

# X線覚え書き

## Notes on X-Light

William Rollins, 1904

### 目次

#### 序文

|                     |   |                    |                      |
|---------------------|---|--------------------|----------------------|
| <a href="#">A</a>   | 商用電流を電気治療に安全に使う方法について                   | <a href="#">47</a> | シーヒア                 |
| <a href="#">B</a>   | 放射線非透過性壁を備えた反射型透視装置 (クリプトスコープ) および透視カメラ | <a href="#">48</a> | 自分の心拍を見て聴く方法         |
| <a href="#">C</a>   | 口腔用 X 線写真カメラ                            | <a href="#">49</a> | X 線管の環状暗帯 (ガードル)     |
| <a href="#">1</a>   | ターゲット冷却 X 線管                            | <a href="#">50</a> | 回転ターゲット              |
| <a href="#">2</a>   | 陰極線と陰極面の関係                              | <a href="#">51</a> | (欠)                  |
| <a href="#">3</a>   | 陰極線の形状                                  | <a href="#">52</a> | (欠)                  |
| <a href="#">4</a>   | X 線管の可動電極とターゲット                         | <a href="#">53</a> | (欠)                  |
| <a href="#">5</a>   | 焦点管球の真空度上昇の一因                           | <a href="#">54</a> | 多重 X 線写真撮影           |
| <a href="#">6</a>   | X 線の波長は電圧に依存する                          | <a href="#">55</a> | 凹面陽極                 |
| <a href="#">7</a>   | X 線管を使用すると真空度が増加するその他の原因                | <a href="#">56</a> | (欠)                  |
| <a href="#">8</a>   | 反射焦点管球による像は、なぜ一方向において他方向より鮮明なのか         | <a href="#">57</a> | レーナルトとレントゲン          |
| <a href="#">9</a>   | 直接作用型非反射型焦点管球                           | <a href="#">58</a> | 両電極が中空の X 線管         |
| <a href="#">10</a>  | 散乱 X 線                                  | <a href="#">59</a> | 分子間の移動               |
| <a href="#">11</a>  | 白金以外の金属の冷却陽極                            | <a href="#">60</a> | X 線管の対称性             |
| <a href="#">12</a>  | X 線を発生していない管球による火傷—テスラスクリーン             | <a href="#">61</a> | ガラスの被覆について           |
| <a href="#">13</a>  | (欠)                                     | <a href="#">62</a> | 電解水素真空度調整管           |
| <a href="#">14</a>  | レーナルト管の X 線が微弱な理由                       | <a href="#">63</a> | X 線の透過性に及ぼす温度の影響     |
| <a href="#">15</a>  | 高真空状態で陰極線は前進するか?                        | <a href="#">64</a> | 真空度がターゲットの温度に及ぼす影響   |
| <a href="#">16</a>  | X 線は陽極が X 線源のとき最大となるか?                  | <a href="#">65</a> | 電解式断続機用 X 線管         |
| <a href="#">17</a>  | X 線管には必ず 2 つの X 線源がある                   | <a href="#">66</a> | ターゲットを陽極とすると光量が増加する  |
| <a href="#">18</a>  | 波長はターゲットを衝撃する速度に依存する                    | <a href="#">67</a> | (欠)                  |
| <a href="#">19</a>  | 可動陰極 X 線管                               | <a href="#">68</a> | X 線管内の水素の爆発          |
| <a href="#">20</a>  | 陰極銃の装填                                  | <a href="#">69</a> | スリットのあるターゲット／陽極      |
| <a href="#">21</a>  | 反射型焦点 X 線管における非冷却陽極の外観                  | <a href="#">70</a> | ベルのように鳴る X 線管        |
| <a href="#">22</a>  | 陽極ステムの冷却                                | <a href="#">71</a> | 陽極あるいはターゲットの接地       |
| <a href="#">23</a>  | X 線管内の酸素                                | <a href="#">72</a> | 調和の力                 |
| <a href="#">24</a>  | 真空度が上昇するその他の理由                          | <a href="#">73</a> | 巨大な陰極                |
| <a href="#">25</a>  | 均一な X 線を発生する試み                          | <a href="#">74</a> | X 線は水素による現象である       |
| <a href="#">26</a>  | (欠)                                     | <a href="#">75</a> | 放射領域の深度              |
| <a href="#">27</a>  | (欠)                                     | <a href="#">76</a> | X 線管の排気              |
| <a href="#">28</a>  | 動き回る照射点による鮮明度の低下                        | <a href="#">77</a> | パラジウム分子間真空調整管        |
| <a href="#">29</a>  | X 線管と X 線発生器の組合せ                        | <a href="#">78</a> | (欠)                  |
| <a href="#">30</a>  | 波長は温度に依存する                              | <a href="#">79</a> | 安価な X 線管用の化学水素調整管    |
| <a href="#">31</a>  | ターゲットを陽極から分離し陰極に接近させること                 | <a href="#">80</a> | X 線管のステムの支持法         |
| <a href="#">32</a>  | 陰極の大きさについて                              | <a href="#">81</a> | (欠)                  |
| <a href="#">33</a>  | 穴あき陰極                                   | <a href="#">82</a> | 穴あき電極の外観             |
| <a href="#">34</a>  | (欠)                                     | <a href="#">83</a> | 金属中の水素               |
| <a href="#">35</a>  | ターゲットのアルミニウムによる被覆                       | <a href="#">84</a> | X 線管のコスト低減           |
| <a href="#">36</a>  | X 線管の絞り                                 | <a href="#">85</a> | 水銀陰極—陰極線の自由電子説とエーテル説 |
| <a href="#">37</a>  | 金属羽根によるターゲットの冷却                         | <a href="#">86</a> | 陰極線粒子の電荷             |
| <a href="#">38</a>  | (欠)                                     | <a href="#">87</a> | X 線管内のガスの行方          |
| <a href="#">39</a>  | 高起電力の利点                                 | <a href="#">88</a> | 抵抗の高い X 線管の加熱        |
| <a href="#">40</a>  | (欠)                                     | <a href="#">89</a> | X 線管の抵抗は真空度の目安とならない  |
| <a href="#">41</a>  | 温度について                                  | <a href="#">90</a> | 電解式調整管を水素貯蔵庫として使う    |
| <a href="#">41A</a> | X 線                                     | <a href="#">91</a> | X 線管のガラスの燐光          |
| <a href="#">42</a>  | 油の中の電極について                              | <a href="#">92</a> | 放射領域の煙               |
| <a href="#">43</a>  | (欠)                                     | <a href="#">93</a> | ヴァーリー線の扇             |
| <a href="#">44</a>  | 水素と酸                                    | <a href="#">94</a> | X 線管の放射線非透過性ボックス     |
| <a href="#">45</a>  | 調和について                                  | <a href="#">95</a> | 双子型 X 線管             |
| <a href="#">45A</a> | 内部絞りをもち X 線管                            | <a href="#">96</a> | X 線管内の窒素ガス           |
| <a href="#">46</a>  | 陽極流                                     | <a href="#">97</a> | X 線管の抵抗と吸蔵現象の関係      |
|                     |   | <a href="#">98</a> | X 線管はどのように動作するか?     |
|                     |   | <a href="#">99</a> | 低電圧発電機用 X 線管         |

- [100](#) エーテルは導電性か？  
[101](#) 導電性は物質の現象である  
[102](#) エーテルの歪みが最大の所で最大の X 線が発生する  
[103](#) 二平面で回転するターゲットと予備陰極をもつ X 線管  
104 (欠)  
[105](#) 「電流」はどちら向きに流れるか？  
[106](#) ガスの融合とテスラ光の関係  
[107](#) 稲妻は静かに始まることもある  
[108](#) エーテル解離理論と溶液イオン化理論の関係  
[109](#) 陰極線と X 線から見た原子構造  
[109A](#) 陰極線と X 線  
[110](#) 静電発電機の回転板の爆発  
[111](#) X 線管の排気法  
[112](#) 地方在住医師のための X 線装置  
[112](#) 地方在住医師のための X 線装置 (続き)  
[113](#) X 線管の真空度  
[114](#) 天秤型陰極  
[115](#) 放射性物質の陰極  
[116](#) 小型シーヒア  
[116B](#) X 線検査テーブルについて  
[116C](#) 散乱 X 線の予防策  
[117](#) 写真撮影時の X 線管の位置はどこか？  
[118](#) 強力なサージのための陰極  
[119](#) X 線管における最大の問題  
[120](#) X 線管の最適化  
[121](#) X 線写真乾板ホルダー  
[122](#) X 線発生装置から発生する刺激性ガスの除去  
[123](#) X 線は動物を殺しうる  
[124](#) X 線に関するノート (X 線による動物胎児の死亡)  
125 (欠)  
[126](#) X 線に関するノート：対照モルモット  
127 (欠)  
[128](#) X 線管の励起  
[129](#) 陰極線のガス  
[130](#) X 線管の電極内のガス  
[131](#) 陰極線の焦点  
[132](#) 陰極サイズの増大  
[133](#) X 線は荷電質粒子の流れであるとする説について  
[134](#) X 線の写真効果について  
[135](#) 陰極線の発生源  
[135A](#) X 線マスクにおける放射線透過性ウインドウ  
[136](#) X 線管初期抵抗の低下について  
[136A](#) X 線管火傷  
[136B](#) 治療における放射性物質  
[136C](#) 高真空度における抵抗  
[137](#) X 線管および無線電信用誘導コイル  
[138](#) 強力なコイル用 X 線管  
[138A](#) X 線による治療で重要となるモルモットの実験のいくつかの結論  
[139](#) 放射線非透過性 X 線管ボックス [130]  
[140](#) X 線の医学応用に必要なその他の装置  
[141](#) X 線管励起用コイルの容量と性能  
142 (欠)  
[143](#) X 線写真を法医学的な例に使用する際に、X 線源の位置を知り自動的にフィルムに記録することの重要性  
[144](#) 治療における反射型 X 線管の重要性  
[145](#) 一般にフルオロスコープと呼ばれているクリプトスコープ (X 線透視装置) の発達  
146 (欠)  
[147](#) X 線による犯罪者識別  
[147A](#) X 線の水晶体に及ぼす影響  
[147B](#) 人体計測同定法における X 線  
[148](#) X 線鉄則集  
[149](#) X 線管ボックスの絞り板開口部形状および X 線束の大きさの調節法について  
[150](#) 中心光線マーカー、距離／位置ファインダーの実装方法、及び蛍光板から目を離すことなくこれを調節する方法  
[151](#) クリプトスコープから目を離すことなく X 線源からの距離を測定する方法  
[152](#) 透視板から目を離すことなく、線質を変化させる方法  
[153](#) 放射線透過性ゲージの実装  
154 (欠)  
[155](#) 反射型 X 線透視カメラ  
[156](#) X 線管の支持装置  
[157](#) X 線管電極と発電機の接続法  
[158](#) 写真の鮮明度を改善する X 線管－患者間の金属シリンダー  
[159](#) 断続器は誘導コイルに必須の部品ではない  
[160](#) X 線管励起には小型コイルか、大型コイルか  
[161](#) 電解式断続機における白金電極の移動について  
[161B](#) ネルンスト灯によるエーテル治療法  
[162](#) X 線検査用ワゴン  
[163](#) 誘導コイル一次側における脈動電流の利用  
[164](#) 陰極線粒子の再結合について  
[165](#) 電子説における陰極線の焦点が変動することの意義  
[166](#) 治療用 X 線管をめぐる旧説の跋扈について  
[167](#) 治療用 X 線で照射範囲を小範囲ではなく広範囲とすること  
[168](#) 同じ X 線管による 2 名の患者の同時治療  
[169](#) X 線管ボックス用シャッター  
[170](#) X 線管排気に使用する水銀ポンプの水蒸気混入の防止  
[170A](#) X 線診断におけるさらなる予防策  
[170B](#) 放射能の治療応用に関するいくつかの原則  
[171](#) 内部ターゲットを冷却する X 線管  
172 (欠)  
[173](#) X 線管をポンプ排気するために必要な装置に関するさらなる注意  
[174](#) 照射範囲ファインダー  
[175](#) X 線管の設計  
[176](#) X 線以外のエーテル運動の医学応用  
177 (欠)  
[178](#) ベータラジウム線が強く荷電したアルミニウム板を通過すること  
[179](#) 治療目的にラジウム線、陰極線に類似した荷電粒子を発生させる短波長光線の利用  
[179A](#) ノート 112, 137, 139 の互換二次発電機のセクションの絶縁  
[179B](#) ノート 112, 140, 141 に図示した交換可能二次誘導コイルの多重直列火花間  
[179C](#) X 線管の水銀蒸気について  
[179D](#) エーテル治療、電子治療用変圧器の製作  
[179E](#) 治療において電線から発生するエーテルの歪み空間の制限  
[179F](#) 医療用真空管を排気する機械的ポンプの構造について  
[179G](#) 管球壁の一部に組み込んだパラジウム管の分子間に水素を導入して X 線管を再生す  
[179H](#) X 線浴  
[179I](#) 既出 X 線鉄則の分類  
[180](#) なぜエーテル波と荷電粒子という異なるものが同じような治療効果を生むのか  
[181](#) X 線管、デルマ線管における放射性物質の使用

## 序文

このノートに記したものは、日々の仕事の後、余技として、しかし医学診断における X 線の重要性を大いに示したわが友 F. H. Williams 博士のために装置を設計、製作する方法を学ぶ一助となることを願って行った実験から得られた知見である。

## ノート A

### 商用電流を電気治療に安全に使う方法について

ON RENDERING COMMERCIAL ELECTRICAL  
CURRENTS SAFE FOR THERAPEUTICS

- ・商用電灯線に抵抗器を設置すること

商用電流を電気治療に使用する一般的な方法は、小型抵抗器を 1 本の電線につけて電流を減ずるものである。この方法には 2 つの危険がある。抵抗器が描かれている最近の資料をみると分かるように、高電圧の商用線上の単一抵抗器の連結支柱がいかに接近しているか、器材や電線が落下してこの抵抗器をショートしたら、患者を強力な電流に曝すことになる。また一般的に、エジソン 3 線式の商用電流において、どの線も同じように見えるため、抵抗器がしばしば中性線上に設けられていることがある。この場合、患者の体が、治療に使う多くの電気回路の端子の 1 つに、あるいはバスバーナーにでも接触すれば、患者は大きなショックを受けることになる。このような危険を回避するためには、単独抵抗器、小型抵抗器はいずれも使用すべきではない。壁の手の届かない高い処に、電線間に等間隔に抵抗器を設置してショートしても患者に流れる電流が小さく無害なようにするべきである。この基本抵抗器と患者の間には、やはり複数の電線上に等間隔の可変抵抗器を設け、ひとつを動かすと各電線上の抵抗が等しく減ずるようにすると良い。

( International Dental Journal 1896.3)

## ノート B

### 放射線非透過性壁を備えた反射型透視装置 (クリプトスコープ) および透視カメラ

#### A REFLECTING CRYPTOSCOPE AND CRYPTOSCOPIC CAMERA WITH NON-RADIABLE WALLS

- ・ X 線管を体外に、体腔内に透視装置あるいは写真乾板を置くこと
- ・ 医学利用には X 線装置を滅菌する必要がある
- ・ 多重 X 線写真

蛍光物質が X 線を光線に変換するというレントゲン発見は、歯科医にとっては外科医にくらべて価値が低い。クルックス管やエジソンの透視装置を口内にいれるには、大きな口でも無理があるからである。従って、図のように管球を口の外に置くことができる小さな装置は利点がある。

これは直角に曲がった金属管でできており、短端 Sc (図 1-1) は厚さ 3/1,000 インチのアルミニウム板で防水、遮光されている。その下にはガラス板 Gd があり、アルミニウムに接する面はエジソンの石灰タングステン酸がコーティングされている。角の部分には、石英鏡がおさまられている。長端には末広がりになった筒 Ep があり、目のまわりに密着するよう柔らかいゴムのフィッティングがある。端にはレンズ L がついている。筒をスライドさせることにより、鏡にうつる像のフォーカスを目に合わせる。

これを使用するには、クルックス管を口外に置き、その放射点を口内粘膜に押し当てたアルミニウム板に対面させる。使用後、器具の滅菌には、鏡とコーティングされたガラスを取り外すだけでよく、組織と接触する他の部品は、損傷することなく焼灼できる。短端 Se は、ネジをはずして他の形状のものに換えることができる。別掲の図は、膀胱結石の検査用である。この装置で写真を撮影するには、ディスク状に切ったフィルムをアルミニウムの下に置き、その後ろにもう 1 つのディスクを置いて長端からの光がフィルムに達しないようにする。

この装置をカメラとしてだけで使用する場合、フィルムを次のように配置する。すなわち、フィルムのコーティング面をアルミニウムディスクに面して置き、この裏にアルミニウム箔を重ね、次にまたフィルムを重ねる。これを繰り返して 12 枚をカメラにセットする。この目的は、各フィルムが異なる露光量を持つようにすることにある。これはレントゲン写真の新しい基本原理であり、体の他の部分に適用することにより、他の方法では得られない構造が明らかになる。より大きなサイズのガラス板を用いる場合は、ガラス板自体が光線に対してある程度の非透過性を持つので、ガラス板の間のアルミニウムは省略できる [1]。

(International Dental Journal, 1896.7)

[1] 追記 (1903 年)。E. Thomson は、多重 X 線写真を発明した。フィルム感にある程度非透過性の物体を置く方法は、上述の設計にオリジナルなものである。ノート 54 も参照。

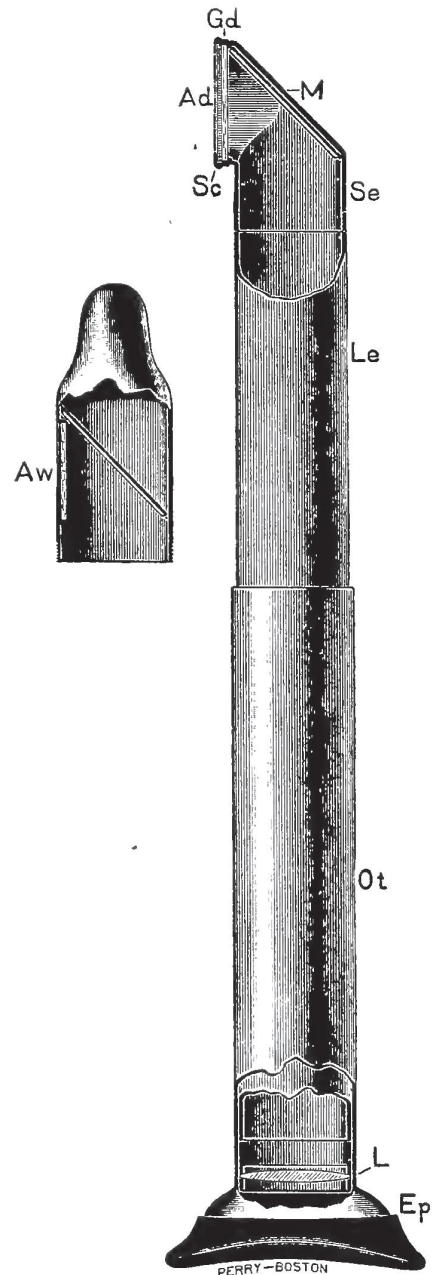


図 1-1. 放射線非透過性壁を備えた反射型透視装置 (クリプトスコープ) および透視カメラ。

## ノート C

### 口腔用 X 線写真カメラ

#### AN ORAL CAMERA FOR X-LIGHT PHOTOGRAPHY

- ・口腔内 X 線写真においてガラス乾板のかわりにセルロイドフィルムを使用すること
- ・防水紙あるいは薄いゴムで被覆して口腔内にセルロイドフィルムを使用すること
- ・歯牙萌出異常における X 線検査の意義
- ・残存乳歯を抜歯、歯槽を開放して永久歯を萌出させる手術

X 線のより良い変換装置が登場するまで、歯の目視検査は通常の写真に及ばないであろう。したがって歯科医は、7 月号に紹介した透視カメラの他に、別のカメラが必要となる。専ら写真撮影に使えば、器具はより小型になり、患者の負担も減少しうる。図 2-1 にこのようなカメラの全体像を示す。中空の金属製の把手 MH、フレキシブルでスライドする真鍮ステム BS がカメラ CC を支え、ネジ SC によって任意の位置に固定できる。真鍮ステムを曲げて、カメラを任意の位置にセットできる。何回も曲げてステムが壊れた場合は、スチール製ボスをねじ込むと、真鍮面にネジを刻むので、直ちに新しいものを挿入できる。図 2-3 にカメラの部品を示す。RR は柔らかいゴム製のリングで、図 2-1 のように枠 BC のまわりに付けて粘膜の圧痛を防ぐ。AD はアルミニウム製ディスク、真鍮製の枠 BC を CC にねじ込むことにより、カメラを遮光、防水とする。

使用法は 7 月号に記載の通りである。非常に単純な構造のカメラは、次のような方法で使用できる。コダックの製品から感光フィルムを幅 7/8 インチ、長さ 1.5 インチに切り取る。角を丸めてから、本のページのように並べ、黒色紙の小さな封筒に入れてゴムの袋にに入れて端を折って閉じ、曲げた鋼線で固定する。このカメラは非常に柔軟で、粘膜に指で容易に密着できる [2]。どのような形状の器具を使用する場合も、感光面を撮影部位にできるだけ近づけ、強力な小線源の管球を使用することで、最良の結果が得られる。

レントゲンの発見は、歯科領域で様々な応用できるが、少なくとも 1 つの手術が容易になる。乳歯が抜けるべき時期を過ぎて数年も残る場合、前歯ではその乳歯の下に次の歯があるかどうか不明のため、最善の処置を選択する上で迷いがあった。レントゲン写真でこの問題は解決し、永久歯が萌出するように乳歯を抜歯して歯槽を開放することができる。[2] 手を放射線非透過性ゴム手袋で保護しなければならない。

(International Dental Journal 1896.8)

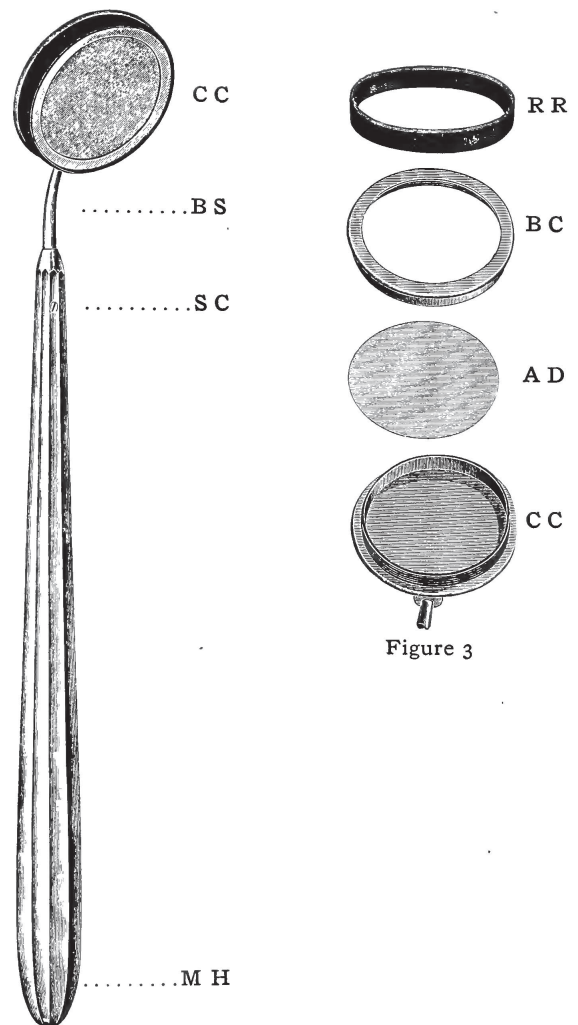


Figure 3

図 2-1, 2-3. 口腔 X 線写真用カメラ。

## ターゲット冷却 X 線管

### A COOLED TARGET X-LIGHT TUBE

- ・ X 線管におけるターゲットの正しい位置
- ・ 水あるいは空気による X 線管ターゲットの冷却

Electrical Review 誌 1897 年 11 月 24 日号掲載の X 線管が注目を浴びているので、これについて詳述する。この管球は、いわゆる焦点型 (focus type) で、管球の長軸に対して 45 度傾斜した白金陽極面に、陰極線が当たるものである。火花長が長くなるよう、外部端子間距離は従来の管球よりも長くとられている。空中の火花長を 15 インチとする場合、端子間距離は 20 インチとする必要があり、より長い火花長を使う場合もこの比率を維持する必要がある。陽極面の中心は、管球が封入された時点の真空度に応じて、陰極の焦点に位置する必要がある。しかしこれは、現在使用されている中等度の電流であっても陽極が熱によってすぐに破壊されるため、不可能であった。

従来、陽極は陰極線円錐に対して常に不適當な位置にあり、この結果照射領域が大きくなり、鮮明な像を得ることは不可能であった。経済的な理由から、陽極は短くせざるを得ず、管球電極間の必要長は陰極のステムを延長して得ることになる。図 3-1 に示すように、封入白金陽極は中空で、その内部に管がある。

この内部管の一端は貯水槽に接続されており、活栓で調節された水が流出管から注水され、X 線管が最高出力で稼働した状態でもこれを冷却するに十分な水の供給を維持できるようになっている。流出管には、排水を除去する小さなフレキシブルなゴム管が付いている。空気を使用する場合は、流入管の一端をゴム管に接続し、もう一端を発電機のモーターで作動する小型の空気圧縮機に接続する [3]。

内部管と陽極は固定的に結合されているわけではなく、小さなゴム管で結合されているので、安価な金属製で良い。

この管球の欠点は、白金の使用による初期コストである。しかし、同じ陽極を再使用できるので、これはあまり大きな問題ではない。この方式を改良した、より廉価な設計については後述する [4]

(Electrical Review 1897.12.1)

[3] ノート 37 参照

[4] ノート 11 参照

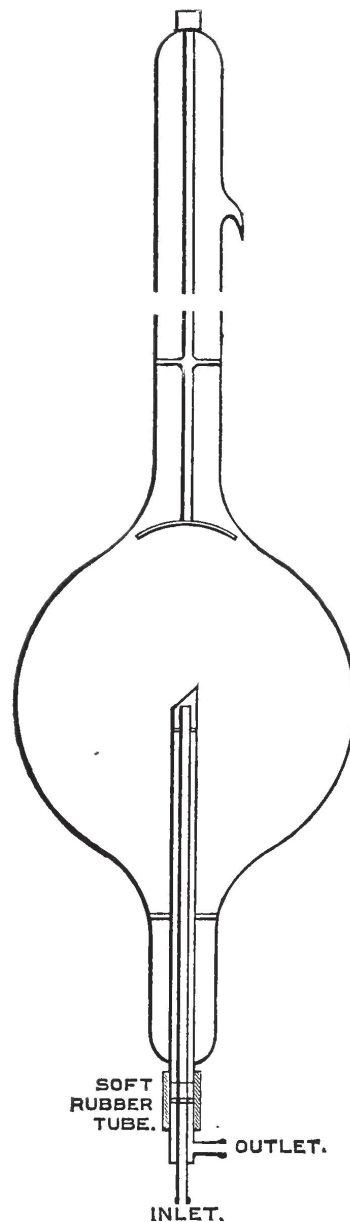


図 3-1. 冷却ターゲットをもつ X 線管。

## 陰極線と陰極面の関係

## THE RELATION OF THE CATHODE RAYS TO THE SURFACE OF THE CATHODE

## ・陰極線の焦点変動

クルックスは、陰極面から直角に分子 (molecule)\* が放出されるとしている。

これは既に認められている説であるが、ここでは次の点を新たに提唱する。すなわち、線束と陰極面がなす角は、真空度に依存する [5]。これは、実験とフライ (Frei) の X 線管製造の経験に基づくものである。

もう少し詳しく説明すると、クルックスの図に描かれているように、陰極面が凹面であると仮定し、直径 2 インチの球面を持つものとする。焦点は 1 インチであるが、真空度が上昇するにつれて光線の円錐は長くなる。一方、通常の装置で良好な X 線効果が得られる程度の真空度では、焦点は陰極から 2 インチの位置にあり、1897 年 12 月 1 日付 Electrical Review 誌で説明したように管球内を冷却しない限り、陽極は電流による激しい衝撃に耐えられない。

(Electrical Review, 1897.12.15)

[5] 1903 年、追記。このノートは不正確である。多くの陰極亜原子 (sub-atom) 線は、曲線を描く (ノート 3)。ここで言っている線束は、陰極から亜原子が放出される点とターゲットに衝突する点を結んだ直線であるが、中心亜原子線以外は陰極面に直交しない。

\* 訳注：陰極線の本態は電子であるが、この時代はまだ不明であった。ここではこれを molecule と称しているが、ノート 3 の注 [6] でこれを訂正している。

## 陰極線の形状

## THE FORM OF THE CATHODE STREAM

## ・なぜ陰極線の焦点は陰極の曲面中心より遠方にあるか

凹面陰極で、陰極線の焦点が表面からの距離に応じて変化するとすれば、以下の仮説は興味深い。

陰極と同電荷を持つ分子 (molecule) が陰極に反発されて陰極線が形成されるのであれば、同じ電荷を持つ分子同士も反発し合うはずである [6]。陰極が円形でその表面が平面である場合、陰極面から垂直に放出されて直線的に移動する分子は、相互に反発しない限り、円筒状になるはずである。互いに反発すれば、末広がりになるはずである。陰極面が球面状の凹面である場合、相互反発がなければ、曲率の中心で焦点を結ぶはずである。相互反発があれば、それより遠くに焦点を結ぶはずである。真空度が上昇すると、陰極線を出すために必要な電圧は上昇する。これに伴って、分子間および分子と陰極間の反発力が強くなり、残留ガス分子による横方向の力が減少する。この結果、焦点は陰極面から遠ざかる。

(Electrical Review 1897.12.8)

[6] 1903 年追記。陰極線に関連して使われている「分子」(molecule) という言葉は、「粒子」(particle) とする。

## X線管の可動電極とターゲット

### MOVABLE TERMINALS AND TARGETS IN VACUUM TUBES

- ・陰極と陽極の間にターゲットを持つ X 線管
- ・磁石でターゲットを移動し陰極との距離を変更すること

焦点管球内の陰極線強度が、陽極を熱損傷するほどではない場合、いずれかの電極を可動とする方法がある。あるいは、通常の方法で両極を固定し、管球を円筒形として両極間に適当な材質の可動ターゲットを置き、ここで陰極線を受けることもできる [7]。さらこれを鉄製の架台に取り付け、管球外部の磁石によって陰極線からの距離を適当に調整することもできる。1897 年 12 月 1 日付 Electrical Review 誌のノートに示したように、陰極線強度がさらに強い場合は、陽極を冷却するためにこれを固定する必要がある。この場合、陽極は固定ターゲットとなる。連射銃に相当する陰極は可動として、真空度、電圧に応じた適当な位置に調節する。図 4-4 にこのような管球を示す。この図は簡略図で、密封点、冷却装置は示されていない。管球は、実験に適当な真空度に調節できるようにポンプに接続されているものとする。陰極はアルミニウム製の研磨鏡と軟鉄のリングから成り、位置がずれない程度に細い白金線で電極に接続されている。その重量によってガラスが破損するため、輸送には耐えない。この管球をポンプから切り離して使用する場合は、完全に煮沸したカリウム管を取り付け、真空度を迅速に上下できるようにする。我々は、通常のステムに換えて、長さ 8 インチ、直径 1 インチのステムを作り、ここに凹面アルミニウム陰極を取り付けてアルミニウム管内を自由に移動できるようにした。ステムに目盛をつけることにより、ターゲットからの距離を容易に知ることができる。この方式は、鮮明な像が得られるように迅速な調節が求められる医学的診断の用途に適している。

(Electrical Review 1897.12.15)

[7] 1903 年追記。ターゲットの位置については、ノート 16, 31 参照。

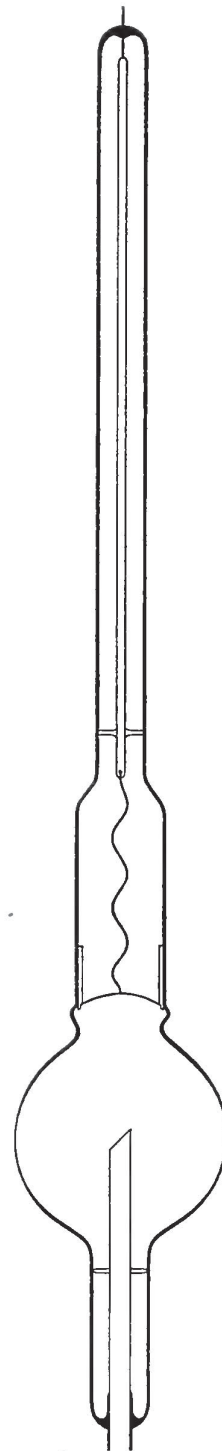


図 4-4. 可動陰極をもつ冷却ターゲット X 線管。

## 焦点管球の真空度上昇の一因

ONE CAUSE FOR THE RISE IN VACUUM OF X-LIGHT TUBES OF THE FOCUS TYPE

通常の焦点管球は、使用していると次第に暗くなって真空度が上昇することは誰しも経験するところである。これは、管球内に放出される陰極線強度に直接比例する。空気あるいは水によって冷却される中空白金陽極の場合は、同じ強度でもこのような現象を見ることなく使用することができる。白金は酸素化合物を形成するが、真空度の上昇はこれによるものではないと思われる。X線管を高真空度になるまで排気し、窒素を入れて再び排気することを繰り返すと管球内の酸素量は減少しているはずであるが、同じ強度で使用するとやはり黒化と真空度の上昇が見られる。従って、真空度上昇の一因として、陽極から剥離してエーテル内を通過した白金粒子が残留ガスの分子に衝突し、ガラス壁に付着することが考えられる。このような白金粒子は、おそらく分子よりもずっと大きいことから、このような現象が発生していることは容易に想像されるところである。

(Electrical Review 1897.12.15)

[8] 1903 年追記。冷却されずに赤熱したターゲットは、冷却時にガスを吸収して真空度を上昇させる。ターゲットから剥離した粒子は高温であり、これも冷却時にガスを吸収する。

## X線の波長は電圧に依存する

THE X-LIGHT WAVE-LENGTH DEPENDS UPON THE POTENTIAL

- ・鮮明な像を作り、目的に応じて適切なX線質を得るために、陰極とターゲットの距離、管球の抵抗を調節することの重要性
- ・陰極の凹面には球面が最適ではないこと
- ・すべての物質を透過するX線
- ・管球壁の一部に貼った金属箔を衝撃する管球(レーナルト管)
- ・管球の両極を冷却すること

X線管の中で何が起きているのであろうか。「孤独を至福とする内なる眼」[訳注]を以てこれを見ると、X線は強度が異なっても、その透過力は電圧と陰極線が発生する真空度に依存しているように見える。X線の実際的な医学応用を考える上で、この可能性を念頭において、目的に応じた適切な波長を生み出す電圧に調節する必要がある。手骨の輪郭を明瞭に観察したい場合は、軟部組織とのコントラストを大きくするために電圧を低くする。より深部の骨を観察する場合は、X線が厚い組織を透過するように、高真空度の管球を使用せず、波長の変化を防ぐために電圧と真空度を一定に保ち、陰極線によるターゲットの衝撃を増すことによりX線を増加させる。

最低真空度の管球で相応のX線を発生させるには、陽極を冷却し、陰極は可動とする必要がある。管球には、クルックスが使用したようなカリウム管を備え、真空度を迅速に増減できるようにする。凹面陰極は、直径2インチの球面とする。球面はベストとはいえないが、キプリング(Kipling)の言うように「それはまた別の問題」である。非常に低い真空度では、陽極を凹面曲率のほぼ中心、あるいは陰極から1インチ強の位置に置いてX線を発生させることができ、凹面を良く研磨すれば鮮明な像が得られる。手を観察すると、骨は軟部組織とのコントラストが大きく、非常に黒くうつる。電圧を一定に保ち、陰極線の陽極ターゲット衝撃数を増加させると、骨と軟部の相対的な濃度を保ったまま明るくうつるようになる。電圧、真空度を上げて、陰極線をターゲットに当てると、前述のように陰極と陽極の距離がひろがり、骨は相対的により透過性となる。電圧と真空度を上げるたびに、2つの物質の相対的濃度は変化する。

このようにして、通常光におけるガラスと同じように、すべての物質がX線に対して透明になるような、強力なX線装置を手にすることができる。この場合、白金も透過性となるため、一部の実験では冷却反射型陽極を廃して、別の実験に使用した形状の管球を使用した。すなわち、ディスク状の白金を管球壁に埋め込み、レーナルト管のアルミニウム窓のような形とした。これに

高電圧と両極冷却システムを組み合わせ、非常に短い波長を実現できた。

(Electrical Review 1897.12.22)

[訳注] ワーズワース (William Wordsworth, 1770-1850) の詩「水仙」(The Daffodils, 1804) の一節。They flash upon that inward eyes / Which is the bliss of solitude 「内なる眼にきらめく / 孤独の中の至福の眺め」とある。

## ノート 7

### X線管を使用すると真空度が増加するその他の原因

#### OTHER REASONS WHY THE VACUUM OF AN X-LIGHT TUBE GROWS HIGHER BY USE

- ・陽極，陰極管にターゲットをもつ X 線管
- ・陰極の冷却

2つの固定電極と，冷却システムなしに陰極放電の先端部にできるだけ近い位置に置いた可動白金ターゲットを備えた管球に，十分な電圧を加えて使用すると次第に真空度が増加する。ターゲットの外観を調べると，陰極からアルミニウム粒子がターゲットに向けて放出され加熱され，残留ガスの酸素と結合することがわかる。これを防ぐ方法として，管球内に不活性ガスのみを使用する方法，ターゲットを冷却する方法があり，陰極を冷却することが最適な場合もある。

真空度が上昇するもう一つの理由について，カーマイヤー (Kirmayer) が述べるところでは，陽極を支持する白金線のガラス被覆が破損することである。これは管球を逆転する (reverse) までは問題ないが [訳注：文意不明]，その後火花が飛ぶと真空度は急速に上昇する。その原因は不明であるが，新たな研究が進むまでは，燃焼現象のひとつと考えられよう。

(Electrical Review 1897.12.29)

## 反射焦点管球による像は、なぜ一方向において他方向より鮮明なのか

WHY THE DEFINITION OF A REFLECTING FOCUS X-LIGHT TUBE IS BETTER IN ONE PLANE THAN ANOTHER

- ・陰極線がターゲットに斜めに当たると、X線源は楕円形になる
- ・ターゲットの表面が、陰極線の中心光線と直交するようにする
- ・環状陰極

前述のターゲットを調べると、陰極線によって生じた粗面が楕円形であることがわかる。陰極の弯曲がいかに完全な円形であっても、物理的な理由、その他の理由によって陰極線は一点に照射されない。さらに、陽極の表面は45度傾いているので、光線の一部は焦点に達する前あるいは後に衝撃することになる。鮮明な像を得るためには、ターゲットは45度であってはならず、2つの反射面を有し、いずれも前述の方法で冷却される二重焦点管球は、画質が必ず劣るので避けるべきである。

実際の撮影では、X線管を患者に対して、その楕円が短くなるような角度に置くよう注意しなくてはならない。ターゲットの表面を陰極線に対して直角にすると、より均一に衝撃するので管球は非常に明るくなるが、陰極の陰影のために照射野が環状になるという重大な問題がある。環状の陰極を使用しても、なお困難がある。その理由の一つは、この形状の陰極では陰極線が適切な焦点を結ばないこと、もう一つにはX線が陰極方向に反転して光量が減ることである。

(Electrical Review 1897.12.29)

## 直接作用型、非反射型焦点管球

DIRECT-ACTING, NON-REFLECTING FOCUS X-LIGHT TUBES

反射型白金陽極管のいくつかの改良型は、非常に光量が多いため、現在使用されている事実上唯一の管球である。しかし、陰極線が管壁に当たってそこでX線を発生し、反射されずに同方向に透過する旧型は、常に魅力的なものであった。なぜなら、そのようなX線管で起こっていることを心眼で見ると、残留ガスの分子のより対称的な動きが反射型よりも良く見えるからである。しかしながら、陰極線をガラス壁に収束させて鮮明な像を得ようとする、管球がすぐに破損して、冷却しても無効である。従って現状では、このような管球は実用的ではない。

ノート6で述べたように、強力な発電機を使用すれば白金はX線透過性であり、壁の一部に冷却白金ディスクを組み込み、ここに陰極線を収束させることができる。一方、体の特定の組織を明瞭に識別できるような波長のX線を発生する通常の発電機と電圧の場合、この白金ディスクに開窓部を作り、ここをベリリウムで閉鎖することができる。ベリリウム [9] の原子量は9で、アルミニウムの3分の1であり、透過性であると同時に、陰極線が焦点を結ぶ優れたターゲットとなり、X線が通過する窓ともなる。このX線管は機械的に複雑で、説明には図が必要であるが、これについては後述する。

(Electrical Review 1897.12.29)

[9] 1903年追記。小原子量の金属製の窓を備えたこのような直接作用型X線管は、電流的には不経済である。ロッジ (Lodge) が示したように、ターゲットは可及的大きな原子量を持つ必要がある。その理由は、American Journal of Science 誌 1900年11月号掲載の「陰極線とX線」で説明されており、ノート109 Aに再掲している。簡単に言うと、理由の一つは、原子が硬くないということである。アルミニウム原子は白金原子より亜原子 (sub-atom) の数が少ないため、陰極線粒子の衝撃に対してそれほど密な壁とならず、その結果、陰極線粒子がそれほど急激に制動されず、X線量が少なくなり、我々の目的には役立たない長波長のX線が増加するからである。

## 散乱 X 線

## SCATTERED X-LIGHT

- X 線の種類は、撮影対象によって変える必要がある
- X 線は通常光と同様に組織内で散乱する
- 散乱 X 線は、組織の構造を不明瞭にする

以前のノートで、波長は管球の電圧と真空度に依存すると述べた。電圧と真空度が低いと、骨と軟部組織の間に強いコントラストを生む長波長が発生する。電圧と真空度が高いと短波長となり、これは骨を透過するためコントラスト小さくなる。厚い被写体でコントラストを明瞭に保つには、電流を大きくすることが推奨される。これにより波長は変えずに光量が増えるが、通常の装置では相対的な透過度はほとんど変化しない。本稿の目的は、なぜ相対的透過性が変化しないかを述べることにある。

膀胱結石の発見を試みた際、X 線カメラを通常光で使ったところ、20,000 燭光の電弧（アーク）でも、腹壁に向けた小孔以外からは室内に光が漏れなかった。この光は組織を透過したものではあるが、散乱のため構造の詳細はみえない。X 線の場合も、波長が短いので程度は軽度であるが、これと同じことが起こる。軟部組織のコントラストがすべて失われる波長であれば、骨は非常に黒くうつる。波長が変化しないように電圧を一定にし、電流を大きくして骨を明るくしたい場合、大きなコンデンサーを急速に放電させると非常に明るくはなるが、これは散乱光によるものであって、その構造の詳細は見えない。骨の詳細構造を見たい場合は、波長を短くする必要がある。電圧と真空度を上げると、骨は明るくなり、かつ散乱が少なくなるので構造の詳細も見えるようになる。さらに電流を大きくするとより明るくなるが、厚い部分を透過するだけの光量は既に得られており、散乱線が増えて詳細は失われる。

(Electrical Review 1898.1.5)

## 白金以外の金属の冷却陽極

## MAKING THE COOLED ANODE OF OTHER METALS THAN PLATINUM

- X 線管の回転ターゲット

冷却ターゲット X 線管では、白金のコストが欠点となり、コストを低減する方法をのべると前述した。陰極線を受ける陽極に最適な金属をさぐる実験では、銅を使用し、白金はターゲットの表面だけに用いて、管球を短いものとした。カーマイヤー (Kirmayer) とエリング (Oelling) は、このような管球の製作は容易であることを示しており、これを採用しない理由はない。陽極に異なる金属を溶接して、反射型焦点管球のターゲットに最適なものをさがす実験は、管球の性能が大きく変化するので比較が難しい。そこでこの問題を克服するため、様々な金属を鉄製ディスクの辺縁に並べてこれを磁石で回転させ、いずれの金属も陰極線を受ける位置にすぐに動かせるようにした。それでも比較は難しいが [10]、原状では白金が最も良いと思われる。

(Electrical Review 1898.1.5)

[10] 1898 年追記。融合ガスのため。

## X線を発生していない管球による火傷. テスラスクリーン

BURNING FROM A VACUUM TUBE NOT GENERATING X-LIGHT. TESLA'S SCREEN

テスラ (Tesla) 氏は以前に火傷を防ぐ方法を示した。彼の発言は常に自然界の事実であり、それを裏付けるための証拠は必要ない。この事実を、別の観点から見てみる。管球を消耗させて、電圧をかけても X 線を発生せず、放電が管球周囲をめぐる状態とした。手をこれにかざすと、重度の火傷となった [11]。

(Electrical Review 1898.1.5)

[11] 1903 年追記。モルモットを使った実験を、1901 年 2 月 21 日、28 日、3 月 28 日、1902 年 1 月 9 日の Boston Medical and Surgical Journal に掲載した。X 線は火傷の原因となり得る。アルミニウムスクリーンができることは、それが吸収する放射線 (E. トムソン)、および接地することにより荷電体、電子、エーテルの歪みなど電気的影響から患者を保護することだけである。

## レーナルト管の X 線が微弱な理由

A REASON WHY LENARD'S X-LIGHT WAS FEEBLE

- X 線管における陽極の位置はなぜ重要か
- 陰極の後ろに陽極をおく効果

トンプソン (Thompson) とアンソニー (Anthony) の X 線に関する教科書には、レーナルト管の図が載っている。陽極は陰極の後ろにあってそのステムを取り巻いており、これにアルミニウム窓がついている。この環状陰極を反射焦点管球に使用して実験を行った。電源を入れるとまもなく、電流が陰極ステムと環状陽極間の空間に破裂点ぎりぎりまで負荷され、陰極ステムが急速に振動し始め、その動きは環状陽極の制約限界まで大きくなった。X 線の発生は一貫して弱い。これは、陰極線をターゲットに送り込む電流が弱く、大部分が環状陽極に向かってしまうからである。

(Electrical Review, 1898.1.12)

## 高真空状態で陰極線は前進するか？

DOES THE CATHODE STREAM GO FORWARD IN A HIGH VACUUM?

- ・陽極を異なる位置に置く実験
- ・X線源の位置と陽極の関係

前述の論文の第 57 段落に、クルックスが、低真空状態で陰極の放電が陽極方向に起こり、陰極凹面から曲がって後ろの陽極に達しうることを発見したと記載されている。しかし高真空ではこのようなことは起こらず、陰極線は陽極の位置に関係なく陰極表面に垂直に前方へ直進する。以前のノートで、陰極線の形状と陰極表面の形状の関係について検討した。ここでは、陰極線の陽極に対する方向についてのみ述べる。実験でノート 14 のような管球を作ったが、環状陽極が非常に大きいため、取り囲む陽極と陰極ステムの間の媒体の強度は、陰極の凹面と通常の反射型白金ターゲット間の強度とほぼ同程度であった。この管球を図 5-1 に示す。リングが陽極のとき、陰極の凹面からターゲットに向かう放電は起こらなかった。環状陽極がある管球部は、解像度は当然低いものの X 線を豊富に発生するが [12]、陰極側の管球部は暗いままであったことを考えると、これは無くても同じことである可能性がある。従って、X 線発生に利用するような真空度においては、陰極に対する陽極の位置が重要であることは明らかである [13]。

(Electrical Review, 1898.1.12)

## X 線は陽極が X 線源のとき最大となるか？

IS X-LIGHT STRONGEST WHEN THE ANODE IS THE SOURCE?

- ・3つの直流電極をもつ X 線管
- ・陽極とすることができる独立ターゲットをもつ管球
- ・ターゲットを陽極としないことの利点

前述の文献で、レントゲン、ロッジ (Lodge)、ロウランド (Rowland) は、X 線が最も良く発生するのは、陽極で陰極線を受ける場合であると述べている。X 線研究の初期に、光線が陽極と陰極の両方で発生することがわかっており、図 6-2 に示す構造の管球を製作した。陽極が陰極として機能しているときに陽極の衝撃により発生した X 線が、白金ターゲットの背面に収束して照射野外に放出され [14]、二次線源により画像が不鮮明になることを防ぐことができる。冷却ターゲットを、電線で陽極につなぐと、ターゲットは陽極になる。ここで、透視装置を覗きながら電線を切断すると、ターゲット、陽極間の金属的接続は失われるが、それでもターゲット前面から発生する光量はほとんど減少しない。これを一般に受け入れられている見解と矛盾ないようにするため、図 5-1 の ET の位置に電極をもつ管球を作った。そのいずれも陽極とすることができる。陽極が線上からはずれてターゲットが陽極－陰極間がない状態となると X 線は減少し、ノート 15 で述べたように、陽極が陰極の反対側まで来ると、ターゲットはもはや X 線を発生しなくなる。従って、次のように述べるのが無難であろう。すなわち、ターゲットが陰極－陽極間にある場合、実用的観点から言えばターゲットが陽極である必要はない。強力な発電機を使用して管球を励起する場合は、ターゲットを陽極にしない方がよい。電極と金属的に接続されていない冷却ターゲットは、陽極の機能をもつ場合ほど管球を黒化しないからである [15]

(Electrical Review 1898.1.12)

[14] ノート 4 参照

[15] 1899 年追記。その利点についてはノート 31、欠点についてはノート 66 参照。

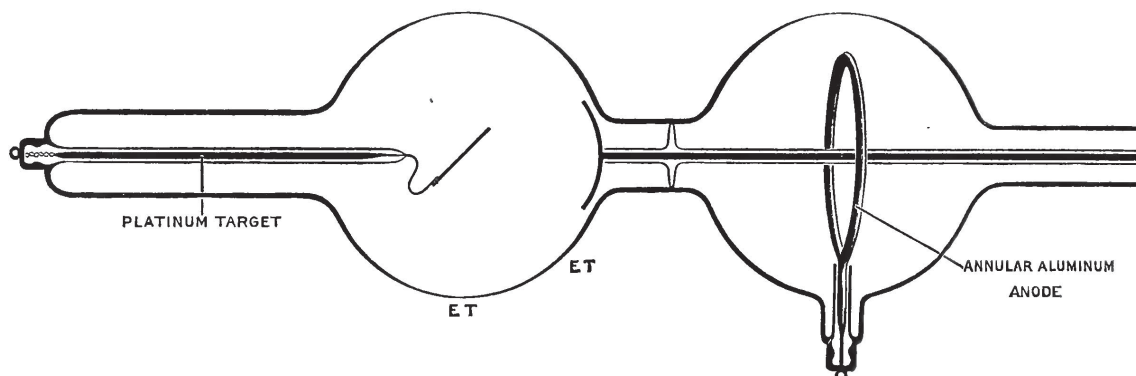


図 5-1. 環状陽極をもつ X 線管。陽極の位置が X 線発生部位を決定する。

## X線管には必ず2つのX線源がある

THERE ARE TWO SOURCES OF X-LIGHT IN EVERY X-LIGHT TUBE .

- ・二重焦点 X 線管の欠点
- ・良い画質を生む二重焦点 X 線管

レントゲンが焦点管球を記載してまもなく、トムソン教授 (E. Thomson) はこれを交流に応用して、どのような発電機でも使える二重焦点管球 [16] を発明した。これは、2つの X 線発生源を作るが、両者は互いに近いので、ターゲットを冷却し、両方の陰極の焦点を正確に合わせると、各領域が非常に小さくなって接近し、鮮明度が向上する [17]。トムソン教授のこの原理は、X 線研究者には非常に興味深いものである。本来は無駄になるはずの X 線を利用できるからである。一方、図 6-2 に示す管球は、交流で使用する場合、X 線の一部は無駄にはなるが、いわゆる一方向電流によって避けて通ることができない二次 X 線が発生した場合でも、照射野外に送出されるため有害な作用を来さない。静電発電機、通常の誘導コイルなど、ある種の発電機では管球内に一方向電流を生ずると言われるが、これはおそらく観察上の誤りである。なぜなら、2つの電極を持つ強力に励起された管球では、必ず第 2 の X 線源が存在するからである。

(Electrical Review 1898.1.12.)

[16] これはレントゲンの X 線管の改良である (ノート 163 参照)。

[17] この種の管球例については、ノート 65、図 31-60 参照。

## 波長はターゲットを衝撃する速度に依存する

THE WAVE-LENGTH DEPENDS UPON THE VELOCITY OF THE IMPACTS UPON THE TARGET

- ・X 線管の光量は、ターゲットが利用する電流に依存する
- ・X 線管を励起する発電機の種類

以前のノートで、波長は電圧と真空度に依存すると述べた。以来、波長は電圧に依存する可能性があるとしてきたが、真空度との関係は観察が難しかった。そこで、ここでは別の見方を提案する。X 線の波長は、陰極線がターゲットに衝突する速度によって決まる。X 線の光量は、ターゲットが利用する電流に依存する [18]。このことから、医療用に適した波長の X 線を発生するために、機械的な点を別にすれば、発電機の種類は重要でないことが明らかである。いずれの発電機でも十分な起電力と電流が得られ、小型コンデンサーを備えたテスラコイルの急速放電、または通常のコイルと大型コンデンサーの低速放電、あるいは十分な数の 30 インチ円板を備えた静電発電機のいずれでも、ターゲットに対して同じ効果を生むことができる [19]。

(Electrical Review 1898.1.26)

[18] 1903 年追記。ここで「利用」という言葉が重要なのは、陰極線粒子の衝撃力は通常光よりも短い波長を発生するほど大きくないため、X 線を発生せずにターゲットを溶融するほどの大電流を使用しうるためである。ノート 30, 45, 64 参照。

[19] ノート 159, 160, 163 参照

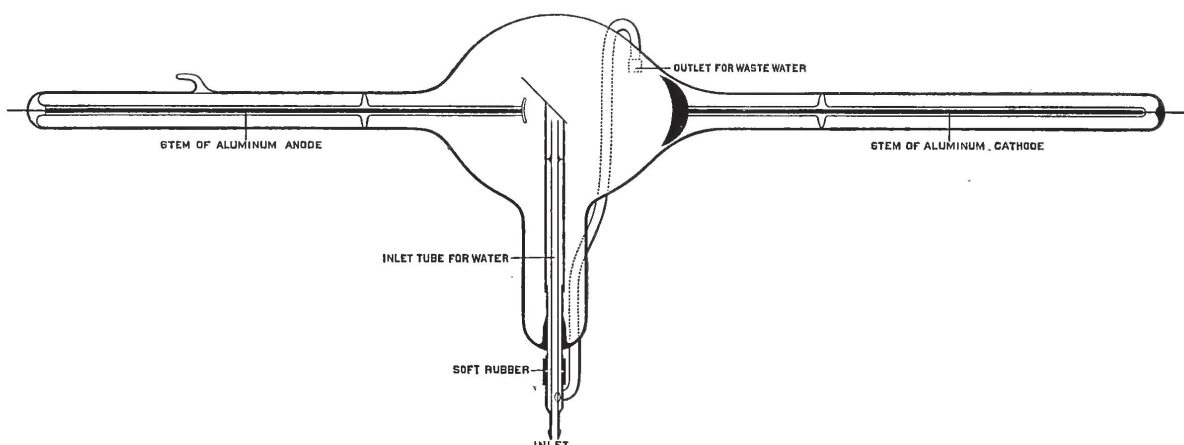


図 6-2. ターゲットが陽極-陰極間にある X 線管。金属的に陽極に接続することによりターゲットを陽極とすることができる。

## 可動陰極 X 線管

### MOVABLE CATHODE TUBES

- ・鮮明度を向上するための調整可能なターゲット内絞り
- ・最適な鮮明度を得るための X 線管の条件

図 7-C は、ノート 4 で述べた管球、図 8-D、8-DI は、ノート 9 で述べた管球である。白金ターゲットの小窓は径 1/8 インチで、これをより透過性の高い金属で閉鎖して、X 線が透過するようにする。陰極を調整せずに非常に小さな線源が必要な場合、点線のように小さな窓を開けた横方向に移動可能な絞り (diaphragm) を設け、その開口部をターゲットの透過性金属窓の陰極線衝撃部位の反対側に来るようにする。窓付きターゲットの膨張、収縮により白金セルのシールがガラスから剥離しないように、図に示すような周辺部の凹みがスプリングの役割を果たし、膨張、収縮してもシール部を傷つけない形状としている。適度な電圧、真空度とすると、セルロイド窓の縁に取り付けた鉛ディスクが、絞りの開口部を通過する光以外すべての X 線を遮蔽し、鮮明度を得るための最良の条件、すなわち小さな照射範囲、二次 X 線源のない状態が実現する。人体軟部組織の詳細な観察には、この条件、ならびに適切な波長が必要である。冷却セルを分離、別部品としてゴムチューブで取り付けただけにより、白金の重量が軽減されている。

(Electrical Review, 1898.1.26)

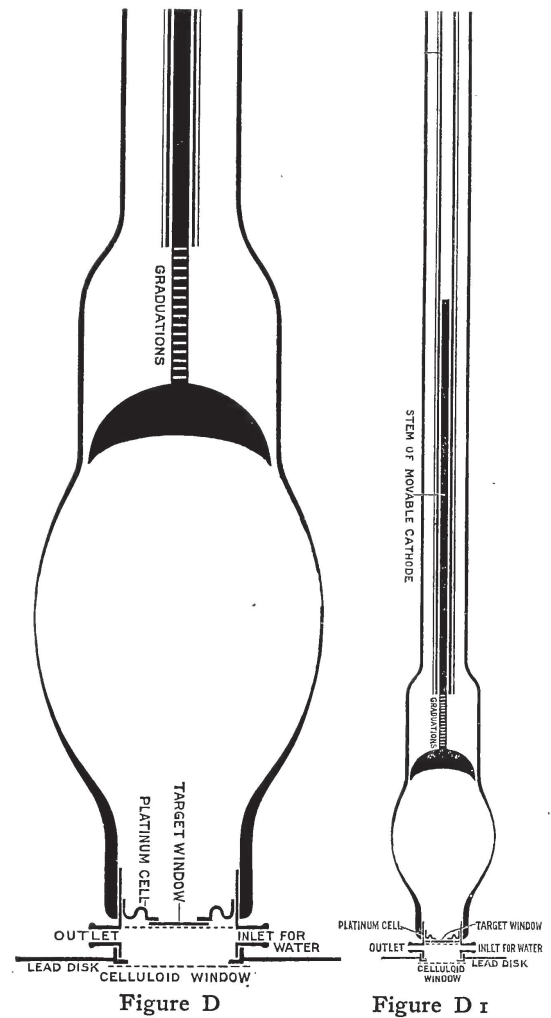


図 8-D、8-DI：放射領域を制限して鮮明度を向上させる絞り、及び大エネルギーが X 線に変換されるようにターゲット冷却装置を備えた直接作用型 X 線管。

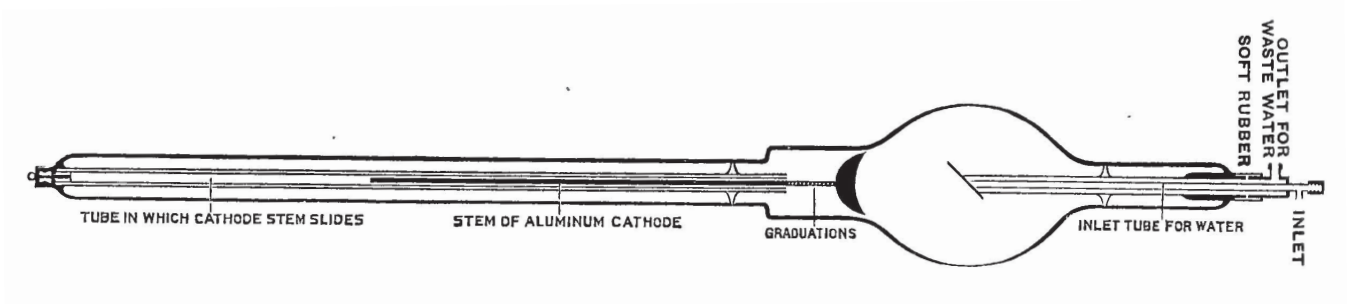


図 7-C. 可動陰極を備えた冷却ターゲット X 線管。

## 陰極銃の装填

### LOADING THE CATHODE GUN

- ・ X 線管内の陰極の正しい位置
- ・ X 線管の陽極流 (anode rush) とこれを制御することの重要性
- ・ 安定な X 線を発生する条件
- ・ 陰極の不正な位置

陰極は連射銃に例えられ、その射程を調整してターゲットに所望の効果を発生することの重要性が喚起されている。適切に装填されていない場合、発射は不規則で効果がない。そのためこのノートでは、陰極銃を連射するために、これを正しい位置に配置することがいかに重要であるかを示す。実験は、2つの電極を持つ球型の真空管で行った。図 9-5 に、銃と標的のいずれも可動式で、正しい位置になるよう互いに調整でき、その位置を維持しながら、装填に最適な場所を見つけるために異なる位置に移動できる X 線管を示す。陰極を図 9-5 の位置に置くと、光量は最多となる。図 9-7 の位置に置くと、光量は減少する。図 9-6 の配置は、この3つの中で最悪の位置である。効率的な焦点管球を作るための初期実験で様々な形状を試した結果、陰極には最適な位置があり、そのどちらかの側に少しでも動くと、X 線量が明らかに減少すると結論した。これが正しいとすれば、原因は何か？

レントゲンの発見以来、陰極線の衝撃に耐えられる密度にすること以外は考慮されていなかった、ほとんど忘れ去られた陽極ではないだろうか？ 19 年前、スポティスウッド (Spottiswoode) は次のように記している。「各電極は、自らの要求を満たすために電気を放出し、反対側の端子の要求を満たすために放出するのは副次的な程度に過ぎない」。これが必ずしも真実ではないとしても、2つの電極を持つ管球では、それぞれから分子が放出され、陰極からのものが X 線発生に利用されるとすれば、陽極からの分子が無用な衝突や遅延を引き起こさないように留意すべきである。陽極からの分子が管球壁に沿って陰極端に向かって急速に移動する様子を調べると、図 9-5 の位置にある陰極では、分子が良好な状態で陰極銃に送られて装填されるのに対し、図 9-6 では、陽極からの分子が陰極銃の後ろに流れ、再び利用するには前に移動させる必要があることが容易に分かる。陰極が図 9-7 の位置の場合、陽極からの分子は、ターゲットに向けて陰極の銃口から飛び出す分子にある程度干渉するはずである。

(Electrical Review 1898.1.26)

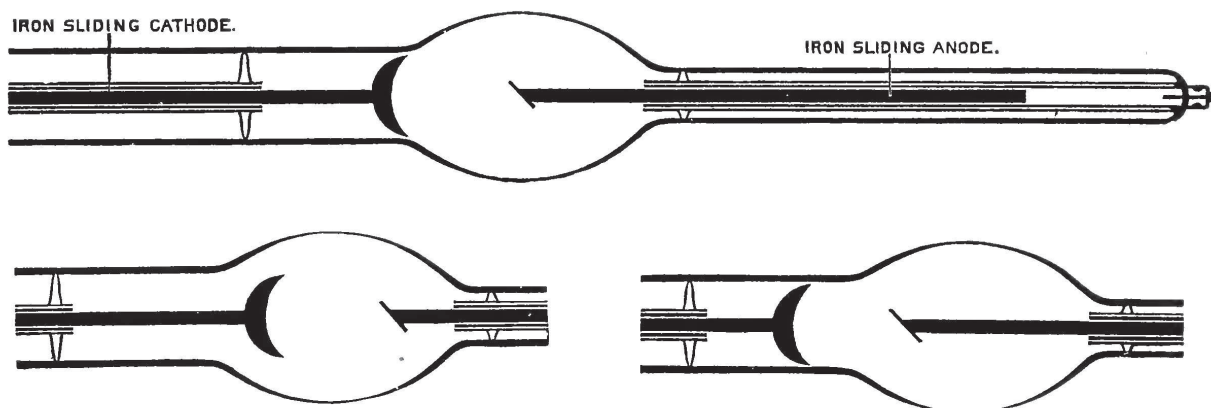


図 9-5(上). 陰極の最適な位置。磁石により可動な端子をもつ X 線管。

図 9-6(下左), 9-7(下右). X 線管の陰極の不正な位置。

## 反射型焦点 X 線管における非冷却陽極の外観

### THE APPEARANCE OF AN UNCOOLED ANODE IN A ROENTGEN REFLECTING FOCUS TUBE

- ・陽極流 (anode rush) のターゲットへの影響
- ・陽極流の方向

X 線管の中で起っていることを知るために、使用して劣化した陽極の外観の研究に相応の時間を費やした。Kirmayer & Oelling 社厚意により、新しい陽極と交換するために返却された X 線管を調べる機会を得た。陰極線の強度が、陽極を軽度にも溶融する場合、穴の端は図 10-8 のように円形であった。陰極線の強度が、分子を広範に運動させるほど強い場合、白金にあく穴には陰極に向かう縁があり、金属が点状、山状に硬化した部分は粗くギザギザになる (図 10-9)。陰極だけに着目していたときは、陰極からの衝撃分子がその前面にある白金を破壊していると考えたが、実際には反対側に向かう力が作用している。この力は X 線管内の励起の程度に応じて増大し、反射型 X 線管のように陽極が陰極に対して傾いている場合でも、陽極の表面に対してほぼ垂直に作用しているため、これは明らかに忘れ去られていた陽極からの衝撃によるものである。

(Electrical Review 1898.2.9)

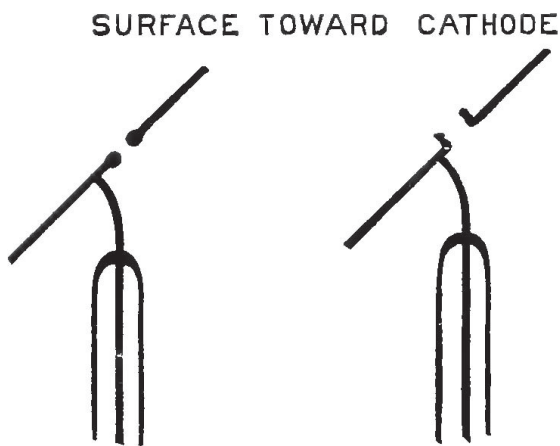


図 10-8(左), 10-9(右). 反射型焦点 X 線管の非冷却陽極

## 陽極ステムの冷却

### COOLING THE STEM OF THE ANODE

最近、F. H. ウィリアムズ博士が図 10-10 の X 線管を見せてくれた。これはアルミニウム製でゴム栓が付いており、ここに陽極を密封したガラス管が通っている。ガラス管の中には水を流すゴム管があり、余剰な水は管の間から排出される。この X 線管は、レントゲンの X 線発見の新聞記事が我が国に届いた時代に遡り、このノートに冷却ターゲット X 線管の記事が載る前から陽極ステムの冷却が考案されていたことがわかる。しかしこの発明が異なる点は、当時の陰極線の強度は小さいために陽極を損傷するほどではなく、その目的は陽極の熱がゴム栓を損傷するのを防ぐことにあった。これに対して冷却ターゲット管は、強い陰極線が頻回に当たるとすぐに溶融してしまう陰極線の受光面を冷却するものである。

(Electrical Review 1898.2.9)

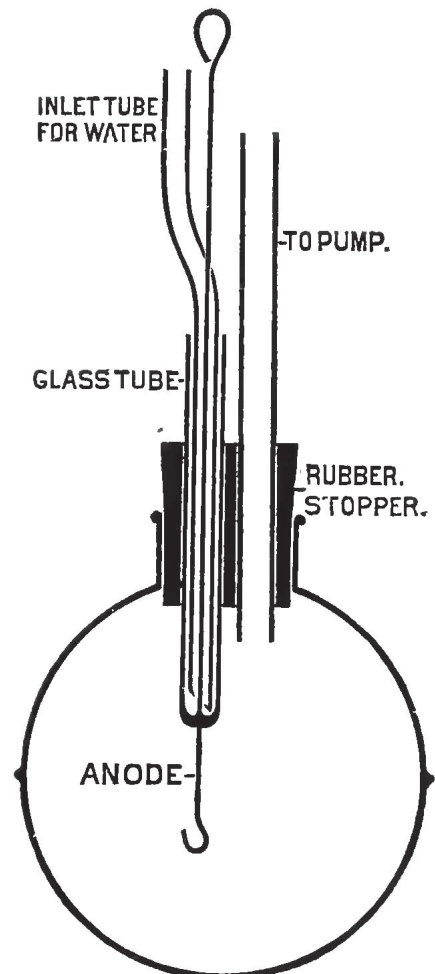


図 10-10. ウィリアムズ博士の X 線管

## X 線管内の酸素

## OXYGEN IN A VACUUM TUBE

- ・破壊された分子から発生する X 線
- ・破壊された分子は X 線管のガラス壁を透過する
- ・酸素により X 線管の抵抗を低減する
- ・X 線管の酸素調整管の製作法
- ・酸素による真空 X 線管の外観

残留ガス分子がガラス壁を透過するというテスラ氏の驚くべき説を確認するため、新たな X 線を求めてさまざまなガスを使った実験を試みた。酸素を選んだのは、その分子量がかなり大きく、電気的ストレス下で他の分子よりも陰性基と陽性基に分離しやすいと思われたからである。これは、X 線と破壊分子が共存することから重要である [20]。この説や、ガラス壁を透過するのは破壊分子であるという別の説の真偽がいずれであれ、この実験は興味深い。なぜなら、残留分子が主に酸素である X 線管は非常に明るく、排気も容易で、また貯蔵酸素 (stored-up oxygen) は真空を制御する現在知られている最良の手段だからである。

貯蔵酸素を作る簡単な方法は、塩化カリウム 4 に対して二酸化マグネシウム 1 を混合することである。これを試験管内で、コークス様の物質ができるまでゆっくりと加熱する。冷却すると、適当な大きさに砕けるので、これを別の試験管に入れ、水蒸気、ガスを排気して口を封じる。使用時は、試験管を開き、混合物の粒をいくつか取り出して X 線管に取り付けられた小さなガラス球に入れ、次にポンプに取り付けて高真空まで排気し、加熱して真空度を下げ、再度ポンプで排気して加熱する。この過程を、加熱によって真空度が低下しなくなるまで繰り返す。貯蔵酸素の小容器を、真空度が低下するまでゆっくり加熱する。ポンプで真空度を上げ、この過程を数回繰り返す。次に X 線管を密閉する。使用して真空度が上昇したら、X 線管を励起しながら、所望の真空度が得られるまで酸素貯蔵容器をゆっくりと加熱する。このような X 線管は、電流を切ると強い燐光を発し、(適切な濃淡画像をここに供覧できないが) 興味深い外観を呈する。

(Electrical Review 1898.2.9)

[20] ノート 109, 109A 参照。

## 真空度が上昇するその他の理由

## OTHER REASONS WHY THE VACUUM RISES

X 線管の排気中に高温に保たれていれば、水蒸気は十分に排除されているため、使用中に真空度が変化することの原因として壁面への水蒸気結露は無視できる。使用中に真空度が上昇する場合、加熱により一定の範囲内で再び低下させることができる。数週間ないしまたは数カ月放置しても、真空度は低下する。なぜ加熱、使用休止でこのようなことが起こるのであろうか？

加熱によりガラスの物質からガスが再び排出されると言われているが、使用休止で同様のことが起こるとは言われていない。おそらく正しいと思われるが、前述のもの以外にも原因がある。通常の方法で排気された X 線管では、残留ガスの 1 つとして常に酸素が存在する。電気的ストレスの下では、ガス分子は破壊され、新しく生まれた分子の中にはいわゆる原子を多く含むものもあるため、分子の数は少なくなり、したがって真空度はより高くなるはずである。これらの新しい分子の特徴の 1 つは、熱で通常酸素分子に分解されてその数が増えるため、熱によって真空度が低下することである。

このストレス分子から通常型分子への変化は、十分に時間をかければ常温で起こるため、使用休止により真空度が低下する。しかし、通常の X 線管では、その他の原因により、加熱や休止では実用になるほどまで真空度を下げられない時が来る。酸素分子の窒素分子に対する割合が大きいほど、熱と休止の効果は長く持続する。ノート 23 でこの種の X 線管を推奨した理由は、それほど重要はないが、この点にある。

(Electrical Review 1898.2.16)

## 均一な X 線を発生する試み

### AN ATTEMPT TO PRODUCE HOMOGENEOUS X-LIGHT

- ・原子は調和して進むという説
- ・X線を発生する粒子を調和させる試み
- ・陰極を様々な金属で作ること
- ・陰極の金属はX線管の内壁に付着する
- ・従って大原子量の陰極は好ましくないこと

ノート 6 で、X 線の波長は電圧と真空度に依存すると述べた。ノート 18 では、これを別の言い方で、波長は X 線がターゲットを衝撃する速度で決まると述べた。このノートでは、また異なる観点から考える。電圧、真空度、陰極とターゲット間の距離が同じであれば、波長は衝撃分子の重量によって決まる。衝撃分子は一般に金属と非金属の 2 つに分類される。衝撃分子は、陰極と残留ガスの分子である。エマーソンは、原子は調和して進むと言ったが [訳注]、均質な X 線を発生したい場合はここに留意する必要がある。ガスと金属の分子は、同じ速度で標的に当たるように調和させる必要がある。ここで発生する X 線は、いわばエーテルの音楽であり、そのピッチは我々の目には高過ぎるが、蛍光板の感度によって我々の目に感ずる範囲に下がるのである。

ガスと金属分子を調和させる最も簡単な方法は、陰極の金属と同じ重さの分子を持つガスを X 線管に充填することである。また、一定の電圧、真空度、距離では、分子が軽いほどターゲットに衝突する速度が大きくなることは明らかである。すなわち、分子量 [21] が小さいほど、特定の波長の X 線を発生するための電圧は低くなる。これは重要なことである。なぜなら、原状の

装置では、高電圧は大きな装置、重い装置を意味するからである。

分子量の問題に関する興味深い実験を示す。実験はいくつか行ったが、簡単のために 1 つだけ説明する。陰極の金属だけが異なり、その他はすべて同じ X 線管を作成した。簡単にするためアルミニウム、亜鉛、錫、白金に限って述べる。少し考えれば、これらの重量と選択した理由はわかるであろう。中等度の電圧を使用したすべての例で、アルミニウムは最も良い X 線を発生し、アルミニウムと白金の差は顕著であった。しかし、すでに述べたように、X 線はガス分子の衝撃にも依存するため、ガス分子の分子量を陰極の金属の分子量とほぼ一致するようにして一連の実験を行った。例えば、アルミニウムの場合、分子量が約 27 と 32 の酸素を使用した。1 つの実験では、重量の大きい 2 つの金属を使用した。1 つは酸素と容易に反応し、他酸素と反応しにくいものとした。結果にはほとんど差がなく、酸化は重要な役割を果たしていないと思われた。この 2 つの金属は鉛と白金であった。陰極にマグネシウムよりも軽い金属、例えばベリリウムを使うことは興味深い、十分な大きさの試料を入手できなかった。幸いなことに、陰極には軽い金属が最適と思われた。陰極の金属は常に X 線管のガラス壁に付着するので、金属の原子量が大きいと X 線の通過を妨げるからである。

(Electrical Review 1898.2.16)

[21] 亜原子量。ノート 109, 109A 参照。

[訳注] エマーソン (Ralph Waldo Emerson, 1803-82)。アメリカの詩人。その作品 *Monadnock* (モナドノック山, 1846) の一節に For the world was built in order / And the atoms march in tune / Rhyme the pipe and time the warder, / Cannot forget the sun, the moon. (世界は秩序に従って創られたり / 原子は調和して進み / 笛と時間の管理人に従い / 太陽と月を忘れるべからざるなり) とある。

## 動き回る照射点による鮮明度の低下

### BAD DEFINITION CAUSED BY DANCING OF THE RADIANT POINT

- ・ X 線照射域の可視性
- ・ 鮮明度のために安定な照射域が必要であること
- ・ 高分子量の陰極金属
- ・ 陰極近傍のガラスに陰極金属が付着すると陰極線を攪乱して鮮明度が劣化すること
- ・ X 線管を不調和にする電気的容量の影響

X 線発生装置と X 線管を調整してすべての条件を整えると、白金ターゲット上の照射領域は、色を帯びたハローを伴う小さな楕円形の赤熱点として見るができる。これを観察するには、ターゲットを前のノートに示したように、理論上の焦点ではなく実際の陰極線の焦点に置く必要がある [22]。X 線発生装置と X 線管の同調を外すと、色を帯びた領域が赤熱点の周囲を動き回るようになる。もちろん、照射領域全体が動いているのであるが、金属が冷える時間がないため、赤熱点は同じように見えている。照射点が移動すると、X 線の経路にある物体が投影する陰影の位置が変化するため、鮮明な画像が得られず、多数の画像で構成される合成写真のようになる。撮影中に X 線管を動かすのと同じ状態である。

この現象の最も一般的な原因の 1 つは、真空管の調整が悪いときに陰極とガラス壁の間で発生する側方放電 (lateral discharge) である。他の条件を同じにして異なる金属の X 線管で実験したところ、側方向放電は原子量が最も大きい金属で最も頻繁に発生した。このため、様々な X 線管の比較には多少の時間を手間を要した。最も頻繁に沈着するのは原子量 207 の鉛で、第 2 の陰極として作用して陰極線を歪めた。アルミニウムより重い一般的な金属の中では、亜鉛が最も影響が少なく、強い X 線が得られた。X 線管の電流が増加すると側方向放電はより顕著になり、これは陰極線が陰極と垂直方向に逃げるのが難しいため起こることがわかった。コンデンサーの容量を大きくして発生装置と X 線管を不調和としても、同じ結果となった。

(Electrical Review 1898.2.16)

[22] ノート 1, 2, 3 参照。

## X 線管と X 線発生器の組合せ

### ON HARMONY BETWEEN TUBES AND GENERATORS

- ・ 一定の電流用に排気された X 線管は過電流で損傷する
- ・ X 線管励起に交流発電機を利用する
- ・ 真空度が低下した X 線管は X 線の発生を停止し、長波長の X 線を放出する
- ・ X 線管を励起するための発電機の出力
- ・ X 線管排気には、電極、ガラス管の粒子の除去が必要である
- ・ X 線管使用中の真空度変化の原因

X 線管メーカーは、それを励起する発電機のタイプを把握している必要があり、適切に調整されていることが試験的に確認された後は、他の発電機で使用してはならない。たとえば、直径 28 インチ、8 枚の回転板からなる静電発電機を、一般的な条件である毎分 200 回転の速度で動作させて良好な結果が得られるように調整した X 線管を、10  $\mu$ F のコンデンサーを備えた 8 インチのコイルで励起し、これも一般的な条件である毎分 1,200 回電流を遮断すると、数分で使用できなくなる。これは真空度が低下するためである [23]。数時間後に抵抗が十分に上昇し、適切な波長の放射エネルギーを発生するようになるまで励起を続け、適切な交流発電機で励起すると、数分後には真空度が再び低下し、波長は主に通常光になるまで延長する。この放射光は、波長が長いために散乱して身体組織を透過しない [24]。この原因は電流の増加であり、その理由のひとつについてはノート 34 に述べた。

一方、起電力の増加も同じ結果を生む。前述の静電発電機に最適な X 線管を、径 4 フィートの回転板をもつ静電発電機で励起するとき、電流の増加を防ぐために回転速度を遅く、円板数を少なくすると、数分で真空度が大幅に低下し、真空度をまた上げるには数時間の運転が必要となる。再び適切な真空度を回復したところで、径 6 フィートの円板を備えた装置に X 線管を取り付け、アンペア数に関して前と同じ注意を払えば、同じ結果となる。電流、起電力の双方を増加させると、数秒で真空度が低下し、抵抗を適切なレベルまで戻すには、この大きな装置を 8 時間運転する必要がある。

強力な特斯拉高周波コイルを使用すると、抵抗を速やかに増大できる。これは、この装置が X 線管に短時間で送るエネルギー量が、大型静電発電機と比べても非常に大きいためである。このため、心臓の短時間撮影には、常に特斯拉コイル [25] を使用する必要がある。しかし、現時点では X 線が不安定で、抵抗が非常に急速に上昇するため、画像検査目的としては大型静電発電機に劣る。静電発電機は、サージが低頻度で、観察に十分な X 線量を発生し、単位時間当たりの電流消費が少なく、抵抗の上昇がより緩徐で、連続運転でもあまり手がかからない。

この問題は直接的、実的な影響があるため、さらに重要な観察事項よりも、この問題の説明に多くの紙面を割いてきた。X線管ユーザーは、新調したX線管の動作に当惑し、メーカーは不当に非難されている。原状では、X線管を発注する際、使用する発電機の起電力とアンペア数を指定する必要がある。しかし将来的には、X線管メーカーは、真空管の使用条件よりも高い起電力と大きな電流を持つ発電機を備えるべきである。さもないければ、顧客がより強力な発電機を使用しても故障しない真空管を作るために、無駄な時間を浪費し続けることになる。X線管をポンプで排気する正しい方法は、まず機械式ポンプ [26] で排気し、次に自動水銀ポンプでX線管を高温に保ち、その後は実際に使用するよりも強い電流と高い起電力を、間欠的に1分間X線管に負荷することである。その目的は、電極と管壁から発生する粒子を循環させることにある。真空度低下の原因はすべて分かっているわけではないが、電極から放出されて循環するガス粒子の一部であることが実験によりわかっている。これは、電極を冷却して凝固点近くに長時間保つと、真空度を下げるのに、より大きな起電力、より大きなアンペア数が必要となるためである。

(Electrical Review 1898.10.19)

[23] ガスの一部は電極に由来する。

[24] ノート 10 参照。1898 年。

[25] 1903 年追記。ノート 159, 163 で推奨したように、断続のない高周波コイルと異なり「誘導コイル」を使用する場合、X線管の耐電流以上の電流を流すことができる。

[26] 簡単な手動ポンプについてはノート 173 参照。

## 波長は温度に依存する

### THE WAVE-LENGTH DEPENDS ON THE TEMPERATURE

- X線管がX線を発生せず通常光を放射する条件
- 陰極線粒子の高温が意識されない理由
- X線管内の元素の崩壊

ノート 18 で、波長は衝撃速度に依存すると述べた。ここでは温度との関係を考える。図 11-30 は、Electrical Review 誌 1897 年 12 月 1 日号に掲載された改良X線管である。中空のターゲットから漏れる水の温度を示す温度計用の容器がある。この水が 5℃に保たれている場合、特定の波長のX線を発生するには、水の温度が高い場合よりも高い電圧が必要となる。一方、より低い電圧あるいは真空度で、ターゲットへの衝撃回数を増やし、電流を増やして非冷却ターゲットを非常に高温にすると、通常光は放射されるが、X線のような高振動を生成するに十分なほど陰極線中の粒子を加熱するだけの衝撃力を欠くため、X線は発生しない。実際には、ターゲット温度が非常に高くなることは望ましくない。これは、陰極線粒子がターゲットに衝突する衝撃が弱くなり、このため粒子をX線発生に必須な超高温とする効率が低下するためである。

我々がこの温度を意識しない理由は、現時点では、熱源となり質量をもつ十分な数の粒子にこのような急速な振動を発生させる手段を持たないためである。非常に高い真空度と電圧を使用すれば、おそらく太陽よりも高い温度を生成することができ [27]、その温度では元素と考えられるものの一部が崩壊される可能性があり、そうなれば真空管は新しい世界を拓くことになるであろう。

(Electrical Review 1898.8.3)

[27] 1903 年追記。ここで温度という言葉は、燃焼による振動状態を表現するものではなく、Stokes 説でいう単一パルスよりもっと持続的な、衝撃による振動状態を指して使われている。ノート 65, 75, 109 を参照。Rowland による Stokes 説の批判については、Hery Augustus Rowland の論文 (Johns Hopkins Press, 584 頁, 1902 年) を参照。

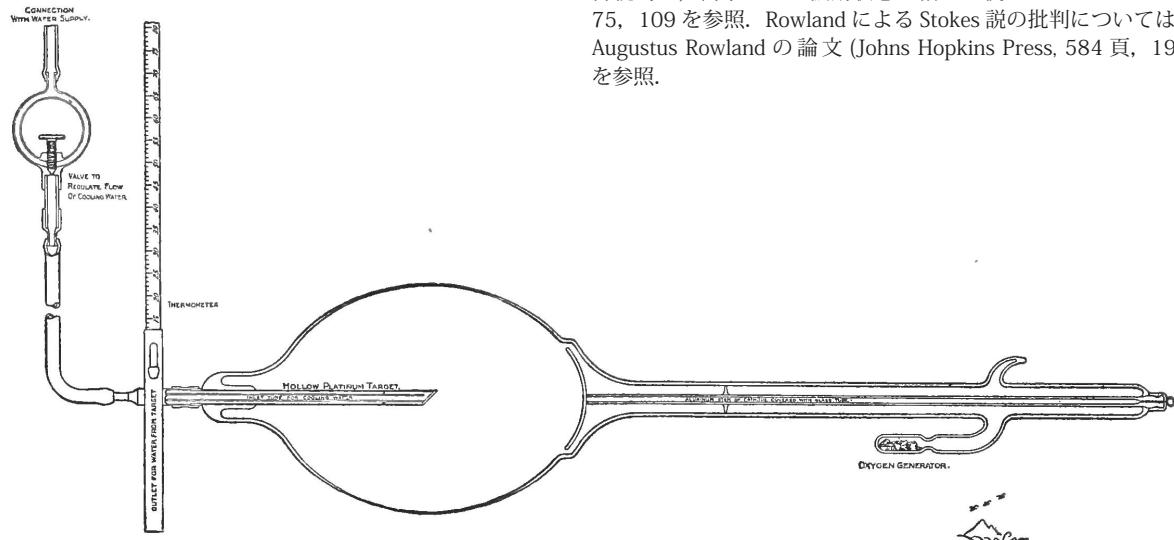


図 11-30. 酸素で回復可能なターゲット冷却 X 線管。

## ターゲットを陽極から分離し陰極に接近させること

ON HAVING THE TARGET SEPARATE FROM THE ANODE AND NEARER

- ・ターゲットを陰極と陽極の間に置く利点
- ・必要に応じて陽極をターゲットにできる直接作用型焦点管球
- ・真空度が X 線の質に及ぼす影響

ノート 18 で、波長は陰極からの粒子がターゲットに衝突する速度に依存すると述べた。衝突力は変化し、3 インチの位置ではその手前の位置よりも弱い[28]。従って、ノート 16 の図 6-2 のように、ターゲットが両極間にあって陰極に近い場合、陽極がターゲットである場合よりも衝突速度は大きくなるはずである。この構造により、電極間距離を 3 インチとすることで維持される電圧による高い初速度を利用できる。また、ターゲットを陰極から 1.5 インチの位置に置くことで、分子が陽極兼ターゲットまで飛翔する場合よりも高速でターゲットに衝突するようになる。したがって、電圧が同じならばより短波長の X 線を、またより低い電圧で同波長の X 線を発生できるはずである。後者は、小さな発電機が使えることを意味するので、重要な意味をもつ[29]。

もう一つの利点としては、ノート 20, 21 で述べたように、陰極流を陽極流から遮蔽できることが挙げられる。ここでは、一般的に使用されている電極が 2 つ以上ある X 線管を念頭においている。トンプソン (Thompson) とアンソニー (Anthony) の X 線に関する研究に記載されているテスラ氏の X 線管は非常に興味深い。現在ではこの偉大な発見者の研究室以外ではほとんど使用されていない。その改良版を図 8-D, 8-DI に示す。これは、テスラ氏の単一電極管と、クルックスとレントゲンの焦点管を組み合わせ、冷却ターゲットを追加したもので、単一電極管あるいは二重電極管のいずれとしても使用できる。波長は電圧に依存すると考えられており、1 つの電極のみを発電機に接続すると電圧が非常に高くなり、人体の軟部を識別するために必要な長波長の X 線を発生するには不適となる可能性がある。しかし、これは問題にならない。必要なのはより真空度を低くすることで、それにより衝突速度が減少して波長は長くなる。真空度によって波長を制御できないほど高い電圧を得ることは事実上不可能であり、それほどの電圧が得られるなら、真空管なしで X 線を発生するという夢を実現できることになる。

(Electrical Review 1898.8.3)

[28] これは、電極間距離が近いほど抵抗が高くなるという一般的な見解に反する。電極間距離が大きくなると抵抗が上昇することを示す実験については、ノート 136C を参照。この誤りは、電極のガスの状態を無視したことに起因する。

[29] 1903 年追記。その欠点についてはノート 66 を参照。

## 陰極の大きさについて

ON THE SIZE OF CATHODES

- ・臨床診断における X 線管の適切な距離
- ・X 線陰影の歪み
- ・透視検査における X 線の最適化
- ・透視検査における陰極サージの大きさの重要性
- ・小さなサージでは大きな陰極は好ましくないこと
- ・陰極の大きさはサージに比例すべきこと

X 線写真を医学的診断に利用するに当たっては、X 線管ターゲットの放射領域から少なくとも 3 フィート離れた成人の躯幹を照射するに十分な X 線発生装置が必要である。距離を短縮すると臓器の陰影が著しく変形し、これは心臓の検査でその大きさを知る上で重要な問題となる。この歪みは、異なる平面にある臓器の相対的な大きさを推測する際にも大きな問題となる。遠くにある臓器は、相対的に大きく見えるからである。6 フィートの距離がとれれば遙かに良いが、残念ながらこの距離で適切な X 線を照射できる強力な市販の発電機はなく、そのような装置は必然的に高価で、自作するとしても 1,000 ドルはかかる。3 フィートの距離は、市販の最高性能の発電機でもその限界であり、透視装置を使用する際には、安定した X 線が得られる程度に遅く電気サージを送り、電力を節約することが必要である[30]。毎分 200 回のサージで良いとも言われるが、蛍光板の輝度が安定して見えるためには、毎分 1,200 回のサージが必要である。各サージは、人体を的確に照射するために十分なパワーが必要で、発電機のアンペア数は可能な限り大きくする必要がある。これは、1 回のサージでコンデンサーを充電できる最大時間である 20 分の 1 秒以内に、コンデンサーをできる限り満杯まで充電することで可能である。通常サイズの陰極からこのアンペア数を供給しようとする、陰極の凹面から通常の方法で放電させることは難しい。

この結果、ノート 28[ 訳注：原文は 27] で述べた側方放電が発生するからである。陰極をこの位置に置くことの欠点が知られる以前に市販されていた X 線管のように、陰極が端の方の壁近くにある場合、ガラスがすぐに破損する。この問題を克服するには、陰極を図 11-30( ノート 30)、図 9-5( ノート 20) の位置に置き、陰極の直径を通常の 1 インチ以下ではなく、2 インチ以上とする必要がある。このような大きな陰極は、小型発電機の場合は不要である。結論として、2 つの点が重要である。すなわち、陰極はコンデンサーとして機能すること、陰極の大きさはサージの大きさに比例して大きい必要があることである。

(Electrical Review 1898.8.3)

[30] 1903 年追記。後述の動物実験から、X 線が体内組織に作用して致死的となり得ることが判明しており、透視検査において、前述の方法、すなわちできるだけ短い電気サージを使って発生する蛍光の持続時間を利用する付加的な理由として、患者を照射する X 線の総量を可及的に減らすべきであるという意味もある。

## 穴あき陰極

### PERFORATED CATHODES

ある程度の真空度では、カソードの辺縁だけが機能しているように見え、真空度がさらに高くなると、カソードの中心だけが陰極線源になっているように見える。この観察所見から、X線管メーカーは、小さな陰極でも大きな陰極と同様に機能すると考えるようになった。以前のノートでは、これが誤りであることの証明を試みたが、この実験に使用した穴あき陰極 (perforated cathode) を供覧する。図 11-31 を見ると、平均的な陰極と同程度の大きさの中心部と、幅広い辺縁部から成ることがわかる。陰極の辺縁あるいは中央だけが機能するのであれば、通常の穴のあいていない充実陰極 (solid cathode) と同程度に効率的であるはずであるが、実際にはそうならない。穴あき陰極では、陰極線が分散され、ターゲットの適切な点に衝突するものが非常に少ないため、同じサイズの充実陰極ではターゲットが溶融するほどの電流でも、ターゲットが赤熱することはない。様々なデザインの穴あき陰極の外観は非常に美しく、ガラス壁にも同様の模様を描き出す。いずれのタイプも、慎重に研究する意義がある。

(Electrical Review, August 3, 1898)



図 11-31. 穴あき陰極

## ターゲットのアルミニウムによる被覆

### COVERING THE TARGET WITH ALUMINUM

- X線管のターゲットにアルミニウムが不適な理由
- 陰極線粒子がターゲットで急制動する度合いはターゲットの金属密度に依存する
- 陰極線粒子の急制動の X 線発生における重要性

アルミニウム陰極と白金陽極のエックス線管を長期間使用後に検査すると、ガラス壁に 2 色の沈着物が見られる。陰極からは、広く拡散する紫色の沈殿物 [31]、白金からはそれほど拡散しない茶色の沈殿物が発生する。幸いに後者はターゲットの前面には少ないが、さもないと X 線量は使用に伴って急速に減少するであろう。沈着物は X 線管の性能を低下させるため、ターゲットを薄いアルミニウムで覆うことを試みた。

このようなターゲットを、図 13-32 に示す。図 13-33 は、冷却ターゲットに同様な処置を行ったものである。白金は、ガラス鏡裏面の銀コーティングのように機能し、アルミニウムをターゲットとして使用した場合に起こる透過による損失を防ぐことが期待された。この実験は 2 年前に試みたが、現在この形のターゲットに実用的な意味はほとんどないと考えられている。アルミニウムの非効率性は、X 線の透過性によるものではないことがこの実験で判明した。すなわち、陰極線の個々の粒子は、アルミニウムのターゲットに衝突した場合、同じ電圧で白金その他の類似金属製ターゲットに衝突する場合ほど温度が上昇しない。これは、衝突の衝撃がそれほど急激ではないため、熱がより長い時間にわたって発生し、したがって最高値に達することがないためである [32]。

(Electrical Review 1898.8.17)

[31] ノート 87 参照。

[32] ノート 109, 109A 参照

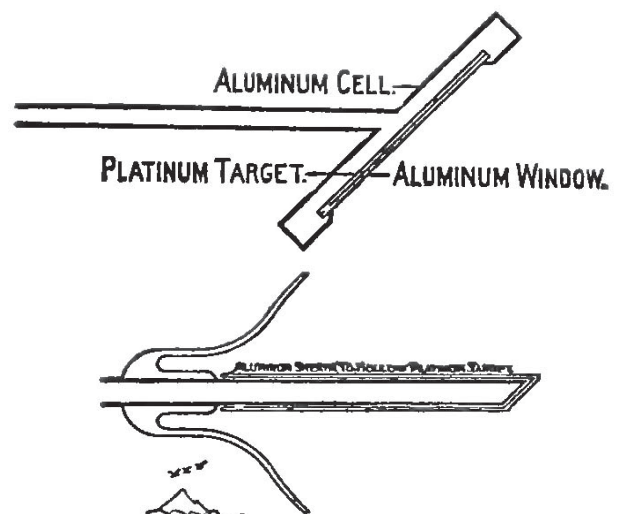


図 13-32(上), 13-33(下). 白金ターゲットのアルミニウムによる被覆

## X線管の絞り

### DIAPHRAGMS FOR X-LIGHT TUBES

- ・良好な鮮明度を確保するために、X線照射領域を制限する絞りが必要である。
- ・X線管は、対象領域の照射のために必要な量以上のX線が漏洩しないよう非透過性のボックスに収める必要がある。
- ・ボックスには、X線の円錐の中心に合わせることができる絞りを装備する必要がある。

筆者を含む多くの実験家が、X線の経路上にある物体によって投影される影を鮮明にする絞り (diaphragm) を発明したため、その功績が誰に帰するか判断するのは困難である。絞りの使用は、1896年3月14日付 Western Electrician 誌に掲載されたリーズ (Leeds)、ストークス (Stokes) 著の記事に記載されている。絞りの価値を考えると、これが実質的に使用されなくなったことは驚くべきことである。X線発生装置の出力の増加に伴い、その使用がますます重要となる。ノート 17 で述べたように、強力に励起されたX線管は、ターゲットの放射領域の側方に広くX線を発生するためである [33]。絞りは常に金属製であったが [34]、これには問題がある。電極間に置かれた導体は、空気柱を短縮し、その結果火花長を短縮し、さらにX線管を破裂させる危険が増すからである。

この問題を克服するため、厚さ 0.5 インチ以上の鉛ガラスを試用した。これを図 12-34 に示す。これは、X線管を入れる木製ボックスと、中央に径 3 インチの穴があいた 1 フィート四方のガラス板 GP がはまるフレームから成る。この穴には、別のまるいガラス板 DP をはめ、その中央にはさらに小さな穴がある。後者は取り外して、異なる大きさの穴のガラス板と差し替えることができる。ガラス板は、ネジ S で 2 本のアーム A に固定されている。初報にある通り、これはゼントメイヤー (Zentmayer) の顕微鏡ステージの原理を流用したものである。これにより、絞りの開口部をターゲットの照射領域に適切に容易に合わせることができる。図 12-34, 13-35 に、立位の患者を検査する場合のホルダーの位置を示す。図 13-36, 13-37 は、仰臥位の患者の上あるいは下に置く場合を示す。ホルダーは上下に 6 フィート移動できる。

(Electrical Review 1898.8.17)

[33] 改良型の絞りについてはノート 149 参照。

[34] 1903 年追記。低抵抗X線管、自動調整管付きX線管では、金属絞りでも良い。

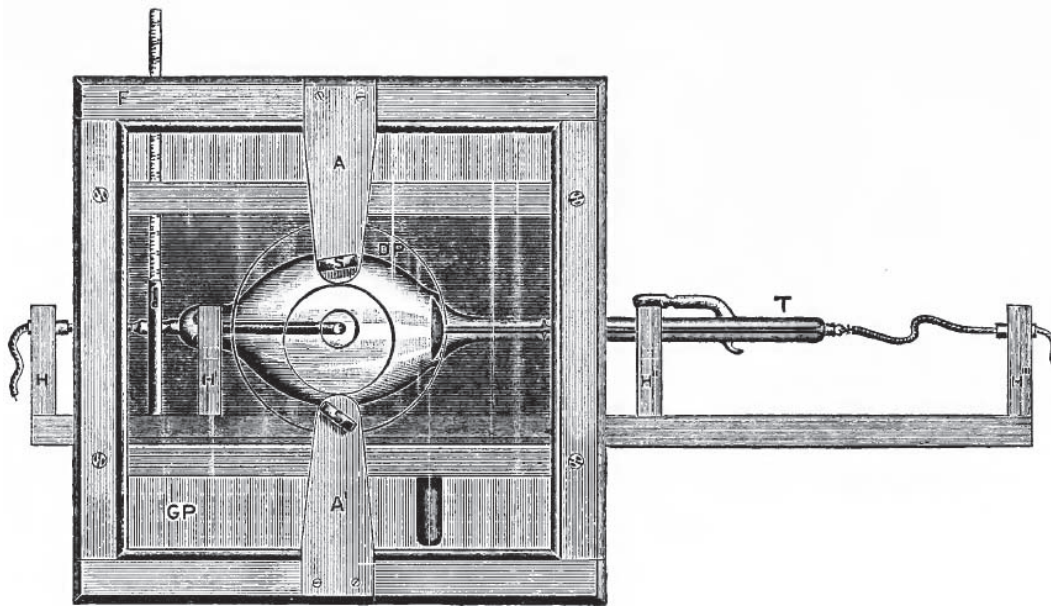


図 12-34. 中心絞りを備えた放射線非透過性 X 線管ボックス

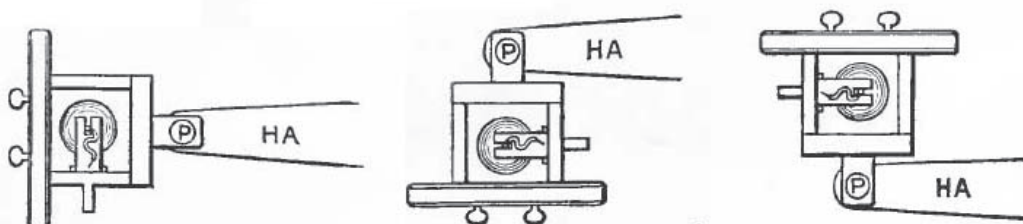


図 13-35 (上), 36 (下左), 37 (下右). 異なる位置に置いた図 12-34 の非透過性 X 線管ボックス。

## 金属羽根によるターゲットの冷却

### COOLING THE TARGET WITH METAL VANES

中等度のアンペア数を使用する場合、ターゲットを冷却するために水を使用する代わりに、図 13-38A に示すような、中空の白金ターゲットに銅製の桿を挿入し、端を 4 つの羽根に開くだけで十分である。

(Electrical Review 1898.8.17)

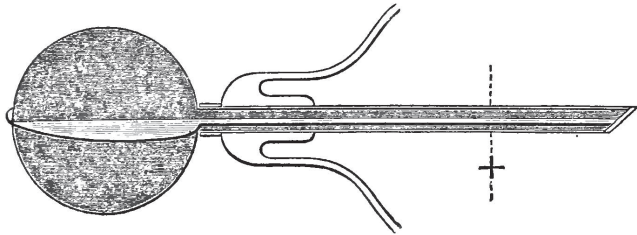


図 13-38A. 外部金属羽根によるターゲットの冷却

## 高起電力の利点

### ON SOME ADVANTAGES OF HIGH ELECTRO-MOTIVE FORCE

- 高起電力とすることにより、通常の発電機では X 線を発生できない低真空度の X 線管でも X 線を発生できる
- 抵抗が変動する X 線管内で、X 線の波長を一定に保つ多重直列火花間隙の意義

これらの実験の一部では、かなり高い起電力を使用した。トローブリッジ (Trowbridge) とバーバンク (Burbank) の実験ほどではなかった。これは、グレート・ジョブ (Great Jove) の装置を除けば、そのような性能を持たないためである。使用した発電機の 1 つは、直径 6 フィートの回転ガラス板 8 枚と、それぞれ直径 6 フィート半の固定ガラス板 8 枚を持つものである。この装置は何時間でも一定の電流を供給することができ、わずか 1/60 インチの空気と同程度の抵抗を持つ低真空度で、X 線の波長を発生することができる。これには明らかな利点が存在する。メーカーとしては高真空度より低真空度の X 線管を製造する方が容易であり、まず低真空度 X 線管を作って長い火花間隙を直列にして使用すれば、酸素調整管による真空度の調整間隔を長くすることができる。X 線管の抵抗が上昇したら、火花間隙を短くするだけで性能を一定に維持できるからである。このような理由、あるいはその他の理由から、携帯性が重視されない病院や施設での使用には、高起電力の発電機が推奨される。

(Electrical Review 1898.10.19)

## 温度について

### ON TEMPERATURE

- ・ X 線管は、X 線と通常光の中間的な他の放射線を放出する
- ・ 反跳陰極線粒子による X 線
- ・ このような異常線源からの放射線をカットするための内部絞りの有用性
- ・ 照射領域の大きさを制限するための内部絞り
- ・ 直接作用型 X 線管の像が鮮明な理由
- ・ 直接作用型 X 線管の医用診断における短所

ターゲットに衝突して高温となった粒子は、その後必ず熱を失うので [35]、短波長の X 線を発生する X 線管は、同時に通常光の波長およびそれより長い波長をもつ他の放射線も発生する。これは、たとえ陰極線の粒子が、衝突熱の消退後に消滅したとしても同様である。しかし、粒子がターゲットから反跳し、その多くがガラス壁に衝突すると、この 2 回目の衝突で壁が蛍光を発するだけでなく、とくに初速が非常に速い場合は、粒子の温度が再上昇してより波長の長い第 2 の X 線源となる。これが、強力に励起された通常の反射型 X 線管では、励起が弱い X 線管とくらべて画像の鮮明さに劣る理由のひとつである。強力に励起された X 線管の場合、X 線はターゲットだけでなく、明るい中心部とそれを取り囲むやや暗いハローからも放出される。これは、ガラス壁に当たって反跳した粒子、およびノー

ト 17, 21 で説明した陽極流の影響によるものである。そこで絞りが重要となる [36]。

絞りによって線源の面積を減らしても、小さな被写体は別として視野が狭くなり過ぎるため、高度に励起された通常の反射型焦点 X 線管では鮮明な像を得られない。しかし、穴の開いた放射線非透過性金属片を、X 線が被写体に達する前に通過する経路上でターゲットの近傍に置くという改良を施すことにより、良好な結果が得られた。このような X 線管の図は、関心が高いようであれば後日公開する。ノート 9 で説明、図示したような直接作用型 X 線管では [37]、X 線管がいかに強力に励起されても像は鮮明である。これは、絞りの開口部が実質的に線源と同平面にあるため、小さな穴のあいた絞りを照射範囲を制限せずに使用できるからである。この改良版 X 線管を図 14-41A に示す。上記の説明により委細を理解できるであろう。しかし、この方法には欠点が 1 つある。陰極線の衝撃がアルミニウムなどの軽い金属にも及ぶため、同じ起電力でも発生する放射線の波長が、白金など重い金属を衝撃する反射型焦点 X 線管よりも長くなることである。これについてはノート 35 を参照されたい。

(Electrical Review, 1898)

[36] ノート 36 参照

[37] 治療には直接作用型 X 線管が推奨される。ノート 166, 167 参照。

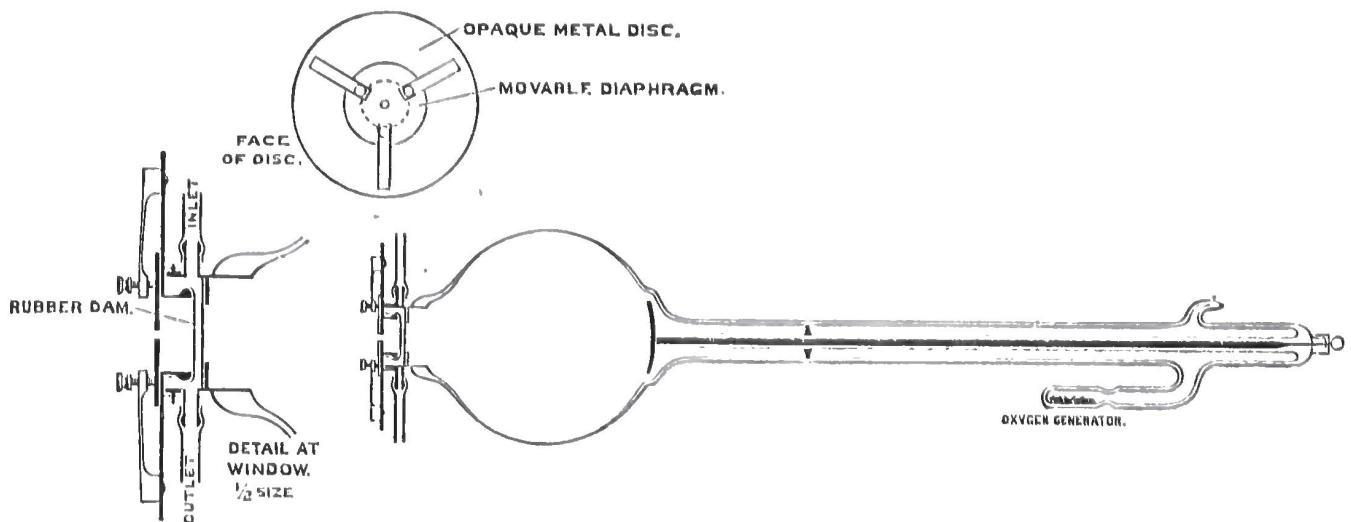


図 14-41A. 冷却ターゲットと外部絞りを備えた直接作用型 X 線管。

## X 線

### X-LIGHT

#### ・総論

何年も前にクルックスが述べた、陰極線は物質の粒子から成るという説を素直に受け入れると、レントゲンの発見が発表されたとき、この新しい放射線の波長が、陰極線の粒子がターゲットに衝突して上昇する温度に依存するであろうことはありそうに思えた。1896 年、これを試験するため、ターゲットを中空の金属として任意の温度に冷却できる X 線管を製作した。この種の X 線管を使った多くの実験を行い、いくつかの興味深い結果を、1897 ~ 1898 年の Electrical Review 誌に一連の短いノートとして随時掲載したが、準備の都合上かなりの期間にわたって散在しているため、ここで観察結果のいくつかを要約する。X 線の発生源は、発生源となる粒子の高温である。その波長は、この粒子の温度に依存する。その温度はいくつかの条件によって決まる。第 1 に、ターゲットに衝突する速度である。速度が速いほど温度は高くなる。第 2 に、衝突する角度である。角度が大きいほど、温度は高くなる。かすめるような衝突では粒子が突然止まらないため、温度が最高値に達することはない。第 3 に、ターゲットの性状である。ターゲットの密度が高いほど、温度は高くなる。これは、密度が高い金属は粒子を急激に制止するためである。第 4 に、ターゲットの温度である。ターゲットが冷たいほど、温度も低くなる。零度以下に冷却されたターゲットでは、温度が数百度の場合よりも光量が少ない。一方、多くの観察結果から、ターゲットの表面物質を軟化するような温度では、X 線管の効率が低下することが分かっている。

粒子がターゲットに衝突する速度は、いくつかの条件によって決まる。第 1 に、電圧である。電圧が大きいほど速度は大きい。第 2 に、ターゲットまでの距離である。距離が長いほど衝撃力は小さい。第 3 に、経路上の障害である。これには、真空度、X 線管の形状、励起電流の振動と X 線管の調和など、さまざまな要因がある。調和の失われた X 線管の内部で起こっていることの例えとして、激しい吹雪のときに家の裏窓から外を眺めると見える、曲がりくねった狭い路地を絶えず向きが変わる風で吹き飛ばされる雪の激しい流れのようなものである。第 4 に、粒子の重さである。水銀粒子が一定の速度でターゲットに到達するには、アルミニウムや酸素よりも高い電圧が必要である。X 線量は、ターゲットで利用されるエネルギー量によって決まる。衝突速度が一定であれば、アンペア数が大きいほど光量は大きくなる。

画像の鮮明度は、いくつかの条件に依存する。第 1 は、ターゲット上の照射領域のサイズで、これが小さいほど鮮明度は高くなる。従って、ターゲットは理論上の焦点ではなく、陰極線の実際の焦点に位置する必要がある。ターゲットの陰極からの距離は、陰極線を作る粒子間の反発の度合、すなわち粒子の電荷の大きさに依存する。一般的な真空度では、焦点は陰極の曲率半径の 2 倍、または理論上の距離の 2 倍となる。第 2 に、陰極の大きさとサージの調和と適切な比率に基づく照射範囲の安定性である。第 3 に、二次衝撃、リバウンド、再反跳、陽極流、二次線源など、他の X 線源を排除することである。第 4 は、適切な X 線管の形状、第 5 は、絞りの使用、第 6 は、被写体の室内の空中反射からの遮蔽である。すなわち、放射線非透過性金属板を可能な限り閉じて、X 線が被写体から直線的に到達するようにすることである [39]。第 7 に、X 線管と被写体の間の距離を充分とることにより、ほぼ実物大の陰影が形成される。これは医学診断において重要である。第 8 に、X 線の質である。より詳しく検査しようとして、波長を考えずに過量の X 線を照射することは賢明ではない。X 線写真が X 線透視よりも詳細な情報が得られることが多い理由の 1 つは、透視画面に鮮明な画像を表示するために必要な光量よりも、写真乾板の感光に必要な光量の方が少ないことにある。

X 線管の形状。X 線管は、大きな電圧をかけるに充分な長さが必要である。陰極の大きさは、サージに応じたものとする。大きなコンデンサーを使用する場合は最も大きなものを、サージが急速であるため個々のアンペア数が小さいテスラコイルの場合は小さなもので良い。長時間使用後も再ポンプ排気することなく大電流を流せるように、真空度を調整する簡便な方法を備えるべきである。

ターゲット。大電流でも損傷なく使用できる構造で、照射の必要に応じて温度を変更できる必要がある。同じ X 線管で、ターゲット温度と衝突速度を変更することで、最短波長の X 線から通常光まで、あらゆる波長の光線を発生できる。

陰極の距離。大型発電機を使用する場合より、小型発電機の方が短い。陰極は連射銃のようなものであり、規則的かつ高速な装填が可能で、陽極流からも保護されるような配置とする必要がある。X 線管の壁は、逆流が本来の陰極線と衝突するのを防ぎ、確実に規則正しく循環するような曲率とする必要がある。ターゲットは、陰極、陽極と一直線上に置かないと、陰極線が効率良く衝突しない、陽極が陰極の後ろにある場合、陰極の凹面にはほとんど力が働かないため、通常発電機を使う限りターゲットは X 線源ではなくなるが、凸面側から幅広い粒子の流れが発生し、ガラス壁に衝突して広い範囲で X 線を発生する。従って、陰極線の放出は、陽極の位置とは無関係ではない。

(The American X-Ray Journal 1899.1)

[39] 1903 年追記。この問題はなお無視されている。

## 油の中の電極について

## ON GENERATOR TERMINALS IN OIL

- ・ X 線で利用される高電圧
- ・ X 線管を浸した油の外観
- ・ 液体ブラシ放電

レントゲンの発見が発表されて間もなく、トロウブリッジ (Trowbridge) 教授は X 線管を油で冷却した。テスラ氏はその方法を開発し、装置の図を発表した。多くの初期の研究と同じく、この研究も忘れ去られてしまった。偉大な研究者は同じことを何度も繰り返す手間を厭うからである。この方法では、以下にのべるような特殊な現象が観察された。すなわち、X 線管の陽極側で油が明らかに沸騰する。単に温度の問題ではなく、見た目に沸騰し表面が隆起して絶えず動いている。これは驚くべきことであった。泡は全く発生しないからである。陰極端では、それほどではなかったが、マッチが生きているかのように、電極にむかって突進し、またすぐに戻る運動を短周期で繰り返す。X 線管を取り出して、電極を 15 インチ離すと、この現象はさらに顕著になり、陽極近くの油の表面が 1/4 インチ上昇した。この液体誘電体内で、空気中と同じ現象、すなわち液体ブラシ放電が発生しているのである。

(Electrical Review, January 25, 1899)

## 水素と酸素について

## ON HYDROGEN AND OXYGEN

- ・ 水素の亜原子は、酸素のそれよりも軽く高速で運動する。このため、短波長の X 線を発生する

短波長の光線を最大限に利用するには、水素を使用する。同じ電圧でも、水素の粒子はより高速でターゲットに衝突する結果、より高温になり、より多くの短波長光線を発生する。この場合、ターゲットは最も密度の高い金属である必要がある。ノート 35 で述べたように、衝突の衝撃が急激であるほど、熱が高くなるためである。長波長の光線を発生するには酸素を使用する。酸素は重いため、同じ電圧でもより低い速度でターゲットに衝突する。このため粒子の温度はそれほど高くなり、波長が長くなる。非冷却ターゲットの X 線管では、酸素に 1 つの利点がある。酸素はそれほど急速に消失しないため、真空度の調整をあまり頻繁に行う必要がないことである。以上の説明は、一般的市販の X 線管の場合である。中等度の起電力、大きなアンペア数、あるいは非常に高い周波数の発電機を使う場合は、他の要因の考慮も必要となる。

(Electrical Review 1899.1.25)

## 調和について

### ON HARMONICS

- ・ X 線発生における規則的サージの重要性

本誌に発表したノートを読み返し、既に述べたいくつかの点について付言したい。X 線の波長は、粒子がターゲットに衝突する速度と、衝撃力によって上昇する温度によって決まると述べた。これらの粒子は小さいため、熱は急速に減少し、波の持続は短く、熱の減少とともに波長が増大する。X 線の量は、ターゲットで利用されるアンペア数依存すると述べたが、これは単に光量を増やすにはアンペア数を増やせばよいと言っているわけではなく、X 線管と電源との調和の必要性を考慮する必要がある。そして、日々の経験からこれが最も重要であることが明らかとなった。

たとえば、前述の（おそらく同種の機械の中で最も強力な）大型のホルツ装置の出力を全開しても、同じ種類の非常に小型の装置で励起した場合ほど多くの X 線量が得られないことがある。おそらく、テスラ氏以外の電気技術者は、長い振動を短い振動に効率良く変換するには調和が絶対必要であることを理解していないであろう。彼が本誌に掲載した、電気が光に変換される驚くべき写真は、この原理を認識したからこそである。

詩人こそ真の予見者であり、詩人の心を持つ発見者こそが、最も深遠な法則を最初に垣間見る者たちである。既に引用したようにエマーソンは「原子は調和して進む」と謳っている [訳注・ノート 25 参照]。凹面電極からの放電が、ターゲットに衝突して発生する X 線の波長と調和して規則正しい間隔で発生するように装置を調整することの必要性を示すものとして、この言葉を再度引用する。これによって初めて、最小の電流で最大の X 線が得られるようになる。トロブリッジ教授は、一見単一に見えるサージは多数のサージから構成されていると述べており、これらのサージの頻度を調整する必要がある。静電発電機のコンデンサーを変更するという簡単なことが、X 線管の性能の良し悪しを左右する。

(Electrical Review 1899.1.25)

## 内部絞りをもつ X 線管

### AN X-LIGHT TUBE WITH AN INTERNAL DIAPHRAGM

- ・ 骨、歯の X 線撮影における内部絞りの意義
- ・ 患者を非透過性布で覆い X 線を遮蔽することによる鮮明度の向上

ノート 41 で述べた内部絞りを備えた X 線管を図 16-42 示す。ほとんどの医用 X 線では、鮮明度より光量の方が重要であるが、歯や骨などについては鮮明度が重要である。内部絞りを、図 12-34、図 16-42 に示す厚いガラス絞りと組み合わせると、鮮明度が向上する。さらに、撮影部分を非透過性材料の穴あきスクリーンで覆い、散乱光、反射光を遮蔽するとより良い結果が得られる [40]。励起した X 線管の様子を図 15-43 に示した。絞りを通過した放射線による第 2 の光輪が見られる。幅広い黒い輪は絞りの陰影である。この第 2 の光輪の外側にあるものはすべて外部絞りによって遮蔽されるため、有効な X 線はほとんどすべて内部絞りの中央の開口部を通過し、実際の照射領域は常に小さくなる。

(Electrical Review 1898.2.8)

[40] 放射線非透過性布についてはノート 174 参照。

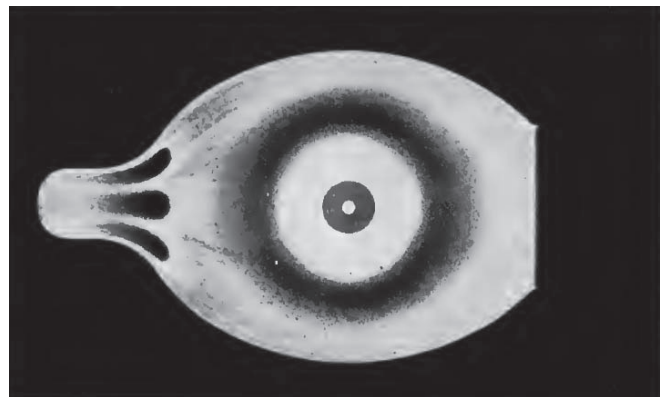


図 15-43. 励起状態の内部絞りをもつ X 線管

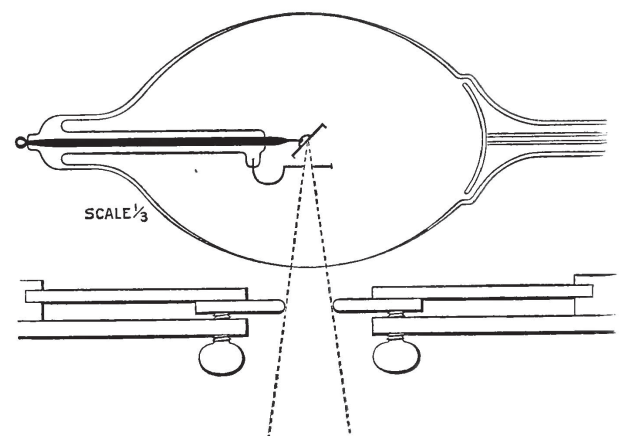


図 16-42. 内部絞りをもつ X 線管

## 陽極流

### THE ANODE RUSH

・陽極流を可視化する方法

ノート 20 で陽極流 (anode rush) について述べ、ノート 21 ではそのターゲットへの影響について述べた X 線管ガラス壁の沈着物を示した。図 18-44 は、再ポンプ排気することなく 600 時間に使用した中空ターゲット分子間再生型 X 線管である。中央に黒い部分があり、その周囲から稲妻のように枝分かれした放電のあとが、暗い背景に明るく見える。この中央の模様他に、両側に枝分かれした線が見える。X 線管を長軸回りに 4 分の 1 回転すると、ターゲット表面から垂直に放出された陽極流がガラスに当たる場所の近傍に、中心が暗い付着物が見える。この X 線管は、特に留意して発電機と調和した状態とした。

図 17-45 は、エネルギーを効率的に利用するためには調整が重要であることを示すために、あえて調和を欠くようにしてガラス壁の金属付着物が見えるようにしたものである。ここでは、クルックス線が跳びはねる状態のままとした [41]。強力な発電機を使用し、ターゲットに陰極線をよく集中させ、非常に軽いガスを使用すると、陽極流が見えるようになる。白金ターゲットは非常に厚くする必要があり、さもないと一瞬で穴が開いてしまう。ターゲットの衝撃面で陽極流が突然停止すると、白金が鮮やかな白熱光を発し、溶けた金属の薄片が飛散し、ターゲットの半インチ手前に小さな星のように発光する。この星は、表面と正確に垂直には発生せず、拡散する。

(Electrical Review, February 8, 1899)

[41] 1903 年追記。ヴァーリー (Varley) は、陰極線とその衝撃力を発見したので、ヴァーリー線と呼ぶべきである [訳注: Cromwell F. Varley (1828-83). イギリスの電気技術者。黎明期の電信技術の発展に功績を残した。1871 年、陰極線が磁場で偏向することからこれが電荷を持つ粒子の流れであるとする論文を著したが、心霊主義 (spiritualism) と絡めたためあまり注目されなかった。]

[42] 陰極線の散乱についてはノート 3 参照。



図 17-45. 発電機との不調和の影響を示す X 線管



図 18-44. 陽極流の影響を示す冷却ターゲット X 線管

## シーヒア

### THE SEEHEAR

・心臓、肺の X 線検査時にその音を聴く装置

心臓や肺を観察する際に、それらが発する音を聴き、蛍光板の像を写し取れば安心である。ここに示す装置で、これが可能となる。図 19-46 に示すように、聴診器のイアピースにつながる軟らかい管をフレームに取り付ける。フレームは、音響チェンバーの縁を囲い、その底部には穴があいた放射線透過性 [43] のシートが敷かれ、この穴を通して音が聞こえる。このシートは、異なる場所に穴があいたものとすぐに交換できる。ここに示すように、蛍光板に心臓と横隔膜が明瞭にうつっている状態では、心音が概ね良く聞こえる。音響チェンバーの反対面に蛍光板があり、その前面に蛍光板を保護するセルロイドあるいはガラス板があり、その上にトレース布を置く。この布は、ウィリアムズ (F. H. Williams) 博士が胸部症例の永久記録を残すために考案したもので、2つの固定点をマークし、暗い部分や明るい部分の輪郭をトレースする。装置の部品はすべてクランプで固定されている。音響チェンバー背面の穴の位置を示すために、放射線非透過性の弧状のマーカが、縁に固定されている。これは、音響反射板としても機能する。図 20-47 にその実際を示す。暗室のため、フラッシュを使って撮影したものである。描画が不要な場合は、X 線透視装置にも利用することができ、その場合は明室で検査できる。蛍光透視板は 12x14 インチで、拍動している心臓の輪郭が明瞭に見えるようにキンレイド (Kinraide) 製非蛍光型を使用している。女性の場合は、胸の発達を考慮して、より小型の器具を使用すると良い。蛍光板をできるだけ心臓に近づけ、

[43] ここで使った放射線透過性 (trans-radiable, radiable)、放射線非透過性 (non-radiable) という言葉は、ハインドマン (H. H. F. Hyndman) によるものである。

[44] 1903 年追加。ノート B (1896 年) に記したように、術者を X 線から保護するためにガラスは不可欠である。強力な装置の場合、ガラスはさらに厚く、非常に高密度の鉛ガラスでなければならない。ノート 144, 162, 図 119-3, 119-4 も参照。

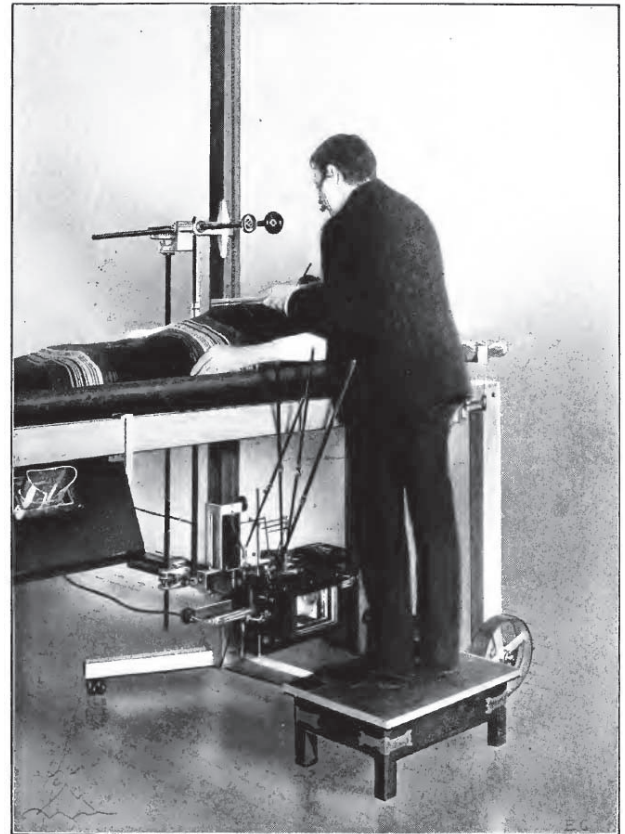


図 20-47. 使用中のシーヒア

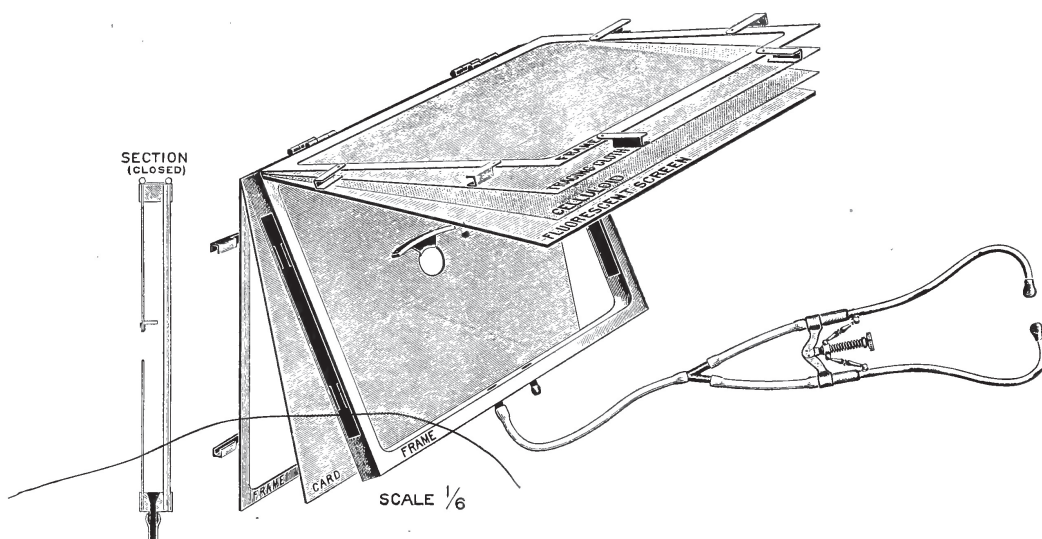


図 19-46. シーヒアおよび X 線検査で臓器を描画するトレース用フレームの構成

## 自分の心拍を見て聴く方法

### ON SEEING AND HEARING YOUR HEART BEAT

図 21-48 のように、鏡を蛍光板の適切な位置に置くと、自分の心臓の拍動を見ることができる。鏡を図 19-46 の装置と組み合わせると、心音を聴き、心拍を見ることができる。内臓に異常のない神経質な患者は、自らの目で順調であることを見せることにより大いに安心する。この装置を使用する場合、部屋は暗くする必要がある。透視板と鏡の双方を、患者が見えるように小さな開口部を備えたケースに収めた装置もある。この場合は、明室で検査可能であるが、図に示したものに比べて扱いが多少不便である [45]。

(Electrical Review, February 8, 1898)

[45] 最初期の X 線透視装置についてはノート B(1896 年) を参照。最近のものについてはノート 155、ノート 156 を参照。

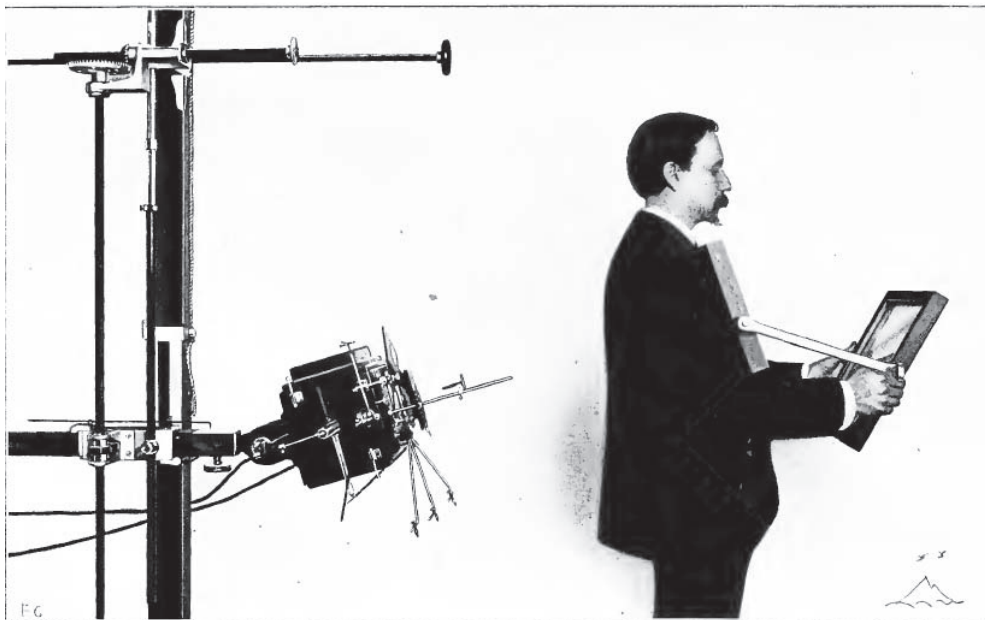


図 21-48. 自分の心拍を見る方法

# X線管の環状暗帯 ( ガードル )

## THE GIRDLE OF AN X-LIGHT TUBE

- ・環状暗帯 ( ガードル, girdle) – X線管の陽極の前面の環状暗帯
- ・凹面陽極のガードルへの影響
- ・X線管のコロナ
- ・コロナの推測原因

トンプソン (Thompson) の興味深い著書「光、見えるものと見えないもの」の 265 ページに、X線管の図が掲載されたものを図 25-142 に再掲した。ここでは「図 142 に示すように、放射線は対陰極の平面の辺縁まで大量に放射される」と述べている。図 22-49 に、ノート 16 に記載した X線管が励起された状態を示す。通常「境界線」(the line of demarcation) と呼ばれるものは、明暗を分ける線ではなく、明るい照射領域とそれほど明るくない照射領域を分ける幅約 1/4 インチの暗い環状帯 ( ガードル, girdle) である。照射される前面領域は「対陰極の平面まで」ではなく、その前方にある。ターゲットが陰極を向いた凹面の場合、環状暗帯は前方に広がり、幅が広がる。これを図 23-50 に示す。ター

ゲットの凹面が深くなると、前面の照射領域はより前方に押し出される。平坦なターゲット、高真空度、高電圧では、環状暗帯は非常に狭くなる。この数枚のスケッチは、必ずしもすべて写真から取ったものではないため、画家は見た通りに書こうとしたとは言え、個人的なばらつきを考慮する必要がある。

図 18-44 は、苦勞の末に撮影した写真であるが、明るい樹状線はあまり良くうつっていない。そのため、自然に見えるように拡大鏡で修正したが、かなり正確ではあるものの、多少目立ちすぎている。X線管には、写真を撮影できないがために記述できない現象が数多くある。おそらく方法は見つかるであろう。例えば図 24-51 のイラストのような X線管のコロナを撮影する試みは数多く行われてきた。しかし、様子は急速に変化するため、それに見合った短時間の露出では乾板に記録できるだけの十分な光量が得られない。これを撮影できるようになるにはまだ時間を要するので、理論的観点から非常に興味深いこの問題を紹介するために、イラストの一部をここに示した。これは、環状暗帯についても言えることで、良い写真が撮影できれば、さらに詳しく検討できるであろう。

(Electrical Review 1899.2.8)



図 22-49. ガードル (環状暗帯) が認められる陰極と陽極の間にターゲットをもつ X線管.



図 23-50. X線管のガードル (環状暗帯)



図 24-51. X線管のコロナ.

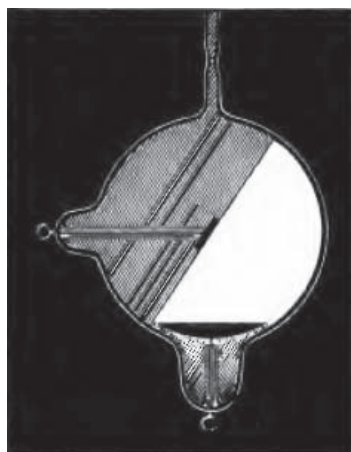


図 25-142. トンプソンの教科書の図の再掲.

## 回転ターゲット

### ROTARY TARGETS

・強力な電流使用時の回転ターゲットの意義

ノート 11 (1898 年 1 月 5 日) で、回転ターゲットの実験について述べた。これを実用的な形で示すことが望ましいであろう。なぜなら、ノート 1 (1897 年 12 月 1 日) に示した冷却ターゲット X 線管を使用しないと、ターゲットが最適状態になった直後に X 線管が破裂して使用不可能に陥るという事態に常に直面しうるからである。放射物質の流れの衝撃により非常に高熱が発生するため、既知の物質は冷却しない限りこれに耐えられない。アンペア数が大きくなると、白金は炎天下の氷のように溶ける。金属を厚くするとこの事態を遅らせることはできるが、より簡単な方法はターゲットを回転させ、陰極線を受ける新たな面を作ることである。図 25-52 には、最も単純な形の X 線管を示すが、回転は自動ではない。図 25-53 に実物大のターゲットを示した。

(Electrical Review 1899.2.15)

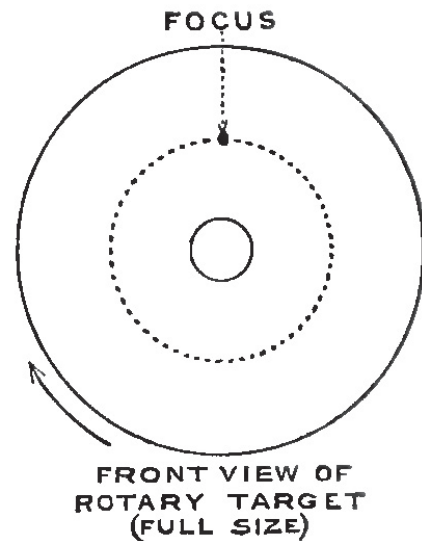


図 25-53. 回転ターゲット (実物大)

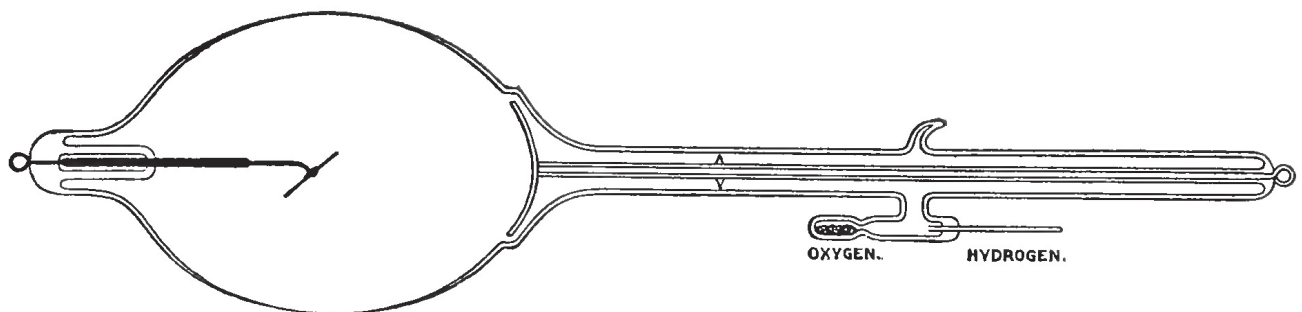


図 25-52. 回転ターゲットと酸素 / 水素調整管を備えた X 線管

## 多重 X 線写真撮影

## MULTIPLE -X-LIGHT PHOTOGRAPHY

1896 年 7 月 1 日の本誌に、1 回の露光で複数の写真を撮るという、X 線管撮影の新原理と思われる記事があった。これは E. トムソン教授の発明になるものであることが分かった。しかしこの方法は実際に利用されておらず、他の仕事に忙しいトムソン教授はおそらくこれを再びとりあげる時間がないと思われるので、ここであらためて注意を喚起しておく。

外科医は、患者を病院の X 線検査室に送り、外傷の X 線写真を数分以内に受け取って診断に供したいと考える。数時間、あるいは 1 日も 2 日も待たなければならないと、外科医は貴重な時間を失うことになり、自ずからこの検査法を避けることになる。トムソン教授の方法では、数分間で 1 枚だけでなく多数のポジ写真を手にすることができ、それぞれの画質が通常の方法で 1 枚の乾板から作るよりも優れたものである。これは、プロマイド印画紙を 6 枚重ね、その上に被写体を置く方法である。すべての印画紙を 1 つの水槽で同時に現像すると、1 つのネガではなく 6 つのポジが得られ、これらをアルコールに浸すことで一度に乾燥することができる。

(Electrical Review 1899.2.15)

## 凹面陽極

## CONCAVE ANODES

凹面陽極は決して新しいものではなく、既にいくつかの実験、特にモントリオールのカードウッド (Girdwood) 医師が報告している。これに関していくつか興味深いことが知られている。第 1 に、ノート 49 に示したように、環状暗帯 (ガードル) が平板な陽極にくらべて幅が広く、前方に位置することである。第 2 に、コロナの代わりに (図 24-51, ノート 49)、陽極よりも小さな明るい太陽のような白熱点があり、これは粒子が陽極の表面に対して垂直に放射された衝突する位置の管壁に位置する。この太陽の周囲はハローで囲まれている。第 3 に、陽極の後面からの放射が少ない。従って、一般に X 線管内の粒子は陽極端に集まり圧の不均衡を生じる傾向があるが、この形の陽極は陽極流 (anode rush) のほとんどを陰極端に送り出すという利点があり、それによっておそらく圧の均衡化に役立ち、また圧縮されているため、陰極線への干渉が少なくなると考えられる。凹面陽極は、平板陽極と同じように容易に回転させることができるため、早期に燃え尽きることはない。

(Electrical Review 1899.2.15)

## レーナルトとレントゲン

### LENARD AND ROENTGEN

- ・レーナルト (Lenard). X 線, 真空管から放出されるその他の放射線の発見者
- ・フィーヴェッツ (Fievez). 磁場によるスペクトルの変化の発見者

ノート 14(1898 年 1 月 12 日) で, なぜレーナルト管の X 線が微弱であるかについて述べた. その他の実験やレーナルトの研究との比較により, 新しい光線の発見はレントゲンではなくレーナルトによるものであることが示された. レントゲンが研究を始めたとき, X 線は知られており, 従って未知の光線ではなくレーナルト光線と呼ばれるべきであった. レントゲンが有名になった正当性は, レーナルト光線が人体を貫通するというその観察によるものであった. 人類への恩恵に満ちたこの発見が, 本来の発見を覆い隠してしまったのである. 最近, さらに興味深い発見において同様の現象が発生した. 磁場によるスペクトル線の変化, いわゆるゼーマン効果 (Zeeman effect) の真の発見者はフィーヴェッツ (Fievez)[ 訳注 ] である.

(Electrical Review, March 22, 1899).

[ 訳注 ] Ch. Fievez. ベルギーの物理学者. Zeeman の発見は 1896 年だが, これに先立って 1885 年, 1886 年に Fievez が論文を著している (del Toro Iniesta JC. On the discovery of the Zeeman effect on the sun and in the laboratory. Vistas in Astronomy, 40:241-256,1996).

## 両電極が中空の X 線管

### X-LIGHT TUBE WITH BOTH TERMINALS HOLLOW

- ・X 線管の両極を中空にする理由
- ・両極を中空にした X 線管の説明

レントゲンの発見が医学的診断において極めて重要であることを証明することに最も貢献した F.H. ウィリアムズ (F. H. Williams) 博士のために, 効率的な X 線管を製作する努力していた初期, この問題についてはほとんど知られていなかった. X 線管はわずかな負荷にしか耐えられず, そのため X 線は弱かった. 真空度が急速に上昇し, 線質が変化して組織が識別できなくなり, やがて完全に消えてしまう. このような欠陥を克服できる原理を発見すべく試みた. 出力を増強できるようにターゲットを冷却した. 分子間に粒子を送り込んで真空度を下げることが期待して, X 線管の一部を金属製とした. これらノートには, このような結果を達成するための様々な方法を述べており, その過程で浮上したいくつかの一部現実的な, 一部非現実的な事項についても言及している. しかし, 幻想にも価値がないわけではない. さもなければ, なぜフェリシアン神父は「汝の心と世人が幻想と呼ぶものを信じよ」[ 訳注 ] と言ったのだろうか? この分野では人々により際限なく改良が進められていることから, これらの原理が特許の対象とならないように, これらの原則をあらためて述べる. 医学においては, 特許は賢明なものではなく, 許可されるべきではない. 図 26-55 に, このような原則で製作された強力, 単純で, 美しい X 線管を示す.

(Electrical Review 1899.3.22)

[ 訳注 ] アメリカの詩人ロングフェロー (Henry Wadsworth Longfellow, 1807-82) の叙事詩「エヴァンジェリン」(Evangeline, 1847) に登場するフェリシアン神父 (Father Felician) の言葉. Trust to thy heart and what the world call illusions.

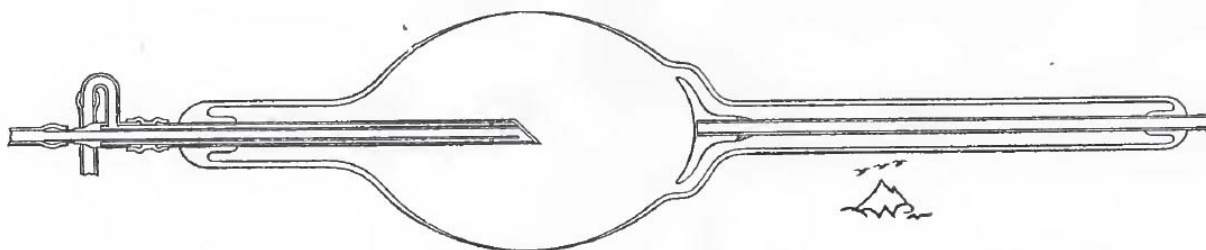


図 26-55. 一端が大気中に開口する中空電極 X 線管

## 分子間の移動

## INTERMOLECULAR JOURNEYS

- ・低温、高密度、均質な金属を通過する物質粒子
- ・X線管の真空度調整器の製作への応用

以前のノートを読んで理解できなかった人のために、以下に簡潔に述べる。すなわち、物質粒子は低温、高密度、均質な金属の分子の間を、電気の力で通過できるということである。これは、実験に供した最も密度の高い金属についても当てはまる。常に先を見通しているテスラ氏は、3年前の本誌で、X線管の内部からガス粒子がガラスを通過して外に出ると述べている。この外部への移動によって、X線管は消耗して機能しなくなる。

(Electrical Review 1899.4.26)

## X線管の対称性

## SYMMETRY IN TUBES

設計においては、効率性と美しさを融合させることを目指すべきである。前述のように、X線管にわき付けされている調整管は美しくない。そこでより良い位置を検討した。これをターゲット冷却X線管に適用した例は既に示した。図 27-56 に、非冷却ターゲットX線管に応用した例を示す。調整管はX線管の端にあり、陽極ステムの支持台として、また発電機からの電線の接続部としても機能する。回転ターゲットX線管を示したのは、通常为非回転非冷却ターゲットX線管をすぐに破裂させてしまうような大病院でこれが使用されているためである。

冷却ターゲットを備えたX線管が製造されてから3年が経ち、これは現行の発電機の10倍の電力に耐えることができるが、現時点でもこのX線管が必須となるほどの市販装置はない。市販の最良の装置で得られる結果から、このきわめて貴重な医学診断法の可能性について明確な見通しをもつことはできない。X線写真撮影においては、グッドスピード教授が3年前に示した成果以上のものは得られていない。何ができるかを知るには、テスラやトロブリッジの実験結果に目を向ける必要がある。

たとえば、トロブリッジが、100万分の1秒で手の骨の写真の撮影に成功した事実を考えてみよう。最高の商用発電機で最大限の性能を発揮すれば、これを200万分の1秒以下で実行できる。これはすばらしい展望である。通常発電機の全出力をターゲット上の径2mmの楕円に集中させても、薄い白金片は全開のクルックス線(陰極線)にも耐え、溶けることはない。このことから、このような装置がいかに非力であるかが分かる。クルックス線といえば、これが1871年の論文でヴァーリー(Varley)が発見されたことが思い起こされる。彼は陰極線を観察しただけでなく、それが回転する雲母板に与える影響も観察した。これはノート57に述べたことのもう一つの例証である。

しかし本題に戻ると、人体がレーナルト線に対して透過性であることをレントゲンが発見してから3年を経た現在でも、この最も重要な診断方法が一般に普及していないというのは異常なことではないだろうか。日常的にこれを使用している医師は100人に1人もいないが、ある種の病気はこれを使えば最早期に診断が可能となる。この事の重要性を示すために、病死の原因の7分の1を占める結核を考えてみる。もし全員が定期的に検査を受ければ、検査にかかる時間はわずかで、ほとんどの例が救われるであろう。ウィリアムズ医師は、非常に早期に徴候を発見することができ、治療により速やかに回復が得られ、多くの例で転地療法さえ

不要であることを示している。この最後の点は非常に重要である。結核患者は貧乏で、仕事を辞めたり転地したりできないからである。ウィリアムズ医師が手にするX線透視装置は、自分が結核に侵されているとは思ってもいなかった患者の古い結核の病巣を絶えず映し出している。これは非常に興味深い点である。なぜなら、多くの例が自然治癒するのであれば、それを薬で多少補助すれば、ほとんど全例を救えるはずだからである。このような詳細は医学外の雑誌には不適切と思われるかもしれないが、あえてここで述べている。世紀の大発見である最も重要な診断方法の普及を推奨するには、外部からの圧力も必要なのである。

(Electrical Review 1899.4.26)

## ガラスの被覆について

### ON GLASS WRAPPINGS

- ・電極ステムをガラスで被覆することは好ましくない
- ・電極は裸である方がよい

ミイラのように古くて死んだものは、被覆すると良いだろう。しかし、若い元気なX線管には不向きであり、被覆すると良いというのは、長く信じられていた迷信である。ある程度の力を加えると台座からはずれ、X線管内に変色した破片となって落下するからである。最初に破損するのが陽極ステムの周囲のガラス被覆である。ステムを短縮すると効果があることがわかり、被覆は減らす方向となり、1897年12月1日に示したX線管では、完全に廃止された。次いで、陰極ステムの被覆が短縮されたが、2人の偉大な実験家、レーナルトとテスラが、それに価値があると明言していなければ、もっと早く廃止されていたであろう。最近では被覆がすべて廃止されているが、X線管が損傷することではなく、それに加えて明らかな利点もある。このようなX線管を図27-56に示す。ステムを裸のまま支える方法は優れており、ステムの径が3/16インチと大きければ、X線管の使用、運搬中の相当な衝撃にも耐えることができる。

(Electrical Review 1899.4.26)

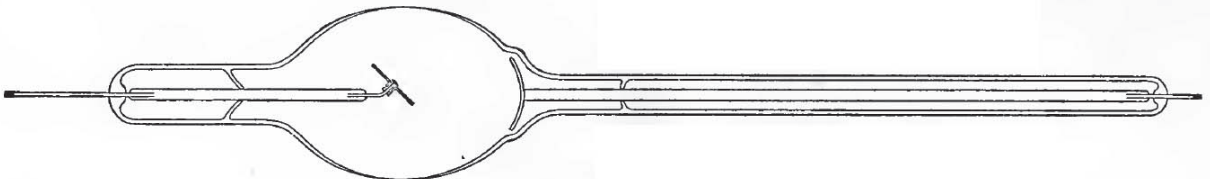


図 27-56. 分子間真空調整管と裸ステムの電極を備えた回転ターゲット X 線管

## 電解水素真空度調整管

AN ELECTROLYTIC HYDROGEN VACUUM  
REGULATOR

図 27-57 に装置を示す。これは、酸性水を部分的に充填したガラス管で、ゴム製コルクで封印されており、コルクは支持台としても機能している。調整管に水素を入れるには、調整管の表面にガスが放出されるように電線を接続する。調整管は、ガスを急速に吸収する金属とする必要がある。この装置は個人的におもしろいと思うが、誰かの役にも立つかも知れない。

(Electrical Review, April a6, 1899.4.26)

[47] ノート 77, ノート 80, 図 35-68 参照。

## X 線の透過性に及ぼす温度の影響

PENETRABILITY OF X-LIGHT INFLUENCED BY  
TEMPERATURE

1896 年、エジソンとトンプソン (S. P. Thompson) は、真空管の外側を冷却すると X 線の透過性が増大することを発見した。エジソンは、X 線管周囲を油で覆い、それを寒剤混合物に浸した。これらの観察結果は、他の研究者にも確認されており、X 線の波長は陰極線粒子がターゲットに衝突して上昇した温度に依存するという、ノート 30 で述べた事実の誤りを示すものとして引用されている。しかし、この 2 つの事実は矛盾するものではない。

真空管の外側を冷却すると X 線透過力が増大する理由は、真空度が高く保たれるため、陰極線の速度が速くなり、結果として波長が短くなるからである。波長が短いほど、X 線は高密度のものを透過するようになる。温度がどれだけ大きな違いを生むかは、X 線管を冷たい状態で励起し、再び熱い状態で励起して、真空ポンプのゲージを読めば容易に知ることができる。さらに、焦点管では、励起された管の外側を冷却しても、粒子が衝突するターゲットの温度に大きな変化がないことが容易にわかる。これは、X 線が発生する場所であり、温度の X 線特性への影響を研究したい場合はこの温度を変更する必要がある。

(Electrical Review 1899.9.20)

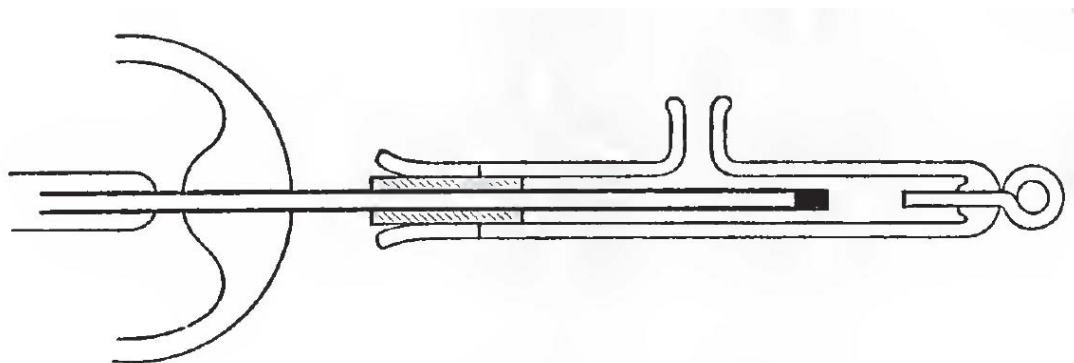


図 27-57. 電解水素を X 線管に導入する方法

## 真空度がターゲットの温度に及ぼす影響

## THE EFFECT OF THE DEGREE OF THE VACUUM ON THE TEMPERATURE OF THE TARGET

- ・ターゲットの外観は真空度によって異なる
- ・低真空度では、全てのエネルギーが長波長光に変換されX線は発生しない。すなわち真空度は通常光に対するX線の比率を決定する
- ・陰極線のターゲットへの衝撃は、X線だけでなく他に多くの光線を発生する
- ・X線管の抵抗が上昇すると他の光線に対するX線の比率が増大するのはなぜか

X線管について興味深いことの1つは、真空度が上昇するにつれて、陰極線が衝突するターゲットの温度の変化の観察である。抵抗が空気の4分の1インチ程度になると、強力な発電機からターゲットに非常に大きな力が加わるため、ターゲットは直ちに熔融し、白金は輝く星のように飛散する[48]。この光は非常に強く、数フィート離れたところで普通の印刷物を容易に読めるほどである。

しかし、電流を適時に停止してターゲットを保護しつつ、ポンプ排気を継続して行くと、同じ発電機でもターゲットが赤熱するだけの段階に達する。また抵抗が16インチ空気層と等しくなると、ターゲットを赤熱することさえ不可能となる。しかし、この真空度の上昇に伴い、X線の透過力が増大する。真空度が上昇するにつれて、エネルギーの大部分がX線となり、通常光や熱となる割合は減少する。従って、高真空度を使用して組織の分解能を得ることが実際的である場合は、それが実際に望ましい。

初期には、新しいX線管の真空度は速やかに高くなり過ぎて役立たなくなるため問題があったが、分子間真空度調整管の導入により、この問題は克服された。言い方を変えると、真空管は真空度と電流エネルギーに応じて、熱、通常光、X線の発生源となる。すなわち、抵抗が増加すると、電流を運ぶ粒子数は減少するが、それでも電流を運ぶ必要があるため各粒子はより高速で移動し、より大きな力でターゲットに衝突して、短波長、つまりX線の割合が増加し、より長波長、つまり通常光と熱の割合が減少する。

(Electrical Review 1899.9.20)

[

48] ノート 46 参照。

## 電解式断続機用 X 線管

## X-LIGHT TUBES FOR ELECTROLYTIC BREAKS

- ・電解式断続器用 X 線管の示説

電解式断続器[49]を使用して単焦点管を励起すると、通常の断続器を使用する場合よりも鮮明度が低下し、X線管が早く黒化する。単焦点管とは、単一の凹面陰極の焦点に陽極が位置してターゲットとして機能し、陰極線を受けて陰極線が当たる小領域からX線を発生するX線管である。

鮮明度の低下の原因は何か？それは、陽極から出る粒子の大部分が、陰極線の速度に近い速度を持つためである。言い換えれば、交流特性がより顕著で、テスラコイルの放電のタイプに近づくからである。その結果、陽極流を作る粒子がX線管の様々な場所に衝突し、個々の粒子がX線発生中心となるのに十分な高温に加熱され、ノート17で述べた現象がより顕著に発生する。電解式断続機を使用する場合、単焦点管は良好な鮮明度を得るには最適ではないことが分かる[50]。この形式の断続器には、二重焦点管が適している。二重焦点X線管には2つあり、1つはトムソン教授の発明になるもの、もう1つは筆者のものである。トムソン教授のX線管は、両電極からの放電を利用するためはるかに経済的であるが、X線の放射領域が2つあるため鮮明度は後者ほど良好ではない。トムソン教授のX線管を電解式断続機に適したものに改造したものについては、ノート17で説明した。図30-61にその最新版を示す。

医学的用途では多くの場合、高度の鮮明度よりもX線光量の方が重要である。従ってこのX線管は、テスラコイル、電解式断続器との使用に優れている。テスラコイルや電解式断続機を使用して、ある程度光量を犠牲にしても良好な鮮明度が必要な場合は、ノート16に示すX線管が適している。図28-58に、機械的構造を改良し、より効率的にしたこのタイプの最新のX線管を示す。

図29-59は、このタイプのX線管に回転ターゲットを付けたものである。ノート16に述べたように、第2の領域からのX線、すなわちターゲット背面からのX線は照射野外に投射され、単一の放射領域のみが残る。この放射領域はサイズが小さいため、あらゆる方向にX線が放射される単一の点と見なすことができる。図31-60に、図28-58のX線管の元となった設計を示す。Nは、正常な陰極線がターゲットに衝突する位置を示す。ここに光球が発生し、その半分は白金で遮蔽される。この結果生じる半球のうち、絞りの開口部を通過する円錐状のX線だけが利用される。これについてはノート36に詳述した。Dは異常な粒子の流れがターゲットに衝突する位置で、そこからX線が球状に広が

り、その半分が白金により遮蔽される。この結果生じる半球は絞りを通過できないので、鮮明度を低下させない。この図はしばらく前に作成されたもので、その後、ガラス職人の作業を容易にするために変更が加えられている。

電解式断続機を使用すると単焦点管の黒化が進む理由については、なお検討の余地がある。これは、陽極から剥離する白金粒子の数が多いためである。二重焦点管では両極ともアルミニウムのため、金属から剥離してガラスに付着する粒子による変色はそれほどではな

い。この意味で、テスラコイル、電解断続器には、二重焦点 X 線管が優れている。

(Electrical Review 1899.9.20)

[49] 1903 年追記。通常の断続機はコンデンサーと共に使用されるため、誘導電流がより単方向性となりやすい。電解式断続機を単焦点管と一緒に使用する場合は、X 線管内の放電を単方向性にして黒化や X 線の二次光源を避けるために直列火花間隙が必要である。

[50] 1903 年追加。直列火花間隙により逆方向放電を制御し、適当な絞りを使用すると、鮮明度は充分なものとなる。

[51] 二重焦点 X 線管はレントゲンが発明した。

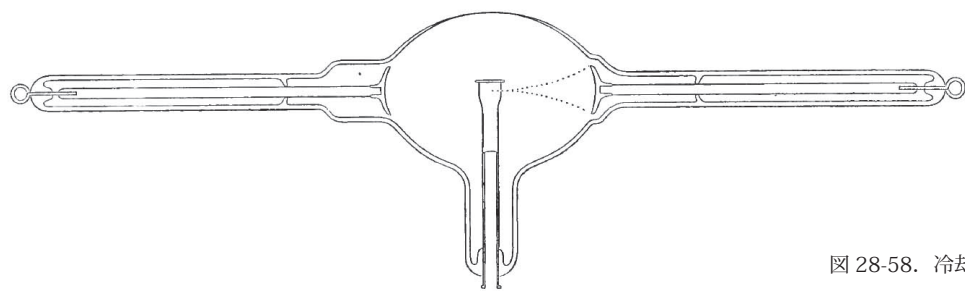


図 28-58. 冷却ターゲットをもつ二重焦点 X 線管

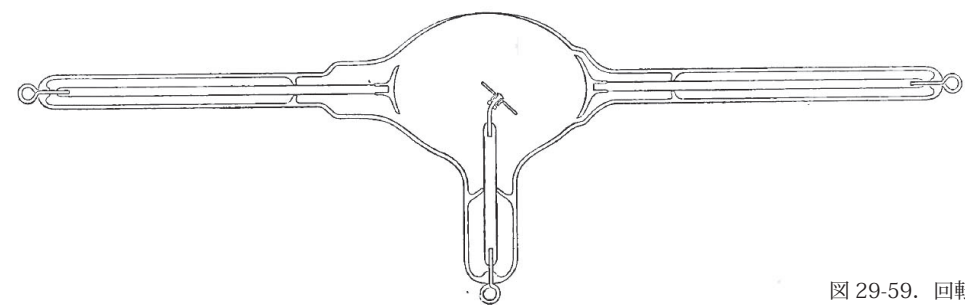


図 29-59. 回転ターゲットをもつ二重焦点 X 線管

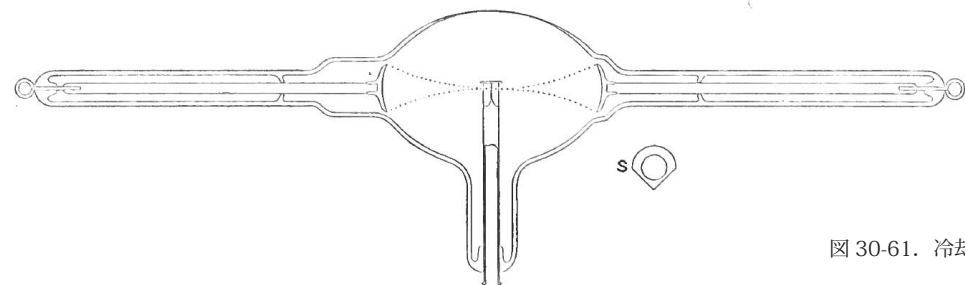


図 30-61. 冷却ターゲットをもつ二重焦点 X 線管

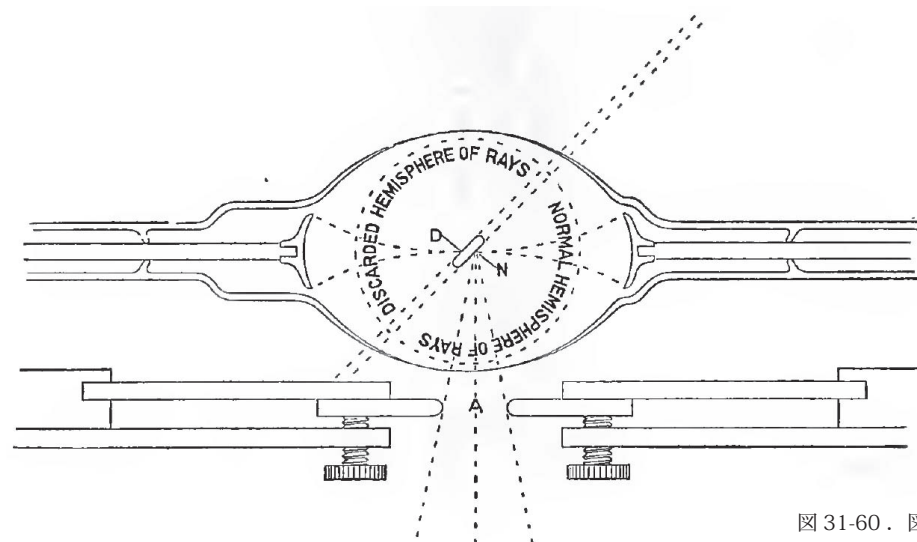


図 31-60. 図 28-58 の X 線管の設計図

## ターゲットを陽極とすると光量が増加する

THERE IS MORE LIGHT WHEN THE TARGET IS AN ANODE

- ・ターゲットを陽極とするとなぜ X 線光量が増加するか
- ・ターゲットが陽極と陰極の間にある X 線管

1896 年、ロッジ (Lodge) は、X 線が陰極線の衝突面から発生することを示した。これはレントゲンも述べたことであったが、ロッジは陽極が衝撃点に位置する時に、X 線が最もよく放射されるという重要な点を付け加えた。ノート 16 で、ターゲットを陽極にし、単に電線を切断しても、光量はあまり減少しないと述べた。しかし、ロッジは正しかった。その後製作されたさまざまな形の X 線管で写真撮影を行った結果、ターゲットが陽極でない場合は露光時間が長くなり得ることが証明された。

ヴァーリーとクルックスが示したように、陰極線は負の電荷を持つ粒子から成る。ターゲットが陽極の場合、粒子は接近するにつれて引き寄せられ、速度が増加する。従って、衝撃の力は増大し、温度上昇が増強する。これは以前のノートで示したように、X 線と低周波数の光の比率が大きくなることを意味する。これは医学的には重要である。露光時間が短いことは好ましいからである。

(Electrical Review, October 25, 1899) [52]

[52] 三電極 X 線管の説明とその利点について述べたノート 14, 15, 16, 31 も参照。

## X 線管内の水素の爆発

OUTBURSTS OF HYDROGEN IN X-LIGHT TUBES

- ・異常な陰極線とその原因
- ・2 次的 X 線源
- ・陰極内の粒子がつくる陰極線

ノート 29 で、強力な発電機で使用する X 線管のポンプ排気法について述べた。さらに大型の発電機用の X 線管を製作した経験から、多くの興味深い現象が明らかになった。その 1 つで実用的な意味を持つものについてここで述べる。このような発電機用の X 線管を製作するに当たっては、真空度を高くするとともに、ガラスおよび電極に含まれるガスを十分に排気することが重要である。これにより、使用中の真空度低下を防止できる。理想的な方法は、X 線管がその後使用される同じ発電機で励起されている状態で、ポンプで排気することである。従って、各病院にはこのための携帯型ポンプを配備するべきである [53]。このような態勢が商業的に整うまでは、これは実験家のみが実用できる方法である。

そのため、ポンプ排気しながら励起する場合に比べて、強力な発電機の使用下で X 線管が最大効率に達するまでの再調整に相当な時間が必要となる。このような X 線管に、強力な発電機の電流を最初に流すときに観察すると、陰極線が正常ではないため、光量と鮮明度がいずれも不十分となる。陰極の金属のガスは、背面よりも凹面でよく除去されているため、大きなエネルギーは、陰極の凹面から放出されにくいものと思われる。この結果、陰極の背面の金属から、定常的に不規則な水素爆発が発生する。

このような粒子の速度は非常に大きいため、これがガラス管に衝突すると X 線を発生する。衝突するとガラスが明るく緑に発光する。X 線管を励起したままにしておくと、この状態は消失し、陰極線は正常になる。こうして正常な陰極線がターゲットに到達するようになると、X 線量は増加し、鮮明度も回復する。さらに観察すると、ターゲットに衝突して X 線を発生させる粒子の少なくともかなりの割合が陰極の金属に由来するもので、管内を循環しているものではないことがわかる。つまり陰極は、銃口装填式銃であるだけでなく、水素の弾丸を装填した弾倉を備えた連射銃でもある。

(Electrical Review 1899.11.1)

[53] ノート 173 参照。適切な装置の図あり。

## スリットのあるターゲット／陽極

### A TARGET-ANODE WITH A SLIT

・ X 線管製作の原理

当初, X 線に関する様々な理論があった. その 1 つは, X 線は直線状に移動する粒子の流れである, つまり波ではなく実際の光線であるというものであった. 様々な理論をテストする実験のために, 多くの X 線管が製作された. 図 32-62 にそのひとつを示す. レーナルトが観察した光線の空気での散乱を避けるために, 光線は生成された同じ空間中に放出される. ここに示すように, ターゲット／陽極は, 陰極の長軸と垂直に置かれている. したがって, ヴァーリー線の中心部はその表面に対して垂直に衝突し, 辺縁部は小さな角度をもって衝突する. ターゲットの表面が粒子に対して滑らかであれば, このような設計のためターゲットが通常の 45 度の場合よりも粒子が集中し, 衝突が増加する. しかし, 粒子は小さく, 表面は比較的粗いため, X 線管が発生する光量はあまり増加しない.

図の X 線管では, ヴァーリー線の衝撃によって生じる放射領域は, R から伸ばした線がターゲットと交わる位置である. またこの領域の直近に, 別の白金片をターゲットにリベットで留めたスリットがある. このスリットの幅は 1/100 の 1 インチで, X 線の通過方向の長さは 0.5 インチである. スリットは, ターゲット上で最大輝度の場所にできるだけ近づけて置く. スリットを通過する光線は, B に向かって開散する点線の方

(Electrical Review, November 1, 1899).

[54] 1901 年追記. これは, 非荷電粒子についてのみ言える. ノート 3 で述べたように, 荷電粒子は散乱する. X 線が荷電粒子でも非荷電粒子でもないことを示す実験については, ノート 109A を参照. アルミニウムコンデンサーについては, ノート 133 注も参照.

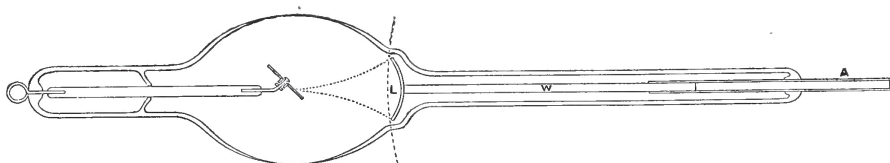


図 33-63. 中空陰極をもつ X 線管.

## ベルのように鳴る X 線管

### AN X-LIGHT TUBE THAT WAS A BELL

・ 陰極が振動して分子の衝突により音が鳴る X 線管

図 33-63 に, 陰極の基部が, ガラスに封入された中空の白金調整管だけで支持されている X 線管を示す. この結果, 陰極は点線の弧の方向に沿ってわずかに振動するが, 管壁に接触するほどではない. X 線管を高温で使用しているうちに, 高真空度となった. 冷却したが, 抵抗が高いためにヴァーリー線の放出が難しい状態となり, 以前のノートで述べたように側方放電 (lateral sparking) が発生した. まもなく, 陰極が振動し始めた. 電極間の管球上手を置くと, ヴァーリー線が放出されるようになり, 振動は停止した. 陰極板の後ろで基部をつかむと, ヴァーリー線は放出されず, X 線管の振動を感じた.

この現象の原因は, 陰極が振動できる状態で, その端から放出された粒子と同符号の電荷による相互反発が起こって押されたためである. 衝突するのは分子より小さなものではあるが, 粒子が規則的な放電でガラスに衝突することにより振動はリズムカルになり, ガラスがベルのように鳴った. その音は 4 フィート離れても聞こえた.

(Electrical Review 1899.11.1)

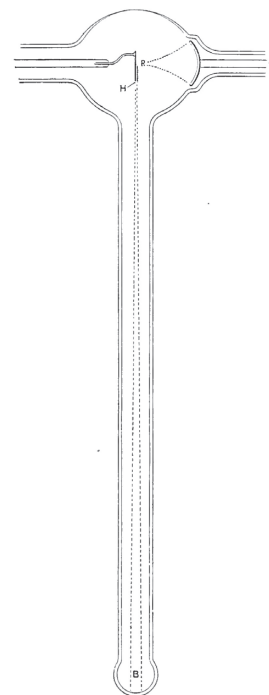


図 32-62. 中心陰極線がターゲット表面に垂直にあたる X 線管. ターゲットにはスリットが設けられ, 通過する X 線広がりを観察できる.

## 陽極あるいはターゲットの接地

### GROUNDING THE ANODE OR THE TARGET

- ・陽極を接地すると X 線量が減少する

多くの X 線取扱者は、陽極を接地する。患者の火傷を防ぐと考えられているからである。以下の実験は、これによって光量が減少することを示す。図 6-2 あるいは図 29-59 に示す X 線管で、陽極でもあるターゲットを細い電線で接地する。この電線は、X 線透視装置を覗きながら簡単に取り外すことができる。接地線を切ると、ただちに輝度が増大する。凹面アルミニウム電極の 1 つを陽極とし、白金板ターゲットだけを接地して同じ実験を繰り返しても、同じ結果が得られる。

(Electrical Review 1899.11.8)

..

## 調和の力

### THE POWER OF HARMONICS

- ・高抵抗のため電流が流れなくなった X 線管に律動性サージを与えると発光するようになる
- ・この現象を説明する理論の提示

ノート 60 の図 27-5 に示した X 線管を、ノート 67 の発電機に取り付けた。並列に接続した火花間隙を 15 インチまで広げたが、X 線管は放電しなかった。そこで 2 つの多重火花間隙を直列に、X 線管の両端に接続した。これを制御するコードを手に持ち、X 線管が点灯するサージの頻度を調節した。点灯すると直ちに並列火花間隙に電流が流れなくなり、X 線管の抵抗が小さくなったことがわかった。なぜ多重火花間隙によって X 線が発生するようになるのか。理由は以下の通りである。

X 線管は、強力な発電機と使用するために高真空中に排気されていた。これは大病院で、発光しなくなるまで使われていたものである。陰極のアルミニウムにしっかり保持されていなかった水素はすべて、長期間の使用によって追い出され、15 インチ空気相当の火花間隙の電圧でも火花が飛ばなくなった。電気サージの目盛を上下に動かして水素粒子の調和点が見つかる。水素粒子はますます強い振動に投げ込まれ、アルミニウム粒子の引力を逃れて飛び出し、高速でターゲットに衝突し、非常に透過力の高い X 線を発生したのである。30 フィート離れたところで心臓を透視できるほどであった。半時間観察した後、直列火花間隙を閉じた。並列火花間隙を短くして、X 線管の抵抗を測定したところ 1/10 インチ以下であった。火花の色は深い青色で、ヴァーリー線とターゲットの反射はいずれも白色で、X 線はでなかった。これは、短時間の運転期間中に、大量の粒子が管内の循環系に放出されたことを示している。この実験は、X 線管用発電機には高電圧が望ましいという、ノート 39 の記述の重要性も証明したことになる。

(Electrical Review 1899.11.8)

## 巨大な陰極

## MASSIVE CATHODES

- ・通常よりも大きな陰極の提唱

このような実験によって異なるタイプの X 線管が発明されるまで、メーカーの目標はできるだけ小型で非常に軽い電極の管球を作ることにあった。陽極は小さな白金箔で作られ、陰極はガラス製の支持台を必要とするほど細い軸で支えられた小さく薄いアルミニウムの円盤で作られていた。図 7-C (ノート 19) に、巨大な陰極を示す。後続のノートでは、強力な発電機に耐えられるようそれに応じた強力な X 線管と、水素貯蔵庫として機能するのに十分な大きさの陰極を示す。これは、1 日に何時間も連続して X 線管を使用する病院では、実用上重要なことである。このような条件では、小さな陰極はすぐに消耗してしまうからである。大きな陰極を備えた X 線管は、しばしば 10 時間も強力な発電機につないで消耗することなく発光を持続する。

(Electrical Review 1899.11.8)

## X 線は水素による現象である

## X-LIGHT A HYDROGEN PHENOMENON

- ・陰極線は電子ではなく金属ガスの荷電亜原子から成ることを示す実験

本書のノートには、X 線がいかに関与するかという問題に関する様々な実験や記述が散在している。簡単にいうと以下ようになる。水素の粒子が陰極から勢いよく飛び出し、ターゲットに衝突して加熱され、振動し、エーテルを通常光とは異なる波動に変える。粒子は小さいので急速に熱を失い、周波数と振幅が急速に減少する。この理論はほとんど受け入れられていないので、他説の論者も検討できるような簡単な実験を紹介する。

X 線管をポンプにつないで、X 線を発生しなくなるまで排気する。次に、エーテル理論のいくつかを考えてみる。エーテル理論では、陰極線と X 線は、陰極から発生する渦流あるいはその他のタイプのエーテルの一部であるとする。ノート 69 には、X 線が幾何学的な陰影に投影すると思われる、これらの理論に反する実験を記した。今回の実験では、X 線をもはや発生しなくなった X 線管の陰極がどのように変化しているかを考える。もし X 線が陰極から放出されるエーテルの一部であるなら、X 線を発生しなくなった時は、陰極内のエーテル量が減少していると考えるのは当然であろう。また、実験でエーテルが陰極から追い出されたことが示されるなら、X 線を再び発生するために必要なことは唯一使用を休止してエーテルの復旧を待つことであるが、このような X 線管を休止させても未来永劫漆黒の闇中で微かな火花も発生しない。このような素晴らしい結果は期待できず、おそらく陰極への水素の供給が減って、電気的ストレスと残存水素のアルミニウムに対する牽引力との間に平衡状態が成立しているのが実際のところと思われる。従って、休止だけでは X 線管は再び X 線を発生することはないが、水素を新たに供給すれば結果が得られるはずであり、明るい X 線を得るにはノート 62 に示した電解式調整管を使用するだけで良い。

(Electrical Review 1899.12.6)

## 放射領域の深度

### DEPTH OF THE RADIANT AREA

・ストークスとトムソンの X 線理論

ノート 69, 図 32-62 に, スリットをもつターゲット／陽極を示したが, ここでは同様のスリットをターゲット面から 1/100 インチ浮かせ, その開口部側の縁を開口部の後方 0.5 インチに置く。

X 線管を励起し, スリットを通過した X 線管が作る像を観察する。ここで, ストークス (Stokes) とトムソン (J. J. Thomson) の理論について考える。これは幸いなことに, バーカー (G. F. Barker) 著「レントゲン線」(Roentgen Rays) で読むことができる。

ストークス曰く「これが, 自分が X 線を構成するものだと考えるものである。電荷を帯びた陰極から分子の雨が降ってくる。これは驟雨の中のたくさんの雨粒のようなものだと考えればよい。それらはターゲットに連続的に衝突し, それぞれの分子が衝突すると, 自分がパルスと呼ぶものをエーテル内に生成する。このパルスは, 一部は正, 一部は負に帯電している。周期的な波動と区別するためにパルスと呼ぶものの, 最も単純な形は, 反対方向を向いた 2 つの半波から成るものである。正の部分は必ずしも同じではないが, 伝播方向に測定した幅が広くなると振幅が小さくなるため, 同じものとするのが最も簡単である」。

トムソン曰く「このように, 荷電粒子が停止すると, 強力な磁力と電気力の非常短いパルスが発生することがわかる。粒子が停止すると, 2 つのパルスが起動する。そのうち 1 つは薄い板状で, その厚さは荷電粒子の直径に等しく, この波は粒子の移動向に伝播する。もう 1 つ球状パルスで, すべての方向にむかって外側に広がり, その厚さはやはり荷電粒子の直径に等しい。私が提唱する理論は, X 線は陰極線を構成する小さな負に荷電した粒子が停止したときに発生する, 電氣的, 磁氣的擾乱の細いパルスであるというものである」。

ケルビン (Kelvin) によれば, 水素粒子の直径はおよそ 1cm の 1/1,000 万である。従って, これらの理論に基いてエーテル内で起こる振動の大きさは, この値よりも大きくであろう。この大きさであれば, スリット上にある 1/100 インチの白金は深い崖となり, その影の中にスリットは静かに横たわり, 照らされても薄暗いであろう。はるか下にある放射領域からの直接光線は, スリットに全く届かないからである。なぜなら, これらの理論によれば, 白金崖の底にある放射領域の深さは水素粒子の直径程度しかないからである。しかし, スリットは非常に明るく照らされており, 30 分の露光で回折縞が得られ, 2 フィートの距離にある蛍光透視装置に明るい画像が映し出されたことから, 陰極線の

粒子がターゲットへの衝突によって非常に高温に加熱されるという筆者の以前の説明の方が正確であることが分かった。熱が低下するには時間がかかるため, スリットの開口部に跳ね返った粒子は十分な温度を保ち, X 線として知られるエーテル波の発生源の中心となる。このため, 波面がスリットに直接進入して, 明るく照射されることになる。

(Electrical Review 1899.12.6)

## X 線管の排気

### THE PRODUCTION OF A VACUUM IN AN X-LIGHT TUBE

- ・ X 線管のポンプ排気法
- ・ X 線管内での水素と酸素の静かな結合
- ・ 電気サージによってガスが除去された X 線管の陰極による水素の吸収を示す実験

強力な発電機で励起された X 線管の使用経験者は、次のような現象を観察しているはずである。自動調整器のない X 線管を購入して励起すると真空度が低下し、X 線を発生させるためには長い直列火花間隙の接続が必要となるか、あるいはメーカーに返却しなければならないほどまで低下するかのいずれかとなる。強い負荷をかけると、管内にガスが導入される。再ポンプ排気後、改善はするが、長時間使用すると逆の効果が現れる。すなわち、真空度が非常に高いため、破裂を防ぐために使用前に加熱する必要が生じる。その後さらに使用すると、加熱も無効な段階に達する。次いでカリウム管を加熱するが、まもなくこれでも抵抗が十分に下がらなくなる。こうなると、X 線管を再ポンプ排気のためにメーカー返送することになる。その後しばらくは使えるが、外観は異なる再びカリウム管で真空度を低下できるが、X 線量は減少し、ガラスの色も鈍くなる。再度ポンプ排気できるが、新品のように戻ることはない。何故か？ 理由は、陰極の水素が事実上枯渇しているからである。さらに強力な発電機でより大きな負荷をかけない限り、これ以上水素を放出できない。放出できれば X 線が発生して元に戻る。小さな発電機では、X 線管を作動できなくなる。以下の実験はこれを示すものである。

新しい X 線管をポンプにつなぎ、X 線が出なくなるまで、通電して高温のまま排気する。調和振動により陰極線が流れはじめるが、できるだけ長くこれを維持して、X 線が消失するまでポンプ排気を続ける。ここで、水素以外の通常的气体を導入して、真空度を低下させる。すると陰極線が流れはじめて、弱い光線が出る。光線が消えるまでポンプ排気を継続し、さらにガスを導入する。この方法で、数時間で、長期間使用したのと同じ結果が得られる。得られた X 線管は古く、鈍い状態である。ここで、電解式調整管で水素を導入する。ガスは陰極に吸収されるため、真空度をほとんど低下させずに 1 時間継続できる。

これは次の方法で証明できる。陰極線を開始できる程度に十分量の水素が導入されたら、直ちに X 線管を通電したままとする。つまり、このヒドラの口を持つ怪物が新しい水素を飲み込めないように、陰極から水素を排出し続ける。すると真空度が低下してゆくのがわかる。青味がかった美しいローズピンクになる。し

ばらくすると、X 線管は新品同様に明るくなる。この実験では、古い X 線管から新しい X 線管を作るためには水素が必要であることを示しているように思えるが [55]、次の実験が示すように、実用的な目的では純粋な水素真空は他の種類の真空に劣る可能性がある。

前記の方法で、X 線管が古い状態になるまで排気し、明るく光るまで水素を導入して、通電した状態でポンプにつなぐ。一定時間後に他のガスは排気されるので、事実上 X 線管内のガスは水素だけとなる。このような X 線管は、すべての発電機で利用できるわけではない。なぜなら、冷えた状態では真空度が高くなりすぎて、小型の発電機では容易に起動できないためである [56]。これは、X 線管が休止しているときに水素が吸収されるためである。陰極に大量の水素がある場合は容易に起動するが、使用中にすぐに消耗して、水素が十分な速度でターゲットに衝突して X 線を発生するために長い直列火花間隙が必要となる。我々が求めているのは、容易に吸収されず、背景真空 (groundwork vacuum) を維持できる安定なガスである。

我々は通常、窒素を不活性ガスと考えるが、この条件下では安定ではなく、無水炭酸も永続的ではない。酸素は非常に興味深いが、完全に満足できるものではない。酸素に関するいくつかの現象が知られている。ノート 50、図 25-52 に示すように、水素または酸素を導入できる調整管付き X 線管を製作した。これを、高度に劣化するまで通電状態でポンプにつないだ。その後、大部分が酸素となるまで酸素をくり返し導入した。X 線管に通電し、水素流を流した。1 時間後、真空度は低下しなかった。水素はどうなったのだろうか？ 陰極はガスを放出していることから、陰極内に入ったわけではない。我々は、水素と酸素の結合は、爆発的な反応であると考えがちである。しばらくの間、何が起きているのか理解できなかったが、ガラス管を少し加熱してみたところ、真空度が急激に低下したことから筋書きが明らかとなった。電気火花の下で、発熱反応が静かに施行していたのである。基礎真空に完全に適した永久ガスは見つからず、スペクトル分析で水蒸気を除去するのがいかに難しいかを経験的に知っていたため、ガラスと水のような良き友を引き離すのも忍びなく思い、その親和性を利用した実用的な用途を見つける試みを行った。実験は成功し、1 本の X 線管に 2 つの調整管を設け、1 つに水素、もう 1 つに水蒸気または酸素を導入することした [57]。

(Electrical Review 1899.12.13)

[55] 水素を使う時は、X 線管内で金属ナトリウムを加熱する必要がある。さもないと、水蒸気が発生して結果がわかりにくくなる。

[56] 自動調整管のない X 線管の場合。

[57] このような調整管についてはノート 50 を参照。

## パラジウム分子間真空調整管

PALLADIUM INTERMOLECULAR VACUUM  
REGULATOR

- ・X線管, その他の真空管に乾燥水素を導入するパラジウム調整管の製作法

以前のノートで, 真空度を調整する様々な方法について述べた。ノート 62, 図 27-57 では電解式調整管を示した。装置の原理を知ることと, これを商業的に安価に製造することの間には, しばしば長い道のりがある。この調整管が安価に製作されるまでには相当な時間が必要であった。ペイカー社から入手できるシームレスな白金X線管は, 径 1/50 万インチ, 壁厚 15/1,000 インチ, 長さ 1 インチである。一方の端は, 厚さ 3/1,000 インチのパラジウムで閉じられ, 金で溶接されている。この形の調整管は白金製の熱調整管より安価である。筆者が所有している管は, 長さ 2.5 インチで, それでも注意しないとガラスが割れてしまうからである。

図 27-57 に示すようにX線管に短い管をフィーダーに取り付け, これを水で満たして, 水を分解するに十分な強さの電流を流すと, パラジウムが正極か陰極かに応じて, 水素がX線管に流入するかあるいはX線管から除去される。エジソンの 110 ボルト電流を使える場合, 最も簡単な方法は, 電灯ソケットに電線を接続し, 16 燭光の電球 2 個を直列に各電線に 1 つずつ接続して, 電線をフィーダーにつなぐ方法である [58]。商用電流が利用できない場合は, 携帯容器入りの乾電池を数個を使えばよい。

(Electrical Review 1899.12.13)

[58] ノート A 参照。

## 安価な X 線管用の化学水素調整管

CHEMICAL HYDROGEN REGULATORS FOR CHEAP  
X-LIGHT TUBES

X線管は 5 ドルでも購入できるが, メーカーの利益は非常に小さいため, 白金を節約する必要がある。従って, 白金やパラジウムの分子間調管を使用できず, カリウム管や酸素管もついていない。2 年前, 筆者は X 線管メーカーに水素を放出する化学的調整管の製作を教えたが, 彼らの仕事は主に病院に最高品質の X 線管を提供することなので, ほとんど利用されていない。この方法は, 廉価 X 線管の価格にわずか 5 セントの上乗せで済むので, 廉価な X 線管と組み合わせて使用する価値があるものとして現在公開されている。ガラス架台が軟化する温度以下の温度で水素を放出する化学物質を小さな補助管にいれるだけで, 廉価な X 線管を復活させることができる。この化学物質は, 蟻酸ナトリウムである。

(Electrical Review 1899.12.20)

## X線管のステムの支持法

### SUPPORTING THE STEMS OF XLIGHT TUBES

ノート 61 で、X線管の電極ステムに広く使用されているガラスの被覆は不要であるばかりでなく、望ましくないと述べた。図 27-56 には、ガラス管と一体成型された隔壁構造 (ダイアフラム) に支えられた丈夫な裸のステムを持つ X線管を示した。しかし、耐久性があり、美しく、効率的であると同時に、構造が簡単な X線管を目指すのであれば、このような支持法はやめるべきである。その製作には優れた職人が必要で、シール部分のガラスが割れるからである。

現在では、ステムは金属環 (カラー) で支えられている。この構造を、回転冷却ターゲット X線管に応用したものを図 43-64, 65 に示す。この図では、電解式調整管が陰極ステムの支持となっており、白金電線が 1 本不要になる。この白金調整管の位置は長い間採用されてきたが、白金管が長いため、調整器を横に置く場合よりも X線管が破損しやすいという批判があった。しかし、現在の電解式調整管は非常に短いので、これには当たらない。図 35-68 にこの調整管の詳細を示す。

(Electrical Review 1899.12.20)



図 34-64. 回転ターゲット, パラジウム真調整管, 裸の電極ステムをもつ X線管

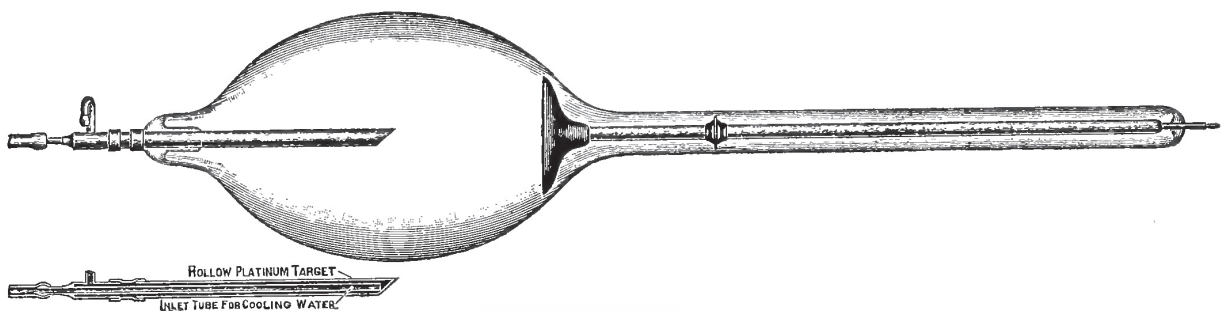


図 34-65. 冷却ターゲット, パラジウム真調整管, 裸の電極ステムをもつ X線管

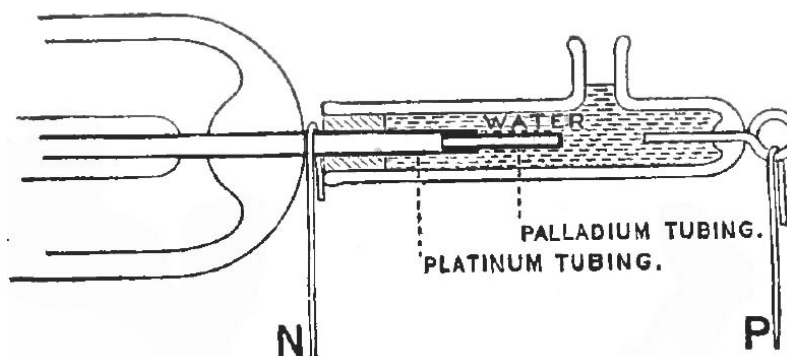


図 35-68. X線管に水素を導入する電解式調整管の詳細図。

## 穴あき電極の外観

### APPEARANCES OF PERFORATED TERMINALS IN VACUUM TUBES

以前のノートで、穴あき電極 (perforated terminal) について述べた。その外観についてはゴールドスタイン (Goldstein) が述べているが、説明されていない。これについて、以下のように説明する。開口部の側面から垂直に放出される水素粒子は、互いに接近するが同じ符号の電荷を持つため相互に反発し、運動曲線はこれら 2 つの力の総和となる。通常、この現象は尖った炎のような外観を呈する。凹面陰極の裏面から放出されることは自然ではない。

(Electrical Review 1900.1.10)

## 金属中の水素

## HYDROGEN IN METALS

電気的ストレス下での挙動を研究するために、ほとんどの一般的な金属で陰極を作ったが、そのほとんどに水素が見いだされた。たとえば、亜鉛には水素が豊富に含まれており融合している (amalgamated) ため、X線の発生については優れた陰極となる。常温で固体中に水素が豊富に含まれていない金属は、大きな負荷がかかると陰極が突然溶ける可能性がある。これは、電気が直接熱に変換される興味深い例である。電気を運ぶのは金属粒子だけなので電気が逸脱することはないが、これらの粒子は重いので、軽い水素粒子ほど効率的ではない。

(Electrical Review, January 10, 1900.)

## X線管のコスト低減

## REDUCING THE COST OF X-LIGHT TUBES

- X線管成型において通常の吹き込み法のかわりにガラス箱の利用を推奨
- ガラス壁内面に金属沈着物がない新しいX線管の利点
- X線管内の金属沈着物は陰極線のエネルギーの一部を分散して効率を低下させる

すべての医師がX線を利用できると良いが、この喜ばしい日が早く到来するためには、X線管は頑丈、効率的、美しいと同時に、安価である必要がある。このノートでは、決して最新というわけではないが、このような試みをいくつか紹介する。

図 35-69 の X 線管は、1 枚ガラスで作られている。裸の電極ステムが、封入時に挿入されるが、これは円板でバランスしており、重さによって軟らかい加熱したガラス上でずれることはない。この製造は簡単で、安価な労賃で可能である。回転ターゲット、および電解式調整管あるいは化学的水素調整管を備えれば、長期間使用できる。黒化、破裂、破損した場合は、水素を充填した後で電極を取り外し、新しい X 線管に入れるだけで済む。X 線管は高価なものである必要はなく、あるメーカーは、図 36-70 のような管球を 50 セントで製造すると言っている。図 36-71 のように、両端を切断し、古い電極を封入すれば、ほとんど新品となる。これは実用上重要な点である。

黒化した X 線管はガスを吸収、放出することで動作が不安定になり、付着した金属が導体として働いて陰極線の一部をそらして効率を低下させるからである理想的な X 線管の状態は、エネルギーがすべて陰極線内に集中して、ターゲットの小さな面積に到達する状態である。

(Electrical Review 1900.1.10)

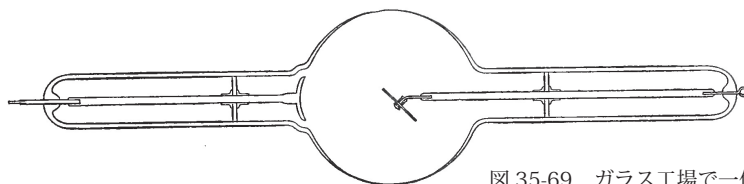


図 35-69. ガラス工場で一体成型された球部による X 線管。

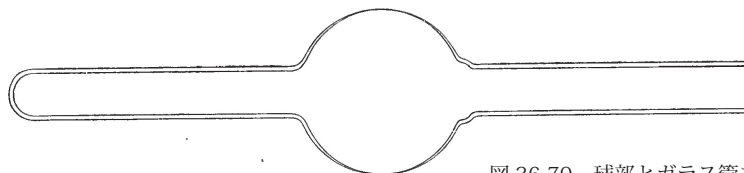


図 36-70. 球部とガラス管を成型した X 線管。

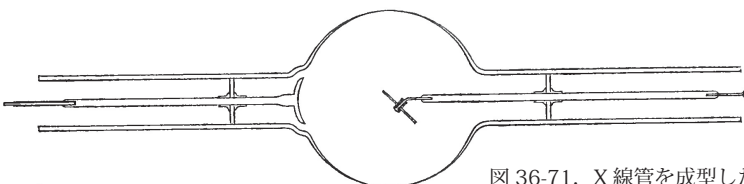


図 36-71. X 線管を成型した球部から製作する一段階。

# 水銀陰極－陰極線の自由電子説とエーテル説

## MERCURY CATHODES — THE FREE ELECTRON AND OTHER ETHER THEORIES OF CATHODE RAYS

- ・陰極の白金を水銀で被覆した水銀陰極 X 線管
- ・水銀陰極はなぜ X 線を発生しないか
- ・陰極線の自由電子説への応用

陰極線に関する定量的な研究の中で最も素晴らしいものの一つは、J. J. トムソンによる粒子の電荷の決定である。彼は、これが電気分解における水素原子の  $10^{-3}$  であることを発見し、その結果、陰極線は究極の微粒子から成ると結論した。我々の多くは、質量の概念をそのような小さな単位まで縮小することに納得したが、サザーランド (Sutherland) はそうではなかった。彼は、Philosophical Magazine 3 月号で質量の概念をすべて否定し、自由電子がエーテルに現れて陰極流を形成し、イオンの存在は単に偶発的なものであると述べている。そして自由電子を、電気の球殻と定義している。以前のノートで述べたように、陰極は水銀を含むあらゆる一般的な金属で作られてきた。筆者は、サザーランドの理論に注目し、水銀陰極を使った実験を追試した。

図 37-72 に示すような X 線管を製作し、A のように白金製の両極が水銀で覆われていない状態でポンプに接続し、X 線が出るようになるまで排気した。点線のようにステムを曲げて X 線管を B の位置に移動すると、液体金属が白金陰極を覆い、陰極は水銀製となる。再び通電すると、X 線は出るが手の骨は見えない。なぜなら、波長が長過ぎて組織内で散乱してしまうからで

ある。筆者は物理学者ではないので、理論といっても、医療用の安価で効率的な X 線管を作ろうとする中で「たまたま考えたこと」に過ぎない。従って、陰極線のエーテル理論をどれも批判するわけではなく、これらの理論を唱える人が水銀陰極で X 線が発生しなくなる理由を説明できることを期待して、実験について言及するものである。なぜなら、エーテルは他の場所と同様に水銀にも確かに存在するからである。少なくとも、これを反証する実験はない。X 線管を元の位置に戻すと、再び X 線が放出される。

以下のような説明が可能であり、これはロウランドの凹面格子の実験でも確認できる。水銀陰極が効率的でない理由の 1 つは、この金属が十分な水素を含有していないからである。そのため、電流は金属によって運ばれるが、金属は重いため、X 線を放射するために必要な高温まで粒子を加熱するような力でターゲットに衝突できない [59]。白金を再び露出すると、水素が噴出して通常の現象が起こる。費用の制約のため、考えられる無数の実験の中から慎重に選択する必要があるが、将来役に立つ研究の方向性を示す簡単で安価な実験があるといつも喜ばしく思う。筆者は、知識のための知識を求めているのではなく、努力して謎を解明し、それを他の人々が応用して憂き世の病苦を軽減することを望んでいるからである。

(Electrical Review, January 17, 1900)

[59] 毎分陰極線で運ばれる水銀の量が多いことは、陰極線が通常推定されるよりもはるかに大きな粒子で構成されていることを示している。X 線管のガラス内面に付着した水銀から明るい鏡を作るのに数分しかかからない。パラジウム陰極でも、金属からガスが除去されると、同じ現象が急速に起こる。

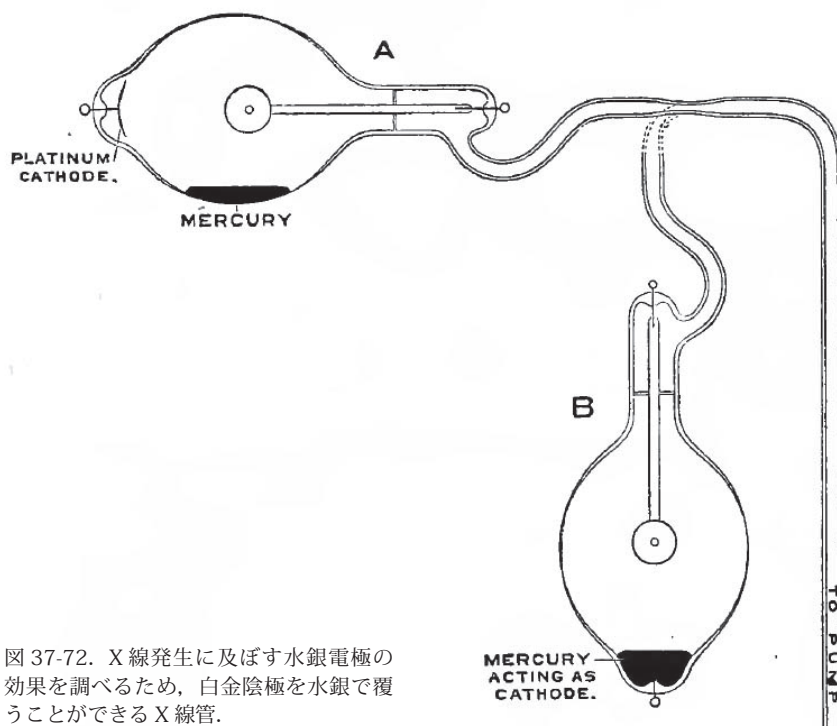


図 37-72. X 線発生に及ぼす水銀電極の効果調べるため、白金陰極を水銀で覆うことができる X 線管。

## 陰極線粒子の電荷

### THE CHARGE ON THE PARTICLES OF THE CATHODE STREAM

- ・生体の骨を描出しうる最長のレーナルトのエーテル波としての X 線
- ・陰極線の温度が高いほど発生する X 線の波長が短いとする説

理論の魅力のひとつは、それを理由に実験ができることである。たとえ理論が証明できなくとも、現象の美しさはこれを補って余りあるものである。興味深い説の 1 つが、陰極線粒子の速度はすべてのガスで同じである、というものである。いくつかの簡単な実験から、この理論を証明すべき観察結果は、こと X 線管の真空度においては、充填ガスの性質とは無関係に陰極線の電荷が水素によって運ばれることで説明される。前述の理論の一部として、質量と電荷の間に一定の関係があるという考え方を実験で説明する。

図 34-65 の X 線管をポンプで排気し、発電機を全開にして強力な X 線を放出させる。ここで、図 34-65( 詳細は図 35-68) に示す電解式調整管で水素を導入する。真空管内が事実上水素だけになるまでポンプ排気を続ける。蛍光板が明るくなったところでポンプを止めると、手の骨が微かにみえるようになる。この状態では、X 線と呼ばれるエーテル波は、皮膚組織を通常光のように散乱せずに通過しうる最長波長である。このノートで提唱する理論では、陰極線粒子には電荷があり、その電荷が X 線発生に必要な単位速度と呼ばれる一定の速度で粒子を移動させる。次に、手の像が明るくなり、骨の像が相対的に明るくなって骨構造が鮮明になるまでポンプ排気を続ける。この外観の変化は、X 線管内のエネルギーが大きくなったからではなく、発電機的全エネルギーが最初の段階で使われたからである。

以前のノートで、粒子の電荷が増大すると衝突速度が増加し、その結果粒子の温度が高くなり、エーテル波長が短くなると説明した。この実験やその他の実験から、質量と電荷の間に一定の関係があるという理論が確立されたと言うためには、まずこれらの現象を説明する必要があることがわかる。これらのノートで、分子、イオン、原子、超原子、中性子、電子などの代わりに粒子という言葉を使用しているのは、質量や電荷の究極的性質に関する理論に縛られない用語としてである。

(Electrical Review 1900.2.7)

[60] X 線管内の金属ナトリウムを加熱して、水蒸気を除去する必要がある。

## X 線管内のガスの行方

### ON THE FATE OF GAS IN X-LIGHT TUBES

- ・X 線管内のガスの一部は、使用によりガラス内に埋入するという理論
- ・X 線管のガラスが紫色になる
- ・紫色は熱で除去できる
- ・着色の原因

以前のノートで述べたように、X 線管を長期間使用すると、壁が様々な色となって曇るメーカーの厚意により、古い X 線管からこのガラスを大量に回収した。着色の一部は化学的に除去することができ、分析の結果、電極の性質によって異なる金属の沈着によるものと判明した。ガラスの被覆が使われているものでは、これが破損、変色しており、鉛が検出された。ガラスを王水で処理して金属を除去すると、化学物質によって変化しない紫色が残る。[61] ボストンのビーコン通りのいくつかの古い家の南側の窓に似た色である [61]。この紫色は、加熱すると消失してガラスはもとの色に戻る。スペクトル分析では水素が検出される。従って、ガスは単にガラスに埋入されているのではなく、電気的ストレスによってガラスと化学的に結合しているのである。

(Electrical Review, April 11, 1900)

[61] 同様の着色は、ノート 36 の図のガラス製隔壁のような管外にも認められる。従って他の原因も考えられる。

..

## 抵抗の高い X 線管の加熱

ON HEATING X-LIGHT TUBES HAVING HIGH RESISTANCE

X 線管の使用開始後 2 ヶ月までは、管を加熱することで抵抗が低下した。この方法は、しばらくすると無効になり放棄した。しかし、数年の経験から、単にさらに加熱すれば良いということがわかった。その理由の 1 つは、ノート 87 に記した通り、電気的ストレス下で化学的にガラスと結合していたガスが、熱によって放出されるためである。ガスストーブのオープンから、便利なヒーターを簡単に作ることができる。鉄の端の中央をアスベストに置き換え、そこに電極の電線を通す。ガラス扉と温度計があると便利である。加熱の効果を観察できるように、陽極の反対側に小さな穴をあける。以前のノートで説明した分子間調整管は、ガラスが耐えられる程度の熱であれば使用できるが、酸素または水素の化学的調整管では、調整管が付いている側はオープンの外に出しておかないと、熱によって調整管からガスが放出されてしまう。

(Electrical Review 1900.4.11)

## X 線管の抵抗は真空度の目安とならない

THE RESISTANCE OF A TUBE IS NOT AN INDICATION OF THE DEGREE OF THE VACUUM

X 線管の真空度が「硬い」「軟らかい」、「高い」「低い」という表現は使うべきではない。「抵抗」の方が良い。以前のノートで、これがガスの性質、電極の種類、および X 線管の形状によって変わることを示した。X 線管の波長も必ずしも真空度と関係ない。たとえば、水蒸気を多く含む X 線管は、高真空度では、純粋な水素を含む低真空度の X 線管と同種の光線を、程度は低いものの放出しうる。実際、ポンプにつないだ X 線管に任意の線質の X 線を放出させ、ポンプのゲージは同じ真空度を示している状態で、ガスを変えることで短時間で線質を完全に変えることができる。これに関連して、ノート 85 の水銀陰極の実験も考慮するべきである。

(Electrical Review 1900.4.11)

### 解式調整管を水素貯蔵庫として使う

TREATING THE ELECTROLYTIC REGULATOR AS A  
STOREHOUSE OF HYDROGEN

最初の処理でパラジウムが荷電した後、金属内のガスを解放するために、パラジウム管を水に浸すかわりに加熱することもできる。最も簡単な方法は、ノート 80 の図 35-68 に示したように、調整管の上に白金コイルのヒーターを被せることである。加熱し過ぎないように注意する必要がある。低温で充分である。

(Electrical Review, April 11, 1900)

### X 線管のガラスの燐光

THE PHOSPHORESCENCE OF THE GLASS OF  
X-LIGHT TUBES

X 線管のガラスの燐光は、X 線の発生とは無関係で、燐光がない状態でも X 線が発生しうると言われている。しかし実際的には、X 線管メーカーは、通常の種類のガラスで作られた管は、電流を切った後に明るい白色光を発しない限り、ポンプから取り外すべきではないと考えている。良好な X 線管では常に燐光がみられ、それがない場合は満足に作動しないからである。

(Electrical Review 1900.4.11)

## 放射領域の煙

### THE RADIANT AREA PLUME

- ・放射領域の煙とは
- ・放射領域の煙の方向

ノート 80, 図 34-64 の X 線管を, 以下の寸法で製作する。陰極曲面の半径 35.5mm, 陰極の直径 35.5mm, ターゲットまでの距離 71mm, ターゲットの直径 28mm, 角度 56°。X 線管を排気し, 以前のノートにあるような強力な静電発電機で通電する。陽極の輝きがターゲット面を覆うまで, 加熱して一時的に真空度を低下させる。直列火花間隙を調整すると, 陰極線がターゲットに当たる放射領域から青白い煙が出るようになる (ノート 28)。煙は陰極に向かって前方に曲がり, ノート 49 の図 24-51 でコロナが見られる位置でガラスに衝突する。

ターゲット面を観察者の方に回転する。強力な磁石で, 垂直方向あるいは水平方向に回転し, 水平方向にスライドさせる。長軸を水平面上におき, ターゲットと同じ水平面で X 線管と直交するようにする。S 極がターゲットに最も近くなるように回転する [63]。磁石をターゲットの方向にスライドさせる。すると放射領域の煙は排斥され, ターゲット面にむけて時計方向に移動する。

磁石を取り除く。N 極がターゲットに最も近くなるように回転する。磁石をターゲットに近づける。放射領域の煙は再び排斥されて, ターゲット面に向けて反時計回りに回転する。磁石を垂直面で回転する。放射領域の煙は, 磁石を動かすにつれてターゲット面で回転してゆく X 線管を冷却する。抵抗が上昇すると煙は真っ直ぐになり, ターゲットのより近傍でガラス壁に当たるようになる。

煙の粒子の一部は陰極により牽引されるため, 煙は曲がるが, 抵抗が上昇すると真っ直ぐになるこれは抵抗が上昇すると粒子がより高速で移動するようになり, 外部の引力を受けにくくなるためである。ガラス面に当たると, 煙は噴水の上部のように開散する。これは良い写真が撮影できれば, ノート 69 に述べたような外観になるものと思われる。

(Electrical Review 1900.4.11)

[63] austral magnetism (S 極), boreal magnetism (N 極) という言い方はマクスウェルによる。

## ヴァーリー線の扇

### THE FAN OF THE VARLEY STREAM

ノート 92 の X 線管を使用し, ヴァーリー線が薄青色の円錐として現れ, その頂点がターゲット上にくるように温度を調整する。ノート 92 の磁石を, 観察者に面するターゲットと同じ水平面に置く。磁石は充分近づけて, ヴァーリー線の頂点がターゲットから離れるようにする。磁石を垂直面で回転させる。回転するとヴァーリー線も回転する。磁石の S 極を観察者の右側に向ける。X 線管の反対側の壁に扇型が見え, 垂直面に広げる。N 極が右側にある時, 扇型は磁石に最も近い管壁上にあって, 水平面に拡がる。磁石が回転すると, 扇はチューブの周りを回転しながら中間平面に広がる。扇は, それ自体の色だけでなく, 粒子がガラスに当たる部分に鮮やかな緑色の模様を描くため, 容易に見ることができる。

(Electrical Review 1900.4.11)

## X線管の放射線非透過性ボックス

### NON-RADIABLE CASES FOR X-LIGHT TUBES

- ・ X線管を常に放射線非透過性ボックスにおかなければならない理由
- ・ X線管ボックスには絞りが必須である
- ・ 散乱 X線の有害作用
- ・ 非透過性被覆の患者への必要性
- ・ 調整可能絞りを備えた非透過性 X線管ボックス

X線管は、たとえ放射線非透過性のボックスに入れ、管の反対側だけが開口した状態でも、部屋中に X線を放射し、蛍光透視板の画像をぼやけさせ、写真乾板を感光する。従って、X線を医学診断に用いる場合は、検査領域の最小限の X線錐を残して光が漏れないように、放射線非透過性のケースに入れなければならない。胸部画像の細部を完全にぼかしてしまうような強力な X線管を使って実験した。X線管を密閉することで、光の性質や強度が全く変わることなく、心臓、肺、肋骨が明瞭に見えるようになる。しかし、密閉しても、身体の深部を透視するとまた別な理由で有害な X線散乱が発生する。これを実験するために、厚さ 2cm のガラス板を、X線管と手の間に置く。X線透視装置に手の像がうつるが、細部は失われている。この散乱も、先に推奨した方法で軽減される。

図 38-73 に簡便な X線管ホルダーを示す。木製の X線管ボックス E は、内面が厚さ 1mm 以上の白鉛でコーティングされている。漆を砕いた酸化鉛は 1 時間で乾燥するため、必要な厚さは 1 日で得られる。回転絞りのブロックも木製で、背面が凹んでおり、同様にコーティングされている。X線管ボックスは、中空の支柱 A の上を、ボールベアリングで移動できる。支柱の中には重りが入っており、ケースとその内容物のバランスを保ち、立位、座位、臥位の患者の上下あるいは側方に X線管を速やかに移動できる。X線管ボックスは、回転軸の回りを垂直面で円弧状に動かすことができる。H は、透視板 Q に応じてスライドするフレームである。M は、1897 年 12 月 1 日のノートに示した中空ターゲットの冷却水を容れる缶である。支持棒 N、クランプ O によって、冷却水の缶は任意の高さに調節できる。支柱 A と X線管の距離は、ソケット K にはめたスライド棒で調節できる。

このような装置を使用し、患者の周囲に放射線非透過性の被覆をして [64]、必要な線錐のみが通過するようにすれば、より良い結果が得られたであろう写真を撮る。このような装置なしには、深部の撮影に際して良い結果を得ることは不可能である [65]。

(Electrical Review, April 11, 1900.)

[64] 非透過性塗料の成分についてはノート 174 参照

[65] ノート 36, 139, 143, 144, 149 参照

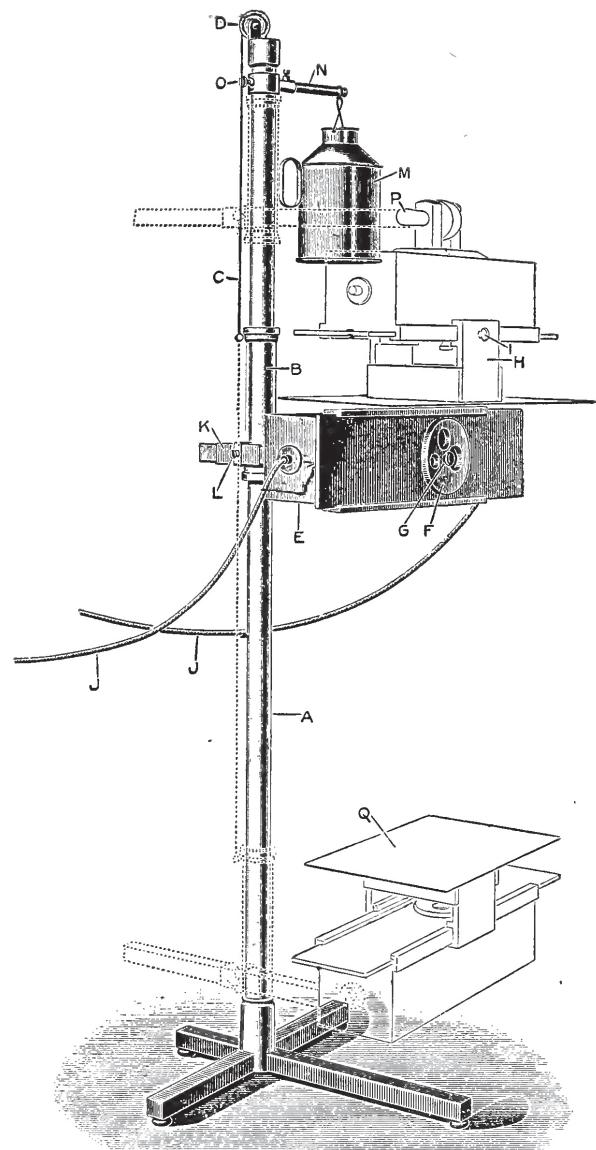


図 38-73. 簡便な放射線非透過性 X線管ホルダー

## 双子型 X 線管

### TWIN X-LIGHT TUBES [66]

- X 線管に全く同じ陰極と陽極を 2 つある場合、2 つの経路で電流の抵抗が異なる可能性があることを示す実験
- その現象の理由
- 電極の一对にガスが多いことの影響
- X 線管内の電流は必ずしも正常陰極線とは限らない

以前のノートで、真空度は X 線管の抵抗の示標にはならないと述べた (ノート 30, 53, 89). 陰極は、単なる銃口装填式銃であるだけでなく、弾丸を装填した連射銃でもある (ノート 68). 電極から放出されたガスの一部は戻って、一部は X 線管の壁に侵入する. その一部はガラスと結合して紫色に着色するが、これは熱によって除去することができ、ガスは再び管内に戻る (ノート 76, 77). この現象は、図 39-74 に示す単純な X 線管 を使って調べることができる.

この X 線管は、同時にひとつのガラスを吹入して作った 2 つの同じような管球から成る. 電極は、同じ金属板、金属棒から切り出したもので、正確に同じである. ターゲットは同じ距離にあり、2 つの管球部は単一のガス腔なので、静止状態のときはそれぞれが同じ真空度にある. 同じ扱いをすれば、それぞれの X 線の量と質は同じになる.

ここで、管球 A の抵抗を非常に大きくする. 管球 B は良質の X 線管を放出するように調整する. 通電時の抵抗は、乾燥空気 10cm 相当であった. 同じリッチーコイル (12 インチ) の端子を管球 A に接続した. 抵抗は乾燥空気 20cm 相当であった. すなわち、真空度は同じであるにも関わらず、一方の管球の抵抗は他方の少なくとも 2 倍であった. この差は簡単に拡大でき、実際に拡大したが、その原因は何か? 主な理由は、一方の管球の電極のガスが消失したためである. さらに管球 B にかなり長時間通電すると、抵抗は 5cm まで低下した. ここでコイルの端子を管球 A に接続したところ、抵抗は 1cm まで低下した. 何が起こったのであろうか? 管球 B の電極からガスの一部が、この機に管球 A の電極に侵入したのである.

その後、管球 A を長時間通電すると、抵抗は徐々に再び 20cm まで増加した. 真空度は上昇していないにも関わらず、なぜ抵抗が上昇したのか? これは、ガスが再び電極から押し出され、電極間の空間を走る電流が減少したためである. さらに管球 A を加熱し、真空度、抵抗を低下させると、管球 B に同じことが起こる. 何が真空度を低下させたのか? 主にガラスからの水素である. 何が抵抗を低下させたのか? 電流を運ぶ循環する粒子が増え、電流が空間を横断する際に金属内の粒子に依存する度合いが減ったためである.

これらの管球内の真空度は静止時には同じで、電流が流れ始めてから数秒間は実質的に同じであることを考えると、X 線の特徴が単純に真空度に依存するのであれば同じでははずである. ノート 3, 6, 18 で述べたように、明らかにこれは 1 つの要因に過ぎない. なぜなら、一方の管球は骨を皮膚を同程度の輝度とする種類の X 線を放出し、他方は骨と皮膚に大きなコントラストを与えるような X 線を放出しうからである. 同じ真空度でこの違いが生じる理由は何か? 一方は、ヴァーリー線の粒子の電荷が他方より大きくなり、粒子がより高速でターゲットに衝突したためである. 粒子の電荷が増大した理由は何か? ガスと金属間の牽引力が増大したためである. なぜ真空度の低下が X 線の性質に影響するのか? より多くの粒子が循環に送られ、陰極から飛来する粒子がターゲットに向かう途中でより多くの障害に遭遇し、それぞれの初期電荷が低下するためである. これは、電流を運ぶ粒子が増え、空間を飛ぶ金属粒子への依存度が低くなるためである.

図に示した X 線管で、一方の陰極を X 線がほとんどなくなるまで消耗させるのは容易であった. これは、電流のほんの一部だけが電極間の直接経路で空間を流れ、大部分は管内を循環するガスによって運ばれるためである. この状態を作るには、電極を徹底的に排気し、X 線管を励起しながら低真空度となるまで新鮮なガスを導入するだけで良い.

(Electrical Review 1900.5.2)

[66] この実験には、連結管が細いことから 2 つの管球の真空度が等しくならないという批判があるが、ノート 103 に示した、1 つの管球に 2 つの陰極をもつ X 線管を参照されたい. 同じ結果が得られる.

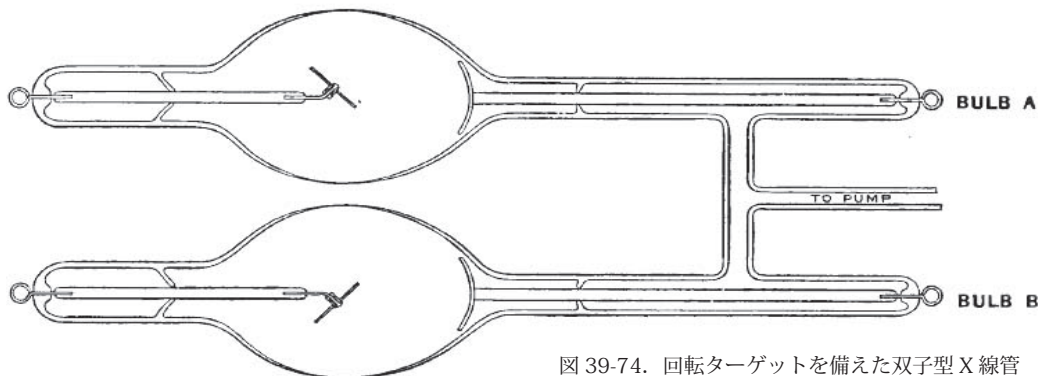


図 39-74. 回転ターゲットを備えた双子型 X 線管

## X 線管内の窒素ガス

## NITROGEN IN AN X-LIGHT TUBE

- ・ X 線管調整ガスとしての窒素の実験
- ・ 窒素調整管の製作法

ノート 1 で、水素によって再生する X 線管を示した。その後のノートでは、抵抗が過大になった時に水素を導入できる簡単な化学的分子間調整管について述べた。水素に関するさらなる経験から、このような真空は不安定になる可能性があり、そのため調整管が 1 つだけの X 線管は商業的使用には不適と判明した。場合によっては、抵抗が乾燥空気 2cm 相当で、次の瞬間に 1cm 未満に低下し、その後突然再び上昇することもありうる。ノート 23 では、乾燥空気を導入して、より安定な真空が得られることを述べた。この調整管は商用利用されており、実用的と考えられるが、時間が経つと反応が鈍化し、酸素を追加しても回復しなくなる。この鈍化の問題はノート 52 で述べたように、取り組む価値のある興味深い問題である。

ノート 76 では、背景真空 (groundwork vacuum) と称するものを作り出すつかの試みについて触れ、さらに実験を行い、そのいくつかでは窒素がこの目的に有用な特性を持つことを示した。このガスを使った以前の実験の現象は、他の原因によるものだったのかもしれない。窒素を使用するにあたっては、現在一般に行われている酸素調整管を利用する方法で十分であるが、酸素を発生する化学物質ではなく、窒素を発生する化学物質を充填してもよい。ガスの放出に必要な熱は、調整管を並列回路に置いて、火花間隙をこれと直列に接続することにより、X 線管を励起する電流から得られる。間隙の長さにより X 線管の抵抗が決まり、抵抗が高くなりすぎると調整管内に火花が走り、窒素を放出する。

このノートを書くに当たって、このような X 線管を 6 インチのリッチーコイルを 220V の商用電気回路に接続し、一次側エネルギー 1,100W、100  $\mu$  F のコンデンサー [67] で使用したが、X 線管は 6 時間にわたって安定で、X 線管と蛍光板の距離 3 フィートで、心臓、肺の検査に十分な質と量の X 線が得られた。従って、この調整管には価値があるものと思われる。

(Electrical Review 1900.5.30)

[67] 容量は、この装置の所有者 F. H. ウィリアムズ博士による。

## X 線管の抵抗と吸蔵現象の関係

## ON THE RELATION OF OCCLUSION TO RESISTANCE IN AN X-LIGHT TUBE

- ・ X 線管の排気、使用に伴い、電極からガスが放出される
- ・ X 線管の抵抗は、電極の状態に依存する
- ・ 抵抗が同じでも、古い X 線管は新しい X 線管より好ましくない

吸蔵 (occlusion)[ 訳注：気体が固体に吸収されること ] という言葉は、「分極」と同じく意味が不明確なので好ましくない。ここでは、固体粒子とガス間の引力を表すものとして使用している。引力の程度は、X 線管の抵抗に依存する。より具体的に述べる。2 つの金属電極を備えた X 線管を考える。いずれの電極も、金属とガスの混合物で、粒子が引力によって結合されている。このような X 線管をポンプで排気すると、短時間で 1/100 万気圧に等しい真空状態が得られるが、電極に電流が流れると圧が上昇する。これは、電流が電極の表面を形成する金属粒子からガス粒子を引き離して、管内の循環系に送り込むためである。電流を流し続けると、圧の低下速度は遅くなるが、数時間ポンプで排気し、一次側エネルギー 50W で 12 インチのリッチーコイルから中等度の電流を流すと、真空度が上昇し、最終的にはエネルギーを増加しない限り電流が流れない状態となる。ここで、窒素真空状態の X 線管をポンプから隔離してしばらく放置してから電流を流すと、抵抗が減少していることがわかる。

以前のノートに述べた他の原因を除くと、この理由は何であろうか？ これはガスが内部から表面に出て、電極間を電荷が移動する粒子を供給するためである。電荷は常に表面に存在し、内部に浸透することはないと言われている。これは電気のも 1 つの特性として述べるのは良いが、一般化できることではない。分離された電気は表面に存在すると言って良いかもしれないが、電気は物体をまとめるものであり、物体の内部に存在する必要がある。真空度が低下すると管の抵抗が上昇する理由は [68]、電荷が電極表面から粒子を引き剥がす速度が、内部から粒子が湧き上がる速度より速いためである。これが、長期間使用した X 線管において、強力な電流を流すと、弱い電流の場合よりも抵抗が上昇する理由である。

粒子が内部から湧き上がる理由は何か？ 電極が金属製の場合、金属粒子あるいは粒子群は、未知数のガス粒子と結合している。電気的ストレスによって表面の金属粒子からガス粒子が剥がされると、内部の金属粒子は結合しているガスの一部を放出するようになり、その結果、全体にわたって引力が均等になる。こうなると、いずれの粒子群も、結合しているガスが少なくなるため不安定になる。その結果、粒子はより大きな力で保持され、ローランドの表現の 1 つを借りると、

表面の粒子群の結合が破壊される前に「各所でより大きな電気パッチで粒子を覆う」必要があり、そのために X 線管の抵抗が上昇し、最終的には以前のノート述べた状態になり、ヴァーリー陰極線を開始するために非常に高い電圧が必要になって、そのような X 線の波長は非常に短いため、密な骨だけでなく軟組織も通過するようになる。このような X 線は、医学的診断には使い物にならない。

このような古い年季入りの X 線管で再び適切な X 線を発生するには、陰極線がターゲットに強く当たらないように、その経路上に障害物を置く必要があるが、これは真空度を低下させることで可能となる。しかしこのような X 線管は、同じ X 線量を発生するためにより多くのエネルギーを必要とするので、新しい X 線管ほど良いとは言えない。

(Electrical Review 1900.5.30)

[68] 1903 年追記。一連のノートで「X 線管の抵抗」という用語を使用する場合、それは陰極の前面から出る通常の陰極線がある状態を指す。別の経路で電流が流れていると、その流れが突然途絶えることがあり、その場合抵抗は低下する。陰極線が再び突然形成して、抵抗が上昇することもある。

## X 線管はどのように動作するか？

### HOW DOES AN X-LIGHT TUBE WORK?

- ・電気はエーテルの解離であるという説
- ・X 線管電極間のエーテルは分極している
- ・陰極線の伝導機序
- ・X 線は、陽極線と陰極線の双方により発生する
- ・通常の電極をもたず、代わりに連続導体を使用した X 線管によるトロブリッジの実験

若き日のマクスウェルのお気に入りの質問は「それは一体どうなっているんだ？」であった。答えが明確でないと「でも、それは実際にどうなっているんだ？」と言った。効率的な X 線管を作るのに十分な知識を得ようと試みる中で、2 つ目の質問をしばしば問いかけ、満足のいく答えが得られず、マクスウェルの電気学でも「電荷とは何か？」という質問の答は見つからなかったがため、過去を解釈し、将来の実験を考えるために、以下のような心象を持った。

第 1 の心象は「エーテルは電気である」というものである。第 2 は「我々が電気というものは分離したエーテルである」というものである。これらの記述を動作中の X 線管に適用すると、電極間のエーテルは、印加されたエネルギーによって分極され、部分的に分離されていると見ることができる。電極間の空間は、振動して線状になったエーテル単位で構成され、その両端は分離している。陰極の表面では、遊離した負エーテルが金属に保持されたガス粒子と結合し、正エーテルが陽極に向かって次の負エーテル単位の負を捕らえる。線上で連続し、陽極近傍のエーテル単位が引き離され、正粒子が陽極のガス粒子の周囲に集まる。

この結果、電極間には振動するエーテル単位の線が形成され、各電極には自由エーテル粒子あるいは電気が集まる。X 線管に加えるエネルギーを増加させると、電極内のガス粒子の周りに集まった解離したエーテルがガス粒子を引き剥がし、空間全体に押し流し、反対側の電極に十分な力で衝突して、ガス粒子を非常に高い温度まで上昇させ、X 線の発生中心となる。しかしこれが本当ならば、なぜ両方の電極が X 線を発生しないのだろうか？ 前のノートで述べたように、実際には発生しているのである。トロブリッジは、強力な発電機を使い、陰極線だけでなく陽極線も存在することを示しただけでなく、通常の電極の代わりに連続的な金属導体を持つ X 線管でも X 線を発生できることを示した。この観察はいずれも、この理論で説明しうる。

しかし、実用的な目的のためには、なぜ陽極またはターゲットが X 線光の発生源となる場所であるべきなのだろうか？ その答えは、以前のノートで既に述べた現象、つまり、電極とガスの融合 (amalgamation) にある。これを最も簡単に説明すると、良い X 線管を作る上で、

ガスは陰極よりも陽極からより速く除去されるということを述べる必要がある。これを証明するには、2本のX線管をポンプで排気し、1本には陽極から陰極へ、もう1本には陰極から陽極へ電流を流す。次に、2つのX線管に通常の方法に電流を流して比較する。

この記述が正しいとすれば、トロブリッジが行なったように、大きな抵抗を介して電池から得られる単方向電流でX線を生成する場合、X線が陽極から来ると考えるべきであることは明らかである。なぜなら、X線管の前準備後に陰極が保持する利用可能なガス粒子数は陽極が保持する数より多いと思われ、これが陰極線内のエーテル粒子の実際の主たる移動方向を決定するからである。一方、エネルギーが加えられている限り、管内の電極間のエーテル単位の分極間で電荷の交換は続く。この理論は、張力と圧力が直交する場の図示を可能にし、横波として解釈される揺れを説明し、陽極から発生するX線が陰極から発生するX線よりも顕著になる理由の1つを示すものである。

(Electrical Review 1900.6.2)

## 低電圧発電機用X線管

### ON TUBES FOR GENERATORS OF LOW POTENTIAL

- X線管の排気は準備作業のほんの一部である
- X線管内の熱と光波の生成は無駄である
- 予備陰極を備えたX線管

小さなエネルギーで明るいX線を得るためには、電極から流出するガス粒子ができるだけ妨げられないように高い真空度を保つ必要がある。このようなX線管を低電圧の発電機で使用する場合、ガス粒子を電極に引き付ける力のために、初期の高抵抗を克服することが困難となる。通電しながらポンプで排気してゆくと、このような粒子が大量に発生する。X線管が効率的にX線を発生できるようにするには、残った粒子を保持する力が数千ボルトになるまで継続する必要がある。既に述べたように、ポンプによる排気はX線管準備行程の一部でしかない。良いポンプを使えば短時間で真空にできるが、電極を排気するにはさらに長い行程が必要である。初期の高抵抗を低電圧の発電機でも克服できるようにするため、X線管使用中に加熱できるホルダーをつくり、ガラスが軟化せずに耐えられる程度まで温度を簡単に上げることができるようにした。

ガラスから放出されるガスの熱によって真空度が下がり、熱がガスと電極金属間の引力を部分的に克服してヴァーリー陰極線の生成に対する抵抗が小さくなると、低電圧発電機は陰極からガス粒子を放出し、X線発生に十分な力でターゲットに衝突するだけの力を持つようになる。電流が流れ始めると、継続して流れることで真空度が低下し、陰極からの粒子が十分な力でターゲットに衝突しないために、X線管は過剰な熱波と過少なX線を発生するようになる。この状態になった所で、力がバランスしてX線の線質が一定に保たれる状態となるまでX線管の温度を低下させると、循環する粒子の数が増えてガラスに沈着するようになり、X線管の温度をさらに低下させるだけで済むようになる。この実験を繰り返すには、X線管が良好な状態である必要があること、すなわち残留ガスと電極金属間の引力が、使用する発電機に適當である必要がある。

以前のノートで述べたような例では、長期間の使用によって電極からのガスの継続的な排出によって抵抗が非常に高くなり、通常の熱では電流が十分なガスを放出してヴァーリー陰極線を生成できなくなるため、他の処置をしない限り低電圧発電機では使用できなくなる。この状態では、多くの試みがされてきたが、劣化した電極を再生する方法は知られていない。陰極を加熱できれば、冷却するにつれてガスを吸収するであろうという仮説を立てた。このガスは、管の通常作動時に電極から放出されてガラスに集まったものから得る。

実験の1つでは、ノート 65、図 29-59 の X 線管を使用した。ただし、電極が消耗して X 線管が作動しなくなったときに空間から外せるように、ターゲットのステムにヒンジを付けた。

ポンプ排気中、X 線管は 500°F に維持した。左側のアルミニウム板が陰極、ターゲットは陽極である。次に、ターゲット陽極を空間から外し、右側の凹面電極を陰極とし、ヒンジ付き電極を陽極として発電機に接続する。左側の凹面アルミニウム円板は、右側の円板からのヴァーリー陰極線の衝撃を受けるターゲットとしてのみ機能する。1 時間後に電流を止め、左側の凹面円板を冷却し、管球は一定温度に維持する。その後 X 線管を冷却すると、正常方向の電流によって X 線管を発生する。

この実験は、仮説が多少なりとも真実であることを示すもので、意義のある研究の方向性を示しているように思える。この実験は、消耗した電極を再生するという問題の満足の解決方法とは言えないが、トロブリッジは電極をわずか 2 万 V の蓄電池に接続するだけで、X 線管を励起できることを発見した。この結果は、言及する価値があるかもしれない。なぜなら、より多くの X 線量が望ましい医療現場では、より多くのアンペアを必要とし、このような発電機を使うと陰極が急速に消耗するからである。この新しいタイプの発電機は静音で、ノート 47、図 19-46、図 20-47 に示した装置で心臓、肺の検査に大きな価値を持つであろう。

(Electrical Review 1900.6.2)

## ノート 100

### エーテルは導電性か？

#### DOES THE ETHER CONDUCT?

二人の大家が相反する発言をしたときは、実験の仮説とできるような何らかの折衷点を見つけることが望ましい。X 線管の現象を理解するにあたり、以下の発言についてこれを試みた。

マックスウェルは、導電体は不透明である。従ってエーテルは透明であるから導電性ではないと述べた。しかし、トロブリッジは、1887 年 4 月のアメリカ芸術科学アカデミーで発表した注目すべき論文を、次の言葉で締めくくっている。「従って、高い電氣的ストレス下では、エーテルは分解し、良導体になると結論せざるを得ない」。

以前のノートで述べたように、十分なエネルギーを加えるとエーテルが解離すると考えると、これらの記述は共存しうるように思える。なぜなら、通常のエーテルまたは全体エーテルは透明であり、波と呼ばれる変化の媒体として機能するが、導電しないからである。解離すると、その粒子は我々が物質と呼ぶ分化したエーテルと新たな結合を形成し、その特性が変化して、電気や導電という現象が生じるのである。

(Electrical Review 1900.6.2)

## 導電性は物質の現象である

### CONDUCTION IS A PHENOMENON OF MATTER

- ・エーテルは導電性でないとするマックスウェル説を X 線管で確認する
- ・電氣的ストレス下の凝集力は機械的ストレス下で変動する

固体と気体が融合するという事実と、それに伴うストレス下でのエーテル現象は、X 線管よりも広範囲、さらには重力そのものにまで及ぶエーテルを研究している人々に意義があるもので、後者については後で説明する。もし物質の粒子がすべて X 線管から除去されたとすると、起電力がいかに大きくとも、ストレスが凝集力 (cohesion) を上回るまで、通常の陰極線による伝導は起こらない。この状態（電氣的ストレス下、機械的ストレス下、化学的ストレス下で物質ごとに異なる）に至ると、電極の粒子が解離したエーテルのキャリアとして機能し、空間を流れ、伝導現象を生み出す。内部電極が無い場合は、ガラス壁がそのようにふるまう。正常エーテルは導電性ではない。

(Electrical Review 1900.6.2)

## エーテルの歪みが最大の所で最大の X 線が発生する

### MAXIMUM X-LIGHT ARISES IN THE FIELD OF GREATEST ETHER STRAIN

- ・X 線の発生にはエーテルの歪みが必要である
- ・X 線管に 2 つのターゲットがある場合、X 線管はエーテルの歪みが大きい方から発生する
- ・実験用 X 線管の形状
- ・2 次 X 線の原因
- ・不規則な陰極線はエネルギーの無駄である

以前のノート (ノート 15, 図 5-1) で、定説に反して陰極線の方向、つまり X 線が発生する主な領域が、ターゲットに対する陽極の位置によって影響を受けることを示した。従って、X 線の現象がエーテルに加えられたストレスの結果であるならば、その効果は電極間で最も顕著になると予想され、これはノート 15, 図 5-1 で陽極を環状にするとの通常のターゲットから X 線が放出されなかった理由を説明できる。通常のターゲットが、ストレスが最大となる位置から遠過ぎるためである。最大となる位置は、もちろんエネルギーを加えた電極間、この場合は環状陽極と陰極の間であり、その付近から X 線が発生した。

図 40-75 はこれをさらに説明するもので、ここでは陰極は二重焦点であるが、陰極線の方向は 2 つのターゲットのどちらが陽極になるかによって決まり、X 線は回路の電極となるターゲットから発生する。この X 線管は、すでに述べたエーテル解離理論を明らかにするために設計されたもので、実用的な価値はないが、同様のタイプの X 線管が既にステレオ撮影に利用されている。以下の観察から、このような X 線管が実用的でない理由がわかる。

X 線の大部分は陽極ターゲット上から発生するが、電極から放射される粒子の衝撃が十分に強い他の場所からも発生する。このタイプの X 線管では、電極間のエーテルの歪みに加えて、広い領域にわたって歪みがより小さい状態があり、そのため、電極と融合したガスの粒子が放出されるとき、その粒子は前面からだけでなく、程度は低いものの金属の他の部分からも表面に垂直に放出される。その結果、適切な X 線管ではエネルギーは陰極の凹面から多く発生するのに対して、この場合は特に両凹面陰極を取り囲む輪状領域上のガラス壁が X 線の散乱光源となる。このような X 線管内のエネルギーはすべて無駄で、鮮明度を損ねる結果となる。X 線管の設計に当たっては、陰極はその凹面からの正常な陰極線を促進するようにすることが重要である。

(Electrical Review 1900.7.11)

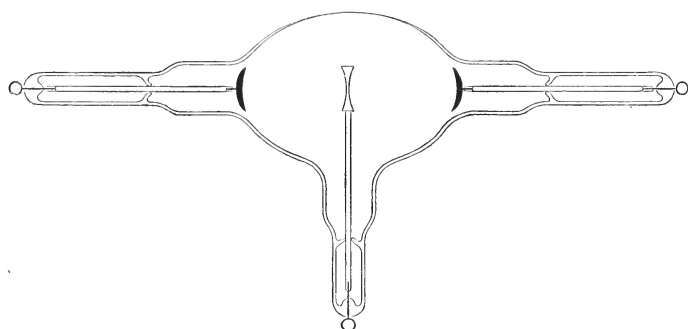


図 40-75. X 線がエーテルの歪みが最も大きい部位から発生することを示すための両凹面陰極をもつ X 線管

## 二平面で回転するターゲットと予備陰極をもつ X 線管

AN X-LIGHT TUBE HAVING A TARGET TO ROTATE IN TWO PLANES, AND WITH A RESERVE CATHODE

- ・陰極はガス貯蔵庫となる

レントゲンは、金属ターゲットに陰極線を集中させるというクルックスの原理を X 線管で初めて使用したが、これを初めて交流管に適用し、また二重焦点型を発明した。これには光源が 2 つあるという欠点があったが、実用上は必ずしも大きな問題ではなかった。以前のノートでは、第 2 光源を照射領域に外すことによりこの欠陥を持たない変種を示したが、3 つの電極を備えた X 線管は製作が難しいため、あまり使用されなかった。

ここでは、図 41-76 に、ターゲットを紙面に平行および垂直な二平面で回転できる X 線管を示す。これにより、ターゲットと陰極線の軸の角度を変えて、最も効率的な角度を知ることができる。ターゲットは、陰極線が衝突する平面に直交する軸の回りにも回転できるので、ターゲットが穿孔した場合には新しい金属面で受光できるようにすることができる。このターゲットを 1 つの電極とし、1 つの陰極はガス貯蔵庫として利用し、もう一つの陰極とターゲット間の抵抗が上昇してターゲットから所望の X 線が放出されなくなった場合に、使うことができる。陽極のステムにはヒンジがついており、両者を電極とする場合には、照射領域からこれを外して、1 つのターゲットからの陰極線が他方を加熱するようにすることができる。

(Electrical Review 1900.7.11)

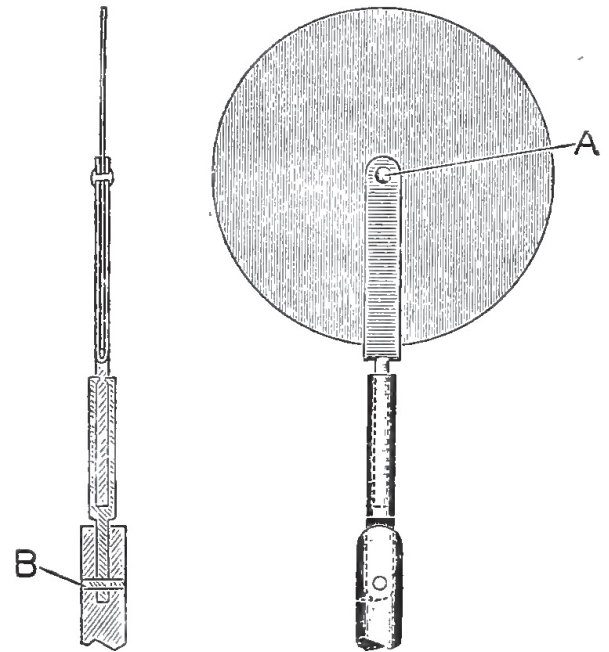


図 42-77. 図 41-76(全体像)に示した X 線管のターゲットの詳細図

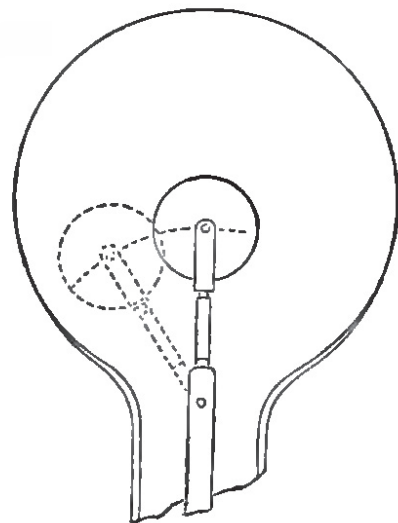


図 42-78. 陰極を再生するためにターゲットを傾けた状態を示す。

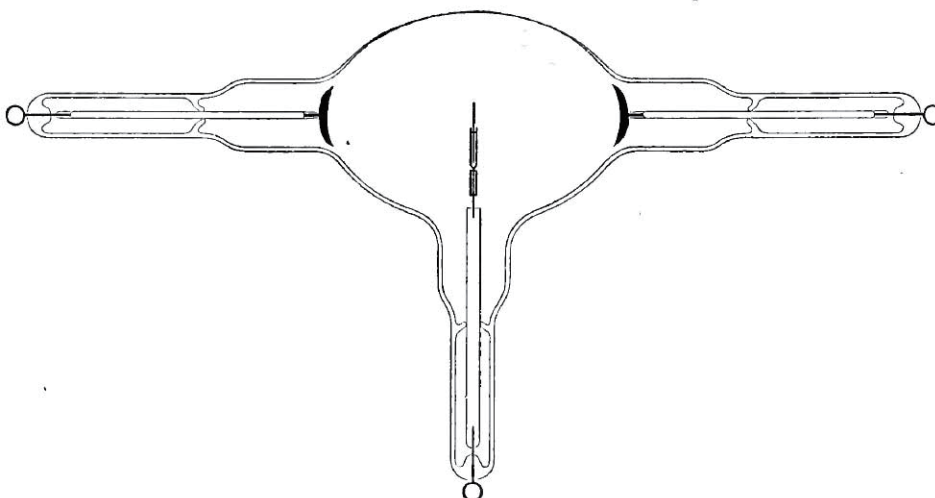


図 41-76. 2 平面で回転するターゲットと予備陰極をもつ X 線管。

## 「電流」はどちら向きに流れるか？

WHICH WAY DOES THE “CURRENT” FLOW?

・電流の方向を調べるための X 線管

ここでは、新しい言葉を作るのを避けるために、あえて「電流」を使う。その道の専門家幾人かに、電流がどちら向きに流れるか尋ねたところ、いつもそれが愚問であるという口調の答が返ってきたしかし、マクスウェルの2つ目の質問「でも、それは実際にどうなっているんだ？」に対しては、常に不満足な答である。明晰な頭脳の持ち主マクスウェルは、著書の段落 568 からの引用が示すように、自分がこれを知らないことに気付いていた。「いずれにせよ、そのまだ絶対値を知るには道が遠いことから、正の方向と呼んでいるものが実際の運動方向なのか、それとも逆なのかさえわからない」。従って、X 線管で実験するに適切な質問であると思われる。以前のノートでその結果についてたまたま触れたが、ここであらためて正式に述べることにする。

全く同じ凹面アルミニウム電極を2つ持つ図 41-76 のような X 線管を用意する。「電流」を流さない状態で、加熱して高真空度に排気する。中央のターゲットは回路に含めず、右側の電極を陽極、左側を陰極とする。「一方向」電流を流して、ポンプ排気を続ける。抵抗が乾燥空気 10cm 相当になった時点で、電流を逆転し、左側の電極を陽極、右側を陰極とする。ヴァーリー線に対する抵抗は、最初よりも大きくなることがわかるであろう。これは、以前のノートで述べたものと同じ現象である。

ここで「電流」の方向の意味について考えてみる。「電流」を流さない予備的なポンプ排気の時点で、ガスは X 線管の壁で囲われた空間からほとんど除去され、残っているものは主に電極に融合しているガスである。既に述べたように、このような状況下では、電極と融合したガスが電極間のエーテルを通して電荷を運ぶ。ここで、電極からガスが放出される量が増えるほど、X 線管の抵抗は高くなる。従って、一方の電極が他の電極よりも早く排気される場合、これはエーテルの歪みが最も容易に解放される方向であると考えられる。しかし、ガスは両方の電極から放出されるので、電流という言葉を使うのであれば、これは複数であるべきである。ファラデーの研究の愛好者にとって、これは喜ばしいことであろう。電流が非常に高速に向きを変える場合、これは光の電磁気現象に近くなり、粒子は慣性のためにエーテル内の広い空間を移動する時間がなく、電荷は放射体のような物質によって運ばれることはないはずである。振動することのみが可能となり、エネルギーはエーテルの振動として拡がる。この状態では、電流は存在せず、エーテルの歪みはその振動によって解放されるのである。

(Electrical Review 1900.8.8)

## ガスの融合と特斯拉光の関係

RELATION BETWEEN GAS AMALGAMATION AND TESLA LIGHT

今日、1892 年にロンドンの電気技術者協会で行われた特斯拉の講演録を読んで、ガスの融合に関連すると思われる一節に目がとまった。彼は真空管を手を持ち、静電場（場は平面であるがこれは3次元なのでエーテルの歪み空間というべきであろう）の中に立った。すると真空管が明るく光った。より真空度の高い真空管は、同じ条件下で光らなかった。最初の実験のように光った状態で、コイルから切り離してから、特斯拉コイルの放電をこの真空管に通電した。

続けてこう述べている。「この真空管を、数週間あるいは数ヶ月間しまっておいても、チューブは励起される能力を保持している。励起させることが、真空管にどのような変化を生じたのだろうか？ 原子に与えられた運動が、摩擦損失を伴わずに長期間持続する理由を理解することは困難である。単純な帯電によって生じる誘電体の歪みが、どのようにして永久に持続するかは容易に理解できるが、急速に交代する電圧を扱う場合、なぜそのような状態が励起を促進するのか理解するのは非常に困難である」。

この問題は以下のように説明できると思われる。2つ目の真空管は真空度が低下したため、以前のノートで示したようにガラスや電極と融合しているガス粒子の一部がコイルへのストレスによって管内の自由空間に送り込まれ、これらの粒子による通常の衝撃を維持することがきたのである。

(Electrical Review 1900.8.8)

## 稲妻は静かに始まることもある

A LIGHTNING STORM MAY BEGIN QUIETLY

ノート 104[ 訳注：欠番。掲載なし ]に、稲妻の顕著な特徴を述べたが、ここでは別の種類について述べる。我々は、稲妻はどこからか、この地方では一般的に南西からやってきて、通過してゆくと考えるが、必ずしもそのような経過を辿らない。筆者のキャンプ地は、海拔約 1,100 フィート、直下に田園を見下ろす高台にあり、北から南西に延びる 5 ～ 10 マイルの距離にある山壁に守られていた。しばしばこの山壁に稲妻が発生する。7 月 17 日の夜は、星空の晴天であった。晴れ渡った空に、ゆっくりと小さな雲が出現し、闇夜に美しくバラ色に輝いた。音は何も聞こえなかった。雲は大きくなり、さらに明るくなった時折、不規則な明るい線が見えたが、これはファラデーが背後の稲妻によって暗い雲の縁が照らされているだけだと主張したものである。しかしそれはあり得なかった。再び輝いたときに、明るい帯の形に対応する雲の輪郭はなかったからである。やがてグロー放電の電圧が上昇して、耳に聞こえるほどの強い閃光が発生するまで、1 時間にわたって間隔を置いて写真を撮影した。その後、大気の擾乱が急速に増大し、突風が下から吹き上げ始め、まもなく強力な嵐が頭上を襲った。

これは、すでに述べた講演でテスラが語った現象である。「通常の圧力で空気を光らせるこのような非常に高い周波数の放電は、おそらく自然界でよく目撃されるであろう」。この実験では、通常の発光放電をガスに起こすには、特別な排気は必要なく、ガスは通常の圧力かそれより大きな圧力でも良い、という実験家にとって驚くべき結論に到達するのである。

(Electrical Review 1900.8.8)

## エーテル解離理論と溶液イオン化理論の関係

THE BEARING OF THE ETHER DISSOCIATION THEORY ON THE IONIZATION THEORY OF SOLUTION

溶解した物質は異なる電荷を持つイオンに解離しているという現在の溶液の理解は、ヘルムホルツ、アレニウス、オストワルド、ネルンストら偉大な物理化学者に負うものである。例えば、稀塩酸では、HCl のほとんどが  $H^+$  イオンと  $Cl^-$  イオンに解離している。

ヘルムホルツは、この法則を明確に述べている。「電気の完全な平衡は、電解液内および金属導体内の非常に弱い電氣的引力によって生まれるため、その電氣的引力と斥力以外には、正および負に帯電したイオンの自由な動きを妨げるものはないと考える必要がある」。ここで、例えば鉄など一部の物質の挙動のため、鉄イオンは他のイオンよりも正電荷が大きく、 $FeCl_3$  の場合は 3 倍大きいと仮定する必要がある。ムソンの原子説では、原子は電氣的な粒子から成る。原状では、この 2 つの説を共存させることは難しい。

最初の説を支持する事実是他にもあり、電荷は原子とは異なり、イオンは他の場所から電荷を得ることができる (W. ネルンスト著。パーマー教授訳：理論化学。329 頁)。以前のノートで説明したように、電荷の理論は、電気はエーテルの解離であるとして説明できる。溶液中の物質が異なる符号をもつ電荷に解離するとき、正負に解離するエーテル粒子の数は条件によって異なり、その数はイオンの必要性によって決まるであろう。 $FeCl_3$  の場合、3 つのエーテル粒子が分解され、3 つの正電荷単位が 1 つの鉄イオンに向かい、3 倍の電荷  $Fe^{+++}$  を持つ系となる。一方、3 つの負電荷単位のうち 1 つは 3 つの塩素イオンのそれぞれに向かい、それぞれが 1 つの負電荷を持つ 3 つの系、 $Cl^- + Cl^- + Cl^-$  を形成する。これは、一方の符号の電荷が出現すれば、別の場所に反対の符号の電荷が発生しなくてはならないと明言したファラデーの言に一致する。この観点から見ると、化学理論で要求される任意の数の単位電荷をイオンが持つことに異論はない。

(Electrical Review 1900.10.31)

## 陰極線と X 線から見た原子構造

## THE STRUCTURE OF THE ATOM AS SEEN BY CATHODE RAYS AND X-LIGHT

- ・陰極線に関するヴァーリーの説
- ・陰極線に関するワイヘルトの説
- ・原子は球形で神のみが磨くことができるまるく固いものである、とするニュートン説を真空管により否定する
- ・元素の特徴的なスペクトルを生み出す亜原子からなる原子
- ・物質粒子あるいは電気粒子から成るとする最新の原子説が誤っている理由
- ・原子複合説はアルミニウム製ターゲットが白金ターゲットよりも X 線発生効率が悪いことを説明する
- ・アルミニウムが放射線透過性である理由を説明し、導体は不透明であるとするマクスウェル説と共存する理論

ヴァーリーは陰極線を発見し、磁石で偏向させ、回転雲母板に及ぼす衝撃の力を示して、陰極線は帯電した管内の残留ガスの分子から成るとした。これをヴァーリーが発表して以来、物理学者の間では陰極流に関する 2 つの理論、ヴァーリー理論すなわち物質粒子理論とエーテル理論が唱えられている。エーテル説派は、陰極線が磁石によって偏向される理由を説明できていないことから、物質粒子理論のみが考慮されている。現在、物理学者はヴァーリー説を放棄している。化学は、電気が分子をイオンに分解することを示しているからである。この結果、シュスター (Shuster) は、ヴァーリー線は電気分解に見られるようなイオンであるとしている。

従って、粒子は原子程度の大きさということになる。酸素の場合は更に大きいであろう。他の研究者は、粒子は遙かに小さいと考えた。ワイヘルト (Weichert) は初めて  $e/m$  を決定したが、これは  $20 \times 10^6 \sim 40 \times 10^6$  c.g.s., 即ち電気分解における水素イオンの比率の 3,000 倍であることがわかり、彼は陰極線の粒子は電気分解におけるイオンの  $1/3,000$  のサイズであると考えた。この理論を援用して、反射型 X 線管で陰極線が白金ターゲットに衝突する際に、アルミニウム製ターゲットの場合よりも多くの X 線が発生するかを説明してみる。

通常の説明では、アルミニウムは X 線の反射がより少なく、透過がより多いとされる。そこで、何故アルミニウムの透過性が高いのかを説明し、金ターゲットの優位性には別の理由もあることを示す。効率的な X 線管を製作するに当たり、物質粒子説、エーテル説いずれにも問題があり、実験の基礎としていずれを受け入れるべきかという疑問があった。前者は、陰極線が磁石によって偏向しない理由について、帯電していないとしか説明していない。高度に帯電した物体から放出された粒子が、いかにして電荷を持たずに放出されるかを理解するのは困難である。しかし、電荷を持たないことを認めると、帯電したアルミニウム箔を通過する際に電荷を獲得することは考えられる。実験では、

通過後も偏向は見られない。もし陰極線が光のようなエーテル現象、つまり電磁氣的現象であったなら、それに対して金属が透過性であることは理解し難い。マクスウェルの理論では、金属は導体であるために不透明であるとされるからである。このようにいずれの説も、難点がある。物質粒子説は、簡単な実験とも矛盾するので、考慮外であった

エーテル説は、光の電磁気理論に反しているように思われ、これが電磁気現象であるならばアルミニウムは X 線に対して放射線非透過性でなければならないが、これはいかなる実験によっても反証されなかった。従って、アルミニウムの透過性と X 線の電磁説の折り合いを付けることが必要と考えられた。金属の原子は同じ大きさの固体であり導体であるという通常の理論では、アルミニウムが白金よりも透過性が高い理由を理解し難い。金属粒子は、導電性であるため透過性ではあり得ない。従って、金属の透過性はそれに含まれるエーテルによるものに違いない。透過性の金属は、放射線非透過性のものよりもエーテルを多く含むはずである。しかし、原子が同じ大きさで固体であり、原子量と密度の比がほぼ同じである場合、アルミニウムが白金より多くのエーテルを含むのは何故か。これは、エーテルで満たされた原子間の空間が 2 つの金属で大差ないからである。

原子がエーテルを介在した亜原子から構成されていると仮定すると、もう 1 つの理論の難点も解決できるかも知れない。陰極線内には、このような亜原子が存在する。亜原子は、すべての元素を更生する究極の単位である。陰極線中の粒子がこの究極の単位であるという理論は、真実ではあり得ない。なぜなら、以前のノートにあるように、陰極線粒子は既知の多数の輝線をもつスペクトルを示すからである。陰極線粒子を破壊するに十分な力を発見した暁には、この究極の単位からは既知のスペクトルは得られないはずである。この究極単位は同じ大きさ、重さでなければならないため、原子量の差を考慮すると、アルミニウムの軽い原子には白金の重い原子よりもその数が少なく、間隙はより広いはずである。この空間はエーテルで満たされており、これがエーテル内での非常に短い振動であれば、アルミニウムのような軽い原子は X 線に対してより透過性となるはずである。理論によれば、究極単位は導電性であるため不透過で、その間に存在するエーテルは透過性、導電性である。この究極単位が物質ではなく、変化したエーテルとして考えても、推論は同じことになる。この考え方は、我々の宇宙観を単純化できるもので、恐らく正しいであろう。変化したエーテルが通常のエーテルと異なると考えれば、エーテルが透過性、非導電性であることに矛盾はない。以下の実験では、アルミニウムの透過性が高いことが、アルミニウムターゲットが白金ターゲットほど効率的でな

い主たる理由ではないことを示すものである。

白金ターゲットの陰極線衝撃面を、薄いアルミニウム箔で覆う。アルミニウムターゲットのX線管の効率低下がアルミニウムの透過性によるものであるとすれば、このようなターゲットは白金のみのターゲットとほぼ同じ効率となり、背面を銀メッキしたガラスの鏡が通常光に対して作用すると同様にX線に作用するはずである。アルミニウムを通過したX線は失われるのではなく、反射するはずである。なぜなら、通常の白金ターゲットを通過できないと同様、白金の裏打ちを通過することはできないからである。このX線管は、十分なX線を発生しなかった。これは以下のように説明できる。陰極線の粒子は、アルミニウムに当たる時、重い金属に当たる時ほど急激に停止しない。固体原子説では、白金の原子の方が重いことによるこのような結果になると考えられるが、この説では陰極線の粒子のサイズが小さいことを説明できず、ある原子が他の原子より重い理由をそれが原子の性質であると言う以外には説明できない。前述の原子複合体説は、陰極流粒子のサイズが小さいこと、それらが既知のスペクトルを持つ理由、およびアルミニウムがX線を透過し、導電性である事実を説明できる。原子複合体説では、アルミニウムのより開いた構造が、陰極線中の粒子をそれほど急速に制止できず、さらに深く侵入することになる。

以前のノートで、X線の発生の原因は温度にあることを述べた。陰極線粒子が、緩徐に停止する場合は、急激に停止する場合ほど熱くなることは期待できない。これは、熱エネルギーの変換がより長期間にわたるためである。以後のノートでは、すべての物質は導電性でありかつ放射線非透過性の同じ究極単位で構成されているという説に対する反論について検討する。

(Electrical Review 1900.9.28)

## ノート 109A

### 陰極線とX線 [69]

#### THE CATHODE STREAM AND X-LIGHT

・X線管による実験結果の受容されている陰極線、X線の理論への適用

陰極線については、2つの説がある。第1は、陰極線はなんらかのエーテルの現象であるとする説である。レーナルト (Lenard) は、通常光よりも小さな横波であると考えたマイケルソン (Michelson) は、エーテルの渦であるとした。第2は、物質粒子の飛翔であるとする説である。ヴァーリー (Varley) は、1871年の発表で、陰極線は負に荷電した、真空管に残存するガス分子から成ると考え、陰極線を磁石で偏向させて雲母板に衝突させると回転することを示した。クルックス (Crookes) は、ヴァーリーとヒットルフの初期の実験を採り上げ、陰極線の性状についてヴァーリーを支持した。彼は、陰極線は粒子は、陰極面に垂直に放出されて直線的に進み、曲率中心に焦点を結ぶとした。実験は、いずれの説も全ての事実を説明できないことを示している。X線管からエーテルをすべて除去することができたとしたら、X線は発生しないはずである。陰極線の発生にはエーテルの歪みが必要であり、陰極線が発生しないからである。

エーテル説：ヴァーリー線、すなわち陰極線の1つの特性は、この理論では説明できない。それは、陰極線が磁石によって偏向され、偏向した陰極線が当たる場所にX線が発生することである。この他にも反証があることから、純粋なエーテル理論はこれ以上考慮しない。これを裏付けられると思われる実験は、物質粒子説にも適用できる。

物質粒子説：ヴァーリーの実験以来、陰極線中の粒子は分子ほど大きくないという意見が徐々に拡大した。物理化学的事実から、電気は分子をイオンに分解すると考えられる。従ってシュスター (Schuster) は、この粒子は電気分解で得られるファラデーイオンと同じものであると述べた。他の物理学者たちは、さらにその大きさを縮小し、ヴァイヒェルト (Weichert) は水素原子の3,000分の1、速度は光の3分の1としている。この速度に関して、ローランド (Rowland) はその1899年のアメリカ物理学会での注目すべき発表で、物体が無限の距離から宇宙最大の物質塊に落下したとしても、物体内でそのような速度を得る方法は知られていないと述べている。ヴァイヒェルトは、陰極線粒子の電荷と質量の関係を初めて求めた。彼はこれを、 $20 \times 10^6$  ないし  $40 \times 10^6$  cgs 単位とした。この比率では、陰極線粒子は電気分解における水素イオンの約3,000倍であることから、彼は、電荷が水素イオンの3,000倍であるか、あるいは質量がその3,000分の1である

か、いずれかを想定する必要があると考えた。彼は後者を選択し、他の物理学者もこれにならい、陰極線粒子は水素イオンの  $1/500$  もの大きさとする者もある。これらの推測に証拠はない。ヴァイヒェルトは、この比率を粒子の別の大きさに意味していた可能性がある [訳注：文意不明]。カウフマン (Kaufmann) は、この比率は管球内のガスや電極の影響を受けないとしている。権威者の引用はこれにとどめるが、物質粒子説の支持者が十分な説明であるとするものを分類してみる。

第 1：陰極線が発生する原因は、陰極と管球内ガスの荷電粒子との間の反発である。この反発は、粒子が同種の電荷をもつ陰極と接触することにより発生する。

第 2：粒子は、陰極からその表面に垂直に放出され、直線的に進み、曲率中心に焦点を結ぶ。

第 3：高真空度における粒子の移動方向は、陽極の位置に依存しない。

第 4：すべての陰極線粒子は、光速のオーダーの同じ速度で移動し、同じ電荷、同じ大きさを持つ。

第 5：陰極線では、X 線管、ガス、陰極によらず、同じ粒子によって電荷が運ばれる。

第 6：陰極線粒子は、宇宙のいずれの原子でも同じである。これは、電気の究極の粒子である。

第 7：陰極線では、1 つの粒子だけが原子から離脱し、残りの部分は正の電荷を持つ。

第 8：陰極線粒子は、紫外線によって荷電体から放出され、同じ速度、同じ電荷を持つ。

第 9：陰極線粒子は、ベクレル線を発生するものである。

第 10：陰極線粒子は、元素を構成する究極の単位である。それぞれの質量は、水素の  $1/3,000$  である。

過去 3 年間、Electrical Review 誌に発表した X 線管の実験のいくつかについて述べ、分類してみる。

第 1：陰極線は純粋に物質粒子の現象で、エーテルは無関係である。陰極線の唯一の発生原因は、真空管内の残存ガスの粒子と陰極の反発力である。この 2 つの主張は同時にとりあげる。これは 1 つの実験が両方に当てはまるからである。X 線管の中央に、両凹面型アルミニウム陰極をもつ X 線管を製作する。X 線管の両端に、白金ターゲットを置く。陰極流がエーテルの影響を受けず、陰極と残留ガス粒子間の反発力に完全に依存するならば、陰極から 2 つの同じ強度の陰極線が発生し、各ターゲットで同じ量の X 線を発生するはずである。いずれから発生する X 線も、陽極となったターゲットから発生する。実験から明らかとなった事、その 1：歪んだエーテル空間は必要である。X 線は、エーテルが最も歪んだ場所で最も多く発生する。その 2：陰極の反発力とともに、陽極はの引力は陰極線の原因

である。

第 2：陰極線の粒子は常に陰極の表面に対して垂直に放出され、直線的に移動し、陰極の曲率中心に焦点を結ぶ経験者であれば、X 線管内で十分に発生した陰極線の焦点を目視できる。ピンホールカメラで撮影することもできる。いずれの方法でも、その距離は管球の排気度だけでなく、駆動電流の電圧によっても変化することが証明されている。陰極からの距離を磁石で変えることができる可動式陽極を備えた管球を製作した。X 線を効率的に発生させるために必要な条件下で、ターゲットを陰極線の焦点に置くためには、ターゲットを理論的な距離の 2 倍の距離に置く必要があることが分かった。この実験により、粒子が陰極の表面に対して垂直に離れた場合、直線的に移動することではなく、曲率中心に焦点を結ぶこともないことが明らかになった。この説明は以下の通りである：陰極線粒子は同種の電気を持つため、互いに反発し、一般に受容されている理論で求められる位置よりも遠くに焦点を結ぶ。

第 3：陰極線粒子の方向は、高真空では陽極の位置に依存しない。第 1 項で説明した実験でもこれが反証されていると思われるが、別の実験について述べる。2 つの管球を接続した X 線管を製作し、一方には通常の陰極と陽極を内蔵し、他方には、前述のような陰極のステムをとり囲むリングがあり、2 番目の管球を通過する際にこれが陽極として機能するようにする。この X 線管を通常の方法で発電機に接続すると、陰極線が陰極の凹面から発生し、通常の陽極に焦点を結んで X 線を発生する。ここで、陽極を電流から切り離すと、補助的なリング電極が陽極となる。この条件下では、陰極の通常側から陰極線粒子は発生せず、結果として通常の陽極では X 線は発生しない。X 線は、陰極の背面、すなわち凸面側から放出された陰極線粒子の拡散流によって、もう一方の管球内で発生する。

第 4：陰極線粒子は、常に同じ大きさ、同じ速度で、同じ電荷をもつ。これらの仮定が正しいとすれば、X 線管内のターゲットに粒子が衝突した際に常に同じ効果が得られるはずである。しかし、実際には異なる。このような X 線管の経験が豊富であれば、線質が管の抵抗によって変化することは誰しも知っている。速度の決定において、管内を循環するガスの減速効果は十分に考慮されていない。この効果を一定に保とうとしても、管内のターゲットへの粒子の衝突によって生じる効果は、他の原因によって変化する。これを示すため、通常の陰極を水銀で覆った X 線管を作った。通常の陰極では良好な X 線が得られるが、水銀陰極では十分な X 線は得られなかった。X 線で手の骨を観察しようとしたが、X 線管全体が明るい白色光で充満した。これは、陰極が水銀の場合、アルミニウムよりも陰極線中の粒子が重く、陰極線が軽いガスで構成されているためと説明される。その結果、粒子は通常のように高速でター

ゲットに衝突せず、制止されてもそれほど高温に加熱されないため、X線と呼ばれる短波長のエーテル運動に対してそれほど効率的な線源とならず、代わりにエネルギーの大部分が通常光として発生したためである。この熱源説に基づく実験については、後述する。もし陰極線粒子が常に同じ質量であれば、すべての陰極は同じ時間内に、同じ電流量で、同じ重量減少を示すはずである。しかし、実際には異なる。また、電極からガスが十分除去されると、マグネシウム、アルミニウムなど軽金属よりも重金属の陰極の重量減少が速いことも判明している。

第5：陰極線中の電荷は、X線管、ガス、陰極に種類によらず、常に同じ粒子によって運ばれる。熱と強いサージを用いてX線を照射し、X線が全く発生しなくなるまでX線管を消耗させる。粒子は完全に除去されたのであろうか？このような驚くべき結果が、これほど簡単に達成されるのであろうか？説明は簡単である。X線管内の効率的な陰極線の発生は、電極に融合するガスに依存する。陰極線が発生しないのは、このガスを除去しすぎたことによる。前述の水銀陰極の実験を考慮されたい。

第6：陰極線粒子は、いずれの原子でも同じであり、電気の究極の単位である。これが事実なら、第5項の実験はどのように説明できるのであろうか？なぜX線は停止したのであろうか？X線管の電極は、電気を供給する発電機に常に接続されている。発電機は、良好な導電体であり、高度に荷電している。第5項の説明は容易に受け入れられるのではないだろうか？また別の実験を考えてみる。X線管を熱とポンプで消耗させ、ポンプ内にガスがなくなるまで排気する。その後、電流を流すと、X線が発生する。ポンプ内には豊富なガスが出現し、X線が発生しつづける限り、気泡が発生する。電流を流し続け、電極から追い出されたガスをポンプで除去すると、X線は消失し、気泡の発生も停止する。気泡が出ている間、正常の陰極線とX線管が発生する。気泡は、電気の究極単位から成るのであろうか？電気は既知のスペクトルを持つガスなのであろうか？それともこの気泡は単に電極出るガスで、第5項に述べたように陰極線を形成するものなのであろうか？

第7：陰極線では、1つの粒子だけが原子から離脱し、残りの部分は正の電荷を持つ。この説に従うと、第5項、6項のような状態のX線管、すなわち正常陰極線がもはや発生しない状態のX線管では、陰極は正に帯電していることになる。しかし負に帯電していた。

第8：陰極線粒子は、紫外線によって荷電体から放出され、同じ速度、同じ電荷を持つ。これが正しければ、コンデンサーに接続したX線管の陰極に紫外線を照射して得られる陰極線からX線が発生するはずである[70]。しかし、この簡単な方法では、医療用に十分

なほどのX線は得られていない。

第9：陰極線粒子は、ベクレル線を発生させ、同じ電荷、同じ速度を持つ。これが正しければ、発電機なしに、X線管から放射性物質の陰極からX線管を発生できるはずである。通常のX線管と同じように、排気するだけでよいはずである。放射性陰極からの陰極線粒子は、X線を生成するためにターゲットに向かう途中で、通常の陰極線粒子と同程度の障害に遭遇することになる。有名なアメリカの物理学者は、放射性物質を増強すれば、医療用X線の発生に現在必要な複雑で扱いの難しい装置の代わりになりうるであろうと述べている。この意見を尊重して、X線の実験を中断して、放射性物質を使う実験を行った。実験の結果、この光線はX線とは特性が異なり、通常光と同様に組織内で拡散し、手の骨も映らないことが判明した。実験は、陰極線の単位粒子と放射性物質の単位粒子の間に、速度の点でおそらく違いがあることを示唆した。同じ真空中で生成され、人体組織を照射する2つの放射線の特性が同じではなかったからである。この種の実験には、時間と費用がかかる。本稿で述べるこの問題への関心は、人間の苦しみを和らげるために最も効率的な放射線を見つけるという願望に根ざしたものであり、結果は残念であった。

第10：陰極線粒子の質量は、水素原子のわずか1/3,000である。粒子は、全ての元素を構成する究極の単位である。原子が複合体であることは、実験的には証明されていないが、おそらく真実である。この説は、原子が分割不可能とする説よりも現象をよく説明できる。しかし、陰極線粒子が究極の単位であるとするのは不合理である。

それぞれの説について、いくつかの提案がなされている。原子が分割不可能とする説は、原子量の違いを、それが原子の性質であると言わずにどのように説明すればよいのであろうか？これは、分別ある者にとって満足のいく答えではない。原子が複合体であるとする説では、軽い原子は重い原子よりも少ない粒子から成ると説明しうる。各粒子は同じ重さでなくてはならず、これで原子量の違いを説明すると、重い原子には軽い原子よりも多くの粒子があるはずである。陰極線粒子が、いかに小さくとも宇宙を構成する究極の粒子ではないことは、それらの粒子が既知のスペクトルを持つことからわかる。もし究極単位の粒子がスペクトルを持つなら、それは新しいものであろう。

筆者は、これに関連して以前のノートで次のように述べている。X線管の実験で、他のガスが管内に存在するにもかかわらず、陰極線に水素のスペクトルが認められた。従って、75個以上の元素を構成する究極の単位に到達するには、陰極線よりも強力な破壊力が必要である。この陰極線のいわゆる究極の分割不可能な粒

子は、ほぼ温度で非常に多くの異なる振動を示し、既知のスペクトルを持つことから、最終の単位ではありえない。トローブリッジ (Trowbridge) が本誌 9 月号に発表した実験は、キルヒホッフ (Kirchhoff) が交換の法則を証明し、フラウンホーファー線の性質を明らかにして以来、天体物理学への最も重要な貢献である。トローブリッジは、コンデンサーの使用下で、常に陰極線に水蒸気のスペクトルを認めた。従って、陰極線粒子は必ずしも要素的ではない。このような微小な粒子が複合体であるなら、元素が結合するときに、新しい分子を形成するのはそれらの原子の結合ではない。原子を構成する粒子の結合は、はるかに密接である。我々が自然の核心に到達するまで、現在の究極の粒子は太陽系の荒野より複雑に見えるであろう。

### X 線

第 1: レントゲンは、エーテルの縦振動と考えた。

第 2: ヨーマン (Jaumann) は、横振動の要素もあると考えた。

第 3: ゴルトハマー (Goldhammer) は、短波長の横振動で、光との違いは大きさだけであると考えた。

第 4: ストークス (Stokes) は、エーテルの、一部正極、一部は負極の、不規則なパルスと考えた。

第 5: トムソン (J. J. Thomson) は、ストークスの説を修正し、陰極線粒子が制止されると、その電荷が単振動してエーテルにパルスを発生させると考えた。

第 6: マイケルソン (Michelson) は、X 線はエーテルの渦であるとした。

第 7: その他の物理学者は、物質粒子の飛翔と考えた。

この偉大な名前リストは、もっと長くもできるが、X 線の本質について、何がわかっているであろうか？何も分かっていないのである。

J.J. トムソンは、陰極線に関するヴァイヒェルトの説、X 線に関するストークスの説をほとんどを受け入れている。彼は、粒子が制止されるとエーテルにパルスが発生し、パルスの大きさは粒子の直径に等しく、このパルスが X 線であると考えた。この理論によれば、X 線が発生するターゲット上の放射領域の厚さは、水素原子の  $1/1,000$  の質量をその粒子 1 個の直径を超えることはできない。これをもとに、厚さを推測してみる。

前提として、水素原子の直径を知る必要がある。これには、いくつかの推測値があることからわかるように、想像を大いに働かせる必要がある。ケルビン (Kelvin) は、原子あるいは分子 (彼はこれを区別していない) の直径は、 $1/1,000$  万から  $1/100$  万 mm としている。マイヤー (Meyer) は、直径  $1/100$  万 mm 以下で、 $0.2 \times 10^{-7}$  cm 程度と考えた。物理化学者によると、分子は固体ではなく、その原子の間にはエーテルが存在す

る。従って、原子の直径は、2 個以上の原子を持つ分子の直径の半分にはなりえず、複雑な分子になればその比率はさらに小さくなる。原子の直径は、おそらく  $1/300$  万 mm 以下であろう。陰極線の粒子説では、粒子の質量は水素原子の  $1/1,000$  以下である。従って粒子の直径は、 $1/300$  万 mm を超えることはない。これが、X 線が発生するターゲットの照射領域の深さということになる。

次のような実験を考える。X 線管のターゲットの角度を、陰極線の軸と  $90$  度とする。陰極線中が当たる部分のできるだけ近くに、白金ブロックを置き、その中にターゲットの表面と平行な細い通路を設け、その開口部はターゲット表面の  $1$  mm 上とする。この条件下で、X 線がターゲット上の深さ  $1/3,000$  万 mm の深さの放射領域からのみ発生した場合、直接線は通路をわずかに照射するにとどまりうる。この通路は、放射領域の底部の深さの  $3,000$  万倍の高さの崖の頂上にあり、放射領域に最も近い開口部を除いて深い影の中にあるからである。通常の説が正しければ、蛍光板の上に通路を通過した光線による像はみられないはずである。しかし光は明るく、短時間露光で Fomms 帯 [訳注: 詳細不明] が撮影できるほどであった。この実験は、X 線が陰極線の反射エーテル渦でも、微細な物質粒子でもないことを示したと思われる。これらは直進すると考えられることから、白金ブロックの通路に入って蛍光板を照らすことは難しいはずである。繰り返すが、帯電した陽極から放出された物質粒子は、帯電した状態で磁石に反射されることをいかに回避できるのか？仮に、帯電せずに回避したとする。すると、帯電したアルミニウムを通過するときに、電荷を受け取り、磁石により偏向するはずである。しかし、偏向しなかった。

筆者が以前のノートで提案した X 線説の方が良いのではないだろうか？これがその説である：陰極線粒子がターゲットを衝撃すると加熱され、放射線源となり、我々が X 線と呼ぶ短波長のエーテル波が発生する。熱が減少するには時間がかかるため、通路の開口部の反対側で反跳されて照射中心となる時もまだ十分に熱い。従って、熱波の前線は通路を通過して直接蛍光板に到達して、これを発光させる。ここで熱という言葉は、これを電磁氣的現象と区別するためではなく、通常の X 線理論のという単一パルスの状態とは異なる、ターゲット衝撃後の陰極線粒子のより持続的な状態を表すために使用している。

この熱波説を指示する実験について述べる。中空ターゲットの X 線管を製作し、陰極線が衝撃する部分を冷却できるようにする。このように冷却すると、X 線量は少なくなる。この X 線管は、A-W-L 管という名称で市販されており、いかなる陰極線でもターゲットを溶融しないため、大量の電気を X 線に変換できることが示されている。より単純な、汎用 X 線管を作った。こ

れはターゲットを軸周りに回転でき、中空部が溶融したら新しい金属面で陰極線を受けることができる。本稿を終えるにあたって、陰極線およびX線からみた原子の構造について考案してみる。レントゲンがレーナルトの放射線の一部が手の骨を映し出すことを発見した後、S. P. トンプソンは、最も重い金属がX線焦点管の最適なターゲットであることを発見した。その理由として通常挙げられているのは、アルミニウムのような軽金属はX線を透過するため、この部分の光が失われてしまうからというものである。X線が通常光と同じ電磁現象であるなら、なぜアルミニウムはX線に対して透明であるべきなのであるだろうか？マクスウェルの理論では、導体は不透明である必要がある。アルミニウムは良導体であり、X線に対して不透過であるはずである。しかし実際には透過性である。X線が電磁現象であるならば、アルミニウムの透過性を説明する何らかの方法を見出す必要がある。

まず、固体原子説を考える。物質の性質はその原子に依存するため、導体が固体であるならば、不透明な原子をもつはずである。X線が電磁現象であるならば、そのような固体の導電性原子を通過することはできない。固体原子を含む金属を通過するならば、その原子はそれらの間のエーテルを通過する必要がある。ある金属が他の金属よりも透明である場合、透明度が高い金属にはより多くのエーテルが含まれているはずである。固体原子説では、いかにしてアルミニウムに白金より多くのエーテルが含まれるのか？固体原子の大きさは同一である。アルミニウムには白金と同じくらい多くのエーテルが含まれている。原子量の比率は、密度の比率とほぼ同じであるからである。アルミニウムの透過性が白金の40倍である理由を説明するには、この差は不十分である。透過性の違いを説明できるほど原子間エーテル量に差がないことから、固体原子説は放棄せざるを得ない。固体原子説は、陰極線の説明の試みと同様、ここでも説明に失敗している。いずれの現象の説明にも、原子複合体説が必要である。

しかし、原子が分解されてできた粒子が究極の単位であるという陰極線説は真実ではない。なぜなら、これらの粒子は既知のスペクトルを示すからである。原子説にはこれら多くの困難があるが、以下の説が示唆される。原子は亜原子(sub-atom)から成る。亜原子は、陰極線粒子である。亜原子には、元素と同じくらい多くの種類がある。従って、陰極線粒子は、既知のスペクトルを示すことが期待される。亜原子は、元素を構成する究極単位から成る複合体である。究極単位は、同じ大きさ、質量を持つ。原子は、同じ大きさ、異なる質量を持つことから、軽い原子は重い原子よりも少ない究極単位を含むことになる。軽い原子は重い原子よりも、エーテルが満たす空間が広いであろう。電磁現象が導体の原子を通過する場合、その現象はそこに

含まれるエーテルのみを伝わる。エーテルが唯一の透過性部分であるからである。エーテルが多い原子は、より透過性が高い。アルミニウムは、エーテルが多く、放射線非透過性の粒子が少ないので、白金よりも透過性が高い。アルミニウムの透過性が、アルミニウムがX線管ターゲットとして白金よりも効率が悪い唯一の理由ではないことを示すために、この理論を次の実験に適用する。

通常、白金ターゲットのX線管を製作し、陰極線の衝撃面をアルミニウム薄板で覆う。透明性理論が正しければ、このようなターゲットは、裏面を銀メッキしたガラス鏡が通常光に対して作用するのと同様にX線に対して作用するはずである。X線はアルミニウムを通過して白金を衝撃し、すべて白金からなるターゲットと比べても、わずかに多くが失われるだけのはずである。実際には、これは効率的なX線管ではなかった。これは以下のように説明できる。陰極線粒子がアルミニウムターゲットに衝突する場合、重い金属の場合のように急激には制止されない。衝撃熱がそれほど大きくないため、エネルギー変換はより長時間にわたる。X線発生が高温によるものであるとすれば、このような粒子はX線源として効率が悪い。しかし、なぜ重金属のターゲットは、軽いターゲットよりも飛翔粒子をより急激に制止させるだろうか？原子複合体説によれば、アルミニウムは白金よりも開放的な構造であり、そのためアルミニウムは飛翔粒子をより緩やかに制止すると考えられる。

(American Journal of Science 1900.11)

[69] 本稿は、以前のノートで言及したいくつかの理論の要約を目的として、他のノートとは異なる雑誌に掲載したものである。従って、興味の読者以外は読み飛ばされたい。

[70] 治療における電子の利用についてはノート179、電子発生装置についてはノート179D参照。

## 静電発電機の回転板の爆発

### THE EXPLOSION OF A STATIC MACHINE PLATE

地下室で電力計を調整していた電気技師が機械室に行き、以前のノートに記載した大型発電機を起動した。そのまま回転させておいたところ、回転円板の1枚が破裂した。幸いに装置は停止し、他の円板は無事であった。これを紹介するのは、相応の重量をもつ飛翔粒子がいかに薄い平面内に飛散するかを示すためである。

他に15枚の円板があり、そのうち3枚は破損した円板から5センチ以内にあったが、いずれも損傷しなかった。しかし、破損した円板の平面内にあるものはすべて衝撃を受けて、ガラスの破片が木やガラスを切損した。円板は直径約2mであったが、破損後の最大の破片は径約28センチであった。ほとんど目に見えないような微細なガラス粉塵の他に、100万個もの細片があった。

このような大型静電発電機は、X線管の安定性に優れるため大規模病院での透視検査に適しているとされるが、回転速度が毎分240回を超えないようにする必要がある。この速度では、円板の辺縁の速度は毎分4/5マイルの速度になる。この発電機は、直径6フィートの回転円板を8枚備えており、水素の真空実験では数日間にわたって終日毎分200回転で運転していた[71]。

(Electrical Review 1900.10.31)

[71] 1903年追記。この種の発電機は、製作、修理に費用がかかるため医用分野では一般的に使用されない。誘導コイルは、X線管からX線が安定しないために透視診断に不適であるとする主張は誤りである。7年間の実験で観察された最も鮮明な臓器の画像は、誘導コイルを使ったX線によるものであった。

## X線管の排気法

### HOW TO PUMP AN X-LIGHT TUBE

以前のノートで、陰極線、X線を効率良く生成するには、ガスと電極の融合 (amalgamation) が必要であることを示した。ガスがなくなると、電極間の歪んだエーテルを横断して電流を運ぶものがないため、通常の電圧では陰極線は停止する。マクスウェルは、導電体は不透明であることを示しており、透明なエーテルは電気を伝導できない。陰極線を再開するには、新たなガスを供給する必要があるが、これには幾つかの方法がある。一見枯渇しているように見えても、より大きな力、つまりより強力な発電機を使用することで、電極からガスを取り出すことができる。加熱することにより、ガラス壁からガスを回復することもできる。管外の供給源を使って、分子間調整管でガスを導入することもできる。管内に封入された補助管内の化学物質からガスを供給することもできる。これらのいずれかの方法でガスを導入すると、以下が起こる。すなわち、ガスの一部が電極に結合し、電流を載せて電極間のエーテル空間を移動するものが生まれる。

真空度を低下させない程度に少量のガスを導入し、電極と結合するまでしばらく待つと、管球の抵抗は大幅に低下する。この現象は以前のノートでも言及したが、忘れないためにはくり返しが重要なので再びここで述べる。従って、X線管をポンプで排気することの意味は、ガラスとそれが囲む空間を排気するだけでなく、電流によって電極から十分なガスを除去し、使用中にガスが急速に失われて真空度が低くなり過ぎ、X線管が使用できなくなることを防ぐことにある。

ガラスと密閉空間の排気は、熱とポンプで十分であるが、電極から適切な量のガスを除去するには経験を要する。使用時に、どの程度の電圧をかけるかも知る必要がある。例えば、X線管をアンペア数が小さい通常の静電発電機で励起する場合は、電極のガスは充分多くする必要がある大きなコイルと電解式断続機を使用する場合は、電極は充分排気する必要がある。しかし最も良いX線管でも、ガスの供給が枯渇する時機が来る。その時は、これを回復する最善の手段を考慮する必要がある。一般的な方法である調整管からガスを供給する場合は、以前のノートで述べたように、水素が有用である。

(Electrical Review 1900.10.31)

## 地方在住医師のための X 線装置

### X-LIGHT APPARATUS FOR PHYSICIANS IN THE COUNTRY AND OTHERS

- ・商用電灯線回路が利用できない場所における X 線装置の運用方法、多重直列火花間隙の意義とその歴史
- ・多重直列火花間隙の誘導コイルへの応用
- ・二次コイル絶縁物質に包埋されておらず、各セクションが独立して交換可能な新式の誘導コイル
- ・二次コイルのセクション数を変更することでコイルの電圧が変化する原理
- ・医用検査において蛍光透視板の画像から目を離さずに、線源の位置、線質を制御する必要性
- ・医用診断に使用する X 線管を励起するための発電機における高起電力の重要性

すべての医師が、診断、治療に X 線を利用する時がやがてくるであろうが、現在のところ之を利用する医師の数は限られたものである。その理由の 1 つは、市販の装置のほとんどが欠陥品であることである。商用電流が利用できる都市では、コイルや静電発電機をメーカーから購入することが現実的で、適切な変更を加えることこれを有用なものとするができる。どのような変更が必要かについては、後述する。

電力、水力に手が届かない地方在住の医師にとっては、難しい問題がある。ウィリアムズ博士が、観察に基いてどのような装置を推奨すべきか判断できるように、この問題の解決方法をいくつか示すこととする。最も安価な構成は、図 43-79, 43-80, 44-81 のような、変更を加えた 12 インチのリッチーコイルである。コイルは、24 個の重力セルで常に充電された状態に保たれている 4 セルの蓄電池を使って励起される。この装置は、一次側 43 ワットで、コイルに通常付属するハンマー断続機を使用することで、X 線管に 1 日 1 時間通電するために十分な電流を供給できる。この少量のエネルギーを、無駄を最小として使うために、X 線管の抵抗には細心の注意を払う必要がある。工場は、使用時間に応じて 3 ~ 6 カ月毎に重力セルを更新する以外は、特に手入りを求めている。装置全体が、普通の本箱位のサイズのケースに収まり、コイルはその上に載る。この種の装置を、数週間にわたってテストしてみた [72]。構成を図 45-82 に示す。

もう 1 つのタイプを図 46-83 に示す。これは、1 馬力のガソリンエンジンで駆動する静電発電機である。ここでは図示するためにエンジンを発電機のそばに置いているが、実際には地下に置いて床を通してベルトで駆動できる。ガソリン 1 クォート [訳注: 1/4 ガロン、約 0.95 リットル] で、静電発電機を 1 時間駆動できる [73]。図 46-83 に少し説明を加えた。ウィリアムズ博士が初めて導入したストレッチャーは、患者の検査に便利である。ストレッチャーをベッドサイドに持ち込

めば、患者を安全に、疲れさせることなく X 線検査室に搬送できる。ストレッチャーから垂れ下がっているのは鉛スクリーンで、電線でガス管あるいは水道管に接地する。ウィリアムズ博士考案のこのセッティングは、テスラスクリーン [訳注] の改良版で、よく経験する痛みを伴う火傷の原因となるエーテル歪みの影響から医師を保護するだけでなく、E. トムソン教授 [74] はじめ有名な電気技術者が火傷の原因であると述べている X 線からも保護する。

3 つ目のタイプは、同じガソリンエンジンで 1/3 馬力の発電機を駆動するもので、この電流を使って何らかの方法でコイルを励起する。1 つは、110 ボルトの発電機を使い、これを適当な断続機を介して直接コイルの一次側に接続する方法である。この方法では、患者の検査中もガソリンエンジンを運転する必要がある。

そこでエンジンの騒音を避けるために、検査中にエンジンを回さなくて良い 2 つの方法を考えた。1 つは、電流を図 45-82 と同じような 50 セルの蓄電池に充電する方法である。充電は助手にやらせることができ、医師はエンジンを使うことなく 1 日数時間コイルを励起できる。もう 1 の方法は、10 ボルトの発電機を使い、これで 4 セルの蓄電池を充電し、これを通常のリッチーコイルの一次側に接続する方法である。いずれの場合も、部品はすべて市販されているので、医師が自分で組み立てることができる。いずれの装置でも、X 線管は放射線非透過性の箱に収め、検査部位を照射する最小限の円錐部以外から X 線が放出されないようにしなければならない。その理由は、既に述べたものに加えてもう 1 つある。X 線管は突然前触れなく爆発することがあり、尖ったガラスの破片が四方八方に飛散するからである。自分も初期から X 線管を囲って使用していなければ、視力を失っていたであろう。X 線管使用中あるいは電流を停止した後に発生するこの爆発の理由は、今のところ不明である。これは、いずれのメーカーの X 線管にも発生し、水素、酸素、または水蒸気の調整管を備えた X 線管でも、これを備えていない X 線管でも発生する。ノート 87 に、X 線管を励起するとガラス内にガスが埋入し一部は結合することを述べたが、これがガラスを脆弱化するのかも知れない。

(Electrical Review 1900.12.19)

## 地方在住医師のための X 線装置 (続)

図 47-84, 図 48-85 に、アルコールランプ付きの新しい X 線管ホルダーを示す。これにより、通電前に X 線管を加熱できる。これは、調整管のない X 線管の初期抵抗が高い場合に重要な問題である。箱のカバーはヒンジ付きで、スライドする板にテスラスクリーンがはまっており、その一部に絞り板がある。箱には 2 電極管あるいは 3 電極管をいれることができる。ほぼすべ

ての人が信じているように、X線が火傷の原因となるのであれば、これは常にX線管を密閉する重要な理由となる。密閉することにより、患者と医師はX線からほぼ保護されるからである。以前のノートで、現時点でX線管に必要と思われることはすべて述べた。次に発電機、おおび透視装置で使用するX線管で使う場合に、市販の発電機の加えるべき変更について検討する。医学診断におけるX線の将来は、このような機器で得られる結果に大きくかかっているからである。

第1の必要条件は、線量、線質の完全な制御下に強力なX線を放出する装置である。ウィリアムズ博士のためにこの問題を解決する目的で、これまでで最も強力な静電発電機を製作した。これは、直径平均2mの回転円板16枚を備え、X線発生に十分な性能であることが証明されており、費用や大きさが重要な問題とならない病院には良い発電機である[75]。自分で装置を組み立てる場合のコストは2,000ドルで、複製する場合よりもおそらく高くなる。エリング(Oelling)氏とハインツ(Heinze)氏は、1,700ドルまで下げられるという必要な接地床面積は6×6フィート、高さ10フィートである。現時点で、発生するX線の安定性に関してこれに匹敵する発電機は他に知られていない。ただし、現在製作中のトロブリッジの蓄電装置を改良すれば、より持ち運びやすく安価で、この点においては同等になると期待されるが、X線管の抵抗には注意が必要がある(ノート99参照)。次に満足な発電機は、筆者がウィリアムズ博士のために設計したコイルである。

これを使うと、「静電誘導法」「ファラデー法」「フランクリン法」「高周波法」など奇妙な名前で呼ばれている電気治療で使用する様々な電流をすべて得ることができる。このコイルは、医師が2つのハンドルを操作するだけで、小容量の火花長1cmから大容量の43cmまで、あるいはその間の任意の火花を発生できる。電圧、電流の自由度が大きいことから、X線管の励起に適しており、X線管を自在に制御できる。このコイルの例を、図49-86、図50-87に示した。

まず、一次コイルから説明する。患者の検査、治療中に医師が2つのハンドルを操作することにより、一次コイルにより生成されたエーテル歪み領域内の二次コイルの位置を変更することで、コイルの出力を制御できる。1つのハンドルにより、一次側の銅線の二次側に対する位置が変化する。もう1つのハンドルにより、鉄芯を部分的に移動したり、引き抜いたり、あるいは別の鉄芯に差し替えることができる。[76]。治療に使われる弱いコイルでは同様の調整法がよく知られているが、X線治療と電気治療の双方に使用する強力なコイルにおけるこれらの動きの重要性は、実際に使用しないと理解できない[76]。一次側と二次側を隔てる管の材質は重要である。一次側はしばしば1,400ワットとするが、強力なコイルでは電流が硬質ゴムやガラスを直

撃するので、雲母(マイカナイト、人工雲母)の方が望ましい。

二次側セクションの構造は、他のコイルと異なる二次側セクションは、一次側を巻く管とは独立で、管をいつでも二次側セクションから引き離すことができる[76a]。各セクションはそれぞれ隣接するセクションとマイカナイトで隔てられており、管を引き抜くことで取り外すことができる[76a]。7セクション対毎に導線が、コイル全長にわたるガラス板あるいは雲母板内を通して真鍮球に接続されている。図49-86、図50-87に示す調整桿を動かすことによって、二次コイルのセクション数を7から96まで任意に選択できる。任意の電圧において電流を変化させるには、前述のように一次コイルを動かすだけで良い。この方法で、コイルの出力を、人を殺せるほどの轟々たる大電流から、感電してもほとんど分からない程度の火花まで変化できることは興味深いところである。ライデン瓶の蓋を外し、高周波コイルを支える硬質ゴム製のリングをそこに置くことで治療用の電流が得られ、将来的に電気医学の分野でもこのコイルが使えるであろう[77]。

1865年にスポティスウッド(Spottiswoodes)が発明した、X線管の初期の研究を知る者には馴染み深い電解式断続器を使用すると、大量の電流を一次側コイルに流すことができる。すると、X線管の抵抗がすぐに低下し、X線の性状が変化して蛍光板が良く光らなくなる。この問題を解決するには、火花間隙をX線管と直列につなぐことで、当面は対処できる。抵抗がさらに低下する場合は、火花間隙を長くしてX線の質を維持する必要があるが、不安定になってX線透視には不向きになる。

同じ問題は、強力な静電発電機でも発生する。これを解決するには、多重火花間隙を使用する必要がある。これについては、ノート45、72を参照されたい。誰が最初に、複数の火花間隙を直列にしてX線につないだかは不詳であるが、筆者は3連を使用したナド・ソラシオ(Nado Soracio)から知った。図46-83の静電発電機では、14連に増やした。しかし、このサイズの発電機では、電圧も電流も小さいため、American X-ray Journal誌1898年11月号のノート、図46-83に示す2連の可変火花間隙が、抵抗が低いX線管を使用するには適している。

ウィリアムズ博士は、ソラシオからヒントを得た数連の火花間隙を、大型の静電発電機に応用した。これは、Scientific American誌1899年6月17日号に掲載されているが、ノート39に記載の静電発電機を応用したもので、騒音を防ぐために火花間隙を密封した。密閉すると、硬質ゴムが発火して良導体となり、火花間隙が短絡した。そこでガラス管を使用し、ドリルでガラスに穴をあけて金属球をはめ込んだが、ガラスが割れ易くなるため、この方法は諦め、球の周囲をリング

で保持するようにした。これは効率的だが高価なため、金属球を雲母片に載せ、雲母片を木箱の中に密閉した。図 43-79, 80 にこれを示す。一見良好と思われたが、火花が木を跳び越えて一定の長さを炭化し、火花間隙が短絡することがあった。

そこで、図 44-81, 48-85, 49-86, 50-87 のような設計とした [78]。これは効率がよく、安価で、市販のどのような発電機にも適用できる。真鍮球を載せた雲母片は、ガラス管内の中に収められており [79]、一端は硬質ゴムのキャップで閉じられ、そのキャップに真鍮球が管の中に突き出てコイル端子として機能する。ガラス管の他端はスリーブ付きの金属キャップで閉じられ、スリーブ内を真鍮製の棒がスライドし、その内端は真鍮球に終わり、外端は非導電性のハンドルになっている。図 81, 85 は、これをリッチーコイルと組み合わせたものである。このコイルを例としたのは、新しい誘導コイルはリッチー (Ritchie) に負うところが大きいからである。ページ (Page) は、ファラデー、ヘンリー、スタージョンらの発見をもとに誘導コイルを発明したが、現在すべてのメーカーが採用している一次コイルをセクションに分けて巻く方法を発明したのはリッチーである [80]。リュムコルフが同等のコイルを製作したのは、ページのコイルが使用され始めてから 4 年後のことで、誘導コイルに人の名前を付けるならば、ページあるいはリッチーとするべきである [81]。

リッチーコイルを X 線透視装置で使うには、通常のコイルを取り外し新しいサポートを取り付ける。このサポートには、X 線管に合わせて容量を変えられるように、さまざまなサイズの金属球をセットできるソケットがある。多重火花間隙は、コイルの硬質ゴム端から、同材質のリングに終わる硬質ゴム支柱で支持する。

このリングは、火花間隙の外側に位置するガラス管を支持する。真鍮棒をガラス管内に押し込むと、コイル端子となっている真鍮球に接触する。真鍮棒から X 線管へ、フレキシブルな電線を通して電流が流れる。真鍮棒を引き出すことにより、1 つあるいはそれ以上の数の火花間隙を使えるようになる。電流は、一方の真鍮球から他方に跳躍し、その数は真鍮棒の位置で定まる。リッチーコイルは数多く使用されており、この形式の火花間隙が採用されることが望まれる。図 49-86, 50-87 に、可変電圧コイルに適用した例を示す。

火花間隙を制御するハンドルは、医師が使いやすい位置にあり、X 線透視板から目を離すことなく X 線を制御できる。これは非常に重要なことである。一般的に、X 線に高電圧は望ましくなく、6 インチ火花間隙の発電機で十分でされるのが普通である。X 線管の抵抗が 2 ~ 4 インチの時に最も良い X 線が得られるためである。しかし、以前のノートで述べたように、このような発電機の使用には大きな反論がある。反論の 1 つを再掲すると、X 線管に強力な X 線を発生する負荷を加

えると、多くの粒子が管内の循環系に放出されることである。この結果、X 線を発生するためにターゲットに向かう陰極線はこの粒子のミストの中を通過する必要がある、ターゲットへの衝撃力が弱くなる。従って、X 線発生条件は劣化し、最終的には何も発生しなくなる。すると、粒子がガラスに侵入するまで、X 線管を再排気したり、何時間も稼働させ、最小限の負荷で X 線が発生するように抵抗を高くする必要がある。

低抵抗の X 線管でも、多数の直列火花間隙が使えるほど十分な電圧の発電機につなぐと、X 線透視や X 線撮影に最適な X 線を豊富に発生させることができる。この問題を、図 51-88, 89 に示す。被写体はニワトリである。図 51-88 のネガは、低抵抗の X 線管を遣い、火花間隙なしで、28 分露光したものである。図 51-89 のネガは、多重火花間隙を直列にし、28 秒露光したものである。X 線乾板は同じ箱から取り出したもので、管球との距離は同じで、X 線管は 2 枚の撮影の間 (約 2 分間) も励起したままの状態とした。X 線管は、事前に安定するまで約 3 時間励起した状態とした。唯一の条件の違いは、2 枚目の撮影時に火花間隙を使用したことである。X 線乾板は、同じ現像液で同時に現像した。

1 枚目の写真は 2 枚目の 60 倍の露光時間にもかかわらず、画像の痕跡すらなく、ネガは透明なガラス板として現像され、真っ黒な画像となった。火花間隙がないと X 線管は X 線を発生しないので、28 分ではなく 28 時間としても同じことになる。これに関連して、蛍光管は透視装置で見える光線を放出していても、写真乾板上に画像を生成する可能性があるとして述べておくべきであろう。これは、他の実験と同じく、新しい蛍光物質の発見がいかに重要であることを示すものである。高性能発電機の価値を示すには、この 2 枚の写真以上のものは不要であろう。

この他にも証拠が必要であれば、ウィリアムズ博士がボストン市立病院で、古典的な撮影法を難なく行ってきた事実に見出すこともできる。すなわち、高電圧発電機と、他の研究者が役に立たないと考えるほど抵抗の低い X 線管を使って、X 線を完全に掌中のものとし、密度がほとんど同じ組織を明瞭に識別できる線質を得ることができたことである。この問題を別の観点から扱ったノート 10 (Electrical Review 誌 1898 年 1 月 5 日) も参照されたい [82]。

低電圧発電機に適する、抵抗が安定した X 線管を、なぜメーカーに求めないか問う向きもあろう。これには、前述のこと以外にもう 1 つ理由がある。このような X 線管の電極は非常に乾燥している。陰極線の発生源が部分的に乾燥していると、調整管を使用して X 線管に新鮮なガスを供給するか、加熱する必要がある。1 時間励起して、ほとんど抵抗がなくなり 1mm 以下となった X 線管は非常に便利である。このような X 線管を使用すると、火花間隙とコイルの電圧ハンドルを動

かすだけで、X線管の特性を広範囲にわたって変化させることができる。こうすると、完全な暗闇から突然明るい光線が得られるようになる。

ボストン市立大学ウィリアムズ博士のために、筆者の設計によるコイルをエリング・ハインツ (Oelling & Heinze) 社が製作した。一次側の断続器も、同社のものを使用した。このスポティスウッド断続器の改良版は、既に述べたもので、これまで最も過酷な条件で使用してきたものである [82A]。その外観を図 52-90 に示す。これはモーターによって、1 本または複数本の白金線を、適当な溶液内のガラス管開口部から出し入れするものである。X線透視に十分な安定したX線管を供給できる、唯一の市販電解式断続機である。いかなる断続器も、強力な静電発電機より安定なものはない [83]。

(Electrical Review 1900.12.26)

[72] 1903 年追記。長年使用した経験から、重力セルは脆弱な部品であることがわかった。小型ガソリンエンジンあるいは発電機の方が良い

[73] 1903 年追記。X線管励起のエネルギー源として、静電発電機を考慮する必要はない。

[74] X線管が燃えることを最初に報告したのはホークス (Hawkes) である。ノート 136A 参照。

[訳注] テスラスクリーン。テスラ (Nikola Tesla) がX線の有害作用を遮蔽する目的で考案した、アルミニウム線からなるシートを接地したもので、ファラデーケージ (Faraday cage) と同じく電磁波遮蔽効果があるが、X線そのものは遮蔽できない。

[75] ノート 159, 160 で推奨されているコイルでX線管を励起すると、安定したX線管が得られ、携帯可能で強力な装置を作ることができる。

[76] 1903 追記。このコイルを製作した会社は、この方式を放棄した。

[76a] 1904 年追記。コイルの二次側をこのように作る方法は、批判の対象とされてきた。ある筆者は「このようなやっつけ方法に弁解の余地はない」とし、別の者筆はこの方法には欠陥があることを証明したと述べた。しかし設計に基づいて開回路変圧器と閉回路変圧器の両方を組み立て、その優秀さがわかったため、このノートを再刷するに当たって、二次側セクションを互いに独立させ、一次側セクションと管を分離させないという原理を取り入れ、予備セクションを用意しておけばすぐに修理できるようなコイルの製作経験についてハインツ社に問い合わせた。その回答によると、火花長 12 ~ 50 インチのコイルを約 800 個製作し、いずれも満足のいくものであったという。この方法が簡単であることは、次の例からわかる。ノート 137 記載の 70cm のコイルの組み立て指示書が、機械工の訓練を受けていない 40 歳台の、それまで農場で働いていた男性に渡された。彼は指示書に示された通りの火花長を持つ満足のいくコイルを製作できた。

[77] 詳細はノート 179B 参照。

[78] 改良法についてはノート 179D 参照。

[79] 雲母管は不透明であることから望ましい。ガラスを使う場合は、不透明にするべきである。

[80] 1903 年追記。この方法を最初に使用したのはポゲンドルフ (Poggendorff) である (Cajori 著。物理学の歴史)。

[81] リッチーではなく、ポゲンドルフである。

[82] 自動調整桿を使用して、透視板から目を離さずにX線の線質を調整する方法については、ノート 152 参照

[82A] 1904 年追記。ハインツ氏 (Mr. John O. Heinze) は、彼の電解式断続機より優れた機械式断続機を発明した。この断続器と、この写真に示すような 51cm コイルを使用して、成人股関節を数秒で撮影でき、胸部の瞬間撮影にも充分である。

[83] 断続器は不要。ノート 159, 163 参照。

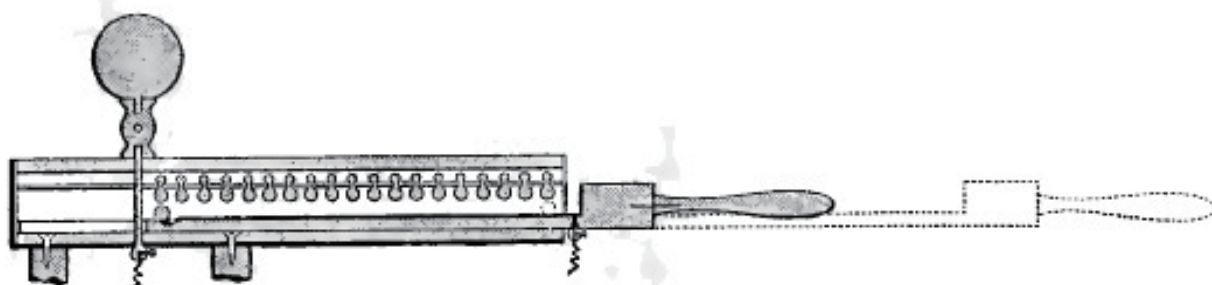


図 43-79. 多重火花間隙の部分拡大図

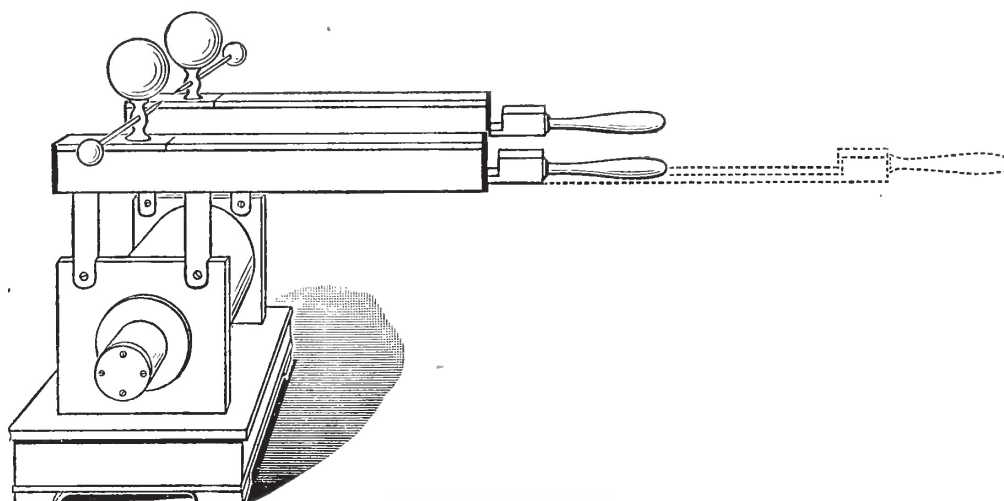


図 43-80. 多重火花間隙をコイルに結合した状態

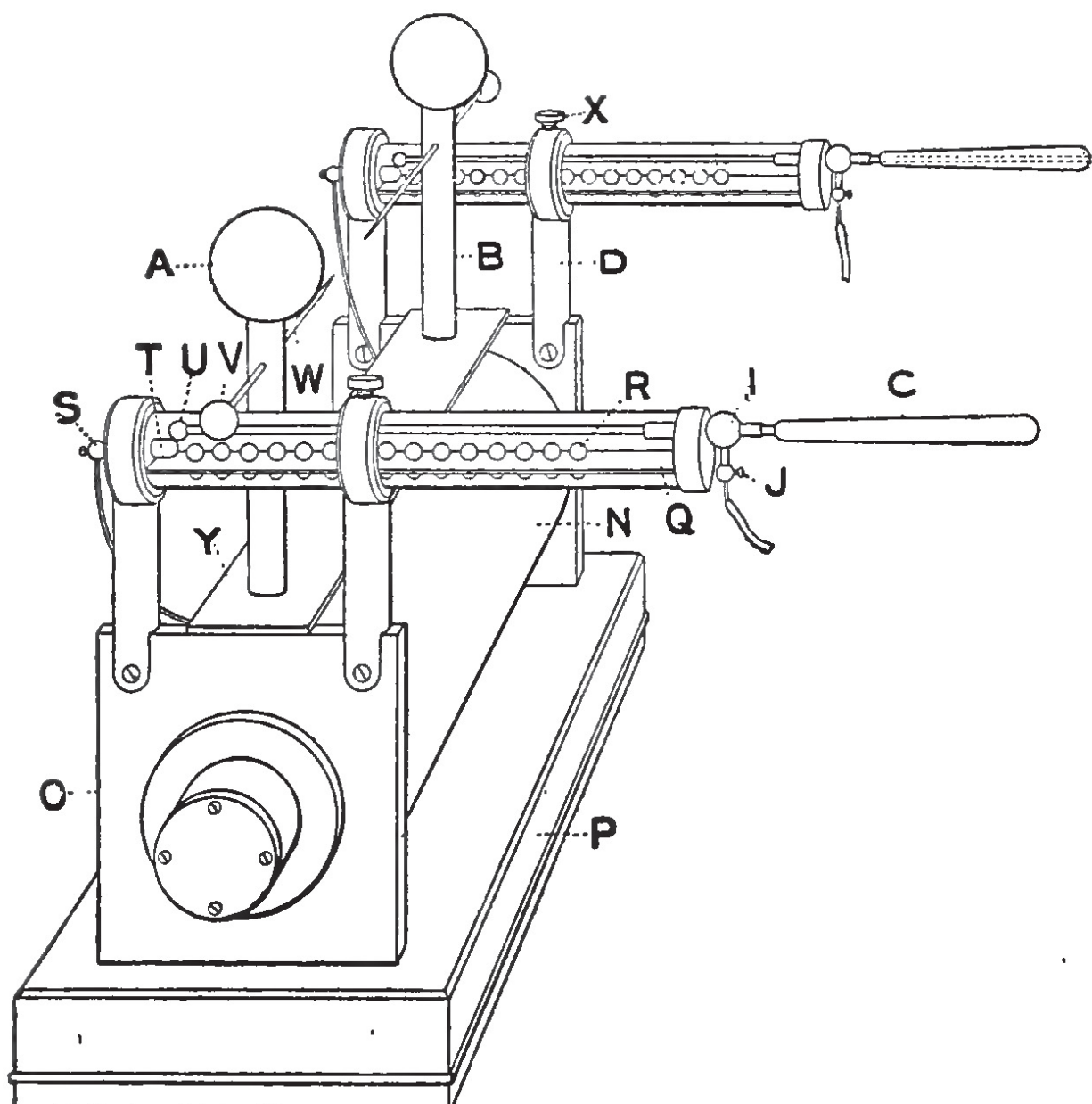


図 44-81. 多重火花間隙をコイルに封入した状態

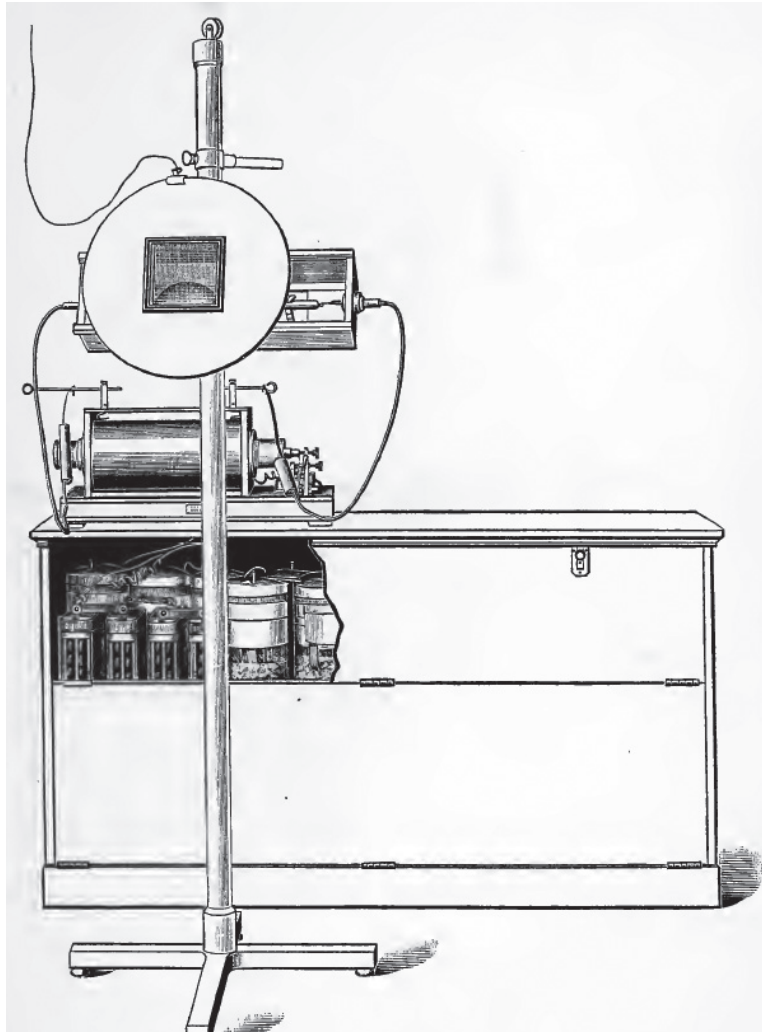


図 45-82. 蓄電池で駆動されるコイル

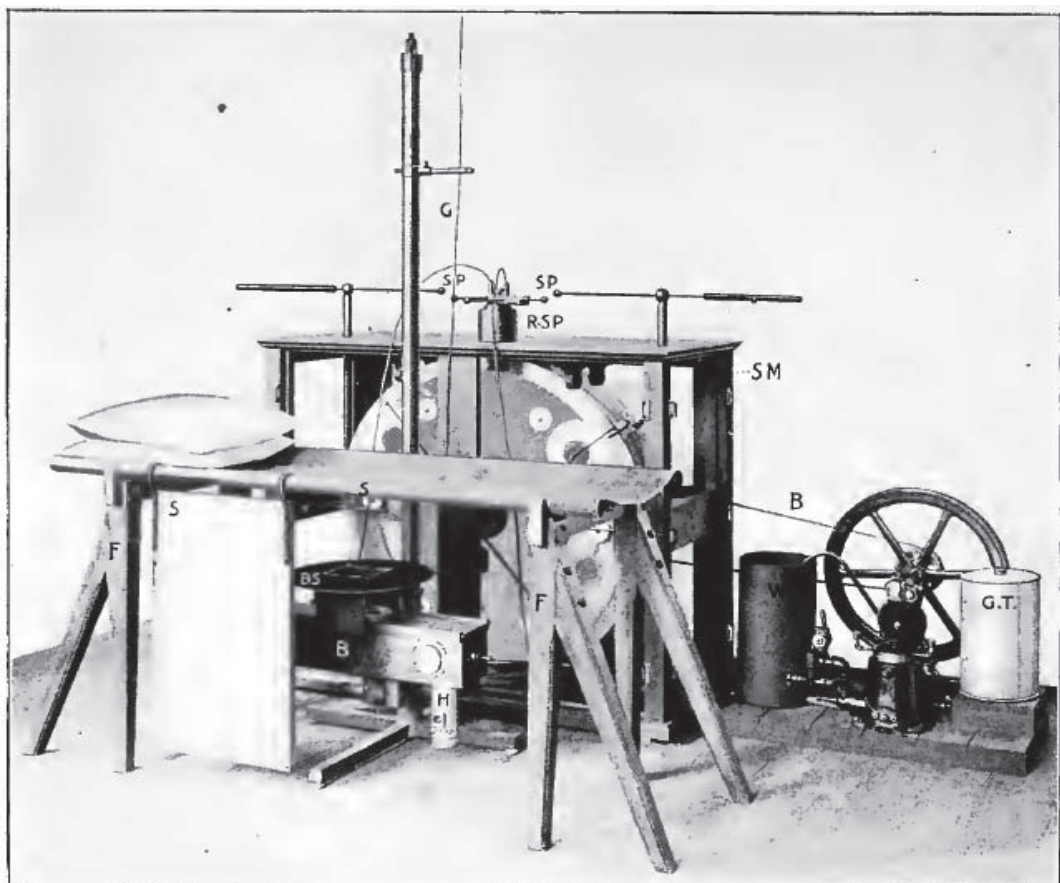


図 46-83. ガソリンエンジンで駆動される静電発電機.

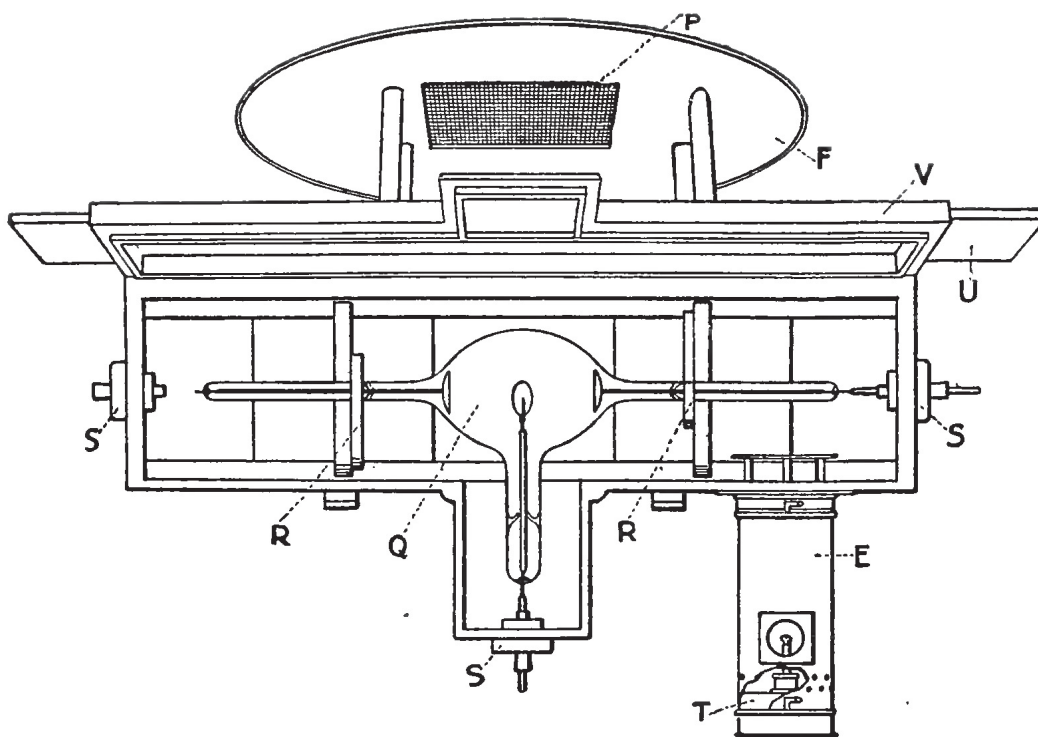


図 47-84. 放射線非透過性 X 線管ホルダー, 可変絞り板, テスラスクリーン, X 線管の始動抵抗を低下させるための付属装置.

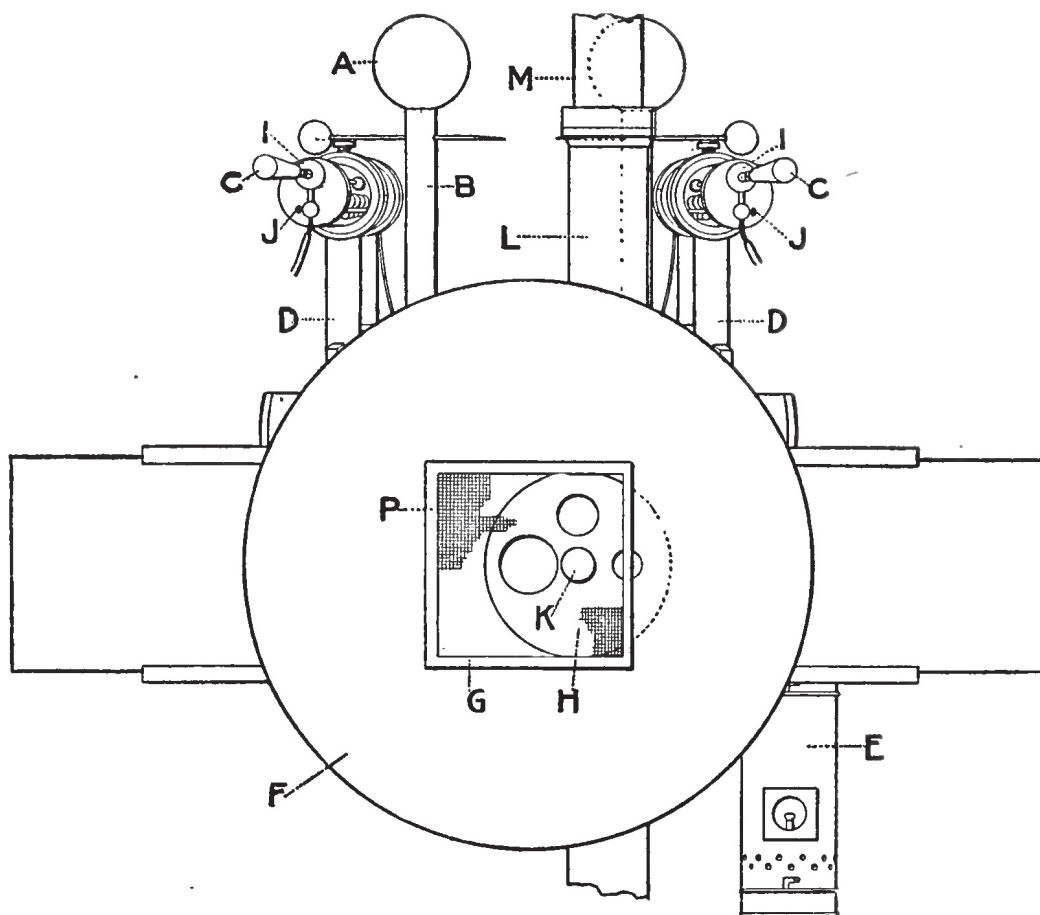


図 48-85. 図 47 に示した X 線管ホルダーの正面図

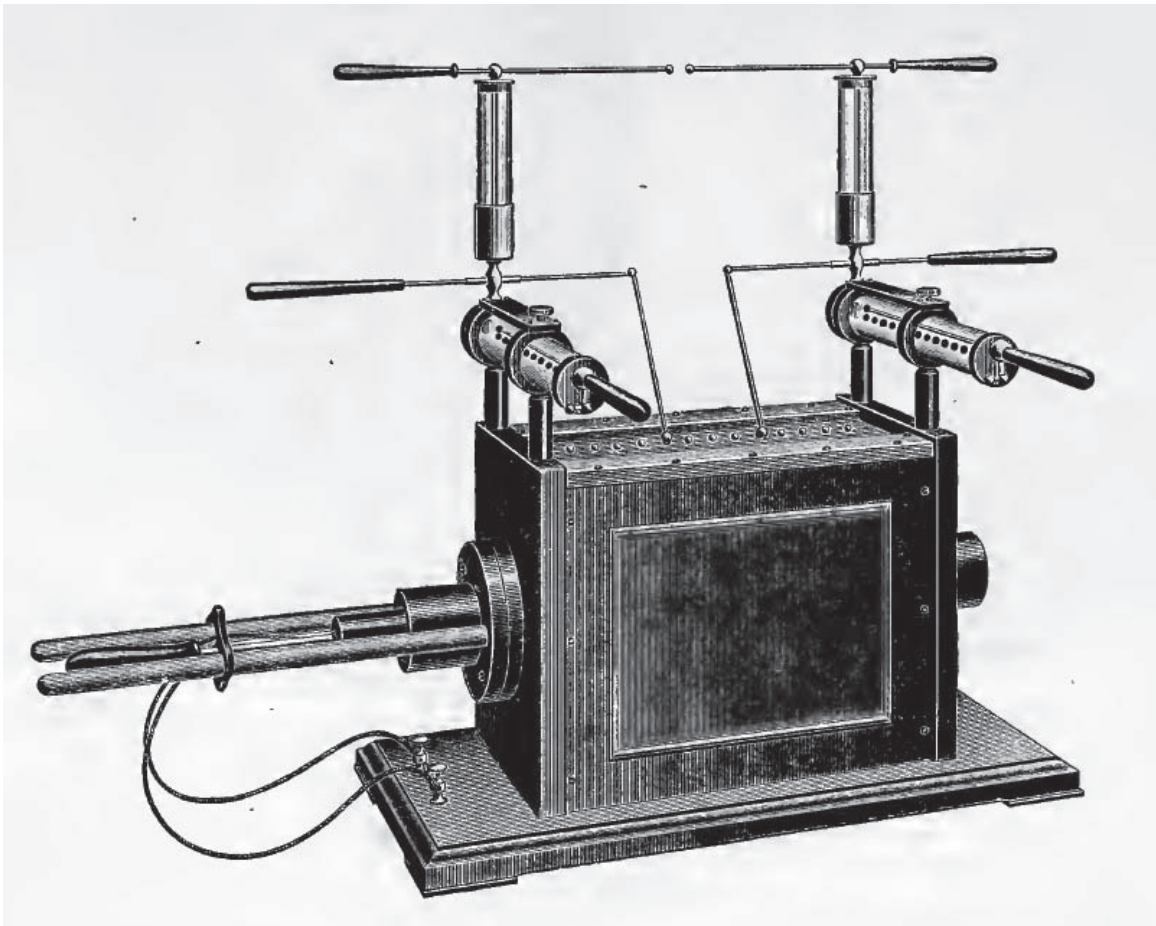


図 49-86. 交換可能二次セクションをもつ可変電圧誘導コイル

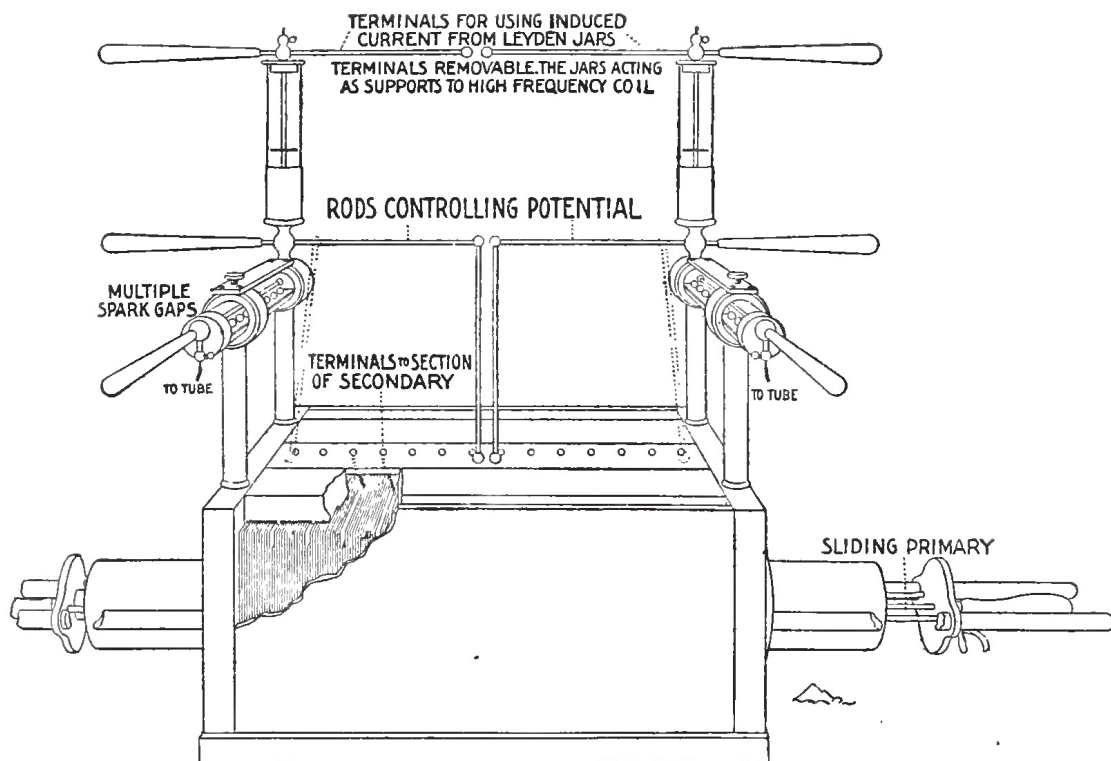


図 50-87. 交換可能二次セクションをもつ可変電圧誘導コイル



図 51-88. 低い抵抗の X 線管で撮影した写真、火花間隙不使用.



図 51-89. 多重火花間隙を使用して、同じ被写体、同じ X 線管で撮影した写真.

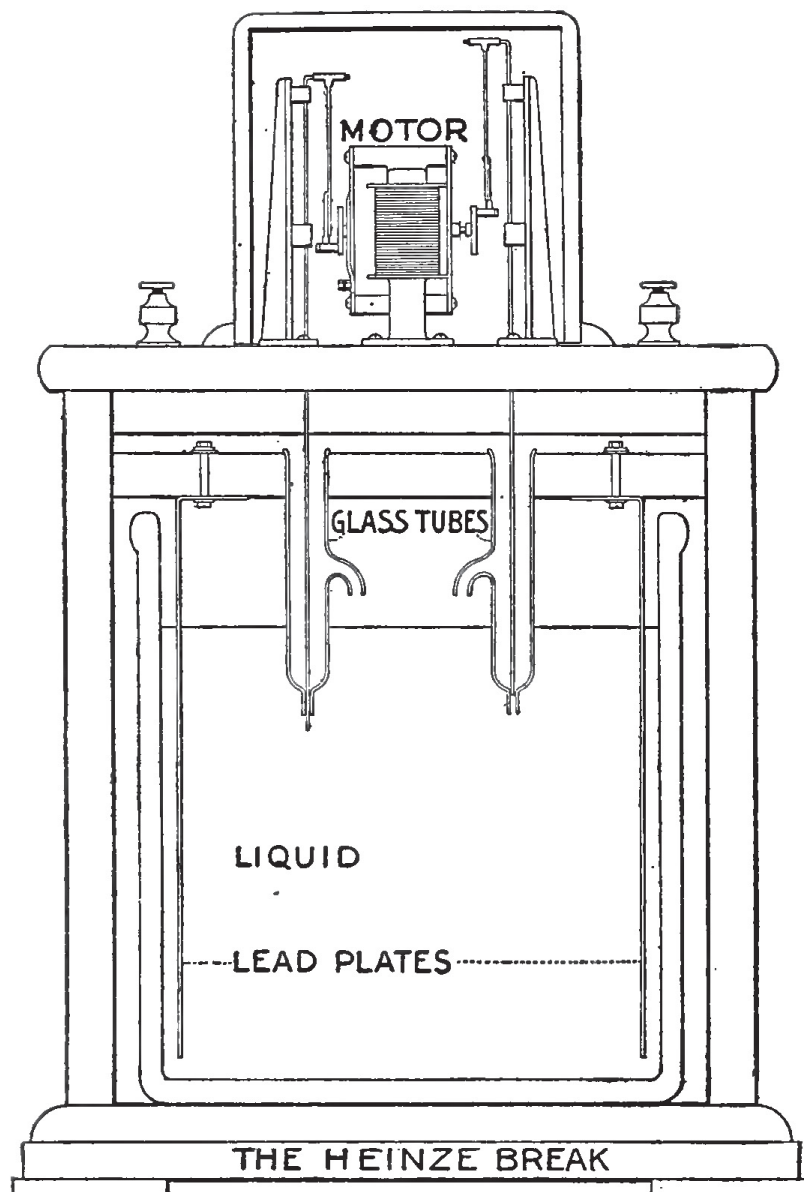


図 52-90. ハイイツ電解式断続機

## X線管の真空度

## THE VACUUM IN AN X-LIGHT TUBE

X線管の真空度が、100 万分の 1 気圧程度でなくてはならないとするのは、長年信奉されてきた呪文である。X線の発生には、X線管内を「暗黒空間」で満たさなければならないというのは誤りである。自由経路、いわゆる「自由分子経路」が必要であるというのは不合理である。そのような経路が存在するという証拠はない。

X線管の良否を決めるのは、真空度だけではない。電極の状態と発電機が問題なのである。十分なエネルギーがあれば、陰極線単位を大気圧下でもX線管に流し込んで、明るいX線を発生できる。このようにして得られる振動は、その周期のため組織内で広く散乱してしまい、深部組織の画像はぼやけてしまうので、選択的フィルターが必要である。

(Electrical Review 1901.1.5.)

## 天秤型陰極

## ON BALANCED CATHODES

以前のノートで、陰極の質量が減ること、同量の電気を流しても他の陰極より多く減るものがあることを述べた。これは理論的に重要な点なので、使用したX線管の1つを図53に示す。この陰極は、天秤の片腕となっている。

(Electrical Review 1901.2.2)

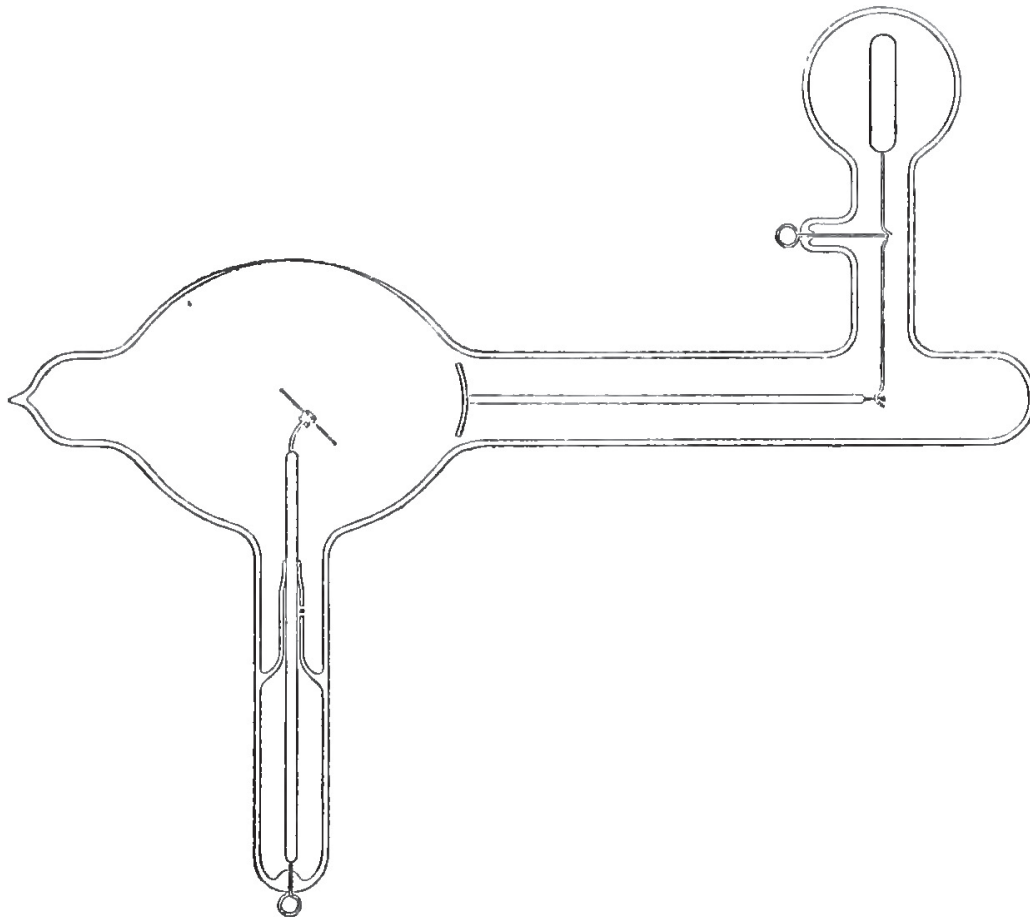


図 53-91. 天秤型陰極をもつ X 線管.

## 放射性物質の陰極

### CATHODES OF RADIO-ACTIVE SUBSTANCES

・陰極がラジウム塩でできている X 線管の実験

図 54-92 に示す X 線管は、アルミニウム製の陰極の外周が縁の役割を果たすように折り上げられ、陰極の表面を厚さ 2mm に覆う放射性物質の層が陰極の表面から落下しないようになっている。白金製ターゲットにはヒンジが付いており、邪魔にならないように回転させることができるため、放射線は X 線管内を陰極の反対側の壁まで妨げられることなく通過し、その向こう側に写真乾板を置くことができる。X 線管を消耗する前に、乾板を露光した。その後、X 線管を加熱と大電流によって、電流が流れなくなるまで消耗させた。別の乾板を露光したところ、放射線量は増加していた [84]。

(Electrical Review 1901.2.2)

[84] この実験は、夏にハインツ氏 (J. O. Heinze, Jr) が、筆者の私のために行ったものであるが、さらに実験が必要である。この後、ラジウム塩は消耗 X 線管内に保管され、X 線管消耗の過程で失われた粒子と同じような粒子が放出されることにより、X 線管を再生できるか調べた。ノート 175 の脚注も参照。

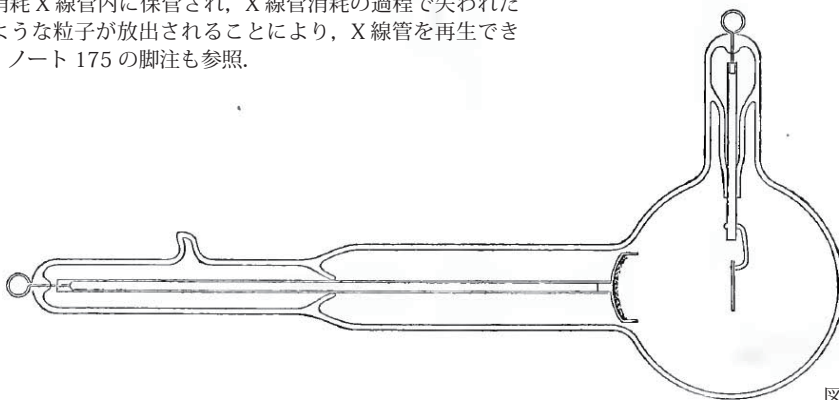


図 54-92. 放射性物質の陰極をもつ X 線管。



図 55-93. 小型シーヒア (Seehear)。

## 小型シーヒア

### A SMALLER SEEHEAR

・聴診器を組み合わせた放射線非透過性壁をもつ X 線透視装置

開放型透視板を備えたこの装置の大型版については、本誌 1899 年 2 月 8 日号に示した [85]。この装置は、聴診器に関して 2 つの新しい特徴を備えている。1 つは音響チェンバーであり、もう 1 つはこれと連続した蛍光板である。前者は、一般的な聴診器でも採用されているものであるが、後者については説明が必要である。図に示すように、蛍光板は径 7cm、音響チェンバーは深さ 1cm で、患者側の壁は薄い硬質ゴムあるいはその他の放射線透過性材質でできている。臓器を検査しながら胸部の音を聞くことには利点があり、良質、充分量の X 線を照射する比較的安価な装置が入手可能な現在、シーヒアのような機器はこれまで以上に広く使用され、このような形式はさらに高く評価されるであろう。

(Electrical Review 1901.2.2)

## X線検査テーブルについて

### ON AN X-LIGHT EXAMINATION TABLE

- ・X線検査中に、透視板の画像から目を離さずに患者を移動できることの必要性
- ・可動検査テーブルの供覧

図 49-86, 図 50-87 に示すようなコイルでは、医師が透視装置から目を離さずに、火花間隙ハンドルに手を伸ばしてX線を調節できるように、X線管を動かすかわりに、患者を長軸方向に動かせるようにする必要がある。この理由ならびにその他の理由により、図 46-83, ノート 112 に示したウィリアムズ博士のストレッチャーを改良した。

図 56-95 に、車輪付きのX線検査テーブルを示す。検査テーブルは、簡単に転がすことができ、医師は動かずに患者の任意の部位をX線管と医師の目の間に移動することができる。

堅い木材製の頑丈なフレームに、長さ 228cm, 幅 66cm のテーブルが取り付けられている。その中央に回転軸があり、傾けることができる。この動きは、ある種の検査では重要となる。例えば、膀胱結石の患者

では、頭を足より低位に置くと、拡張した膀胱内の結石は骨盤の陰影から離れて、腹壁と写真乾板に接近するため、波長の長いX線を使用すれば鮮明な画像が得られる可能性がある。長波長のX線は、強力な発電機、多重火花間隙や前述のようにサージを抑制する手段を講じないとX線を発生しないような低抵抗のX線管を使うと得られる。

X線管を患者の下に置く場合は、患者をX線検査室に運ぶストレッチャーのハンドルを、ノッチを付けた終端に置く必要がある。検査テーブルの薄い天板は接着された薄いベニヤ製で、それによるX線の減弱はわずかであるが、これを避けるため一部を取り除くことができる。ベニヤ板の下面は、アルミニウム塗料でコーティングされており、接地するとテスラスクリーンと同様に機能する [86]。

乾板を患者の下、X線管を上置く場合、ストレッチャーの片方の端を持ち上げて、乾板ホルダーをキャンバスと乾板保持用に交換可能な天板の間に差し込むことにより、患者は動く必要がない。

(Electrical Review 1901.3.9).

[86] スクリーンについてはノート 136B 参照。

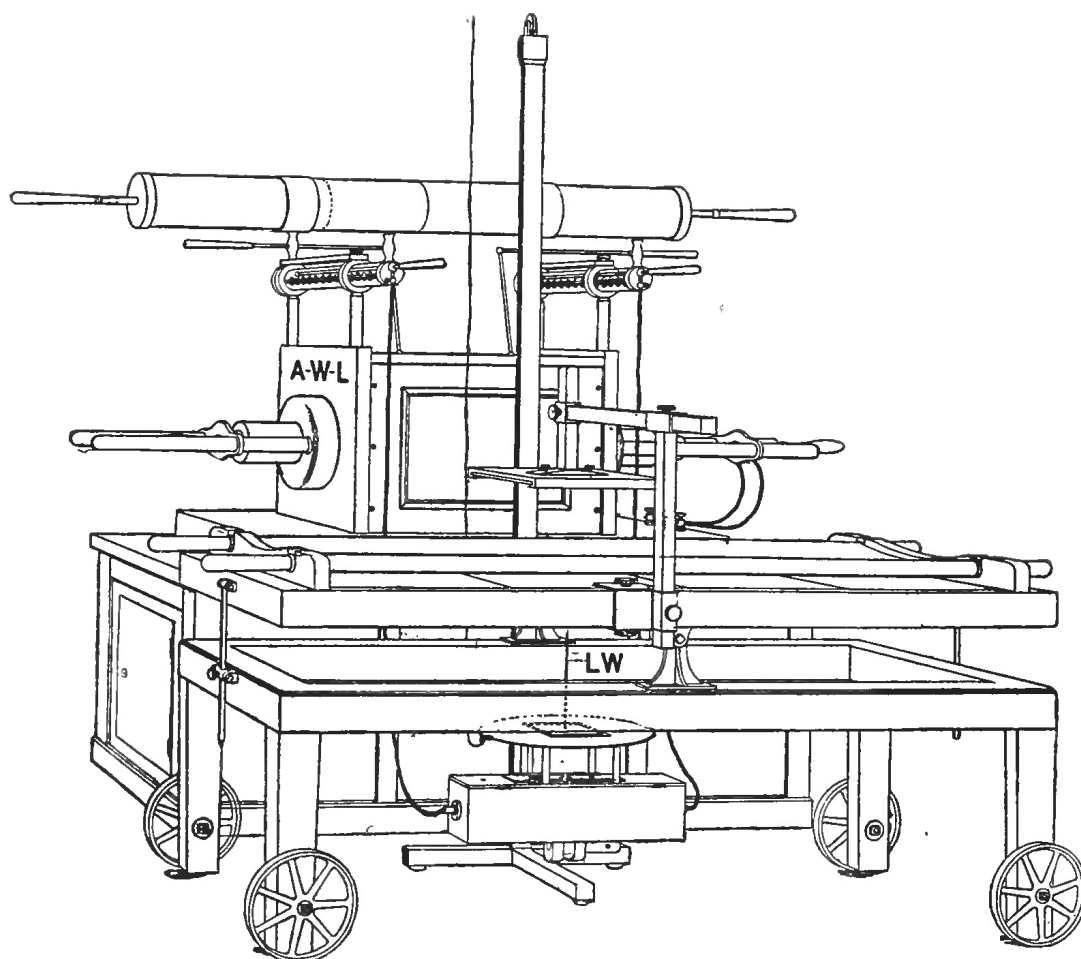


図 56-95. 可動式 X 線検査テーブル

## 散乱 X 線の予防策

### PRECAUTIONS AGAINST DIFFUSED X-LIGHT

- X 線乾板は直接線以外の全ての X 線から保護しなければならない。直接線はできるだけ狭く、しかし必要な領域を照射しなくてはならない。
- 目盛り付きのアームに実装された放射線非透過性 X 線ボックスの供覧
- 放射線非透過性乾板ホルダーの必要性
- 放射線非透過性患者カバーの必要性

写真乾板は、被写体の一部を通過する直射線以外、すべての X 線から可能な限り保護する必要がある。このために、いくつかの注意がある。

第 1 に、X 線管は、撮影領域をカバーする最小限の線錐以外、X 線管が漏洩しない放射線非透過性ボックスに収めなければならない。このようなボックスとその支持台を、図 12-34, 21-48, 31-60 38-73, 45-82, 46-83, 47-84, 48-85 に示す。図 56-95 に示すコイルと検査テーブルを使用する場合、X 線管は上下、前後、垂直面弧内の 3 方向にのみ移動する必要がある。水平弧内の運動は好ましくないため、図 38-73 のまわり柱は、四角いものに換えた。図 38-73 のボールベアリングは、費用削減のため削除した。図 57-96 の X 線管ボックスを支えるアームには、ゼロを中心に cm 単位が目盛りが付いている。ゼロ点がポインターの反対側にある時、患者の中心線がターゲットの照射域を通る垂直面にある必要がある。目盛りの目的は、立体写真を撮影したり、同じ乾板に異なる位置の写真を 2 枚撮影したりする場合に、照射領域がどれだけ移動したかを素早く知るためである。

第 2 に、写真乾板は、前面が放射線透過性、背面と側面が放射線非透過性の金属ケースに入れ、乾板に到達する X 線は、被写体を通過する光線のみとする [88]。乾板ホルダーは患者の下に置く必要があることが多いため、乾板を損傷することなく患者の体重を支えなければならず、また乾板を汗から保護する必要もある。ホルダーは、上に寝ても不快のないように薄い必要があるため、通常の乾板ホルダーは使えず、2つの部分からなる金属製の X 線乾板用ホルダーを作った。1つは、幅 2cm、厚さ 4mm の真鍮製フレームで、これに遮光用のアルミニウム板を取り付けた。もう 1 つは、厚さ 3mm の真鍮板で、縁の内側に帯状のビロードを貼って遮光したものである。2つを合わせると、縁のビロードが、前面のアルミニウムから入射する X 線以外の光を遮蔽する。乾板ホルダーは、財布のようなクランプで 1 つにまとめる。未露光の乾板は、強力な発電機からの X 線が隙間から容易に侵入するため、もともと入っていた厚紙の箱と同じような三重の鉛箱に保管する必要がある。

第 3 に、柔軟にするため油と石鹼を混ぜた白鉛でコーティングした布を、端が垂れ下がるように検査テーブルの上に置く [89]。X 線管からの X 線錐が通過する開口部を残しておく。患者の位置決め後、この布を患者の上に持ち上げて撮影する。

(Electrical Review 1901.3.9)

[87] 1903 年追記。この装置の改良版をノート 143, 148, 149, 151, 155, 156 に示す。

[88] ノート 121 に図示。

[89] 放射線非透過性コーティングの成分についてはノート 174 参照。

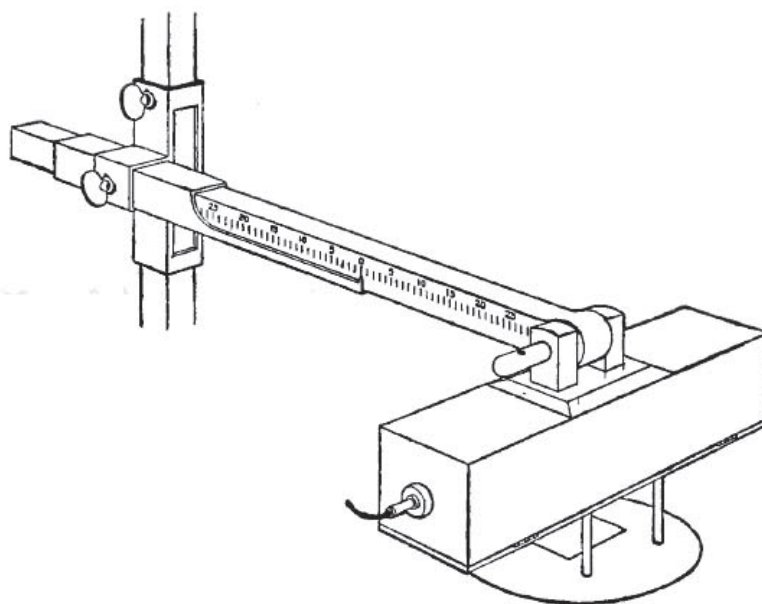


図 57-96. 目盛り付きアームを備えた放射線非透過性 X 線管ボックス。

## 写真撮影時の X 線管の位置はどこか？

WHERE WAS THE X-LIGHT TUBE WHEN THE PHOTOGRAPH WAS MADE?

- X 線乾板，蛍光板に X 線源の方向と距離を自動的に記録する必要性
- これを実現する装置

X 線写真のネガを見ると、ネガに対して X 線管がどこにあったかを知る必要がある。可能な限り、これが自動的に乾板に記録されると良い。図 56-95 に示す装置 LW は便利である。これは、放射線透過性テスラスクリーンの中ほどに、小さな金属ワイヤを付けたものである。このワイヤの長軸が、ターゲットの照射領域とネガの間で直線になるとき、まるい点として表示される。それ以外の場合、その長さや方向が、X 線管の位置について有用な情報を与えてくれる。

(Electrical Review 1901.3.9).

[90] この方法の実装については、ノート 143, 148, 150, 155, 156 参照

## 強力なサージのための陰極

CATHODES FOR POWERFUL SURGES

- 蛍光透視板による医用検査における大電流と低抵抗 X 線管の重要性

以前のノートで、陰極の大きさはサージの大きさに比例する必要があると述べたが、ノート 112 のコイルは、この原則の重要性を明確に示すものである。以来、同じタイプのより強力なコイルについてもこれが正しいことがわかり、また次のことも言える。すなわち、密度がほとんど同じ識別を区別するには、波長の長い X 線管を使用すべきであるということである。通常の発電機は、体の厚い部位の透視検査にはほとんど役立たない。これは充分量の X 線を発生するには X 線管が高抵抗である必要があり、その場合 X 線は骨も軟部組織も同程度に透過するからである。強力な装置がもっと普及すれば、透視診断は大きく進歩するであろうが、医師は次のノートに示す問題に直面することになるであろう。

(Electrical Review, March 9, 1901)[91]

[91] 透視装置における X 線の適切な使い方については、ノート 32, 94 および後続のノートを参照。

## X線管における最大の問題

## THE GREATEST PROBLEM IN X-LIGHT TUBES

- ・X線管をより長寿命にすることの重要性

より強力な発電機が作られるたびに、末期の消耗に苦しむX線管を治療する最善の手段を見いだすことがますます重要に成っている。この病がより早期に出現し、人間の慢性貧血と同じくらい厄介だからである。以前のノートで、陰極線とX線を効率的に発生するには、電極に融合したガスが重要であると述べたが、酸素、水素、窒素を導入することで真空度を恒常的に低くすることはできるものの、効率的な陰極線とX線を発生する性能は低下し続けることを示した。これに対処する提案がいくつかあるが、より簡単、有効な方法が必要である。この問題は、是非解決しなくてはならない。なぜなら、患者の苦しみを軽減するためには、医師が常に適切な波長のX線を、白熱電球を点けるより簡単に手にできるようにすることに優る発見はないからである。

研究の方向性の1つは、X線管をより明るく輝かすことができる新しいガスを発見することである。これが見つかれば、次の問題はその充分な量をいかに導入するかである。2つ目の方向は、ガスではなく、ラジウムのように微粒子を放出する性質をもつ金属電極の物質を求めることである。そのような物質を陰極の合金とすることができれば、X線管に大きなエネルギーを負荷することにより、そのような物質を十分な力でターゲットを衝撃させてX線を発生できると思われる。

(Electrical Review 1901.3.9)

## X線管の最適化 [92]

## THE ECONOMICS OF THE X-LIGHT TUBE

- ・X線管のガスを保存することの必要性
- ・X線透視検査では間欠的な数馬力のサージが推奨される
- ・このようなサージを得るための断続機のタイプ
- ・コイルの二次側のコンデンサーにより、より強力なサージを発生する方法
- ・不連続陰極線の重要性

適切に調整したX線管も、使用すると劣化してゆく。これを防ぐ実地的な方法は知られていないが、X線管内に新鮮なガスを導入する真空調整管が効果的であると考えられている。この現象の原因と解決策はどこにあるか？どんな理論も、作業仮説として役立てば何もないよりはましである。

X線の発生は、X線管内の金属電極に融合したガスに依存している。その粒子は、陰極からの電流によってターゲットに衝突し、そこで非常に高温に加熱されて、X線の放射中心となる。衝突の速度が大きいほど、温度は高くなり、より多くのX線が発生する。この理論では、X線管の「ポンピング」(ポンプによる排気)は、単に空気を除去気するだけではなく、2つの意味を持つ。電流によって陰極の金属から放出されるガス粒子がターゲットに向かう途上、自由な経路を保てるように、十分に空気を排出する必要がある。大量のガスが電気によって電極の金属から駆出される必要があるが、X線管使用時の電氣的なストレスで、ガスはそれほど速く放出されない。この理論では、X線の発生にはこのようなガスの放出が必要である。ガスが充分放出されず、X線管内を循環する空気に依存する状態では、

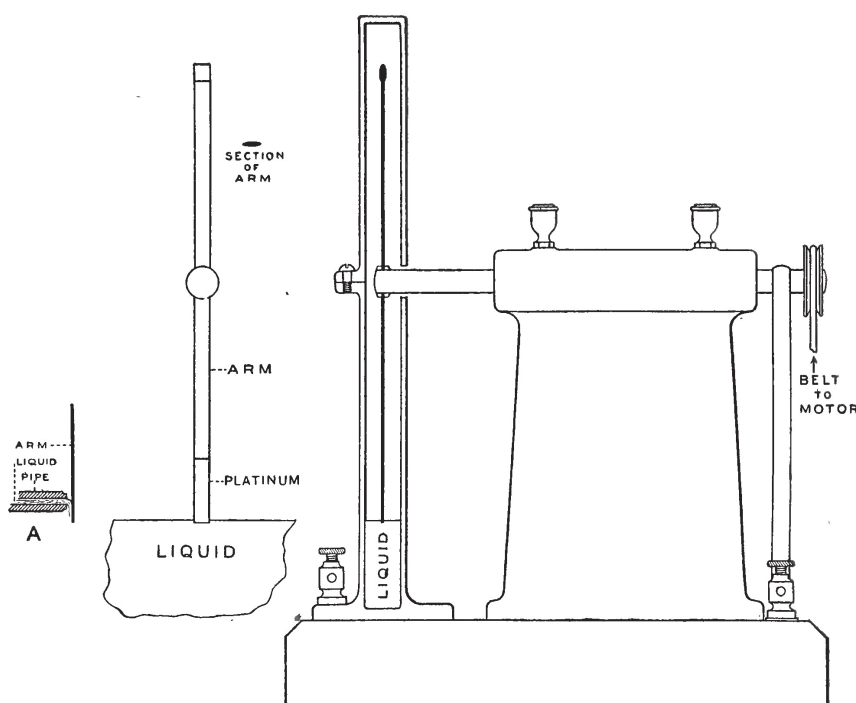


図 58-8. 誘導コイル用電解式断続機 [訳注：原文は rotary break 回転式断続器であるが、電解式断続機の誤りと思われる]

充分な陰極線が発生せず、良い画像が得られないことになる。

従って、第1の有用な方法は、X線管内の真空度を低下させることである。その結果、陰極線を形成する粒子は、管内に充満するミスト（霧状物質）の密度が増加するためにより多くの妨害を受け、その中を通過してターゲットに到達する必要がある、衝突速度が小さくなり、加熱温度が低くなり、不適当な性質のX線が発生することになる。X線管外の「貯水槽」と「可動ダム」によって、電流を抑制し、強力なサージとして送ると、陰極線粒子に大きな初期速度が与えられ、十分な速度でターゲットに衝突するようにできる。しばらくすると、陰極線が継続的に形成されるため金属内の粒子の数が減り、電流が流れにくくなり、各粒子の電荷が高まり、粒子の速度が増してターゲットへの衝突が激しくなり、結果としてX線の透過性は増大する。これが第2段階で、第3段階への移行は、X線管のガラス壁による陰極線粒子の吸収によって加速される。しかし、第3段階は単なる継続的变化で、粒子数がさらに減少し、残った粒子は金属にさらに固く結合する。電圧を上げない限り、電流はこれを分離できず、陰極線によって電流が送られないためX線管は発光しなくなる。

対処方法は何か？ 一般的に行われているのは、X線管ガスを導入することである。クルックスは水蒸気を推奨している。以前のノートで、酸素や窒素を放出する化学物質の配合を示したが、陰極線スペクトルは主に水素であったため、水素を推奨してこれが理想的な調整剤になると期待されたが、強力な発電機では、これを導入してもすぐにはX線管が回復しないことが分かった。通常のガスでは、相応の電力を加えても充分なX線は発生しない。より多くのガスを導入すると、陰極線が通過しなくてはならないミストの密度が上昇する。ガスが導入されていない高抵抗X線管では、粒子の動きが速すぎる場合、ガスの導入によって粒子の動きが遅くなり、X線の特性が変化するが、その効果は一時的である。そこで何か別の方法が必要である。すなわち、陰極線を生成するために消費されたのと同じ種類のガスを陰極の金属に回復することである。以前の論文に、これを行うための不完全な方法がいくつも発表されているが、問題は理想的な方法を発見することである。この問題が解決されるまで、発電機は出力を抑えるようなものとする必要がある。

また、新しいX線管で陰極線によってミストが増加したり、古いX線管で意図したよりも多くのガスが導入されたりしたときは、外部の「貯水槽」を使用して電流を抑制し、強力なサージを送ることができるように、高電圧を供給できる必要がある。この重要性は、図58-8 (Electrical Review 誌 1900年12月26日) に示した。このネガフィルムは、このような「貯水槽」と「ダム」なしで28分間露光したものであるが、X

線乾板の露光作用は見られなかった。図51-89は、「貯水槽」と「ダム」を使い、同じX線管で28秒間の露光で良好な画像が得られている。

金属内のガス供給を節約するために、サージの持続時間は可能な限り短く、かつ必要なX線を発生に十分な量である必要がある。目視的にはX線が連続してみえる程度までX線管を休ませてから、次のサージを送る必要がある。毎分1,200サージで充分である。透視装置で、体厚の厚い部分の組織を十分に識別したい場合は、それぞれが数馬力である必要がある。この方法を静電発電機で行う場合、径2m、1トン以上の円板を備えたこれまで実験用に作られた最も強力な装置でも、充分な電圧、電流が得られない。原状ではコイルの方が良いが、しっかり絶縁しないと、使用中に劣化してサージが所望するものより弱くなってしまう。一次側と二次側の絶縁には、マイカナイト（人工雲母）が唯一適当な材質である。マイカナイトのメーカーの協力を感謝する。この協力なしには、トロブリッジの発電機が使えるようにまるまで、大サージの実験を諦めざるをえなかったであろう。サージの持続時間は断続器に依存するので、断続器の改善も重要である。スポットィスウッドの電解式断続機（1876）の改良版だけが、急速に劣化することなく強力なサージを発生できる。

この原理で設計された断続器を、図58-8に示す[93]。これは、電解質を容れた覆いのついたタンクから成る。2本の白金アームが回転し、その1本が1回転毎に電解質に浸される。2本目のアームは電解液に接触せず、対電極として機能する。シャフトが毎分1,400回転すると、サージ間隔は1/2,800分となる。これはいくつかの方法で短縮できる。電解液をタンク内に汲み上げて、排水口からアームに放出することもできる。2台目の断続器を回路に追加することもできる。この場合、白金の水浸時間は、1台目の断続機と正確に対応である必要はない。これにより、水浸されている間だけ、1台目の断続器に電流が流れる。

本稿を終える前に1898年のトロブリッジの実験について触れておく。独自の設計、製作になるプラント (Plante) 発電機を使用して、彼は手の骨の写真を100万分の1秒で撮影した。これによって彼は標的を、いかなる矢も届かない、ほとんど誰も見ることができないほど高い位置に設定したことになる。この実験は非常に大きな意義があり、筆者をして更なる高電圧でのX線発生実験に向かうことを鼓舞するものである。

結論：X線管について行うべき最も重要な発見は、X線の性質をいかに一定に保つかという点である。当面、透視検査用のX線管を励起する最も良い方法は、数百万ボルト、数馬力のサージを使い、各サージを100万分の1秒以下とすることである。

(Boston Medical and Surgical Journal 144 巻 17 号)

[92] このノートは、他のノートのほとんどが掲載されている別の雑誌に発表したものであり、以前に述べたことをまとめる意図をもって書いたものである。従って、他のノートを読まれた読者は飛ばして差し支えない。

[93] 他のノートで推奨したように、断続器なしでコイルを励起するとき、適切なコンデンサーを使うと急速なサージが得られる。トロンプリッジは、プラント発電機でこのようなサージを得た。

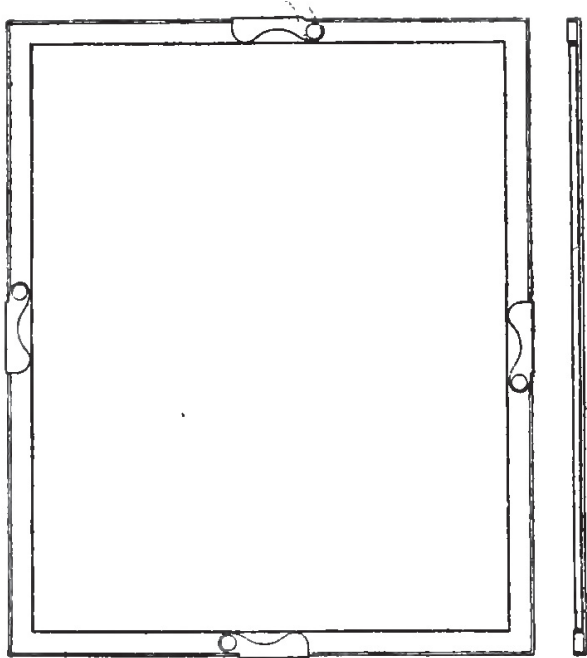


図 59-5. 散乱 X 線による写真乾板の曇りを防止する放射線非透過性乾板ホルダー

## X 線写真乾板ホルダー

### AN X-LIGHT PLATE-HOLDER

- X 線写真乾板を保護する原状の方法には欠陥がある
- 適切な乾板ホルダーの必須条件
- 直接線以外の X 線が乾板に到達させない方法の説明と供覧

X 線写真を撮影する場合、感光乾板を保護する方法には、乾板を色紙で包む方法、通常の木製の写真乾板ホルダーを使用する方法の 2 つがある。このいずれの方法も望ましくない。X 線管は、目に見えない光線を部屋中に充満させ、その光があらゆる方向に向かって乾板を曇らせ、被写体の反対側にある物体の像を乾板上に結んだりするからである。撮影する患者を透過して来る X 線以外は、乾板に到達しないようにする必要がある。X 線乾板ホルダーの第 1 の要件は、これを実現する手段である。第 2 に、乾板ホルダーは患者がその上に載る必要がある場合でも、乾板を損なうことなく患者の体重を支える必要がある。第 3 に、患者が臥位の時でも不快感を与えないように、薄くなければならない。第 4 に、乾板を汗から保護するために、ホルダーは防湿性が必要である。

過去数年、このような条件に見合う金属製乾板ホルダーを実験で使用してきた。最新の、最も単純な乾板ホルダーを図に示す。厚さは 7mm で、2 つの部分からなり、裏面は放射線非透過性金属、前面は放射線透過性のアルミニウムで、両者は鋼製のクランプで連結されている。以前のノートに示した X 線検査テーブルの図 56-95 に、ホルダーの支持台を示す。図 56-95 の垂直部分に取り付けた別の支持台を図 59-6 に示す。

(Boston Medical and Surgical Journal 1901.4.25)

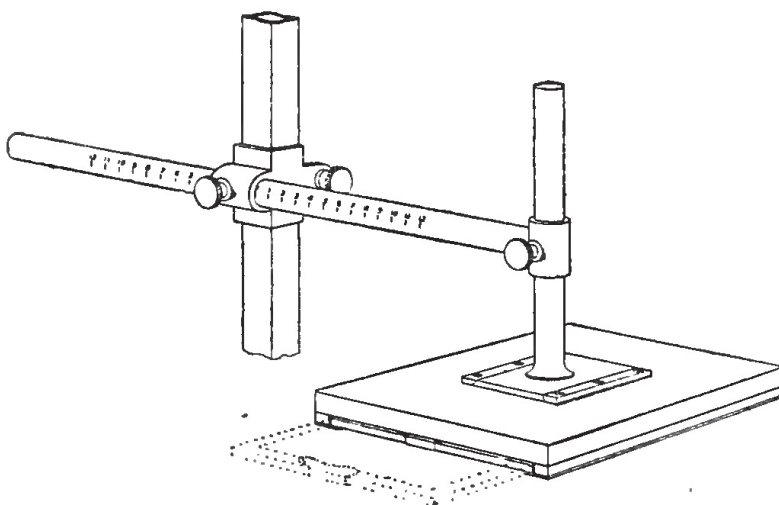


図 59-6. 乾板ホルダーの支持台

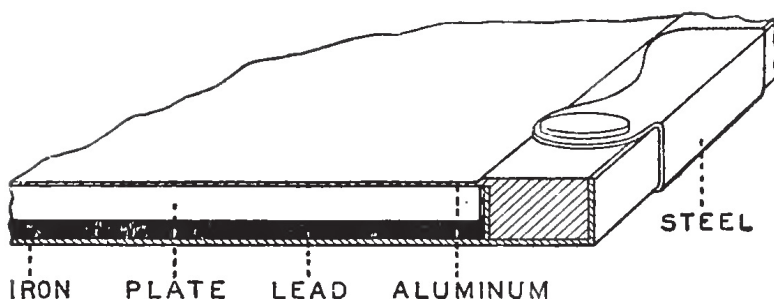


図 59-7. 放射線非透過性乾板ホルダーの部分拡大図

## X線発生装置から発生する刺激性ガスの除去

### REMOVING THE IRRITATING GASES PRODUCED BY X-LIGHT GENERATORS

強力な X 線発生装置は、オゾンと、窒素と酸素の化合物を発生する。これは呼吸器粘膜に刺激性をもつ。静電発電機のケースには、近傍の煙突にガスを排気できるファンを備えるべきである。コイルの場合は、ノート 112 のように火花間隙を密封し、ガスを吸引器により排水管に導く。

(Boston Medical and Surgical Journal 1901.4.25)

## X線は動物を殺しうる

### X-LIGHT CAN KILL ANIMALS

- X 線によって、外部の火傷の有無に関わらずモルモットを殺す実験
- X 線によって胎児を殺す別の実験
- 新たな治療法を動物で試験する必要性

Electrical Review 誌 1898 年 1 月 5 日で、いわゆる X 線火傷は、X 線がなくとも電気で発生しうると述べた。ここでは、電気を除外しても、X 線によって火傷なしに死亡しうることを示す。健康な雄モルモットを、接地したファラデーチェンバーに入れ、外部に置いた X 線源で 1 日 2 時間照射した。モルモットは、11 日目に死亡した。実験を繰り返したところ、8 日目に死亡した。いずれも火傷はなかった。長い論文を読むために昼間の時間を何時間も無駄にせざるを得なかったことに思いを致して、これらの実験の詳細は割愛している。

このノートは、他のノートを発表してきた物理学の雑誌ではなく医学誌に発表することとした。理由の第 1 は、この実験により X 線の作用から電気の作用を分離し、X 線がいかに強力なものであるかを示すためである。第 2 に、この X 線の能力を体内の腫瘍に応用する必然性を喚起するためである。そして第 3 に、次の 3 つの予防策を繰り返すためである。

A. X 線透視装置を使用する医師は、最も放射線非透過性の透明物質でできた眼鏡をかけなければならない。

B. X 線管は放射線非透過性の箱に収め、検査部位を照射する最小限の円錐部以外から X 線が放出されないようにしなければならない。

C. 患者は、放射線非透過性物質で覆い、必要な領域のみ露出するようにしなければならない。

(Boston Medical and Surgical Journal 1901.2.14)

## X線に関するノート (X線による動物胎児の死亡) [訳注]

## NOTES ON X-LIGHT

妊娠モルモットを、密閉金属チェンバー内にいれ、これを接地した密閉金属チェンバー内に絹糸で吊した。これは、他の実験と同じように、電気の影響を除外するためのセットアップである。X線源は外部に置いた。X線照射で、胎児は死亡した。この実験は、モルモット 1 匹に限られたものであるが、これを公表する理由は、骨盤計測や胎児の状態検査のために妊娠女性に X線が照射されているためである。X線照射後の流産も知られている。

人々が恐れるのは不確実性である。従って、医学に新しいものを導入する場合は、その作用を動物で実験することが重要である。最悪の事態を知り、その手段を制御下に置くことができれば、患者がその使用に反対することを恐れる必要はない。このような実験を批判しても得るところはない。実験は肥沃であり、批判は不毛である。実験を覆すことができるのは、実験だけである。

(Boston Medical and Surgical Journal 1901.2.28)

[訳注] このノートは、Boston Medical and Surgical Journal 1901 年 2 月 14 日号の Correspondence 欄に Rollins が投稿したモルモットの死亡実験の報告 (ノート 123, 掲載時のタイトルは "X-light kills") に対して、マサチューセッツ総合病院 (MGH) の外科医 Dr. Codman が 2 月 21 日号の同欄に寄せた批判に対する 2 月 28 日号掲載の返信投稿である。このため、本稿は Notes on X-light とだけ書かれており、他のノートと異なり具体的なタイトルがない。「X線による動物胎児の死亡」は、理解に配慮して訳者が追加した。

原文の冒頭には「筆者の以前の投稿に対する Codman 博士の批判について申し上げたいことは、以下の内容のみである」との記載がある。Codman の批判は、MGH では 1 万回、4 千例以上に X線照射をおこない、皮膚症状をふくめほとんど副作用がないことを挙げ、直接線維内に手を入れないなど基本的な注意を払えば、特別な防護策は不要であり、X線が動物を殺すというタイトルは無用な不安を煽る、というものであった。

これに続くノート 126 は、さらにこの 1 カ月後の 3 月 28 日号に Rollins が追加投稿した内容である。

## X線に関するノート：対照モルモット

## NOTES ON X-LIGHT: THE CONTROL GUINEA PIGS

本誌 2 月 14 日号で、X線が動物を殺しうることを示した。我々の感覚で意識できない目に見えない放射線が、目に何の兆候も残さずに死をもたらすことは、医学における最も注目すべき事実の一つであり、治療に大きな期待が寄せられる。これらの実験を公表した主な理由は、実験結果への電気の関与が初めて確実に排除されたこと、ならびに X線が体表下で作用しうることを初めて証明したこと、ならびに X線が生命活動に大きく影響する力を持つことが明らかとなったからである。

この実験について、死亡が他の原因によるものである疑念が差し挟まれたことから、対照モルモットの状態について報告する。対照モルモットは、X線照射したモルモットと同じ飼育箱に保管し、同じ食事を与え、同じ世話をした対照モルモットの中には、仔を出産してそれが既にそれが成年に達しているものもある。X線に照射したもの以外に、死亡や明らかな病気はない。活動性、食欲、毛並、眼光は健康の徴候であるとすれば、対照動物はすべて良好である。

この研究の主な目的は、1 人の友人が癌で手術したことに始まる。2 回目の手術は実際的ではなかったため、X線が体内の細胞増殖の抑制に利用できるか否か、そうであれば火傷の危険なしに目的を達しうるかを知りたいと考えたからである。実験は、メスが及ばない体内の癌が、X線により治療できる可能性を示すものであった。

(Boston Medical and Surgical Journal 1901.3.28)

## X線管の励起

### EXCITING X-LIGHT TUBES

本稿の目的は、原状では高周波数がX線診断を目的とするX線管励起に不適当ある理由を示すことである。X線発生のために効率的な陰極線の生成は、電極に融合したガスに依存している。ガスの供給量は有限である。これが枯渇すると、ガスを回復する実際的な方法は存在しないので、X線管は使用できなくなる。従って、ガスを経済的に利用し、最小限のガスから最大限のX線を発生する発電機が、X線管の励起にはベストである。

一般的に利用されている発電機は、2種類ある。一方方向性電流を発生する誘導コイルと静電発電機、および交流を発生するテスラコイル、すなわち高周波コイルである。後者が不適である理由はいくつかある。前者の場合、陰極は常に陰極であるが、後者では時間の半分は、陰極は陽極である[94]。本来の陰極が陽極として機能している場合、電流を運ぶために除去されるガスはすべて浪費され、X線を発生しない。ガスは、陰極よりも陽極から速く失われる。従って、高周波装置をX線管の励起に使っている間、ガスは浪費されるだけでなく、浪費率が高いことになる。強力な高周波発電機では、電極から急速にガスが奪われる。電気は、電極間のエーテルの歪み空間を対流によって伝導する経路が不十分なため、陰極の金属を加熱し、その結果金属が溶けて、X線管は用をなさなくなる。

交流では、二重焦点管球が一般的に使用される。このようなX線管では、陰極線が衝突してX線を発生するターゲット金属面は、発電機のいずれの極にも接続されていない。交互に陽極、陰極となる2つの凹面アルミニウム電極の間に位置する独立した白金面がターゲットとなる。単焦点X線管は、一方方向性電流の場合のみ使われる。この場合、ターゲットは陽極でも良い。陽極であるターゲットは、より効率的なX線発生源となる。陰極線の粒子は、符号が異なる陽極に引き寄せられ、経路上の陽極ではない金属表面よりも、陽極とより大きな速度で衝突するためである[95]。衝突速度が大きいほど粒子の温度が高くなり、より多くのX線が発生するため、X線管にとって衝突速度は最も重要である。二重焦点管球は、製作費用も高価で、単焦点管にくらべて故障も多い。二重焦点管では、ターゲット上にX線を発生する領域が2つあるため、良好な鮮明度を得ることが難しい[96]。

交流でX線管を励起できるようにするには、より簡便な整流法を発見し、サージをうまくコントロールできる必要がある[97]。このような発電機は、電圧が同じであれば電線の量が少なく済むため、製造コストが安く、これを利用する試みは必要である。サージは

非常に短時間に次々と発生する。サージは、電極からガスを除去するので、サージの長さ、間隔を制御可能な一方方向性電流の場合よりも、ガス供給量は急速に枯渇する。金属のガスを回復する簡単な方法が発見されるまでは、一方方向性電流を使うことが望ましい。電圧は高い必要があり、700万ボルト以上が望ましい。サージは可能な限り短い必要があり、100万分の1秒程度が望ましい。各サージの大きさは、透視検査で十分なX線を発生する範囲で最小限とする。サージの間隔は、連続X線の場合と同程度に長い必要があり、約120分の1分が望ましい。休止間隔中は、金属のガスが減少しないからである。

このような形でX線管を使う場合、断続器には最大の注意を払う必要がある。回転するアームが電解液に水浸する度に電流が流れる方式が、優れていることが分かっている[98]。これにより、サージの持続時間を休止時間の1/14以下に容易に短縮できる。このような装置を2台直列につなぐと、1台目のアームが電解液に水浸している時間のごく一部のみ、2台目が電流を送ることができるため、サージの持続時間はさらに短縮できる[99]。

(Electrical Review 1901.6.1)

[94] ノート 17 参照。

[95] ターゲットを陽極とすることなくX線管を効率的に使う方法についてはノート 31 参照。

[96] 二重焦点管を治療に使う方法についてはノート 168 参照。交流で鮮明度の高い画像を得る方法についてはノート 17 参照。

[97] サージをより規則的にする方法についてはノート 159, 163 参照

[98] ノート 120 参照。

[99] 断続器を使用しない場合、高圧電流を抑制して、適当なタイミングで放電することにより容易にサージを作ることができる。

## 陰極線のガス

## THE GASES OF THE CATHODE STREAM

・トローブブリッジの水素スペクトル説の X 線管調整器への応用

本稿の目的は、X 線管を製作、使用する人々に役立つ提案をすることにあるので、現在の X 線管の改良にあたって考慮すべき最近の物理学の進歩について述べる。以前のノートで、X 線発生において水素が果たす役割の重要性について何度も言及した。水素の存在は、陰極線のスペクトルと、長期間使用した X 線管の壁から回収されたガス中のスペクトルにより確認されたが、トローブブリッジはその後、Philosophical Magazine 誌に掲載されたいくつかの素晴らしい実験を通じて、純粋な水素スペクトルであると考えられていたものは、水蒸気が存在しなければ発生しないことを示した。従って、水素について言及した件の多くについては、そのスペクトルの形成には酸素も存在することが必要であったといえる。この事は、X 線管の製作にあたって多くの意味を持つものである。

(Electrical Review 1901.11.30)

## X 線管の電極内のガス

## THE GASES IN THE TERMINALS OF X-LIGHT TUBES

トローブブリッジの実験では、白金とパラジウムの陰極が再検されている。これらの金属は、ガスを取り込むが容易に結合しないことが知られている。その陰極としての効率の低さの原因のひとつは、ガスとの結合が弱いためにすぐに放出されてしまうことによるのかも知れない。アルミニウム、マグネシウムなどの金属では、ガスとの結合力がより強いいため、堅固に保持される。このような結合を、以前のノートでは融合 (amalgamation) と表現している。この結合の堅固さのために、これらの金属はより持続性のあるガス貯蔵庫として働き、白金やパラジウム陰極の X 線管よりも寿命が長くなる。

通常の条件下では、マグネシウム、アルミニウムは酸素との親和性が最も大きい。これは古いエックス線管を一時的に復活させるのに効果的であり、トローブブリッジは、陰極線中にこの物質が存在することは、筆者が発見して水素に起因するとしたスペクトルの生成に不可欠であるとしている。融合した酸素は、長時間使用した X 線管がその後も陰極線を生成し続ける粒子の重要な発生源である可能性がある。ヴァイヘルト (Weichert) が示したように、陰極線粒子の質量は水素原子の僅か 1/1,000 であることから、陰極の質量全体に対するガスの比率は小さくとも、発生源としては充分であろう。

(Electrical Review 1901.11.30)

## 陰極線の焦点

### FOCUS OF THE CATHODE STREAM

- ・X線管における可動電極の重要性

ノート 1 (1897 年 12 月 1 日), ノート 2 (1897 年 12 月 15 日), ノート 6 (1897 年 12 月 22 日) で, 陰極線の焦点の陰極からの距離は, X線管の状態に応じて変化すること, ならびにその理由について述べた. ノート 4, 20 では, 焦点がターゲットに結ぶように陰極とターゲットの距離を変化させることができる X線管を示し, ノート 1 ではこれが鮮明な画像に必要であることを示した. 現在医師が入手できる, 76cm コイル, 電解式断続機を使った強力な発電機では, ポンプ排気によって管球寿命を過度に損なわない限り, X線管の抵抗は急速に低下する. この結果, 陰極線の焦点が陰極側に移動するため, 鮮明度は劣化する. 鮮明度を回復するには, ターゲットを焦点に移動する必要がある.

(Electrical Review 1901.11.30)

## 陰極サイズの増大

### INCREASING THE SIZE OF THE CATHODE

以前のノートで, 陰極の大きさはサージの大きさに比例させるべきことをくり返し述べた. 最新の X線管透視装置のコイルの場合, 火花長 56cm のコイルで使用する陰極は径 56mm にも及ぶ. この大きさの陰極は X線管に挿入することが難しいが, 大電流, 高電圧のメリットを最大限に利用するには, 大きな陰極が必要である. そこで, 陰極を 2 つの部分に分けて作り, これを別々に X線管に挿入し, 陰極基部のソケットにそれぞれを差し込む方法に関心が向けられている. この方法では, 径 112mm の陰極を, 開口部が径 56mm 以下の陰極しか通らない X線管にも入れることができる.

(Electrical Review 1901.11.30)

## X 線は荷電質粒子の流れであるとする説について

### ON THE THEORY THAT X-LIGHT IS A FLIGHT OF CHARGED PARTICLES OF MATTER

- ・数百枚のアルミ箔を重ねたコンデンサーを通過した X 線の強度を測定した
- ・コンデンサーを充電しても X 線は減弱しない
- ・コンデンサーを高速で回転させても X 線は偏向しない

多くの物理学者は、X 線は X 線管ターゲットから放出される物質粒子の流れであると考えている。以前のノートでは、X 線はエーテル現象であるとする説を支持する多くの実験について述べたが、ここでは X 線が粒子流であるとする説に反する実験を示す。

500 枚のアルミ箔から成るコンデンサーに、X 線を照射した。透過 X 線の強度を測定してから、コンデンサーを充電した。その後の再測定で、計測値に変化はなかった。X 線が、負に荷電した物質粒子の流れであると仮定すると、粒子が正に荷電した最初のアルミ箔に衝突した時点で中和されるはずである。粒子がさらに通過すると、負に荷電した 2 枚目のアルミ箔に遭遇し、その速度が減じるとともに、方向も順方向から逆方向に変化するはずである。さらに 2 枚目を通過すると、次は正に荷電したアルミ箔にぶつかり、1 枚目と同じことが起こる。これがアルミ箔層の全体にわたって繰り返される。粒子が 500 枚の荷電アルミ箔を通過した後に、その数が減ずること無く、光量も減少しないということは合理的に考えにくい。前述のように、実際には不変である。X 線が正に荷電した粒子であるとしても、結果は同じである。

コンデンサーを回転して、これを通過する X 線が偏向するか試したが、偏向は観察されなかった。X 線が粒子の流れであるなら、たとえ粒子がきわめて高速度で放出されたとしても、500 枚の最後の 1 枚を通過するまでに運動は緩徐になり、確実に偏向が見られるはずである [100]。American Journal of Science 1900 年 11 月号には、X 線が非荷電粒子の流れであるとする説に対する反証実験が報告されている [101]。

(Electrical Review 1901.12.28)

[100] 1903 年追記。この実験は、X 線やエーテル内の波と見られる光は、高速で回転する X 線透過線の円板を通過しないという意味に解釈されるべきではない。これは、数年にわたり研究されている問題である。結果は後に示す。この方法 (干渉) は、現時点では X 線光には適用できないため、アルミニウムコンデンサーの実験は、これがエーテル波であるなら、この条件下で像の位置の変化が変化するとは期待されない。このアルミニウムコンデンサーは、純粋な臭化ラジウムのシアン化白金バリウム蛍光板への作用を試験するために使われたものである。コンデンサーを充電しても、目で見える範囲で輝度の減少はなかった。厚さ 1/10mm のアルミ箔を蛍光板の手前の X 線経路上に置き、アルミ箔を正に荷電したが、蛍光板の輝度は不変であった。アルミ箔を負に荷電しても同じ結果であった。ベータ線は負に荷電していると言われているので、コンデンサーやアルミ箔を充電すれば蛍光板の輝度は減じるはずである。従って、静電コンデンサーに関する限

り、ノート 133 の説は正しくない。すべての実験を繰り返す予定である。ラジウムのアルファ線は、コンデンサー、アルミ箔に照射できなかった。

[101] ノート 109A に転載

## X線の写真効果について

### ON PHOTOGRAPHIC RESULTS WITH X-LIGHT

・規則正しいX線の発生における律動性陰極サージの重要性

蛍光透視検査については、特に友人のF. H. ウィリアムズ博士にとって非常に重要であることから、これまでも重点的に検討してきた。これは外科医よりも特に内科医にとって重要である。X線撮影は、厚い軟組織を瞬時に撮影できるほど強力な装置が使用できるようにならない限り、医師にとってX線透視ほど価値のあるものにはならないであろう。多くの症例において、X線撮影の重要性は低いものである。しかし、X線写真の記録を求める外科医にとっては、特にその解剖に大きな意味がある骨病変では、X線撮影は肉眼的観察よりも優れたものである。

X線蛍光透視板では、陰極線粒子が均一な速度で律動的なサージとしてターゲットの同一部位に衝突して発生するX線によって得られる写真ほどの美しい鮮明度はまだ得られていない。以前のノートに述べたように、原状ではほとんどの場合、誘導コイルの二次側に接続したコンデンサーに電流を蓄え、X線管に強力なサージを送り、各サージが適切な量と質のX線光を発生させ、かつX線が連続的に見えるようにサージ数を最小限とするように調整する必要がある。

蛍光透視検査用に設定したコイルに、大きな電極を備えたX線をつないで実験を行った。コイルの二次側には、適切な大きさのサージを発生できる大容量のコンデンサーを接続した。このセットアップでは、蛍光透視検査に適当な線質のX線が驚くほど大量に発生したが、X線写真の質は、コイルのコストに見合うものではなかった。その後ハインツ (Heinze) 氏は、高周波コイルに使用したものと同程度の小さな陰極を備えたX線管を使用し、それに見合う程度に二次側のコンデンサー容量を減らし、可及的高速にサージを送った。ターゲットは、大熱量に耐えられるものとした。この条件では、手のX線写真を短時間露光で撮影可能であった。

これが可能となった理由はいくつかある。その一部については以前のノートで述べたが、ここで繰り返す。第1に、ノート6で述べたが、トムソン (Elihu Thomson) が指摘したように、X線は多くの波長を含んでおり、その一部はいかなる効果も生まないほど短い。しかし、このような最短波長以外にも、写真乾板には作用しないが、蛍光板は明るく発光する波長が存在する。第2に、ノート45で調和について述べたように、最小限のエネルギーで最良の結果を得るためには、サージが規則的である必要がある。

蛍光板は、X線の波長を数オクターブ減じることによってX線を可視化するもので、蛍光塩が発生する

光はわずかで、その光量は陰極サージの規則性、高速性への依存度が小さくなる。写真効果を考える場合、臭化銀粒子の大きな集合体は橋のような複雑な構造に、X線の波は多数の兵士に例えることができる。兵士が不規則に動けば、橋への影響はわずかである。しかし、動きが律動的であれば、橋は危険にさらされる場合がある。写真フィルムでも同じことが起き、臭化物質は不規則な動きよりも律動的な動きによってより迅速に影響されるため、作用が大きくなるのである。

(Electrical Review 1901.12.28)

## 陰極線の発生源

## THE SOURCES OF THE CATHODE STREAM

・消耗した陰極をガラス管で囲う実験

以前のノートで、陰極線粒子は、電極、残存ガスなどいくつかの発生源に由来すると述べた。残存ガスや陽極に由来するものが陰極に到達するようにすることの重要性は、可動電極をもつX線管で示することができる。これに関して、もうひとつ未発表の実験について述べる。

X線管の陰極を、陰極線が通過できるだけの大きさの開口部をもつガラス容器内に置く。熱と強いサージによって陰極からガスが除去されると、ガスの自由な循環が妨げられ、陰極線が回復しないため、X線管はX線源として使用できなくなる。

(Electrical Review 1901.12.28)

## X線マスクにおける放射線透過性ウインドウ

## NOTES ON X-LIGHT: RADIABLE WINDOWS IN X-LIGHT MASKS

X線で表在病変を治療する場合、患部に照射するために、穴の開いた放射線非透過性マスクを使用するのが一般的である。患部の不規則な輪郭に正確に対応するように穴を切り、穴を正しい位置に置くためにマスクを調整することは容易ではないため、別の方法について述べる。

放射線非透過性マスクの穴は患部よりも大きく作り、開口部を薄い透明なセルロイド、ゼラチン、あるいはコロジオンで覆い、これをゴムあるいはその他の弾性セメントで固定する。そこで、マスクを患者に合わせて調整し、セルロイドに放射線非透過性塗料を塗り、小さなブラシで患部の端まで塗布する。治療中にこれが縮小する場合は、新たな塗料を加える。2種類の塗料があり、1つは速乾性で漆の鉛白あるいはセラックニス、もう1つは非乾燥性でワセリンに混ぜた鉛白である。後者は、2回目の治療でマスクの位置が正確に同じ場所にならない場合も、簡単に拭き取ってまた塗れるので便利である。塗料は広口瓶にいれてゴムコルク栓で蓋をし、ここにブラシの柄を通しておく。塗料、ブラシともに空気に触れず、いつでも使用することが出来る。励起されたX線管周囲の歪んだエーテル空間から患者を保護することが必要な場合、塗料には酸化物や塩の代わりに大原子量の金属粉を使い、その場合マスクを接地する必要がある。

(Boston Medical and Surgical Journal 1901.12.19)

## X線管初期抵抗の低下について

ON LOWERING THE INITIAL RESISTANCE OF AN X-LIGHT TUBE

以前のノートで、X線管が発生するX線の質は、考えられていたように全てが真空度に依存するのではなく、電流がX線管内に送られる方法と電極に融合したガスの状態に依存すると述べた。これは、X線管から空気を排気するだけでなく、電極からもガスを排出して、X線管の通電中に残存ガスが急速に解放しないようにする必要があることを示した点で重要である。ガスが急速に解放されると、管内にミスト（霧状物質）が発生し、陰極からの粒子がその中をターゲットに向かって進まなければならないからである。この結果、陰極線がX線発生中心を十分な力で衝撃しなくなり、電流エネルギーはターゲットの発熱に消費されて、X線ではなく通常光を発生するようになる。電極が適度に消耗し、あるいは使用してもすぐに所定の結果が得られない場合は、体の厚い部分を撮影するために調整された新しいX線管の抵抗が非常に高く、通電すると破裂する危険があることがわかっている。従って、一時的に抵抗を低くする方法の重要性が明らかである。

その方法は、クルックスがその高真空の実験中に発明したものである。彼は、苛性カリウムを水蒸気がほとんど蒸発するまで強く加熱すると、カリウムが再び水を吸収することを発見した。X線管の真空度を調整するために、彼は焼灼したカリウムをX線管に連結した小さなガラス管にいれ、これをアルコールランプで加熱して水を放出させた。この方法は、実験には良いが、X線管の実際の利用にあたっては不便で手間がかかる。そこで、カリウムをいれたガラス管に細い白金線を入れ、その両端を管外に出して、電源の電線に接続する。回路を閉じると、白金線が加熱され、粒子が放出されてX線管の抵抗が低下する。白金線の温度を調整することにより、必要な数の粒子をX線管内に保持し、厚い部分を透過しても散乱して輪郭を失わないような短波長から、密度にほとんど差が無い組織間に顕著なコントラストが得られる長波長まで、任意のX線質を得ることができる。

白金を雲母の管に螺旋状に巻き、これをカリウムを入れた管の上に被せる方式の調整管1もある。白金線の温度を変えて、X線管内の粒子数を調整する簡単な方法がいくつかある。電灯線のような一定かつ十分な電源が利用できる場合は、電線と直列に可変抵抗器を接続するだけでよく、可変抵抗器の調整ハンドルを手元に配置して、X線を露光しながら熱を制御できる。このような電源は必ずしも必要なく、数個の乾電池ですべて代用できるが、この場合可変抵抗は望ましくない。プラチナ自体以外の抵抗によって限られた電源を熱に

消費する余裕はないからである。

この条件を満たすために、側面に放射状の金属ストリップを備えた硬質ゴムあるいはその他の絶縁物質製の回転円板を考案した。電気回路との接続は、1つは回転軸上、もう1つはディスクの中心近傍から周辺まで移動可能な、2つの金属帯による。整流子の1回転中に調整管内の細い白金線に電流が流れる時間は、可動金属帯が円板の中心付近で放射状のアームと接触する場合、周辺にあるときよりも長時間となる。同じ結果が得られる他の簡単な方法もいくつか考案したが、このノートは機械的な装置を説明するものではなく、多くのX線管メーカーが見落としている原理に注意を喚起するためのものなので、ここでは説明しない。まとめると、X線管の初期抵抗を下げ、必ずしも（カリウムとは限らない）物質に電氣的に熱を発生させることにより、任意の真空度を維持し、電極から管内に放出される粒子がX線管の継続的な通電によって増加するにつれて、白金線の温度を下げることによって放出された粒子が化学物質に戻ることが可能となるのである。

このノートのもう1つの目的は、以下の点である。以前のノートで、X線は陰極線粒子がターゲットに衝突して生ずる高温の結果であると述べたが、水素に類似したスペクトルが見つかったことから、X線管の初期の発光は、水素を含む陰極線内の軽い亜原子によるものであるという説を提唱した。最近、トロブリッジは、通常水素に帰せられているスペクトルは水蒸気に由来するもので、X線は衝突の熱によるものではなく、ターゲットにおける水蒸気の分解によって発生すると述べている。従って、この説を研究する者には、水蒸気調整管の記載は興味深いものであろう。

(Electrical Review 1902.1.4)

## X 線管火傷

### VACUUM TUBE BURNS

- ・X 線火傷の略史
- ・X 線が存在しない場合でも、荷電粒子の衝撃や組織をイオン化する電子により火傷が生じうることを示す実験.
- ・モルモットの成長に対する X 線の影響を示す表
- ・X 線は、表在組織に火傷を来す危険なく深部組織に作用させることができる
- ・アルミニウムスクリーンは X 線火傷に対する保護とならない
- ・一部の生物は他の生物よりも X 線に敏感である
- ・医学における観察の重要性
- ・X 線により組織に生じる顕微鏡的变化を研究する必要性

X 線管による火傷の初報は、おそらく Electrical Review 誌 1896 年 8 月 12 日号掲載のホークス (Hawkes) によるものである。彼は、火傷が X 線により発生したと述べた。テスラは、同誌 1896 年 12 月 2 日号で、X 線ではなくオゾンによるもの、あるいは亜硝酸の可能性もあるとした。1898 年 1 月 5 日号では、X 線が発生していない状態で電気によって発生することが報告された [102]。Boston Medical and Surgical Journal 1901 年 2 月 14 日号では、モルモットをすべての電氣的影響から保護しても、「X 線火傷」を起こさずに死亡することが報告された [103]。2 月 28 日号では、X 線により流産することが報告された [104]。これらの結果は受容されなかった。我々の感覚ではその存在を意識できないエーテルの運動が、動物を殺すことができるということは、あまりにも新しく驚くべき事実であったため、信じられなかった。医師たちは、モルモットは繊細であり、実験は何も証明していない、電気の影響を排除するための予防措置は不十分である、X 線は隠花植物も殺すことはできないので高等動物に影響を与える可能性は低いと述べた [訳注：ノート 124 の訳注参照]。標本を病理学者に提供したが、利用されなかったようである。

エマーソンは、完璧なものは永遠であると述べている [訳注]。これらの実験は完璧である。もう 1 つの実験について述べる。4 匹の健常モルモットを使用した。2 匹は 2 月 14 日、28 日のノートに記したように、紫外線、電気誘導、対流の影響から保護した状態で X 線を照射した。その他は、X 線を照射しないこと以外は、同じように取り扱った。死亡する前に火傷を負う可能性もあった。従って、実験では、「X 線火傷」が、電気がない状態で X 線により惹起されること、および X 線が存在しない状態で電気により惹起されることを証明できる。

発電機は、平均直径 2m の円板 16 枚を備えた静電発電機で、回転速度は毎分 120 回転である。X 線管は酸素真空管で、アルミニウム陰極径は 51mm、重量 14g、凹面径 35.5mm である。ターゲットは回転式で、白金イリジウム製、直径 28mm、厚さ 28/100mm で

ある。陰極との距離は、特記しない限り 71mm である。ターゲットの陰極線が衝撃する部位は、白熱状態であった。71mm のターゲットで、X 線管の抵抗は 14mm であった。抵抗が 14mm 以上に上昇する場合は、二酸化マンガンを入れた調整管から新鮮な酸素を供給した [105] モルモットを入れる二重ファラデーチェンバーは、1/100mm 厚の錫メッキ鉄製、X 線管に向いた側面は 26/100mm 厚のアルミニウム製である。空気は、X 線管の反対側の側面に取り付けた 7/100mm 四方の鉄製金網から取り込まれる。モルモットの照射に際して、最も近いところはターゲットの照射野から 14cm の位置であった。X 線管に通電すると、X 線は 2 枚のアルミニウム層を通過してモルモットを照射する。外側のアルミニウムは、金属線で接地されている。テスラを初めとする研究者が、アルミニウム 1 枚が「X 線火傷」に対する防護になると述べている点は銘記すべきである。この実験は、2 枚のアルミニウム層を通過した X 線によって、火傷が発生し、動物が死ぬことがあることを示した。アルミニウム層が保護するのは、紫外線、X 線周囲のエーテルの歪み、電氣的対流、アルミニウムが吸収する光線である。以下の表に実験の詳細を示す。

重量は総重量で、正味の重量を知るには、内側のチェンバーの重量 357g を差し引けば良い。モルモット 2 は、流産、死亡に至ったが、外部的には火傷がなかった。このことは、外部の X 線に対する動物の感受性が異なることを示しており、患者の治療に際してこの差異を考慮する必要があることを警告するものである。一人の患者に無害でも、別の患者には火傷が起こりうるのである。

モルモット 3, 4 は、モルモット 1, 2 と同じファラデーチェンバーに、同期間入れた。従って、オゾンや亜硝酸ガスへの曝露は同じで、同じように扱ったが、完全に健常なままであった。すべてのモルモットは、同じケージに入れ、同じ世話をし、餌は無制限に与えた。一連の実験で、X 線は、全ての他の原因を除外した後に、理解を超えた、未知の作用を組織に及ぼす大きな力を持つことが示された。

病理学者の関心をひくことはできず、モルモット組織の正常顕微鏡所見に関する自分の知識では、発表するに値するものはないが、賢明な研究者が、独自の有用な研究の予知があるこの新しい分野を拓くことに期待する。

(Boston Medical and Surgical Journal 1902.1.9)

[102] ノート 12 参照.

[103] ノート 123 照.

[104] ノート 124 参照.

[105] ノート 23 参照.

[訳注] イギリスの詩人エマーソン (Ralph Waldo Emerson) の詩 "Love of God" に、"What is excellent, as God lives, is permanent" とある。

## モルモットに対する X 線の効果を示す表

モルモット 1. 雄. ファラデーチェンバーで X 線に曝露

| 日  | 重量 (g) | 曝露時間 (分) | 火花長 (mm) |                             |
|----|--------|----------|----------|-----------------------------|
| 1  | 1078   | 15       | 14       |                             |
| 2  | 1033   | 15       | 14       |                             |
| 3  | 1045   | 15       | 14       |                             |
| 4  | 1047   | 15       | 14       | 体毛の光沢が消失                    |
| 5  | 1012   | 15       | 14       |                             |
| 6  | ?      | 0        | -        |                             |
| 7  | ?      | 0        | -        |                             |
| 8  | 1001   | 15       | 14       | 管球側の側腹部の脱毛 2cm <sup>2</sup> |
| 9  | ?      | 0        | 14       |                             |
| 10 | ?      | 0        | 14       |                             |
| 11 | 991    | 15       | 14       | 無毛部に滲出                      |
| 12 | 990    | 15       | 14       |                             |
| 13 | 971    | 15       | 14       | 範囲が拡大                       |
| 14 | 976    | 15       | 14       |                             |
| 15 | 982    | 15       | 14       |                             |
| 16 | 999    | 15       | 14       | 痂皮形成                        |
| 17 | 984    | 20       | 14       | 改善                          |
| 18 | 975    | 20       | 14       |                             |
| 19 | 981    | 20       | 14       |                             |
| 20 | ?      | 0        | -        |                             |
| 21 | 994    | 30       | 14       |                             |
| 22 | 971    | 30       | 14       |                             |
| 23 | 986    | 30       | 14       |                             |
| 24 | 964    | 30       | 14       |                             |
| 25 | 976    | 60       | 14       |                             |
| 26 | 959    | 60       | 14       | 無毛部が化膿                      |
| 27 | ?      | 0        | -        |                             |
| 28 | 980    | 60       | 14       |                             |
| 29 | 954    | 60       | 14       |                             |
| 30 | 945    | 90       | 14       |                             |
| 31 | 936    | 90       | 2        | 範囲 7.5cm <sup>2</sup>       |
| 32 | 908    | 90       | 2        | 患側後枝の不全麻痺                   |
| 33 | 886    | 90       | 2        |                             |
| 34 | ?      | 0        | -        | 死亡                          |

モルモット 2. 雄. ファラデーチェンバーで X 線に曝露

| 日  | 重量 (g) | 曝露時間 (分) | 火花長 (mm) |                   |
|----|--------|----------|----------|-------------------|
| 1  | 746    | 15       | 14       |                   |
| 2  | 740    | 15       | 14       |                   |
| 3  | 755    | 15       | 14       |                   |
| 4  | 755    | 15       | 14       |                   |
| 5  | 751    | 15       | 14       |                   |
| 6  | ?      | 0        | -        |                   |
| 7  | ?      | 0        | -        |                   |
| 8  | 758    | 15       | 14       | 体毛の光沢が消失          |
| 9  | ?      | 0        | -        |                   |
| 10 | ?      | 0        | -        |                   |
| 11 | 747    | 15       | 14       |                   |
| 12 | 772    | 15       | 14       |                   |
| 13 | 750    | 15       | 14       |                   |
| 14 | 757    | 15       | 14       |                   |
| 15 | 752    | 15       | 14       |                   |
| 16 | 769    | 15       | 14       |                   |
| 17 | 762    | 20       | 14       |                   |
| 18 | 762    | 20       | 14       |                   |
| 19 | 763    | 20       | 14       |                   |
| 20 | ?      | 0        | -        |                   |
| 21 | 781    | 30       | 14       |                   |
| 22 | 765    | 30       | 14       |                   |
| 23 | 779    | 30       | 14       |                   |
| 24 | 778    | 30       | 14       |                   |
| 25 | 781    | 60       | 14       |                   |
| 26 | 771    | 60       | 14       |                   |
| 27 | ?      | 0        | 14       |                   |
| 28 | 777    | 60       | 14       |                   |
| 29 | 746    | 60       | 14       |                   |
| 30 | 726    | 90       | 14       | 管球側が閉眼            |
| 31 | 697    | 90       | 2        | 管球側後枝の軽度麻痺        |
| 32 | 667    | 90       | 2        | 膣から出血             |
| 33 | 643    | 90       | 2        | 流産                |
| 34 | ?      | 0        |          | 死亡. 外表病変, X 線火傷なし |

モルモット 3. 雄. 曝露なし. 対照

| 日  | 重量 (g) | ファラデーチェンバー内<br>滞在時間 (分) |                |
|----|--------|-------------------------|----------------|
| 1  | 931    | 15                      |                |
| 2  | 931    | 15                      |                |
| 3  | 920    | 15                      |                |
| 4  | 926    | 15                      |                |
| 5  | 930    | 15                      |                |
| 6  | ?      | 0                       |                |
| 7  | ?      | 0                       |                |
| 8  | 930    | 15                      |                |
| 9  | ?      | 0                       |                |
| 10 | ?      | 0                       |                |
| 11 | 917    | 15                      |                |
| 12 | 945    | 15                      |                |
| 13 | 930    | 15                      |                |
| 14 | 918    | 15                      |                |
| 15 | 918    | 15                      |                |
| 16 | 926    | 15                      |                |
| 17 | 921    | 20                      |                |
| 18 | 909    | 20                      |                |
| 19 | 915    | 20                      |                |
| 20 | ?      | 0                       |                |
| 21 | 930    | 20                      |                |
| 22 | 925    | 20                      |                |
| 23 | 931    | 20                      |                |
| 24 | 932    | 20                      |                |
| 25 | 926    | 60                      |                |
| 26 | 925    | 60                      |                |
| 27 | ?      | 0                       |                |
| 28 | 939    | 60                      |                |
| 29 | 930    | 60                      |                |
| 30 | 932    | 90                      |                |
| 31 | 949    | 90                      |                |
| 32 | 950    | 90                      |                |
| 33 | 953    | 90                      | 健常, 体毛良好, 眼光良好 |

モルモット 4. 雄. 曝露なし. 対照

| 日  | 重量 (g) | ファラデーチェンバー内<br>滞在時間 (分) |           |
|----|--------|-------------------------|-----------|
| 1  | 756    | 15                      |           |
| 2  | 756    | 15                      |           |
| 3  | 772    | 15                      |           |
| 4  | 771    | 15                      |           |
| 5  | 781    | 15                      |           |
| 6  | ?      | 0                       |           |
| 7  | ?      | 0                       |           |
| 8  | 792    | 15                      |           |
| 9  | ?      | 0                       |           |
| 10 | ?      | 0                       |           |
| 11 | 804    | 15                      |           |
| 12 | 830    | 15                      |           |
| 13 | 823    | 15                      |           |
| 14 | 827    | 15                      |           |
| 15 | 827    | 15                      |           |
| 16 | 852    | 15                      |           |
| 17 | 841    | 20                      |           |
| 18 | 850    | 20                      |           |
| 19 | 860    | 20                      |           |
| 20 | ?      | 0                       |           |
| 21 | 893    | 20                      |           |
| 22 | 886    | 20                      |           |
| 23 | 906    | 20                      |           |
| 24 | 908    | 20                      |           |
| 25 | 823    | 60                      |           |
| 26 | 917    | 60                      |           |
| 27 | ?      | 0                       |           |
| 28 | 941    | 60                      |           |
| 29 | 925    | 60                      |           |
| 30 | 941    | 90                      |           |
| 31 | 956    | 90                      |           |
| 32 | 943    | 90                      |           |
| 33 | 956    | 90                      | 健常, その他同様 |

## 治療における放射性物質

## RADIO-ACTIVE SUBSTANCES IN THERAPEUTICS

1900 年, X 線の代用となることを期待して, 放射性物質の実験を行った. 放射線の中には, モルモット程度の体厚を通過しても, その活性を維持するものもある. ラジウムの価値を確信し, 活性 1,000 のラジウム約 500 ミリグラムを湿気を防ぐ密封容器に入れてウィリアムズ博士に渡し, 彼が当時興味を持っていた狼瘡に試すよう依頼した. 容器は円板状で, 前面はアルミニウム, 背面は比較的放射線不透過な金属製である. これらの物質を, X 線が効果的であることがわかっている狼瘡, 表在癌, 皮膚疾患の治療に試みることが重要であると考え, この問題を公平に試験する意向を示すボストン在住の医師に別の容器を送る予定である [106].

放射性物質は, 密封容器に入れて絆創膏で体に貼り付けたり, ゴムやセルロイドと混ぜて防湿膏剤として広い範囲を覆うこともできる. これらの膏剤は, 身体に近い側をアルミ箔で覆い, 反対側を鉛箔で覆うことでさらに保護することができる. これを薬剤師の保管庫に備えておき, 適当な使用期間の指示とともに患者に処方することができる. 夜間も装用することができ, 貧しい患者でも, X 線管による治療のように医師のもとを頻回に訪れる必要がない. 原状の治療は多くの回数が必要で, 時間も費用もかかることから, これは重要なことである.

(Boston Medical and Surgical Journal 1902.1.23)

[106] 1904 年追記. ラジウムへの現在の関心の高さを考えると, 当時, この容器への応募が無かったことを付記する価値があるかもしれない.

## 高真空度における抵抗

## RESISTANCE IN HIGH VACUA

・X 線管の抵抗に関する説の一部に修正を要することを示す実験

高真空度における放電の抵抗は, 常圧における放電の法則とは逆になるとしばしば言われる. 大気圧の空気中では, 電極間距離が長くなるにつれて中程度の距離で抵抗が増加するが, 高真空度では距離に応じて抵抗が減少すると言われる. それが真実とすると, 既知の法則とあまりにも矛盾することから, これを知るために新しく用意した X 線管で数年にわたって実験してきた. 結論として, 従来の説は正しくないことがわかった.

高真空度における抵抗が空気中の抵抗とは異なる法則に従うように見えるのは, 真の状態が隠蔽されているためである. いずれの場合も同じ法則が当てはまることを示すため, 皮膚に火傷を起こすために最近用意した X 線管を使った実験結果を示す. X 線管は, Electrical Review 誌 1897 年 12 月号, 1898 年 1 月号掲載の, 可動電極を備えたものである. 慎重に加熱し, ポンプ排気中に強いサージを発生させ, 使用時に適切な電流が得られるように電極を前準備した. 第 1 の X 線管では, ターゲット / 陽極を陰極から 40mm の位置とした. この位置では, 適切な電流に対する抵抗は, 大気圧で 40mm 相当であった. 陰極とターゲットの距離を 100mm に増すと, 抵抗は空気 10mm 相当に増加した. 第 2 の X 線管では, 同じ条件下で, 抵抗は 8mm と 20mm 相当であった.

高真空度における抵抗を研究する場合, X 線管は非常に感度が高いため有用であるが, 陰極線の発生を左右する条件を考慮することが重要である. そのような条件として, 電極の形状, 電極に融合するガスの状態, X 線管の形状と電極の関係に応じた残留ガスの正常循環の確立, 管内の電流量, サージの大きさなどがある.

(American Journal of Science, 1902.1)

## X線管および無線電信用誘導コイル

## AN INDUCTION COIL FOR X-LIGHT TUBES AND WIRELESS TELEGRAPHY

・交換可能な二次側可変電圧開放変圧器の詳細な説明

数年前、筆者は簡単、迅速、安価に修理できる、実験家に有用な誘導コイルを設計した。新しい電解式断続器(スポティスウッド断続器)が使用されるようになると、これらの断続器による強い電流の負荷により、誘導コイルが頻繁に故障することが分かった。そこで、本誌 1900 年 12 月 26 日号に、コイルに関する短報を掲載した [107]。

このコイルは、原状のものといくつかの点で異なっている。一次コイルと二次コイルの間には通常の硬質ゴム管の代わりに、多数の雲母箔の管を使用している。現在マイカナイト社からあらゆるサイズの管が入手可能で、強い電流に耐える必要がある誘導コイルには欠かせない。二次側の設計も新しい。現在市販されている実用的な誘導コイルは、1850 年以前にポゲンドルフが最初に提案した設計に基づいて長年使用されているものである。その 1 つは、1851 年のロンドン博覧会でシーメンス・ハルスケ社 (Siemens & Halske) が展示したものである。ポゲンドルフの方法は、二次コイルを薄いセクションに巻くものである [108]。

このコイルでは、各セクションは溝を切った硬質ゴムの長い円筒に巻かれている。最近、メーカーは紙を使うようになり、この結果コイルはますます耐久性に劣るようになった。セクションはすべて、パラフィンや蠟などの絶縁物質でまとめられて一塊となっている。この方法の欠陥は、オールソップ (Allsop) 氏の近著「誘導コイルとコイル製造」からの次の引用文に良く示されている。この中で、アプス (Apps) 氏のためにポリテクニク社のコイルとスポティスウッド社のコイルを製造したウォード (Ward) 氏が、前者の修理について語っている。「しかしポリテクニク社の幹部が費用を節約したため、良いコイルに不可欠なこの 2 つの要素を使えなかった。彼らは自らこれを移動することを選択し、このため一次側に過負荷がかかり、初期段階でひびが入ったり、電極を一定の距離離すと火花が飛ぶほど脆弱化した。この時は、アプス氏が修理したが、大きなかつデリケートな二次コイルを損傷することなく古い管を引き抜いて新しい管を取り付けるという作業の著しい困難を知る者であれば、これが機械職人の技の勝利であったことを認めるであろう」。

二次コイルを修理することは更に困難であることを考えると、このような構造は強力な負荷がかかるコイルには不適当であることが明らかである。二次コイルにはより優れた構造が必要であることは、前述の 2 つ目

のコイル、則ち最も有名なコイルで、火花長が本来よりもはるかに短くなっているという事実でも示されている。さらにこれは、二次側の絶縁方法が、大量の絶縁材料を使用しているにも関わらず、耐久性を欠いていることの証である。またコイルは、メーカーに返送することなく、非熟練者でも数分で修理できるように作られている必要があり、原状は不便である。したがって、二次側のセクションは互いに完全に独立しており、一次側を隔てる管からも完全に分離している。したがって、損傷部分をフリーにするまでマイカナイト管を十分引き抜けば、損傷部分を簡単に取り除くことができる。

コイルの周囲には、ガラス板 [109] 以外の絶縁材は使用されておらず、ガラス板にはガラス板 1 枚とコイル 2 個が 1 セクションとして取り付けられている。各セクションは、中心にマイカナイト管が通る大きさの穴があいたガラス板で隔てられている。コイルを結合するガラス板の穴はやや大きく、これはセクション間のガラス板を跳び越えて火花がとぶことを防ぐためである。

このようなイルを提案すると、絶縁が不完全でコイルがすぐに壊れてしまうため、この構造は無意味であると言われた。このような簡単な絶縁方法が有効であることを、誰もが信じなかった。その後、同じ二次側の絶縁方法を使用して、火花長 56cm, 70cm の 2 つのコイルを製作した。これらは耐久性があることが証明された。金に糸目をつけなければ、この方法で火花長数 m のコイルも可能である。このコイルの絶縁を批判した人は既に亡くなっていると思われるが、二次側のセクションが互いに、また一次側から完全に独立しているという重要な特徴をもつ、他の 2 つの絶縁方法の設計について述べる。

しかしまず第 1 に、静電発電機につないで電気治療全般に好適なオリジナル設計 56cm コイルの特徴のいくつかを示す。X線管に使う場合は、より大きなコイルが必要である。図 60-1 に、径 28cm のマイカナイト板の両側に取り付け、径 13/100mm の二重綿被覆ワイヤによる 2 つのコイルのセクションの 1 つを示す。板の中央には、一次側を二次側から分離するマイカナイト管のセクションを通すための穴がある。各コイルの銅線の重量は、綿被覆をふくめ 40g である。各コイルは 4mm 厚で、パラフィンに浸したテープでマイカナイト板に固定されている。図 60-2 の断面図に、セクション管の連結を示す。マイカナイト管は長さ 112mm, 内径 7cm, 壁厚 2cm である。コイル径はより小さくできるが、大きなコイルでも使用できるように、このサイズが好適と考えられる。コイル数は 76 である。図 61-3, 図 62-4 にセクションを絶縁する別の方法を示す。この方法は、ガラスセルを入手できなかったため、まだ実験以外に行っていない。ガラス製造業

者が、同じものを 1,000 個用意できなかったためであるが、この方法は実際的かつ単純なので、図を公開する。

ここでは、ある程度の機械技術を持つ人なら誰でも、無線電信や X 線用途に必要な強力な電流を発生する 70cm 誘導コイルを組み立てられる手順を示す。

### 【一次コイル】

長さ 220cm、径 1cm の軟鉄製中心ロッドから成る。2 つの盃型のフランジをつける。1 つは端部に近く 2 つの緩み止めナットで固定する。もう 1 つはロッドの適当な位置に止めネジで固定する。フランジの目的は、ロッドを中心に固定し、これを巻くワイヤの端部を保持するためである。このワイヤは軟鉄製で、それぞれ長さ 168cm、径 1mm である。これがロッド周囲を巻いて一塊となる。その周囲には、径 4/100mm、18/100mm の絶縁銅線が一層巻かれている。

### 【製作方法】

図 63-5 に示すように、長さ 168cm、内径 89mm の金属管を使って、ワイヤをパッキングする。前述の盃型フランジの一つが管の一端を塞ぎ、これを一時的にカラーと止めねじで固定している。パッキング中にロッドの他端を中心に保持するため、ロッドを支える中央に突起があるフランジを管の他端に一時的に取り付ける。ロッド周囲の管にワイヤをしっかりパッキングし、少し押し出して結束する。全てのワイヤが均等に押されることが重要であるため、管のサイズに正確に一致するプランジャーを使用する。その把手は、中心ロッドの上をスライドするように中空になっている。図 64-6、65-7 に、強い紐で結紮するところを示す。1 本の紐を結んでから、ワイヤをもう少し押し出して別の紐を結ぶ。この操作を、コアが管から出るまで繰り返す。

2 つ目の盃型フランジを取り付けてワイヤ端にクランプでとめると、ワイヤは 2 つのフランジ間にしっかり保持される。全体を溶解した黄色オゾケライト (ozokerite, パラフィン) に泡が出なくなるまで浸す。乾燥してから、コアを 14cm 幅の短冊状の斜めに巻き、アルコール溶解シェラックニスでコーティングした丈夫なマニラ紙で包む。1 つの層が乾燥したら、結合をはずしながら次の層を重ね、7 層とする。費用を考えなければ、ワイヤはマイカナイト管にパッキングする方が、結紮、包埋の時間を節約できる。紙の乾燥後、その周囲に 1 層の絶縁銅層を固く巻き付ける。コアをのせる長さの旋盤がないため、図 64-6、65-7 に示すような架台を使用した。この状態で、1 人がコアを回転し、もう 1 人が銅線を巻く。When the copper wire is all on, it is heavily coated with shellac in alcohol. 銅線をすべて巻いたら、アルコール溶解シェラックニスで厚くコーティングする。乾燥後、マイカナイト管内で滑りやすくし、さらに銅巻線を絶縁するために、一次コイル全体をパラフィンで厚く覆う。

### 【一次側を二次側から分離する管】

この管はマイカナイト製とする。他の材質は不適である。長さ 2m、壁厚 15mm、穴の直径 105mm。図 75-8 にこれを示す。

### 【二次コイル】

径 12/100mm の二重綿被覆ワイヤのコイル 126 個から成る。各コイルは、綿被覆を含め重量 154g の 1 本のワイヤで巻く。1 つのセクションにメーカー製のコイルと同数のスプライスを持たせるのが一般的であるが、スプライスは強電流によるコイル破損の原因となるため、各セクションのワイヤは 1 本とする方がよい。各コイルの内径は 16cm、厚さは 4mm である。

### 【二次コイルの製作法】

2 次コイルのワイヤは手で巻くのが一般的である。オールソップ (Allsop) は、前述の著書の中で、自動セクションワイヤ巻き装置 (セクションワインダー) を示し、たとえ可能であったとしてもワイヤを均一な層に巻く必要はなく、ワイヤが落ち着く位置に巻けばよいと述べている。しかし、機械的な操作には職人技が好まれ、簡単な自動巻き装置が推奨される。これによって、ワイヤを均等な層に巻き、一定のエーテルの歪み空間により多くのワイヤを置くことにより、コイルをより効率的にできる。これは理論的でも、実験でも示されているところで、重要な点である。図 66-9 の装置は、可能な限り市販の部品で作られており、これにより多くの面でコストが削減できる。ワイヤを機械に送りこむ穴を備えた傾斜したキャリッジで、ワイヤが前後に運動する。キャリッジは自動的に傾斜する。全体の構造は非常に簡単で、図から容易に理解できる。

### 【巻き付け】

コイルは、図 67-10 のように、径 16cm、枠の幅 4mm の金属シートのフォームに巻き付ける [110]。コイルの厚さは枠の幅で決まる。周辺には、コイルを結紮する糸を通すスロットがいくつも切られている。コイルの巻き付けを開始するときは、フォームの 1 つを、放射状のスロットを備えた 2 つの鋳鉄製フランジの間の巻き取り機内に配置する。ワイヤをしっかりと巻き付けるために適切な張力を確保するため、ワイヤを機械に送るときは手で保持する (図 68-11)。十分な量のワイヤ (154g) が巻き付けられたなら、麻の 10 番の靴紐で縛る。図 69-12、70-13 は、最初にシャフトを取り外し、巻き取り機のフランジの 1 つを取り外した状態である。図には、コイルを巻き付けたディスクと、取り外す準備ができていて新しく巻かれたコイルも示されている。図 67-14 も参照。コイルを、巻き付け機の巻き付けフォームから取り外し、絶縁材と硬化剤の混合液に浸して硬化するまで形状が維持されるように保持する。

十分な数のコイルを巻き付けてから、長いネジ山の

付いた軸の上に置く。各コイルは研磨した錫メッキの鉄製ディスクによって隣のコイルから分離されている [111]。巻き付けフォームと分離ディスクには、絶縁化合物が容易に滲透するよういずれも多数の穴が穿孔されている。十分な数のコイルを軸上に置くと、コイル面は鋳鉄製ディスク間にしっかりと挟まれる。コイルがしっかりと結合するように、相当な力が必要である。次いで、これを黄色のオゾケライト (ozokerite)3、カロリナ白色樹脂 (Carolina white resin)1 の割合の混合物に浸す [112]。混合液は、垂鉛メッキした鉄板で作った水槽で溶解する。ここで水浴を使用することが重要である。炎が混合物の入った容器に触れると、時間が経つと必ず炭化し、その炭素の微粒子がコイルに埋め込まれてしまい、炭素は導体であるため絶縁を妨害するからである。

空気の除去とオゾケライトの置換を確実なものとするため、コイルは 12 時間、200°F の絶縁混合液内に置く。コイル液浸の様子を図 71-15 に示すが、見えているのは 1 グループのみ、すなわち全体の 1/3 の個数である。コイルを水浴から取り出す際には、コイルを立てた状態で完全に乾燥し、巻き付けフォームと分離ディスクの穴から混合物を流出させなければならない。その後、写真に示す位置に戻し、完全に冷えるまで保持する。次いで、フランジを持ち上げ、分離ディスクと巻き付けフォームを取り外す。

これで取り付け準備が完了する。図 70-16 は、コイルを一部取り外した状態で、一部は巻き付けフォームにあるところを示す。いくつかのコイルは、その硬さを示すために立てた状態としている。絶縁混合液は丈夫で、液浸後は頑丈になる。

### 【コイルのガラスプレートへの装填】

コイルの装填は、テープ、あるいはオゾケライトリング (図 72-17)、あるいはコイル周囲のオゾケライトによる成型 (図 73-17) で行う。

#### ・オゾケライトリングによる方法

第 2 の方法。図 72-17 には、二次側の 1 セクションの構成部品、すなわち、ガラス 3 枚、コイル 2 個、オゾケライトリング 4 個を示す。これらを図に示す順序で配置し、オープンで少し温めながらプレスし、図 74-19 のような形とする。

#### ・成型による方法

第 3 の方法。コイルとガラス板を端で固定し、加温して絶縁混合液を漏斗から注ぐ。図 73-18 にこれを示す。置換された空気が追い出せるように、オゾケライトは底面から注ぐ。混合液が冷えたら、漏斗を取り外し、縁を滑らかに削る。コイルは、第 2 の方法で示したように、図 74-19 の状態となる。ボストンの気候では、

最後の 2 つの方法は不要であるが、このようなコイルは、船舶上、その他湿気の多い場所で活躍が期待さ

れる無線通信に特に有用なため、このような方法を採用している。温暖な気候では、第 1 の方法で十分である。また最後の 2 つの方法は、コイルをできるだけポータブルとする必要がある場合、運搬のリスクがある場合にも有効である。絶縁混合液によって、コイルは非常に過酷な使用にも耐えられるようになるためである [113]。

### 【コイルの各セクションの接続】

この操作は絶縁の前に行うものであるが、便宜上ここで説明する。コイルで最も理解が難しいのは、1 つのセクションを形成する 2 つのコイルの接続である。最も良い方法は、1 つのコイルがたまたま分断されたものと考えることである。これが 1 つのコイルと考え、ワイヤの内側の端をねじって結合すると、ワイヤは互いに適切な関係になる。つまり、すべての巻きが同じ方向を向く連続したワイヤコイルとなる。うまく作動しないコイルがあれば、それは 1 つあるは複数のハーフコイルのワイヤが逆方向に巻かれているためである。これはよくある誤りである。

### 【セクションのパッキング】

図 75-20 は、コイルを通常の 1 つではなく、3 つのボックスにパッキングした状態である。このサイズのコイルでは、これは重要な方法である。コイルの重量が大きく、一体で取り扱うのは不便な場合があるからである [114]。ライデン瓶と火花間隙は、別のエンドピース (末端部) に取り付けられており、小さなコイルの場合は単一セクションのエンドピースとして、大きなコイルでは図のように使用できる。ただし、その場合も後述する方法で小型コイルとして使用することもできる。すべてのボックスとエンドピースは、マイカナイト管上をなめらかにスライドし、運搬のために取り外すことができる。これを図 75-21 に示す。各ボックス上部の中央はガラス板でできており、真鍮球を挿入するための穴が開いており、その穴に各セクションを取り付ける。この方法については、ノート 112 に詳述した。このセットアップでは、電圧ロッドをガラス板内の適当な真鍮球に移動させることにより、コイルを 7cm から 70cm まで任意のサイズのコイルとして使用できる [115]。セクション間を接続する前に、セクションを木箱に入れ、隙間にはゴムパッドを充填する。

### 【セクション間の接続】

末端のセクションから始め、外側のワイヤをガラス板の端の真鍮球に接続する。セクションの外側から来る 2 番目のワイヤを、次のセクションの最も近い外側のワイヤに接続し、ボックス内で同様にこれを繰り返す。ただし、セクションが真鍮球の下に来る場合は、その外側のワイヤの 1 つを真鍮球に接続し、次のセクションの最初の外側のワイヤも同様に接続する。これを図 60-2 似示す。

## 【ボックスの接続】

ボックスをマイカナイト管上に並べた後、最も近い真鍮球を金属ループで接続し、二次側全体を貫通するワイヤとする。

## 【注意事項】

このコイルは、これまで説明されているコイルに比べて二次側のワイヤがはるかに少ないことがわかるであろう。例えば、前述のポリテクニックのコイルは、最良の状態でもこのコイルより長い火花を発生しないが、その二次側には約 275kg の銅線が使用されている。一方、このコイルの銅はわずか 13kg で、綿の被覆を含めても 19kg である。これは製造元から入手した値であるが、銅の正確な重量は若干異なる場合がある。二次側の銅は、ポリテクニックコイルの僅か 1/20 であることがわかるであろう。ワイヤは 1kg 当たり 1 ドルなので、これは重要なことである。

ワイヤの量が少ないことが求められる理由は幾つかある。第 1 に、最新のスポティスウッド式電解式断続機は、以前の断続機よりも効率的である。第 2 に、従来はコイル二次側の、一次側で生成されるエーテルの歪み空間に対する配置が不適當であったため、必要な火花長を得るために多くの巻線が必要であった。このコイルでは、一次コイルを過剰と思われるほど長くし、二次コイルが破損することなく非常に強い電流を誘導できる構造にすることで、二次コイルをエーテルのより大きな歪みに浸すことができる。商用電流がコイルの一次側の励起に利用できる現在、電力源は実質的に無制限であり、コイルは十分に強力である限り、はるかに簡単に作ることができる。

コイルは電解式断続機を想定していることから、コンデンサーは不要である [116]。電解式断続機は、安定して動作し、動作中に簡単に操作できるハンドルによって電流量を調節できるタイプのものである必要がある。繰り返しを避けるため、コイルに関するいくつかの事項は省略しているが、ノート 112 の記載をこの注意事項と合わせて読む必要がある。このような高出力のコイルを使用し、一次側に強い電流を流して X 線管を励起する場合は、管球も電流に応じたものとする必要がある。以後のノートでは、そのような X 線管の設計、製作について述べる。

(Electrical Review 1902.3.29)

[107] ノート 112 参照

[108] ノート 112 では、この方法は Ritchie によるものとしたが、誤りであった。

[109] ノート 112 ではマイカナイト板を推奨している。ガラスよりも強く、薄い。

[110] 頑丈なりムと放射状アームをもつ金属ホイールの方が優れていることが分かった。コイル間には 2 枚のディスクを使用する必要がある。コイルを浸漬した後、コイルが錫ディスクに付着した場合、ノミをディスクの間に差し込んでこじ開けると、コイルの両側に 1 枚ずつディスクが付着したままになる。これらのディスクは、温かい面に置

くことで簡単に取り外すことができ、これによってコイルの表面が滑らかになり、ワイヤがずれる危険をすべて回避できる。

[112] 樹脂を除く

[113] より簡単な方法は、各セクションを適当な平板トレイ内で成型することである。

[114] より新しいコイルでは、2 個のみ使用する。

[115] 少量のエネルギーで最大限の火花を所望する場合、この方法は推奨されない。

[117] コンデンサーと通常の断続機を使用する場合、火花は短くなる。あるいは、断続機を使用せずに一次側に交流または脈動電流を流すこともできる。この場合、火花長は変化の速さに依存する。特殊な発電機を使うと、小さなコイルでも火花の長さはかなり長くできる。これはコイルの励起に便利な方法である。

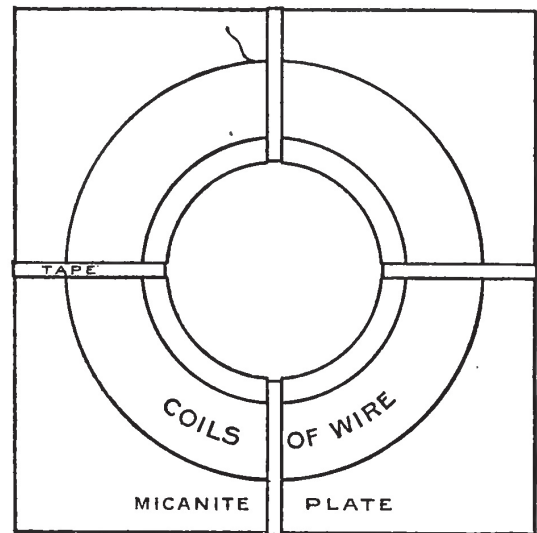


図 60-1. 2つのセクションの1つ

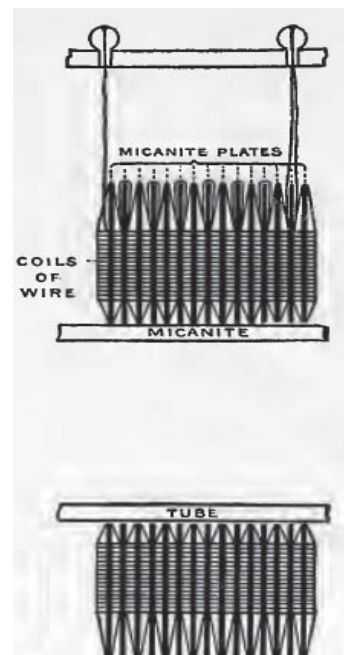


図 60-2. セクション管の連結。

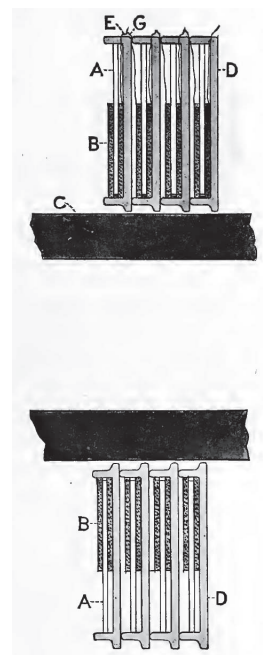


図 61-3. 交換可能二次セクションをもつ誘導コイルの二次コイルの断面、ガラストレイを示す。A: コイルのセクションを隔てるガラス板。B: コイル。C: マイカナイト管。

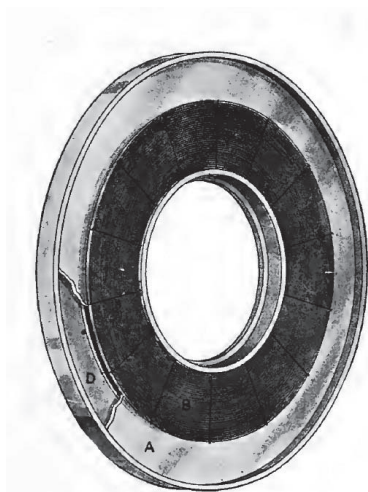


図 62-4. 交換可能二次セクションをもつ誘導コイルの二次コイルガラスセル. 1つのセクションを構成する2つのコイルが絶縁材に埋め込まれている.



図 65-7. 一次コイルの鉄製コアワイヤを結紮する.



図 63-5. 鉄製ワイヤコアのパッキング法.

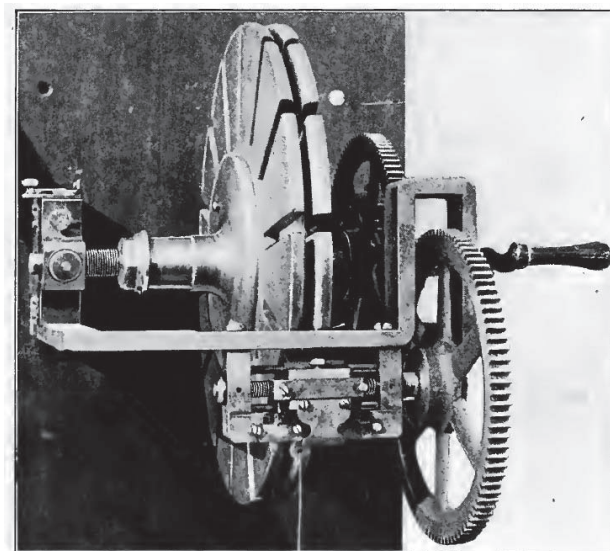


図 66-9. 交換可能二次セクションをもつ二次コイルの巻き付け装置.

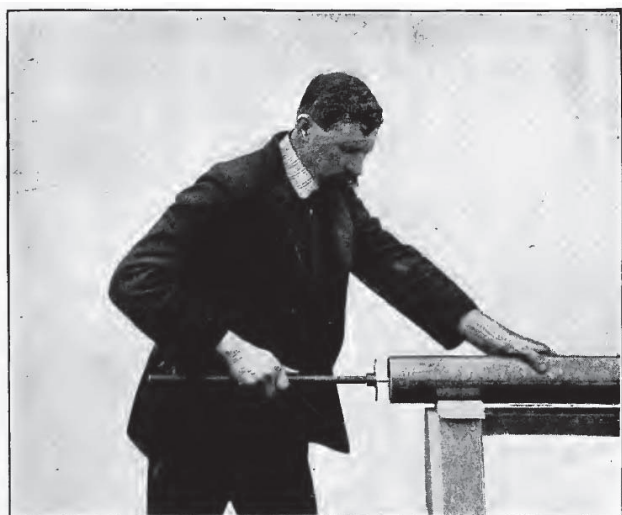


図 64-6. パッキングした管から一次コイルのコアを押し出す.

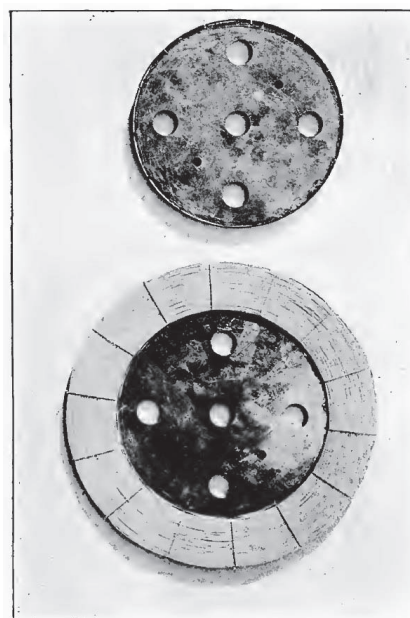


図 67-10, 14. 巻き付け直後の金属フォーム. 交換可能二次セクションをもつ二次コイルの1つを結紮する方法を示す.



図 68-11. 二次コイルの巻き付け. 交換可能二次セクションをもつ二次コイルの 1/2 セクションの製作.

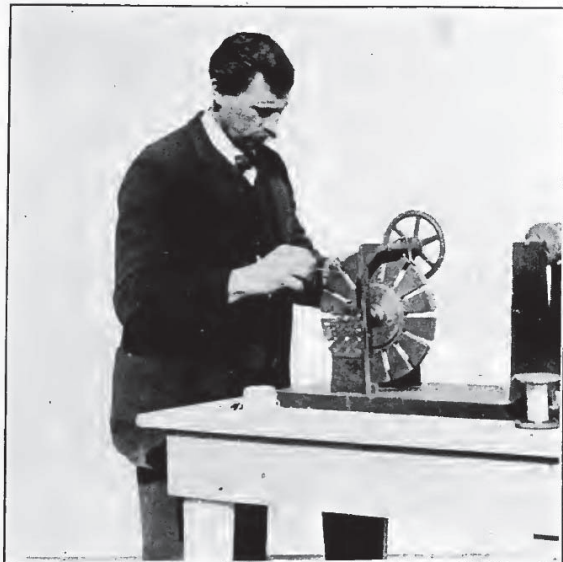


図 69-12. 交換可能二次セクションをもつ二次コイルの 1/2 セクションの巻き付け後, 二次コイルを結紮する.

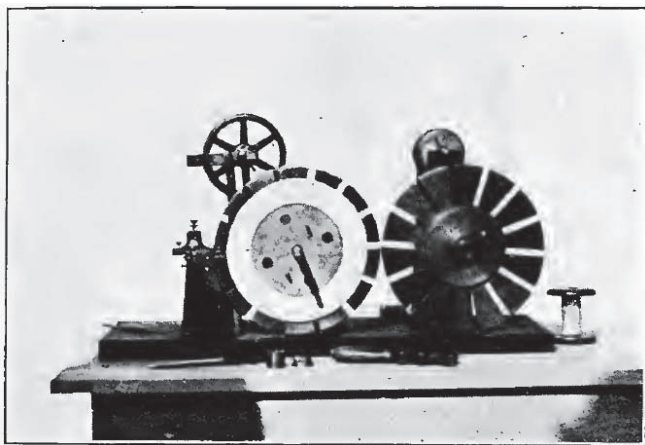


図 70-13. 巻線機の軸をベアリングから外し, フランジを 1 つ取り外して, 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルの 1/2 セクションを形成するコイルを示す.

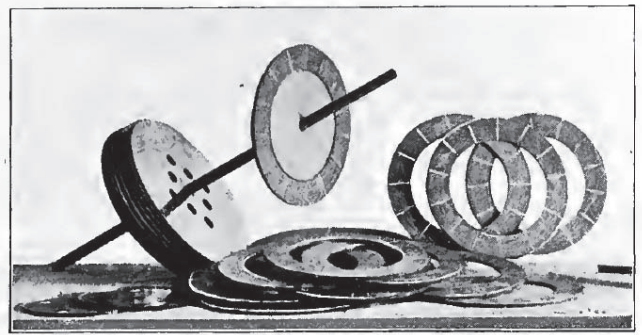


図 70-16. 片方のフランジを取り外した液浸軸. コイルの一部を取り外し, 他のコイルは液浸によって得られる剛性を示すために示した.



図 71-15. 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルのセクションの液浸.



図 72-17. 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルの構成要素.

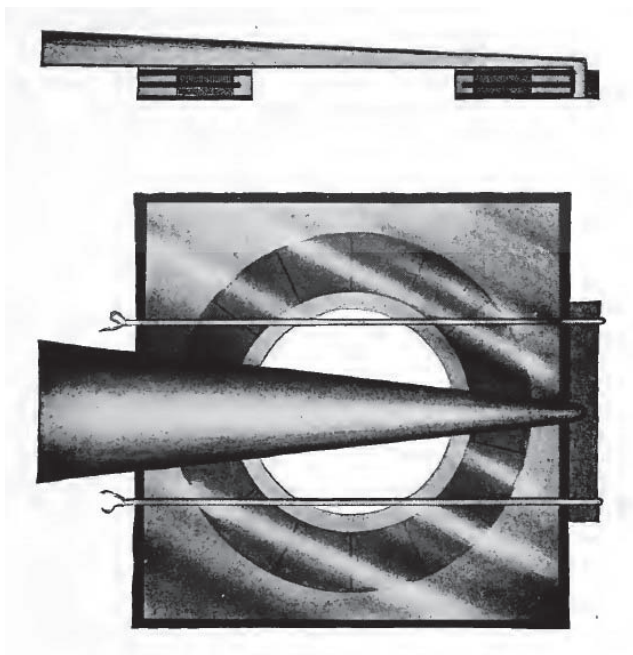


図 73-18. 交換可能二次セクションを持つ誘導コイル. 1 対のコイルの周囲をオゾケライトで成型し, 1 つのセクションとする.



図 74-19. 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルの完成したセクション.



図 75-8. 70cm コイルの一次側の全体像. 一部切り取って内部を示す.

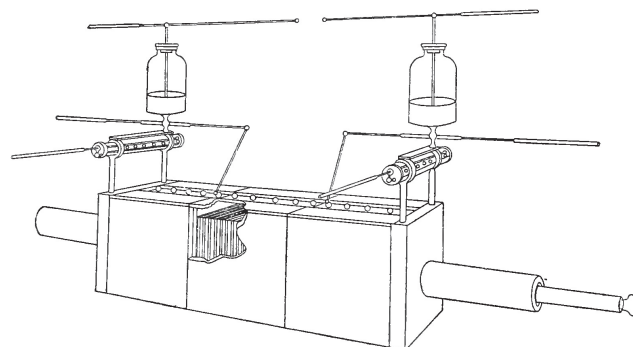


図 75-20. 70cm 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルの全体像.

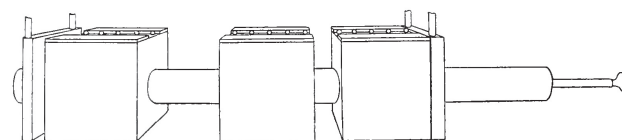


図 75-21. 70cm 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルの全体像, ボックスを離したところ.

## 強力なコイル用 X 線管

### TUBES FOR POWERFUL COILS

- ・電気量の必要性
- ・大サージ使用時に適切な陰極の大きさ
- ・可動ターゲット
- ・抵抗が変動する X 線管で鮮明な画像を得るための可動電極の必要性
- ・陰極が陽極におよぼす牽引力
- ・ターゲット距離を決定する適切な法則
- ・陰極の正しい位置
- ・頑丈な電極システムの必要性
- ・X 線管排気中に電極を加熱することの必要性
- ・排気中に X 線管を加熱する X 線管オープン
- ・電極の前準備で電流を流す前にすべてのリークを止めることの必要性
- ・電極の処理が、X 線管の前準備で最も難しい工程であること
- ・強力な X 線発生装置で使用する X 線管電極の前準備における大きな電気サージの必要性
- ・X 線管で使用するエネルギー量を知り、それに応じて X 線管を前準備することの必要性
- ・排気中の真空調整管の扱い
- ・簡単な水銀ポンプ
- ・水銀蒸気を X 線管から排除することの重要性
- ・電極からガスを除去し過ぎることの影響
- ・ポンプのガイスラー効果の予防法
- ・これらの外観の有害効果
- ・微小火花間隙をもつ真空調整装置
- ・トロブリッジの X 線理論

ノート 112, 137 に示したような強力装置は、蛍光板では鮮明な画像が得られるが、X 線写真については低出力のコイルや小型静電発電機で得られる画像ほど良好でないことから、X 線管の励起には不十分であると

しばしば言われてきた。X 線管用により強力な発電機を推奨してきた者としては、残念なことである。そこで、強力な装置がなぜ批判者の目には良い結果とうつらないのかを知るためにいくつかの実験を行った。この実験から、問題は発電機ではなく、市販の X 線管にあることが明らかとなった。市販の X 線管は、強力なサージによって陰極線の亜原子を十分高速にすることにより、蛍光板を明るく照らすことはできるが、真空度が低下して X 線写真に不適当な線質になるまで、強力な放電に耐えられないためである。心臓や肺のような動く臓器の写真を蛍光板を使わずに瞬時に撮影できるようになるまで、より強力な装置をめざし、その導入を試行している実験者の仕事を奨励すべきである。

16 燭光のエジソン白熱電球で使用される電流から、50 燭光の電球の電流と同じ明るさが得られることは誰も期待しない。同じように、通常光と同じく何もないところから X 線を発生させることはできず、小さなコイルや静電発電機から何倍もの電流を発生できるコイルから得られるのと同じ X 線が得られると主張することは理にかなったものではない。我々は、強力な電流に耐え、これを効率良く X 線に変換する X 線管を製作する方法を学ぶ必要がある。以前のノートで、これを可能とする原理については述べた。本ノートでは、この原理に基づいて作られた前のノートに示した 75cm のコイルについて述べる。排気の方法についても、繰り返して述べる。これは重要であるにもかかわらず、一般に理解されていないためである。

この X 線管を図 76-1, 76-2 に示す。長さは 560mm, 球部は径 126mm である。ターゲットは、鮮明な画像を得るために、陰極の理論的焦点ではなく実質焦点の

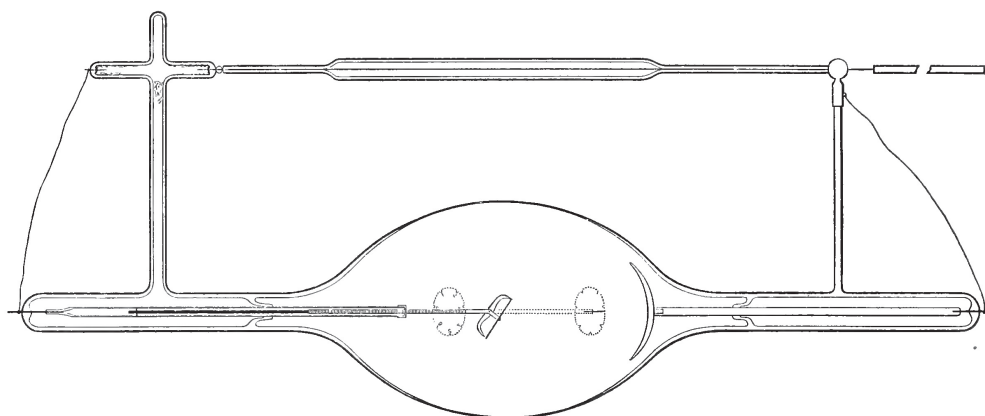


図 76-1. 自動真空調整管、陰極との距離が管抵抗に応じて可変な回転ターゲットを備えた X 線管。



図 76-2. 調整可能なターゲット。

一に置かれている (1897 年 12 月 1 日, ノート 1). この焦点は, 陰極線の亜原子の電荷 (ノート 86, 1900 年 2 月 7 日), および真空度 (ノート 2, 3, 1897 年 12 月 8 日, 15 日, ノート 6, 1897 年 12 月 22 日) によって変化するので, ターゲットあるいは陰極を可動とすることが重要である (ノート 4, 1897 年 12 月 15 日, ノート 19, 1897 年 1 月 26 日). 陰極線を可動とすることには利点があり, この場合, 照射中に磁石によって調整できる (ノート 19). X 線はターゲットから発生するので, ターゲットが移動しなければ照射領域は一定であり, 鮮明度は良好である. 一般にはターゲットを移動する方が良いが, 乾板の露光中はこれを調整せず, クルックスが発明したような加熱によって水分を放出し, 冷却によってこれを再吸収する水蒸気調整管を使用する. このような方法で, 必要な線質に応じて (ノート 6, 1897 年 12 月 22 日, ノート 10, 1898 年 1 月 5 日), 陰極線の焦点は事前に決定した陰極からの距離にほぼ固定される.

電極位置の機械的な調整は, 磁石によるものほどではないが簡単である. 前者を図 76-1, 2 に示す. イリジウムあるいはイリジウム白金合金の円板に近い側のターゲットのステムは正方形で, 2 面に浅い平行線が刻まれており, 他の面は平滑である. 溝の目的は, ターゲットがこれを支持するスチール管内で滑らかに動くようにし, また電極間の牽引力によって, 照射中にこれが移動することを避けるためである. この牽引力の強さは, 滑らかに動くターゲットのステムを使った実験で良く分かる. ある実験では, 陽極が陰極に接近して 2 度の角度で乗り上げた. これは 1 時間程度, 時にはより短時間でもおこり, 最終的に陰極に接触ようになる. 電極の接触寸前に, 明るい輝点が発生し, その陰極に関する興味深い影響については別のノートで述べる.

ターゲットのステムがスライドするスチール管の端は, 四角のステム角が緩く収まる四角い穴があいた薄いスチール製キャップで塞がれており, 穴の縁がステムの溝にはまる. これにより, ターゲットは非常に軽く保持されているが, 写真撮影中に移動しない程度に十分保持される. ターゲットと陰極の距離を変えたい場合は, X 線管を陰極を下にして垂直に持ち, 軽く振れば良い. ステムを四角とする理由は, ターゲットを真空調整管に対して複数の方向に向けられるようにするためである. 真空調整管がない場合, この構造は不要であるが, まるいステムは管内を容易に滑って, 陰極線のターゲットへの衝撃による振動によって移動しやすいので, それでもやはり有用である. 初期の X 線管では, ステムの端を曲げ, これを周囲の管の側面の切った溝に入れることによりこの問題に対処していたが, ここに示した方法の方が優れている.

ターゲット面の向きを変えたい場合は, ターゲットを

上にして X 線管を手につくと, ターゲットが陰極に向けて滑ってシースからはずれ, ステムの四角の部分のシースからはずれず, ここでターゲットを所望の向きに回転し, 陰極側を上にして X 線管を傾けることにより, 必要な距離までステムをシース内に戻すことができる.

### 【陰極とターゲットの適切な距離】

ほとんどの場合, 最適なターゲットの距離はノート 1 で推奨したもので, 凹面陰極の理論的焦点距離の 2 倍, すなわちその曲面半径の 2 倍である. ここに示した X 線管では, 86mm となる. この平均位置の両側におけるターゲット位置調整量は, この X 線管では 28mm である.

### 【ターゲットの形状】

ターゲットは, 回転式とする (ノート 11, 1898 年 1 月 5 日, ノート 50 の図, 1899 年 1 月 15 日). 後者に示した機構に加えて, 番号を振ったいずれの位置にでも, 陰極線を受ける位置にロックする自動クランプを備えている. 新しい面をターゲットにしたい場合は, X 線管を傾けて爪を外せばよい. これは, 手を少し捻れば容易に可能である. 一方の爪を他方よりも大きくすることで, ターゲット面が上下いずれを向いていても, ロック機構が作動する.

陰極とそのステムは, 初期の研究者が推奨するようにアルミニウム製である. 現状では, 実用上高価でない金属が望ましい. 陰極の径は 56mm で, 厚さと金属の配置は図に示す通りである. 陰極の表面は滑らかであることが望ましく, 一般に行われているようにステムをリベット留めするべきではない. 陰極は, 適切な曲率に旋盤で削るか, あるいは図 76-1 のように背面の突起にドロップ鍛造してステムに取り付ける必要がある. いずれの方法も行い, 両者にあきらかな差はなかったが, ドロップ鍛造の方が安価であることから, 多数の陰極が必要な場合はこちらが良い. .

### 【陰極の位置】

ノート 18 (1898 年 1 月 26 日) に, X 線管の効率はガラス壁に対する陰極の位置に依存することを示し, それに続くノートで良い設計の X 線管を例示した. その後さらに経験を積んだ結果, 陰極は X 線管の端に向かって流れる粒子を収集する位置に置く必要がある事が確認された. 陰極を付属管の中に収め, 陰極の凹面が X 線管の曲面の延長にあるようにすることで, 収集プロセスを容易にする方法 (ノート 30, 図 11-30, 1898 年 8 月 3 日) は, 1896 年にこのタイプをフライ (Frei) が市販して以来ほとんどのメーカーに採用されたが, その後の経験から, 強力な発電機を使用する場合には実用的ではないことが分かった. これは, 破裂の危険が増すと同時に, 大きな陰極の場合はガラス管を吹くことが難しくなることから, 放棄すべきであ

る。図示のように、球部を対称とすることで、管球はより美しく、頑丈で、製作も容易となる。

### 【電極のステム】

電極のステムは、最近になってもまだ一般に行われているように、ガラスで被覆するべきではない。強力な電流を流すとガラスが破損して、真空度が変化することから、ステムは裸にするべきである。この方法の利点は、真空度を下げたいときにガラス片を加熱して、真空度調整管を作る実験で判明した。電極の支持にガラス被覆を使用することのもう 1 つの欠点は、ガラスが破損した場合に電極がはずれ、輸送中あるいは手荒な取扱いによって X 線管が使用できなくなることである。電極ステムは、アルミニウムを使うのであれば径 5mm 以下の裸の金属とするべきである。これより小さいと、電極の予備通電に際して金属が非常に柔らかくなるため容易に曲がるからである。X 線管はより軽量、脆弱にする傾向がある。

### 【電極の電線】

電極の電線は、径 86/100mm 以下とする。ループ状にしないことが必要である。しばしば X 線管とコイルをつなぐ電線が急に引っ張られ、X 線管の端を破損することがあるからである。電線は約 3mm 突出させ、発電機との接続は、小さな螺旋状のピアノ線でコイルからの電線につなぐ。これにより、強い力をかけても X 線管が破損する前にはずれるようになる。

電極の製作後、これをオープンに入れて 700°F、1 時間加熱し、機械的作業により付着した有機物や潤滑鉱油を焼灼することが重要である。X 線管を強力な発電機用のために用意する経験から、このことの重要性が明らかとなった。X 線管メーカーは、その必要性が何度も指摘されているにも関わらず、この予防措置を怠り、その結果ポンプ排気中にこれらの物質から大量のガスが発生し、それが除去される頃には X 線を発生するためのガスも電流の作用によって完全に除去され、X 線管の性能は低下してしまう。これは、X 線管の性能低下の最も多い原因のひとつである。

X 線管を排気するポンプは、非導電性の材料で被覆した鉄製オープンに接続し、その外側は鉛や漆鉛白のような放射線非透過性材料で覆う必要がある。これは、強力に励起された X 線管の近くに毎日いる使用者に傷害を与えるからである [119]。X 線の傷害作用は、動物実験で証明されており、Boston Medical and Surgical Journal(1901 年 2 月 14 日, 28 日, 1902 年 1 月 9 日)に報告している。これらの実験で、X 線は火傷の原因となり、動物の胎児、成獣を殺しうることが示されている。

オープンには、外部から読みとれる温度計、X 線管を観察できるように厚さ 1 インチの鉛ガラス製の窓、X

線透視装置で X 線質を観察できるもう 1 つのアルミニウム製の窓を備える。このアルミニウム製の窓には、放射線非透過性素材の開閉シャッターを付け、閉じれば X 線を遮断できるようにし、間欠的に X 線を試験する場合以外は閉じておく必要がある。

前述の実験で、アルミニウムは、テスラが推奨するように 2 枚のアルミニウム箔の 1 枚を接地しても、火傷、流産、死亡を防ぐことができないことが示されている。この実験は、X 線以外のすべての原因を除外してもこのような傷害が起こることを初めて示した点で重要であるそして一部の実験者が実行し、テスラが推奨している X 線火傷の予防策が無効であることを示すものである。さらにこの実験は、高抵抗、低抵抗いずれの X 線管から発生する X 線も、火傷のみならず動物の死をもたらしことを証明している。従って、「X 線使用時は常に、X 線検査、治療、あるいは撮影部位の小さな線錐以外から X 線が漏洩しないような放射線非透過性のボックスに X 線管をいれることの必要性」を示している。この X 線管を被覆する問題は、一連のノートでたびたび述べており、多くの X 線管ボックスを図示したが、その重要性はまだ認識されていないことから、今後のノートでも再び述べる [120]。

ポンプ排気に際して X 線管をいれるオープンは、ポンプから十分離し、熱が水銀に影響したり、水蒸気を追い出さないようにする。これには、X 線管とポンプをつなぐ管を約 56cm とすればよい。このようなオープンに X 線管を入れて 560°F まで加熱し、取扱者の息によって壁に付着した有機物、手によって電極に付着した有機物を焼灼し、ガラス壁や調整管の化学物質、あるいはこれらを保持するために使用される物質からガスを追い出し、X 線管に侵入しないようにする。アスベストはガスを発生することから、この目的にはガラス繊維が最適である。この忠告を無視すると、X 線管のポンプ排気における多くのトラブルの原因となる。加熱により、電極の表面からもガスが追い出され、水銀蒸気が管内に凝縮することを防止できる。この工程が終了するまで、電極に通電してはならない。通電する前に、X 線管のリーク、分岐部、接続部、接続部のグリース、水蒸気、水銀ポンプを使う場合はポンプの水銀など、外部からガスが管内に侵入していないことを確認する。加熱の全工程を通じて、排出弁にガスの泡が発生しなくなるまでポンプを作動させておく [120]。

ついで、X 線管前準備の第 2 段階に入る。これをチューニングと呼ぶ。

以前のノートで、「X 線を発生する効率的な陰極線の生成には電極に融合したガスが重要である」、「X 線管のポンプ排気は、X 線管から適量のガスを除去するだけでなく電極から適量のガスを除去するためである」、「X 線管を使用するうちに残存ガスが十分に出なくなる

と、抵抗が下がって適当な波長の X 線が発生しなくなる」ことを述べた。

第 1 段階、すなわち通電しない状態での加熱とポンプ排気の完了後、X 線管を室温まで冷却する。次いで、実際に使用する場合と同じ電源に接続し、実際に使用する場合と同じ種類、大きさ、間隔のサージを与える。その理由は簡単である。まず第 1 に、その後のポンプ排気で使用する電流が実際に使用する電流よりも少ない場合、X 線管を密閉して使用を開始すると、より強い電流がガスを管球内に送り込み、真空度が非常に低くなり、波長が長すぎて目的に適さなかったり、通常光のみが放射されるために X 線管として使用できなくなるからである。これは、陰極線の亜原子が、ターゲットに向かう途上で障害物に遭遇し、低速に過ぎるために適当な温度に昇温せず、我々が X 線と呼ぶ短波長のエーテル運動を生成することができないためである (American Journal of Science, 391 頁, 1900 年)。

なぜ一定時間内に通電する電流量だけでなく、サージの大きさも考慮しなくてはならないかについては、いくつかの実験が示すところである。大きなサージによってどの程度のだけのガスが排出されるかを確認するには、一定時間内のサージ量は同じに保ちながらサージのサイズを大きく、回数を減らせばすぐにわかる。真空度を適切にするために小さな頻回のサージで調製された X 線管は、大きなサージを数回かけるだけで破損する可能性がある。このようなことは、X 線管を強力な発電機で使用すると一般的に発生する。強力な発電機が、X 線管メーカーのみならず、これを扱う医師からも非難されている主な理由はこれである。このことから、ノート 29 で述べたように、X 線管は後に使用する発電機に応じてポンプ排気しなければならない。この事はまた、いかなるコイルについても、それが X 線管に送出するエネルギーを計測する方法を有することが重要であることを示している。

適切に電流を設定したら、電流をオンにした状態で実際の時間範囲内で管抵抗が大きく低下しなくなるまでポンプ排気を継続する。真空調整管がない場合は、X 線管を密閉して終わる。真空調整管がある場合、図のようなタイプの調整管では、ランプ、炎、電気などを使って、実際に必要とされる最大波長が発生するようになるまで加熱する。その後、調整管を冷却し、抵抗が以前の値まで上昇すれば、結果は良好である。X 線管を密閉し、使用電流量を記入する。抵抗が適切のところまで上昇しない時は、調整管内のガスが多すぎるためである。その場合は、調整管を冷却しても真空度が所望の程度に維持されるまで、ポンプ排気しながら調整管の加熱を継続する。その後、X 線管を封鎖し、電流量を記入する。

冷却によりガスが再吸収される真空調整器がなく、使用により真空度が高くなりすぎたときに真空度を恒久

的に下げるだけの真空調整管の場合は、X 線管調整の第 2 段階は 300 度 F の温度で行うことができる [122]。この場合、X 線管はポンプから取り外す前に冷却して、その抵抗が径 2cm の研磨真鍮球間の空気 3cm 相当であることを確認する。調整管が前者のタイプである場合、強力なコイルで使用する場合は抵抗は 28cm として良い

### 【ポンプ】[123]

X 線管の排気には、水銀ポンプ、機械式ポンプいずれも使用でき、数分で終わる簡単な工程である。時間を要するのは、チューニングである。この事を知らないために、多くの実験家は水銀ポンプの効率改良をめざしてこれを複雑なものとし、最新のポンプはガラス管の森のような形になってしまっている。最も良い水銀ポンプは、トンプソン (S. P. Thompson) のほとんど知られていないパンフレットに載っているものである。これは古いために、幸いなことに複雑なポンプは載っていない。研究者が多くの時間を割いてきたことは、乾燥管の数と複雑さを増すことであった。水銀ポンプは、接続部と管の数をできる限り接続部と管を少なくし、簡単であるべきである。新鮮な無水リン酸 (「新鮮」という文字を強調する必要がある) を満たした球形の乾燥管 1 つで十分である。最も良い水銀ポンプは、不要な部品を全て廃して最も単純な形としたエリング (W. E. Oelling) 氏のものである。このポンプでは、水銀の上昇下降を制御するバルブは手動である。自動にすると複雑になるからである。

水銀ポンプを駆動するには、パッカード (Packard) ポンプが最も良い。上手に設計、製作されており、頑丈で高性能である。水銀ポンプはすべて水銀蒸気を発生するが、これが X 線管内にあると支障を来すため、侵入しないようにする必要がある。これを防止するためには、X 線管とポンプを接続するガラス管に、メッキ工が使う金属箔を充填し、その上下にガラス繊維のプラグを充填する。X 線管内の真空度が上昇につれ、電極チューニング用の電流を流すとポンプにガイスラー効果が出現する。これは暗室でみると非常に美しいが、美しい物の常として不幸の原因となる。これによって水蒸気が発生し、X 線管内に侵入して抵抗が下がるからである。抵抗の低下原因を知らずに、電流を流したままポンプ排気を続けると、適切な真空度に達する前に電極のガスが消耗して、X 線管の性能が低下する。X 線管を短時間に排気できなければ、電極の消耗については良い結果とならない。水蒸気の侵入を防止するには、ポンプの連結管内に白金線を入れると良い。白金線を挿入する部位は、加熱オープンの内部にあるようにすれば、ガイスラー効果は X 線管の近傍でとどまる。白金線は接地する必要がある。

苛性カリを入れた小さな管を真空管に連結して、真空調整装置を初めて作ったのはおそらくクルックスであ

る。この調整管は、アルコールランプ、ガス炎、低電圧電流による熱電線などによって加熱して使用するものであったX線管励起に使うものと同じ高電圧電流を流すと、管内の抵抗が高いために調整管に電流が流れない。つまり、調整管が最も必要とされる場面で、調整管が機能しないということになる。そこで1896年に、導電性の粉末を混合した化学物質による調整装置を設計した。これにより、化学物質内に微小な火花間隙が形成され、調整装置の抵抗が低下して、真空度によらずその中に電流が流れるようになる。

このような調整装置を、図76-1に示す。これによって、回路中の火花間隙の長さに関わらず真空が維持される。より新しい精密で効率的な調整装置は、X線管内に、X線管とは交通のない低真空度の補助管を取り付け、この内部の放電によって高抵抗を克服する方式である。これには特許がない利点がある。以前のノートで述べたように、トロブリッジは、X線は陰極線の亜原子の衝突による熱ではなく、ターゲットにおける水蒸気の解離熱によって生成されるという理論を唱えており、その意味で蒸気調整管は興味深いものである。

ここに示すX線管には、これらのいずれかを取り付けている。酸素調整管(ノート23, 1898年2月9日)が最も好まれるが、水素調整管(ノート79, 1899年12月20日)、窒素調整管(ノート96, 1900年5月30日)が好まれることもある。熱あるいは電気分解による分子間調整装置(図25-52, ノート50, 1899年2月15日, 図27-57, ノート62, 1899年4月26日)は、昨今ほとんど注目されていない。しかし、いずれの調整装置についても、なおノート119(1901年3月9日)に述べた状態にとどまっており、X線管の本来の性能を回復することに向けてほとんど進歩がないが、発電機が強力になっている現在、その進歩が望まれるところである。高圧電流を流す火花間隙による調整装置は、いずれも作動時にパチパチと不快な騒音が発生する。この騒音は、ノート112の図のように火花間隙を管内に収めることで止められ、この方法は、主火花間隙の騒音を止めるためにも利用される。本ノートの挿図は、アンドルー氏(W. S. Andrews)の微細火花間隙を改良したハインツ氏(John O. Heize, Jr)の設計によるもので、放電の熱によるX線管の破損リスクを低減するために、管の中央部が拡張されている[124]。

### 【X線管の長さ】

初期のX線管は短く、一般的に10cm以下であった。強力な発電機が普及して、X線管は長くなった。X線管が長くなると、周囲からのリークは減少した。現在、メーカーによって長さは異なる。多くのメーカーはなお短いX線管を提供しているが、20cm以上のメーカーもある。図に示すものは56cmで、これはあきらかに大きすぎる[125]

### 【X線管の直径】

初期のX線管の直径は、4～7cmであった。これに関しては、全般に改良されている。現在の趨勢は、径7～10cmの球型管であるが、16cmもあるものが作られている。サイズの増大は、これまでのノートでも指摘してきたように、真空度が急速に低下して長波長の光線が発生することを防止するために、管球容量を大きくする必要性が認識されてきたことによる。真空度の低下を遅らせるためには、更に容量を大きくすることに確実な利点がある。従って、1896年にフランスで発明された、真空度の上昇を防ぐために新鮮ガスを供給する補助ガラス管は、ここに述べたように、直径を増大することなく管球容量を増大できるという別の目的にも利用できる。通常サイズの管球は、1トンの大気圧に耐える必要があり、患者に向けてX線管が通過する最も薄い部分のガラス厚は43/100mm以下である必要があることから、管球のサイズを大きくしないことの利点は明らかである。もう一つの方法は、管球を両端に向けて長くなる大きな楕円形にすることで、これにより対称性を損なわず、壁の薄い部分のサイズを大きくすることなく、容量を増やすことができる。

### 【電極の長さ】

初期のX線管の陰極のステムは短く、2cm程度で、ガラスで被覆されていた。このような構造の方が、陰極前面からより多くの電気が放出されると考えられていたからである。不明確な現象の荒野をさまよい歩く時、ここから脱出する最良の方法は、両極端を追求することである。そこで、ステムだけでなく、陰極面の背面全体をガラスで覆った陰極を製作した。ステムと陰極背面は白金製で、その上にウランガラスが溶着されている。陰極の表面は、通常のアلمニウムである。このような構造には、余分なコストに見合う特別な利点はない。このためその後は、短いステムとガラス被覆で放電をカソードの前面に限定するという考え方は放棄した。しかしメーカーは、このような実験結果を活用することなく、短い細いステムをガラスで覆って支持する、非常にデリケートな陰極のX線管を造り続けている。このような管球に、強力な電流を流すと致命的である。

実験により、陰極ステムの長さは任意でよく、裸でもX線管に損傷を与えないことがわかったため、冷却ターゲット管を製作する際にステムを長くした。これは、X線管を長くすることが重要であるだけでなく、陽極を短くすることが機械的および経済的な理由からも望ましいためである。ノート1に示すX線管の製作時、ターゲット管がどれだけ長くとも、ターゲット表面の冷却に困難はなかった。その後、白金でなければならない部分は、表面に近い端とガラスに密封される短い部分だけであり、残りは銅か銀で良いことがわかり、

どのような X 線管でもアーム部分の長さを同じにできないという理由はなくなった [126]。このノートの付図には、膨隆部分が中央にあってより対照的な X 線管を示した。アーム部分の長さで直径を増すと容量が増大することに加えて、長くすると電極を一直線上に保持できるという利点もある。これは特に、可動電極の場合に言えることで、それだけでもこのような設計を選ぶことに十分な理由がある。

### 【単焦点管か複焦点管か】

真空管のことを、英語国民はその形状に関わらずクルックス (Crookes) 管と呼び、ドイツ人はヒットルフ (Hittorf) 管、ガイスラー (Geissler) 管、プリッカー (Plicker) 管、ヘルツ (Hertz) 管、レーナルト (Lenard) 管などと呼ぶ。歴史的な問題では良くあることであるが、ドイツの方がどちらかといえば正しい。クルックス以前にも多くの研究が行われていたからである。しかし、挙げられている人物は誰も真空管を発明したわけではなく、真空管の呼称とする理由もない。陰極線が白金片に焦点を結ぶ管球は、クルックスが発明したと思われることから、これをクルックス管と呼ぶことには理由がある。

レントゲンが 1896 年 3 月 9 日の論文で記載している 2 つの凹面陰極をもつクルックス管の改良型は、当時としては新しいもので、その名前を冠するに値するものであったと思える。しかし、交流の場合もレントゲン管は必要ない。また、交流を使うと X 線量がより速やかに減少するので、現状では、管球の劣化を防ぐ方法が手に入るまで交流は好ましくない。さらに、現時点では、高周波電流で励起した X 線管からの線質を制御することは、ノート 137 に示すようなコイルを使う場合ほど容易ではない。これらの理由、その他の理由により、本稿に例示した管球は、クルックス管、すなわち単焦点管とした。

(Electrical Review 1902.5.3)

[117] 可動ターゲットのない管球では、火花間隙調整管が絞板の開口部から出る X 線の一部を遮蔽するのを防ぐために、調整管のステムを斜めにする必要がある。

[118] より良い設計については、ノート 157、図 115-1, 2 参照。

[119] オープンの図はノート 173 参照。

[120] 有用な X 線管ボックスについては、ノート 143, 149, 155, 156 参照

[121] ノート 179I の鉄則参照

[122] 有用な真空回復装置については、ノート 175、図 136-2 参照

[123] 水銀ポンプの図はノート 170, 173 参照。

[124] この拡張は重要なものではない。ノート 175、図 136-2 参照

[125] X 線管の設計についてはノート 175 参照。

[126] ノート 171, 175, 図 131-3 参照。

## X線による治療で重要となるモルモットの実験のいくつかの結論

SOME CONCLUSIONS FROM EXPERIMENTS ON GUINEA PIGS WHICH ARE OF IMPORTANCE IN THE TREATMENT OF DISEASE BY X-LIGHT

- ・治療におけるX線源と患者の距離を決定する法則
- ・様々な目的に応じたX線の種類
- ・病変と体表の距離によって、使用するX線管の種類とX線源の体表からの距離が決定する

モルモットのX線照射実験をいくつか行い、結果の一部は本誌に報告した。本稿では、この実験から得られたX線治療において重要な結論を示す。X線の目視上および写真上の強度は、距離の二乗に応じて変化する。X線を上手に治療に使うためには、その効果が同様に変化するかを動物実験によって知る必要があった。実験の結果は、その通りであった。

深在病変の治療におけるこの観察結果の意義は、当初の予想よりも重要なものである。X線を治療に用いる場合、X線源の距離は、数cmではなく十分な距離をとることが必要であることが明らかとなった。深在病変と体表の距離が、X線管と直近の体表の距離に比して小さくないと、健全な皮膚や表在組織が深在病変よりも強く照射されてしまう。この事は、一般に使用されているものよりも強力なX線装置を使用する必要があることを示している。なぜならば、線源が遠距離にあると、病変を照射する放射線の力は小さくなり、露光時間が延長するからである [127]。

次に重要なことは、使用するX線の質の問題である [128]。一般には、治療目的に適するX線は、抵抗が低いX線管から発生するX線とされる。このようなX線管は、X線火傷を来すからである。モルモットの実験は、X線に分類されるような光線を発生する真空管から発生するすべての放射線は、火傷、流産、死亡の原因となりうることを示している。従って、いかなる種類のX線も傷害作用をもちうる事から、目的に応じて傷害を来さないような使い方を知る必要がある。

X線の種類は、治療する病変の部位によって決まる。表在病変では、低抵抗X線管の放射線を使うべきである。理由は2つある。第1に、このようなX線は組織により最も吸収されやすいため、そのエネルギーが最大限に利用されて、その下部にある健全組織に与える障害をより少なくできるためである。第2に、いかなる発電機を使っても、低抵抗X線管で効率的に利用できる電気エネルギー量は、高抵抗X線管においてX線に変換されるエネルギーよりもはるかに大きいためである。この事は、高抵抗X線管が数倍も強いX線を出すことを考えると信じがたいように思えるが、X線管のポンプ排気の実験では、いかなる発電機を使用して

も、排気につれてX線管内に送り込まれる電気エネルギー量は減少する。以前のノートで、X線管が高真空度といわずに高抵抗であると表現してきた理由の1つは、この事実を念頭に置くためである。これが認識されていないため、火傷を起こすX線は低抵抗X線管からのX線であり、従ってこれが治療効果を生むために必要なX線であるという謬見に陥っていた。これは質的な問題であると同時に量的な問題でもある。

深在病変の治療には、高抵抗X線管からの放射線を使用する必要がある。これは、表在組織により吸収されにくいため、吸収度が高い放射線よりも相対的に表在組織の影響が少なく、深在病変に対してより多くの放射線を利用できるからである。

実験結果から得られるとりわけ重要な結論は、強力なX線発生装置が必要であるという点であり、このような装置の開発に力を注いでいる研究者は奨励されるべきであるということである。彼らの仕事は、旧式のコイルと静電発電機にくらべて写真の質が不確実であるという理由で、非難される筋合いのものではない。その責は、新しい強力なX線発生装置に発電機ではなく、X線管メーカーに帰せられるべきである。

(Boston Medical and Surgical Journal 1902.4.24) [→訳注]

[127] この重要な原則については、ノート 166, 167 を、その再提示はノート 177 参照

[128] 1903 年追記。治療では、状況が許す限り、病変に最も多く吸収されるような種類のX線を使用するべきである。X線管で 사용되는エネルギーについては、このノートでの記述はノート 30, 60 で述べた内容とともに考慮する必要がある。すなわち、X線管内に送り込まれる総エネルギーのうち、短波長のX線となるのはごく一部であり、ほとんどは熱と通常光に変換される。X線管の抵抗が低いほど、長波長の比率が大きくなる。

[129] 真空管から出るX線以外の放射線の治療利用についてはノート 176 参照

[訳注]。BMSJ Journal April 24, 1902 の記載があるが、同誌に該当記事はなく出典不明。この号には、"Vacuum tube regulators for X-light tubes" [1902;146:429-31] と題する、Notes on X-light には含まれていない別の論文が掲載されている。

## 放射線非透過性 X 線管ボックス [130]

### NON-RADIABLE CASES FOR X-LIGHT TUBES [130]

- ・ X 線は失明の原因となりうるため、目を保護する必要がある
- ・ X 線透視板の前面の鉛ガラス、鉛ガラス眼鏡が推奨される
- ・ 放射線非透過性 X 線管ボックスの適切な形状
- ・ X 線管ボックスは、検査中に中心光線が常に蛍光版あるいは写真乾板に垂直になるように X 線管を移動できる必要がある
- ・ X 線管ボックスに、瞬間シャッターを付けることの重要性
- ・ 標準線源距離の使用

X 線が動物を失明させたり殺したりしうことは、既の実験で示されている。従って、適切な注意なしにこれを使用することは危険である。その一部は、以前のノートにも記したが、無視され続けていることから、ここでまとめてあらためて再述する。第 1 に、X 線管は常に、検査、治療、あるいは撮影する領域の最小限の線錐以外から X 線が漏洩しないような、放射線非透過性のケースに収めなければならない。第 2 に、蛍光板の目に最も近い側は、厚さ 1cm の重い鉛ガラス板で覆わなければならない。蛍光物質は、X 線を減弱させずに通過させるからである。第 3 に、X 線透視装置には、蛍光板を除くすべて部分に放射線非透過性物質を塗らなければならない [131]。第 4 に、医師は厚さ 1cm の鉛ガラス眼鏡を使用しなければならない。

### 【放射線非透過性 X 線管ボックス】

X 線による傷害の可能性について多くのことが明らかとなっているこの時期に至っても、ケースが不便であるという理由で、X 線管を完全に密閉した非透過性ケースを他の人々に利用させることは望み薄である。そこで、図 77-1, 77-2 に示すものは、1898 年 8 月 1 日のノート 36 に示したものと同様に半密閉型である。ノート 138 に、X 線管に適したサイズのケースを示した。前面は厚さ 3cm の磨かれた鉛ガラスで覆われており、通常の波長の光はガラスを透過して検査できるが、ガラスを主に構成する鉛原子内に密集している多数の重原子のために、X 線が吸収される [132]。ガラスの前面を常に観察者に向けることが望ましいことから、横臥した患者の上または下に管球をおいて使用するために、X 線が通過する開口部がケースの上部、下部にある。使用しない開口部は、放射線非透過性のスライド板で遮蔽する。このような前面ガラスは高価であるという批判があることから、ノート 94 にはガラスを使わず、完全密封したケースを示した。しかし 5 年間にわたる強力な X 線装置の使用経験から、前面ガラスは約 5 ドルのコストを上回る利便性があることが判明しており、従って図 77-1, 77-2 の管球ケースには前面ガラスを使用している。

ケースの内面は全面に放射線非透過性塗料が塗られている。漆鉛は速かに乾くので、1 日に 6 回塗ることが

できる。塗布する回数の試験は、ケース外面を写真乾板に密着させて露光する。7 分間の露光で乾板が曇らなければ、塗装は十分である。

管球ケースは、可動域 170cm の垂直支持桿をスライドするようにする。水平方向は 1m 可動で、X 線管長軸と平行な平面内でケースを垂直円弧運動する継ぎ手と、X 線管短軸と平行な平面内で同様に動く継ぎ手必要である。このような動きは不可欠である。ケースから出る線錐の中心軸は、常に写真乾板または蛍光板の平面に対して垂直である必要があり、さもないと画像が歪むからである。垂直円弧運動の重要性を図に示した。管球ケースは 2 つの部分からなり、互いに望遠鏡状に伸縮する。

図 77-2 は、上部を引き出した状態である。このような構造では、上部の重量によって X 線管が移動しないように保持している。いずれの部分も、端にスロットがあり、管球端が自由に通過するようになっている。スロットには、軟らかいゴムが張っており、管球端がそのクッション上に載る。発電機からの電線は、図 77-1, 77-2, 88-3 のように絶縁カラーを通して保持されている。電線端にはピアノ線コイルがあり、これが管球の接続ワイヤの上をスライドする (図 88-3) [133]。現状では、胸部の運動臓器の瞬間的な写真を撮影するには、蛍光板を写真乾板に密接させて使用するというピューピン (Pupin) の方法が实际的である。この場合、ガラス板よりも写真乳液を塗布したセルロイド板の方が、2 枚以上の蛍光透視板を利用できることから優れている [134]。蛍光透視板が 1 枚の場合は、X 線は減弱せずに透過する。また蛍光透視板 1 枚の場合は、現像された画像に斑点が現れる。従って、透視板は 2 枚以上ある方が、露光時間が短く、斑点が出現しにくいために良い。これは、1 枚の透視板の明るい部分が他の透視板の暗い部分で相殺されやすいからである。スクリーンは画像をボケさせるので、詳細な画像が不要な場合のみ使用するようにする。

瞬間露光に適した X 線を得るためには、X 線管に多少の準備が必要である。X 線管ボックスには瞬間シャッターを取り付ける。この場合、X 線管が適切な状態になった後、写真乾板を所定の位置に置いたままシャッターを閉じることができる。リリース球を押して放すとシャッターが開き、乾板が最適化された X 線に露光し、シャッターが閉じる。X 線管ボックスは、このような 2 つのシャッターを備え、その内 1 つはケースの上面 (図 77-2) あるいは底面に付けることができる。ケース前面の 2 つ目のシャッターは、患者の胸部を立位で撮影するとき使用する (ノート 140, 図 78-4, 78-5)。このように X 線管ボックスは 2 つのガラス面を持つ。1 つは全面ガラス (図 77-2) で単純に窓として働くもので、もう 1 つは中央に X 線錐を通す開口部がある (図 77-1)。この開口部は、X 線を遮蔽すると

きはシャッターで塞がれる。開口部がシャッターで塞がっていても、周囲のガラスからX線管を見ることができる。図に示したシャッターは、X線装置の出力増大とともにこれから利用されるであろう原理を説明する目的なので、簡単なものとしている。通常の写真に使われている多くの優れたシャッターは、いずれも非導電性、放射線非透過性材質とすればこの目的に適うので、より良いシャッターを選ぶことができる [135]。ここに示したものは木製で、木製のピンを軸として回転し、手に持ったゴム球で操作する。空気は硬いゴム製シリンダー内を通り、同じ材料のピストンがシャッターに取り付けられている。シャッターは、X線が漏洩しないようにX線管ボックスの最も大きな約15mmの開口部より大きくし、放射線非透過性となるまで漆白鉛を塗布しておく。シャッターに隣接する側のケースの開口部縁も、同様に塗布する。

いずれの図でも、X線管は、ターゲット照射部位と写真乾板あるいは蛍光透視板との距離1mの位置としているが、これは標準距離として良い距離である。標準距離を決めることは、臓器の大きさに目を慣らす意味で重要である。これによって、臓器のサイズ異常を容易に判断できるからである。ターゲットと写真乾板の距離を1m以下とする必要がある装置は不適である。

(Electrical Review 1902.6.14)

[130] より良いものが、ノート143～162の図に示されている。

[131] 蛍光板を覆って観察者の目を保護するガラスを供えた初の放射線非透過性透視装置については、ノートBの説明と図を参照 (International Dental Journal, 1896年7月号より転載)。

[132] ノート109, 109A 参照。

[133] より良い方法については、ノート157, 図115-1, 115-2 参照。

[134] クンツァイト (Kunzite) は、X線露光後、数分間燐光を発生する (Baskerville)。従って、X線写真の増感紙に塗布に有用である。

[135] より良いシャッターについては、ノート149, 図101-2, 102-3, 103-4, 103-5A 参照

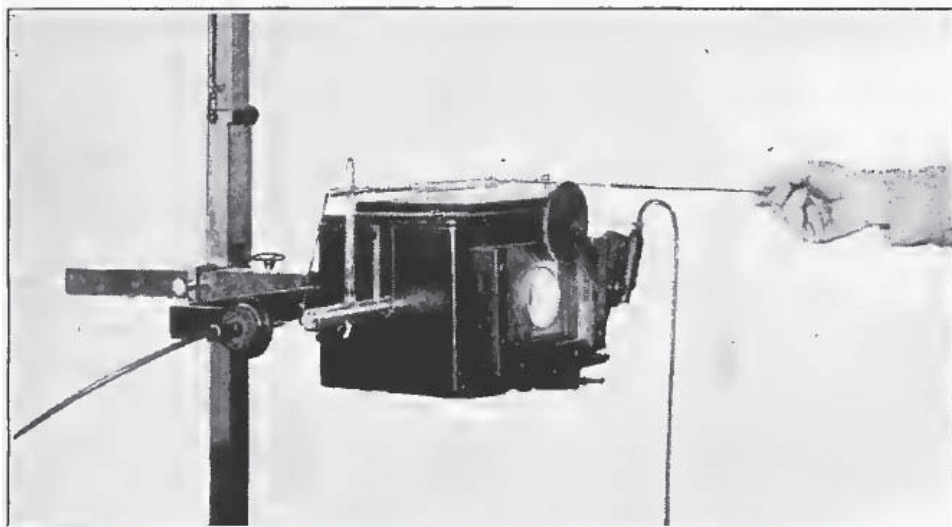


図 77-1. 放射線非透過性 X 線管ボックス。

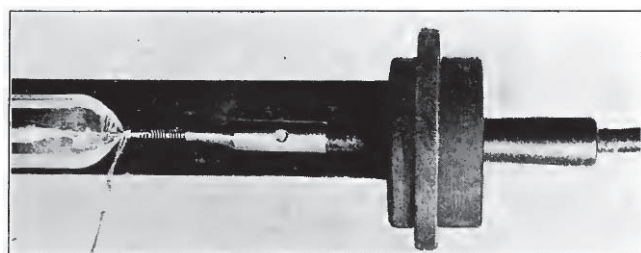


図 88-3. X 線管とコイルを接続する絶縁カラーと螺旋スプリング

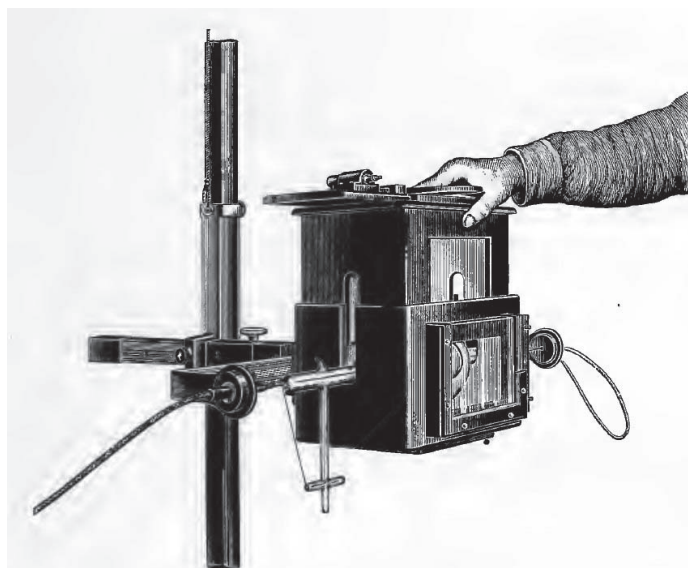


図 77-2. 放射線非透過性 X 線管ボックス。X 線管を取り出すために上部を取り外したところ。

## X線の医学応用に必要なその他の装置

### SOME OTHER APPARATUS NEEDED IN THE MEDICAL APPLICATIONS OF X-LIGHT

・火花間隙，検査テーブル，X線管ホルダー，写真乾板ホルダー，支持台に関する詳細な説明

ノート 137 の図に示したコイルは，特に医学応用を念頭に置いたものではなかったもので，本ノートでは必要な変更について説明する。

#### 【火花間隙の設定】

患者のX線検査で，まず重要なことは，医師が蛍光板の画像から目を離すこと無く，X線をコントロールできることである（ノート 112）。これには，コイルから離れた位置で火花間隙を調整できる機構が必要である。ウィリアムズ博士は，大きな静電発電機で行うために，天井につけた滑車と紐でこれを実現していた [136]。ここに示す方法は，彼の方法を機械的に改良してコイルに適用してポータブルにしたものである。

図 81-6 に，71cm コイルを医療用に適した火花間隙としたものを示す。図 82-7 には，これを運搬するために分解した状態で，火花間隙の詳細を示した。図 81-6 のハンドル H，H1 は，医師が患者診察中（図 83-8）でも容易に手が届く範囲にある。このハンドルとコイルの距離は，ロッドを中空のソケット内でスライドすることにより変えることができる。火花間隙をコントロールするロッドは，1 個 1 セントで買える一般的な径 3/4 インチの樺製ダボ釘である。支持アームは，水平面内で円弧運動する。電線 W（図 81-6）は，真鍮球 B からガラス火花間隙管前面の真鍮キャップに電流を送る。このキャップにはソケット T が取り付けられており，この中に X 線管につながる電線が通る。紐とハンドルの重量をバランスするために，カウンターウェイト W が真鍮球 B に油浸絹紐で取り付けられている。火花間隙のその他の点については，ノート 112 に記載してある。E は X 線管で，火花間隙で発生する窒素化合物を除去する吸引器に接続されている [137]。図 84-8, 85-9, 86-10, 87-11 に，それぞれ異なる体位で患者を撮影する時の火花間隙を示す。

#### 【検査テーブル】 [138]

これは 1901 年 3 月 9 日に示したものを単純化したものである。図 78-4, 79-5, 80-5 1/2, 83-8, 84-8 1/2, 85-9, 86-10, 87-11, 87-11 に示すテーブルは，医師がスイッチや火花間隙を操作して X 線を調整しながら，目と X 線管の間に容易に動かすことができる。この検査テーブルにはキャンバス製のストレッチャーが備え付けられている。これは，ボストン市立病院で患者を病棟から X 線検査室まで搬送する時に使用されてい

る同じストレッチャーで検査できることをウィリアムズ博士が証明しているためである。しかし，ストレッチャーは固定支持台ではなく，車輪付テーブルに載せる方が良い。

図 85-9 に，火花間隙を医療用に調整した，71cm コイル（図 81-6, 82-7）とともに使用した装置の全景を示す。膀胱結石患者の撮影で，結石が骨盤内から離れるように足を頭より高位とする必要がある（ノート 117）。このため，ストレッチャーの一端の枠を回転中心として，他端を支えるノッチ付きバーで挙上している。キャンバスには，腹部が下垂する余裕をみてたるみがある。キャンバスのたるみが望ましくない場合は，キャンバスを支持するバーの 1 つを回転して，巻戻りを防ぐラチェットで保持することにより，緊張させることができる [139]。患者を水平にしたい場合は，ストレッチャーのハンドルバーを固く握った状態で，2 つの刻みの付いたバーを押し込む。これによって，1 人でこの操作が可能である。ストレッチャーを完全にはずせば，検査テーブルの薄い天板に，患者を座位（図 86-10）あるいは仰臥位（図 87-11）とすることができる。

図 88-11 1/2 には，検査テーブルに連結して使う便利な支持台を示す。これは，それぞれ長さ 1m の 2 つの硬い角材からなり，検査テーブルのフレームのどの部分にも固定できるソケットに差し込んで使用する。それぞれはキャンバスでつながっており，両者の間隔は検査テーブルの全幅（図 86-10）から細幅（図 83-8）まで，キャンバスを角材の 1 本に巻き付けることにより調整できる。図 78-4, 79-5 にも使用中の状態を示した。

#### 【写真乾板の支持具】

以前のノートで，X線撮影に使用する写真乾板は，患者の体重，汗，尿による破損を防ぐために薄い金属ホルダーに入れる必要があると述べた。不要な X 線が乾板に当たらないようにすることの重要性も指摘し，これを実現した乾板ホルダーを示した。このノートに図示した乾板ホルダーは，すでに製作され，長期間使用して満足なものであることが証明されている。患者に対して任意の位置に乾板を支持できる器具は，以前のノートに記したものと同じである。本ノートの図と説明は，その一般的な記載である。このように部品数も少ない器具が，様々な用途に使えるという点は興味深いところである。数年経った現在まで，この汎用乾板ホルダークランプで，乾板を適当な位置に保持できなかった例はない。

基本的な支持部分は，図 89-121 の部品 C で，検査テーブルのサイドバーまたはエンドバーの任意の部分にクランプで固定できる。その他の部品は，端にソケットがありビスのついた 3 本の四角い真鍮管，プレート A，木製のシース PS および B である。木製シースは，乾

板ホルダーをしっかり支え、ピボット板 A を保持するバーを取り付けるために十分な厚さのあるマホガニー板で、この中にホルダーを滑り込ませる。シースの 3 つの側面には真鍮の縁があり、これによって乾板ホルダーが保持される。図 90-14 の小さな図は、8 × 10 インチ乾板ホルダーを一部引き出して、木製乾板ホルダーシースの前面を示したものである。シースは数多く用意する必要がある。最も良いサイズは、8 × 10 インチ乾板、14 × 17 インチ乾板用のホルダーが入るものである。

それぞれのシースの背面には、同じプレート A (図 89-12) がどのシースでも使えるように 2 本のバーがついている。ビスで押しつけることにより、シースのずれを防いでいる。ビスは、シースの回転軸とは連続していない。そのようにすると、大きな力を加えないとクランプがしっかり固定できないからである [140]。図 89-12 に示した最も大きなビスによって、シースは紙面に垂直な面、およびもう 1 つの弧状運動面に直交

する面で回転できる。図 89-12 の P は、14 × 17 インチ乾板ホルダーである。図 90-14 は、これを開いて写真フィルムと蛍光板を露出させたものである。図 78-4, 79-5, 80-5 1/2, 85-9, 86-10, 87-11, 91-15, は、この器具によって異なる位置で写真乾板を保持している例である。これらの図はいずれも、X 線管ボックスから放出される X 線錐の中心光線が、写真乾板に垂直に当たるように、X 線管ボックスと乾板ホルダーを汎用可動メカニズムで支持することの重要性を明かに示すもので、多くの図を示した理由の 1 つは、このことの重要性を強調するためである。

(Electrical Review, 1902.6.21)

[136] Scientific American 1899 年 6 月 17 日号。

[137] Boston Medical and Surgical Journal 1902 年 4 月 25 日号。

[138] より良い形についてはノート 155, 156 参照。

[139] 最近の方法についてはノート 155 参照。

[140] この原理をより明確に理解するためには、ノート 156, 図 113-5, 113-6 参照。

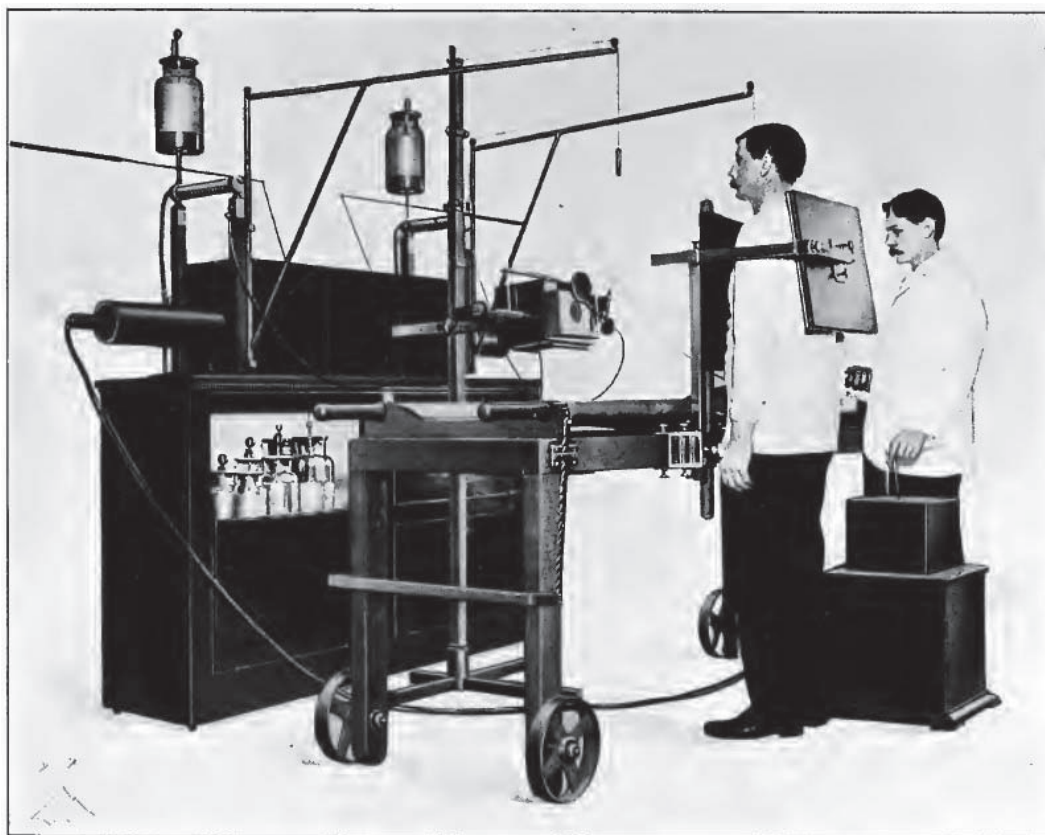


図 78-4. X 線源を前に置いて胸部を撮影。

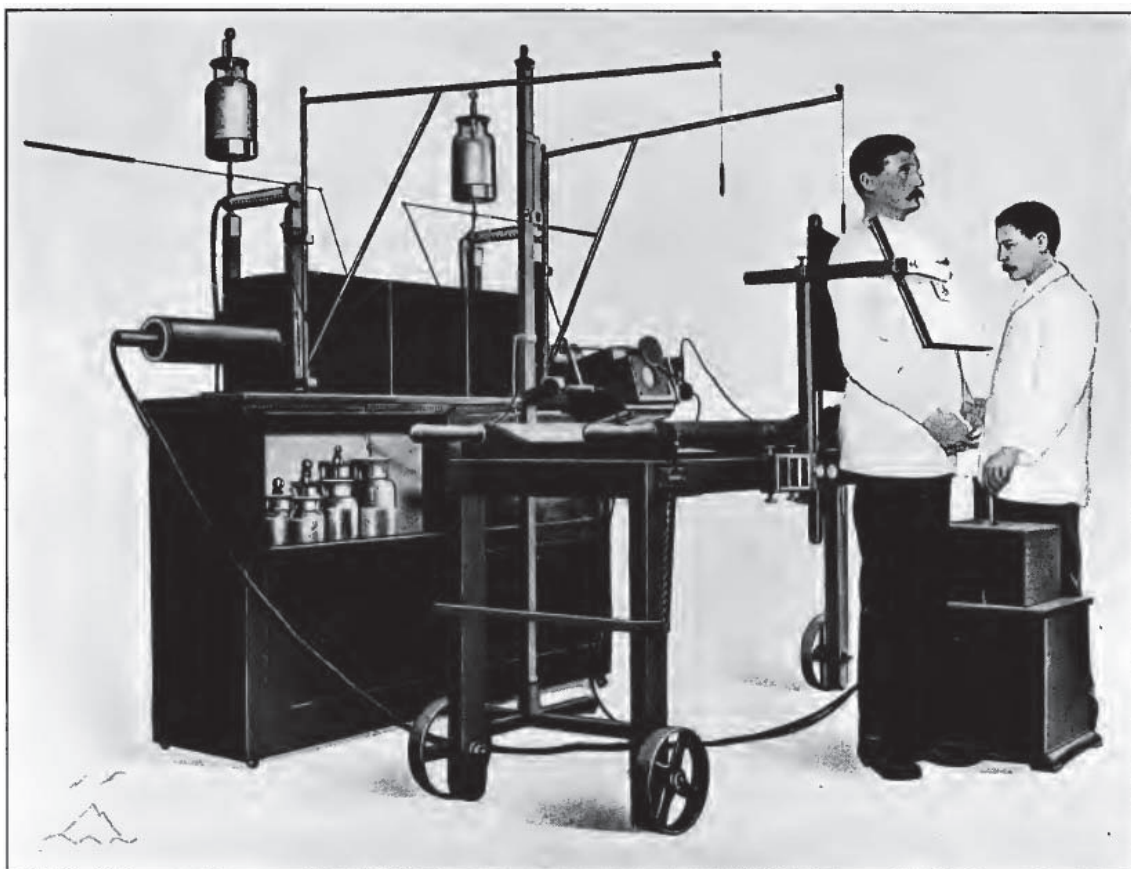


図 79-5. 患者を立位として X 線源を後に置いて胸部を撮影.

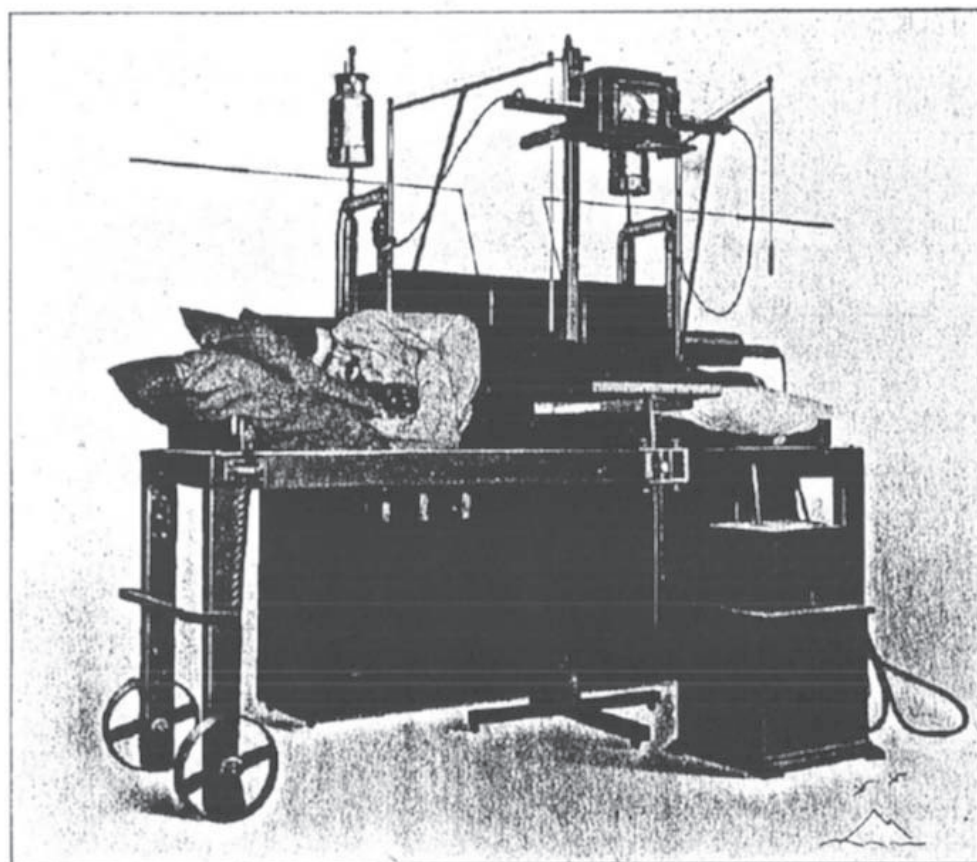


図 80-5 1/2. X 線源を上置いて膝を撮影.

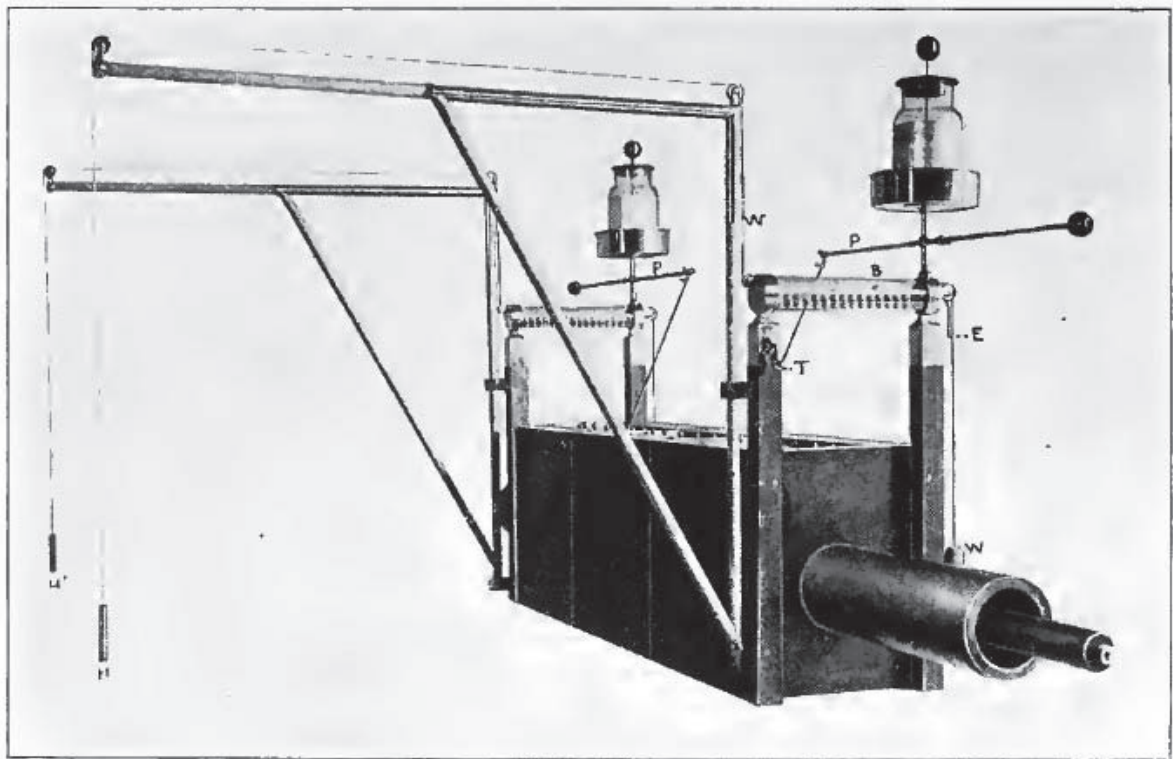


図 81-6. X 線透視装置 (クリプトスコープ) 用に構成した交換可能二次セクションを持つ誘導コイル

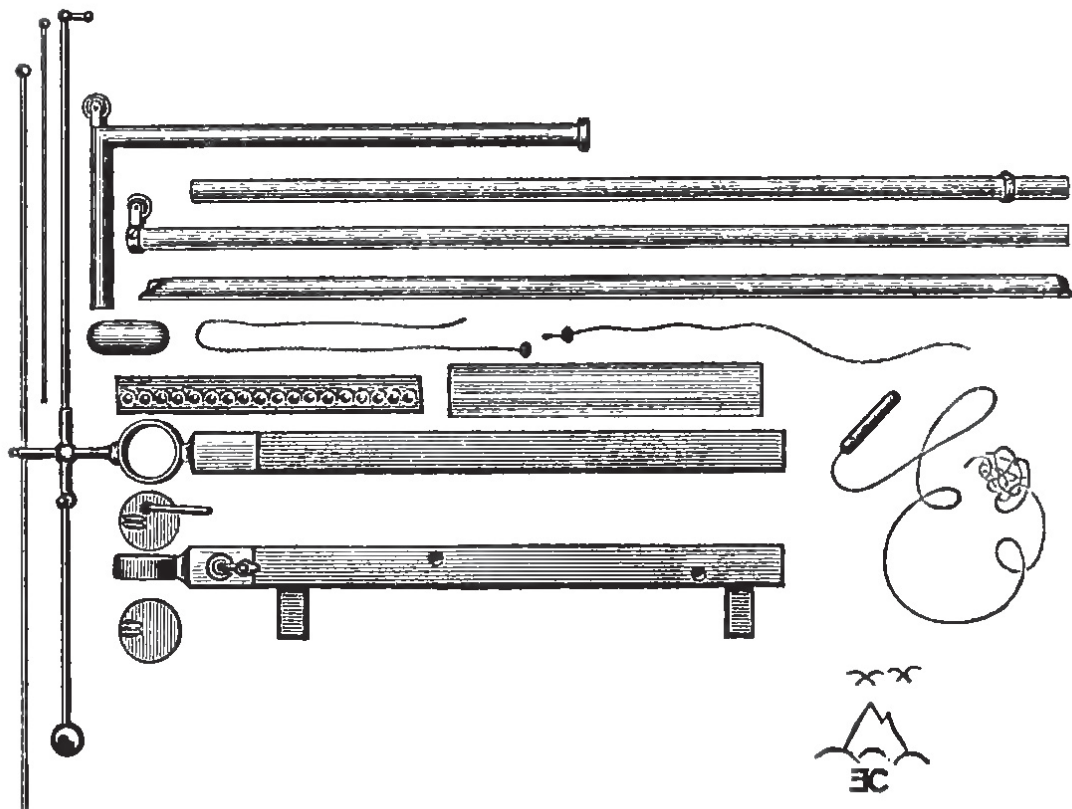


図 82-7. 71cm 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルの火花間隙の詳細

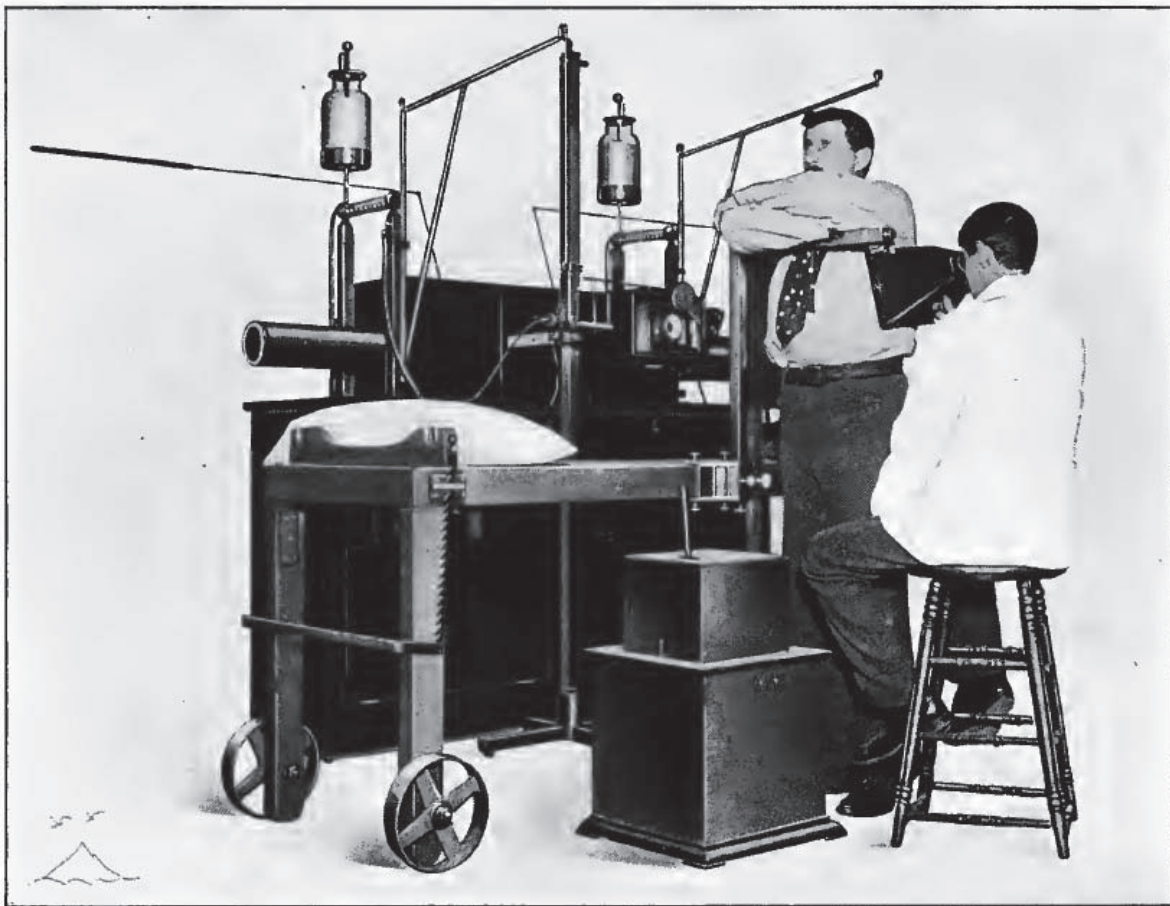


図 83-8. 心臓の側面からの検査. ウィリアムズ三角を観察できる.

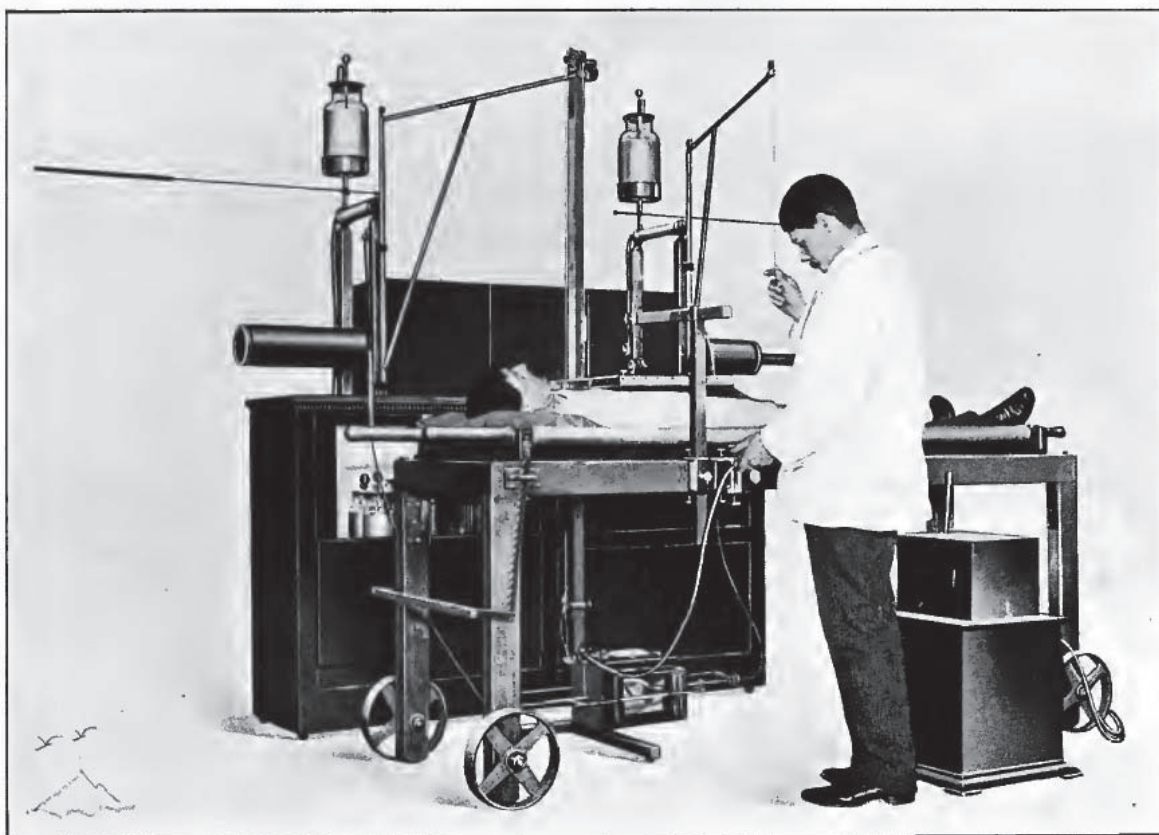


図 84-8 1/2. X線管を下に置いて胸部を撮影. 瞬間撮影シャッターを使用.

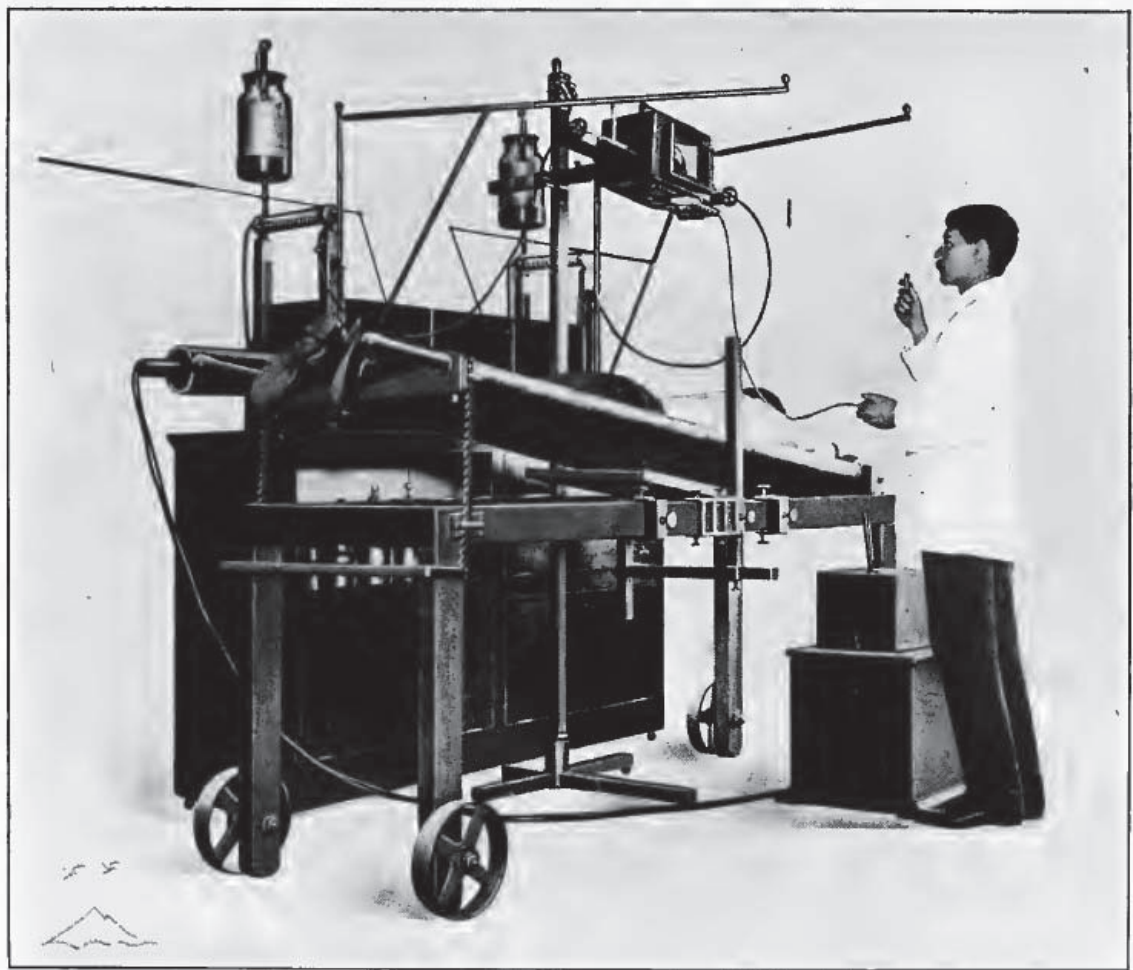


図 85-9. 膀胱結石の撮影体位

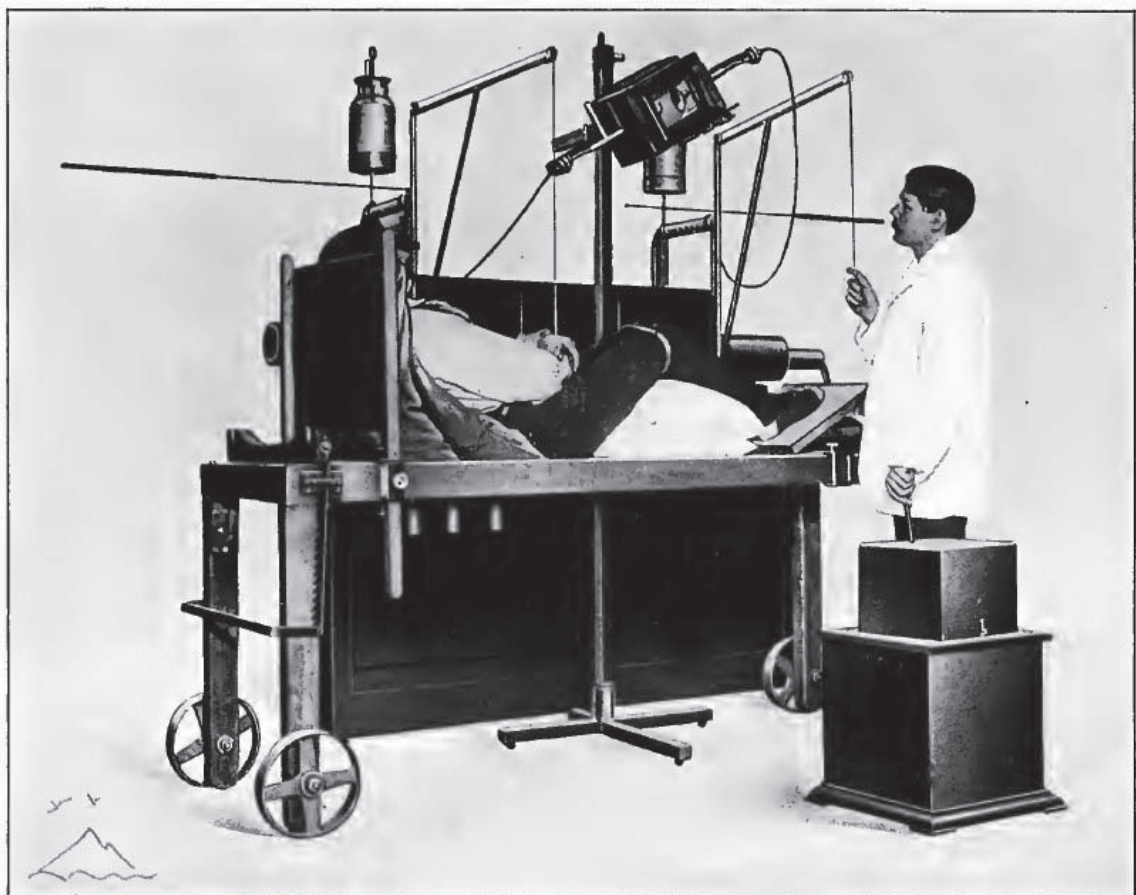


図 86-10. X線源を上置いて足を撮影.

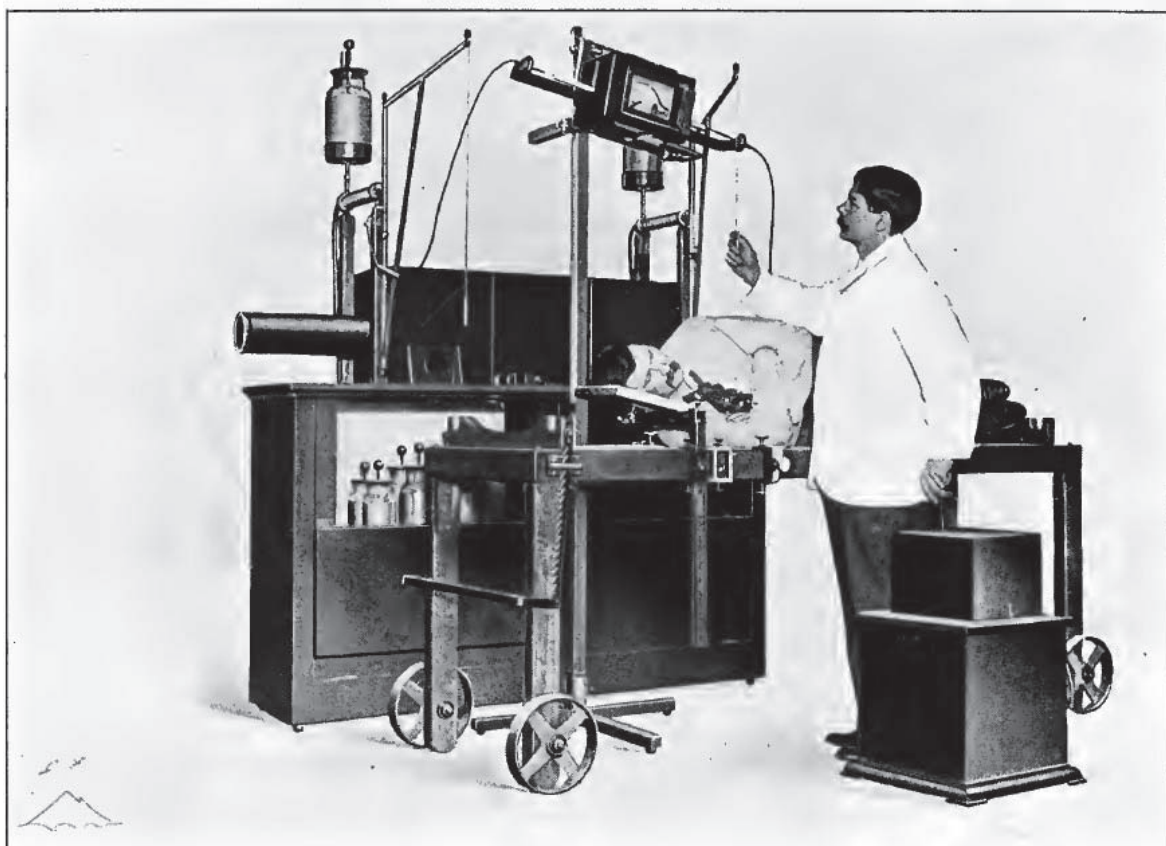


図 87-11. X 線管を上置いて頭部を撮影.

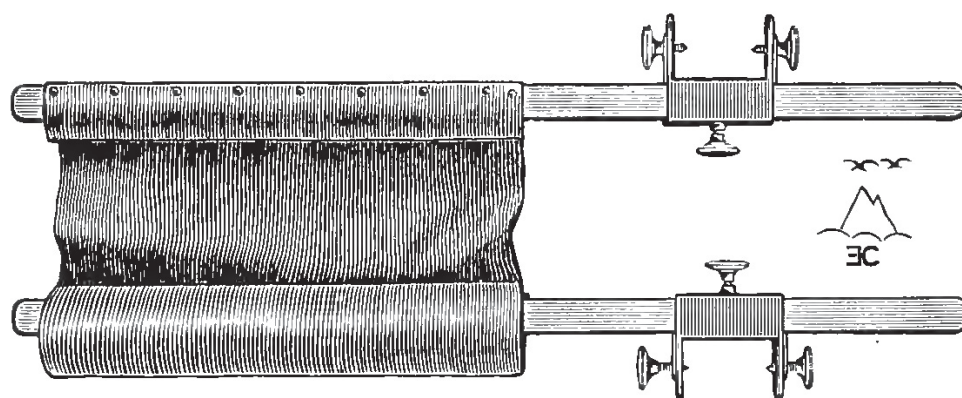


図 88-11 1/2. X 線検査テーブルの背部支持機構.

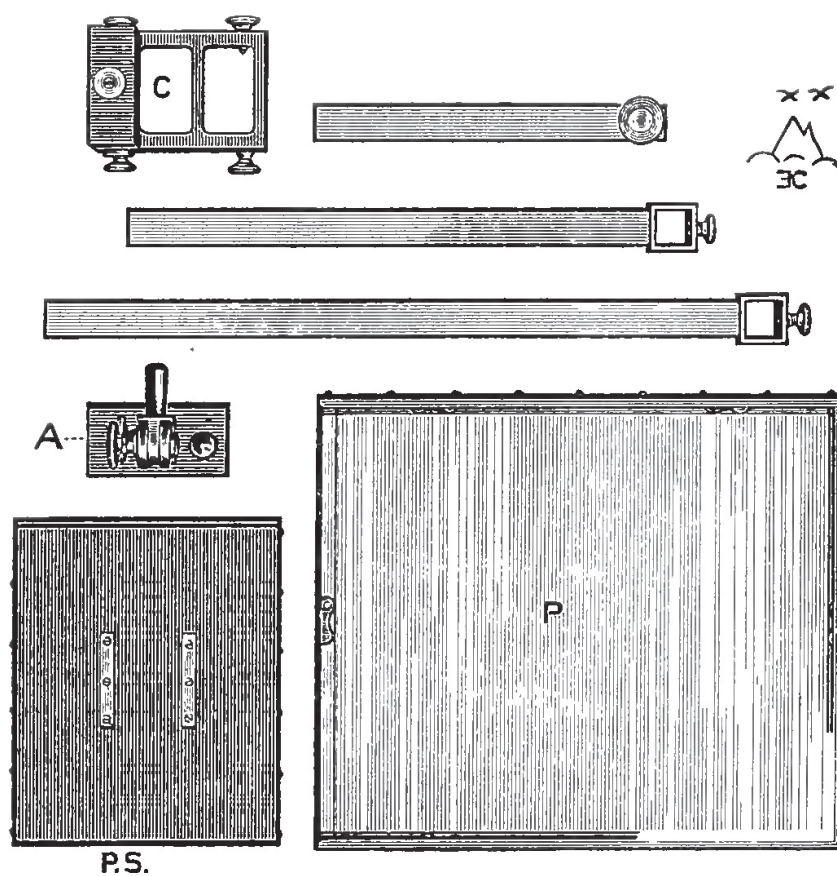


図 89-12. 写真乾板を支持する部品.

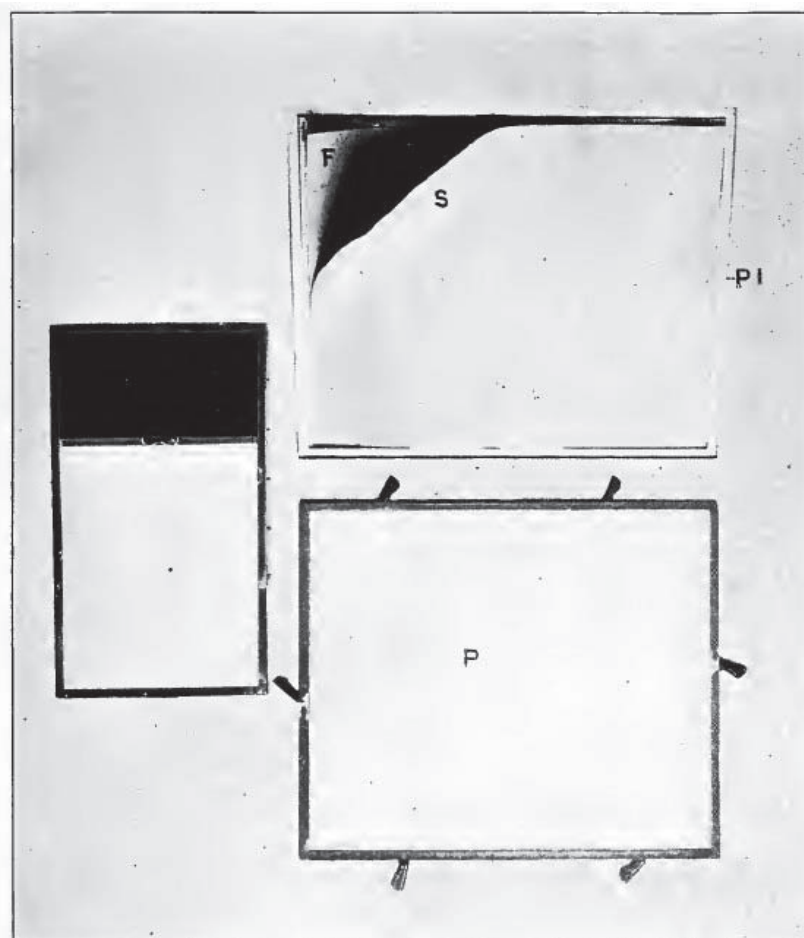


図 90-14. 散乱 X 線による写真乾板の曇りを防止するための放射線非透過性乾板ホルダーの詳細

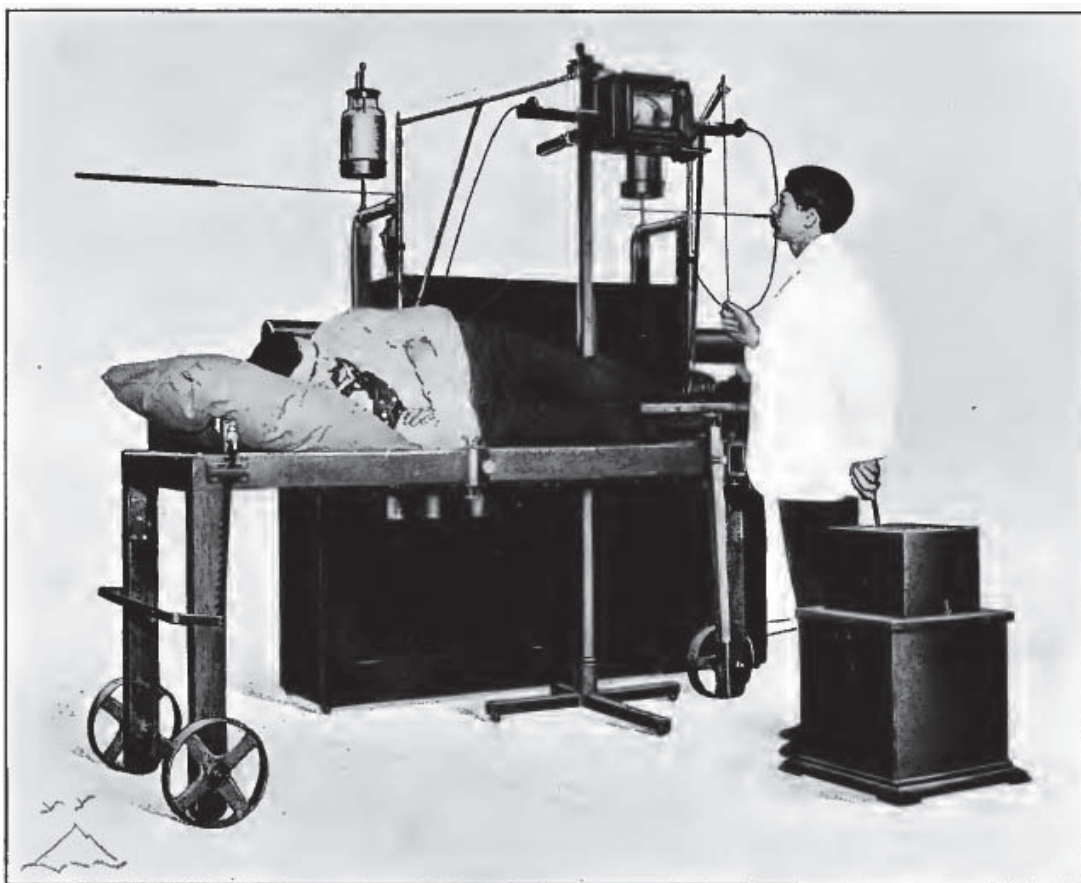


図 91-15. X線源を上置いて足関節を撮影.

## X線管励起用コイルの容量と性能

### SOME REMARKS ON CAPACITY AND POTENTIAL IN COILS USED FOR EXCITING X-LIGHT TUBES

・医療用 X 線管励起のための様々な性能のコイル調整法の解説

ノート 112, 137 に記したコイルの最も興味深い特徴は、サージの性状を変化できる事である。これについては、良く理解されていないようである。そこで、くり返しとなるかも知れないが、コイル調整法に関連してこれを再考する。ノート 112 に示したコイル以前、コイルの電極間距離は最大限まで離れており、コイルの最大性能、容量が利用できた。電極を接近させると、容量は不変であるが、X 線管内の電流の性能は低下する。このようなコイルでは、二次回路のライデン瓶の容量、コイル端子のロッドの位置、X 線管回路の火花間隙の配置によって、X 線管を励起するサージの容量を広範囲に変えることができる。

図 92-16 の 71 インチコイルで、ロッド PP はコイルの最大出力を発揮できるようにセットされている。ロッドは最後の金属球に接しており、従ってコイルのすべてのワイヤが利用される状態である。ライデン瓶の容量は 1 ガロンで、このコイルとしては一般的な容量である。ライデン瓶を大きくすると、十分速やかに充電できなくなるため、電圧は低下する。CC は、2 次側の 3 つのセクションのコイルを 1 つの連続したコイルに接続するワイヤループである。ロッド PP は中空で、

別のロッドは金属球 SS に終わり、その内部をスライドする。W は細い銅線ワイヤで、ライデン瓶の内面を連結しており、ライデン瓶の上に垂れ下がる重りにより緊張している。このようなコイルの電極に X 線管を接続すると、抵抗が高い場合はその負荷によって破壊される可能性がある。

これを防ぐためには、図 93-17 のように、ライデン瓶と 2 次コイルの全てのセクションは以前と同様に使用するが、金属球 SS の距離が数 cm になるまで内部ロッドを中空ロッド PP (図 92-16) から引き出す。これにより X 線管の性能負荷は、火花間隙 S の長さで制限される (図 93-17)。図 94-18 は、ロッド PP を互いに近づけ、セクション帯 CC (図 93-17) を取り外し、2 次側の外側 2 つのセクションが作動しないようにした状態である。ライデン瓶も取り外してある。これによって、コイルの容量は大きく減少する。

ロッドを図 94-18 のように配置し、しかし CC 領域 (図 92-16, 93-17) は残すと、外側の 2 セクションからのコンデンサー効果が得られるが、コイルの性能はまだ低い。以前のノートで明かなように、透視検査のために X 線管を適切に励起するには、電気をコンデンサーに蓄え、陰極サイズと X 線管の状態に応じた量の電気を流し、サージ間に管が回復する最長の休止期間を確保できる間隔で電气流す必要がある。この方法の重要性に鑑みて、これが可能なコイルを作る必要がある。

(Electrical Review 1902.6.21)

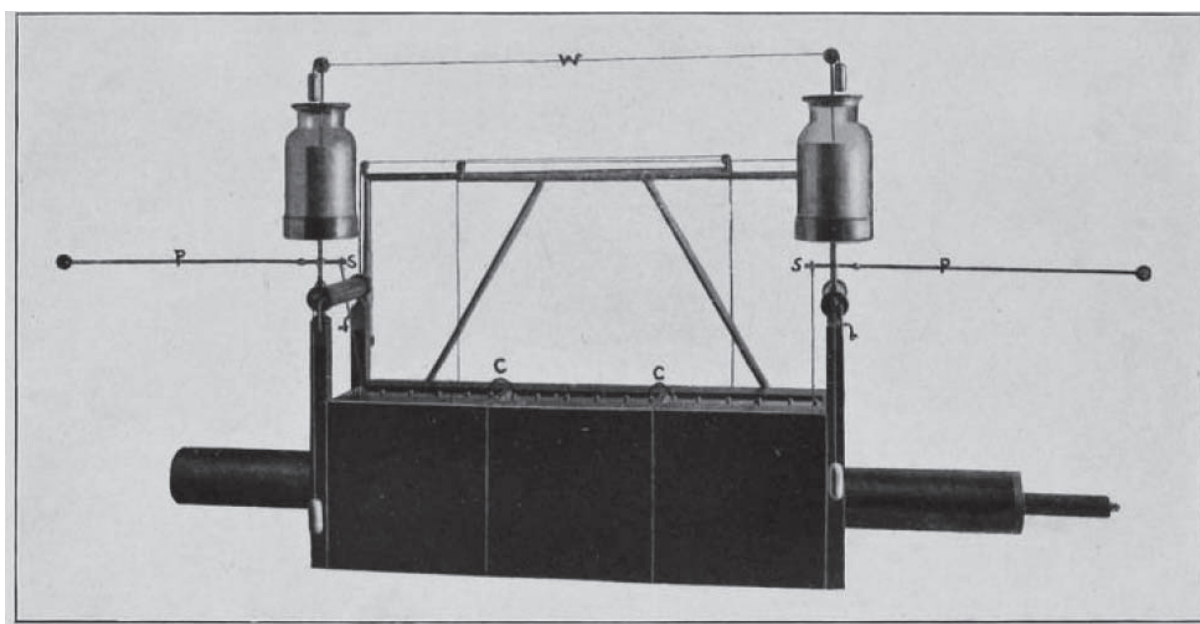


図 92-16. コイルの最大性能を得るためのロッドの構成

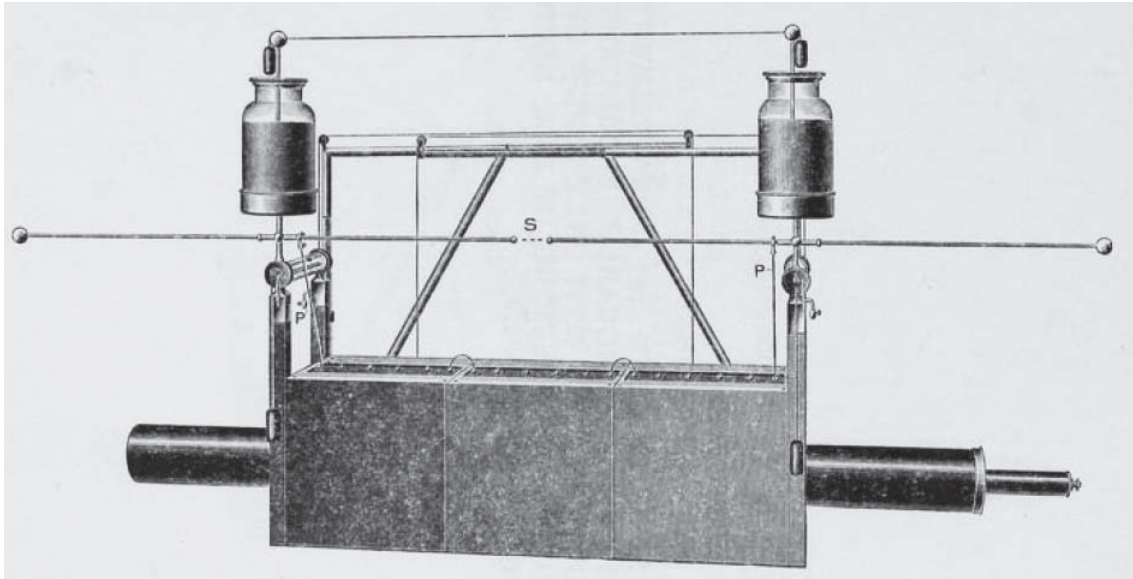


図 93-17. 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルで、全ての二次セクションを使用してコイルの最大性能を発揮させ、管球の始動抵抗が高い場合に火花間隙が回路を短絡するように構成した状態。

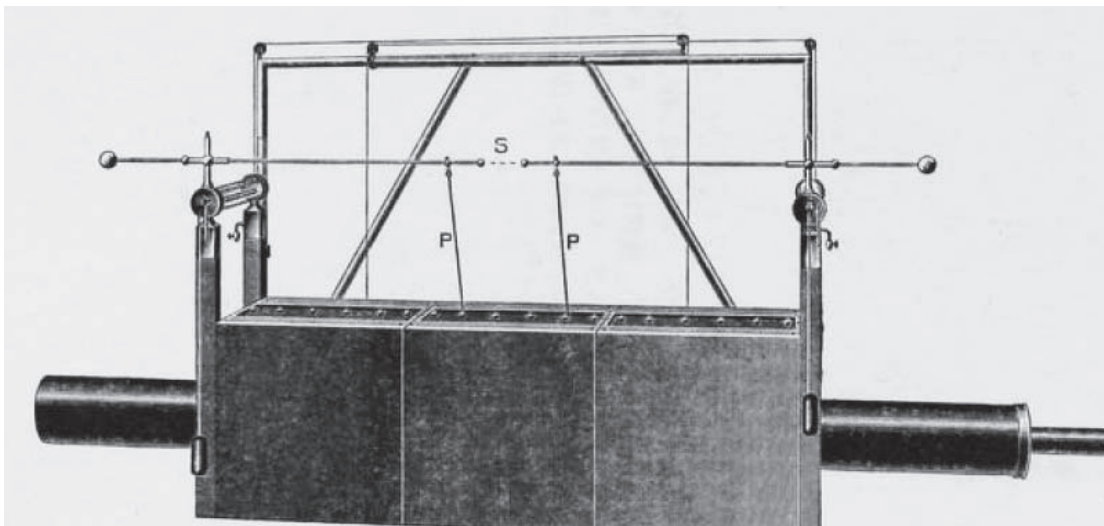


図 94-18 . 交換可能二次セクションを持つ誘導コイルで、少数の二次セクションのみ使用して、性能を制限した構成

# X線写真を法医学的な例に使用する際に、X線源の位置を知り自動的にフィルムに記録することの重要性

ON THE IMPORTANCE OF KNOWING THE POSITION OF THE SOURCE OF X-LIGHT, AND OF AUTOMATICALLY RECORDING IT ON THE NEGATIVE WHEN THE PHOTOGRAPH IS TO BE USED IN MEDICO-LEGAL CASES

- ・以前に記載したX線によって撮影時にX線源からの距離を自動的に記録する装置の改良版
- ・全ての法医学的な症例においてこの方法を利用することの必要性

ノート 117(1901 年 3 月 9 日) で、X線管ボックスから出て蛍光板あるいは写真乾板を照射するX線の中心光線は、これらの表面に垂直に入射する必要があると述べたが、中心光線が蛍光板に当たる場所を知り、X線源の位置をネガフィルムに自動的に記録するための装置を、X線管ボックスあるいはその他適当な支持部に取り付ける必要がある。筆者は、中心光線距離／位置ファインダー (central ray, distance and position finder) と呼ぶ装置を発明し、ウィリアムズ (F. H. Williams) 博士のX線医学応用に関する古典的な研究を支援してきた。彼は、胸部のX線管透視検査において、その記録を比較できるためには、X線管を患者に対して一定の位置に置くことが必須であることを明らかにしている。このウィリアムズ博士の考え方は、常に基本的な重要性を持つものである。それなくしては、X線検査は正確度を欠く非科学的なものとなる。

ウィリアムズ法は、紐の両端に重りを付けた鉛直線を使用する方法であるが、これはフィルムに記録が残らない。彼の著作「内科学と外科学におけるX線」(Roentgen Rays in Medicine and Surgery) 第2版の図 69, 70 を見れば、X線乾板の上に鉛直線があり、患者の両側に垂れ下がっているのがわかる。X線源をフィルム上に記録するために、彼は写真乾板を入れた紙袋の上に金属ワッシャーを置き、鉛直線と物差しを使って線源がワッシャーの真下に来るようにX線管を調整した。この方法は、慎重に行えば十分に正確であるが、中心光線マーカの方法よりも時間がかかり、水平位置の患者には適しているが、中心光線が写真乾板に当たる角度、線源の距離は示さない。画像の歪みを避け、これを可能とするには、角度と距離を知る必要がある。前述の2つの図を見ると、中心光線を乾板に垂直に保つという原則が認識されていなかったことがわかる。しかし、逸脱はわずかで、新たなこの原則を喚起するだけで良いであろう。ノート 117 の記載は簡略に過ぎて目に止まらないと思われるため、ここにさらに多くの図を添えて再述する。

この方法は、特に法医学の症例に利用できる。X線のネガフィルムは容易に誤情報を与える可能性があるため、多くの裁判官が証拠として採用することに反対するからである。このような目的X線ネガフィルムを安全に使用できるためには、X線源の距離、方向、中心光線が写真乾板に当たる角度をネガに自動的に記録する方法が必要である。これを実現する方法は多くあるが、前述の文献記載の方法は最も簡単である。

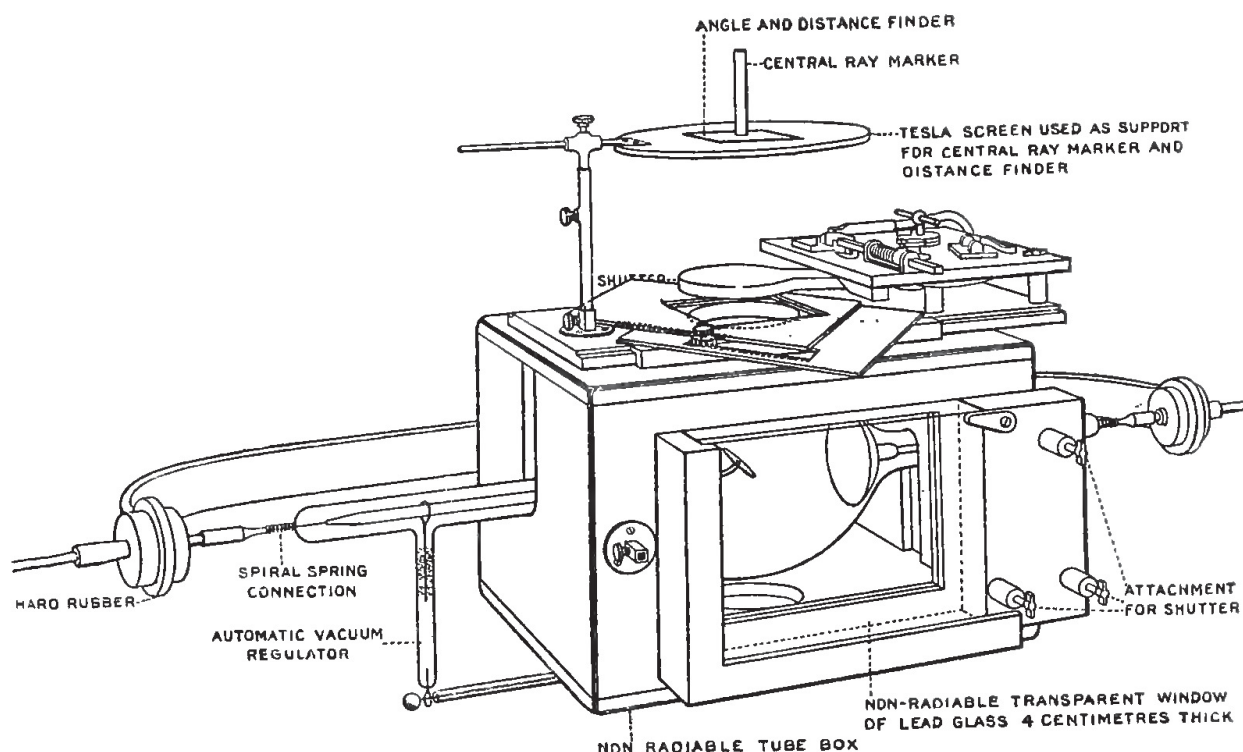


図 95-1. 可変長方形開口部を持つ中心絞板、オリエンター、テスラスクリーン、自動シャッターを備えた放射線非透過性X線ボックス。

本稿の図では、装置は前と同様に X 線管ボックスに取り付けられている。実験が示すように、検査、治療、または撮影の対象となる領域をカバーする最小源の線束以外の X 線が漏洩しないケースが不可欠だからである。X 線管ボックスは、これらの以前のノートに記載した多くの装置を取り付けるのに適した場所である。図 95-1, 96-3 では、ファインダーが薄い木製の円盤に取り付けられており、これをアルミニウム箔で被覆して接地すると小さなテスラスクリーンとなる。Boston Medical and Surgical Journal 1901 年 2 月 14 日号, 1902 年 1 月 9 日号に掲載したように、X 線は 2 枚のアルミニウム板 (1 枚は接地) を通過後も、動物に火傷を起こすだけでなく死亡させる力があることから、テスラスクリーンの使用は、かつて考えられていたほど重要ではない [141]。

このファインダーは、図 56-95 (ノート 117) に示したロッドではなく、金属管から成る。この管は、マツ材製の円板の中心に取り付けられている。その外には、

撮影に適当な直径の放射線非透過性金属製の四角いフレームがある。この図では、径 4cm である。放射線非透過性フレームは、陰極線の垂原子が衝突するターゲット上の部位である X 線光源から一定の距離にあるため、この距離がわかれば、蛍光板あるいは写真乾板の陰影の直径から、線源からの距離を知ることができる。これは、X 線が全方向に広がる球面波として伝播するからである。例えば、非透過性フレームが線源から 20cm の位置にあり、透視板あるいはフィルム上でその画像の直径が 8cm である場合、線源から透視板あるいはフィルムまでの距離は 40cm となる。

図 97-4 のように、正方形の画像に歪みがなく、中心光線マーカの画像が円形である場合、光源はその円の真下であり、中心光線は乾板あるいは透視板の表面に対して垂直に当たっている。図 97-5 のように、正方形の陰影に歪みがある場合は、中心光線が表面に垂直に当たっていない。フレームは、正方形である必要はないことは明らかである。透視装置で検査する場合、

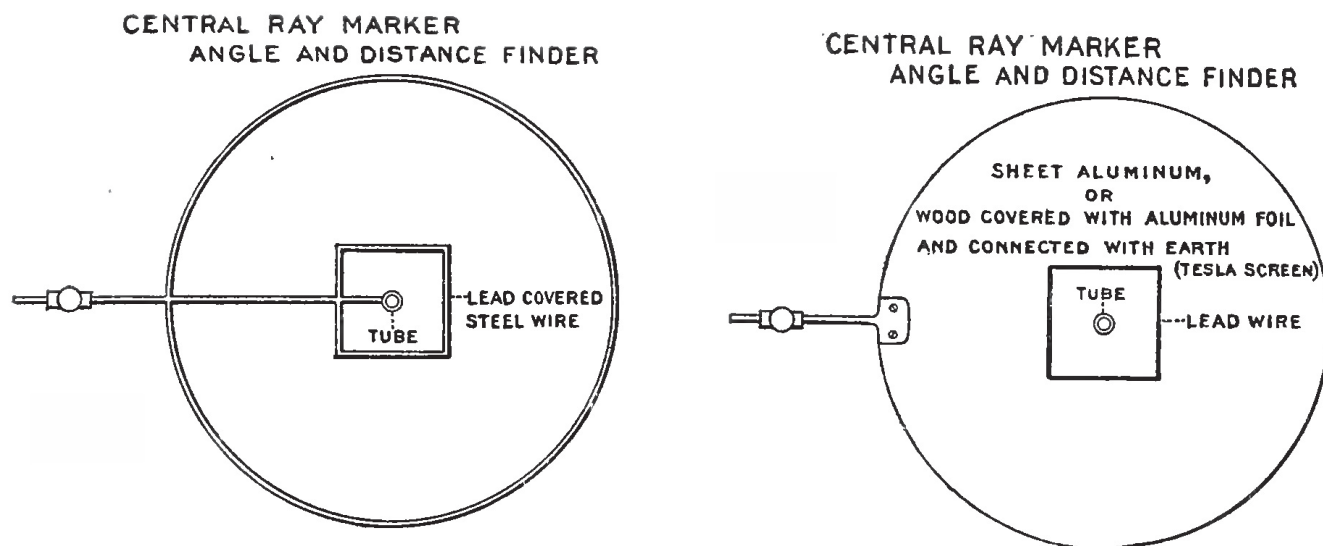


図 96-2, 3. 中心光線距離/位置ファインダー。

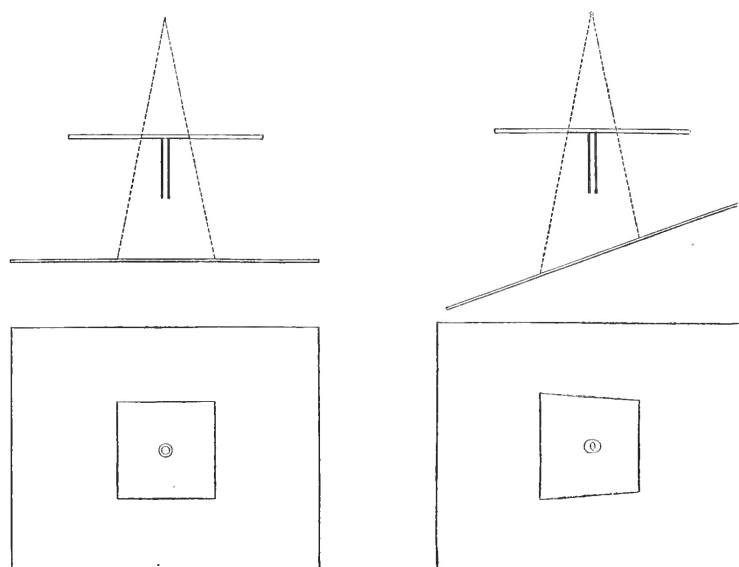


図 97-4, 5. オリエンターの使用法。

中心光線位置／距離ファインダーは、光源の位置を示し、内臓の陰影の歪みを回避するために特に有用である。

図 96-2 には、中心光線距離／位置ファインダーを取り付ける、もう 1 つの方法を示す。その他の方法については、後に図示する [142]。患者が X 線管の前あるいは下に位置する場合は、装置は X 線管ボックス前あるいは下に置く。ここに示すように、患者は X 線管の上に水平に横臥しているとする。装置を取り付けた X 線管ボックスは、ノート 36(1898 年 8 月 17 日)、ノート 48, 94, 112, 138, 140 に示したものである。

X 線が利用されて 7 年を経て、X 線が医師にとって顕微鏡と同じくらい重要であることに気付いた者も少数ながらいるため、以前のノートで述べた装置の改良型についてあらためて説明するには十分な理由がある。これまで実験者が適切な装置を入手しようとする際に遭遇する障害の 1 つであった初期コストに対する考慮よりも、使用時の効率と利便性があるかに重要になったからである。これは特に X 線管ボックスに当てはまる。X 線管ボックスは現在でも使用者は少数であるとはいえ、やはり必要なものであり、X 線検査をより正確、迅速に行うための付属装置を伴うより精巧なものが記載されている。X 線透視装置についても同様である。強力な装置が例外的なものではなく、標準的なものとなれば、X 線管ボックスから漏洩する X 線束を縮小するための絞り、高速 X 撮影簡単に行うためのシャッターにも当てはまるであろう。このようなシャッターの 1 つはノート 139 に示されているが、本ノートに示すものはその改良版で、調整可能な絞りを備え、より便利な形状である。

これは、1896 年に X 線検査に利用された虹彩絞りに代わるものであるが、放射線非透過性材質のためサイズが大きく、また開口部の円形であるため、治療に使用する場合は X 線管ボックスからの漏洩 X 線を整形するのには適しているが、写真乾板や蛍光板の場合は、必要な線錐以外の X 線から患者を保護するには長方形の開口部が必要なため、期待するほど使われなかった。長方形の蛍光板あるいは写真乾板をカバーするほど大きい X 線錐を使う場合、蛍光板や乾板の周囲すべてに、組織を照射し画像をボカす無用かつ有害な X 線が存在することは明らかである。従って、長方形の開口部を持つシャッターを使用し、治療の場合はこの開口部またはその前に小さな虹彩絞りを挿入するのがベストである。しかしこれらの問題については、シャッターと絞りの項でもっと詳しく述べることにする。

(Electrical Review 1903.3.7)

[141] 1903 年追記。テスラスクリーンは、以前のノートで述べたように、高圧 X 線発生装置、放射性物質、いずれから発生するにせよ火傷の原因となるに荷電粒子や電子を阻止することができる。

[142] ノート 149, 図 101-2 参照。

## 治療における反射型 X 線管の重要性

### ON THE IMPORTANCE OF REFLECTED X-LIGHT IN THERAPEUTICS

1895 年 12 月、レントゲンは、ある種の金属、特に垂鉛が、X 線を不規則に反射することを報告した。テスラは、透過光と反射光の比率を示す表を発表し、レントゲンの垂鉛に関する発言を確認した。これらの観察結果を応用して、口内病変の治療のために、光が角を回りこむ垂鉛製の円錐を製作した。X 線管からの X 線が開端以外から漏洩することを防止するために、外壁は鉛製とした。この設計では、X 線管を熱で滅菌することができる。使用時には、管球の太い側を X 線管ボックスに付け、円錐の先端を通過する以外の X 線が漏洩しないようにする。円錐の先端は、半径が異なるものがいくつかある。この方法は、他の部位の治療にも有用である。

(Electrical Review 1903.3.14)

## 一般にフルオロスコープと呼ばれているクリプトスコープ (X 線透視装置) の発達

ON THE DEVELOPMENT OF THE CRYPTOSCOPE,  
USUALLY CALLED THE FLUOROSCOPE

- ・装置の簡単な歴史
- ・以前のノートに記載した放射線非透過性クリプトスコープの改良

1896 年 2 月 8 日, イタリアのペルージャ (Medical and Surgical Academy of Perugia) のサルヴィオーニ (Salvioni) は, 筒の一端にレントゲンが使用した蛍光板を置き, 反対側に覗き窓をつけて, この器具をクリプトスコープ (cryptoscope) と呼んだ. アメリカのマギー教授 (Professor W. F. Magie, American Journal of Medical Science, 1896 年 2 月 7 日号), トンプソン氏 (E. P. Thompson, 日刊紙 1896 年 2 月 13 日) は, 同様のものを作ってスキアスコープ (sciascope) と呼んだ [143] エジソン (Edison) は, 蛍光塩としてタンゲステン酸カルシウムを使用し, 同様の装置, フルオロスコープ (fluoroscope) を作った. 科学の慣習に従うなら, 最初の呼称を使うべきであろう.

ロリンズ (Rollins[ 訳注: 筆者自身 ], Electrical Review, 1899 年 2 月 8 日号, Boston Medical and Surgical Journal, 1901 年 1 月 31 日号) は, クリプトスコープに音響チェンバーを追加して, 心臓や肺を蛍光板で観察しながら音も聞けるようにして, これをシーヒア (seehear) と呼んだ. ロリンズは, X 線が動物を失明させることを知り, X 線は蛍光板をほとんどそのまま通過することを示して, 蛍光板と医師の目の間に重い鉛

ガラス板を置くことを推奨した. 彼はまた, クリプトスコープを放射線非透過性の材質で作って散乱線の侵入を防ぐことの必要性を唱えた. 本稿は, これまで特に触れなかった詳細について注意を喚起するものである.

第 1 に, クリプトスコープは, 伝染病の患者にも常に使われることから, 容易に熱で滅菌できる材質で作ることが重要である [144]. 現在使われている厚紙を布で覆った木製の透視装置は, 熱で分解してしまうので滅菌できない. 従って, この理由からクリプトスコープは, 以前のノートに示したように金属で作る必要がある. ウィリアムズ博士の設計によるこのような構造を図に示した. 図 98-1 は, エジソンが作った一般的な従来の形であるが, 蛍光板の上に厚いガラスがあり, 壁には放射線非透過性材質が使われている. 大きなガラス板は, 重量が 4 ポンドを超えるため, 設計を変更してガラス板のサイズを縮小し, 図 98-2 のように目の側に置いた. これをシーヒアにするには, 図 99-3 のように聴診器を追加するだけでよい. 音響チェンバーの範囲を限局したものを, 図 99-4, 100-4 に示す. 聴診器の管は, フレキシブルにするためすべて軟らかいゴム製なので, 熱に弱く装置全体を殺菌できない. そこで, 図のようなものを設計した. これは聴診器の管を金属製とし, ワイヤを密ならせんに巻くことによりフレキシブルとしたものである. 図 100-5 には, 中心光線距離/位置ファインダーを装着したクリプトスコープを示す.

(Electrical Review 1903.3.14)

[143] Thompson and Anthony's work on x-rays より.

[144] 目を保護するガラス版, 熱殺菌できる金属壁を備えた放射線非透過性クリプトスコープについては, ノート B 参照.

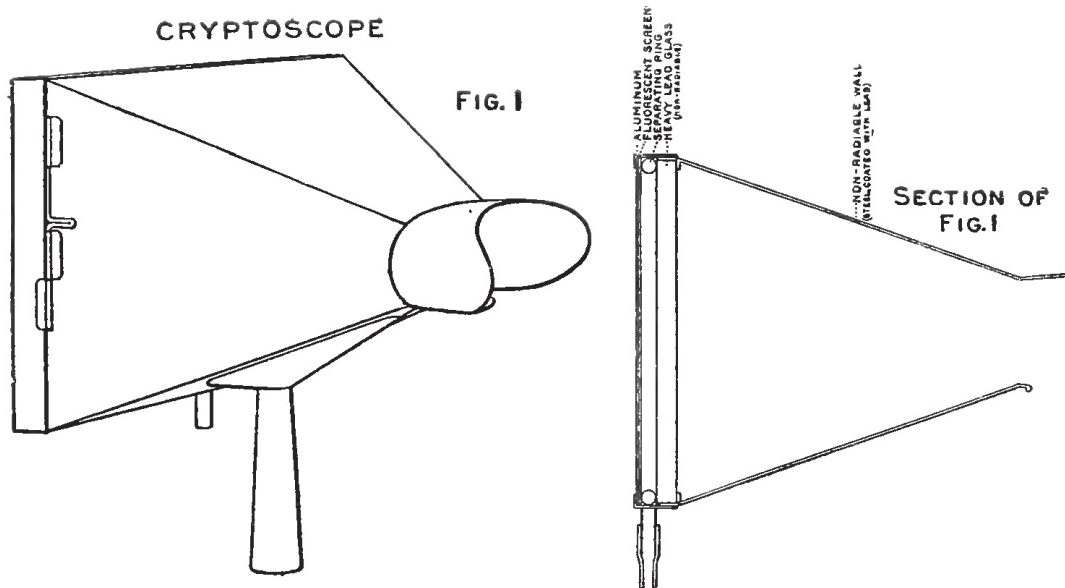


図 98-1. 放射線非透過性 X 線透視装置 (クリプトスコープ) とその断面図。

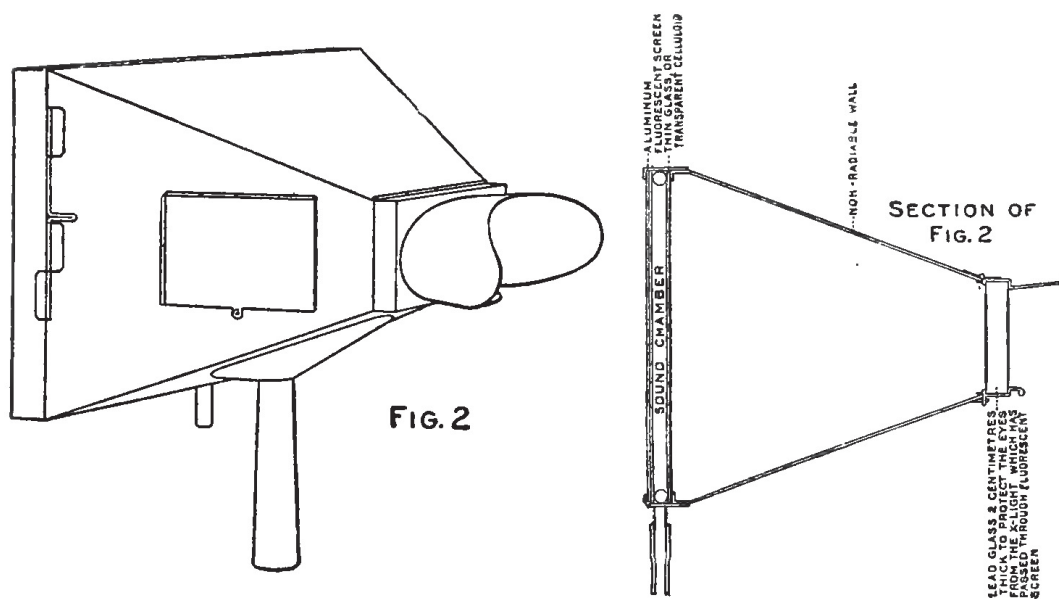


図 98-2. 放射線非透過性 X 線透視装置 (クリプトスコープ) とその断面図。

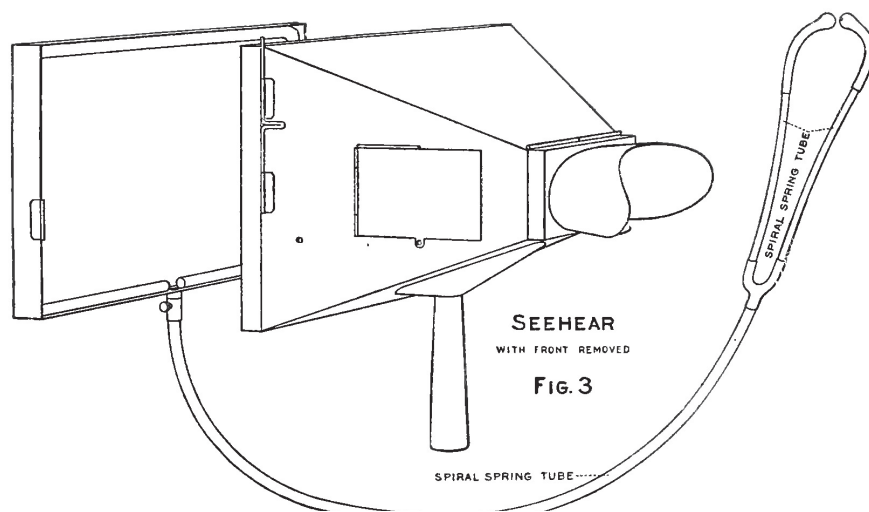


図 99-3. シーヒア (Seehear). 前面を外したところ.

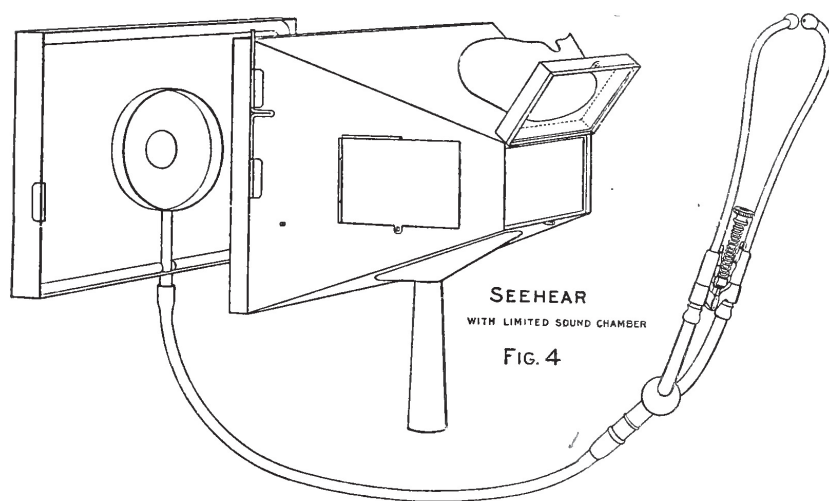


図 99-4. シーヒア (Seehear). 音響チェンバーの範囲を限局したもの.

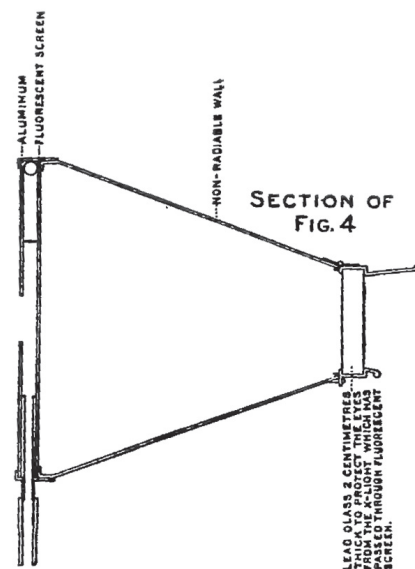


図 100-4. 図 99-4 の断面図.

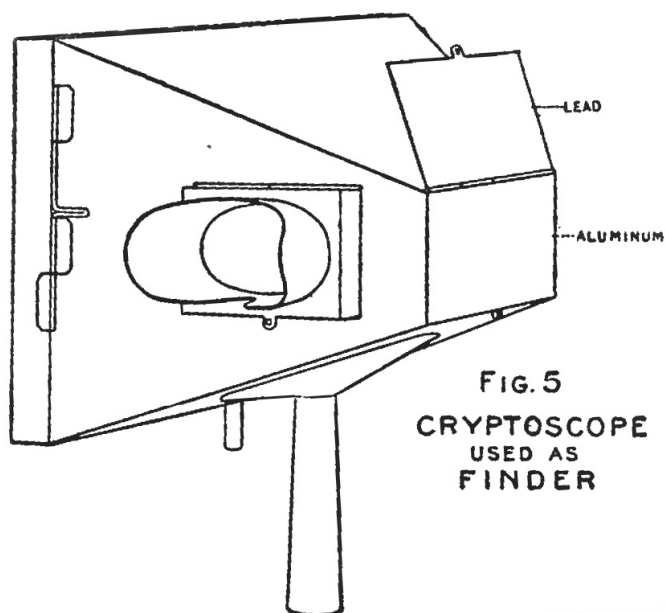


図 100-5. X線透視装置 (クリプトスコープ) をファインダーとして使用する.

## X線による犯罪者識別 [145]

## X-LIGHT AS A MEANS OF IDENTIFYING CRIMINALS

- ・犯罪者の手足の X 線写真は人体計測同定法の一部として必要である

犯罪者の識別には、計測に基づくいくつかのシステムが採用されている。筆者は、犯罪者の骨、たとえば手足の X 線写真に基づいた新たなシステムを提案した。現在、メーカーは X 線装置を 200 ドルで販売しており、撮影にはほとんど時間もかからないことから、このシステムは注目に値する。現行のシステムでは、犯罪者の顔写真の撮影が通例である。従って、骨の写真をとるようにすることは容易であり、写真家は 1 カ月でこれを学ぶことができるであろう。通常の装置による四肢の X 線撮影には 20 秒あれば十分で、所要時間は短い。多数の手足の X 線写真を調べ、同じである確率は非常に低いことが判明している。X 線写真は、骨の形だけでなく内部構造もわかることを考えると、2 つの骨が類似する可能性はほぼない。

この方法を使用する場合、線源が写真乾板に対して一定の関係にあることを確認するために、中心光線マーカー、位置／距離ファインダーを使用する必要がある。6 年間隔で撮影された同じ骨の X 線写真を調べたところ、その差異は非常にわずかで、識別を妨げることはないことが判明した。疾患によっては骨に一定の性状変化をみることが知られており、間隔をおいて撮影された 2 枚の写真が同一でないことはありうるが、他の部位も同様に変化する。

(Electrical Review, March 14, 1903)

[144] 目を保護するガラス板、熱滅菌を可能とする金属壁を備えた初の放射線非透過性クリプトスコープについては、ノート B 参照。

[145] ノート 147B 参照

## X線の水晶体に及ぼす影響

## THE EFFECT OF X-LIGHT ON THE CRYSTALLINE LENS

本誌に、X 線により動物が失明しうることを示す実験が報告されている。様々な時期に X 線を研究してきた研究者との通信により、研究の過程で目が早期に老化した事例が数多く発見された。最近、1896 年以来、相当程度の X 線に曝露されてきた男性を検査した。彼は 40 歳以下であったが、新聞も読めない程であった。43cm の距離で問題なく作業するためには、26 番の両凸レンズ眼鏡が必要であった。

ウィリアムズ博士の仕事を支援するための実験に使用してきた装置は、トロブリッジ教授の大型コンデンサーとテスラの高周波発生器を除けば、最も強力な X 線発生装置であった。にも関わらず筆者に傷害が発生しなかったのは、X 線の危険性を早期に認識し、以前の論文で推奨したような予防策を講じたからである。このような興味をひかない個人的な事柄を述べる理由は、これらの注意事項のいくつかを繰り返すためだけである。

X 線は、検査、治療、撮影に必要な領域をカバーする最小限の線束以外、患者に当たらないようにしなければならない。X 線を、検者に当ててはならない。このような装置の製法については、既に述べた。いくつかの点をここに繰り返す。X 線管は、検査、治療、撮影する部位をカバーする最小限の線束以外は漏洩しないような、放射線非透過性ボックスに収めなくてはならない。ボックスは、放射線非透過性の絞りを備え、開口部は透視装置を覗きながら簡単に調整でき、X 線が検査領域をカバーする最小限に制限できなければならない。透視装置は、減弱せずに蛍光板を通過する X 線を吸収して観察者の目の傷害を保護する、厚い鉛ガラス板を備えなければならない。透視装置の壁は、放射線非透過性材質でなければならない。撮影中、患者は必要な領域のみ露出し、その他は非透過性シートで覆わなくてはならない。X 線を多用する実験家は、目の部分に厚い鉛ガラス板をはめ込んだ放射線非透過性フェースマスクを装着しなければならない。X 線管のポンプ排気、チューニングに際して X 線管を透視装置で試験する場合は、試験のために自分の手を使わず、透視装置にレントゲン計、ウィルハムス蛍光計を取り付けて、X 線の透過力、輝度を測定しなければならない。透視装置を持つ手は、非透過性物質でカバーしなければならない。X 線管のポンプ排気、チューニングでは、放射線非透過性オープンを使わなければならない。

これらの予防策のほとんどは現在も無視されており、メーカーのカatalogや、これらの問題に関する論文や本の付図には、ほぼ例外なく剥き出しの管球が描かれ

ている。X線の治療応用で患者保護にマスクが使われている場合も、多くはゴムシートその他の放射線透過性材質である。体腔の治療で内視鏡が使われる場合も、放射線透過性のセルロイドであることが多い。ゴムやセルロイドは、重い金属やその化合物と混合しなければならない。患者防護のために非効率的な手段が今も使われている理由は、動物に対するX線影響に関して報告されている重要な実験を無視したり軽視しようとする風潮が一因である。これらの実験は、原因となる可能性がある他のすべてのエネルギー形態を除外して、X線が火傷、失明、死亡を引き起こすことを示しただけでなく、治療におけるX線の適切な使用条件の下では、他の種類のエネルギーの作用は非常に遅く、患者に重篤な傷害を与える要因とは考えられないことを示している。従って、患者防護は、X線自体からできる限り保護することである。

もう一つの注意点は、X線による治療では、患者の周囲に使用する装置を滅菌可能な材料で作ることが重要であるという点である。X線を使用する疾患には伝染性のものがあり、癌は伝染しないと一般に考えられているが、X線により治療された数名の患者が罹患したという興味深い事実がある。これはおそらく、適切な予防策が講じられていれば起こらなかったであろう。定期的な部屋の燻蒸、透視装置やその他の器具の滅菌をせずに、癌その他のX線治療を恒常的に行うことは、控えめに言っても賢明ではない。伝染病棟の必要性が明確に認識されている大病院でも、1つの部屋を未だに燻蒸せずに、あらゆるX線診断、X線治療に適した場所とみなされて、滅菌されていない装置が使用されている。実際、現状の装置の多くは、最も簡単な方法である熱による滅菌が難しい。ホルマリン蒸気の力を利用して毎晩レントゲン室を燻蒸し、患者の周囲で使用する器具を熱滅菌できる材質で作ることは、少なくとも合理的であると思われる。このような方法で滅菌できるX線透視装置、シーヒア、聴診器、集光器、偏光器、内視鏡については、既に述べた。

(Boston Medical and Surgical Journal 1903.4.2)

## 人体計測同定法におけるX線

### X-LIGHT IN ANTHROPOMETRICAL SIGNALMENT

法律で、成年に達した者全員の識別データが要求される時代が来るかもしれない。一方、ベルティヨン(Bertillon)らの研究から、人体計測同定法が、犯罪者を識別するすべての方法の基礎となっていることが知られている。人体計測同定データ数は、フランスだけでもすでに数十万に上っており、その測定をより正確にする方法はいずれも価値のあるものと考えられる。誤認識の確立は、日々増大している。困難は、最初の分類にあるのではなく、計測値が酷似しているグループである。通常の計測部位は、身長、躯幹長、上肢長、頭長、頭幅、頬骨間距離、右耳長、左足長、左中指長、左小指長、左前腕長である。これらの計測は、正確でなければ価値がない。この計測精度を2倍にできれば、2倍の人数を識別できることは明らかである。

これは、骨のX線撮影を行うことで可能となる。この方法により、手の大きさを測る精度が少なくとも2倍になり、足も測れるようになるため、現在の4倍以上の人物を識別できるようになると推測されるが、実際の数はいくら多いに多いであろう。X線写真は、骨の大きさだけでなくその構造も表示できるので、識別の最終段階における詳細な識別を目指すにあたって、この方法は進歩といえる。焼死体、変性死体の場合、この方法は他の方法よりも優れているであろう。その他、手、足など体の一部のみ見つかった場合、この方法でのみ識別が可能となるかもしれない。これらのX線写真による人体計測同定を行うための装置が設計、製作されているが、医学雑誌の読者の興味には技術的過ぎるように思われるため他で紹介する。この方法は、従来のいかなる方法よりも解剖学に訴えて識別を支援する点で、医師の関心を引くかもしれない。

このような計測が意味を持つために不可欠な要件は、光源を写真乾板の距離を一定とすること、光源の方向、距離、中心光線の角度を乾板上に記録することである[146]。これを実現する装置、オリエンター(orienter)については本誌1901年に、さらに詳細についてはElectrical Review誌のX線覚え書き(Notes on X-light)に解説している。X線フィルムが法廷で証拠としてとりあげられる現在、このような装置は法医学的観点から医師にとって重要と考え、ここに付言した。

(Boston Medical and Surgical Journal 1903.5.7)

[146] ノート 117, 143 参照

## X線鉄則集

### X-LIGHT AXIOMS

以前のノートで、X線を医学に応用するための重要な原則を初めて述べ、それを実現するための装置を示説した。X線の鉄則ともいえる、これらの原則をここに再述する。これらは採用されるまで繰り返すだけの重要性があるからである。

**鉄則その1:** X線は、検査、治療、撮影に必要な領域をカバーする最小限の線束以外、患者に当たらないようにしなければならない。

**鉄則その2:** 直接線を検者に当ててはならない。

**鉄則その3:** 医師は、蛍光板の画像から目を離して検査を中断すること無く、X線をコントロールできなくてはならない。

**鉄則その4:** 医師は、蛍光板の画像から目を離すこと無く、検査中いつでも患者とX線源に対して自分の位置を調節できなくてはならない。

**鉄則その5:** 画像の歪みを防ぐため、検査中蛍光板は常にX線の中心光線と垂直に保たなければならない。

これらの鉄則の中でまず始めに発見されたのは、検査中に目を蛍光板の画像から離すこと無くX線の量と質を調整できることの必要性であった。いくつかの方法を試みた。すなわち

A: 静電発電機の回転速度を調節するレオスタットを手元に置く。

B: 手元のレバーを操作して磁石を動かし、X線管の電極間の距離を調節する。

C: X線管と直列に複合火花間隙をつなぎ、手元のレバーで操作する。

D: X線管内にあるクルックの発明になるカリウム調整管を、電気で生成した熱で自動的に作動させ、手元のレバーでコントロールする。

E: 手元のレオスタットで、誘導コイル一次側の電流を調節する。

その後間もなく、蛍光板の画像から目を離すこと無く、検査中いつでも患者とX線源に対して自分の位置を調節できることの重要性が現実のものとなった。最も良い方法を、ノート 116B, 117 (1901年3月19日)に、さらに詳しいものをノート 143(1903年3月7日)に述べた。今後多くの機械的な変更が加えられることは間違いないが、それが効果を上げるには、X線の文献に掲載されてきた原則を具体化する必要がある。

次に認識されたことは、患者に当たるX線の範囲を、検査部位以外は最小とすることであった。これを

初めて実際の装置で具体化したものは、International Dental Journal 誌 1896年9月に掲載した。これは、X線源の中心光線に一致させた放射線非透過性の同心円状可動性絞りである。X線束の範囲は、絞りの開口部の大きさで制限できる。

次に行ったことは、X線管を放射線非透過性絞りを備えた放射線非透過性ボックスに密閉することであった。

検者に直接線を当てないことの重要性が認識されたのは、当然のことながら最後であった。これを防ぐ方法は、検者がX線のそばにいられるように絞りに付きの放射線非透過性ボックスを使用し、直接線の中に立つ必要がある場合には、放射線非透過性透視装置を使用することである。これはノート 116(1901年2月2日)、ノート 139(1902年6月14日)で述べており、ノート 145(1903年3月14日)で再述、より詳細に説明している。このような考えに基づく装置については既に述べているが、さらなる重要な改良について、続く幾つかのノートに記す。

(Electrical Review, April 4, 1903)

# X線管ボックスの絞り板開口部形状およびX線束の大きさの調節法について

ON THE FORM OF THE OPENING IN THE DIAPHRAGM PLATE OF THE X-LIGHT TUBE BOX AND ON MEANS OF ADJUSTING THE SIZE OF THE BEAM OF X-LIGHT

- ・X線管ボックスの絞り開口部の形状が円形ではなく四角である必要がある理由
- ・充分考慮された絞り版の供覧
- ・有用かつ効率的なX線管ボックスの形状

X線管ボックスの絞り板の開口部は、X線診断、撮影の目的には、それぞれ蛍光板、写真乾板の形状と一致するよう長方形にする必要がある。開口部を円形にする場合、図116-1のように、ボックスから漏洩する線錐の、円錐の軸に対して直角な断面は円になる。患者は線錐全体で照射されるが、その有効部分は、図116-1に示す最も大きい乾板、蛍光板の長方形領域、すなわちX線錐Sの円で囲まれる部分のみであることは明らかである。長方形領域PSの外側で患者に当たるX線は有害である。患者を不必要に曝露することは賢明ではないだけでなく、過剰に照射すると2つの理由で写真乾板がかぶり、蛍光板の画像はぼやけるからである。不要部分に直接線が当たると、体内で不規則に反射するX線が目的とする構造を隠蔽することがある(ノート10, 1898年1月5日, ノート94, 1900年4月11日)。また漏洩X線は、霧状に室内に充満し(ノート94, 1900年4月11日)、通常の透視装置や

乾板ホルダーを使用すると、これが蛍光板や乾板あらゆる方向から進入する(Boston Medical and Surgical Journal 1901年4月25日号)。この結果生じる散乱光が蛍光板、写真乾板上の画像の鮮明度を損なうのを防ぐ唯一の方法は、以前のノートで説明した放射線非透過性透視装置、乾板ホルダーを使用することである。

しかしそれでも、直接線内の不要なX線の有害作用は排除できない。従って、照射範囲の形状は、透視板、写真乾板の形状に一致させる必要がある。通常の透視板、乾板の縦横比は4:5なので、絞り板開口部の比も同様とする。蛍光板、写真乾板は正方形であるべきで、メーカーにもこれが推奨されることから、図では絞り板の開口部も正方形としている。ここに示す絞り板の

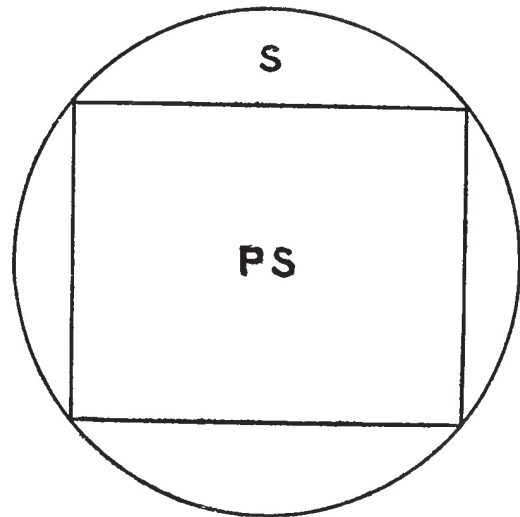


図116-1. X線管ボックスの絞り板の開口部の形状.

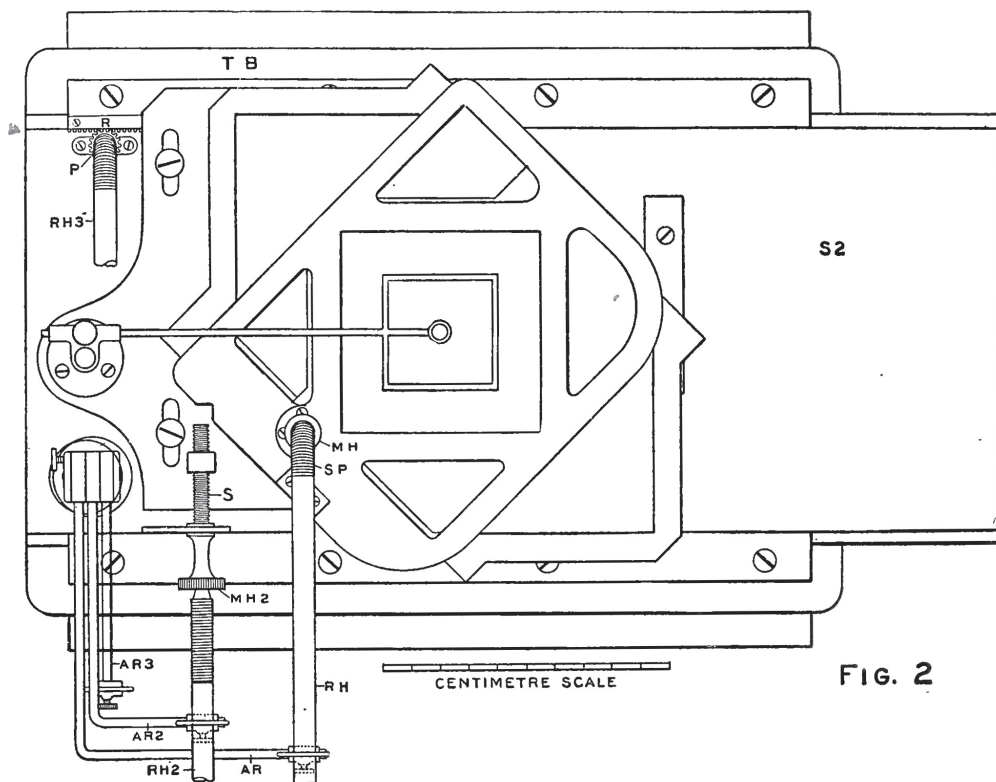


図101-2. 可変中心絞り板, オリエンター, 調整ロッド.

原則は、長方形の場合も同様である。しかし、開口部の一辺が他辺より長い場合、絞り板を回転板に取り付けるか、あるいはX線管ボックスを同様に取り付ける必要があり、いずれも問題が複雑になる。これが、開口部を正方形とするもう1つの理由である。鉄則その1、その3の条件を満たすためには、蛍光板から目を離すことなく絞り板開口部の大きさを変更できなければならない。

以前のノートで推奨したようにX線管を標準距離1mに置くと、絞り板は術者の手の届かないところにあるため、これを近くに置く何らかの方法が必要である。すでに説明した医療用レオスタットのように、手の届く範囲にあるコンソールのスイッチで制御する電気モーターによって、X線管その他すべての調整を行う方法も考案したが、現時点ではあまりに高度で受け入れられ難いことから、以下に説明する方法はすべて機械的なものである。

図101-2に示す絞り板と開口部調整装置は、X線管TBのスライド板S2に取り付けた絞り板の正面図である。絞り板開口部は、完全に開いた状態で、49cm<sup>2</sup>である。ビスMHを回すことで、開口部を縮小、あるいは完全に遮蔽できる。図102-3、4には、そのメカニズムを示す。絞り板の各リーフは、ラックがついている(図102-3)。2枚のリーフを重ね、両者を貫通するピニオンを回すとそれぞれが反対方向に同じ距離移動して、中心点から対称に開閉する(図102-4)。リーフの中央部は厚さ2mm以上の鉛板で、開口部周囲は放

射線非透過性となる。

離れた距離から開口部をコントロールする方法(図101-2)：ネジ頭MHには、正方形の穴があいており、ここに調整ハンドルRHから伸びる螺旋スプリングSPがはまっている。ハンドルは、可動アームARによって任意の位置に固定できる。図102a-5は全体像、図103-5aは正面像である。

絞り板の位置調整法(図101-2)：ネジ頭MH2により動くネジS、アームAR2が支持するハンドルRH2によって、絞り板はX線管ボックスにむけて横方向に移動する。同様にアームAR3が支持するハンドルRH3によって、ピニオンPをラックRが動くことによって、同じ面内でこれと直角方向に動く。これらのハンドルによって、絞り板を中心光に一致させ、これを中心として対称に開閉できる。この事の重要性は後述する。

前述のノートのように、治療目的にX線を使用する場合は、絞り板開口部は正方形である必要はない。病変部がこのような形状であることは稀だからである。従ってこの場合は、円形開口部が有用である。円形開口部を簡単に調節するには、虹彩型絞りを絞り板に付ける必要がある。しかし、その場合は治療に必要な部分のみ照射するようなマスクを使用することから、正方形開口部で充分であり、コストも削減できる。

(Electrical Review, April 4, 1903)

[147] このラックは、ネジで代用してもよい。

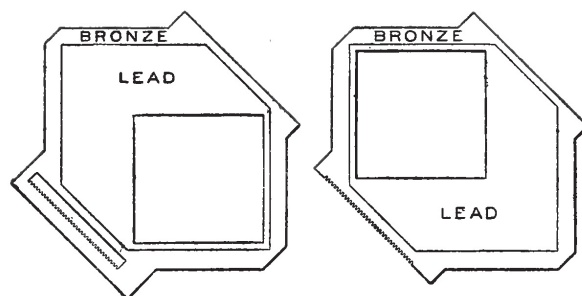


Figure 3

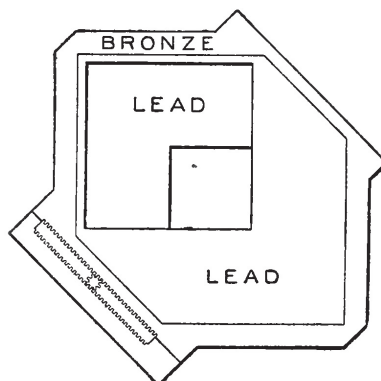


Figure 4

図102-3、4. 図101に示した放射線非透過性絞り板のリーフの詳細。

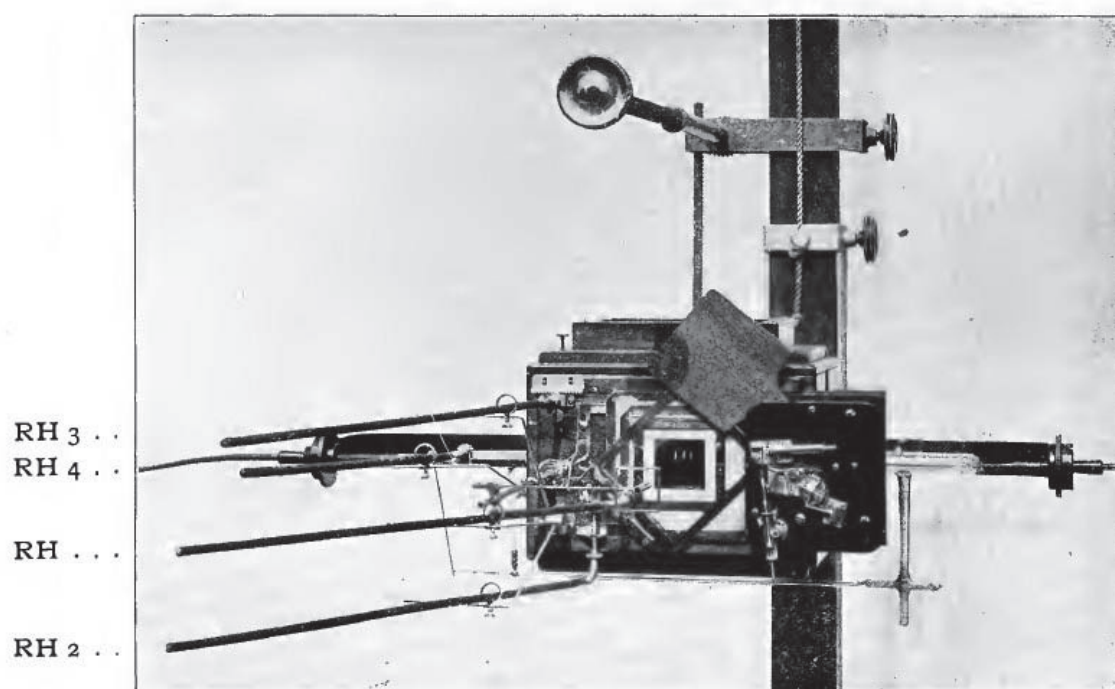


図 102A-5. 放射線非透過性 X 線ボックスの全体像.

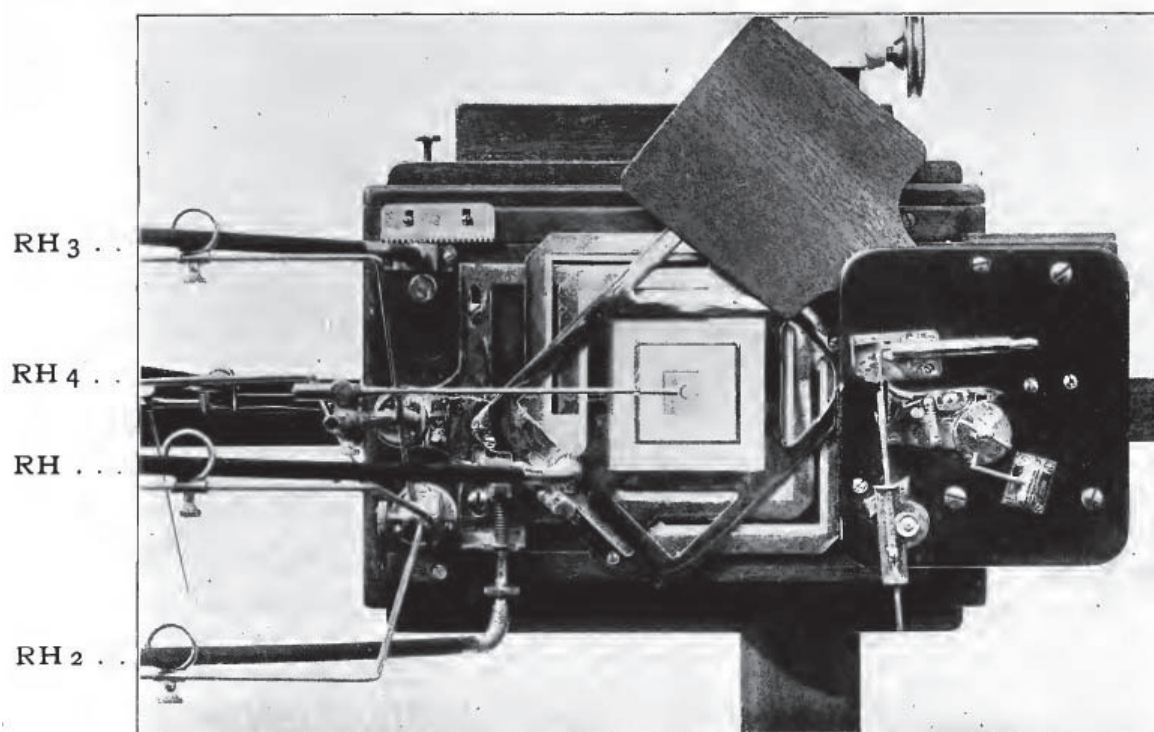


図 103-5A. 可変中心絞り板を備えた X 線ボックス, オリエンター, 真調整管, 調整ロッド

中心光線マーカ、距離／位置ファインダーの実装方法、及び蛍光板から目を離すことなくこれを調節する方法

ON THE FORM OF THE MOUNTING FOR THE CENTRAL RAY MARKER, DISTANCE AND POSITION FINDER, AND ON THE METHODS OF ADJUSTING THEM DURING AN EXAMINATION WITHOUT REMOVING THE EYES FROM THE IMAGE ON THE FLUORESCENT SCREEN

鉄則その 4 のように、術者は検査中常に蛍光板の画像から目を離すことなく、患者に対する X 線源の方向を調節できなくてはならない。このような装置については、ノート 116B, 117 (1901 年 3 月 19 日) で、さらに詳しくはノート 143(1903 年 3 月 7 日) で述べた。ここには、その改良板を示す。

中心光線マーカ、距離／位置ファインダーは、絞り板に固定的に取り付けられており、その動きに追従する。従って、絞り板の位置はノート 149, 図 101-2, 103-5a のハンドル RH2, RH3 でコントロールでき、同じハンドルによって中心光線マーカの像が蛍光板上に円形に映るように絞り板を移動することにより、X 線源の位置を知ることができる (ノート 143, 図 97-4)。この時、X 線源はこの円を通る直線上に位置する (ノート 117, 1901 年, ノート 143, 1903 年)。絞り板の開口部は中心光線マーカの同心円上に取り付けられているため、光線が中心光線と同心円上にあることは明らかである。

画面上の患者の臓器の陰影が歪まないように、医師が蛍光板の面を常に中心光線に対して垂直に保つことができるこの方法は、画面上で中心光線マーカの陰影が歪んでいないことを確認することだけで、これはすぐに本能的な作業となる。ウィリアムズが推奨しているように (Roentgen Rays in Medicine and Surgery, 66 頁), 体の特定部位の真下に X 線管を置きたい場合は、径約 14mm の鉛の輪を患者の皮膚面あるいは衣服の上に置く必要がある。この場合は、中心光線マーカの陰影をこのリングに一致させると、蛍光板上で鉛のリングの陰影の内部により暗い小さなリングが見えるようになる。

(Electrical Review 1903.4.4).

## クリプトスコープから目を離すことなく X 線源からの距離を測定する方法

ON MEASURING THE DISTANCE OF THE SOURCE OF X-LIGHT WITHOUT REMOVING THE EYES FROM THE CRYPTOSCOPE

クリプトスコープ (X 線透視装置) で診断を行う際には、蛍光板上の画像から目を離さずに X 線源の距離を変えることがしばしば必要となる。例えば、異物や動脈瘤が体表からどの程度の位置にあるかを大まかに把握したり、あるいは X 線源を動かして陰影の変化から情報を得るにあたって、線源の距離と移動距離を知りたい場合である。

医師は、図のような中心光線マーカー、距離／位置ファインダー [148] を絞り板に取り付けた X 線管ボックスを備えていれば、蛍光板の一端に放射線非透過性スケールを付けることでこれを実行できる。この場合、中心光線マーカーの陰影がスケールの適当な位置に来るように蛍光板を動かすだけで良い。蛍光板上にうつる距離ファインダーの陰影の直径が、直接 X 線源の距離を示し (ノート 143)、X 線源を移動するときに、同時に被写体の陰影の大きさの変化を観察しながら、これがどの程度早く変化するかを観察すれば、その相対的な変化から、被写体の体表からの距離に関する情報が得られる。スケールは、鉛片で 10mm 間隔、小さい目盛は 1mm 間隔で作るのが最も良い。

(Electrical Review 1903.4.4)

[148] この装置は、オリエンター (orienter) と命名されている。

## 透視板から目を離すことなく、線質を変化させる方法

ON ALTERING THE QUALITY OF X-LIGHT WITHOUT REMOVING THE EYES FROM THE IMAGE ON THE FLUORESCENT SCREEN

これは、ハンドルで X 線管と直列の火花間隙 (ノート 112) を操作するか、あるいは以前の論文で示したような X 線管で可能である。その場合、クルックスのカリウム調整管はシャント回路に置き、X 線管を励起するのと同じ発電機が生成する熱で作動させる。調整管を通過する電流の量は、調整管回路内の火花間隙長で調節する。

第 2 の方法は、ここに図示するような形である。この方法の新しい点は、X 線管が透視検査の標準距離にあり、手の届かない距離にある場合でも、火花間隙を変えて、線質を変えられるところにある。図 102A-5 (ノート 149) にこれを示した。X 線管ボックスにラックが付いており、このラックが調整管の火花間隙の電線端のリングを通る電線につながっている。左側のハンドル RH4 でピニオンを動かすと、ラックが動き、調整管回路の火花間隙長が変化して、検査に適した真空度、ひいては X 線質が得られるようになる。

X 線透視診断は、検査中に透視板の画像から目を離すことなく X 線の質をコントロールできなければ、満足に行うことができない。本ノートでこの問題について何度も述べているのは、これが必須であるためである。X 線透視検査が、その診断的重要性に見合う関心を集めることを願うものである。

(Electrical Review 1903.4.4)

# 放射線透過性ゲージの実装

## ON METHODS OF MOUNTING THE ROENTGEN PENETRATION GAUGE

厚さの異なる金属を使ったゲージはいずれも、X線の強度を試験するために利用できる。従って本稿は、新しいゲージを示すものではなく、旧来のゲージの簡便な実装法について述べるものである。

ノート 144 に、鏡を内蔵した新しいX線透視装置を示した。透過性ゲージは、この鏡のカバーともなる (図 104-1)。外側のビスによって、ゲージを目と蛍光板の間に置くことができる (図 104-2)。この設計では、蛍光板をそのまま通過したX線がゲージに当たるので、別の蛍光板をゲージに付ける。別の設計では、ゲージを透視装置の外側にヒンジで取り付け、非使用時は倒しておくことができる。いずれも、必要な時にすぐゲージを使うことができる。

写真計測では、常に散乱X線を排除する必要があるため、透過ゲージが蛍光板の照射領域を覆う程度に絞りの開口部が小さくなるように、絞り板の開口部のサイズを制御するロッド (図 101-2, 103-5a, ノート 149) を、回す必要がある。厚さ 1/100mm の純アルミ箔は、他の研究者に向けてX線透過力を表す標準的なゲージとして有用である。

(Electrical Review 1903.4.4)

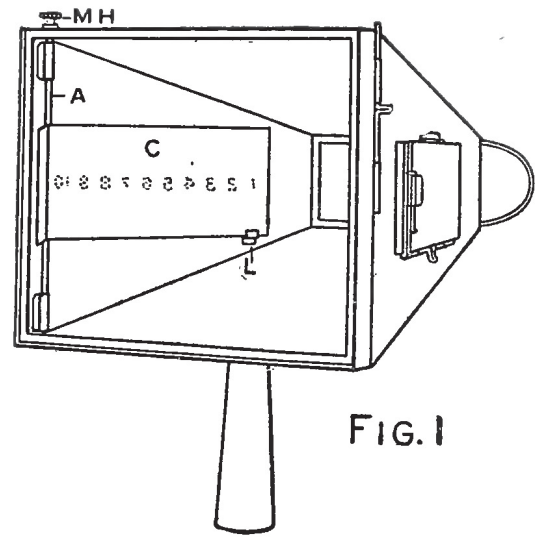


FIG. 1

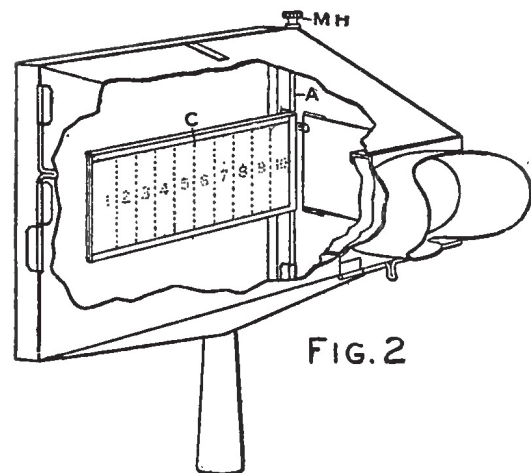


FIG. 2

図 104-1. X線透視装置 (クリプトスコープ) の透過性ゲージを跳ね上げて鏡のカバーとする状態

図 104-2. 透過性ゲージを前におろして使用する状態.

## 反射型 X 線透視カメラ

### ON REFLECTING CRYPTOSCOPIC CAMERAS

- ・ノート B に記載した初の反射型 X 線透視装置
- ・より大型の透視カメラの示説

初の反射型 X 線透視装置と、初の X 線透視カメラは、ほぼ 7 年前、International Dental Journal 1896 年 7 月号に発表したが、他では使用されていない。ノート 48 には、このタイプの X 線透視装置で、患者の心音、呼吸音を聴くことができるものを示した。1896 年以来、多くの反射型透視装置、透視カメラを製作し、有用であることが明らかとなった。そこで、ここで関心が集まるようにさらに試みるものである。本ノートに、このタイプの装置を 2 つ示す。

いずれも、X 線源が患者の上、写真乾板あるいは蛍光板が患者の下にある状態で、術者が透視板の画像を観察できるようになっている。通常、光源がこの位置にあると、術者は検査テーブルの下に潜り込まない限り、画像を見ることはできない。蛍光板上の画像を見て、線源の位置、距離、方向を調整し、オリエンターの画像が蛍光板のどこに当たるかを見て、撮影部位の画像が適切にフィルム上に見えるようにする。ノート 148 の鉄則集を参照されたい。写真を撮影する際には、蛍光板上の画像を見て露光時間を決め、露光時間がある程度長い場合は、組織の細部が見えるように X 線を適切に調整する。最初のカメらは、ノート 147, 147B で述べた人体計測同定法に利用した。

計測する被検者は、図 56-95(ノート 116B, 1901 年 3 月 9 日) およびノート 140 の図に示すような検査テーブル上に寝かせる。図の乾板ホルダーの代わり

に、反射型 X 線透視カメラを使用する。カメラの上面(図 105-1)は、電気技師がファイバー (fiber) と呼ぶ材質の薄層で作られている。カメラのその他の部分は木製で、内面に放射線非透過性になるまで白鉛を塗布してある。上面のファイバー直下に、乾板ホルダーを挿入する溝があり、下部には蛍光板がある。スプリングによって蛍光板はファイバー上面に圧着されているが、乾板ホルダーを挿入すると蛍光板は押し下げられ、ホルダーは X 線源との距離を設定した位置を占めるようになる(図 108-2)。蛍光板はホルダーの下にあるので、X 線は蛍光板に達して画像をうつすことができる。スプリングは、ホルダーを上面に保持する役割も果たす。アイピースは、ノート 145 の図に示した透視装置に付属するもので、すべての透視装置、カメラに適合する。術者は、アイピースを通して鏡を覗き、乾板ホルダーの有無にかかわらず、蛍光板上に足の画像を見ることができる(図 106-3) 従って、乾板をカメラに挿入する前に、光源や足の位置を調整できる。

以前のノートで、乾板ホルダーは、直接 X 線が入射する前面以外を放射線非透過性材質とする新たな設計の必要性について述べた。しかし、放射線非透過性材質で作った反射型 X 線透視カメラの場合、ホルダー背面はカメラの壁によって室内の散乱 X 線から保護されるので、非透過性である必要はない。X 線透視カメラの乾板ホルダーは、乾板ホルダーを通過した X 線が蛍光板に当たって像を観察できるように、乾板ホルダー背面は放射線透過性材質とする必要がある。レントゲンが、垂鉛が X 線を反射すると述べたため、反射型透視カメラの乾板ホルダーには、背面に垂鉛が使用されているものがある。垂鉛はこの目的に十分な透過性があると同時に、その反射特性により乾板の露光時間が

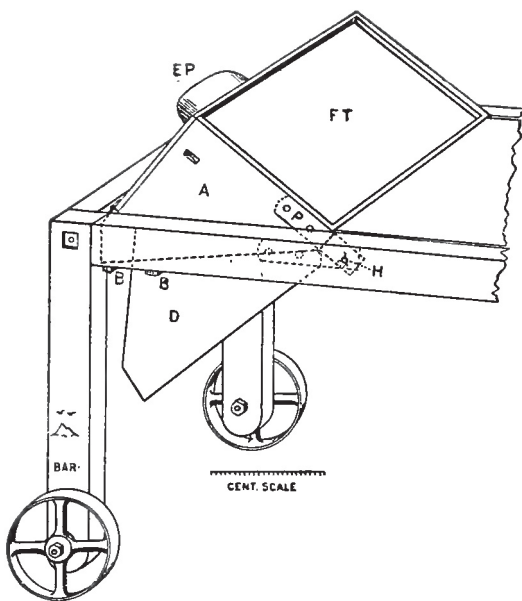


図 105-1. X 線検査テーブルに反射型 X 線透視装置(クリプトスコープ)と透視カメラを取り付けたところ。A: 撮影位置にある透視カメラ。D: カメラを下ろしたところ。P: 金属バー。軸 H の上にかぶせてカメラを検査テーブルから外せるようになる。Bn: カメラを A の位置に保持するボタン。

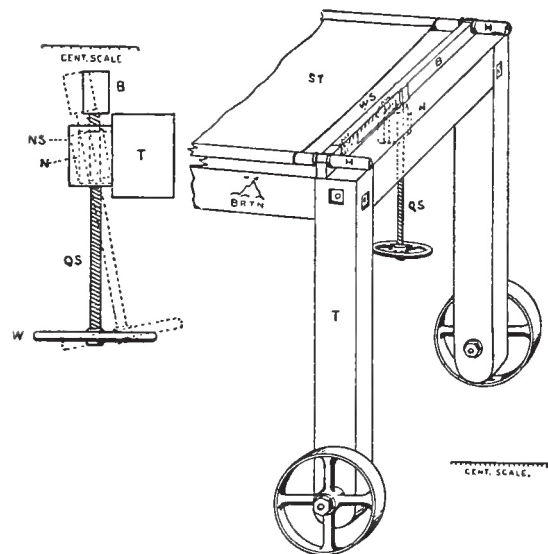


図 105-5. X 線検査テーブルのストレッチャーの挙上メカニズム

短くなる可能性があるためである。このタイプの乾板ホルダーは、背面が垂鉛あるいはアルミニウム製であること以外は、以前のノートに示したものと同じなので、ここには図示しない。ここで述べた足の撮影に使用したカメラでは、乾板がカメラのファイバー前面で保護されているためホルダーは不要で、通常の紙封筒でも代用できるが、次の形状のカメラでは、乾板をカメラの外側、内側いずれでも使用できるように、ホルダーが望ましい。

X線を人体計測同定法に利用する場合、X線源が撮影部位に対して一定の位置にあることが必須である。足の場合、中心光線は、拇趾中足骨と内側楔状骨の間で、関節の反対側で乾板に当たらなければならない。足の人体計測同定では、X線源と乾板の距離は70cmで、距離ファインダーはこの半分の距離に置く。適切に設

定すれば、オリエンターの陰影は径8cmの正方形で、中心に円形がうつるはずである。オリエンターの部品は放射線非透過性のため(ノート116, 1901年3月9日, ノート143, 148, 149, 150, 151参照), ネガフィルム上でその陰影が足の骨とともにうつる。従って、ネガフィルムには、中心光線が乾板に当たる角度とともに、X線源の位置、距離が記録される。

第2のカメラ(図107-4)は、全体の構造は同様である。これは、検査テーブルのサイドレールに懸架し、ストレッチャーに横臥する患者の任意の部位にレール上を動かすことができる。使用にあたっては、まず概略正しい位置に移動し、アイピースを覗いて鏡にうつる蛍光板上の陰影を観察する。X線管ボックスと架台に連結した様々なハンドル(ノート148, 149, 150, 151, 156参照)によって、線源を適切な位置に移動し、適

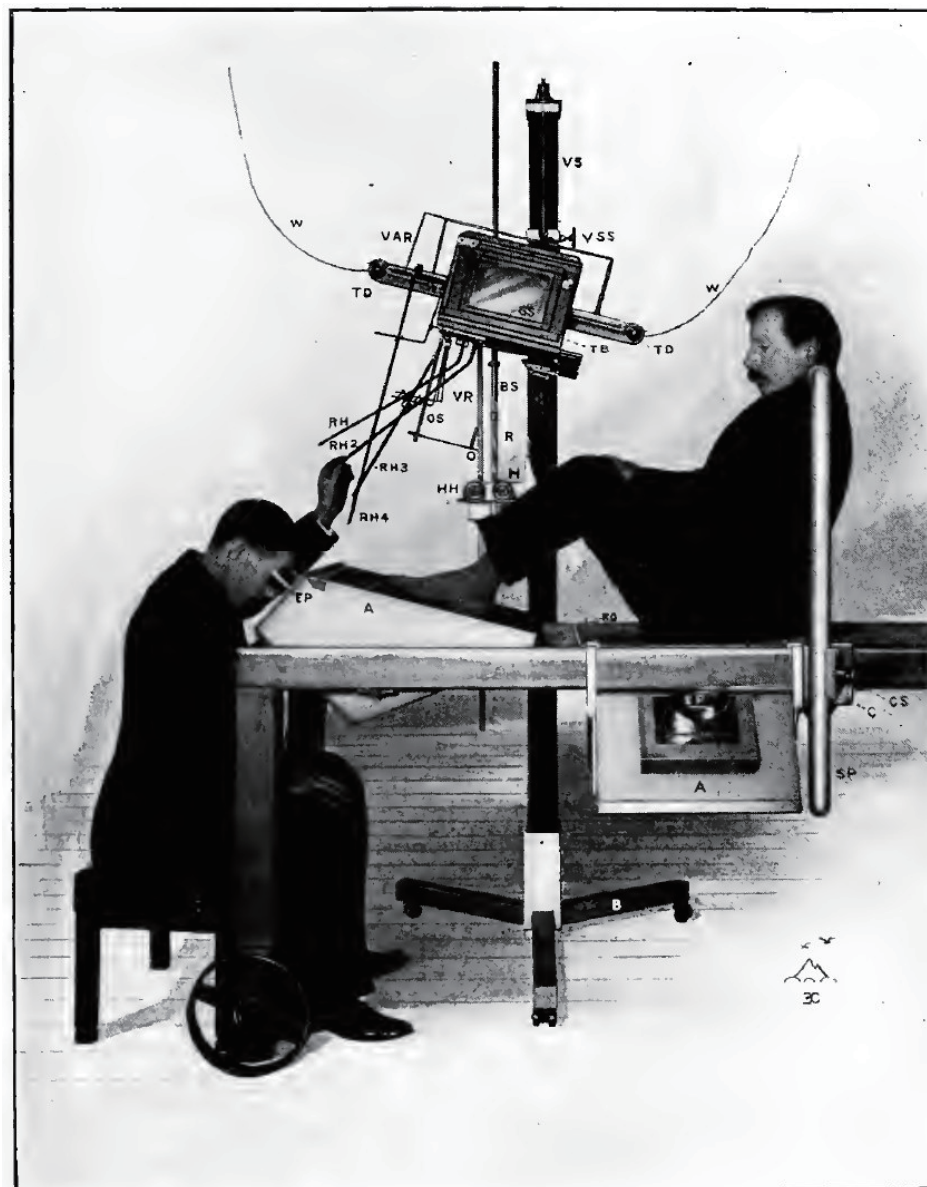


図106-3. 反射型X線透視カメラ。X線による人体計測同定法のために足の撮影に使用される反射型X線透視カメラ。術者がカメラを覗きながら手の届く範囲に6つのハンドルがあり、そのうち2つ(H, HH)は、水平面内で移動させて線源までの距離を調整する。これにより、検査台の回転動作と連動して線源を蛍光板に対して迅速に適切な位置に設定できる。ハンドルRH4は、線質をコントロールする。RH, RH3により、絞りオリエンターを開いて線源の中心に合わせることができる。RH2は、患者の照射領域のサイズを調整する。照射領域は、蛍光板および写真乾板上の画像の鮮明度を損なわないように、できるだけ小さくする必要がある。略字の詳細については、図109-1, 112-4(ノート156), ノート148, 149, 150, 151, 155を参照。

切な線質に調整する。ついで、第1のカメラに写真乾板を挿入するか、あるいはストレッチャー上のカメラ上面に置き、ストレッチャーの一端をカメラを挿入できるように挙上する。挙上のメカニズムについては、以前のノートで述べた。図105-5、18-6に改良版を示す。ストレッチャーは、真鍮製のバー（図中Bはその1つを示す）で保持されている。このバーは2つの部分からなり、ビスMHを回転するとネジSに働いて、2つに分離できる（図108-6）これによって、ストレッチャーSTのキャンバスを任意の硬さに張ることができる（図105-5）。ストレッチャーの一端を挙上して、患者を水平から一定の角度に起こすには、ホイールWを回して複合ネジQSを回す。ネジの一端はバーBに

固定されている。この設計は、実用的かつ頑丈である。ストレッチャーは、バーのノッチから挙上していつでも取り外すことができる。

図105-5、108-6の追加説明。H: ストレッチャーの把手、T: 検査テーブルのバーの終端、これにナットN、ネジQSが付いている。ST: 固定ピン、S: 真鍮製バーを2つに分離するネジ。ノート156、図114-7も参照。線源が患者の上ではなく下にある場合に使う、透視装置とカメラを合体させて別の形のカメラについては、後述する。このタイプは、反射型ではないので、このノートのタイトルにはそぐわないからである。

(Electrical Review 1903.5.23)

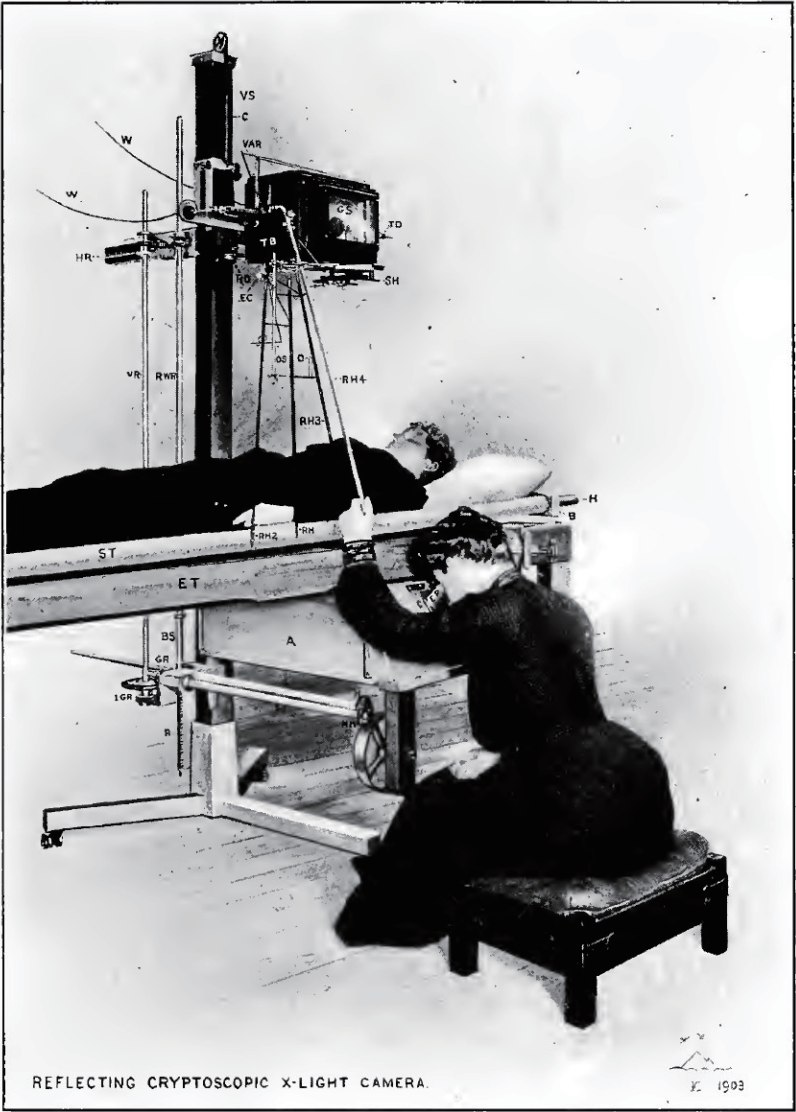


図107-4. 反射型X線透視カメラによる検査。反射式透視カメラ (cryptoscopic camera) による脊椎の撮影。患者は、検査テーブルETのストレッチャーST上に横臥している。術者はカメラAのアイピースEPを覗き込み、患者の真下にあるカメラ上部の蛍光板にうつる脊椎の像を鏡で観察する。脊椎の長軸が透視板、写真乾板とほぼ平行になるように、ストレッチャーの頭部をわずかに挙上している。術者は検査中、ハンドルHH、H、RH、RH2、RH3によって線源の方向と患者の照射領域をコントロールできる。線質はRH4にでコントロールする。略字の詳細については、図109-1(ノート156)を参照。

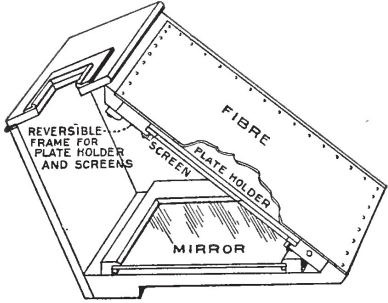


図108-2. 反射型透視カメラ。

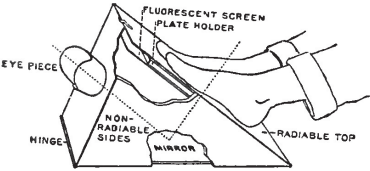


図108-2A. 反射型透視カメラによる足の撮影。

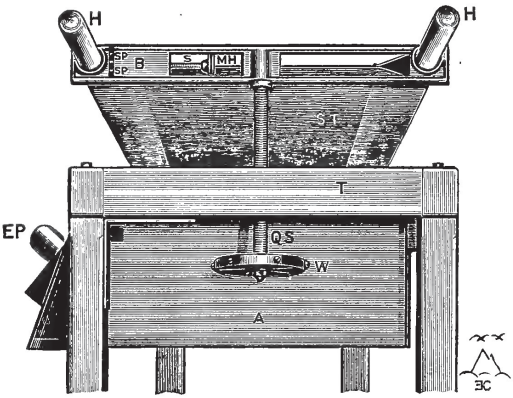


図108-6. X線検査テーブルのストレッチャーの挙上メカニズム。

## X線管の支持装置

### ON SUPPORTS FOR X-LIGHT TUBES

- ・以前に記載した放射線非透過性X線管ボックスとX線管支持装置の改良版

X線管には、患者からの距離と方向を変えることができるように支持装置が必要であることは明らかである。市販の支持装置は例外なく設計の原理が誤っており、医学的、法医学的、人体計測同定の条件を満たしていない。そこで、適切なX線管ホルダーについて説明、例示する。これは、以前のノートで示したものの改良版であるが、既に数回述べた条件を満たす同じ設計によるもので、誤った設計が放棄されるまで同じ事を繰り返す必要があることから、ここに再述するものである。満たすべき条件は、以下の通りである。

第1に、X線管は、検査、治療、撮影に必要な領域をカバーする最小限の線束以外漏洩しないように、放射線非透過性ボックスに入れなくてはならない（ノート148、鉄則その1）。この重要な例は、1901年、1902年のBoston Medical and Surgical Journalで報告した、X線が動物に火傷、失明を起こし、死亡させる実験である。

第2に、X線管ボックスは、X線管を背の高い人の頭の高さに保持できるような、強力な立柱に取り付けなくてはならない。X線管は、時に応じて寝台の下、座位の患者の胸、臥位の患者の上、あるいは立位で頭の高さになどに置く必要がある。

これまでノートに示したようなX線管ボックスとその付属品は約14kgあり、これを立柱内で鉛の重りによるカウンターバランスして、X線管を上下に自由に移動してクランプを使うことなく任意の位置に保持できなければならない。この調整は、X線管ボックスが術者の手が届かない所にあるときにも可能でなければならない。X線管が患者より上、同じ高さ、あるいは下のいずれにあっても、適切な距離をとると手の届かないところにあるが、ノート148の鉄則その3のように、X線を制御するすべての調整が、このような状況下で行えなくてはならない。垂直移動については、ハンドルH（図109-1）が、立柱VSから必要な長さだけ突出している。立柱とハンドルの距離は、ロッドS2がシャフトBの四角穴の中を自由にスライドして調節できる（図110-2）。ハンドルH（図109-1、110-2）は、X線源を垂直、水平に動かす支持装置SUによって任意の高さに置くことができる。鉄則その3により、X線源のすべての調整は、術者が透視装置を見ながら行えなくてはならない。従って、ハンドルHの位置は垂直、水平いずれも広範囲にわたって動く必要があることは明らかである。ハンドルHの位置は、線源の下、

検査テーブルの片側（ノート155、図106-3）、線源とテーブルの下（ノート155、図107-4、線源の上にある場合（図109-1、114-7））などもあるからである。このため、支持装置SUは、立柱から簡単に取り外せて、X線管ボックスを支える垂直スライドの上から下にすぐに移動できなくてはならない。

また、線源を移動するメカニズムを支えるため、クランプによって支持柱を堅固にする必要がある。いくつかの支持法を試したが、ここに図示するものが効率的であった。図110-2に、立柱VSにクランプする方法を示した。ビスMHがネジSに作用することによって、アングルピースAが前方に押し出されて立柱SVがサポートSUのアングルCに押し込まれる。サポートを外すには、ネジを反対に回せばよい。点線は、サポートが開放された状態を示す。垂直方向の調整は、ハンドルH（図109-1、110-2）を回して、シャフトS2とギアPを介してラックRに動きを伝える。ラックRの一端にはソケットBS（図109-1）があり、そこにネジBSMで固定された木製ロッドRWRが取り付けられている。ロッドRWRは、垂直スライドスリーブVSSに取り付けられたソケットを貫通し、X線管ボックスTBの水平アームSAを支えている。木製ロッドRWRは、サポートSUから最大180cmの距離で水平アームの垂直スライドサポートに固定でき、これは十分な範囲である。クランプした状態でハンドルHを回すと、線源が上下する。動きやすくするため、X線管ボックスとアームの重量は、立柱VSとSV（図109-1、110-2）内の鉛の重りによってバランスされ、2つのロールRO（図109-1）（1つは垂直スライドサポートVSSの上部、もう1つは下部にある）によって摩擦が軽減される。

第4に、立柱VSは、キャスターで床上をいずれの方向にも簡単に移動できる堅固なベースにしっかりと取り付ける必要がある（図106-3、107-4、ノート155）。

第5に、X線管ボックスは、既に述べたようにスライドアームSAによって垂直スライドサポートVSSに取り付けられ、このアームにはゼロマーク（図109-1）の両側にcm単位の見盛りを付ける必要がある。この示標により、垂直サポートVSからの距離に関係なく、ゼロマークに位置を合わせることができる。水平方向の調整は、X線管ボックスが手の届かないところにあってもできる必要がある（ノート148、鉄則その3）。ウィリアムズは、スライドアームの代わりにスイングアームを採用したが、この手技には不向きである。この動きの重要性を示す例として、骨盤の検査で骨盤縁の大きさを測る場合、歪みを避けるためにX線管を測定した距離だけ移動させ、まず線源を片側の真下に置き、次に対側の下に置く必要がある。さもないと、幅が誇張されるからである。すぐに結果を知ることができるためには、蛍光板の画像から目を離さずに、線源の位置を変更できる必要がある。オリエンターに連結した

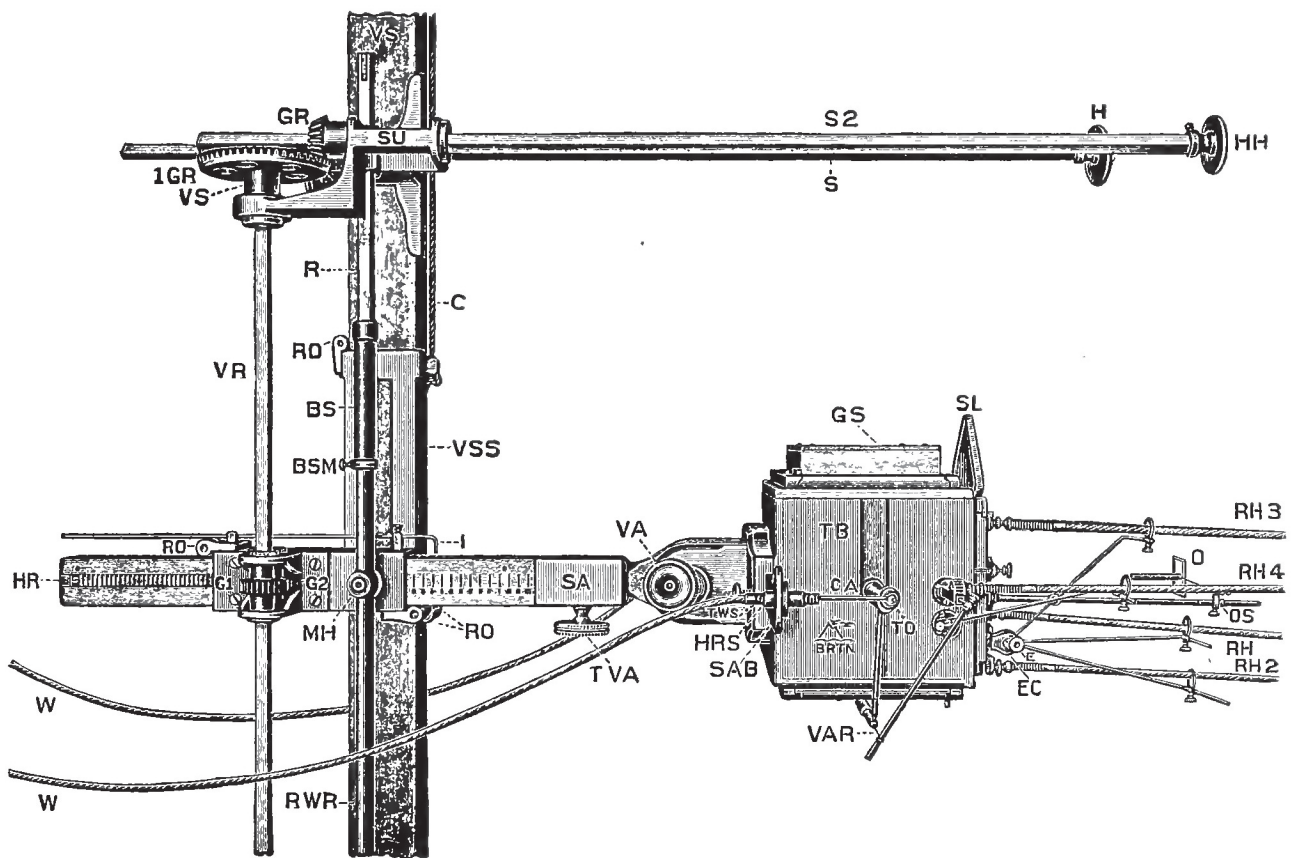


図 109-1. 放射線非透過性 X 線管ホルダーとその支持台の詳細。W：発電機への電線。C：カウンターバランスのコード。RH：絞り板開口部のサイズ調節ハンドル（詳細はノート 149 の図参照）。RH2：絞り板開口部を上下させるハンドル。RH3：絞り板を水平に動かすハンドル。RH4：真調整管 VAR を操作することにより、線質を調節するハンドル。O：オリエンター（詳細はノート 143, 150 参照）。OS：オリエンターの支持台。SL：シャッターの開口部を閉じるスライド。GS：X 線管が見える透明な放射線非透過性窓が付いたスライド。TVA：垂直円弧の止めねじ。TD：発電機への電線 W の電極板。HRS：電線 W 用の硬質ゴムスリーブ。SAB：電極線と電極ディスクを支持するスライド式木製アーム（詳細は図 115-1, 2, ノート 157 参照）。EC：調整ハンドルのアームのサポート。E：図 113-5, 6 の設計による止めねじ。

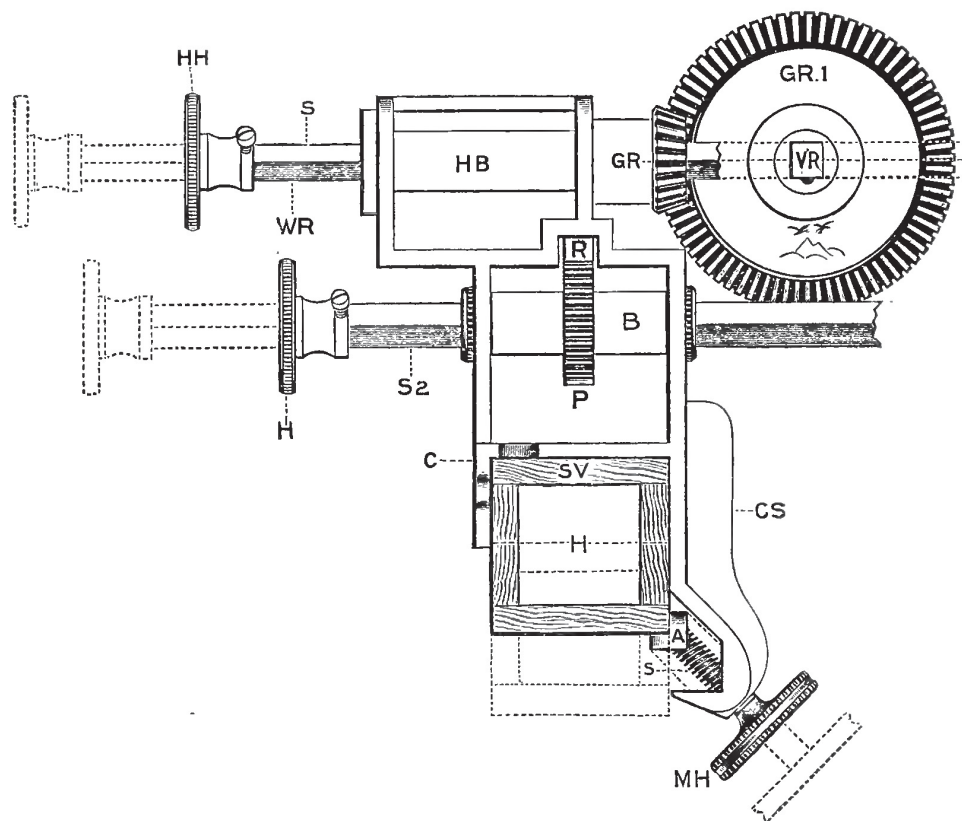


図 110-2. 図 109-1 の支持台 SU の詳細。

目盛り付きアームと、X線管の動きをコントロールするハンドルで、これが可能となる。X線管の移動距離は、ハンドルHH(図109-1, 110-2)の回転数からわかる。また、後で目盛りから読取することもできる。

このハンドルHHは、横方向の正確な移動に必要である。粗い予備的な移動は、床面にX線管支持台のキャスターはめ込むに短い溝を設けることで可能である。X線支持台を別の方向に動かす必要がある場合は、キャスターをすぐにこの溝から開放できる必要がある。図109-1に、水平方向の運動メカニズムの詳細を示す。線源の動きは、常に術者の手の届く範囲にあるハンドルHHを回すことによってアームSAを通じて伝えられ、蛍光板の画像から目を離す必要はない(ノート155, 図106-3, 107-4)。正方形の木製シャフトSSは、ベベル付き歯車GR1, G4を動かす。これが、正方形のロッドVRを介して歯車G1, G2を動かす。歯車G2は、水平アームSAのラックHRを動かし、これにX線管ボックスTBが取り付けられている。ロッドVRは、歯車G1の軸内の正方形の穴を自由にスライドして、X線管ボックスの水平方向の運動を妨げることなくこれを上下できる。この運動を容易にするために、アームSAはローラーROの上を移動する。

X線管ボックスは、X線管の長軸、および短軸に平行な直交する2つの垂直面を円弧運動するように置く。

この運動が重要であることは、ノート140の図78-4, 79-5, ノート156の図112-3, 112-4で、顔面、口腔の疾患を治療する時の管球の位置に示されている。この垂直面の円弧運動は、ノート144及び本ノートに図示した集光器(light concentrator)を使用する際に重要である。図85-9, 86-10(ノート140), 図106-3(ノート155), 図114-7(ノート156)では、X線管ボックスが、X線管の横軸に平行な軸の回りに回転することの重要性が良くわかる。最も良い方法はウォーム歯車を使うことで、図に示すクランプ装置が不要になるが、高価なのでここには示さない。X線管ボックスとその支持装置の重量が重くなると、最初に示したクランプ装置は使いにくいことがわかり、図113-5, 6に示すより良い方法を採用した。ここでは、両端が平坦な鋼製ロッドを、X線管ボックスの回転軸とした。アームBTの端を円形として、ここに金属板MPをはめる。ビスMHは、突出部の1つの陥凹のナットNの中で回転するネジにつながっている(図113-6のX線管ボックス)。このネジ頭を回転すると、金属板に圧がかかり、任意の位置でアームをしっかりと固定できる。これは簡単であえて説明するほどのものではないように思えるかもしれないが、毎日使うものである場合、簡単かつ正確であることは重要である。

第6に、X線管ボックスは3つの長方形開口部を備え、

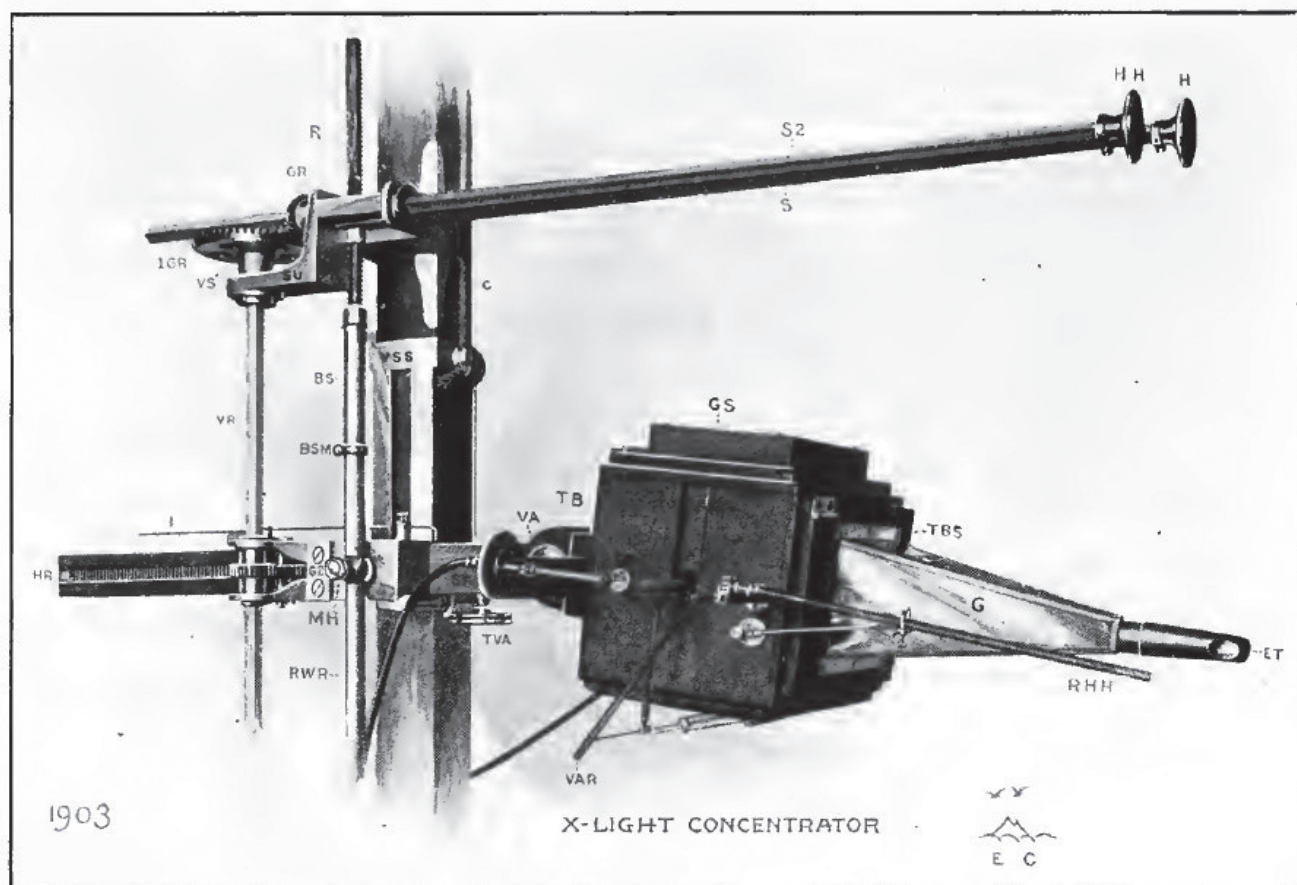


図111-3. 集光器を備えたX線管ボックス。放射線非透過性X線管ボックスTBには、X線を反射する亜鉛で裏打ちされた放射線非透過性のピラミッドが取り付けられている。先端には、側面に開口部ETを備えた亜鉛で裏打ちされた鉛管があり、集光したX線はここから治療部位に放射される。サイズと形状の異なる複数の末端が必要である。線質はハンドルRHHで調整できる。本文で説明した動きにより、末端ETを患者と適切な位置に置くことができる。略字の詳細については、図109-1の説明と本文を参照。

そのいずれかから X 線が放出され、線源の上方、前方、下方で患者を検査できる。開口部の 2 つは、放射線非透過性スライド板で閉鎖し、そのうち 1 つは X 線管が見えるようにガラス製である必要がある (ノート 155, 図 107-4. ノート 156, 図 114-7). 3 つ目の開口部には、透視装置で患者を観察しながら照射領域を必要最小限に縮小するため、サイズを調節できる長方形の開口部をもつ放射線非透過性絞り板を備えたスライド板を設ける必要がある (ノート 148, 鉄則その 1). この絞り

板については、既にノート 149 に図示した。その他、ノート 144, 156 (図 111-3, 112-4) に示す集光器、屈光器を取り付けるスライド板も備える必要がある。スライド板はすべて互換で、X 線管ボックスの上部、前面、底面いずれにも使用できる。図 106-3, 107-4 (ノート 155) には、線源の下の患者を検査用するための絞り板とシャッターをつけた X 線管ボックスを示す。

オリエンター (ノート 117, 143, 148, 155, 156, 図 106-3, 107-4, 109-1, 114-77) は、絞り板に取り付け、

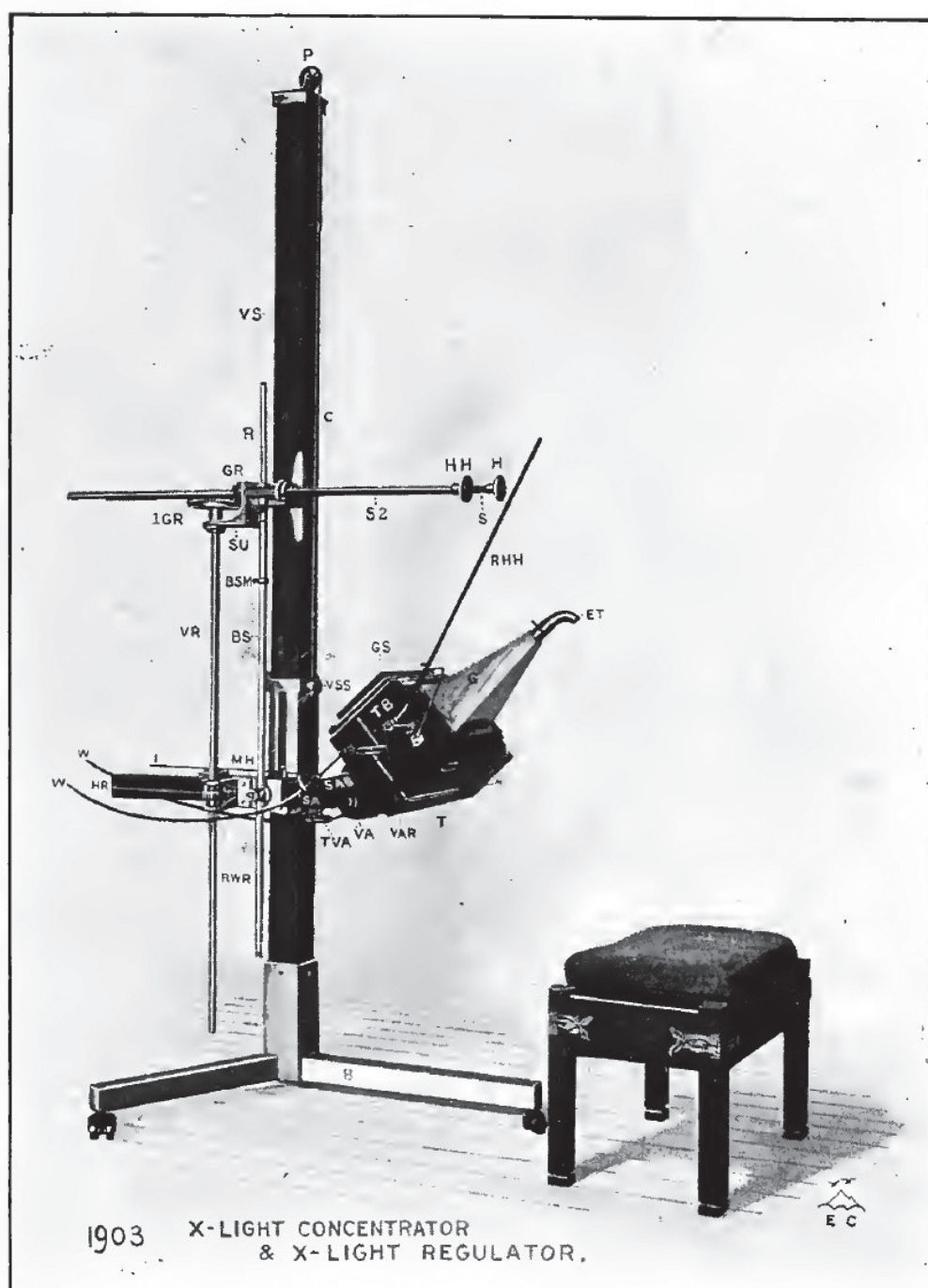


図 112-4. 口腔疾患の治療用に構成した X 線集光器を備えた放射線非透過性 X 線管ボックス。口腔疾患の治療用 X 線集光器を示す。放射線非透過性材質の終端 ET を口腔内の患部に当てる。ハンドル H, HH, および本文で説明する垂直方向の円弧の動きにより、終端 ET の開口部を椅子に座った患者に対して適切な位置に調整できる。略字の詳細については、本文および図 109-1 の説明を参照。

術者が同時に動きをコントロールできるようにしなくてはならない。術者は透視装置を覗きながら、照射領域を調整し、オリエンターでフィルムあるいは蛍光板と線源の距離、方向を調整し(鉄則その4)、中心光線がこれに当たる角度を自動的に記録する位置に配置できなければならない(鉄則その5)。検査中は、光量、および光源、患者、透視装置の相対的な位置を頻繁に変更する必要があるため、検査を科学的なものとするため、これらすべてがフィルムに明確に記録され、常に見えていなければならない。

これらの方法は、X線の標準的な教科書には記載がなく、患者に対する線源の位置を調整するための鉛直線のような不完全な方法しか説明されておらず、また検査中に線源を調整することも実行されていない。平均

的な医師にとって、透視検査は非常に難しいため、さまざまな器具の補助が必要になる。そのため以下のノートでは、繰り返しを恐れず、小規模な病院で使用するために友人のために製作した器具を説明する。これにより、透視、治療に適した器具に関して教科書の欠点の一部を補うことができることを期待する。適切な器具を使用すれば、透視検査はより迅速、科学的、正確なものとなる。

第7に、X線管ボックスは、胸部瞬間撮影用の自動シャッターを備えていなくてはならない。このシャッターは、ノート139に図示した。より良いものを、ノート149, 155, 156にも示した。

詳細は後述する。

(Electrical Review 1903.5.30)

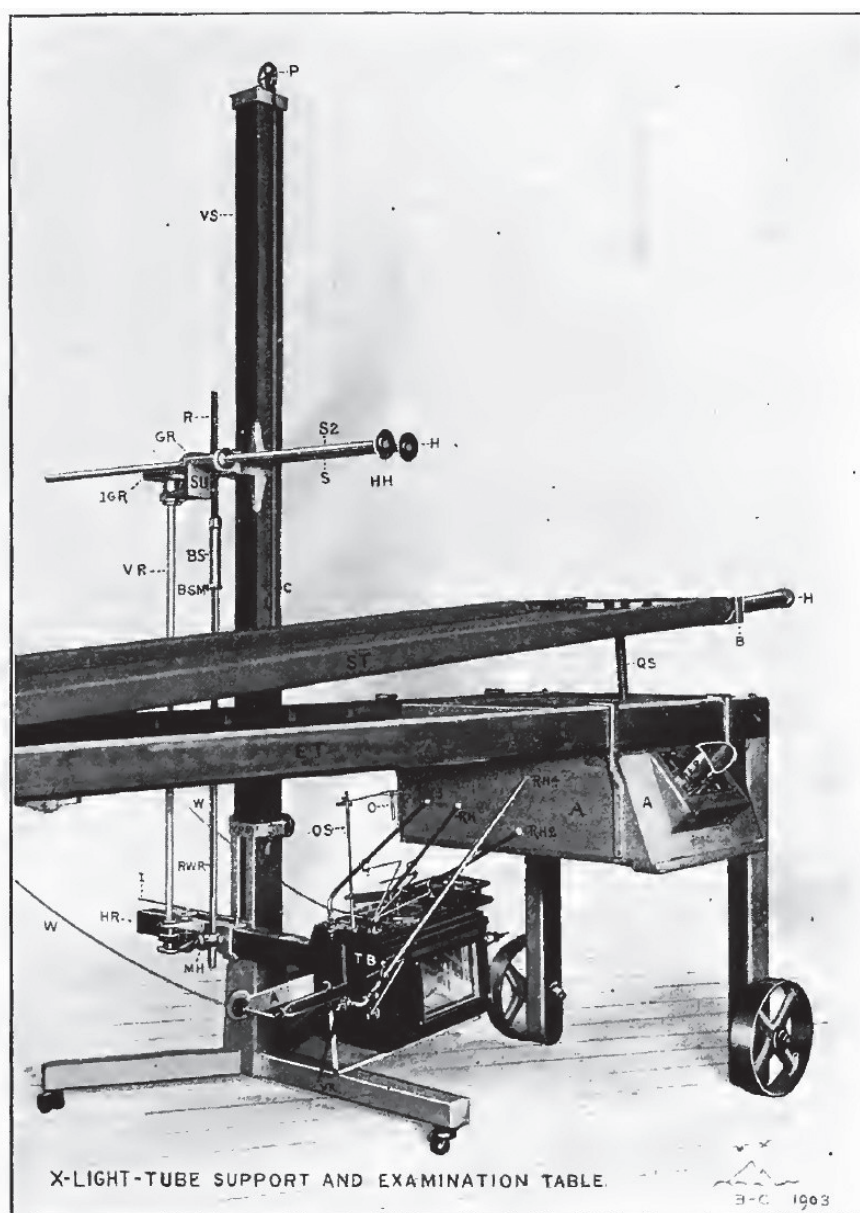


図114-7. X線検査テーブル。ストレッチャーの挙上メカニズム、放射線非透過性X線ボックスとその支持台、テーブルのレール上をスライドする放射線非透過性透視カメラを示す。X線管の横軸と平行な軸の回りに、X線管ボックスが垂直面内で回転できる必要があることを示す。ストレッチャーSTを傾ける必要がある場合(例えばノート139)、写真撮影においてX線管ボックスから放射される中心光線は、この動きがなければ乾板の表面に垂直に当たることができない。X線管ボックスはストレッチャーに対して傾いているように見えるが、これは撮影に使用したレンズの焦点が短いことによる見え方の問題である。略字の詳細については、本文および図109-1参照。

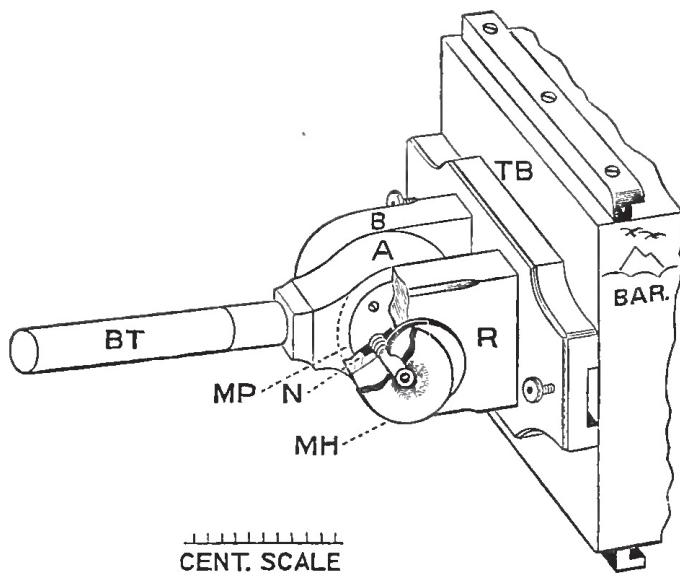


図 113-5. X 線管ホルダーの回転メカニズムの詳細

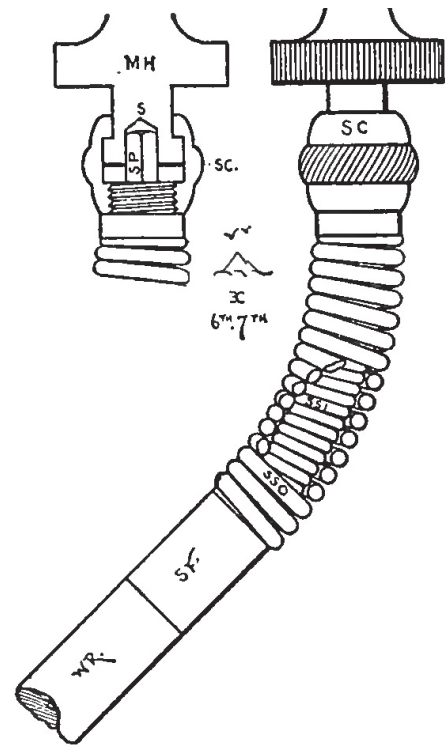


図 116-8. 図 109 に示した放射線非透過性 X 線ボックスの調整ロッドの螺旋スプリング.

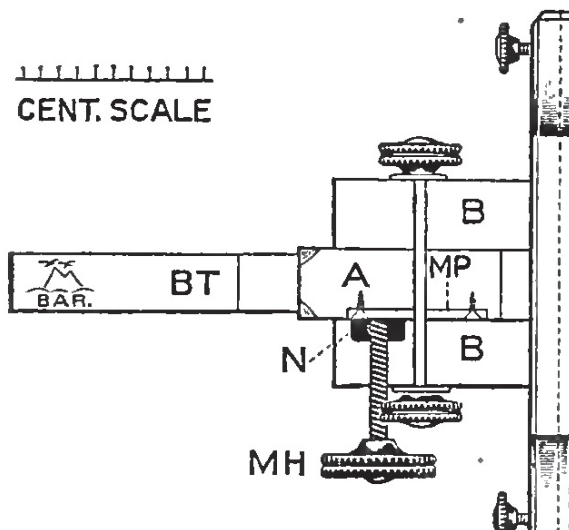


図 113-6. X 線管ホルダーの回転メカニズムの詳細

# X線管電極と発電機の接続法

ON THE MEANS OF ATTACHING THE TERMINALS OF THE X-LIGHT TUBE TO THE ELECTRIC GENERATOR

当初、エックス線管にはすべて、発電機からの電線を接続するための白金製ループが両端に付いており、そこに電線を引掛けるようになっていた。誤って電線を引っ張ると(透視検査を行う暗室ではしばしば起こる)、電線周囲のX線管に亀裂を生じ、再ポンプ排気が必要になるほど損傷することが分かったため、ループは放棄され、らせん状のスプリング接点を使用され、X線管端子はまっすぐな突起となった(ノート4, 1897年12月15日, ノート138)。この螺旋スプリング接点をノート139の図に示す。暗室で使用しやすい改良版をここに示す。

ノート36(図12-34)には、スライドアームを備えた放射線非透過性X線管ボックスを示す。これは、必要以外のX線が室内に漏洩することを防ぐために1896

年以來使用されて来た。この種のボックス(図115-1,2 TB)は、接触棒CPを支持するスライドアームAに取り付けられており、接触板Dを長いX線管にも短いX線管でも、その端子に接触することができる。アームは、ビスMHによって任意の位置に固定できる。接触板Dは、鋼製ロッドRの端にあり、ロッドにはピアノ線の螺旋スプリングSPが巻かれており、これによって接触板は常にX線管の端子Tに密着している。接触棒は、硬質ゴムのカラーとスリーブ(HR)で絶縁されている。接触棒の長さは可変で、任意の位置にネジSで保持できる。もう1つの同じようなネジによって、発電機からの電線Wが接触棒に固定されている。図115-1, 2に示す取り付け法は、安全かつ迅速である。これにより、発電機からの電線が偶然強く引っ張られても、X線管に負荷はかからない。また、管の端子と発電機は常に接触しているため、接続部分に火花間隙はなく、電源からの熱によって端子周囲の管が割れることもない。

(Electrical Review 1903.6.6)

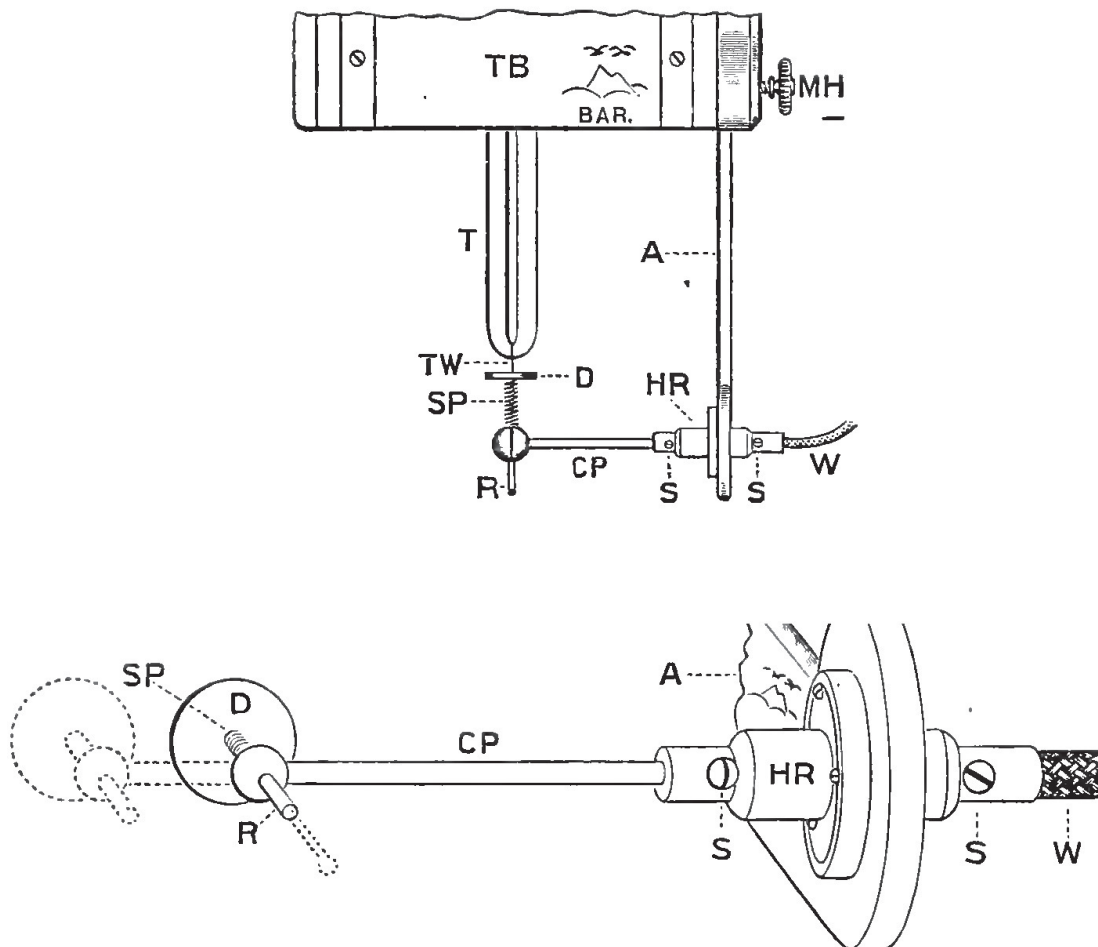


図 115-1, 2. X線管を発電機の電線に接続する方法の詳細

# 写真の鮮明度を改善する X 線管－患者間の金属シリンダー

ON METAL TUBES BETWEEN THE X-LIGHT TUBE AND THE PATIENT FOR IMPROVING THE DEFINITION OF THE PHOTOGRAPH

1896 年、リーズとストークス (Leeds and Stokes) は、絞り板により X 線写真の鮮明度が向上することを発表した。同年 8 月 19 日の International Dental Journal に、絞り板の医用改良法の説明と図が掲載された。この絞り板は固定ではなく、撮影する X 線の中心光線にあわせて同心円状に調整できる。中心光線は、常に乾板に垂直に当たることから、このことは重要である。その後、検査、治療、撮影する領域以外には、直接 X 線を照射してはならないことが示された。これを実現できる X 線管ボックスを示す。

また、ノート 10(1898 年 1 月 5 日) に述べたように、X 線は組織内散乱を最小とする波長としなくてはならず、不適切な波長の X 線による散乱光は不必要に散乱して、鮮明な画像を妨げる。このノート、および同じ問題に関するノート 6(1897 年 12 月 22 日) は、X 線の文献の中でも重要な寄与をするものであるが、その価値はまだ充分理解されていない。不要な X 線の漏洩を防ぐもう一つの理由は、X 線球面波として広がり室内を化学線ミストで満たし、あらゆる方向に X 線を放射して線源の対側にある物体の像を作るのに十分な力で乾板の裏面を貫通するため、写真や蛍光板の無用な露光を防ぐことが重要であるためである。幾人かの医師がこのような考えを具体化する装置を報告しているが、いずれも不完全である。ドイツからの報告の 1 つを、友人が部分的に翻訳して教えてくれた。この本には、写真乾板の画像の鮮明度を改善するための、著者による多くの図が掲載されている。アメリカの医師は、ドイツに範を求め、ドイツの医用装置は関心を集めているが、これより早期のより優れたアメリカのものは無視されてきた。そこで、この著者の誤りについていくつか述べてみる。

以前のノートで推奨したように [151]、散乱 X 線を遮断するために患者を放射線非透過性シートで覆い、検査、治療、または撮影に必要な領域をカバーする最小限の線錐以外の X 線が漏洩しない、独立した支持台に取り付けた任意の位置に簡単に移動させることができる非透過性ボックスに X 線管を収めるかわりに、この著者は患者が仰臥している検査テーブルに X 線管を取り付けている。そして、X 線管と患者の間に、患者の体に金属シリンダーを置いている。X 線管の側方、後方は開放されており、X 線が漏洩して室内には放射性ミストが充満する。その影響については、既に述べた通りである。X 線はターゲットの放射部位から球状に

拡がるため、このセットアップでは必要以上の X 線が患者に当たる。この不要な X 線が金属シリンダーの側面に当たる。レントゲンとテスラは、チョークが長波長の光を反射するのと同じように、金属が X 線を反射することを示した。他の研究者も、X 線が当たる金属表面はいずれも、同じような性質の光線源となることを証明している。従って、金属シリンダーを使用すると、写真乾板にミストの影響が及ぶことは明らかである。反射、変質した余分な X 線が組織内で散乱し、乾板の画像がぼやけるためである (ノート 10)。このような光線は、適切な、小さな点から発生する直接光ではなく、非常に広い領域から発生する光線であるため、鮮明な陰影を作ることができない。

X 線を科学的に使用して、非常に鮮明な陰影を得るために、我々はターゲットの小さな放射領域から発生する X 線以外のものをできる限り排除しなくてはならない。ノート 41, 41a には、管内絞り板を備えた X 線管を示した。次の様に述べる重要な X 線の鉄則を述べるができる。鉄則その 6:X 線写真撮影では、ターゲットの放射領域から発生する X 線だけが乾板に当たるようにしなくてはならない。ここで批判したような金属シリンダーを立てる方法は、まだ物事が良く理解されていなかった 1896 年の夏に登場したものであるが、この金属の内面を使う方法は、治療目的以外には放棄されている。治療目的には、金属シリンダーのかわりに円錐 (コーン) がその後使われるようになり (ノート 144, 156, 図 112-3, 4)、欠点は長所に転じた。反射 X 線は、光量を増量させることで有用であるためである。さらに、光線に角を回らせることが可能で、これは患者の不便を考えると直接 X 線を使用することが容易ではなかった口腔やその他の体腔の疾患、前立腺その他の体表近くの腺の疾患を治療する上で重要な特性である。X 線撮影で X 線管と患者の間にシリンダーを置く場合、材質はファイバー、木材の類とし、その内面に白鉛を塗布して放射線非透過性とするべきである。

このようなシリンダーは、患者が仰臥する検査テーブルに取り付けるのではなく、金属シリンダー以外から X 線管が漏洩しないようにした放射線非透過性 X 線管ボックスに取り付けるべきである (図 111-3, 112-4, ノート 156)X 線管とそのボックスは、常に独立した支持台に取り付け、患者の任意の部位を X 線源に対して適切な位置に迅速に移動できるようにしなければならない。X 線管を患者を載せた検査台に取り付けることは、モリッツ (Moritz) が開発した内蔵の輪郭をトレースするような特別な場合を除いて不適当である。ここで批判した金属シリンダーの断面は円形である。従って、写真乾板の一部が無駄になったり、あるいは組織が無用に照射されることになる (ノート 149, 図 116-1 参照)。このようなシリンダーを透視検査に使用すると、透視装置は必要以上に大きくしないと、組織が無用に

照射されることになる。適切に製作した放射線非透過性の透視装置は重いことから、大きさは重要である。

この問題は、円形の乾板あるいは透視装置を使用すれば回避しうる。これは、写真乾板について言えば実用的とは言えないが、X線透視の場合は、例えば小型シーヒアのように円形の透視装置が使われることがあり、必ずしも忌避すべきものではない。金属シリンダーをX線管と患者の間に置く場合、その断面は、既に示した集光ピラミッドのように、長方形でも良い。このようなX線管の支持装置は、X線管を独立した支持台に取り付け、患者を自由に水平移動する検査テーブルあるいは立位、座位でも同様に自由に動けるようにすることで、迅速に調節できることから、実用的に推奨される。

(Electrical Review 1903.6.6)

[151] ノート 94 参照。

## ノート 159

### 断続器は誘導コイルに必須の部品ではない

#### A BREAK NOT A NECESSARY PART OF AN INDUCTION COIL

X線管励起用の静電発電機とコイルの比較にあたって、コイルの必然的欠点は、透視検査で使う場合にX線を不安定にする断続器であるとしばしば言われる。これを批判する者は、断続器は誘導コイルに必須のものではないことを失念している。これまでのノートで、X線管の励起に高電圧コイルを推奨している理由の1つは、そのようなコイルは断続器を必要としないからである。なぜなら、一次側に市販の交流発電機からの交流を使用することで、抵抗が低い場合でも二次側にX線管の励起に十分な電圧を発生させることが実際的であるためである。スポッティスウッドとウォード (Spottiswoode and Ward) は、このようなコイルでX線管を励起できることを初めて示した。1879年、彼らは一次側にデメリテンス (De Meritens) 発電機の交流を使って、20インチのコイルで使用できることを実証した。二次側の火花長は7インチで [152]、鉛筆ほどの太さで非常に安定しており、二次側にコンデンサーを置かずにスペクトル測定に利用できた。ノート 112, 137 に記載したコイルは、二次側が焼損する危険がないため、このような激しい放電にも適している。

(Electrical Review 1903.6.27)

[152] より高周波数の特別発電機を使えば、より長い火花長が得られる可能性がある。

## X線管励起には小型コイルか、大型コイルか

### SMALL OR LARGE INDUCTION COILS FOR EXCITING X-LIGHT TUBES

医療用 X 線管の抵抗は 3 インチを超える必要がないため、X 線管励起に大型コイルは必要ない、と一般的に言われる。従って、この抵抗を克服するために必要以上に高電圧を発生するコイルを使用することは賢明ではない。大型コイルは高価で扱いにくく、二次側の細いワイヤが長いため、十分量の電流を供給できないからである。しかし、偉大な実験者たちの仕事は記憶にと留めるに値するものである。たとえば、トロブリッジは、空中で 6 フィート放電するに十分な電圧の発電機を使用して、100 万分の 1 秒で手の骨の写真を撮影した。

通常の抵抗の X 線管を励起できるコイルの電圧で充分であると主張する人々が、このような短時間の露光を実現できるようにならなければ、高電圧に対する彼らの反論は説得力がない。現状の露光時間は、30 ～ 60 万倍も長いからである。しかし、小型コイルの使用が依然として推奨されていることを考えると、X 線管に高電圧を使用する利点について、以前のノートに述べたいくつかの理由を、あらためて繰り返す意味があるであろう。

第 1 に、X 線管をポンプ排気する場合、X 線管の寿命を長くするためには、電極にできるだけ多くのガスを残す必要がある。このような X 線管は、調整器から新鮮なガスを導入して抵抗を下げる必要を生ずるまで、数時間使用できる。最初に数分以上の強力な放電を行うと、大量のガスが放出され、抵抗は 1mm 以下になる。この状態では、低電圧コイルは有用な X 線を発生できない。しかし、コイルが高電圧で、サージを抑えれば、陰極線内の亜原子は、ターゲットへの途上に通過しなければならない管内の粒子雲が増加してもターゲットに十分な力で衝突し、医療用に適した X 線を生成するのに十分な加熱が得られる。これが、現状では高電圧コイルが有用である理由の 1 つである。

第 2 に、このような X 線管は、強力な電流によって抵抗が急速に低下することを防ぐために電極が非常に乾燥している X 線管に比べてはるかに長寿命である。

第 3 に、ノート 159 で述べたように、断続器を排して安定した X 線を得るために、小型コイルの一次側に交流電流を使用しようとする、コイルの電圧が低いために X 線が生成されなくなる。小型コイルは、携帯型装置に最適で、この場合 X 線管にはノート 138 に示すような自動調整管を備える必要がある。電極を乾燥状態にしておくと、大電流でも抵抗が急速に低下することがなくなり、調整管から放出されたガスが再吸収されて初期の高抵抗が十分に低下し、電流が流れるよ

うになる。

2 つの説がある場合、どちらが良いかを定める最も良い方法は、それぞれを両極端に推し進めてみることである。

X 線管の高電圧支持説を極端に推し進めると、トロブリッジの超短時間露光に行き着く。低電圧支持説で同様のことを行くと、陰極線内の亜原子がターゲットに対して十分な力で衝突せず、X 線を発生できないため、露光時間をどれだけ長くしても、X 線写真を撮影できないことになる。低電圧コイルの使用については、将来 X 線管が完成したときに、以下に述べる著名な研究者の実験を心に留めておくが良いであろう。これらの実験は、コイルや静電発電機は、X 線装置の必須部品ではなことを示すものだからである。1897 年、ウィリアムズ博士は筆者に、E. トムソン教授が、筆者が製作した冷却ターゲット管を発電機につないで、十分な X 線を発生できたと語っている 1900 年、トロブリッジ教授は、バッテリーの電流で X 線管が豊富な X 線を発生することを筆者に示している。このいずれも、おそらく電圧は 20,000V 以上ではなかったであろう。これは火花間隙 2cm を超えないコイルで発生できる程度である。従って、X 線管が適切な状態であれば、コイルや静電発電機なしで容易に得られる低電圧の電流で、医療用に適した質、量の X 線を発生できることが明らかである。現状の問題は、X 線管の電圧が低い場合に大電流を流すと適切な条件を長く維持できないことである。

(Electrical Review 1903.6.27)

# 電解式断続機における白金電極の移動について

## ON MOVING THE PLATINUM TERMINAL OF AN ELECTROLYTIC BREAK

ドイツにおけるスポティスウッド (Spottiswoode) 断続器, すなわち電解式断続機の再発見が Electrical Review 誌で紹介されてから間もなく, X線管励起用誘導コイルの一次側電流の断続実験を行った. X線は蛍光板で診断できるほどには安定せず, これを安定させるために白金ポイントを溶液内で移動させてガスを抜く方法をとった. ハインツ (Heinze) 氏はこの方法を知

り, 後に非常に巧妙な断続器に利用した. これらの実験で, 電極を移動するために使用された方法のいくつかは以前のノートで述べたが, ここではその時に行われた別の方法を示す.

白金ポイントは, ネジの形で, 小さなモーターで回転する. 水浸する深さは, ハンドル RH5 (図 116-8) で操作するネジで, 以前のノートで示したような螺旋スプリングによって変化する. この方法で, 術者は検査中に, 蛍光板から目を離すことなく X線の強さをコントロールできる. この図から, 断続機の構造は明らかであろう (図 116-1).

(Electrical Review 1903.6.27)

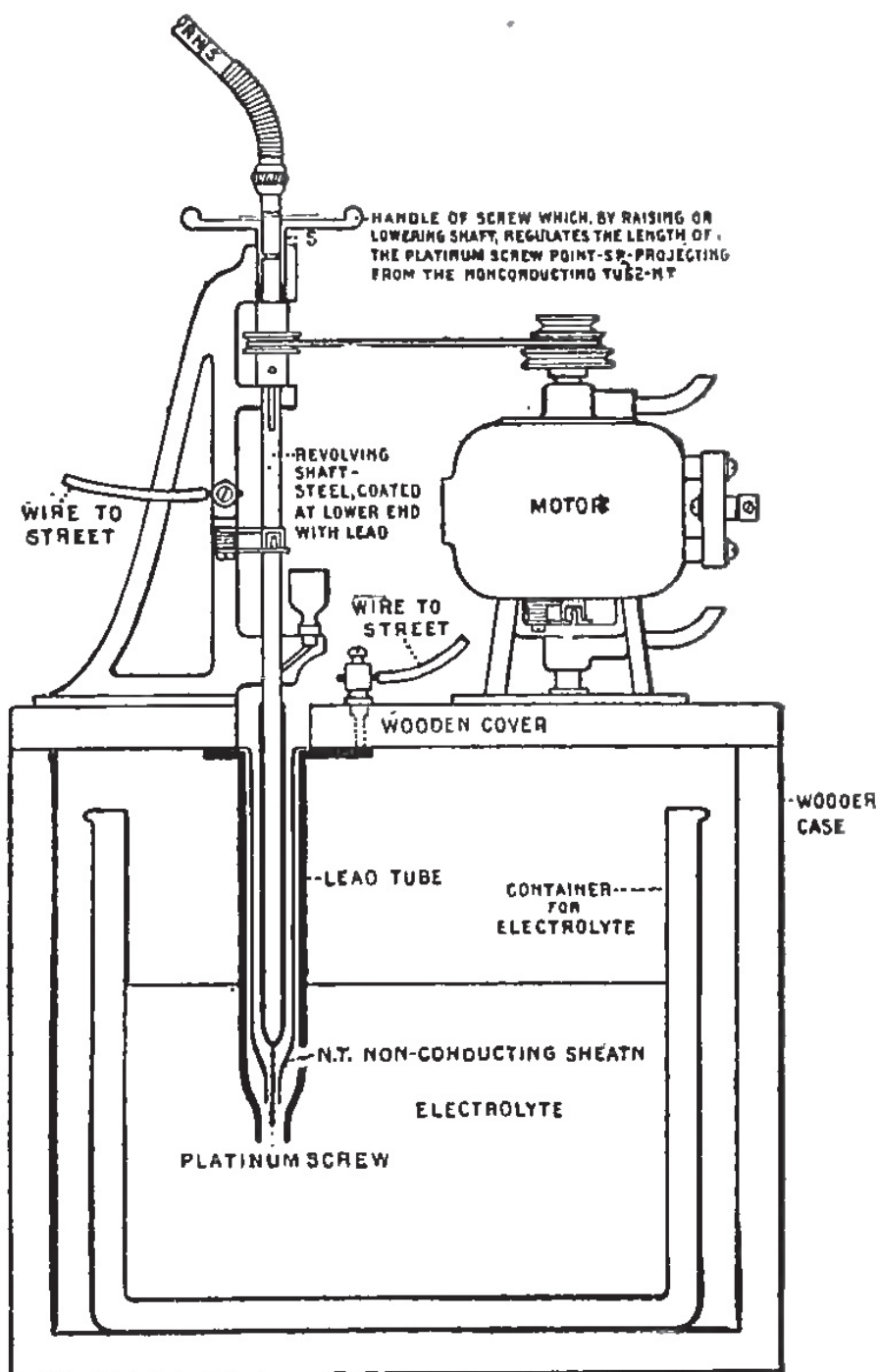


図 116-1. 電解式断続機の構成.

## ネルンスト灯によるエーテル治療法

### ETHER THERAPEUTICS WITH THE NERNST LAMP

2種類の電灯から出るエーテル波が、現在ヨーロッパでは広く、それほどではないがアメリカでも利用されている。短波長のエーテル波が必要な場合、アーク灯が適している。温度が高く、短波長を多く含み、白熱灯のようなガラスのカバーがないため吸収もされないためである。ガラスは、大気が太陽光を吸収するのと同じように、事実上波長 3,000 以下の波をすべて吸収する。

過去 1 年、ウォルター・ネルンスト (Walter Nernst) 教授のランプを使った実験を行ってきた。このランプでは、ジルコニア化合物を含むロッドを電流で加熱するもので、ガラスのカバーが付属しているが、アーク灯と同じくカバーは必要ない。従って、短波長成分の損失を防ぐことができる。この光は、放射エネルギーの均一な分布が望ましい治療室での使用に適しており、多数の白熱電球を使用することで均一な分布を実現できる。ケロログ博士の治療室では、90 個以上の白熱電球が使用されている。白熱灯に比べて 2 つ目の利点は、同じ波数に対して消費される電流が大きく、波長の長い熱線に変換される電流が少ないことである。ネルンスト灯は、旧来の治療法を凌駕するものではないが、独自の位置を占めることは確かである。

エーテル波は現在、医学で非常に多く使用されているため、X 線、紫外線、化学線、通常の白色光、赤色光、熱、電波など、すべての形式をグループ化できる一般的な用語があることが望ましい。筆者はこれに対して「エーテル療法」という用語を使っており、周囲にも広範かつ明確な用語として推奨している。

(Boston Medical and Surgical Journal 1903.7.9)

## X 線検査用ワゴン

### A WAGON FOR X-LIGHT EXAMINATIONS

- ・立位で胸部 X 線検査を行う器具
- ・胸部検査中に、患者を垂直軸の回りに回転できることの重要性
- ・このような検査を、結果を比較できる方法で行うことの必要性
- ・蛍光板と写真乾板を患者と一定の関係に保持する新たな方法
- ・検査中に X 線源の距離と方向をコントロールする方法

ワゴンという言葉は、患者の支持装置に車輪がついていることを強調して使用している。ノート 116B(1901 年 3 月 8 日) で、X 線検査におけるこの方法の重要性について言及し、これが広く採用されている固定支持法より優れている理由を説明した。患者を水平面内で回転できるように軸上に置き、回転量を目盛った円を設ける設計は、筆者オリジナルのものではない。ウィリアムズは、ネジで上下する事務椅子に座った患者の検査に、このような装置を使用している。患者の胸部を正面から検査する場合、患者の膝と椅子の肘掛けのために座位は不便で立位の方が適している。そこで、ここで説明する X 線ワゴンは、座位だけでなく立位でも検査できるように設計されている。

このワゴン (図 117-1) は、通常が目盛が付いたターンテーブル (TT)、任意の位置に保持するストップ (S) を備えている。ターンテーブルの基部は、3 層に接着した固い木材製である。径 36cm の車輪 4 個がある。車輪は必要以上に大きいように思えるかもしれないが、このサイズは、検査中にワゴンを片手で簡単に動かすことができ、蛍光板上の画像から目を離さずに線源と患者の位置を容易に変えられるための選択である。ワゴンの台座には、3 本の金属ソケットが立っている。このうち 2 本、US1、US2 は、2 本の金属管を保持し、HU1、HU2 がフレーム OF を支え、内側フレーム PHF に乾板ホルダーあるいは蛍光板を入れる (図 120-2)。フレーム OF は水平軸を中心に回転でき、必要に応じて蛍光板あるいは写真乾板を垂直位置から傾けて、患者に近づけることができる。通常、胸部を正面から検査する場合、図 117-1、図 118-1a に示すように、蛍光板の上部を後ろに傾ける必要がある。フレームは、ソケット SI を後ろにスライドさせて片側にスイングしたり、反対側の同様のソケットも後ろにスライドさせることで取り外すことができる。サポート SS1 と反対側の同様のサポートは支柱上でスライドし、フレームを任意の高さに調整できる。支柱内の重りによってバランスが取られているため、フレームはクランプなしで固定できる。写真撮影中の移動を防ぐために、クランプにはネジが付いている。患者の背面サポートには、追加ソケット ES、および反対側にも同様のソケットを取り付けることができる。フレーム OF には、放射線非透過性ピラミッド型のケース NRC が載っており、こ

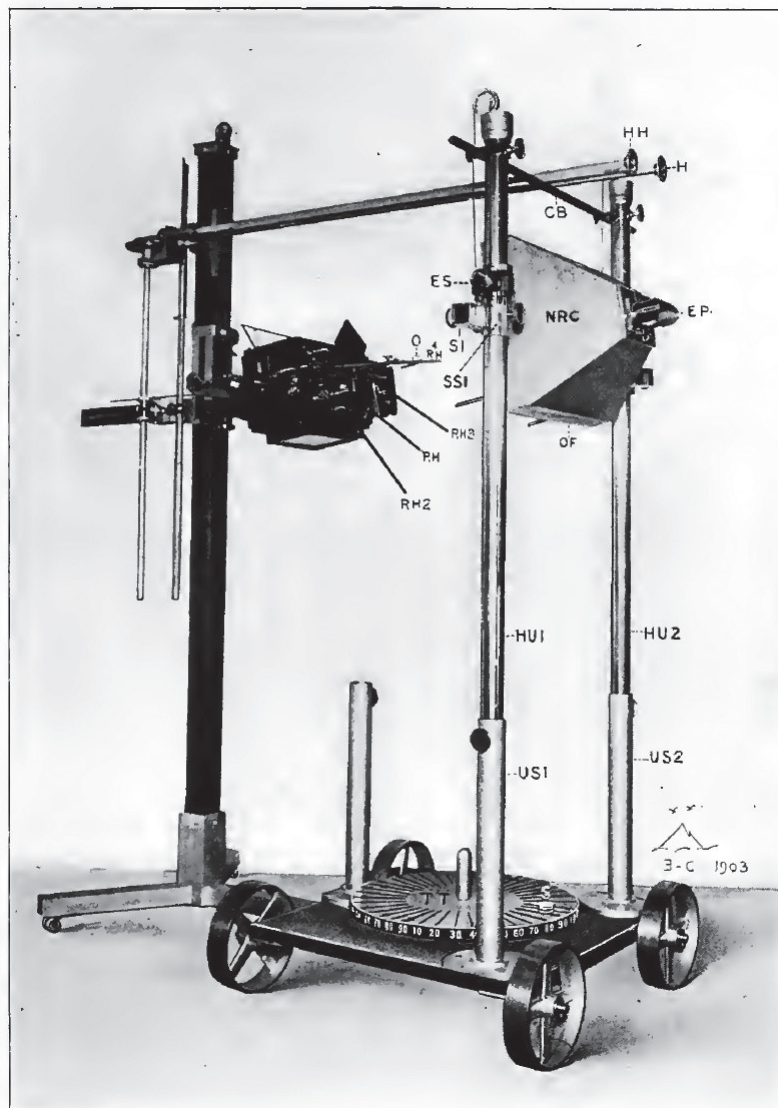


図 117-1. 立位患者用の X 線検査ワゴン, X 線管ボックス, 支持台

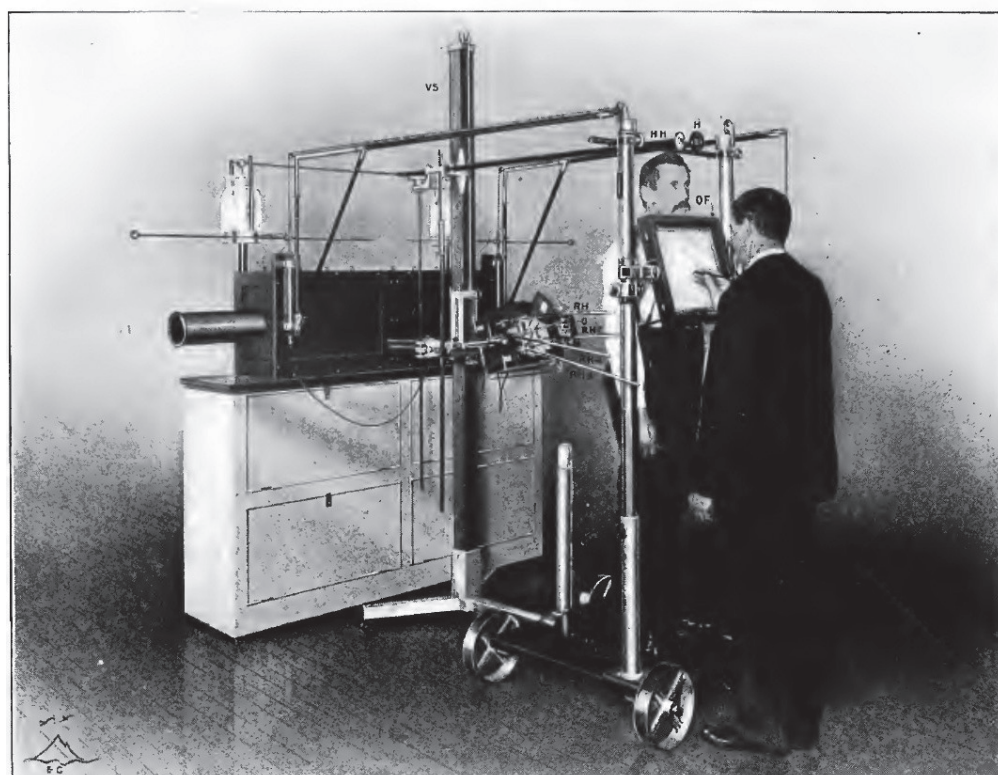


図 118-1A. X 線検査ワゴン上の患者の胸部検査。トレース用フレームの使用法を示す。ハンドルの番号は、他の図の番号に対応しているのでそちらを参照。

れには以前のノートで述べたものと同じ非透過性アイピースがついている [153]. これは、部屋があまり暗くなくても検査できるので、便利である. 写真撮影の場合も、ノート 155 に述べたような利点がある.

臓器のトレースをする場合、図 118-1A のように、部屋が暗ければケース NRC を完全に取り外すか、あるいは側面に開口部を設けてトレース用の鉛筆を持った手を挿入するためのスリーブを取り付けることができる. ケースなしで蛍光板を使用する場合は、X線が術者の目を傷害しないように、厚い鉛ガラス板で覆う必要がある. この目の保護の問題は、無視されているが、しばしば述べているように動物実験ではX線が失明の原因となることが示されている. ガラス板の上に、通常通りにトレーシングペーパーあるいは布を置く. 図 119-3 に示すように、ガラス板とトレーシングペーパーをフレームにはめる. トレースを他のトレースと比較するには、オリエンターの画像が画面上でそれぞれ同じ位置にあり、蛍光板上の臓器の陰影をスケッチした

紙に蛍光板のトレースを書くだけでよい.

患者に対するトレーシングペーパーの位置を保持するために、筆者はウィリアムズ博士のために図 120-2 に示すフレーム PHF を作った. これは、蛍光板と写真乾板、または蛍光板とガラス板 (トレーシングペーパーの有無にかかわらず) のいずれかまたは両方を収容できる適サイズの金属製である突出部 B は、研磨金属製で、患者の胸骨切痕に当てる. 胸骨切痕は、确实、簡単な解剖学的示標で基準点として適当である. この突出部は中空で、スプリングで動く針 PN が内蔵されており、トレーシングペーパーに穴を開けて、比較を行う際の測定の基準点をトレース上に示す. どの検査でもトレーシングペーパーが患者に対して同じ位置にあることを保証するために、基準点と三角形を成す別の点が必要である. 打診のように乳頭を基準点として使用するという考え方は、このような不正確な方法では十分であったかもしれないが、拡大した心臓の輪郭を打診では正確に判定できないことをウィリアムズが X

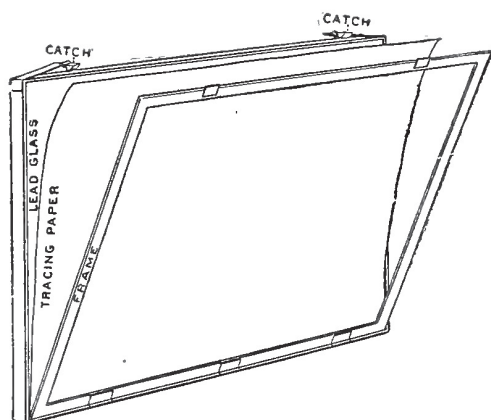


図 119-3. 図 117 に示した X 線検査ワゴンのトレース用フレームの詳細

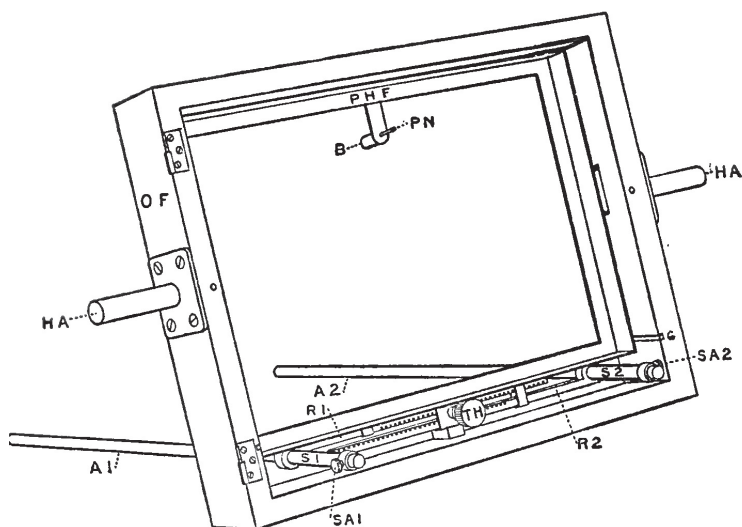


図 120-2. トレース用フレームの詳細

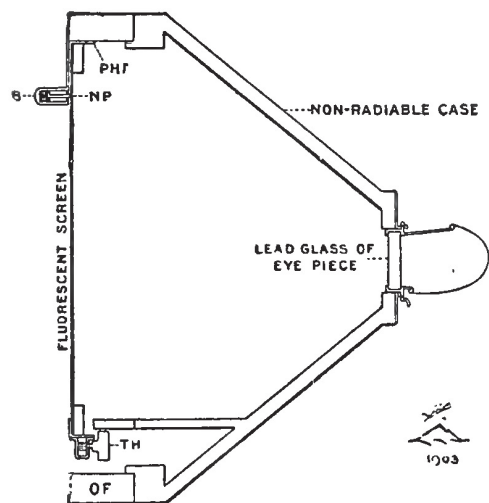


図 119-4. 図 117 に示した X 線検査ワゴンの透視装置 (クリプトスコープ) の詳細

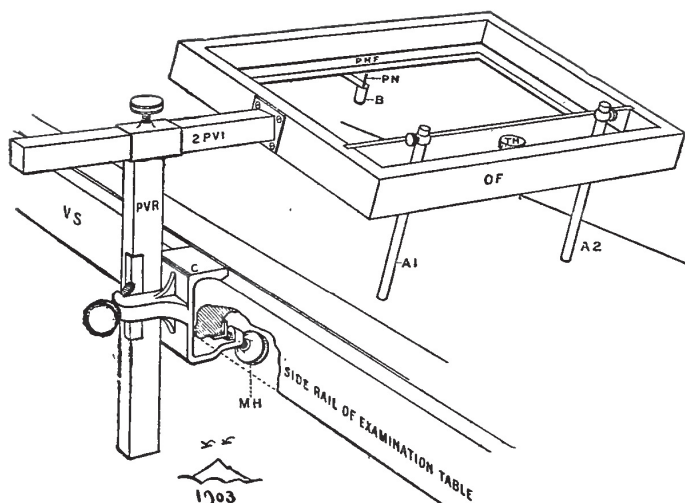


図 120-5. 図 106, 107, 114 に示した X 線検査テーブルとトレース用フレームの接続

線写真で証明してから、この考えは放棄された。正常女性の乳頭間距離は、体位によって数 cm 変化する。X 線検査の場合、トレースを比較できるためには 3mm 以内の精度が求められる。必要なのは、トレーシングペーパー上に体の正中線を示す簡便な方法である。なぜなら、この線を基準にしてすべての横方向の計測が行われ、すべての垂直方向の計測は胸骨切痕の位置を示すピンを基準に行われるからである。

しかし、正中線を正確に決定するにはどうすればよいであろうか？ 図 117-1, 120-2 に示す方法が正確であること判明している。ラック R1, R2 (図 120-8) に取り付けられた 2 つのアーム A1, A2 があり、ビス TH を回転させると、これらのアームが同時に反対方向に等量移動し、アームが患者の胸の側面に接触する。突起 B が胸骨切痕を指し、トレーシングペーパーがフレーム PHF 内にある時、トレーシングペーパーに正中線が印刷されていれば、この線は体の正中線を示すことになる。この方法を使えば、ある時点のトレースを別の時点のトレースと比較できる。既に述べたように、胸骨切痕の位置を記録するために紙を刺す針は、固定されている場合は乾板ホルダーをフレームに挿入

するのを妨げるが、乾板ホルダーを外すと、針先が前方に弾かれて突起 B に押し戻される。

写真撮影中に蛍光板の画像を検査しない場合は、ノート 116C(1901 年 3 月 9 日)、ノート 140(1902 年 6 月 21 日)に記載した X 線非透過性乾板ホルダーを使うと良い。この場合、乾板ホルダーの非透過性の背面が散乱光、変質光から乾板を保護しているため、ピラミッド型フード NRC (図 117-1) は、反転あるいは取り外すことができる。逆に、写真撮影中に臓器を観察したい場合は、乾板ホルダーの背面を透過性材質として、蛍光板を乾板ホルダーと術者の間に置けば、散乱光は乾板ホルダーの上の閉じたフード NRC によって乾板に到達せず、術者は接眼レンズ EP を覗いて蛍光板の画像を観察できる。臓器の画像を平面に投影すると歪むため、皮膚に線を描き、その線を皮膚の表面に合わせたトレーシングペーパーに転写することが推奨されている。しかし、この方法は、正常女性の場合、乳房のために不正確になることから実際的ではない。

線源が固定されている場合は必然的に歪みが生じるため、推奨する方法により生じるわずかな増加は大きな問題とはならない。また各患者に対してその量は一定

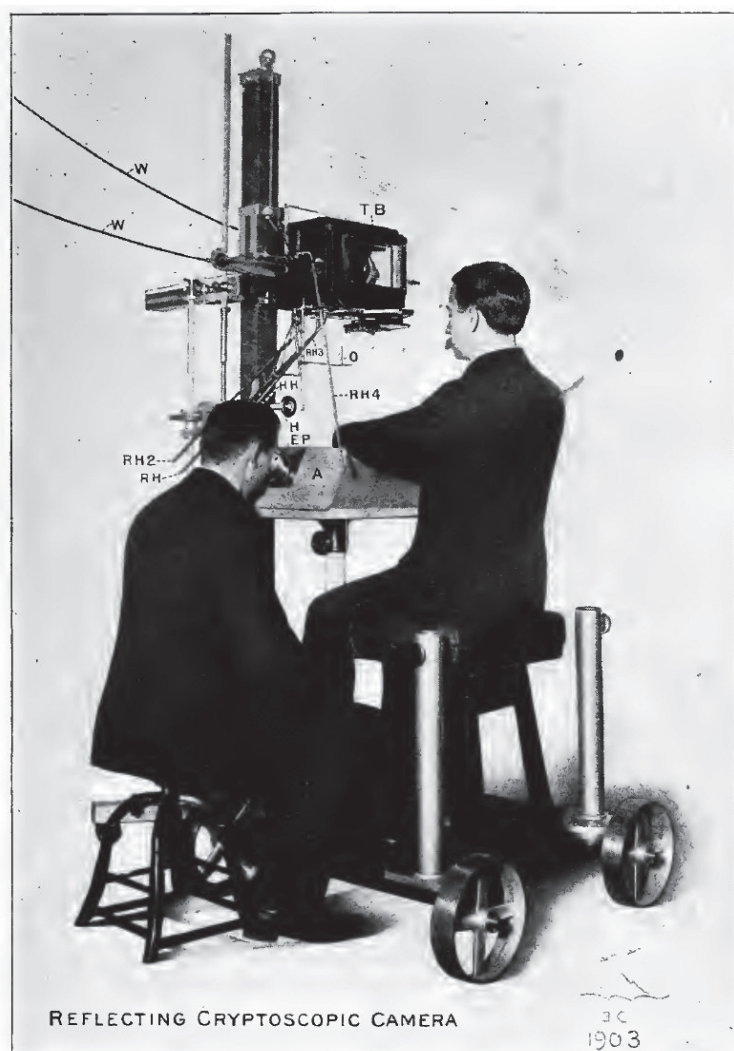


図 121-6. 人体計測同定法のための手の撮影

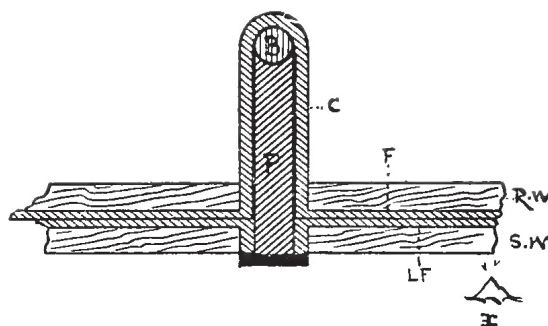


図 128-7. 図 117, 121 に示した X 線検査ワゴンのピボット板

なので混乱を招くことはない。歪みを完全に避けたい場合は、モーリッツ (Moritz) が行ったように、蛍光板と X 線管を同時に動かす必要がある。どの方法が最も良いかは、将来を待つ他ない。

放射線非透過性の透明アイピースに付属する非透過性コーン内で蛍光板を使用しない場合は、術者の目を X 線から保護するために、トレーシングペーパーの支持板ともなる厚いガラス板で覆う必要がある。これを図 119-3 に示す。術者が直接型透視カメラ (図 117, NRC-OF), ガラスで覆われた開放型蛍光板 (図 118-1a), いずれを使用する場合も、術者の手の届く範囲に 6 つのハンドルがあり、これらを使用して X 線ワゴンの回転動作に合わせて、X 線の位置と線質を必要に応じて調整できる。また、ノート 140 に図示した断続機で光量をコントロールできる。H (図 117) は、線源を上下する。HH は、線源を患者から離したり接近させる。RH は、照射範囲の大きさを調節する。RH2, RH3 は、絞り板と中心光線オリエンターの開口部の中心を合わせる。RH4 は、線質を制御する。X 線ワゴンには、座位、立位の患者の頭部、頸部、肩、胸部を検査のほか、手、前腕、肘、上腕の撮影にも有用である。このような目的には、ノート 155 に図示したような反射型透視カメラを使う。このカメラは、ワゴンの底面から任意の高さに置くことができる。人体計測同定法のために手を撮影する場合、ターンテーブル TT (図 117-1) は取り外す。計測する人をカメラの前にして椅子に座らせ (図 121-6), 手掌を下にして膝の上に置かせる。オリエンター中央の管の陰影が、第 1 関節で両拇指間がカメラ内の蛍光板に表示されるように線源を調節する。上腕、

手首、肘、上腕の場合は、それぞれ適当な高さで患者をカメラの横に位置させる。このタイプのカメラの使用法については、ノート 155 に記した。

胸部を側面から検査する場合、立柱を平行に保持するためのクロスバー CB (図 117-1) は、患者の手を支える役割も果たし、患者の腕を視野から外すことができる。これは心臓の検査に必要であり、この方法で見えるウィリアムズ三角は重要な診断ポイントとなる。フレーム OF は、その全ての内容とともに、X 線ワゴンから取り外して検査テーブルに取り付けることができる (図 122-8)。この方法は、ノート 140 に示した放射線非透過性乾板ホルダーの支持法の改良版である。これを図 120-5 に示す。VS は、検査テーブルのサイドレールの一部で、ビス MH がレールをクランプ C に押しつけ、これを固定すると同時に、必要な時は直ちに取り外すことができる。同様のビスが垂直アーム PVR も固定し、これがフレーム OF を保持する別のアーム 2PVR を支えている。フレーム OF は水平軸を中心に回転し、蛍光板あるは乾板ホルダーを患者の胸部に当てる。検査台テーブルのレールによって支えられるため、不必要な体重がかからず、患者を水平な姿勢でトレースあるいは撮影できる。これによって様々な体位で写真乾板を保持する方法の詳細については、各ノートで述べた。

(Electrical Review 1903.7.18).

[153] フード NRC は、フレーム OF ではなくフレーム PHF に取り付けの方が良い。その場合、ビス頭が外側に出るからである。フード NRC は、ノート 145 に示す他の透視装置と同様、放射線非透過性金属である必要がある。

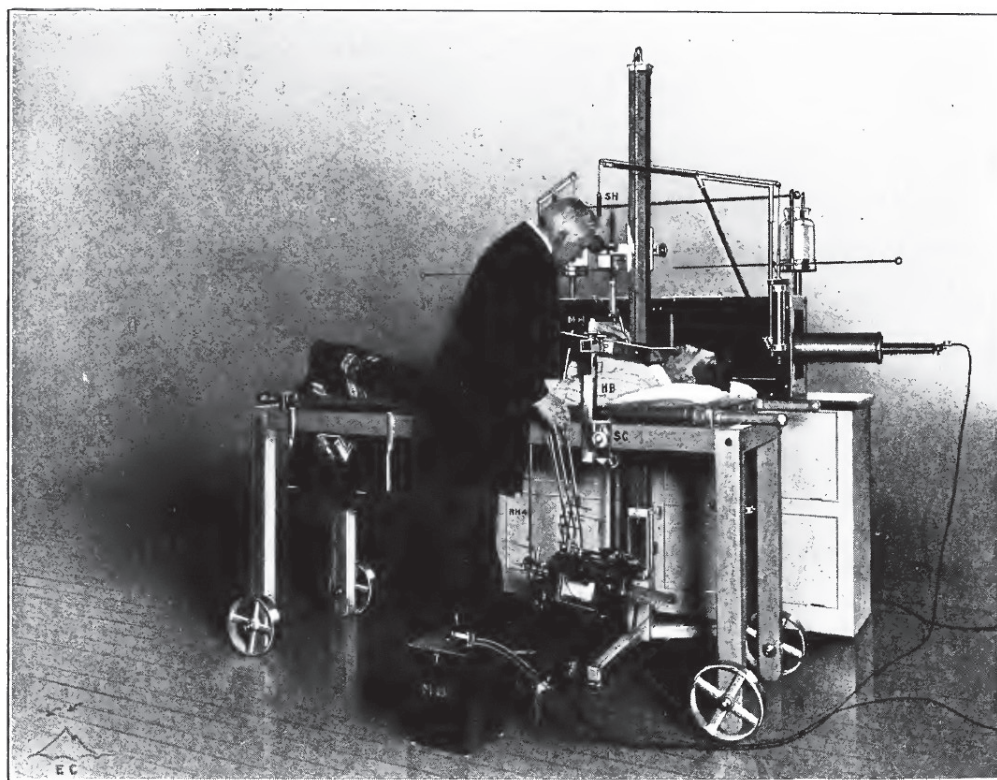


図 122-8. 横臥位の患者の検査におけるトレース用フレームの使用法

## 誘導コイル一次側における脈動電流の利用

### PULSATING CURRENTS FOR USE IN THE PRIMARY OF AN INDUCTION COIL

静電発電機の支持者は、誘導コイルは断続機が必須であるため、安定な X 線が得られず、X 線発生装置として不適当であると主張している。以前のノートで、コイルは静電発電機に必須なものではないことを示した。一次電流は、交流発電機から直接とることができる。この方法でコイルを使う場合は、二重焦点管を使用する。

ここでは、二重焦点管の発明をレントゲン以外の人物に帰するという、一般的な誤りを訂正するものである。以下の引用は、1896 年 3 月 9 日のレントゲンの論文である「テスラ変圧器の交流による実験用に、特別に放電装置を用意している。この装置は、いずれの電極もアルミニウム凹面鏡で、その軸が直交しており、共通曲率中心に陰極線を受けるため白金板を置いたものである」。同論文の別の引用では、クルックス管、単焦点管を最初に使用したのがレントゲンであるという主張が正しいことがわかるが、最近の研究者にもこれが無視され、他者に帰されている。これは以下の一節である。「私は、数週間にわたって、陰極をアルミニウム製凹面鏡とし、陽極を凹面鏡の曲率中心に 45 度傾けた置いた白金板として利用して良い結果を得ている」。いずれの引用も、バーカー (Barker) 教授の「レントゲン線」と題する著作から取ったもので、この中で原著は英訳されており、容易に参照できる。

いずれのタイプの管球でも、レントゲンはクルックスと同様、陰極線の焦点が陰極の曲率中心にあるとする誤りを犯していることが分かる。この誤謬は、ノート 2, 3 で指摘しており、実験では焦点はこれより遠くに位置していることが示されている。この問題に再度言及するのは、陰極線の粒子は直線的に移動すると多くの著者が記述しているためであるが、既に述べた実験はこれが一般論としては誤りであることを示している。

交流電流では、断続機なしで誘導コイルを使用することができ、それによって X 線の不規則性の原因を除去できるが、通常の方法で断続機とともに交流電流を使用する場合は、二重焦点管を使用するのが一般的である。二重焦点管は経済的ではない。ターゲットは陽極ではないため、すでに詳述した理由により、陰極線の亜原子の衝撃は X 線発生に効率的ではなく、またガスが電極からより急速に除去されるため、管寿命も短い。これらの理由、その他の理由から、誘導コイルを直流の脈動電流で動作させる方法が注目される。これは、電流が 1 分間に 15,000 ~ 20,000 回変動するもので [154]、この電流を適切な形状の単焦点管で使用し、同じ条件下での交流の場合と同様に、ノート 112,

137 に述べた設計による二次側セクションが交換可能な大型コイルを使用する方法である。

(Electrical Review 1903.7.25)

[154] 特別な発電機でさらに高速な脈動流の場合は、小型コイルを使用する。

## 陰極線粒子の再結合について

ON THE RECOMBINATION OF THE CATHODE  
STREAM PARTICLES

以前のノートで、実用的な量の X 線を発生するような陰極線は、電気や物質の最小粒子ではなく、亜原子であることを証明する実験について述べた。電気によるものではない。なぜならば、電極は強力な電源に接続されており、電子理論によれば豊富な陰極線と X 線を発生するべきところであるが、熱と強いサージによってガスを電極から十分に除去し、X 線管をポンプ排気すると、陰極線が発生しなくなるからである。物質の最小粒子でもない。なぜならば、既知のスペクトルが得られており、もし最小粒子であれば新しいスペクトルを呈するはずだからである。また、これらの亜原子は再結合することも示されている。陰極線粒子の再結合によって形成されたガスを特別なポンプによって収集し、これをスペクトル管に導入すると、通常は水素を示すスペクトルが得られるが、その後トロブリッジによりこれが水蒸気のスペクトルであるとされている [155]。このような古い実験について再述する理由は、最近の放射線物質に関する研究との関連で、忘れ去られるには惜しいものがあるためである。

(Electrical Review 1903.7.25)

[155] スペクトルの観察には、ターゲットを陰極線の径路から外すと良い。

## 電子説における陰極線の焦点が変動することの意義

ON THE BEARING OF THE VARYING FOCUS OF THE  
CATHODE STREAM ON THE ELECTRON THEORY

陰極線の電子説を唱える研究者は、これがすべて同じ電気の単位から成っているとしている。すでに以前のノートで、X 線の発生に利用されるような陰極線については、この説は受容できないこと理由を示したが、もう 1 つ興味深い点がある。ノート 2, 3 では、陰極線の焦点は、それを構成する亜原子の電荷によって変化すると述べた。もし陰極線が電子、すなわちつまり「物質」と切り離された電気の粒子で、すべて不変の特性を持つもので構成されるなら、陰極線の焦点はそれほど顕著に変化しないはずである。なぜなら、焦点と陰極の距離が変化する原因は電荷と質量の比率の変化によって異なる亜原子間の反発力の強弱であり、電子が同一であればこれが存在し得ないからである。ノートでは、残留ガスの影響は考慮していない。これは、陰極線の電子論の支持者が主張する関係によりこれが正当化されるためである。

(Electrical Review 1903.7.25)

## 治療用 X 線管をめぐる旧説の跋扈について

ON THE TYRANNY OF OLD IDEAS AS ILLUSTRATED  
BY THE X-LIGHT TUBES USED IN THERAPEUTICS

- ・ X 線管内で陰極線に焦点を結ばせることの意義
- ・ このような X 線管は治療に適さないことが多いこと
- ・ X 線用 X 線管の設計の原則
- ・ 治療用 X 線管の正しい形状
- ・ X 線を治療に利用する場合の原則
- ・ X 線は広い範囲から発生させるべきである
- ・ 皮膚疾患の治療では、線源がほとんど皮膚に接するようにして、ガラス壁の近傍で X 線を発生させるべきである。

この 2 カ月で、X 線に関する 2 冊の貴重な教科書が出版され、いずれもその治療法としての X 線利用を広範に扱っている。これは、エーテル療法と呼ぶべきこの分野に関心が高いことを証明している。これら著作を見ると、治療用の X 線管としてはすべて凹面陰極が図示されている。レントゲンは、鮮明度を確保するために、陰極線の衝突面積を小さくし、X 線を小範囲から発生させるために、クルックスの凹面陰極を初めて X 線管に採用した。X 線を治療に使用する場合、鮮明度は重要ではない。そのため、筆者はここ数年、口腔などの体腔の治療には凹面陰極を備えた X 線管をほとんど使用していない。凹面陰極を使用するのは逆の理由、すなわち陰極線を縮小するためではなく拡散するためである。凹面陰極は、体腔に対してはほとんどの X 線管で価値を持たない。通常の方法で陰極線を焦点に絞ると、これは重大な欠点となる。これは、陰極線を X 線管のガラス壁に衝突させる方が望ましい場合が多いからである。ガラス壁は、冷却しないと強力な電流によってすぐに溶融し、冷却すると割れてしまう。ガラスとの衝突面積が大きくなると、熱波に変換される陰極線エネルギーがより広範囲に分散するため、このようなリスクが減少することは明らかである。ガラスはそれほど熱くならず、より安全に冷却できる。

このような平面陰極をもつ X 線管を多く考案してきたが、いずれも 1896 年にウィリアムズ博士のために設計・製作した管で初めて採用した原理、すなわち陰極線が衝突する表面の冷却法を用いている。以前のノートで、このような冷却 X 線管をいくつか紹介した。内部陽極を冷却するタイプは、現在広く市販されている。外部陽極を冷却するタイプは、それほど多く見かけない。これは最初にテスラの直接作用型 X 線管の改良に利用したが、当時筆者はその対称性について大きな関心を寄せた。このような冷却法は、体腔内に X 線挿入する治療手技では価値が大きい。この目的には、X 線管の一般的な形状を空洞に容易に入る直径の円筒形とし、エジソンが最初に X 線管に施した改良、すなわち外部電極を使用することが適当である。エジソンは、少なくとも 1896 年 4 月にはこれを行っている。エジ

ソンは、内部電極を持つ管が電流が流れなくなるまで消耗しても、その電極をアルミ箔で覆うと動作することを発見した。その理由については述べていないが、これは非常に簡単なことである。X 線管の外周の一部を金属で覆うと、その直下のガラスが電極となり、内部電極と同じようにそこからガスが排出される。円筒形の X 線管は平板陰極を備えており、陰極線の衝撃は陰極の反対側の端のガラス壁で受ける。この部位は薄いアルミ箔で覆われており、陽極として機能するが、X 線はほとんど吸収されることなくそのまま直進する。このような管球では、X 線は直進するだけでなく、陰極線粒子が衝突したガラス面からあらゆる方向に球面波として拡がる。

照射領域を限定したり、光線を任意の方向に向ける必要がある場合は、1896 年 7 月の International Dental Journal 誌掲載の絞り板、および 1898 年の Electrical Review 誌で直接作用型 X 線管に関連して紹介した絞り板を、体腔内に挿入する X 線管の端を囲む X 線管非透過性の形で使用する必要がある。光を放出する開口部は、テスラの直接作用型 X 線管に関連して既に述べた、水を閉鎖循環させる場合のように、放射線透過性の窓とする。放射線透過性窓の反対側の非透過性シースは、X 線を反射する金属で内面を覆う。また別の方式では、凸面陰極を使用して陰極線を拡げ、陰極線が広い範囲にわたって管壁に衝突するようにし、線源を長い円筒形として必要に応じて管の一部あるいは全体を体腔内に挿入する。X 線は、陰極線の粒子が強力に衝突する場所であればどこでも発生するからである。

体腔の片側に X 線を当てたい場合は、同じ放射線非透過性シースと垂鉛反射板をこのタイプの X 線管に適用できる。また別の場合には、凹面陰極を使用して、陰極線を集中させず拡散させることで、凸面陰極のように X 線を広い領域から発生させることができる。これは主に、曲率の小さい凹面陰極を備えた治療用 X 線管がこのように機能することを示すことを述べたものであるが、これは公開されている図を見るとわかるように発明者の意図するところではない。

単焦点の陰極を長い X 線管に入れると、陰極線は完壁から遠く離れた陰極に近いところに焦点を結ぶ。このため、陰極線は再び拡がり、衝突するものが何もないためその衝撃は管の内側に拡散し、X 線は本来発生するはずの管球端の端ではなく、この広い領域から発生する。X 線管の設計に当たっては、このことを念頭に置く必要がある。この平板ターゲット、凸面ターゲットの X 線管は示していない。これらは、実際に使用される場合に作成する必要があるためである。ここでは、従うべき原則を指摘するにとどめる。

エーテル波や電子を治療に利用したい医師は、外科医、その他の専門家と同程度に特別なトレーニングを受け、必要があり、独自の装置を設計、製作できる発明力

と技術力を備えなければならない。それにより急速な進歩が得られ、患者に十分に資することができる。

電子の話から思い起こされるのは、X線装置による火傷という問題が、現在も一部の研究者には明確に理解されていないことである。そこで、このような火傷には2つの原因があることを再述する。以前のノートで、抵抗が非常に高いためにX線を発生しないようなX線管でも、火傷が起こることを示した。この種の火傷は電子によるもので、ラジウムによっても発生する[156]。

(Electrical Review 1903.7.25)

[156] ラジウムの治療応用に関する以前のノートを参照。

## ノート 167

### 治療用 X 線で照射範囲を小範囲ではなく広範囲とすること

ON LARGE INSTEAD OF SMALL RADIANT AREAS IN X-LIGHT TUBES EMPLOYED IN THERAPEUTICS

- ・ヴァーリー線がX線管壁に衝突するX線管
- ・X線を治療に利用するときの原則
- ・X線の治療強度に関するルール
- ・深在疾患の治療ではX線管を体から遠ざけなければならない
- ・皮膚疾患の治療ではX線管は体に近づけなければならない
- ・皮膚疾患の治療では焦点X線管はほとんど役立たない
- ・皮膚疾患の治療におけるポータブル放射線非透過性X線管ボックス
- ・治療に際して線源の距離を決定するルール

ノート 166 で、X線の治療応用における新たな原理、すなわちX線源が拡散するX線管を使用することについて述べた。従来治療に使用されてきたX線管のように、陰極線を焦点に集めることなく拡散させることによって、拡散したX線源が得られる。これにより、陰極線の垂原子は広い範囲でX線管のガラス壁に衝突する。陰極線粒子が衝突する度にX線が発生し、焦点管球のように径2mmの点ではなく、広い表面が線源となる。本ノートでは、エーテル治療におけるこの原理の重要性を述べる。

以前の論文[157]では、治療においてX線を使用する際に守る原則を述べた。すなわち、表在組織に強く作用させる場合には、低抵抗のX線管のX線を使用すべきであり、そのようなX線は組織によって最も吸収されるため、治療する面の近傍に線源を置く必要がある。深在組織の治療では、より高抵抗の管球のX線を使用する必要がある。このようなX線は、表在組織に吸収されにくく、線源を遠方に置くことにより、体内に進入する部位のX線強度が、治療すべき深部組織に比べてさほど強くないためである。この原則は、X線を治療に応用している多くの医師に受け入れられている。これを再述する理由は、以下に説明するX線管がどのような考え方に基づいて設計されたかを明かにするためである。前掲の論文に記載されている、もう1つの記述も考慮する必要がある。

実験の範囲で、X線の組織に対する作用は、写真の強度と同じく距離の二乗に比例して減少することが示されている。これは事前に予想されていたことはあるが、動物実験を行うまで治療指針としては受け入れられなかった。従って、この実験は、治療においてX線を使用する際に従うべき安全規則を定める目的で行われたものである。X線管をターゲット(線源)が皮膚から10cmの位置に置き、治療する患部が皮膚面から10cm深部にあるとすると、表面組織は深部組織の約4倍の強度の放射線に曝されることになる。その結果、皮膚

が破壊され、患部組織に十分な時間照射することはできない。X線管を皮膚から200cm離して置くと、X線が高抵抗管から発したものであれば、皮膚に当たる放射線強度は、深部組織に到達するX線強度よりもわずかに大きい程度である。従って、表在組織の火傷の危険を考慮する必要なく、より長時間、より効果的な治療が可能である。一方、皮膚病変の治療では、X線管を遠く離すと、皮膚と実質的に同じ強度のX線を深部組織に照射することになり、明らかに科学的な方法とは言えない。従って、皮膚あるいは表在疾患の治療の正しい方法は、ターゲット(線源)をできるだけ皮膚に近づけることである。

皮膚や一部の表在疾患において紫外線がX線よりも優れているとされる根拠の1つは、紫外線の作用は表面またはその近傍に限定されるため、深部組織が損傷される可能性はそれほど高くないことにある。現在使用されている管球(焦点管球)の形状は、直径が約16cmあるため、管球の中央に線源を皮膚に接近させることが不可能である。管球を皮膚に接触させても、線源の距離は8cm離れているが、それでも教科書で推奨される距離よりも短い。たとえば、ウィリアムズはその著「Roentgen Rays in Medicine and Surgery」で、「新生物の治療では、管球を15～20cm以内に近づける必要があるが、皮膚病変の場合は、さらには距離を大きくするべきである」と述べている。ピュジー(Pusey)は、「The Roentgen Rays in Therapeutics and Diagnosis」で、「自分が管球を置く位置は、既に述べたように、表面から15cmないし5cmである」と述べている。これらの値に6～8cmを加えると、線源から皮膚までの距離がわかる。この2冊の本が選んだのは、提示されている考え方が他と異なるからではなく、代表的なものであると考えられるからである。そこで、現在の治療における線源と皮膚の距離の妥当な平均値として、20cmとしておく。皮膚疾患の治療において、この距離に線源があると、深部の健康組織が不必要に強い放射線に曝されることから、X線管の形状、使用方法の双方に改善の余地があることは明らかではないだろうか。深さ1cmの組織には、浅層による吸収で失われる光を考慮せずとも、皮膚とほぼ同程度のX線が照射され、その量はかなりのものとなる。

皮膚や表在組織の治療では、線源をできるだけ皮膚に近づけ、照射面積を大きくする必要がある。たとえば、皮膚疾患の治療で、線源を皮膚から1mm以内に近接できたとする。皮膚面から1cm深部の組織に当たるX線の強度は、皮膚の100分の1を超えることはないことは明らかである。これは確かに、最初に述べたものよりも良い方法である。これを可能とするX線管については、皮膚にほとんど接触する拡散X線を発生する原理についてノート166で述べたので、ここには示さない。

しかし、2つの一般的に有用な形について述べるのは適切と思われる。すなわち広範囲治療用の、陰極の反対側の端が平坦な円筒形管球、および陰極の反対側の太い側を平坦にした漏斗型管球である。このような管球では、平坦な端が表面全体で陰極線粒子の衝撃を受ける結果、X線がその領域全体から発生する。平坦な端を薄いアルミ箔で覆って陽極として機能させ、X線が透過できるようにしておくが良い。いずれの場合も、X線は陰極線粒子が衝突する全面から球面波として広がることを銘記しておく必要がある。従って、いずれもX線管は放射線非透過性ケースに収めなければならない。皮膚疾患を治療するX線管のケースには、すぐに手に持って患部に移動したり、あるいは患部が大きすぎて管球の端でカバーできない場合には患部の上を移動できるように、ハンドルが付いている必要がある。このような管球は、ガラスの中に幅広いアルミニウムのターゲットを持つ場合と、ガラス壁自体がターゲットになっている場合があり、後者の場合、陰極の反対側の外面をアルミ箔で覆い、発電機の端子に接続する。ロッジ(Lodge)とローランド(Rowland)は、ターゲットが陽極である場合が、最も効率的であることを示している[158]。その理由は、ノート66(1899年10月25日)に記した。

またこのようなX線管を設計する際には、ノート15, 102に詳述した実験も銘記しておく必要がある。これらの実験は、クルックスの記述と異なり、陽極の位置によって高真空中の陰極線の方向がある程度決まることを示している。たとえば、陽極を側枝に置き、陰極線がこの側枝を通過して管球の反対側の端まで直接到達する場合、陽極はこの流れを偏向させ、流れが側枝を越えると流れを遅らせる傾向がある。この場合、陰極線粒子がガラスに衝突する速度が低下するため、X線源としての効率が低下する。ノート18(1898年1月26日)を参照されたい。一方、ガラス壁のこの部分が陽極になっていれば、X線管としての効率は増加する。皮膚に接触する管球端を冷却したい場合には、ノート41に示す方法が適している。薄い柔らかいゴムシートを管球の平坦な端に結び付け、シートと管球に静水または循環水を保持する。口腔、直腸などの体腔からX線を入射して治療する場合、X線をどのように使用するか決める際には、病変組織が体腔の表面から深部にあるかを考慮する必要がある。例えば、口腔粘膜の表在疾患の場合、ガラス壁が線源となる拡散放射面をもつ管球を使用する必要がある。この方法では、光源を病変組織にほぼ接触させることができ、距離が2mmを超えることはない。しかし、体腔をより深部の組織へのアプローチ方法として利用する場合、この方法は、体腔の健常表面組織に照射されるX線の強度と、病変組織に照射される強度が全く見合っていないという理由で非科学的なものとなる。このような場合には、ノート144, 156に記載したX線集光器(concentrator)や

反射器 (reflector) を使用する必要がある。これらの装置を使用すると、線源を遠く離すことができ、健常組織に当たる放射線は病変組織よりもわずかに強い程度とできる。

このノートを、さらにいくつかの鉄則をもって終わることとする。治療に X 線光を使用する場合、その波長は、病変組織に吸収される波長でなければならない。組織の密度が高いほど、波長は短くする。これは、表層組織を傷害することなく骨病変を治療する際に重要である [159]。X 線治療では、その波長は表在組織を傷害しない範囲で、できる限り長くする必要がある。このような波長が、最も吸収されるからである。X 線治療では、X 線が入射する体表面と線源の距離は、その表面下の病変組織までの距離に応じて変化する。すなわち、病変が体表に近いほど、線源の距離も近くしてはならない。X 線治療では、X 線が入射する体表面と病変組織までの距離によって、使用する真空管の形状が決まる。この距離が近いほど、線源は真空管壁に近くしなければならない。

(Electrical Review 1903.8.1).

[157] Boston Medical and Surgical Journal, 1902 年 4 月 24 日。ノート 138A に再掲。

[158] ターゲットを直接陽極としなくとも効率的な X 線管を作ることができる原理についてはノート 31 参照。

[159] 例えば、非化膿性あるいは化膿性の歯槽骨早期退縮。

## 同じ X 線管による 2 名の患者の同時治療

### ON TREATING TWO PATIENTS AT THE SAME TIME WITH THE SAME X-LIGHT TUBE

病院では、X 線治療を希望する患者数が対応可能な数を超えている。このため、ノート 65(図 28-58, 31-60, 1899 年 9 月 20 日) に示すような特殊な形状の X 線管が注目されている。これは、ノート 17(図 6-2, 1898 年 1 月 12 日) の改良版である。この X 線管の原理は、交流を使用する場合、陰極線の 1 つをターゲットの背面に送り、その衝撃から発生する X 線を照射野外に放出して鮮明度の低下を防ぐことにあった。しかし、この X 線管は治療に有用である。X 線管の片側に患者を 1 人置き、反対側に別の患者を置いて、それぞれが X 線、1 人はターゲットの背面から、もう 1 人はターゲットの正面から照射することができるからである。

X 線管は、放射線非透過性の管球ホルダーに入れ、2 枚の可変絞り板を備える必要がある。簡単な治療の場合は、より安価な X 線管ホルダーと絞り板でも良い。X 線管ボックスは、直立管内をスライドするポストの下面に取り付け、線源の高さを調整し、水平面内で回転できるようにする必要がある。治療でこの種の管球を使用する際に必要なのは、この 2 つの動作のみである。この形式の装置で治療するのは、アクセスしやすい病変のみだからである。治療の場合、X 線は小さな領域から発生する必要はなく、図のように冷却ターゲットを使用せずともターゲットの表面が溶けるのを防ぐことができる。そのためには、陰極線がターゲットに集中せず、広い領域に当たるような形状の陰極とし、図 123-1 のように白金面を広くすれば良い。このような X 線管を励起するためには、単純な装置、すなわち断続機なしで交流発電機によって励起される可変電圧コイルを使用することができる [160]。この形式の装置は、ほとんど手間がかからず、多くの患者を治療し、装置が単純かつ安価であることが求められる病院での治療には十分である。1 台の発電機で、複数のコイルを使うことができる。

(Electrical Review 1903.8.1)

[160] ノート 159, 179D 参照。

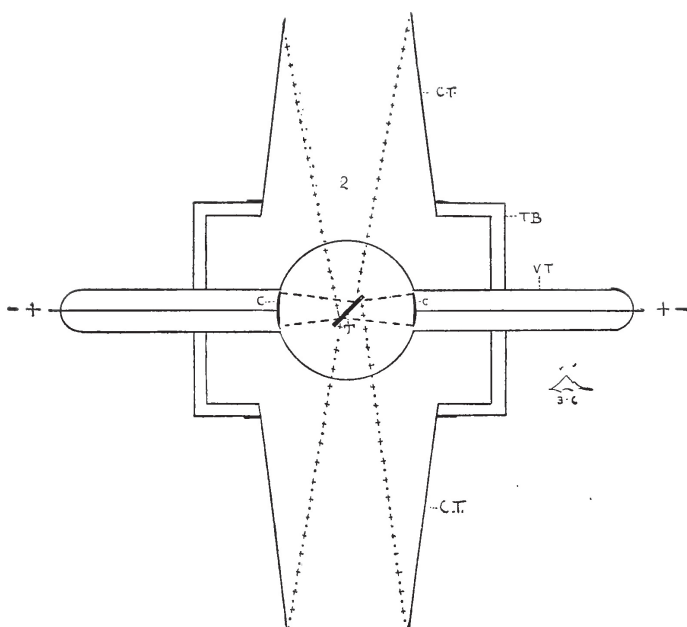


図 123-1. 2 名の患者を同時に治療する X 線管。

・・・陰極線、・+・X 線、TB：放射線非透過性 X 線ボックス、CC：陰極、CT：X 線管にとりつけられた放射線非透過性コーン。

# X線管ボックス用シャッター

## A SHUTTER FOR AN X-LIGHT TUBE BOX

・適切なシャッターの詳細と図示

以前のノートで、X線写真撮影でシャッターを使用する利点を示説した。ここで説明するのは、より便利な形式である。図 124-1, 125-2 にこの写真を示す。図 124-1 は、X線管ボックスのスライドの詳細正面像で、シャッターが開いて絞り板開口部が露光される状態である (ノート 149, 155, 156 参照)。図 125-2 は、この開口部が閉じて、X線がボックスから漏洩しない状態である。図 126-3, 4, 127-5, 6, 128-7 は、このメカニズムの説明図である。

図 126-3 には、X線管ボックスのスライドを外して、シャッターの裏面を示す。絞り板の穴を閉鎖するリーフ SL はマホガニー製で、白鉛および漆を塗布して放射線非透過性としている。駆動力は、強力な螺旋スプリング SP で (図 126-3, 4), その一端は、リーフ SL を動かすカム C の軸に接続され、他端はシャッター機構を支える硬質ゴムプレートに取り付けられた固定サポート FS に接続されている。図 127-5, 6, 128-7 に示すカム軸の頭部のハンドルを回すと、スプリングに張力が加わる。ストップ ST は、絞り板の開口部を閉じる際にスプリングが 1 回転以上解けることを防ぐ (図 127-5, 6, 128-7)。スプリングを適切な張力で巻くために、

図 127-5 の点線のようにストップを戻す。フック HK (図 127-5) は非常に浅いノッチ NH 内にあり、リーフ S が絞り板の開口部を閉じた状態となると、シャッターを使用できる状態となる。ゴム管 RT につながるゴム球を圧すと、絞り板が開く (図 127-5)。ゴム球から押し出された空気は金属シリンダー CY に入り、ピストンを前方に押し出す。ピストンの力でアーム AP が図 127-6 の位置まで押し出され、フック HK がノッチ NH から解放される。これにより、螺旋スプリングがリーフ S を回転させ、図 124-1 のように絞り板の開口部が露出する。フック HK (図 127-6) がキャッチ SC に衝突し、絞り板の開口部は露出した状態のままとなる。絞り板の開口部を閉じて X 線を遮断するには、ゴム球をもう一度圧すと、アーム AP が図 128-7 の位置まで前方に押し出され、フック HK が図 127-6 のようにノッチ SC から持ち上がって、リーフ SL が絞り板の開口部を閉じる。シャッターの動作をより高速にしたい場合は、キャッチ SC をヒンジで挙上しておく、すると、ゴム球を 1 回圧すだけで、絞り板開口部が開閉する。

このシャッターの有用性に同意する医師のために、普通の機械工でもこれを作れるように、その構造を完全に図解した。これは胸部撮影に有用で、特にノート 168 のような X 線管ボックスで、一度に 2 人の患者を治療するために適している。後者の場合、X 線管ボックスには 2 つのシャッターが必要である。

(Electrical Review 1903.8.8)

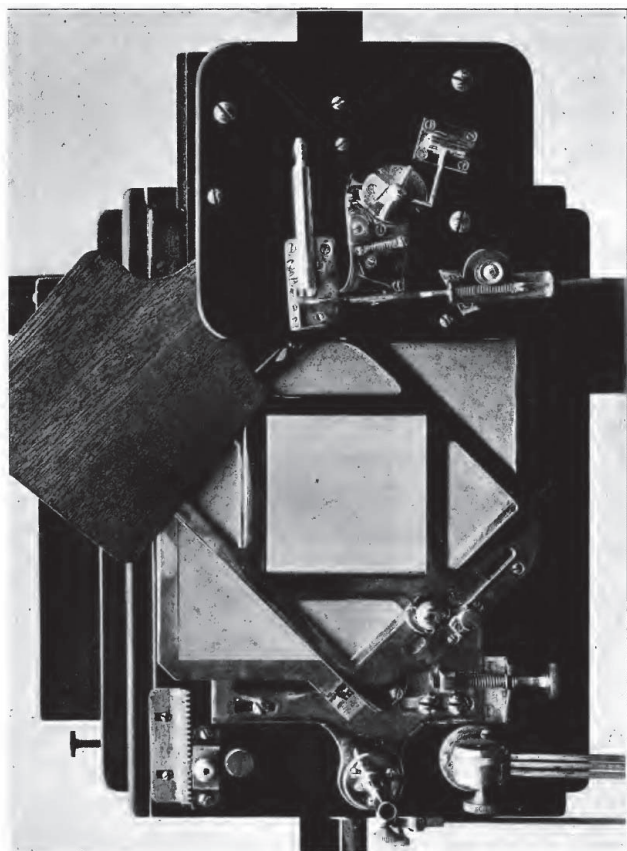


図 124-1. X線管ボックスシャッター (開いた状態)

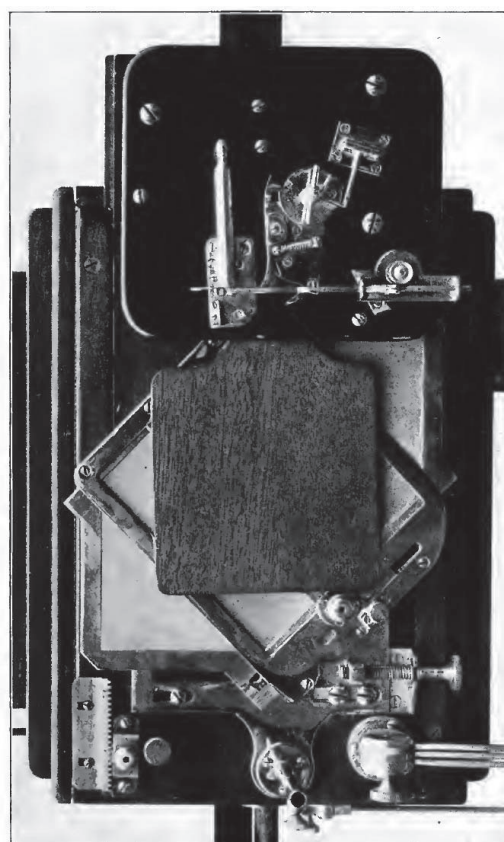


図 125-2. X線管ボックスシャッター (閉じた状態)

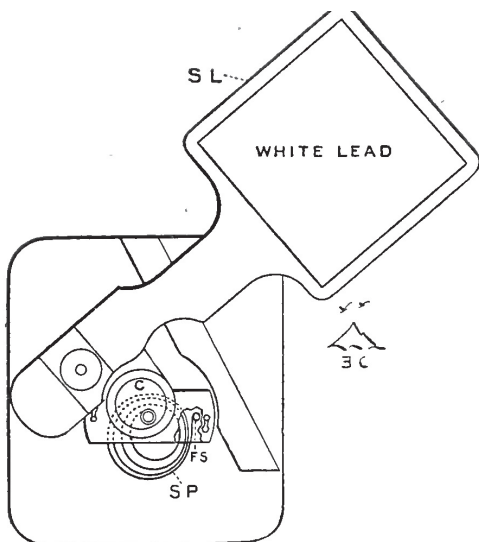


図 126-3. X線管ボックスシャッターの背面

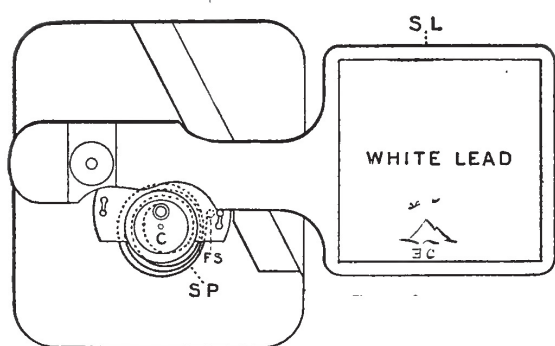


図 126-4. X線管ボックスシャッターを動かす螺旋スプリング

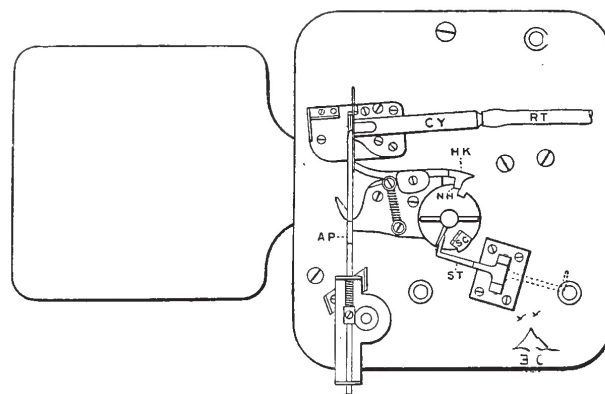


図 127-5. X線管ボックスシャッターのスプリングメカニズムの詳細

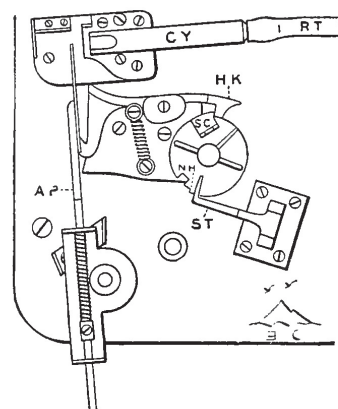


図 127-6. X線管ボックスシャッターを開いた状態のメカニズム

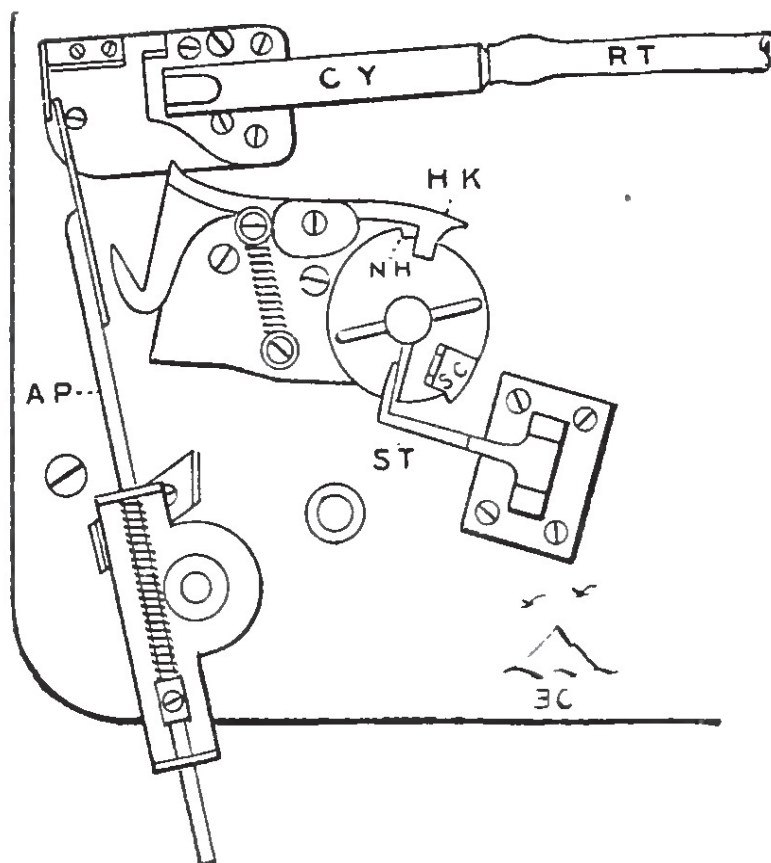


図 128-7. X線管ボックスシャッターを閉じた状態のメカニズム

# X線管排気に使用する水銀ポンプの水蒸気混入の防止

## ON PREVENTING WATER VAPOR FROM ENTERING THE MERCURY PUMP USED IN EXHAUSTING X-LIGHT TUBES

- ・水銀槽とポンプ排気口に取り付ける乾燥装置
- ・適切な装置の記載と図示

X線管の排気時、ポンプ内に水蒸気が存在すると真空の生成が遅延する。以前のノートでは、ポンプを温めることを推奨した。本ノートでは、ポンプから水蒸気を排除するため装置について説明する。これまで非常に多くの優秀な人材が水銀ポンプを扱ってきたことを考えると、ポンプが動く度に水蒸気が水銀槽に侵入し、水銀と落下管の内壁の間からポンプチェンバーに入っ、ポンプに接続した装置内で真空生成を遅延させてきたというのは、多少なりとも不思議に思える。

図 129-1 は、ガスに関する最新の著作、Travers 著「The Study of Gases」掲載の水銀ポンプのイラストのコピーである。ポンプの水銀槽 PR は、空気と広く接している。前述の問題は、特に朝、ポンプ室の温度が夜間よりも高くなる場合に発生する。このような状況でポンプを作動させると、水銀と落下管の内面の間に水が微細な

水滴となって凝集しうる。ポンプ内に真空が残っていると真空度が劣化し、水銀の増減に伴って水がチェンバーに入り続けるため、元の状態に戻すのに時間がかかることがある。圧の上昇は、ポンプのリーク、および X 線管の密閉シールの微小な欠陥によるとされてきた。水銀槽に入る空気の経路に乾燥装置を設けることで、この問題を困難を軽減できる。

乾燥物質の急速な劣化を防ぐために、水銀槽への出入りに応じて膨張、収縮する柔軟な隔膜で吸気口を閉じることが望ましい。図 129-1 に示す水銀槽にこの原理を適用する簡単な方法を、図 129-2 に示す。水銀槽の口はゴム製ストッパーで閉じられており、ここに T 字管が通っている。その一端に乾燥球があり、他端には密閉されたゴム囊がある。こうすると、外部の空気が水銀槽を介してポンプ内に入らないため、ポンプ内の空気は乾燥剤によって乾燥した状態に保たれている。迅速に行うために、X 線管を排気する水銀ポンプには大きなポンプヘッドが必要である。水銀 40kg は相当な量であり、ポンプの水銀槽は鉄製としなければならない。このような例を図 129-3 に示す。ポンプ排気口にも乾燥管を置く必要がある。

(Electrical Review, October 17, 1903.10.17)

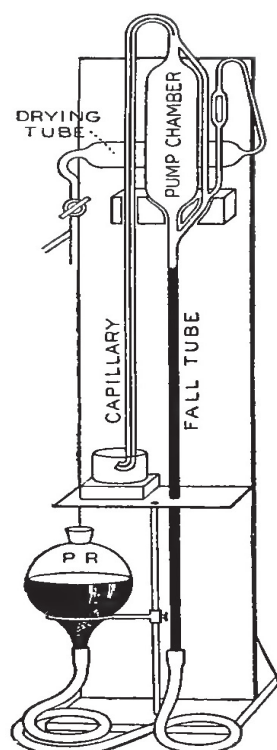


図 129-1. 一般的な水銀ポンプ

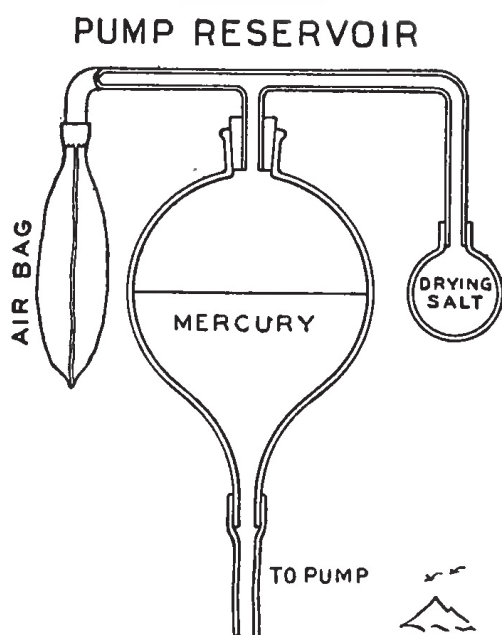
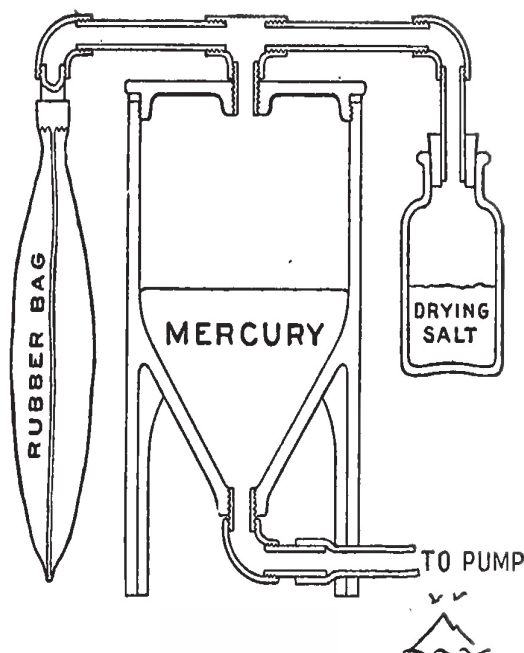


図 129-2, 3. ポンプの水銀の乾燥を維持する方法



## X線診断におけるさらなる予防策

## FURTHER PRECAUTIONS IN USING X-LIGHT IN DIAGNOSIS

以前のノートで、動物実験においてX線が危険なものであることを述べ、患者と医師に対するリスクを軽減する方法の説明を試みてきた。そのいくつかについては既に充分述べたが、ここではこの問題をさらに考察する。X線は危険なものであり、検査する組織にのみ照射するようにしなければならない。一定時間内にこの組織に当たる総X線量は、正確な診断を可能とする範囲で最小とするべきである。X線で検査しない限り、胸部の検査は不十分だと医師が気づく時がやがて来るであろう。その時、この検査では、蛍光板が発光する時間と視覚の持続性を利用して、診断に必要なX線の総量を減らすことができる。最も良い方法は、このような検査で使用する管球の寿命を延ばす目的で、以前のノートで既に推奨した方法である。すなわち、電流を非常に短時間のサージとして、画面上および視覚上で蛍光が持続するX線パルスを生じさせ、サージ間に間隔を設けて、その間は目には光が連続しているように見えても、組織にはX線が当たらないようにすることである。

(Boston Medical and Surgical Journal 1903.10.1)

## 放射能の治療応用に関するいくつかの原則

## SOME PRINCIPLES INVOLVED IN THE THERAPEUTIC APPLICATIONS OF RADIO- ACTIVITY

- ・放射性物質は放射線非透過性カプセルで使用するべきこと
- ・放射能の治療効果は距離の二乗に比例して減弱する

1900年、放射能の診断および治療における意義を調べる動物実験を行った。診断に関する結果は、「American Journal of Science」誌1900年11月号掲載の「陰極線とX線」の中で、ラジウム1,000で明らかになった範囲で簡単に言及されている。現在はより強力なラジウムが利用可能になっており、結果は異なるかも知れない[161]。当時、その治療応用についての報告はなかったが、ラジウム1,000は、病変組織への作用を制限するために放射線非透過性の壁を持つカプセルにいて使用した。このカプセルをWilliams博士に供与し、狼瘡および表皮癌の治療への利用を推奨した。その後1901年に、より強力なラジウムが使用された。動物実験で、ラジウムが組織に強力な作用を及ぼすことが知られていたため、Boston Medical and Surgical Journal 1902年1月23日号では、ラジウムの治療応用が注目され、ウィリアムズ博士の結果が待たれた。

現在、カルノー石からラジウムを抽出するアメリカの会社が設立されており、エーテル波とエマネーションが医学校でも採り上げられ、エーテル治療、放射能治療の教授職が確立されるようになれば、放射性物質は今後の治療で確実に注目を浴びることになるであろう。従って、放射能の代表としてラジウムに関するいくつかの事実を述べ、注意事項について言及するものとする。

ラジウムとポロニウムを発見したキュリー夫妻は、ラジウムがさまざまな波長のエーテル波を放射することを発見した。その中には、可視光のような長波長のもの、さらに波長が長い熱波も含まれている。キュリー夫妻とベクレルは、エーテル波に加えて、ラジウムがさまざまな大きさの粒子を放出していることを発見した。A粒子は水素原子の質量とほぼ同じで、放射能の99パーセントを構成している。これは正の電荷を持ち、ボール紙のような薄い物質でも容易に吸収され、その強度は厚さ5/1,000mmのアルミニウムで半減する。これは、第2の形であるB粒子に比べて磁場内で偏向しにくい。B粒子の大きさはわずか1/1,000で、負の電荷を持ち、X線管の陰極線粒子と同一と考えられている。これは物質内により深く進入し、その強度は1/2mm厚のアルミニウムで半減する。第3の形、ガンマ線は、磁石による偏向は確認されていない。これは非常に透過性が高く、80mm厚のアルミニウムで強度が半減す

る。これがエーテルの振動なのか、飛翔粒子なのかは不明である。

現状では、治療に放射性物質を利用する場合、高価であるためそれ自体を利用することはできない。そこで、ラザフォード、ソディ [162] ら物理学者の研究を活用する必要がある。彼らはラジウム塩を水に溶かすと「エマネーション」を放出し、それを水銀上のガス容器で空気中に集めて、ソディが最初に推奨したように医学的に利用できることを示した。ラジウムを溶解すると、その放射能の 75% が直ちに解放され、残り 25 パーセントは A 粒子となる。最初の放出が終わっても、溶液中のラジウムはより多くの放射線を放出し続け、その量は乾燥状態と同程度になる。このことは、ラジウム溶液が安定なエマネーション源として治療に利用できることを示す点で重要である。エマネーション自体も、新たな放射能の生成に利用できる。

放射性物質を含む少量の空気を、空気を含む別のガス容器に入れると、その全体が急速に放射性になり、その強度は金属容器による減衰速度と釣り合うまで増加する。このことから、放射能は多くの物質が有する性質であるといえるかもしれない。例えば全ての一般的な金属が放射能を示しうる。ストラット (Strutt) は、水銀から非常に放射能の高いガスを得ており、水銀の治療効果の一部は放射能によるものである可能性が高い。これは現在治療に使用されている他の物質にも当てはまるかもしれない。銅、錫、亜鉛など一般的な金属のシリンダーに密封した空気は、放射能を持つようになる。

ある研究者は、ラジウムをいれたガラス管を、癌組織の中に挿入した。前述の動物実験は、これが賢明ではないことを示している。ラジウムが、新生物の周辺部に作用する前に、ラジウム近傍の健常組織と病変組織が双方ともに破壊されるからである。作用の強さはラジウムからの距離の二乗にほぼ比例するため、ラジウムから 1mm 以内の組織は 5cm 離れた組織よりも 2,500 倍も強力な治療を受けることになる [163]。また、周辺部分に作用するために持続的にラジウムを使うと、深部で新しい健常組織の形成を妨げることになる。しかし現在のところ、動物実験の結果は、表在あるいは表在近傍の病変に対して検討されており、この目的で放射性物質を使用する場合には、次のような予防策を遵守する必要がある。放射性物質の放射線とエマネーションは、全方向に広がり、その一部は動物組織に破壊力を持つため、放射性物質は放射線非透過性の管、容器、プラスターなどにいれて使用し、放射能が必要な方向にのみ放射され、容器の内面に誘導される放射能によって強化されるように利用する必要がある。このような予防策が、医師および患者の健常組織への傷害を防ぐために必要である。

X 線の場合と同じように、特に目の保護に留意しなければならない。動物実験は、X 線同様に放射性物質

も失明の原因となることを示しているからである。放射性物質を皮膚または皮膚近傍の病変に使用する場合、作用を受ける病変組織の深度に応じて、放射性物質と患者体表面との距離を決定する必要がある。その理由は、放射能は距離の二乗にほぼ比例して減少するが、放射能の複雑な性質のため、実際にはより急速に減少するためである。ラジウムを皮膚面から 10cm の位置に置くと、透過性がより高い放射能については、深さ 1cm で放射能の強度は表面の強度とほぼ同じになる。そのため、多くの場合病変下の健常組織は、病変部と同程度の破壊的な作用を受けることになる [164]。放射性物質で皮膚病変を治療する正しい方法は、放射能を可能な限りどの程度の深さに制限することが望ましいかを考えることである。深さが浅ければ、放射性物質は皮膚にほとんど接触することになり、適用時間は距離に応じるが、距離が遠い場合よりも常に短くなる。この場合、深さ 1cm の健常組織に作用する放射線の強度は、皮膚に当たる放射線の 1/100 以下になり、明らかに科学的な方法である。

放射線治療の領域を限定するための容器の構造は、X 線の場合に推奨されている鉛など重金属の酸化物の塗料で放射線を遮断した、固定式または手持ちの木製ケースを使うことができる。導電体である必要はないが、木材のかわりに金属も使用できる。例えば鉛のような、どのような重金属でもよい [165]。患者に適合させるために柔軟性が必要なプラスターの形で放射性物質を使用する場合、その裏面は放射性物質によって蛍光を発する素材にすべきである。

数年前、フィラデルフィアのバーカー (Barker) 教授は、外科診断において放射性物質は X 線を置換し得ると述べている。ここで言及されているラジウム強度は 1,000 で、その結果は不満足なものであったが、現在では金銭的に余裕があれば購入可能な純粋臭化ラジウムで実験を繰り返す意義はあるであろう [166]。

(Boston Medical and Surgical Journal 1903.11.12)

[161] 純粋臭化ラジウムでも、結果は同じである。

[162] 内科的に利用するエマネーションの生成には、臭化ラジウムよりも塩化ラジウムのが適している (ソディの理論)。臭化ラジウムは、空气中、水中で緩徐に分解するである。ボドランダー (Bodlander) によると、水溶液から放出されるガスは、水素 2、酸素 1 の割合の水素と酸素の混合物である。この変化は、量が何倍も大きいため、通常の化学反応とは考えられない。炭酸ラジウムも同様のガスを発生させる。

[163] 治療効果が最も大きいと思われるベータ線は組織によって急速に吸収されるので、実際にはこれよりさらに大きい。

[164] この場合、アルファ線とベータ線は、除去されていることを前提としている。

[165] 純粋ラジウム塩の透過力は大きいため、通常の発電機で発生する X 線と比べて、厚くしなくてはならない。

[166] ウィリアムズ博士の厚意により、純粋臭化ラジウムを使用して実験を行った。その結果は、既に述べた 1900 年の実験と同じで、骨の良い画像は得られなかった。

# 内部ターゲットを冷却する X 線管

ON X-LIGHT TUBES IN WHICH AN INTERNAL TARGET IS COOLED

いくつかのメーカーは、これらの実験中に考案された、X 線管の内部ターゲットを冷却する設計を採用したが、経験不足のため効率的な方式を複製できず、ターゲットに空気または水を持続的に放出する方法ではなく、X 線管に小さな水槽を取り付けて冷却する、以前よりも性能に劣る有用性の低いものを製造している。図 130-1 に示す X 線管は、水冷管の悪い見本である。これを例示した理由は、最近の X 線関連の記事で、「水冷管の中でも、疑いなくこれが最も効率的なものである」と書かれているからである。この X 線管を強力な電流で励起すると、水がターゲットから追い出され、熱で溶解するか、あるいは管球のシール部分が破損する。もう 1 つの欠点は、X 線を特定の方向に照射することが事実上不可能であることである。X 線を任意の角度で上方、前方、下方に照射できない X 線管は、医療用に不適である。この管球は、患者を臥位にして線源を下において検査する場合のように、X 線を上向きに照射することができない。冷却水が重力によってターゲットから落下し、ターゲットが加熱されてしまうからである。冷却ターゲット X 線管のメーカーが、ノート 1 に示したような X 線管外部から気流あるいは水流を取

り入れる設計を採用しないのであれば、このような X 線管の初期の設計を模倣する必要がある。これは、図 131-2 に示すように冷却装置がゴムまたはオーク樹皮のストッパーで管球に取り付けられているため、貯水槽を垂直に保ちながら管を長軸回りに回転させ、X 線を上方、前方、下方の任意の角度で照射できる。

電解式断続機を、以前のノートに示した大電流を安全に流すことができるコイルで使用する場合、ノート 1 に示したより優れた冷却ターゲット X 線管であっても、冷却装置が液体である場合は、シールの損傷リスクを減らすために、冷却装置を別の形にする必要がある。その後のいくつかの形式では、中空ターゲットを長くし、図 131-3 のようにシール部分のガラスと白金の温度をより均一に保つようにした。この改良は、ターゲットを空気流で冷却する場合は不要である。筆者の実験では、薄い非冷却白金ターゲットを溶解しない程度の電流で、10m 離れたところから心臓を明瞭に映し出すのに十分な量の良好な X 線を発生できることがわかっているが、一般的には、ターゲットに触れる水を水蒸気に変えてターゲットを溶解し、管球に空気が入るほどの電流が使用されている。これを防ぐには、冷却物質をターゲットに直接、持続的に放出することである。これを行わない冷却ターゲット管は、これらのノートで示した回転式非冷却ターゲット管を上回るものではない。

(Electrical Review 1903.11.14)

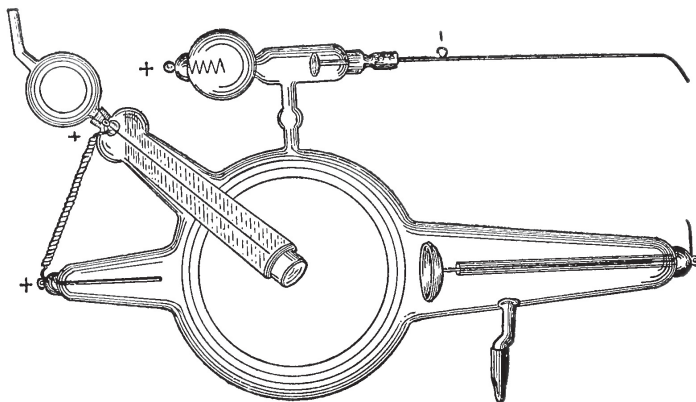


図 130-1. 冷却 X 線管の欠陥例

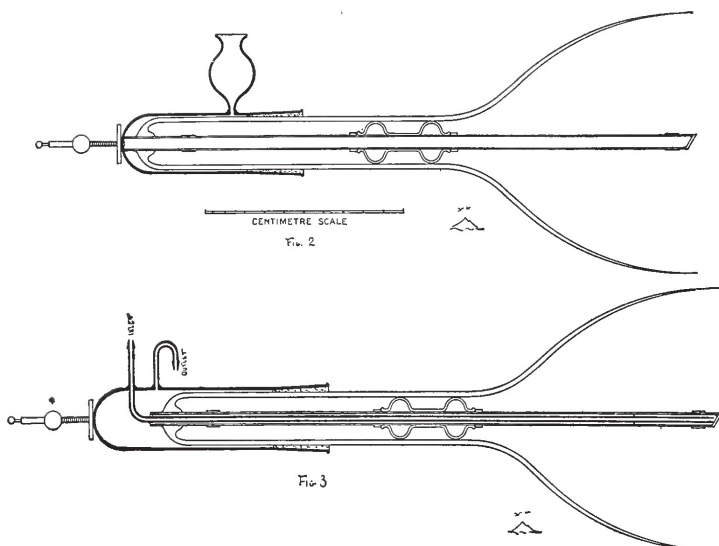


図 131-2, 3. X 線管ターゲットの冷却法の詳細

# X線管をポンプ排気するために必要な装置に関するさらなる注意

## FURTHER REMARKS ON APPARATUS REQUIRED IN PUMPING X-LIGHT TUBES

- ・ X線管を最高度の真空として排気するために適切な水銀ポンプの説明
- ・ 排気中に管球を閉鎖する加温クロゼットの説明

水銀ポンプの歴史を研究すれば、何か新しいことを付け加えることが難しいことは明らかであろう。唯一独創性を示すとすれば、有用な特徴を上手に選択して組み合わせ、無用なものを捨てることである。前者はほとんどないが、後者はポンプを複雑にするのが目的であるかのように非常に多い。

最高度の真空を迅速に得ることが重要である場合、ポンプと排気する容器は、継ぎ手、乾燥管、ゲージ、または活栓などがない一連のガラスでなければならない。ポンプと排気する容器は、高温になっているからである。ポンプの口径を増大あるいは縮小する場合、水銀がガラスからガスや蒸気を駆出できるように、徐々に変化させる必要がある。この種のポンプは、スウェーデンボルグ・マイル・ルード (Swedenborg- Mile-Rood) ポンプと呼ばれることがある。スウェーデンボルグが1722年に初の水銀ポンプを発明し、マイルが1828年に吸気口と排気口に圧力測定医管と上下する水銀貯留槽を追加したからである。ルードは、1880年にポンプが高熱になることを示した。手動水銀ポンプの開発に携わったその他の人々すべてが存在しなかったとしても、ポンプは今日でも同じように高性能であったであろう。X線管にとって、最高度の真空が必要であると言われているものの無用であることから、効率は多少減少してもより便利なものにすることができる。

このようなポンプは、図132-2に示すようなガスを収集して排気度を測定するような実験には、特に適している。吸気口のマイルの気圧測定管は、排気管の少し上に活栓ISを付けた短く幅広い管ITに置き換えた。これは、1873にMitscherlichが発明した自動バルブAVにより可能となったものである。トンプソン (Thompson) は、その貴重なパンフレット「The Development of the Mercurial Air Pump」(水銀空気ポンプの開発)の23頁で、排気する容器とポンプの間にある活栓は役立たないどころか有害であると述べている。このノートに記載の実験は、日常業務の都合上、夜間しかできなかったため、X線管の排気に要する時間を節約する必要があった。吸気管に活栓ISを取り付けて、使用していない間に空気中の水蒸気がポンプ内に侵入しないようにすることで、排気に要する時間が短縮されることがわかった。これは重要なことなので、新たなX線の鉄則を加える。「水蒸気は水銀ポンプか

ら除去しなくてはならない」。

活栓ISを開く前に、加熱およびWVOにフレキシブルなゴム管で接続した小型手動排気ポンプによって、X線管から水蒸気の大部分を除去し、部分的な真空状態を作り出す必要がある。次いで管Sを閉鎖し、ISを開放して水銀ポンプの排気を終了する。後者を図のように手動ではなく、ノート138で推奨したように機械式ポンプで行う場合、予備排気は直接機械式ポンプに向けて行う必要がある。ポンプと排気する容器の間に乾燥管がない水銀ポンプは見たことがない。通常、これは図129-1(ノート170)に示すように、ポンプに溶

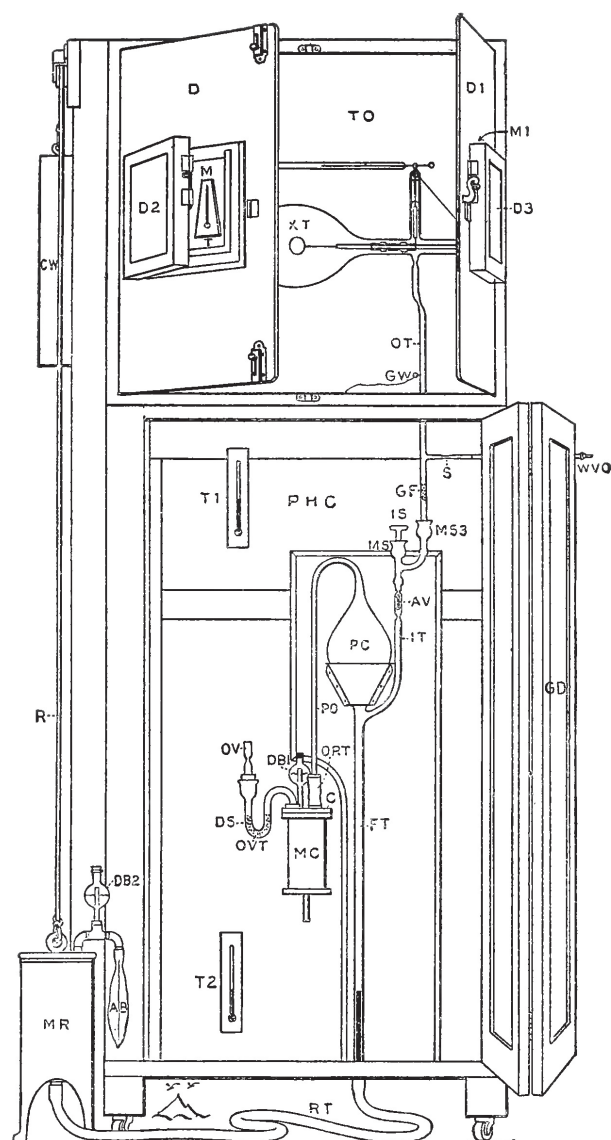


図133-2A. X線管の排気、チューニングのための装置。X線管オープンおよびポンプの正面図。TO:放射線非透過性壁を備えたX線管オープン、D, DI:放射線非透過性ドア。M, MI:雲母製の窓。D2, D3:放射線非透過性鉛ガラスドア。XT:X線管。OT:X線管とポンプの接続管。GW:排気管の接地線。S:X線管と機械式排気ポンプの接続管。GF:X線管への水銀の侵入を防ぐ金箔。MS3:X線管OTとポンプの接続箇所の水銀シール。AV:自動弁。IS:ポンプ吸気部の水銀シールドMSの活栓。PC:ポンプチェンバー。FT:ポンプチェンバーを水銀槽に接続する落下管。ORT:ポンプ排気管と水銀槽MCを接続する軟質ゴム管。C:水銀槽のカバー。DB:乾燥球。OVT:水銀槽の排出管。DS:乾燥塩。OV:排気バルブ。T, T1, T2:外部から読み取り可能な温度計。PHC:ポンプ保温クロゼット。

着されている。すると、新しい乾燥塩を入れる際にポンプを分解する必要があるため、乾燥塩を長時間置いておきたいと考えるはずである。乾燥管を使用する場合は、摺り合わせジョイントで接続する必要がある。このようなジョイントから漏洩があったとしても、湿った乾燥塩よりも害が少ないためである [166A]。

水銀槽からポンプへの水蒸気混入を防ぐ装置についてはノート 170 に詳述したので、ここではその原理をポンプの排気口に適用する方法だけを検討する。図 132-2 で、マイルの気圧測定用排気管 PO は、3つの開口部がある密閉カバー C を備えた容器 MC に終わる。その内 2 つはゴム製ストッパーで閉じられ、3 つ目はゴム管 ORT で閉じられており、マイルの管 PO と容器 MC の間を気密に接続している 1 つ目のゴム製ストッパーには管 OVT が通り、その外側の端はバルブ OV により閉鎖され、乾燥塩 DS が充填されている。この管の終端は容器 MC 内にあって、マイルの排気管の上向きの端に連続する。ポンプチェンバー内で水銀が上昇すると、溢れてマイルの排気管の端に現れ、容器 MC 内に逸出する。ポンプからの空気は管 OVT を昇って、バルブ AV により放出される。水銀がポンプチェンバーに落ちると、バルブが閉じて外気を遮断し、残った空気は乾燥塩によって水分が除去される。そして、マイル管 PO と容器 MC を接続する柔らかいゴム製シリンダー ORT が収縮し、水銀が大気圧によって再びマイル管内を上昇する。排気した容器からガスを回収する必要がある場合は、ゴム製ストッパーが付いた管 OVT を取り外し、水銀の入ったバイアルをマイル管の上向きの端に逆さまにして置き、ゴムバンドで固定して水銀槽 MC の上部の穴にフィットさせる。

回収ガスをスペクトル管に入れる方法については、Travers の著作「The Study of Gases」に詳しい。以前のノートに述べたいくつかの実験では、陰極線中のガスの性質を調べるために、ガスをこの方法で収集したが、その後より確実な方法に変えた。X 線管は、可動ターゲットによって、スペクトル管とすることができる。3 つ目のゴム製ストッパーは、水銀槽 MC 内の空気の乾燥を保つ乾燥管 DB を支えている。ポンプにはゲージがないが、真空度はマイル管の上部近くを目盛から必要な計算を行うことで測定できる。この形のポンプは、ガスを収集することが望ましい X 線管の研究には適しているが、毛細管が破損しやすく、気泡が毛細管からポンプチェンバーに上昇しないように注意が必要のため、日常的な作業には推奨されない。

図 133-2A では、この毛細管 PO (図 132-2) が、吸気口のもの (図 132-2, AV) と同じような自動バルブ AV2 に置き換えられているが、これはミチャリッヒ (Mitscherlich) の発明 (1873 年) になるものであるこの形式のポンプでは、ポンプ自体をゲージとすることはできないが、X 線管を日常的に排気するだけであ

れば問題ない。そのため、図 133-2A にゲージは示されていない。図 132-2 の OVT のような乾燥管は、ポンプの排気口 OVT2 (図 133-2A)、水銀でシールした活栓 IS2 に接続し、使用していない時に水蒸気がポンプ内に侵入することを防ぐ。このようなポンプは、Swedenborg-Mile-Mitscherlich ポンプと呼ぶべきであろう。手動水銀ポンプの研究に本質的役割を果たしたのは、この 2 人だけであるが、機械に動作する短い落下管を備えたポンプについては、ロビンソン (Robinson) の名前も加えるべきであろう。この方式は、動力があれば手動ポンプよりも便利であり、水銀槽をポンプク

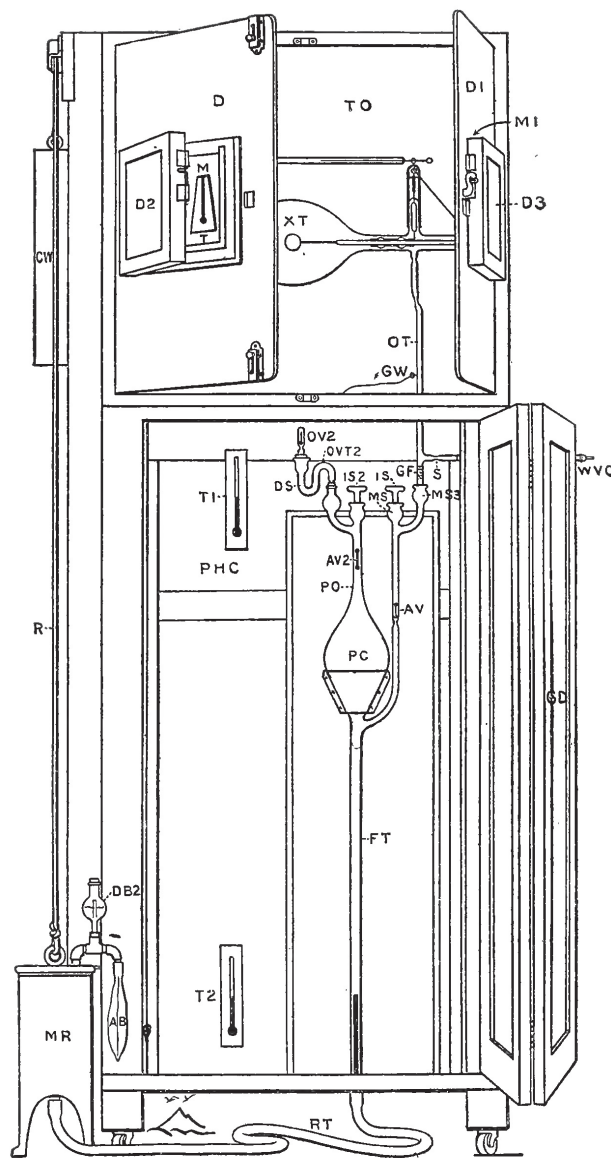


図 133-2A. X 線管の排気、チューニングのための装置。X 線管の日常的な排気用の X 線管オープンおよびポンプの正面図。TO: 放射線非透過性壁を備えた X 線管オープン。D, DI: 放射線非透過性ドア。M, MI: 雲母製の窓。D2, D3: 放射線非透過性鉛ガラスドア。XT: X 線管。OT: X 線管とポンプの接続管。GW, 出口チューブの接地線。GW: 排気管の接地線。S: X 線管と機械式排気ポンプの接続管。GF: X 線管への水銀の侵入を防ぐ金箔。MS3: X 線管 OT とポンプの接続箇所の水銀シール。AV: 自動弁。IS: ポンプ吸気部の水銀シールド MS の活栓。PC: ポンプチェンバー。FT: ポンプチェンバーを水銀槽に接続する落下管。PO: ポンプ排気口。AV2: 自動弁。IS2: 水銀シール付き活栓。OVT2: 乾燥管。DS, 乾燥塩。OV2: 排気口弁。T, T1, T2: 温度計。

ロゼット内に設置できるため、水銀の加温が容易である [167].

加温装置：以前のノートで、X線管を高温に保つことの重要性について何回も述べた。その実験方法については既に述べたが、ここに図示する。図 132-2, 133-2A, 134-3 に、X線管非透過性の壁を備えたX線管オープンTOを示す。大きさは、 $60 \times 75 \times 75\text{cm}$  で、アスベストで内張りされている。2つの扉D, D1があり、それぞれに雲母窓M, M1がある。雲母窓には、重い鉛ガラスをはめ込んだ厚さ3cm以上の扉D2, D3がある。X線管から発生するX線は、雲母窓を通して見ることができるが、これが不要なときは窓をガラス扉で覆い、ポンプ排気中、X線管調整中に術者のX線被曝を防ぐことができる。この注意の重要性は、以前のノートで十分に指摘してきたことである。X線管の一端は、管OT(図 132-2)でポンプに接続され、他端は調整可能なガラス製アプミGS(図 134-3)に支えられている。図 134-3 に、オープンを加熱する方法を示す。Bは、3つあるガスあるいはケロシンバーナーで、熱は矢印のように上行する。PHC(図 132-2, 134-3)はポンプクロゼットである。扉GD(図 132-2)は、ポンプを検査できるようにガラスがはめ込まれており、中央で折れ曲がるので、ポンプに手を伸ばす必要があるときは冷気の流入を防ぎながら部分的に開くことができる。図 134-3, LBに加温方法を示す。

オープンクロゼット、ポンプクロゼットともに、外部から読める温度計がある [168]。ポンプ排気の詳細については、以前のノート、特にノート 138 に記した通りである [169]。ポンプの操作法については、既に述べた。以前のノートで述べたように、ポンプ排気柱にポンプからのエマネーションがX線管に入ることを防止する必要がある、その方法については既に述べた通りである。1つの方法は、水銀蒸気を吸収するために、ポンプにつながる管に金箔を緩く詰めるものである(図 132-2, GF)。もう1つは、排気管に電線を入れ、これを接地する方法である(図 132-2, GW)。多くの実験で、コイルはこの目的で接地されている。

以前のノートで、X線管は密閉する前に排気し、その後励起に使用するのと同じ電流を流すべきであると述べたが、ノート 68 では、強力な発電装置に対応するX線管を入手するのが困難である場合、X線を頻繁に使用する病院では独自のポンプ装置を備えることを提案した。このような理由から、ここには手動できるポータブルポンプ装置を示す。水銀槽の重さは、鉛の重り(図 13-3, CW)でバランスしている。ここに示すポンプは、通常のガラス製であるが、金属製ポンプも試す価値がある。現在では、シームレスな研磨されたスチール管が入手可能であり、トムソン(Elihu Thomson)教授の優れた電気溶接法により、溶接部の内側を滑らかに研磨して、ポンプを一体製造することも可能である。X

線管を取り付けるために、X線管をポンプに接続するガラス管を、ポンプと一体化したシームレスな白金管内に密封できる。このようなポンプは、研究用のデリケートなものとなり、市販製品となりうるものである。

(Electrical Review 1903.11.14)

[166A] X線管の排気には、乾燥球のない機械式ポンプが使われてきた。1896年、友人のW. E. Oelling氏がボストンのBeacon Lamp Co.の工場で製造した初期のX線管のいくつかは、この方法で排気されていた。

[167] 機械式ポンプは、1つの点で水銀ポンプより優れている。水銀蒸気を発生しないことである。

[168] 水銀が蒸発するため、オープンの温度は高過ぎないようにしなければならない。

[169] 電流がコイルの一次側に流れると、二次側から放電が起こり、陽極が陰極として働き、金属から剥がれた白金で管が黒化する。従って、X線管の排気にあたっては、電極が電氣的に処理されて融合ガスが適切に除去されている場合、管内の逆放電を防ぐために直列火花間隙が必要である。

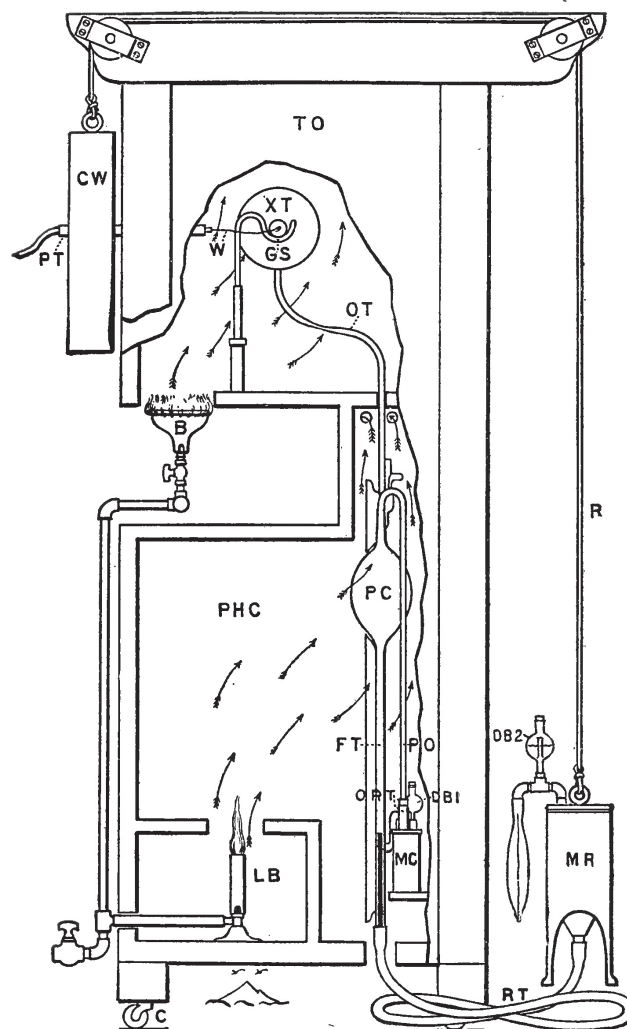


図 134-3. X線管の排気、チューニングのための装置。X線管オープンTOとポンプ保温クロゼットPHCの側面図。内部を示すため側面を削除。B, LB: 加熱用バーナー。PC: ポンプチェンバー。PO: ポンプ排気口。MC: ポンプ排気口の水銀タンク。軟質ゴムシリンダーORTにより気密性に接続されている。DBI: 乾燥球。MR: 水銀槽。DB2: 乾燥球。RT: 水銀槽MRと落下管FTの接続ゴム管。R: 水銀槽とカウンターウェイトCWの接続ロープ。OT: X線管XTとポンプの接続管。GS: X線管一端を支えるガラスフォーク。W: X線管と発電機を接続する2本の電線の1本。PT: X線管オープン金属壁から電線を絶縁する2本の磁器管の1本。C: 4つのキャスターのうちの1つ。

## 照射範囲ファインダー [170]

### RADIANT AREA FINDER

以前のノートで、治療目的には壁を線源となる X 線管を推奨したが、その場合、陰極の形状と位置によって放射領域の位置と大きさが決まる [171]。このような X 線管を使用する前には、X 線管が計算通りの領域に照射されているかを確認することが望ましい。この目的には、鉛を被覆し、絞り板と蛍光板を入れた真鍮管が役立つ。

これは長さ 1m、直径は 25mm で、片目を接眼レンズに当てて照射領域に向けると、蛍光板にまいる光点が見える。もう片方の目は、真鍮管の方向、すなわち X 線の方向を見る。管を動かすことで、照射領域の大きさと位置を頭の中でイメージすることができる。以前のノートで、X 線管を放射線非透過性ボックスに入れて、X 線が観測者に当たらないようにすることが重要であることを示した。X 線管を試験する場合、このような箱は必ずしも使われない。

その場合は、既に推奨したように放射線透過性のカバーで自ら防護する必要がある。ノート 116C では、布に非透過性塗料を塗布してこのようなカバーを作る方法を示した。この方法を採用したいという人が、塗料の配合を尋ねてきたので、ここに示す [172]。この種の塗料を X 線防護に使用するというアイデアは、柔軟性と防水性が必要な帆に C.A. ウェルチ (Welch) 氏がこの塗料を使用しているのを見て思いついたものである。X 線の実験家は、市場関係者が使うような長い白いダックコートにこの塗料を塗ると良いことがわかるであろう。以前のノートで推奨した綿または薄いゴムの手袋も、手を保護するために同様に塗装する必要がある。X 線の強さを試験するために、手を使うようは不賢明な習慣は、じきになくなるであろう。試験する管球の下に放射線非透過性テーブルを置くと、その影で覆われるため、体の下部は X 線の直接照射から簡単に保護することができる。

(Electrical Review, December 12, 1903).

[170] このファインダーの原理について、オリジナリティーは主張しない。

[171] ノート 166, 167 参照。

[172] 布地に塗布して X 線から防護するための、柔軟性のある放射線非透過性塗料: 白鉛塗料 9 ポンド、石鹼 2 1/2 オンス、水 12 オンス。水を 212°F に加熱し、石鹼を溶かす。混合物が熱いうちに塗料に注ぎ、よく混ぜるまで攪拌する。この塗料は時間が経つと徐々に剥がれてくるので、乾燥した粉末白鉛とベンゾールに溶かしたゴムを混ぜ、その混合物を綿布 2 枚の間に広げて、に押し付けると良い。これにより非透過性被覆を保護することができる。鉛が望ましくない場合は、ビスマス化合物を乾性油またはベンゾールに溶かしたゴムと混ぜて使用できるが、より厚くする必要がある。

## X線管の設計

### DESIGNING X-LIGHT TUBES

#### ・X線管設計法の詳細

図 135-1 に示す X 線管は、ノート 138 で示説したタイプである。曲率中心と半径が表示されている。真空調整管は、最初に筆者の X 線管に実装し、その後一連のノートで説明した原理に基づいて動作する。すなわち、2つの調整管があり、1つは管球の抵抗を恒常的に下げる再生管 [173] で、もう 1つは始動抵抗を下げ、動作中に任意の抵抗を自動的に保持する。検査中に常に X 線を調整できることの重要性は非常に大きく、これについては何度も説明し、X 線の鉄則とした。

図 135-1 の X 線管では、いずれの調整管も管球を励起する発電機により動作する。動作中、調整管は図 136-2 のようにセットする。この時電流は、恒常的な調整管には流れない。電流は、発電機からアーム A を介して電線 B、火花間隙 S、自動調整管 AR、電極ステム C を通って発電機へと流れる。管球を再生するには、自動調整管で始動抵抗を任意の値 (たとえば 150mm) まで下げ、管球の破裂を防止する。次に、A を素早く点線 A2 の位置まで持ち上げ、アーム HW を点線 HW2 まで下げて、調整管 HR を回路に組み込む。電流は、電極 T のステム、電線 HW3、調整管、電線 HW2、電線 B、火花間隙 S、自動調整管 AR、他端の電極 C のステム、発電機の順に流れ、管球の抵抗が 150mm 以下になると、電流は調整管と再生管の回路を出て、管球

内で電極面の間を通るようになり、調整管は動作を停止する。

ここでアーム HW2 を挙げると、調整管 HR からの電流は遮断される。アーム A は、以前のノートに詳述した電極板 TD と接触する。次いで、電流は自動調整管に流れ、管抵抗ハンドル RH4 (ノート 149, 図 102A-5, 103-5A) によってコントロールされ、ノート 152 で説明した火花間隙 S の長さによって、150mm 以下の任意の値に保持される。ハンドルは、検査あるいは撮影中、術者の手の届く範囲にあり、検査を中断することなく線質を変えることができる。

X 線管は、ノート 156 のように X 線管ボックス内での使用を意図しているため、火花間隙によって絞り板開口部から放出される X 線が遮断されないようにする必要がある。ノート 138 の X 線管では、ターゲットのステムを複数の方向に向けられるようにすることでこれを実現した。このようにしない場合は、火花間隙を直角にする必要がある。

調整管と再生管は、見かけは良く似ているが、一方は再吸収したガスを放出する化学物質を容れており、他方は再吸収したものではないガスを放出する。化学物質を容れた管を、図 136-2, 137-3 に示す。いずれも一端に白金線が封入されている。他端には別の電線が封入されている場合も、開放している場合もあり、開口部はノート 139 記載の導電性物質 (たとえば金箔) を混ぜた粉末状化学物質の導入に役立つ。側面あるいは端部の開放部は、糸ガラスで閉鎖する。この調整管と再生管の構造は、鉍物に含まれるヘリウムなどのガスを利用する際に役立つ。これは、粉末化学物質の内部

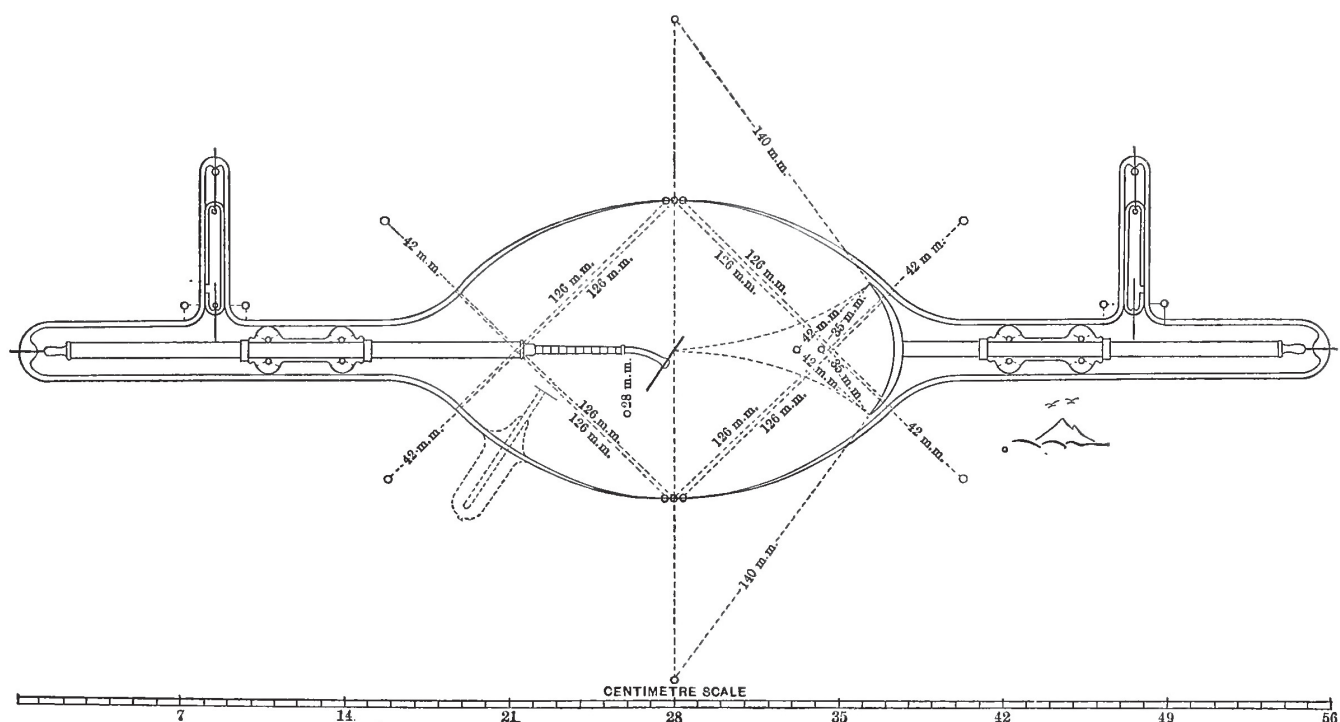


図 135-1. X 線管の設計.

で電流が導電性物質間を移動する際に発生する高温が、ガスの放出に効果的なためである。

管球は、使用前にオープンで加熱しておく必要がある。外側に物質が溜まっている場合、X線管に密封する前に除去し、糸ガラスのプラグを通してガスが自由に通過できるように注意する必要がある。図 137-3 に、図 135-1 と同じ設計で冷却ターゲットを備えたものを示す [174]。一覧の実験で初めて認識された原則、すなわちターゲットを陽極から離し（ただし陽極に接続することは可能）、陰極に近づけるという原理に基づいて 3 つの電極を持つ X 線管を作る場合は、第 3 の電極を図 135-1 の点線のように配置すれば良い。このタイプの管球についての詳細は、ノート 4, 16, 31 を参照。この原理は複数の X 線管メーカーで広く採用されており、現在アメリカ、ドイツで最も一般的な形式である [175]。

(Electrical Review, 1903.12.12).

[173] X 線管の使用による劣化の原因の 1 つは、動作中に発生する荷電粒子の一部がガラス接続部からの漏出の可能性があると思われたため、放射性物質から管内に放出される荷電粒子でこの損失を補える確認するために、管球にラジウム塩の容器に入れた。この実験は、資金に余裕があれば購入できる純粋な臭化ラジウムで繰り返す必要がある。

[174] ノート 1 参照。

[175] 陰極についてはさらに実験を行う必要がある。アルミニウムとマグネシウムの合金であるマグナリウムは貴重である。以前のノートで、一般的な金属の中では亜鉛が最良の陰極であると述べたが、最近クンツ (Kunz) とバスカビル (Baskerville) は、オルソ珪酸亜鉛、硫化亜鉛、酸化亜鉛、クンツァイトがラジウムに対して最も良く反応することを示した。

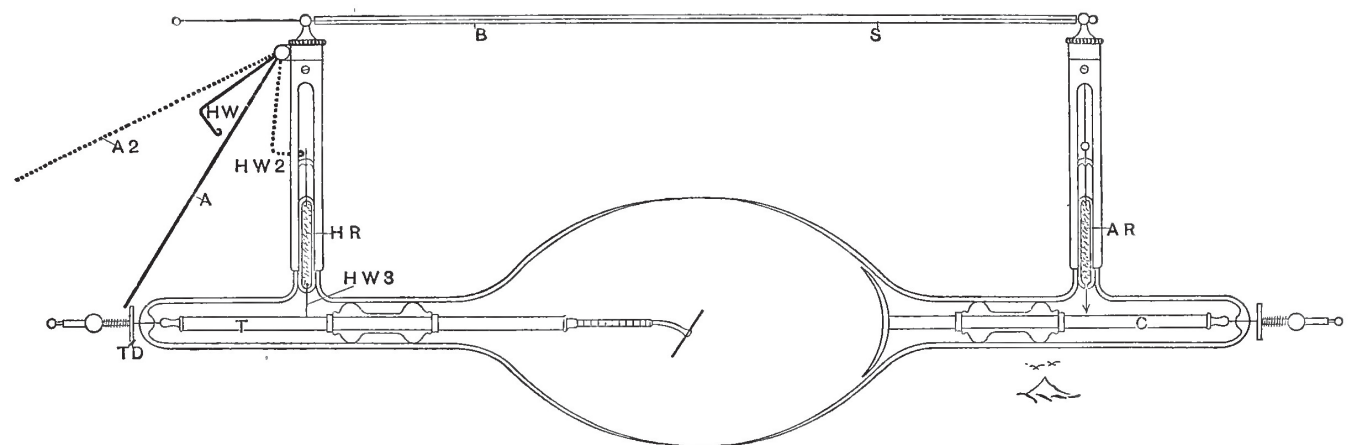


図 136-2. 抵抗調整管と X 線管再生管の操作法の詳細。

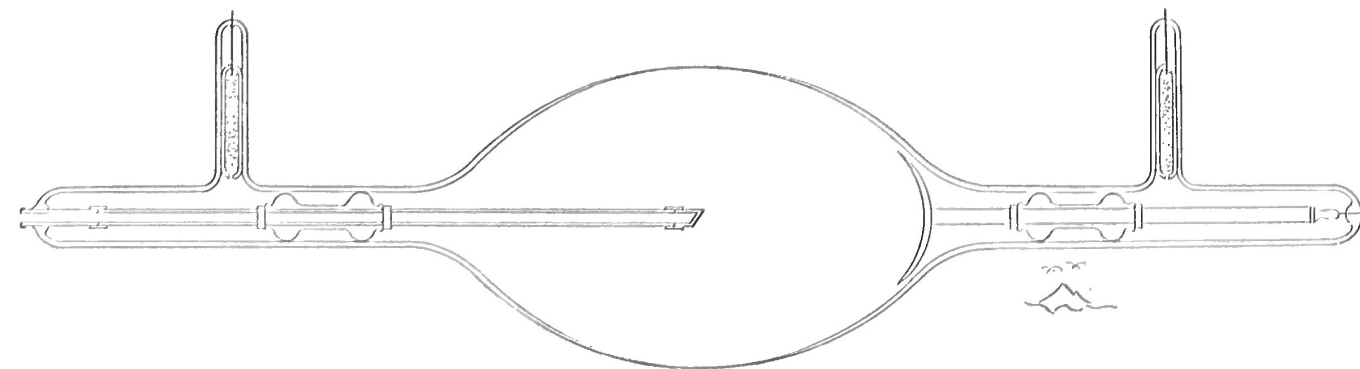


図 137-3. 冷却ターゲット X 線管の設計。

## X線以外のエーテル運動の医学応用

### ON THE MEDICAL USE OF SOME OTHER ETHER MOTIONS BESIDES X-LIGHT

- ・皮膚疾患の治療に推奨されているデルマ線
- ・デルマ線を発生する真空管の製法

Boston Medical and Surgical Journal 誌 1897 年 2 月 25 日号で、患者を発電機の両電極に接続し、高電圧電流を組織に直接流すことで疼痛、炎症を軽減する方法が注目を浴びた。以来、この方法は継続的に使用されているため、X線治療ではないがここに言及する。発電機の電極が、電流量に対して適切な大きさで、かつ電流が流れている間に患者に直接接触していれば無痛である。以前のノートで、接触後に電流を開始し、接触をはずす前に電流を停止する簡単なフットスイッチを推奨したが、治療にはかなり長時間を要することが多いため、患者自身が電流をコントロールできるようにしておく医師の時間を節約できる点で重要である。

実験を行った理由は、神経が有害な情報を伝達することを防ぎ、有用な情報を送ることができるようなエーテルの状態を電氣的に発生、維持することが可能と思われたためである。ノート 30 および後続のノートで、X線管はX線エーテル波だけでなく、通常光あるいはそれより長い波長も発生すると述べた。ここでは、これらの波の一部は疾患の治療に有効であることを指摘する。実験は主に下等動物によるものであるが、人間を対象とした限られた経験から、皮膚疾患に対する有用性が示されている。

このような波は、以前のノートで治療用として推奨されていたタイプの管球から発生する。画像の鮮明度は求められず、照射領域が小さい必要もないため、陰極はバーリー線を焦点に結ぶべきではなく、陰極線粒子が広い金属ターゲットあるいはガラス管の内面を衝撃するようにする。衝撃範囲は、過熱しない範囲として、治療する病変部の大きさによって可変とする。この衝撃により、X線より長波長のエーテル電磁波が発生する。これは、電極の消耗が少なく、管内のガス密度が高いため、陰極線粒子の衝撃速度がX線管の場合よりも遅いためである [175A]。

この治療は、エーテルの運動が異なる点で、X線、紫外線、青色光、通常光、熱波、高周波の治療とは区別される。皮膚疾患の治療では、X線の場合よりも組織の損傷防止の配慮が少なく済む。これは、発生する火傷がそれほど重篤ではなくより表面的であるためである。

一方、フィンゼン灯との比較では、より深部を治療する。熱波の比率が小さく、線源はほとんど皮膚に密着していることから、必要な電気エネルギーはより少

ない。このような管球は、電極の長時間の電氣的処理が不要なので、X線管にくらべて安価である。管球抵抗が非常に低いため、X線は発生しない。

管球の形状は、治療範囲に適したものとする。波が発生する領域は、以前のノートで述べた実験結果に応じて製作した陰極の形状によって決まる。その他の放射線、荷電体、電子が不要な場合、これらから患者を保護するための予防措置を講じなければならない。

(Electrical Review, 1903.12.12)

[175A] デルマ線 (Derma Rays) と称されるこのような光線の発生に適した発電機、管球については、ノート 179D 参照。

## ベータラジウム線が強く荷電したアルミニウム板を通過すること

ON PASSING THE BETA RADIUM RAYS THROUGH A STRONGLY CHARGED ALUMINUM PLATE

- ・200V に荷電したアルミニウム板を通過したベータラジウム線は電荷を維持する
- ・この現象の説明

一般に、大きな負電荷をもつ金属板(プレート)周囲の磁場は負に帯電した物体を反発すると考えられているが、レーナルトは陰極線が接地した薄いアルミニウム板を通過することを示しており、キュリー夫人はベータラジウム線も同様であると述べている。従って、以下の実験は興味深いものである。

アルミニウム板に 20 万 V の電圧を印加し、純粋な臭化ラジウムからのベータ線が、ラジウムから最も遠い金属板上で磁石によって偏向しうるかを観察した。前面に雲母を貼った放射線非透過性カプセルに封入した純粋な臭化ラジウム 50mg を、大きな絶縁ガラス板の中央に置いた。カプセルの上に雲母の前面とほとんど接触するように、アルミニウム板を置いた。ガラス板の上方 7cm に、ベータ線の中心光線と垂直に、シアン化白金バリウムの蛍光板を置き、蛍光板の輝度を観察した。アルミニウム箔は、20 万 V で負に帯電させた。蛍光板の発光に変化は見られなかった。アルミニウムを同じ電圧で正に帯電させたが、蛍光板の発光に変化はなかった。電荷を 1 秒毎に斑点したが、変化はなかった。アルミニウム板の厚さを、ベータ線を十分吸収する程度にして、以前と同じように荷電してもスクリーン上の光はそれ以上減少しなかった。アルミニウム板を、内側コーティングを発電機に接続された 2 個のライデン瓶の外部コーティングと直列に配置した。電極間に火花が飛ぶ度にアルミニウム板からサージが発生するが、蛍光板に変化はなかった。アルミニウム板に代えて、粉末状酸化アルミニウムを 3mm 厚に塗った薄い紙を用意した。個々のアルミニウム細片は、周囲の多数の細片と金属的に接触しないようにフィルムで覆われた状態と考えられる。

理論的には、帯電板上で表面に局限した電荷は、負電も荷電粒子塊も阻止できない。この理論は間違っている可能性があり、粉末状アルミニウムが荷電粒子塊であるという仮定も疑問視される。そこで、実験をアルミニウム粉で繰り返したが、アルミニウム板と同じ結果であった。実験では、ベータ線は帯電アルミニウムを通過後磁石によって偏向され、20 万ボルトの磁場を通過した後も荷電していることが示された。

これはいかに説明できるであろうか？ 一般的な説明としては、速度が著しく大きいことに原因を求めることであろう。筆者が以前のノートに記した陰極線のメ

カニズムに関する説明を発展させた以下の説が、有用かも知れない。

まずこの理論では、陰極線もベータラジウム線も電子(一部の物理学者が唱えているように物質から遊離した電気)ではなく、荷電体であると仮定し、物質から遊離した電気が陰極線または対流または光線に沿って他の場所に移動するとき、対流によって移動するのではなく、これらの線上の分極したエーテル単位とそのパートナーの交換によって移動し、陰極線または他の粒子が光速のオーダーで移動しているように見える場合、測定対象はその移動中に、光源と観測場所の間で私たちが波と呼ぶ抽象物が持つ個々の存在とほとんど同じであると仮定する。測定されるのは個々の粒子ではなく、分極したエーテル単位の線に沿う歪み点の動きであり、光線内の唯一の自由電子はエーテル鎖の最後のリンクから解放され、電荷として物質と結合することによって現れる最後の電子である。おそらく、陰極線中の物質の輸送(対流)は、広く想定されているように光速のオーダーではないと思われる。そして、物体が無限の距離から宇宙最大の物質塊に落下したとしても、そのような速度を得る方法は知られていない、としたローランド(Rowland)の意見に同意するものである[176]。

ここに提唱する理論によれば、電子は太陽から地球を通過する光の速度で太陽系を流れるのではなく、逆に、想定される伝播経路のエーテルが(便利で曖昧な用語をあえて使用すると)分極し、電子の効果が明らかになると、チェーンの最後のリンクで解放された最後の電子によって上記のように生成される。この理論では、ベータ線が高電荷アルミニウムを通過したように見えるのは、粒子が金属板に接近するときの電荷が、反対側の金属板を離脱するときの粒子の電荷と同じではないため、電荷が通過しなかったからであると説明される。あるいは、ベータラジウム線を電子と見なす場合、同じ推論を適用できる。つまり、帯電したアルミニウム板でその効果が観察される電子は、ラジウムの作用で伝播する電子と同じではない。純粋臭化ラジウムの使用にあたっては、異なるラジウム線の疾患組織への影響を研究しているウィリアムズに感謝する。

(Electrical Review, 1904.1.9)

[176] 以下のローランドの引用は、このノートでも疑問視している現在の陰極線の理論に対する彼の疑念を示すものである「数学的研究は、常に知識保存の法則に従う。つまり、投入した以上のものを得ることはない。知識は形式が変わったり、より明確で正確に述べられたりするが、研究によって得られる自然に関する知識の総量は当初に得たものと同じである。従って、我々の手の届かない速度について、結果を予測することはできない。また、電磁作用による陰極線の速度などの計算には、大きな不確実性要素があることを覚えておく必要がある。実際、正確な知識が得られる限界ははるかに狭いものである。では、なぜ物理学者はしばしば、これらの限界を超えたと何が起るかを述べるのであろうか。たとえば、光速で移動する物質粒子の速度を考えてみる。物体が無限の距離から宇宙最大の物質塊に落下したとしても、そのような速度を得る方法は知られていない。陰極線のように電荷を与えると、その性質は大きく変化し、物質の性質は電磁気によって完全に変化する」。

## 治療目的にラジウム線，陰極線に類似した荷電粒子を発生させる短波長光線の利用

ON USING LIGHT OF SHORT WAVES FOR PRODUCING CHARGED PARTICLES SIMILAR TO RADIUM AND CATHODE RAYS FOR THERAPEUTIC PURPOSES

キュリー夫妻のラジウム発見後まもなく，ラジウム塩を用いた動物実験が行われ，このノートにも簡単に述べたように，放射線による皮膚疾患の治療が推奨されている．この推奨は他の研究者も採用し，ラジウムに治療効果があることが証明されている．ラジウムのアルファ線，ベータ線は，荷電粒子であると考えるのが一般的である．この理由，ならびにラジウムが高価であることを考えると，治療に使用する荷電粒子を生成する簡単な方法は興味をひくものである．

この方法は治療としては新しいが，いわゆるレントゲン線の発見者であるレーナルトの観察に基づいている．実際の方法の 1 例を挙げる．いわゆる一方向性の高電圧電流を発生する発電機のプラス電極に接続した絶縁プラットフォーム上に，患者を載せる．患者は高電圧に荷電される．高圧電源の端子から，異なる金属の端子が使用できるようにした密閉型ポータブル火花間隙の側面に電線を接続する．火花間隙には絶縁ハンドルが付いており，線源を患者のどの部分にも近づけることができる [176A]．火花間隙が，短波長エーテル波を最大限に発生するように調整する．負に荷電した粒子がケースの開口部から放出される．火花間隙を適当な位置に置くことで，これを患者に任意の部位に当てることができる．粒子は数 cm の空気を貫通するため，皮膚に接触させる必要はないが，効果の強さは距離の二乗に比例するため，距離が短いほど時間を節約できる．

異なる金属の電極を使用する目的の 1 つは，放出される金属微粒子の影響を最大限に活用することにある．この負に帯電した粒子を生成する方法は，ラジウムからの負に帯電した粒子と同じ疾患に適用できる．これは，単独または以前のノート [178] で推奨し，皮膚に良好に作用することからデルマ線と呼ばれる短波長のエーテル波と組み合わせて使用することにより，いくつかの皮膚疾患の治療に有用な方法である．いずれの方法も，動物，および症例は少ないが人間でも試験されており，その一部は一連ノートでも言及している．

(Electrical Review, 1904.1.23)

[176A] 図および説明はノート 179D 参照

[177] 青色光，紫外線の発生にはアルミニウムあるいは亜鉛電極が良い．特にアルミニウムが良い．

[178] ノート 176 参照

## ノート 112, 137, 139 の互換二次発電機のセクションの絶縁

INSULATING THE SECTIONS OF THE INTERCHANGEABLE SECONDARY TRANSFORMER DESCRIBED IN NOTES 112, 137, AND 139

ノート 112 で，二次側を新しい設計とした開回路変圧器について説明した．各セクションは，大きな絶縁材料塊に埋め込まれておらず，一次側と二次側を隔てる管に取り付けられておらず，この管からもまたセクション同士も完全に自由であり，そのため火花長 1m の大きなコイルでも，損傷したセクションを取り外して，すぐに別のセクションを挿入することができる．以来，この原理に基づいて，エリング (Oelling)，ハインズ (Heinze)，Heinze Electrical Co.，および筆者は，最大 1m の火花長を持つ非常に多くの誘導コイルを製造している．この原理を実装した閉回路変圧器は，トロブリッジ教授と筆者が設計した．これらの変圧器は，開回路型，閉回路型，いずれも製法への否定的な批判にもかかわらず満足のいくものであり，ノート 137 に示した方法よりも迅速かつ安価な二次側の一部を絶縁する方法について説明する価値があると思われる．

1 つのセクションの 2 つのコイルは，ノート 112, 137, 179a, 図 138-1 のように，マイカナイト (人工雲母) 板に結合する．小さな穴をあけたマイカナイトのシート (図 138-2, 3) を図 138-4 のように両側に置き，全体を金属フレーム (図 138-5) に収める．ついで，金属板 (図 138-7) をコイルの中央に置く．フレームは，図 138-6 のように，ボルトとナットで両側をねじ留めることで，深く狭い溝状となる．図 138-8 は，この溝を上から見たところで，コイルの周りにオゾケライト (ozokerite) あるいはパラフィンを注ぐ前の状態である．絶縁材が冷えてから，溝の側面を取り外し，柔らかいゴムシートの裏地を剥がし，金属フレームとディスクをゆっくりと温めてセクションを外し，余分な絶縁材をナイフで取り除く．ノート 112, 137 に述べた様に，この気候ではコイル周りに絶縁材を成型する必要はないが，湿気の多い 8 月には漏洩を減少することができる．

ノート 112 の設計に基づいてコイル周囲に絶縁材を全く使用せずに製作したコイルは，電解式断像器を使用しても初期と変わらない耐久性を示した [179]．

(Electrical Review 1904.2.6).

[179] より簡単な方法は，2 つのコイルを絶縁板に固定後，その周囲に絶縁材の固いブロックを鋳造する方法である．コイルを組み立てる際，セクション間にマイカナイト板を置く．

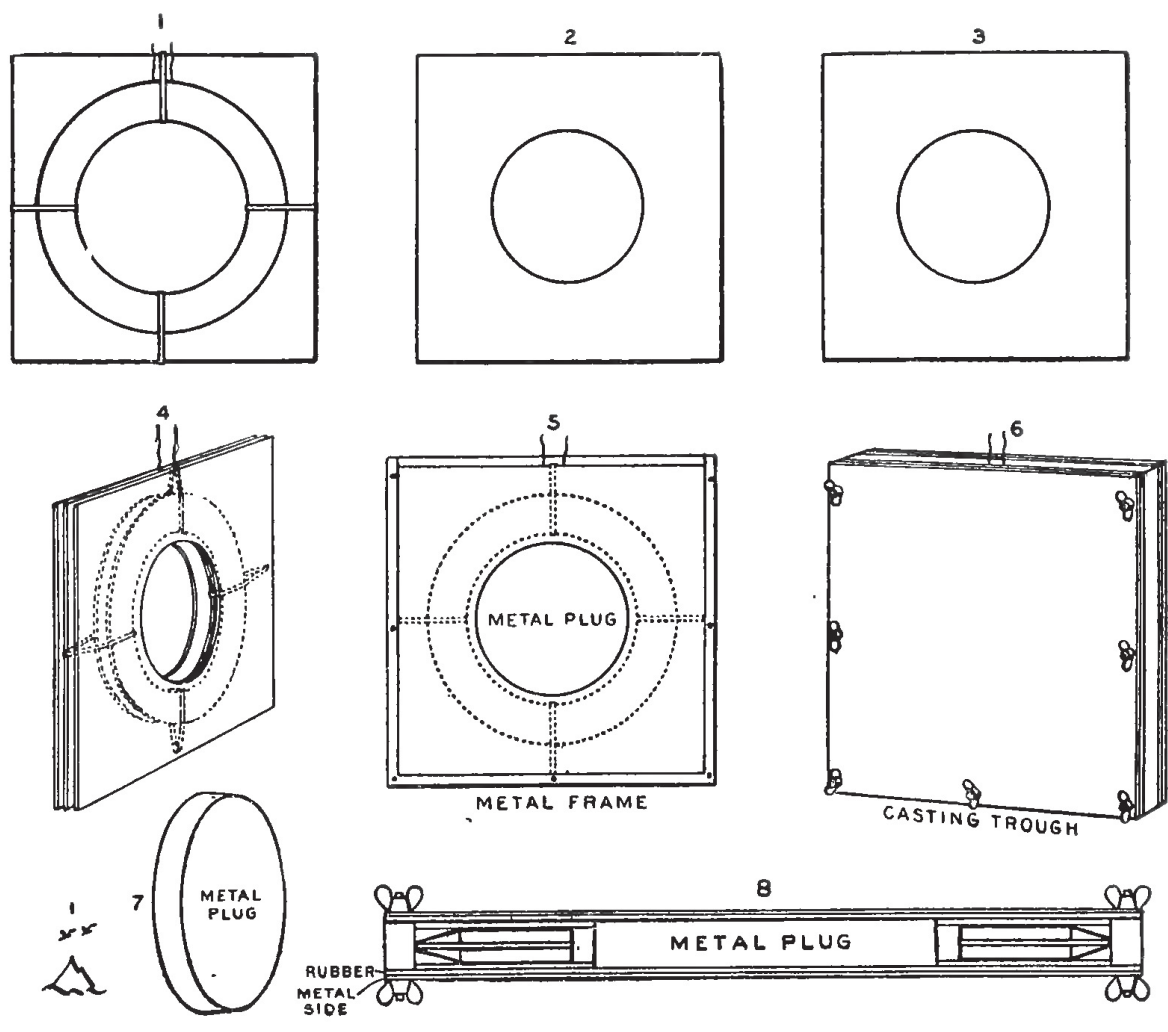


図 138. 交換可能二次セクションをもつ誘導コイルの二次コイル周囲の絶縁法の詳細

ノート 112, 140, 141 に図示した交換可能二次誘導コイルの多重直列火花間隙, コンデンサー, ソレノイド, 三次コイル

ARRANGEMENTS OF THE MULTIPLE SERIES SPARK-GAPS, CONDENSERS, SOLENOIDS AND TERTIARY COILS OF THE INTERCHANGEABLE SECONDARY INDUCTION COIL ILLUSTRATED IN NOTES 112, 140, 141

ノート 112, 140, 141 で, 医療用 X 線管の励起において, 直列火花間隙とライデン瓶をコントロールする方法を述べた. 本ノートの目的は, コイルが実用的であることが判明したことから, さらにこれを詳述することにある. 読者はまず, これらのノートを参照されたい.

図 139-1 は, 火花間隙 2 つとコンデンサーをもつ 70cm コイルの側面像である. 複数火花間隙 (MSG はその 1 つ) は, 検査中に術者が手の届く範囲のコードでコントロールできる. しかし, この方法はノート 149, 155, 156 の方法ほど一般的な医用検査には適していない. ただし, ステレオ透視装置で使用する二重ターゲット X 線管には特に適している. ステレオ透視検査では, 陰極の 2 つの多重直列火花間隙によって, 2 つのターゲットから発生する X 線の輝度を調整できる. 火花間隙をコントロールするには, 術者はハンドル H を手に持ち, コード C を使ってロッド R を上下す

ると, 電線 TW とコイルの他電極にある同様の電線に接続された X 線管を流れる電流を調節できる. 患者の検査中, ハンドル H を術者が使いやすいように, スイングアーム SGA を任意の位置に置いても, プーリー PI を通るコードの端は, ロッド R に対して常に垂直になる.

二次コイル内の 2 つのライデン瓶の 1 つを, 図 139-1 に示す. ライデン瓶 LJ は金属カップ LC 内にあり, カップに固定されていないため容易に取り外して異なる容量のものと交換できる. ライデン瓶は, アーム LR を点線の位置 LR2 に挙上すると, コイルとの電気的接続を切断できる. これは, 検査中に術者がコードで行うことができる. 絶縁材でできた 2 本の強力な支柱がボール CB を支えており, ここにロッドとチェーンが取り付けられ, ライデン瓶の内部コーティングに接続されている. このボールと誘導コイルの他端にある同様のボールは, ノート 112 で言及した, 本稿の図 140-2 に示す三次コイルの支持部として機能し, 絶縁シリンダに巻かれた単一のワイヤコイルの形をとり, 両端で支持体としても機能しているロッド CR と CR1 によってライデン瓶 LJ と LJ 2 の内部コーティングに接続されている.

フランスでは数年前からソレノイドを治療に使用しており, 良い結果が得られている. ソレノイドの使用が我が国でも広まっているため, ノート 112 が印刷された時点では無駄な努力と思われたこと, すなわち誘導コイルのライデン瓶の回路にソレノイドと三次コイル

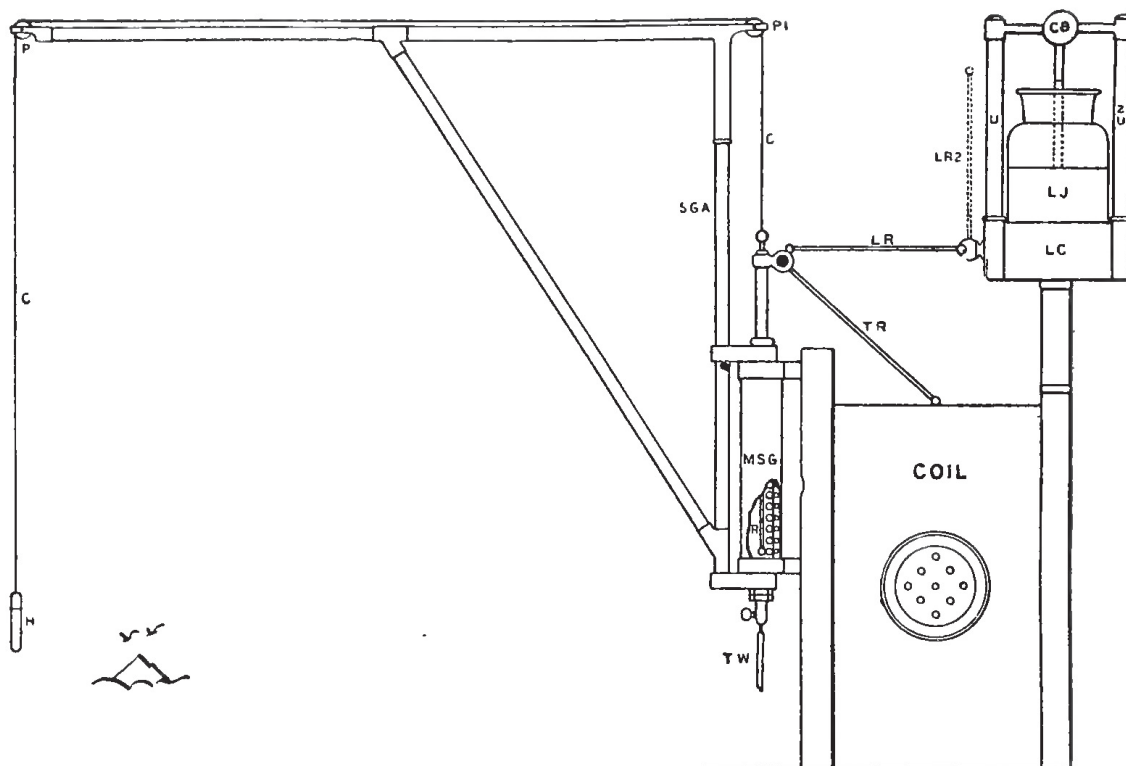


図 139-1. 交換可能二次セクションをもつ誘導コイルの多重直列火花間隙およびライデン瓶の構成

を取り付ける方法をここで詳述することは、意味のあることであろう。ソレノイドには、2つの接続支柱 B、B1 があり、患者につながるコードが接続されている。ソレノイドの外側には、マイカナイト管 MT が取り付けられ、その周囲に細い絶縁銅線が多数巻かれており、これが第 2 のマイカナイト管 MT2 内に収められている。その間にはパラフィンとワセリンの混合物が充填されている。このコイルの電極は、接続支柱 TP、TP2 に接続されており、どちらか一方あるいは両方から患者と電線でつながっている。放電の特性は、コイル二次側の火花間隙の長さやライデン瓶の容量で変化する。この方法で三次コイルから得られる電流は、電気治療では大きな意味がある。火花間隙を追加すると、さらに放電が変化する。

ソレノイドと三次コイルを取り外し、接続支柱 B と B1 を接続する電線をワイヤを患者に挿入すると、患者の体が静電発電機のライデン瓶の放電と同様なサージ

の発生源となる。この静電発電機からの放電は、他の名前でも呼ばれていたが、実際には高周波電流であり、電気治療における高周波電流の使用は、通常考えられているよりも明らかに古いといえる。高周波電流は通常、テスラコイルからの電流であると考えられているが、ヘンリー (Henry) は何年も前にすべてのライデン瓶の電流が高周波であることを示している。しかし、テスラがヘルツの研究を拡大して素晴らしい研究を発表してはじめて、フランス人が高周波電流を取り入れ、有効な電気治療システムに発展したものである。

アメリカ人はまだその価値に気づいていないが、最近の機器カタログを見ると、テスラが生みだした史上最も素晴らしい (cm 単位ではなく数 m にもおよぶ) 電気放電を発生するコイルではなく、そのアイデアを不完全に模倣したフランスの装置の英国版の模倣品を製造し始めた会社がいくつかある。

(Electrical Review 1904.2.6)

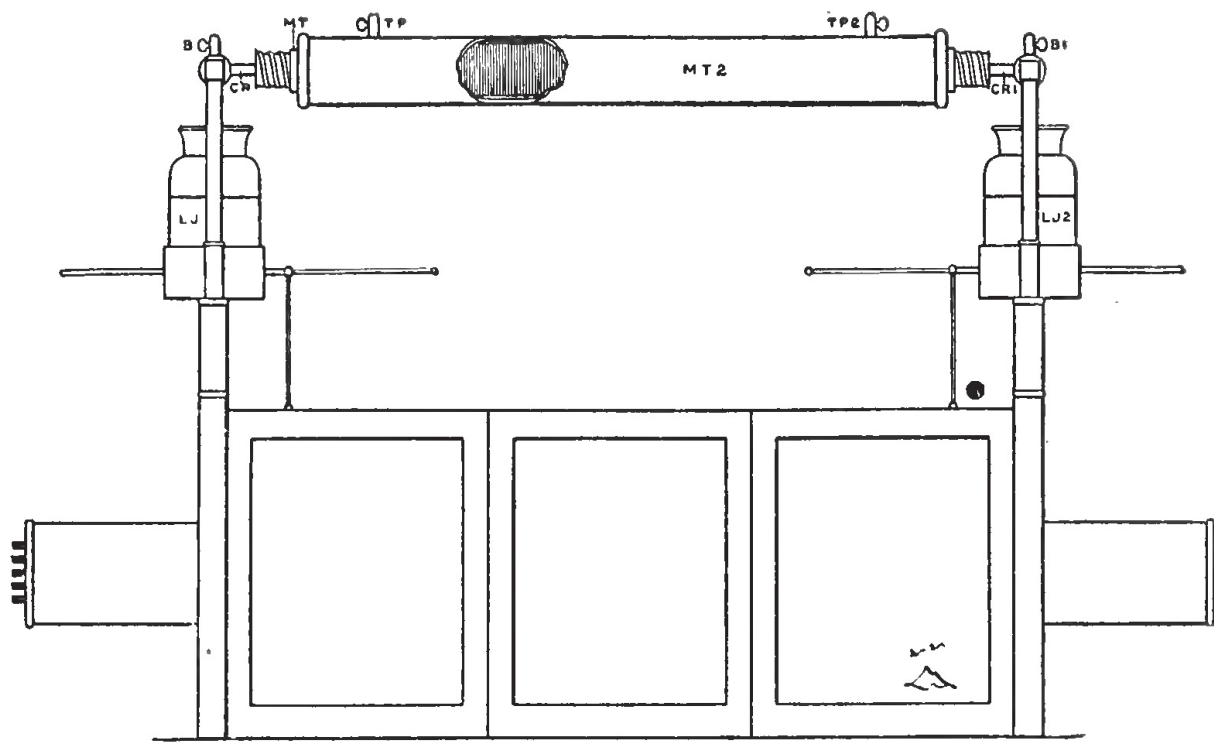


図 140-2. 開回路高電圧変圧器におけるテスラコイルの構成

## X線管の水銀蒸気について

## ON MERCURY VAPOR IN X-LIGHT TUBES

以前のノートで、X線管に水銀蒸気が入らないようにすることの必要性に何回も触れたが、非常に重要なことなので、独立したノートとして述べる。

X線管を製作し、水銀ポンプに接続して、良好なX線管が得られるまで前処置を行う。接続バルブを開放した状態で排気ポンプにつなぎ、3日間放置する。管球を励起し、スペクトル計で試験する。水銀のラインが明瞭に見え、管球は薄い緑に光る。電流は水銀蒸気の流れで陰極線は発生しないので、X線も発生しない。新たなX線管を用意し、水銀ポンプにつないで、抵抗が空気 20cm 相当になるまで排気する。電流を 10 分間とめ、管抵抗が上昇するのを待つ。電流を流すと、抵抗が高いためガイスラー現象が発生し、X線管は異常に白くなる。スペクトル計で調べると、水銀スペクトルが観察される。適当なX線を発生するようになるまで、2時間のポンプ排気が必要となる。

この実験は、日常的なX線管のポンプ排気作業で、原因不明とされながら、程度は軽いものの頻繁に起こる現象を高度に再現している。X線管の準備作業におけるトラブルの原因として水銀は最も大きなものである。

(Electrical Review 1904.2.6)

## エーテル治療、電子治療用変圧器の製作

## ON THE CONSTRUCTION OF A TRANSFORMER FOR ETHER AND ELECTRON THERAPEUTICS

- ・治療に使用する紫外線、デルマ線、電子を発生する閉回路変圧器の示説
- ・治療に使用するデルマ線管、紫外線アーク、電子アークの示説
- ・治療に推奨されるアルミニウム電極管の高電圧アーク
- ・放射線を制限するシールド

以前のノートで、二次側の電流を整流する方法をとらない限り、安定したX線と微妙な調整が必要とされる診断用X線管用の変圧器の一次側の励起に、交流電流は適さないことをくり返し述べた。最も良い方法については、後続のノートに示す。しかし、整流されていない電流は、安定した光線と微妙な調整よりも、一次回路の断続器の煩わしさなしに長時間大電流を使用できることが重要視される治療目的のX線管には価値がある。断続機は、エネルギーを熱として浪費し、手間がかかることを考えると、これ無しで済むことは非常に望ましいことである。医師用の装置は、できる限り簡単であることが求められる。患者から注意をそらすようなメカニズムはすべて望ましくないと言える。

ここで示す変圧器は、整流器または二重焦点管を使用する場合、診断、治療目的に有用である。特にデルマ線管の励起に有用である [180]。図 142-2 のようにハンドル付きのケースに入れ、フレキシブルコードで変圧器に接続すると非常に操作しやすく、白熱電球ほどのトラブルも発生しない。この変圧器を、単一焦点X線管に使用される通常の 110 ボルト、60 サイクルの商用電流につなぐと、静電発電機のいわゆる一方向電流の場合と同じように、X線管に明確な分界が見える。X線管と変圧器をどのようにつないでも、陽極の線は鮮明で、陽極の前面は明るい黄色、陽極の背面は青く光る [181]。変圧器を最大の効率をで活用するには、商用交流電源より変化率が速い特別な発電機が必要である。開回路変圧器を励起する方法はすでに推奨したが [182]、特別な発電機が高価であることから、現状ではあまり使用される見込みがない。このため、変圧器は商用交流 110 ボルト、60 サイクルを使用するように作られているが、これを利用できない場合は、同様の電流を発生する市販の小型発電機を使用した [183]。

このタイプの変圧器を治療用の紫外線または電子の発に使用する場合、一次側には、それぞれ巻数 49 の 10 番二重綿被覆銅線で 4 セクションとする。二次側は、38 個のコイルから成り、各コイルには 3 番二重綿被覆銅線が 900 回巻かれている。このようなコイルの準備、絶縁、接続については、開回路変圧器との接続が詳述

されているノート 112, 137, 179 を参照されたい。一次側は、セクションを直列にするか、各セクションを独立して使用するか、あるいは2つ以上を並列にする。変圧器を前述のような電流につないで得られる電圧は、紫外線、電子アークに十分である。

二次側により低い電圧が必要な場合、ノート 112, 137, 140 示す電圧可変メカニズムが二次側にあるので容易に実現できる。より高い電圧が必要な場合は、図 141-1 のような二次側、一次側の設計ではなく、図 142-3, 143-4, 144-5, 146-7, 147-8 のように2つのアームに等分する方法をとる。二次側が2つあるため、セクション数が2倍になり、ワイヤの巻き数も2倍になる。最後の2つの形式は、デルマ線の発生に適している。火花間隙を管球と直列にすることでエネルギーが蓄積され、より広い範囲の抵抗で動作させられるからである [184]。このタイプ変圧器は、治療に使用するテスラコイルの一次側の励起に有用である。このノートに図示した変圧器にテスラコイルを組み込む設計については、後述の予定である。

このような変圧器は、ノート 179 で推奨したように、皮膚病変組織のイオン化のために、直接使用する紫外線源として、あるいは電子の発生に有用である。この目的には、アークはアルミニウム電極間とする必要がある。ライマン (Lyman) は 1,200 以下スペクトルを撮影し、強いアルミニウム由来の輝線を発見しているからである。短波長のエーテル波を負に帯電した物体に当てて電子を発生し、ノート 179 のように患者を絶縁した台に寝かせて正に帯電させることで皮膚疾患の分子をイオン化するために使用するには、アルミニウム電極を持つ変圧器の火花間隙を絶縁ハンドルに取り付

け、医師が電子源を自由に動かせるようにする [185]。アークとシールドは、フレキシブルなケーブルで発電機につなぐことで、任意の体表部位を治療できる。アークは、同じ絶縁ハンドルに取り付けられた放物面シールドの焦点に置き、シールドは、患者を充電する正電極と同じ電源の負電極に接続する。シールドが放物面、球面、平面などいずれの形であっても、医師は、X線、デルマ線、および高周波放電について既に述べたように、エネルギーから保護される必要がある。電気治療では、どのような形のエネルギーであれ、結果としてイオン化がおこることを銘記すべきである。

ヒンジ付きファラデーリングも、一般的な治療用の無電極管球の励起に有用である。二次側の1つの電極を大きなソレノイドの一端に取り付け、他端をフレキシブルな電線で管球に接続すると、ライデン瓶の内部コーティングが一体化され、二次回路の火花間隙を端子間で放電が起きない程度に大きくすると、電流は電線ではなくエーテルを通して音もなく他電極に戻る。この方法を、図 150-13 に示す。これは特に胃拡張、肺結核の骨折に有用である。研究の過程で、湿疹の場合のように、デルマ線とこれらの無電極管球治療の組み合わせが望ましい場合があることが明らかとなった。これらの場合、通常は無電極低真空度管球の代わりにデルマ線管を使用し、その陰極は図 150-13 のようにソレノイドの1つの電極に接続する。デルマ線管の陽極とファラデーリングの間には、金属的な接続はない。デルマ線管を皮膚に接触させると、通常は無電極管の場合より深い効果に加えて、皮膚治療のためのデルマ線が生成される。デルマ線管をファラデーリングの二次側に両電極で接続する一般的な方法を図 149-12 に示す。この方法では、発生するデルマ線の量が単一電

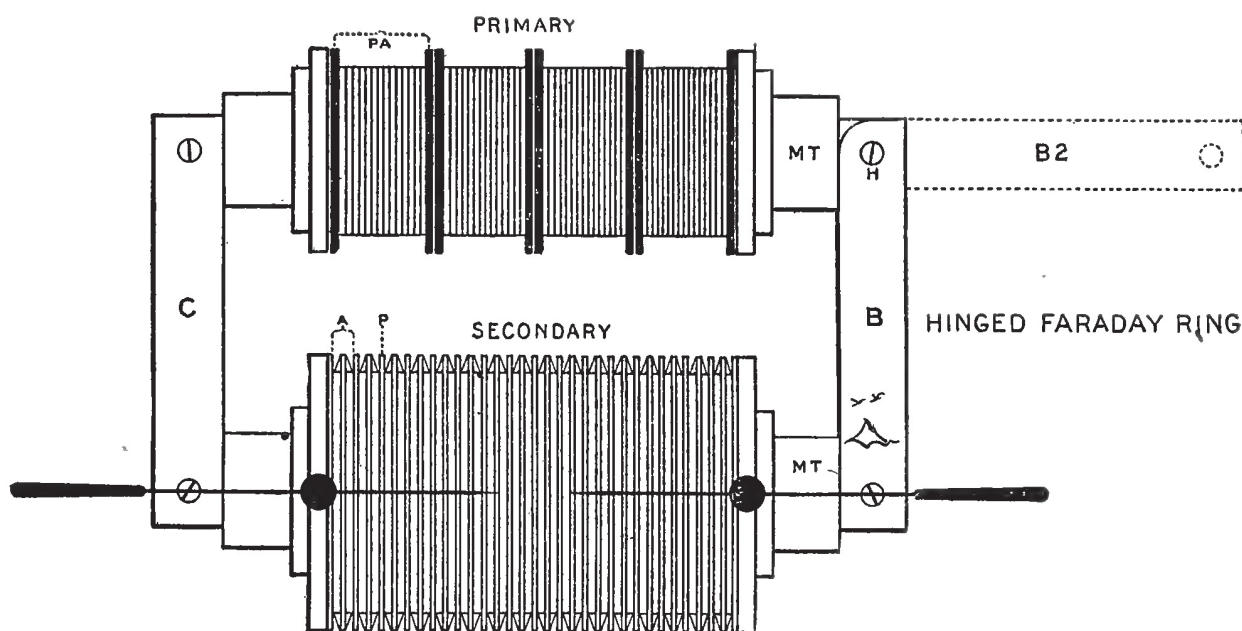


図 141-1. エーテル治療、電子治療、鉍物検査用のヒンジ付きファラデーリング。

極のみ接続する場合に発生する量をはるかに超え、他の電氣的効果はほとんど考慮外となる。

研究の過程で、他にも多くの新しい電気治療を行ったが、その内容については、記述するに値する興味深い内容があれば後述する。

(Electrical Review)

[180] ノート 176 参照。管球についてはノート 166, 167 参照。最近、友人の一人がデルマ線は X 線管であると言ったので、その再について言及する。レーナルトは陰極線を真空管の外に取り出し、これが複雑な放射線であることを発見した。彼はその放射線に個別の名称を付けなかったが、この実験を繰り返す者は誰でも X 線、デルマ線を見出すであろう。レントゲンは、レーナルトの放射線の一部が骨を映し出すことを発見し、これに「X 線」という特別な名前を与えた。本稿では、デルマ線という用語を、表層では吸収され過ぎ、組織内で散乱し過ぎるために骨を映し出さないレーナルトの他の放射線を指して使用している。これは黒色紙、薄いガラスを透過する点で、紫外線とは異なっている。薄いガラスや黒色紙を通過後は、シアン化白金バリウムの蛍光板を発光する。これらは真空管から発生するが、管の抵抗が非常に低いため陰極線粒子がターゲットに十分な速度で衝突せず、X 線を発生しない。ただし、発電機に十分な起電力があり、陰極線粒子を低抵抗管のミストの中に高速で送り込めば、デルマ線から X 線を得ることができる。これらのレーナルト線を他の線と区別するために、デルマ線という名前を付けた。これは、この線がイオン化する表面組織によって大部分が吸収されるため、皮膚疾患に効果があるためである。

[181] 強力な変圧器を治療に使用する場合、特に体表に密着させたり、口腔など体腔に挿入する場合は、絶縁プラットフォームを使用するべきである。

[182] ノート 159 参照。

[183] 交流および脈動電流を発生する 1200 ワットの発電機は、約 140 ドルである。

[184] X 線実験における高電圧の意義については、ノート 6, 39, 72, 112, 160 参照。

[185] 変圧器を用いて紫外線を発生させ、それを直接利用したり電子発生に利用する場合、空気中の窒素と酸素が結合して大量の刺激性ガスが発生する。フレキシブルなゴム管の開口端を火花の近くに置き、他端を吸引器に接続してガスを除去する。

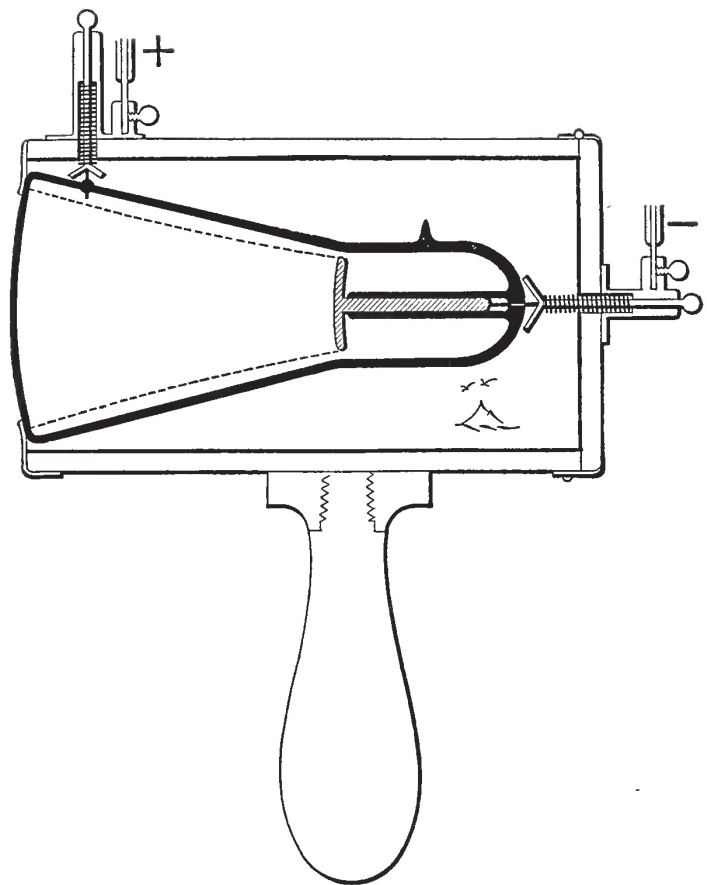


図 142-2. ポータブル放射線非透過性ホルダーに取り付けたデルマ線管

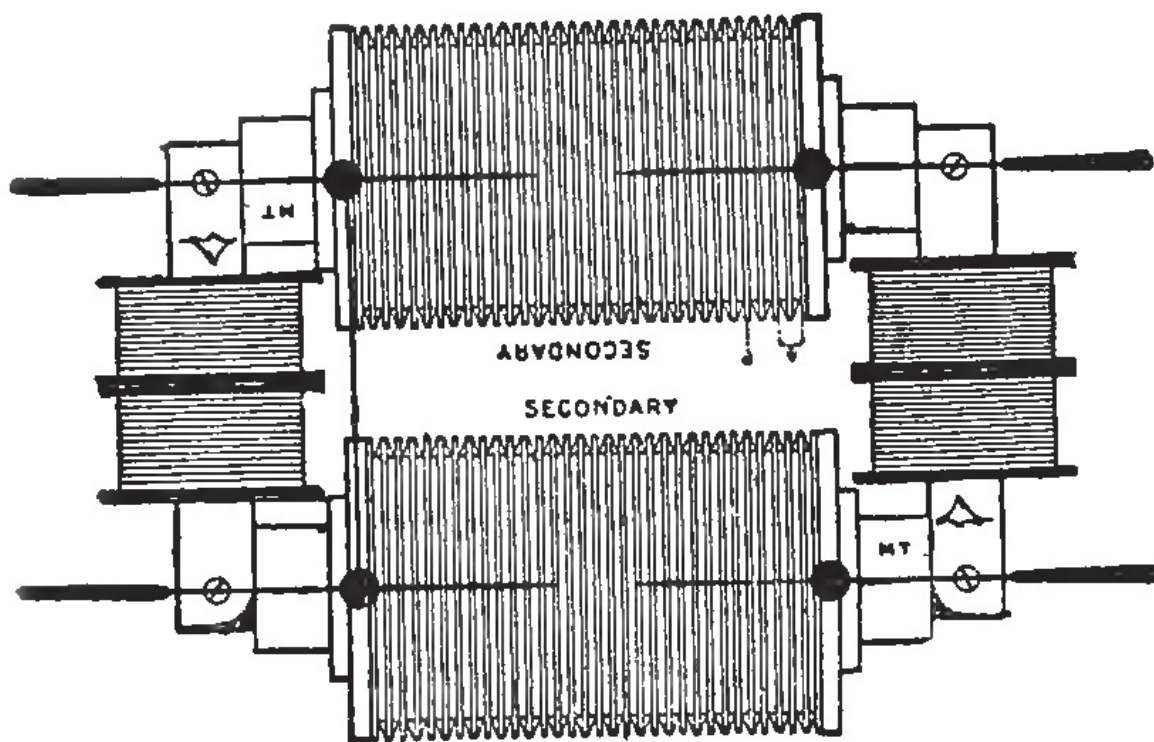


図 142-3. 交換可能二次セクションをもつ誘導コイルに取り付けたファラデーリング

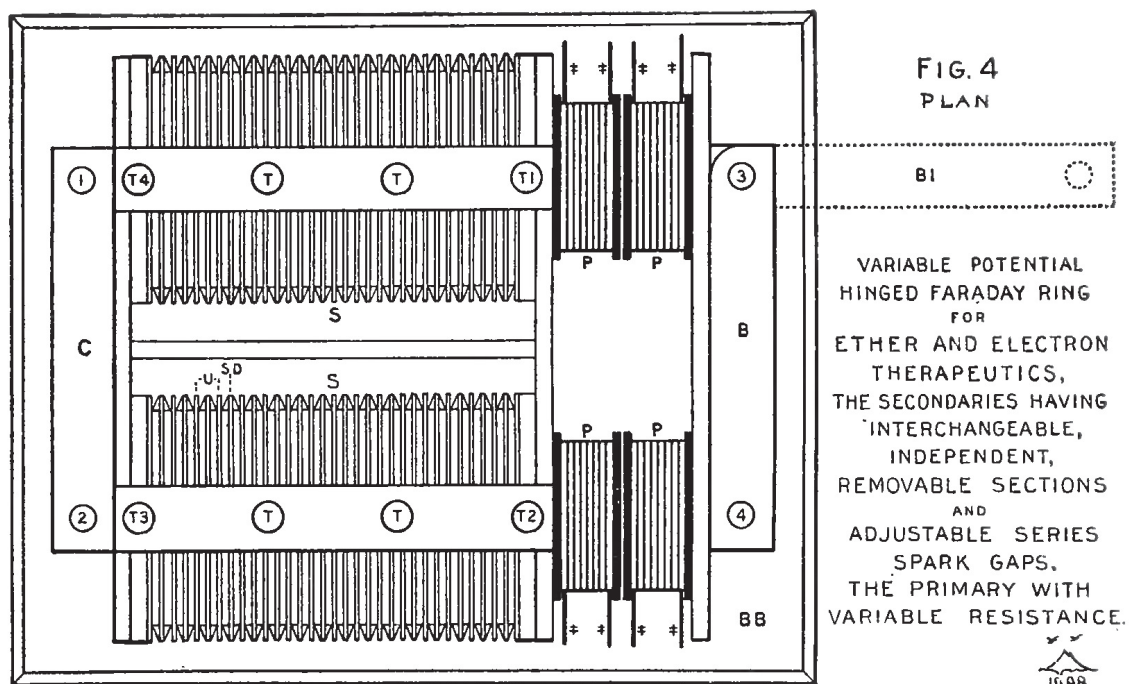


図 143-4. ノート 112 に示した 2 つの二次セクションを直列あるいは独立で使用して性能可変な構成としたヒンジ付きファラデーリング。各二次セクションは、他のセクションからも、またコアとセクションを隔てる管からも独立している。このため、1 つのセクションが損傷した場合、コイルのエンドバーのロックを外し、ヒンジを軸にして回転させることにより、損傷したセクションを容易に取り外し、新しいセクションと交換できる。一次側は、各セクションを単独、直列、あるいはその他の方法で利用できる。多重直列火花間隙により、広範囲の抵抗で動作できる。

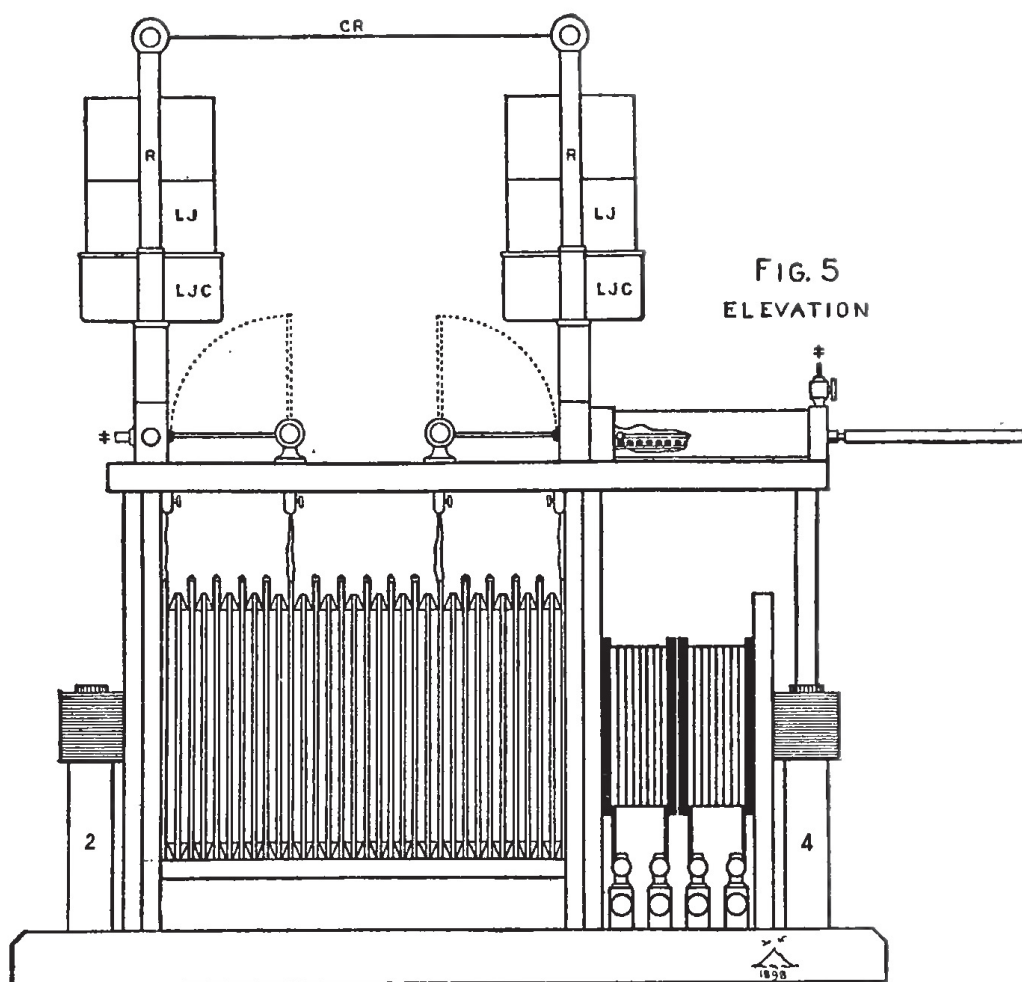


図 144-5. エーテル治療, 電子治療用のヒンジ付きファラデーリング.

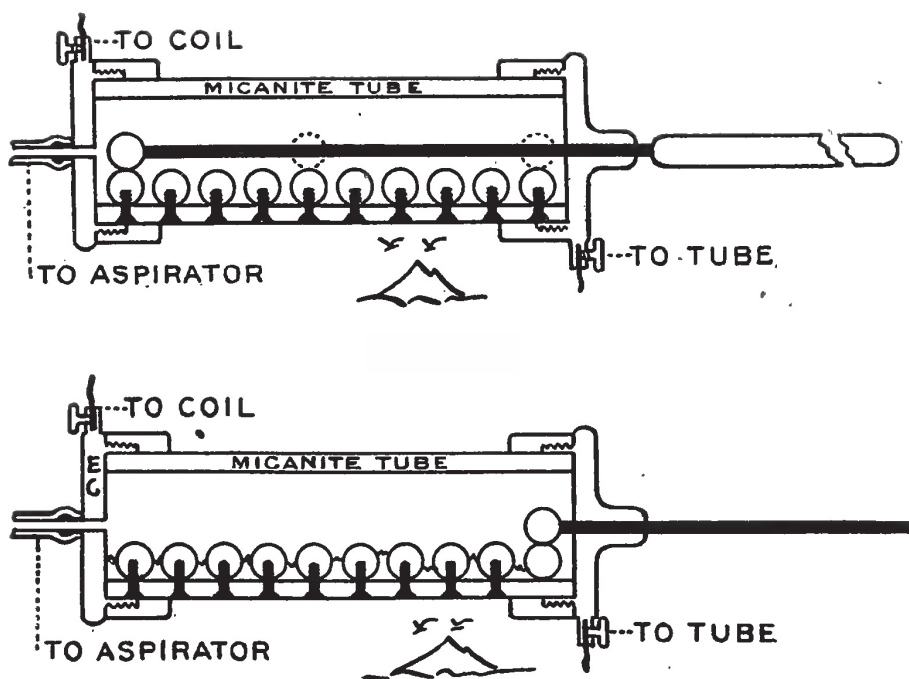


図 145-6(上), 6A(下). 多重直列火花間隙の詳細. ノート 112 に示すように, 金属球を一系列に並べたマイカナイト管からなる. ノート 112, 137, 140 の図のように金属球を雲母板に取り付けるのではなく, マイカナイト管の壁に穴を開け, ネジで金属球を管壁に固定する. 窒素酸化物による呼吸器の刺激を防ぐため, 多重直列火花間隙は密閉しなければならない. ノート 122 の説明, ノート 112 の図, ノート 140 の図 81-6 に示すように, 火花間隙からガスを吸引器で吸引する必要がある.

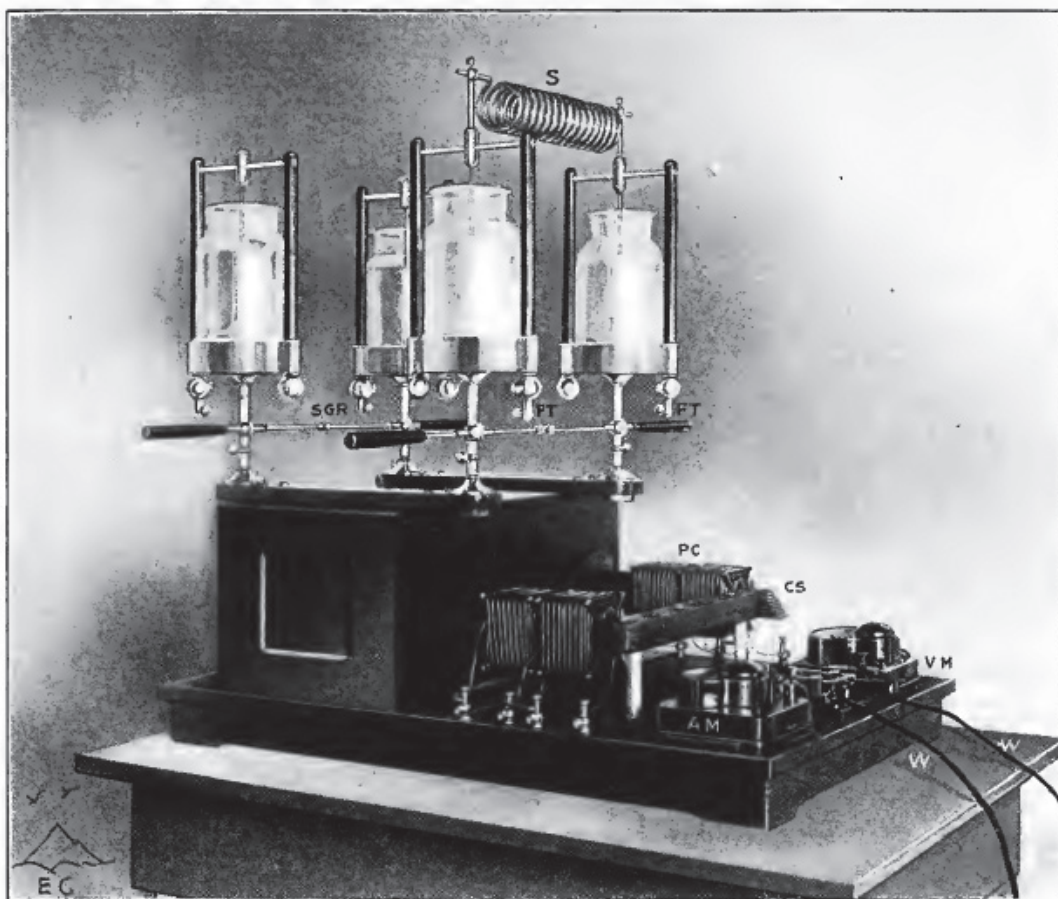


図 146-7. 二次セクションを直列としたエーテル治療，電子治療用ファラデーリング。この変圧器は，図 143-4, 144-5 に示したタイプであるが，詳細が一部異なっている。コアは，変圧器をポータブルとするため非常に軽量で，断面はわずか  $4\text{cm}^2$  である。既に図示したヒンジ構造を備えている。閉じやすくするために，サイドバーの各プレートは，隣接プレートよりも  $1\text{mm}$  長く作られており，シートを 1 枚ずつ挿入できる。これは実用上重要である。構成を CS に示す。一次コイル PC は，通常よりオープンに巻かれており，層間および各層の線束間に  $3\text{mm}$  の間隙あり，有害な発熱を生じることなくより大きな電流を流すことができる。一次側には 4 つのコイルがあり，それぞれ 10 番銅線で巻き数 49 である。二次側は，ノート 112, 137 の設計に基づく 38 セクションがあり，各セクションは  $1\text{mm}$  厚さのマイカナイト板に取り付けられたコイルが 2 つからなる。コイルの半分は 32 番銅線で，それぞれ巻き数 900 で，残りのコイルは 34 番銅線で，それぞれ巻き数 1500 である。図 143-4, 144-5 の変圧器に示すように，4 つのライデン瓶を備えている。2 つは結合された二次側の電極に接続されている。

X 線管を，火花間隙ロッド SGR をまとめて接続されている二次側の電極子 FT に接続すると，変圧器は二重焦点管（レントゲン管）を励起するのに十分な電圧と，ノート 1 に記載したように定常的な循環によって冷却されない限り，冷却ターゲットさえも溶融するのに十分な電流を発生する。単焦点管（クルックス管）も励起できる。既に何度も述べたように，診断目的には，いずれの形式 X 線管もこの方法で励起することは特に推奨しない。その目的には，発電機に非常に高い電圧が必要なためである。

治療目的の場合は，状況が異なる。X 線を微妙に調節できることよりも，X 線量がより重要なためである。この変圧器は，図 2 に示すタイプ，または 2 つの電極を持つ他のタイプのデルマ線管の励起に有用である。両電極から陰極線が患者に密接する管壁に照射され，その衝撃によってデルマ線が発生する。この目的のために小型デルマ線管を使用する場合，変圧器の一次側にエネルギーはほとんど必要ない。十分な電流が，一次側に直列に接続された 50 燭光，110V のエジソン電球を流れる。また，コンデンサーが使用されている場合は，同様に 32 燭光の電球を流れる電流で管が点灯する。変圧器は，狼瘡を治療するための紫外線アークの発生に有用である。このためには，一次側により大きな電流が必要である。アークは，アルミニウム電極間に発生する。長さ  $3\text{mm}$  程度であれば，ほとんど無音で，低温であるため，患者の皮膚にほとんど接触させることができる。以前の論文では，アルミニウムの高電圧アークは炭素または鉄電極間の低電圧アークよりもはるかに優れていると推奨されていた。その理由は，電流エネルギーのほとんどが短波長のエーテル波に変換され，これを利用して組織をイオン化して治療効果が得られるのに対し，低電圧アークでは，エネルギーのほとんどが無用な長波長の熱波に変換され，それを吸収するために複雑な装置が必要になるためである。高電圧アークの場合，コンデンサーの内部コーティングが接続されているが，それ以外の場合，アークは淡黄色となる。変圧器は，ノート 179 で述べた電子アークの発生にも有用である。この目的に使用する場合は，アークへの電線は FT に取り付け，ライデン瓶の内面コーティングを接続する。この場合も，一次側エネルギーは十分大きい。熱を発生せず，電子源を患者に接近させることは有用である。

以前のノートで簡単に述べた通り，動物実験およびヒトにおいて，電子はラジウムのベータ線と同じ治療効果を持つことから，その発生に変圧器を使用することは興味をひくところである。変圧器は，患者組織内のエーテルを急速に分極させたい場合にも役立つ。例えばファラデーリングの二次側から交流電流が流れるソレノイドに患者の体の一部または全体を入れることで，この効果が得られる。この場合，ソレノイドと変圧器の種電極を FT で接続する。エーテルのより高速な変化が必要な場合は，ライデン瓶の内部コーティングをロッドで接続する。変圧器は，結核や胃拡張などの内臓疾患の治療のために，X 線管を皮膚あるいは体表の近傍に保持した X 線管の励起にも利用される。X 線管を大きなソレノイドの 1 つの電極に接続し，他の電極は二次側の電極の 1 つに接続する。電流はエーテルを通じて変圧器に戻る。もちろん，この装置用に設計されたテスラコイルの二次側の電極にソレノイドを接続すると，さらに急速なエーテルの変化が得られる。

既に述べたように，このようなコイルは多くの図解と詳細な説明を必要とするため，後続のノートで主題とする予定である。変圧器は，なんらかの断続器を使用すれば，直流でも使用できる。商用交流電源で励起すると，鉱物検査用の紫外線，デルマ線，X 線管，電子線の線源として非常に便利である。十分な大きさのものが 75 ドルで販売できるため，どこかのメーカーがこれを市販することを期待する。鉱物の検査は，電子と短波長エーテルを照射しなければ完全とは言えないからである。図 1 に示すサイズの変圧器は，鉱物検査に十分であり，軽いので 1 人で容易に動かすことができる。治療に使用するエネルギー量を知ることは重要であるため，電圧計 VM，電流計 AM が基盤に組み込まれている。過電流の防止にフューズがあることが望ましい。商用回路からの電線 W がスイッチに接続されている。

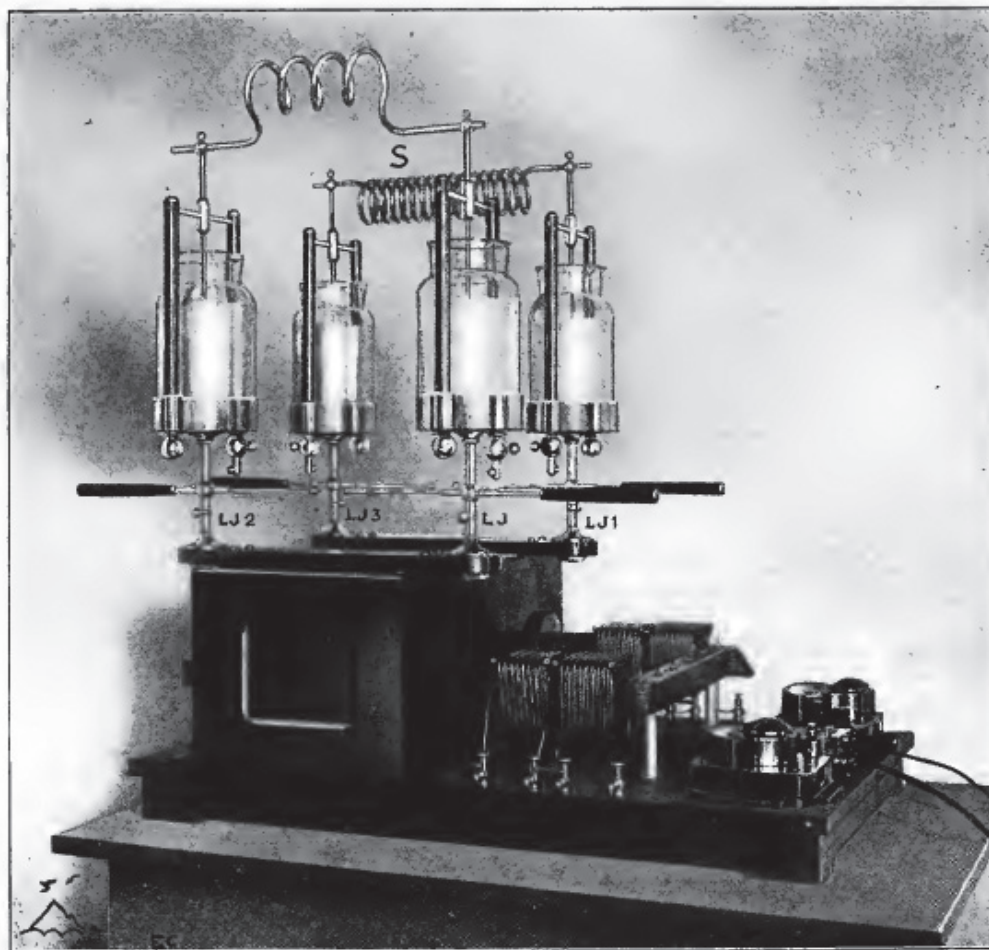


図 147-8. 二次セクションを2グループに分けたエーテル治療，電子治療用ヒンジ付きファラデーリング。図 146-7 と同じ変圧器であるが，二次側が直列ではなく独立している。二次側はそれぞれ，紫外線アーク，電子アーク，あるいは皮膚線管の励起に十分な電圧を供給できる。二次側の一方にはテスラコイル（写真には写っていない）が，他方にはソレノイド S が接続されている。2つの独立したコイルに火花間隙を設けるため，支持部（LJ, LJ2, LJ3, LJ4）は，図 146-7 の位置から水平面内で 90 度回転し，図 147-8 の位置まで回転する。

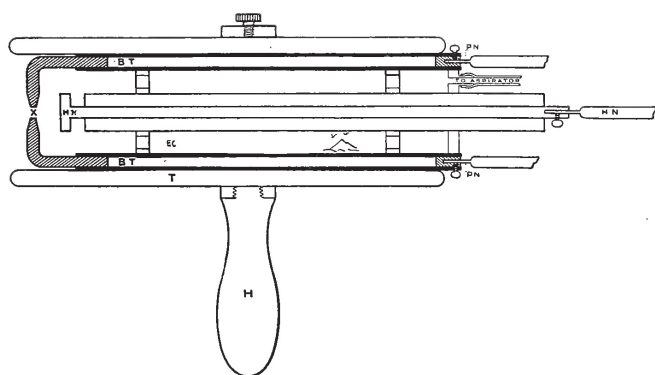


図 148-10. ポータブル電子アーク。以前のノートで触れた電子アークの形の一つを示す。図 146-7, 147-8 に示すヒンジ付きファラデーリングに，P, N でフレキシブルワイヤーケーブルに接続されている。電極 HN は高電圧発電機の負極端子に接続され，高電圧発生器のもう一方の端子は患者を正電荷に帯電させる。患者は絶縁台の上に寝かせ，ファラデーリングからの電流によって形成されるアークは，アルミニウム端子 X 間に発生する。このアークは紫外線を豊富に含み，ディスク HN の表面を照射することで電子を放出し，アークを患者の皮膚に近づけると，照射された電子が皮膚に衝突して組織をイオン化する。アーク全体は，可動式ハンドル H を備えた絶縁管 T に収められており，患者近傍の任意の位置に置くことができる。アルミニウム電極は管 BT に保持されているため，取り外して他の電極を所定の位置に置くことができる。

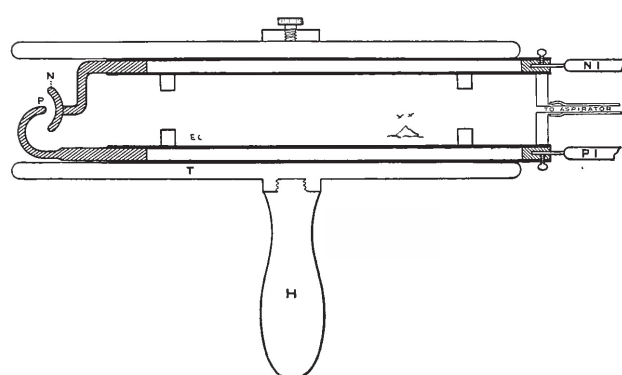


図 148-11. 紫外線アーク。陰極は弯曲したプレート N，陽極はフック P で，いずれもアルミニウム製である。アークは絶縁ケース T に収められ，ハンドルがついており，患者の任意の部位にアークを接近できる。PI, NI で電線で発電機に接続する。



図 149-12. デルマ線管の使用方法. 閉じたファラデー リングから伸びる電線を, FT の二次側の端子に接続し, 他端はバインディングポスト B によってデルマ線管の電極に接続する. デルマ線管のケース DRC は, 放射線非透過性材質で厚くコーティングされており, ケースを持つ手は放射線非透過性手袋で覆っている.



図 150-13. ヒンジ付きファラデーリングでX線管電極を励起する方法. ソレノイドBSは、ファイバーロッドFRによって支持され、絶縁されており、一端はファラデーリングの二次側FTに接続される。他端は、ワイヤWに接続され、これは電極真空管EVTに金属接続されている。閉じたファラデーリングの二次側の1つの電極だけが真空電極に接続されているため、電流は患者を出た後、電線ではなくエーテルを介して発電機に戻る。このような状況で、部屋が暗い場合、発電機はオーロラのような外観を呈することがある。患者に適用されるエネルギー強度を調整する最も簡単な方法は、段階的な抵抗によりファラデーリングの一次側の電流を変えることである。ソレノイドは図に示す位置から取り外し、床または他の便利な位置に置くことができる。ソレノイドはさまざまなサイズが用意されており、フランス方式で使用する。患者の全体または一部をソレノイドに囲まれた状態と、両電極をファラデーリングの二次側の電極に接続する。

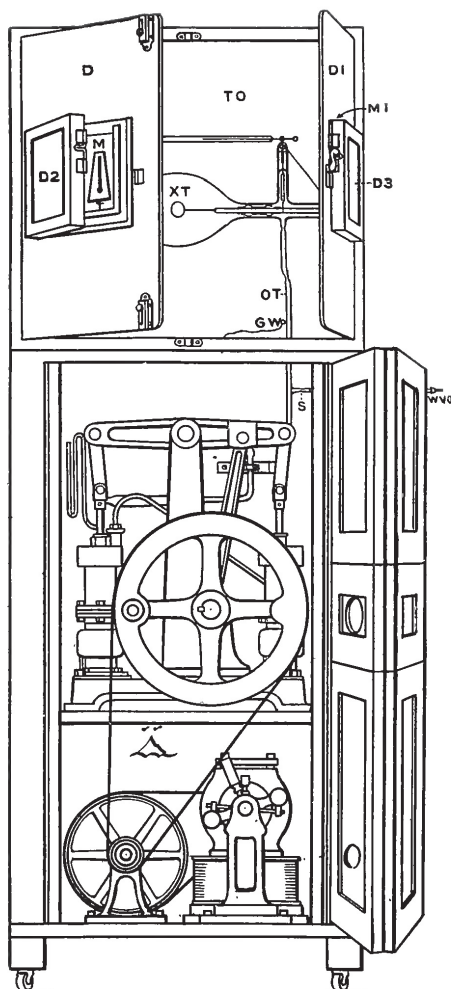
# 治療において電線から発生するエーテルの歪み空間の制限

ON LIMITING THE SPACE OF STRAINED ETHER PRODUCED BY A WIRE GUIDING AN ELECTRIC CURRENT USED IN THERAPEUTICS

患者を、電流の変化により急速に分極、脱分極するエーテルに浸漬する必要がある場合、フランスでは患者をソレノイドの中に入れるのが一般的である。四肢を治療する場合は、より小型のソレノイドに入れる。肩など、体幹の限られた領域を治療する場合、健常組織に治療効果が及ぶことは好ましくないため、全周性ソレノイドは不適である。このような場合には、治療学における新しい原理、すなわちエーテルの歪みを制限するために、電線を金属面で囲う方法が最適である。金属は直線式あるいは末広がり式の単純螺旋形あるいは伸長螺旋形で、治療部位にむけて開口しているそれぞれの症例に応じて数多くの種類が用意されている。

本ノートの目的は、治療に非常に有意義な原理を紹介することで、特殊な形態の装置を説明することではないため図は供覧しない。以前のノートで、X線、デルマ線、放射性物質からのエネルギーの逸脱方向を制限することの重要性について述べているが、本稿はこの原則を電気治療にまで拡張するものである。

(Electrical Review)



# 医療用真空管を排気する機械的ポンプの構造について

ON AN ARRANGEMENT OF A MECHANICAL PUMP FOR EXHAUSTING VACUUM TUBES FOR USE IN MEDICINE

以前のノートで図示した唯一のポンプには水銀が使用されていたが、これは実験家が数ドルで作ることができるからである。水銀ポンプは管球内に水銀蒸気を導入する可能性があり [186]、これが好ましくない場合のために、ポンプ冷却クロゼットと管球加熱クロゼットに連結した機械式ポンプの構造を示す。機械式ポンプは高価格ではあるが、低真空度では水銀ポンプよりも排気が速い。この場合も、以前のノートで水銀ポンプに関連して推奨したものと同一予防策を講じて、使用していないときにポンプ内に水蒸気が入らないようにする必要がある。

したがって、ガラス管はゴム管ではなく摺り合わせジョイントで機械式ポンプに接続する必要がある。ジョイントには、オイルを満たすとシールとして機能するカップが設けられている。管の他端には活栓がついており、これは管球をポンプから取り外す時には常に閉じておかなくてはならない。活栓の上方に、X線管を接続するもう1つの摺り合わせジョイントがある。機械式ポンプに接続する前に、手動ポンプで真空管から空気と水蒸気を大部分除去するという、前述の推奨と同じ予防策を講じる必要がある。機械式ポンプは、水銀ポンプについて既に示したようなクロゼット内に置き、図 151-1 のように、暑い時期には油蒸気が管内に侵入しないように、氷を入れて温度を下げる必要がある。油蒸気は水銀蒸気ほど問題にならない。X線管オープンの温度を上げることにより、以前のノートに示したように焼失しうるからである。

(Electrical Review)

[186] キュリーは、臭化ラジウムの実験で水銀蒸気が管内に入るのを防ぐため、液体空気で冷却する2本のU字管を用いた。液体空気が利用可能な場合は、高真空が必要なX線管は、これを使った水銀ポンプで排気するべきである。実験で試験した機械式ポンプは、実用的に高真空を発生できなかったためである。

図 151-1. 医療用 X 線管を排気する機械式ポンプの構成

管球壁の一部に組み込んだパラジウム管の分子間に水素を導入してX線管を再生するさらなる経験

FURTHER EXPERIENCE IN REGENERATING X-LIGHT TUBES BY INTRODUCING HYDROGEN BETWEEN THE MOLECULES OF A PALLADIUM TUBE FORMING PART OF THE WALL OF THE X-LIGHT TUBE

以前のノートを再掲するにあたり、X線管再生管(regenerator)について述べることは意義のあることと思う。以前に述べた水素説は、受け入れられなかったかも知れないが、過去7年間、パラジウムをX線管の分子間水素再生剤として使用して得られた経験から、この方法が有益であることが明らかとなり、図152で視覚的に訴えることで、あらためてこの方法の有用性を喚起するものである。水素をこのように導入することについて、このノートが唯一の証明であれば不十分と思われるかもしれないが、幸にもこの方法はトロブリッジ教授の目に留まり、教授は水素に関するこれまでに最も広範な研究でこの方法を使用し、水素が導入されることを見出している。筆者の分子間再生管の唯一の難点は、製作が難しいことである。しかし、パラジウムをシームレスに管球に成型することが可能と

なった現在、製作に困難はない。再生管に加えて、強力なコイルで励起されるX線管にはすべて、始動抵抗を下げ、動作抵抗を適切に維持して、望ましい線質を保証する自動調整管が必要である。これについては、以前のノートで何度も示説してきた。

自動調整管を備えていない管球、あるいは備えていても複雑過ぎたり不十分な管球が多いことからあらためて再述する。図152に示す再生管は、外側端は閉じられ、開いた側がX線管内にシールされた薄いパラジウム管である。再生管は熱あるいは電気分解によって作動し、パラジウムを水素に保存する。図のように、その支持ガラス管は自動調整管の一部を取り付けるためにも使用されている。自動調整管を使用するには、まず火花間隙SGを所望の長さ、例えば7mmにセットする。初期は高抵抗のために電極間を流れることができない電流は、電線RWからSWGへ流れ、火花間隙SGのエーテルを通して可動電線MWへジャンプし、次に自動調整球BからステムTSへ、そして再び発電機へ戻り、調整球内の化学物質から水蒸気が放出される。これにより、X線管の抵抗が下がって通常の陰極線が発生し、陰極線が持続できないほど抵抗が大きくなると、蒸気が再吸収されて再び放出される。

(Electrical Review)

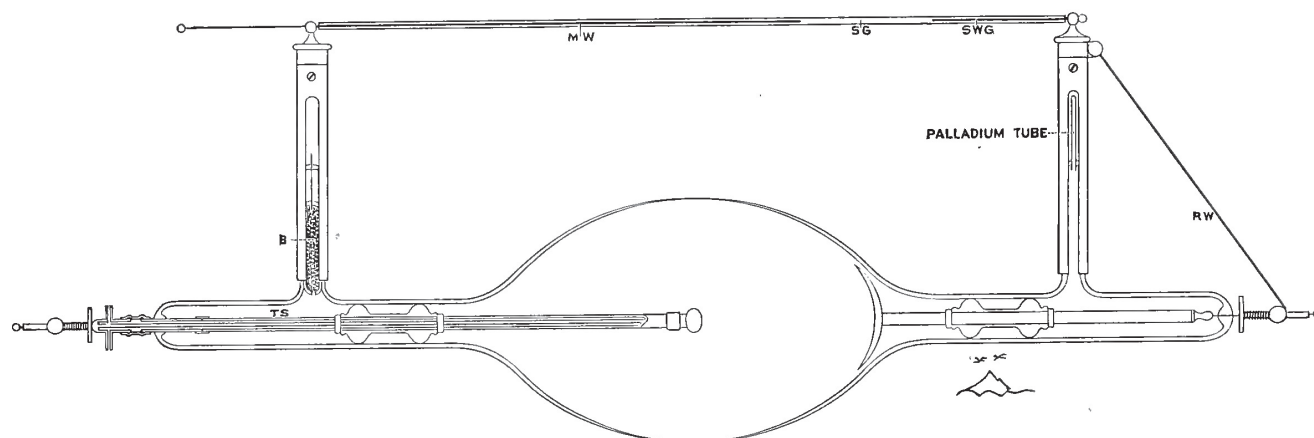


図152-1. 冷却ターゲット、自動調整管、再生管を備えたX線管

## X線浴

## ON X-LIGHT BATHS

以前のノートで、深在疾患にX線が及ぼす影響の研究が重要であることを指摘した。動物実験では、適切な種類のX線を使用し、光源を適切な距離に置くと、皮膚に火傷を起こすことなく体内に大きな効果をもたらすことができることが示されている。臓器結核や癌の治療においてX線が深在組織に及ぼす強力なイオン化を利用するには、モルモットの実験で行ったように、患者をX線浴にかける必要がある。疾患の主病巣だけでなく、小さな未知の散在病変も治療が必要となりうるからである。このためには、X線ボックスに特別な絞り板が必要である。この絞り板の金属は、放射線非透過ではなく、ある程度透過性でなければならない。絞り板の開口部をそのまま通過するX線は、明らかな病変領域を照射するように調整され、領域外の健常組織は、絞り板の放射線透過性金属を通過した弱いX線に照射されることになる。患者は、ノート 162 に示す回転検査台に載せ、照射中に回転させることにより、皮膚のいずれの部分も照射される時間が相対的に短くなる。このX線浴は、モルモットの実験でおおいに活用し、人体でも実用的であることが判明している。

(Electrical Review)

## 既出 X 線鉄則の分類

## A GROUPING OF SOME OF THE AXIOMS MENTIONED

## 【X線管】

- ・X線管のガラス壁に囲まれた空間は、管内の電気エネルギーの使用率に直接比例する。
- ・X線管の陰極の大きさは、その表面から放電の速度とサージの大きさに直接比例する。
- ・X線管のターゲットは、強力な陰極放電の衝撃をうけるときは冷却しなければならない。
- ・X線管のターゲットは、陰極放電の焦点に置かなければならない。
- ・X線管の、陰極とターゲット間の距離は可変、あるいは自動調整装置が必要である。

## 【X線管のポンプ排気】

- ・X線管のポンプ排気では、術者にX線が当たってはならない。
- ・X線管のポンプ排気では、X線管は放射線非透過性オープンに入れなくてはならない。
- ・X線管のポンプ排気では、ポンプから水蒸気を排除しなくてはならない。
- ・X線管のポンプ排気では、水銀をX線管から排除しなければならない。
- ・X線管のポンプ排気では、ガスの除去は処理の一部に過ぎず、X線管の性能は電極の電氣的処理にも左右される。
- ・X線管のポンプ排気では、X線管は高温でなくてはならず、ポンプは水銀ポンプの場合は温かくしなければならない。
- ・X線管のポンプ排気では、電極から電氣的にガスを除去する前に、必要量のガスをガラスと管内から除去しなければならない。
- ・X線管のポンプ排気では、電極の電氣的前処理を行う前に、漏洩がないことを確認しなければならない。
- ・X線管のポンプ排気では、使用時の電気エネルギー量を事前に知り、その量で電極を前処置しなければならない。

## 【X線の使用】

- ・X線使用時は、X線管を放射線非透過性ボックスに収め、必要最小限のX線管以外が漏洩しないようにしなければならない。
- ・X線使用時は、X線が術者に当たらないようにしなければならない。
- ・X線使用時は、選択的フィルターを使用して、不要な照射を制限しなければならない。

- ・X線使用時は、蛍光板の術者側をX線防護用の厚い鉛ガラス板で覆わなければならない。
- ・X線透視装置使用時は、直射線以外のX線の入射を防ぐために、装置の壁はX線管非透過性でなければならない。
- ・X線蛍光板使用時は、外部で使用する場合、透視装置内部にある場合、いずれにおいても、蛍光板の表面にX線の中心光線が垂直に当たるようにしなければならない。

#### 【X線撮影】

- ・X線写真撮影時は、ターゲットの放射領域からのX線のみが写真乾板に当たるようにしなければならない。
- ・X線写真撮影時は、X線の中心光線が、写真乾板の表面に垂直に当たるようにしなければならない。
- ・X線写真撮影時は、中心光線が写真乾板に当たる場所が、自動的にネガに記録されなければならない。
- ・X線写真撮影時は、X線源の位置と距離が、自動的にネガに記録されなければならない。
- ・X線写真撮影時は、被写体に直接線のみが当たるように放射線非透過性被覆を使用しなければならない。
- ・X線の医療応用では、検査室を毎晩燻蒸しなければならない。
- ・X線の医療応用では、器具は無菌でなければならない。
- ・X線の医療応用では、検査、撮影、治療する部位に当たる最小限のX線以外は照射しないようにしなければならない。

#### 【X線の診断応用】

- ・X線を診断に使用する場合、患者の不要な被曝を避けるために、視覚と発光の持続性を利用して、発光が見かけ上一定である程度に、X線を可能な限り短い持続時間でサージ状に発生しなければならない。動いている心臓、肺の検査では、蛍光板の蛍光塩が明るいほど、サージは短くできる。
- ・X線の医療応用では、医師は蛍光板の画像から目を離すことなく、全ての調整を行えなくてはならない
- ・X線の医療応用では、医師は検査中、蛍光板の画像から目を離すことなく、常に患者と線源の関係を調整できなければならない。

#### 【X線の治療応用】

- ・X線の治療応用では、その波長は病変組織に大部分が吸収されるものでなければならない。
- ・X線の治療応用では、その波長は表在組織が障害されない程度に長くなければならない。
- ・X線の治療応用では、X線が入射する体表面から線源までの距離は、体表面下の病変組織までの距離に応じて直接的に変化させなければならない [187]。

・X線の治療応用では、X線が入射する体表面下の病変組織までの距離に応じて、X線真空管の形状を決めなければならない。

・X線の治療応用では、病変組織が体表面に近いほど、線源と管球の最も近い壁との距離を短くしなければならない。

・X線による体表面疾患の治療では、X線管を病変組織の範囲外にX線が漏洩せず、病変領域上を移動できるハンドルを備えた、ポータブルな放射線非透過性ボックスに入れなければならない。

・X線による体表面疾患の治療では、線源はX線管の壁でなければならない。

・X線による体表面疾患の治療では、治療範囲に応じて線源となる管球壁の面積を決めなければならない。

・X線による体表面疾患の治療では、X線管が皮膚に接触する場合は、線源となるX線管壁を冷却しなければならない。

#### 【放射性物質】

・放射性物質を使用する場合は、必要な方向以外に放射能が漏洩しないようなケースに線源を入れなければならない。

・放射性物質を使用する場合は、術者を放射エネルギーから保護しなければならない。

・放射性物質の医療応用では、患者に当たる放射線は、検査、撮影、治療する領域の最小限としなければならない。

・放射性物質の医療応用では、エネルギーが通過する体表面からエネルギー源まで距離は、体表面下の病変組織までの距離に直接的变化する。すなわち、病変が体表に近いほど、エネルギー源も体表に近づけなければならない。

(Electrical Review 1903.12.12)

[187] ここで「直接的に」という言葉は、「反比例的」の逆の意味に使用している。すなわち、病変が体表より深いところにあるほど、線源は体表から遠ざける必要がある。これは広く使われており、病変が体表下の特定の距離にある場合、線源が体表上の同じ距離にあることを意味するものではない。詳細についてはノートを参照されたい。以下はより一般的な説明である。人体を通過する放射線を治療に使用する場合、放射線の強度が距離の二乗にほぼ比例して変化するとき、放射線が入射する体表面から線源までの距離は、表面下の病変組織までの距離に比例して変化する。つまり、病変が体表面より下にあるほど、線源は体表面より上に位置する必要がある。

なぜエーテル波と荷電粒子という異なるものが同じような治療効果を生むのか

WHY SHOULD SUCH DISSIMILAR AGENTS AS ETHER WAVES AND CHARGED PARTICLES SHOW SIMILAR CURATIVE POWERS?

通常エーテル波と考えられている X 線が、治療効果をもつことは一般に知られている。真空管から発生するデルマ線と呼ばれる別のエーテル波にも類似の特性があることは、あまり知られていないが、実験では証明されている [188]。荷電粒子を放出するラジウムが、治療効果をもつことも一般に知られている。紫外線照射によって負に帯電した物体から放出される荷電粒子にも類似の特性があることは、あまり知られていないが、実験では証明されている [189]。現状では、エーテル波と荷電粒子は異なるものと考えられている。異なるものから同じ結果が得られるとなれば、その理由を知りたくなるものである。

エーテル波と荷電粒子がもつ類似の治療効果については、両者に共通するイオンを生成する性質によるものである。人体の分子がイオン化あるいは破壊されると、その原因手段は異なっても結果は同じである。この理論は、このノートで言及したいいくつかの実験で使用されており、電気治療で一般的に使用されている他の長波長のエーテル波や荷電粒子から得られる治療結果にも適用でき、したがって検査、治療にも適用できる有用な一般化である。

(Electrical Review 1904.2.6)

[188] ノート 176, 179D 参照。

[189] ノート 179 参照。

X 線管、デルマ線管における放射性物質の使用

ON USING RADIO-ACTIVE SUBSTANCES IN X-LIGHT AND DERMA RAY TUBES

ノート 115(Electrical Review 誌, 1901 年 2 月 2 日)では、放射性物質の陰極を備えた X 線管について示説し、ここでは放射性物質 (不純な塩化ラジウム) が陰極の表面となっている。別の実験では、放射性物質を容器に入れ、陰極の凹面側を薄いアルミニウム板とした。これらの実験の目的は、放射性物質の特性によって陰極線の寿命を延ばすことができるかを確認することにあった。X 線管の使用により管球の抵抗が増大して、陰極線が形成されなくなるからである。この抵抗を克服するためには水素が推奨されており、水素調整管を使う様々な方法が提案されているが、最も良い方法は、管球壁の一部に組み込んだパラジウム管の分子間に水素ガスを導入する方法である。

このような調整管は、ノート 50 の図 52(Electrical Review, 1899 年 2 月 15 日)、ノート 62 の図 57(Electrical Review 1899 年 4 月 26 日)、ノート 86 の図 68(Electrical Review, 1900 年 2 月 7 日)でも述べた。水素のかわりに、水素、ヘリウムを持続的に放出する放射性物質も使用した。ほとんどの実験で使用した放射性物質は、ウランの 3,000 倍の放射能をもつ塩化ラジウムである。これを X 線管に付属する小さな管に入れ、ガラス線維で保持する。放射性物質からのガス放出速度が、X 線管の抵抗抑制に不十分な場合は、加熱によってより急速に放出させることができる。この急速放出の最も実用的な方法は、ノート 138(Electrical Review, 1902 年 5 月 3 日)に記載した方法の改良法である。放射性物質を導電性粉末と混合して、管内に充填する (図 2 の HR, Electrical Review 1903 年 12 月 12 日)。この管はシャント回路内に配置し、X 線管またはデルマ線管を励起する発電機が放射性物質に必要な熱を必要に応じて発生して陰極線を開始するために十分な物質を放出させ、その後、過剰な放出を防ぐために電流が自動的に遮断される。

ラザフォードは、彼が発見したエマネーションがキュリー夫妻が発見した放射能を惹起し、その放射能が周囲のすべての物質に無差別に蓄積されるのではなく、負に帯電した電線に凝縮できることを示した。電線の放射能は、エマネーションの発生源であるトリウムの 1 万倍に達する。そこで、放射性物質を含む X 線管の陰極を、管を使用していないときに負に帯電させた状態とし、陰極に濃縮することによって陰極線の寿命を延長できるかの実験を試みた。かなりの強度をもつ放射性物質が容易に入手可能となった現在、このような方法は興味深いところである。

(Electrical Review 1904.7.30)