圧器の一次側に供給される低圧交流を発生する転流器との機械的連結によって、変圧器の二次側高圧交流起電力と同期しています。

交流の正側、負側いずれの半波形も整流されます。いずれの半波もかなりの部分が利用されるので、得られる周波数は誘導コイルの二次電流に比べてかなり高いものとなります。このような設計のため、メーカーは標準的な変圧器を利用することができ、スパーク長ではなく電力出力を基礎として装置を規格化することができます。

この装置によって全身あらゆる部位のX線写真を数秒で撮影でき、日常的に良い均質な写真を手にすることができます。

さまざまなタイプの高圧スイッチが開発されてきたことは興味深いところです。オリジナルのバランスローター型は、機械的、電氣的に最も効率のよいものです。この種ものは、以來非常に多くのものが登場していま

すが、現在好まれているのは古いタイプのローターです。ローターは完全にバランスのとれた装置です。最終的に生き残ったのはこの考え方で、現在に至っています。このタイプは市販されて以來、大きな改良は施されていません。1907年に登場して以來、基本的にも電氣的にも同じです。

X線動画撮影

Groedel博士らは、疑似動態画像化装置(pseudo-bioradiographical apparatus)を開発しました。曝射毎に一発のパルスを発生する巨大な誘導コイルも試みられ、毎秒4~5回の撮影が可能でした。こうして得られたX線写真を映画フィルムにおさめ、投影装置にかけて18~20枚/秒で映すことにより、X線の疑似動画を作ることに成功しています。

この装置は「ビスマス食」を使用した消化管の検査に意義があります。そしてここからもう一つ、「垂直透視装置」が生まれました。

これは立位で透視検査できるもので、次炭酸ビスマス食が消化管の所望の位置に達した時点で、撮影を行なう装置です。これは非常に高度な装置で、患者からの二次放射線から術者を保護するカーテンを備え、術者と患者は鉛ガラス窓から互いに見ることができるようになっています。

X線防護

X線の人体への影響は積算的であることから、このよ

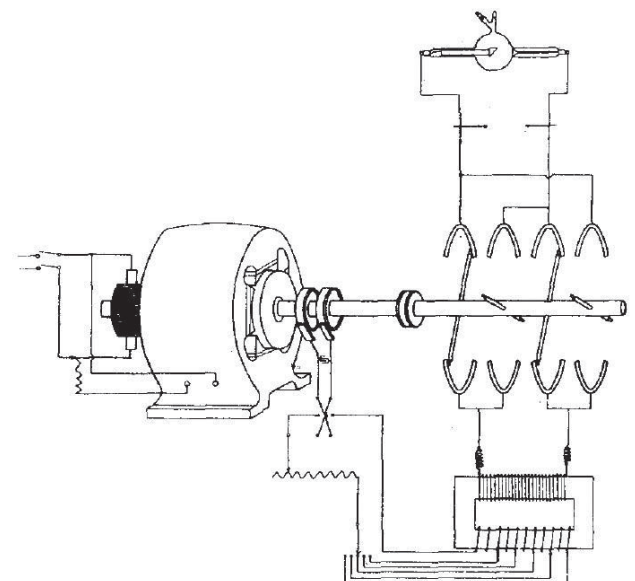


図1. Snook装置

*本稿は1912年10月16日(水)の例会で発表したものである。

** "Die Röntgen Technik". Albers Schönberg, 1908. Trans Inst Röntgen Congress. Archives Röntgen Ray. 1908

うな術者を防護する方策がとられています。ある種の薬、例えばストリキニーネのように、その効果は積算的で、少量を繰返し与えるとどんどん増加してやがて危険になります。患者は一生涯のうちにわずかしか被曝しないので、事実上影響ありません。しかし毎日放射線の仕事に携る術者は別の話です。

装置の X 線防護に関する X 線管、患者、術者の関係はこのように配慮されているので、X 線が術者、装置外に到達することはありません。これは、自動遮蔽幕、X 線管を納めた大きな鉛の箱、前述のカーテンによって、装置内の患者から二次放射線が装置外に漏出することを防いでいるからです。

ポータブル撮影装置

米国陸軍では、Snook 装置の改良が行なわれています。これは、一般的な 4 サイクル空冷ガスエンジンから電源をとる装置です。撮影装置、標準的な陸軍のストレッチャーに患者を支持する道具など、装備一式が非常にコンパクトに作られており、ロバ 2 頭が牽く陸軍の標準的なワゴンに載せることができます。この装置は、今年ワシントンで開催された第 1 回赤十字協会国際大会で米国陸軍の医務部によって展示されたものです。

この同じ大会では、フランス政府による、大きな自動車用に作られた陸軍用ポータブル X 線装置の展示もありました。これは重量 8,000 ポンドで、X 線装置大賞を受賞しました。

現像設備

多くの写真乾板を扱う必要がある X 線技師にとって実に重要なことは、フィラデルフィアの David R. Bowen 博士、G. E. Pfahler 博士によるスタンド式現像の改良です。レントゲン室においてもスペースは重要な問題で、レントゲン室の容積をいかに効率的に使用するかは、都市の拡大、人工密度の増大、地価の高騰ともなって重要になりつつあります。

X 線技師が、1 日に 8"x10" から 14"x17" の乾板を 30 ~ 40 枚現像する場合、これを水平トレイに置くと、大きな床面積を使用することになります。タンク現像は暗室の容積を非常に効率的に使用するもので、水平トレイで現像するよりもより多くの乾板をより少ない操作で現像、固定、水洗できます。

Bowen 博士は適当な垂直タンクと組み合わせて、技師がスペースを最も有効に利用できる乾板ホルダーを開発しました。

約 1 年前まで乾板現像用に最も一般的だったうるさい電動のトレイ自動振盪装置は、水流モーターによるトレイ振盪装置に置き換わりました。この水流モータートレイ振盪装置は、電動振盪装置よりも優れているだけでなく、「小売り」現像とも呼べる問題の解決に役立

つものです。Bowen 博士方式、各乾板を個別のフレームに立てて現像する方法は写真乾板あるいは X 線乾板の「卸売り」現像とも言えるもので、これまでに最も優れたものです [→訳注]。

[訳注]「小売り現像」retail development,「卸売り現像」wholesale development. それぞれ乾板を個別に現像する方法、複数をまとめて現像する方法を指すものと思われる。

写真乾板

写真乾板には、昨年大きな発展がありました。写真家、写真愛好家は皆、高速乾板の乳剤が粗いことを良く知っています。高速乾板は粗いのが原則です。昨年、私は少なくとも 3 種類の非常に高速な微細乳剤を試用しました。これはいずれもイギリス製で、アメリカのメーカーもこれを良く模倣しています。この高速乾板について興味深いところは、いずれも非常に銀の比率が高いことで、他の乾板のより約 35% 多い。この乳剤内の大量の銀による X 線の吸収増加は、もちろん X 線エネルギーの化学エネルギーへの変換増加、ひいては乾板のスピード向上の一因となっています。しかし、微細乳剤、より少ない銀を含む乾板で非常に成功したものは 2 つしかありません。イギリス製乾板の美しい画質と高速性がどのようなものか、アメリカのメーカーが解明してくれるのを願うところです。

透過計

Pfahler-Benoist の透過計は、X 線から放出される X 線の透過度を測るもので、これも比較的最近の進歩です。これは長い先細りした管で、透過計自体は太い側の端に組込まれています。透過計の中心部には厚さ 11/100mm の銀のディスクがあり、その周囲に扇状のアルミ階段があって、各段の厚さは 1mm です。このアルミ階段と銀ディスクのすぐ後ろにシアン化白金バリウムスクリーンがあり、その向こう側には 45 度の角度で鏡があって、使用者はアルミ階段と銀ディスクの透視像を覗くことができます。

Benoist 博士は、11/100mm の銀が、すべての硬度の X 線を比較的一定に吸収することを発見しました。扇状のアルミ階段は、X 線透過率が異なる X 線についてそれぞれ異なる吸収を示すので、銀ディスクの陰影と、アルミ階段の陰影を比べることにより、放射線の硬さを知ることができます。これは X 線管が放出する X 線

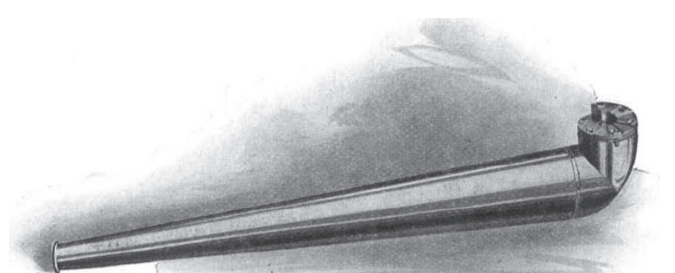


図 2. Pfahler-Benoist 透過計

の硬さを調べる、現在のところ最も正確な方法です。

立体撮影

もう一つの重要な進歩は、Sweet の局在決定装置です。これは有名な眼科医 Wm. M. Sweet 博士によるもので、彼は長年にわたって使用して他の人々にも利用を推奨していましたが、技術的な困難から不首尾に終わっていたものです。この新しい装置は、技術的困難を軽減して機械的な操作のみとなっています。

これは、X線写真に座標参照プレートとチャートを組み合わせて、3次元空間における異物の局在を決定するために必要な計測値を得るものです。この装置は、最近の Archives of the Röntgen Ray 誌で Sweet 博士がすべて説明しているので、詳細は割愛します。

過去2年間、ヨーロッパとわが国におけるのもう一つの大きな発展は、立体X線撮影です。これは近年、この技術の背景にある光学理論が正しく理解されてきたことによるもので、Wheatstone 立体鏡の類が通常使用されています。

この方法の利点については説明は不要でしょう。3次元空間で、立体的に物を撮影することは、骨折、異物、頭蓋、肺などの検査に大きな利点があります。

増感紙

最近の増感紙の進歩は、X線写真作成時間を以前の1/4まで短縮することを可能としました。最新の増感紙は、一般的に厚紙の一侧にタンゲステン酸カルシウムを塗布したものです。

Edison 氏らは、Röntgen の発見後まもなく、さまざまな増感紙を試みました。これら初期の結晶は実用に供するには大きすぎて、写真に斑点が現われました。初期の増感紙は実際のところ非常に粗いものでしたが、現在の増感紙の感光面の粒子は一般に写真乳剤の粒子より細かくなっています。

タンゲステン酸塩によるX線の吸収は、ガラス乾板や写真乳剤による吸収にくらべて大きくかつ不均一であることから、一般にX線撮影では乾板を増感紙の手前に置きます。増感紙は青白い光を発し、写真乳剤に非常に効率的に化学作用を及ぼします。

X線管調整器

近年のX線管の発達としては、いわゆる Bauer 空気調整器が挙げられます。これはX線管の真空度を減少させる必要がある場合に、管球内に通常の大気を加える装置です。

大きなゴム管、ゴム球などの調整器が付いており、これを押すとゴム管内の空気が毛細管内の小さな水銀柱を押し、これによって多孔性物質でできた栓から少量

の空気がX線管内に拡散します。

この調整器は非常に有効であることが分っており、以前に流行した通常の化学調整器で注入されるガスよりも空気はX線管にとって好適であることから、ヨーロッパでは広く使用されています。X線管の真空度を容易、簡便に調整でき、称揚されるべき有用な改良です。

ここで私は、ラジウムの初の商用利用についてお伝えすることを喜びとするものです。この初公表を Franklin 協会のできることは喜びです。ひとこと言うとうと、これはウラン-ラジウム鉱石の粉末をX線管調整器に入れて、技師が必要とする時にヘリウムガス放出源として使用するものです。

図3において、Aはクレープ石 (cleveite)、ブレッガー石 (Bröggerite) などの粉末塊で、原子崩壊によって常にヘリウムなど単原子ガスを放出する物質です。高電導度の鉱石塊に相応の抵抗を付与するため、この粉末鉱石塊を少量の石綿に混ぜます。Bは、Aをガラス管の上部に機械的に保持するための石綿のパッキングで、ガラスシールを介して電導物質に接しています。

ウランはラジウムの親核種です。ラジウムも同様に原

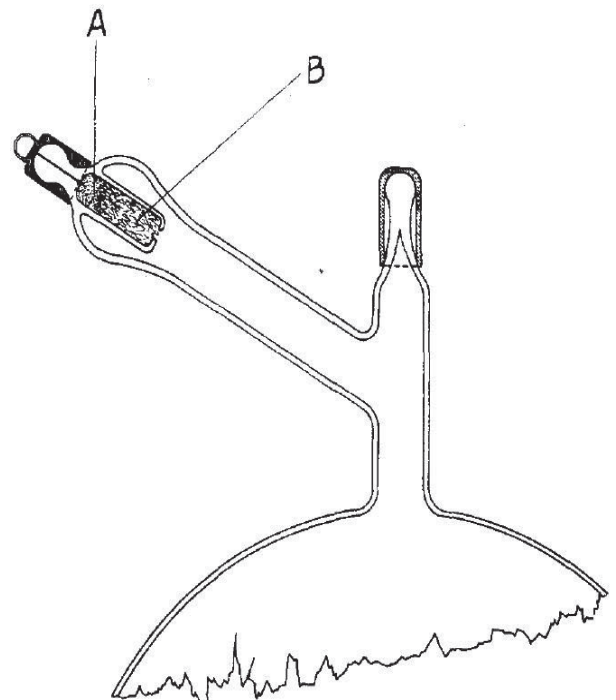


図3. X線管ヘリウム調整器. A: ヘリウムガスを含む固体粉末. B: 石綿パッキング

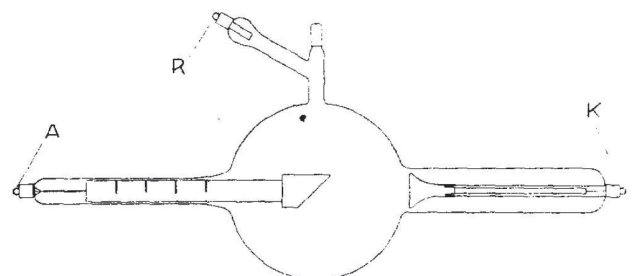


図4. ヘリウム調整器を備えたX線管. A: 陽極, K: 陰極, R: 調整器

子崩壊によってヘリウムを発生します。クレーブ石とブレッガー石は、その生成時に急速にヘリウムを取り込んでおり、これらの鉱石は加熱したり強酸に溶かすとヘリウムガスを放出します。X線管調整器中の粉末鉱石は、必要になるまでヘリウムを保持しており、高圧放電を加えると熱によってガスを放出します。

X線管におけるヘリウムガスの利点は、通常的气体や容易に入手できる他のガスに比べて電流に対する抵抗が小さいことです。大気中の稀ガスの絶縁率、すなわち電気抵抗は次の通りです。ネオン 8.5、ヘリウム 18.5、アルゴン 120。ここで空気そのものは 460。この数字からは、X線管の電気抵抗を低くするためにはヘリウムよりネオンの方が良いようにみえます。しかしネオンは入手が難しく、非常に稀であることから、X線管に必要な少量ですら用意することは困難です。

ヘリウムは幸いにも、前述のようにX線管内で放出されるまでこれを保持するウランを大自然が提供してくれていることから、最適なガスといえます。

このように述べる理由は、ネオンの電気抵抗が既知のガスの中で最も低く、ヘリウムがそれについて低いと考えるからです。

古いX線管について技師が口にするいわゆるX線管の「気難しさ」(crankiness)は、X線管内のガスの非常に高い電気抵抗によるものです。調整器内の雲母、石棉などのガス発生物質は、その寿命の最後になると放電によって管内に放出します。ガラス自体も、真空状態で加熱されると高抵抗のガスを発生します。激しく使用されたX線管ではこの状態となるため、ガラス内壁から高抵抗のガスが放出され「気難しく」なるのです。

ヘリウム-ラジウム-ウラン調整器を備えたX線管は、このような「気難しさ」を示すことなく、ガスによる調整器をもつ同条件のX線管にくらべて、一定の電気エネルギー入力に対してより大きなX線エネルギーを発生します。調整器に通常の空気を使用するX線管と比較して、この電気入力エネルギーに対するX線出力の増加はおおよそ20%にもなります。

ラジウム調整器を使ったX線管内のヘリウムガスが、粒子の生成、正に荷電した電気の担体として再び作用するという事は非常に興味深い考えです。ラジウムの崩壊において、ヘリウムはラジウムが放出する α 粒子そのものです。X線管内で、ラジウムの α 線である正電荷粒子、ラジウムの β 線である陰極線を供給する物質が再び必要となります。

討論

Goldschmidt 博士

透視スクリーンの最近の状況はどうでしょうか。

Snook 氏

このタングステン酸カルシウムの増感紙は1910年以来実用されていますが、手荒な扱いにも耐えるように改良が施されたのはほんの昨年のことです。基剤、すなわち塩の結晶が塗布されている支持体は、もとは可溶性ゴムで、そのため指紋が付きやすいものでした。今年から利用している新しい増感紙は、セルロイド、すなわちニトロ化セルロースで、非常に頑丈で指紋もつきません。湿った布で拭くこともできます。

会員

小さな結晶が見えるというお話には驚きました。何年か前、乾板を拡大鏡で調べたことがありますが、結晶は見えませんでした。細かい粉が見えました。

Snook 氏

その通りです。実際には大きな結晶を粉末化していますが、粉の中に非常に細かい結晶が見えます。

会員

硫化亜鉛も同じ目的に使えますか？

Snook 氏

いいえ。硫化亜鉛は蛍光が強すぎて、効率が良くありません。X線の光への効率的な変換物質とは言えません。

会員

弱すぎるということですか？

Snook 氏

そうです。

Hornor 氏

タングステン電極は使用されていますか？

Snook 氏

お話することが多過ぎて、その件についてお話できなかったことをお詫びします。X線の焦点は、非常に高温に耐える物質で作る必要があります。機械的強度もあり、熱伝導率も高い必要があります。1年前まで使っていた物質にくらべて熱伝導率が良く、融点が高く、機械的特性にも優れたこのような物質として、General Electric社により市販されている延性タングステンがあります。タングステン以前に使われていたのは、一般に白金あるいは白金-イリジウム合金でした。白金-イリジウム合金の成功率はおそらく20%程度でした。イリジウムは白金より高融点で、白金と合金にすることにより融点が上昇し、ターゲットとしての耐性が向

上します。

タングステン以前のターゲットの融点は約 1,750°C ですが、タングステンの融点は約 3,000°C です。熱伝導率は、金属が焦点の熱を逃がす能力と言えますが、タングステンの熱伝導率は初めて X 線管内に入れた状態では白金の約 2 倍で、著しく大きな利点です。

G. R. Hornor 氏

ヘリウムはアルゴンより効率的と考えて良いでしょうか？

Snook 氏

かなりそうだと思います。さらに、アルゴンは空気より効率的で、空気は塩化カリウム、二酸化マグネシウムなど加熱によって酸素のガスを放出する物質から得られる酸素ガスよりさらに効率的です。アルゴンは窒素より効率的ですが、ヘリウムは私が使うことができたガスの中では最も効率的です。

Hornor 氏

ラジウムはそれ自体が崩壊してヘリウムガスになると言われましたか？

Snook 氏

はい、そうです。最初期に行った実験では、X 線管に少量のラジウムを入れ、ラジウムが放出するヘリウムを利用することを考えました。しかしラジウムはヘリウムガスを保持せずに自由に放出するので、管球内のガス圧がどんどん上昇して真空がすっかり失われてしまいました。しかし我々が使用した鉱物は、必要なときにそれを電気放電で加熱するまではヘリウムが遊離ガスになりません。

Hornor 氏

どうやって管球内にガスを入れるのですか？

Snook 氏

実際の装置でご覧に入れましょう (実演)。X 線発生装置の主電極が、X 線管の主電極に直接つながっています。調節器の電極は、どこにもつながっておらず隔離されています。このアームを回転すると、陽極から高圧が調整管の電極に流れ、調整管内に放電が起こります。実際にやってみましょう (実演)。

次いで接続をもとに戻します。スパークギャップの距離を測ると、2.5 インチ以下です。またもとに戻して低下させると、1.5 インチ超になります。