

X 線の ABC
The ABC of the X-Rays
William H. Meadowcroft, 1896

目次

序文 Preface

第 1 章. はじめに Introductory

第 2 章. 励起装置 The Exciting Apparatus

第 3 章. 誘導現象 Induction

第 4 章. 誘導コイル Induction Coils

第 5 章. 断続機 Contact Breakers

第 6 章. コンデンサー The Condenser

第 7 章. 高周波電源装置 High Frequency Apparatus

第 8 章. 静電発電装置 Static Machine

第 9 章. クルックス管 The Crookes Tube

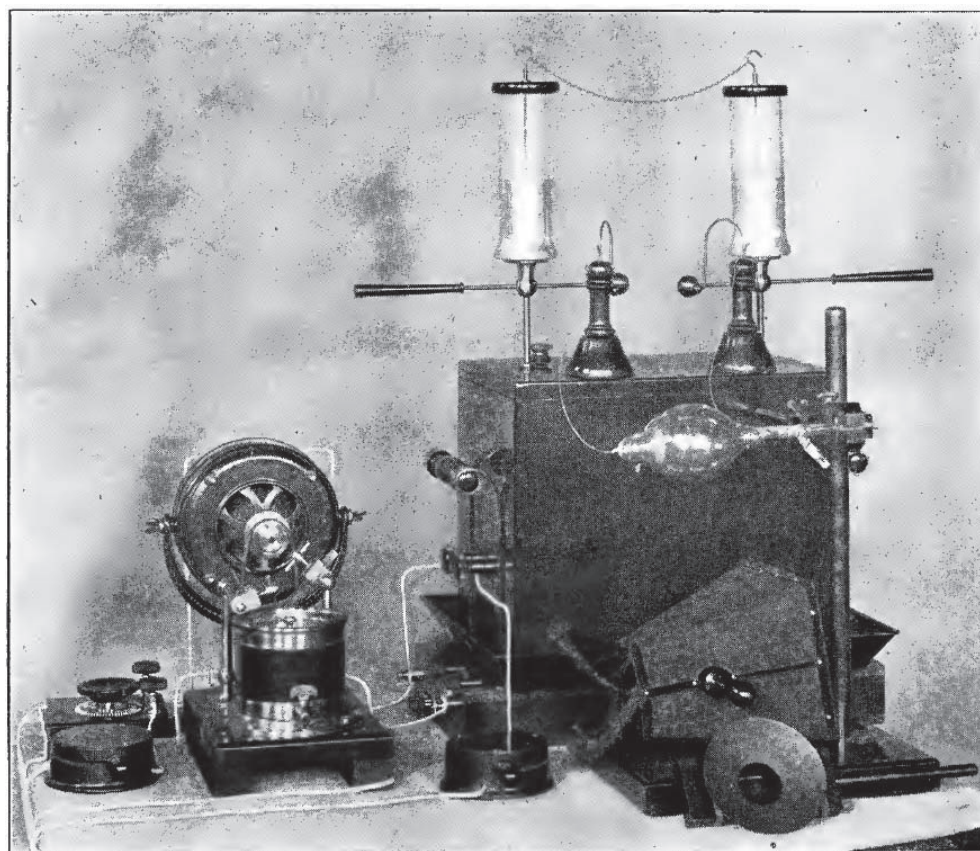
第 10 章. X 線透視装置 The Fluoroscope

第 11 章. 電源 The Source of Current

第 12 章. 操作法 Manipulation

第 13 章. 実的なヒント Practical Suggestions

第 14 章. 写真乾板と現像液 Photographic Plates and Developers



X 線装置一式. リュムコルフコイル (油絶縁方式), モーター駆動回転断続機, コンデンサー, クルックス管とその架台, 絞リ, X 線透視装置 (フルオロスコープ), 電池, スイッチ.

序文

本稿は、2種類の読者それぞれに何らかの一助となることを目指して書かれています。すなわち一般的な知識を増やしたい読者、そして神秘のX線という魅力的な領域で独自の研究、実験を求める読者です。このテーマについて特別に研究したり、レントゲン教授の発見を実際に利用したりしたいと望む人の多くは、おそらく電気について特別な知識を習得する機会がなく、周囲を見回してもどのような装置が必要か分からず途方に暮れるでしょう。

従って、すべての説明はできる限り詳細に、しかし技術的に矛盾がない範囲で簡単にすることを目指しました。また、非専門家でも自分のニーズに最適な装置を選択し、それを操作して結果が得られるように十分な情報を含めるよう細心の注意を払いました。

W. H. M. 1896 年 10 月 15 日

第1章. はじめに

本書の主な目的は、X線の発生、利用にあたって使用される装置や方法について、実際的な説明を読者に提示することにあります。本章はこの問題の全体的な導入部です。その目的は、レントゲン教授の発見の概要を説明すると同時に、その利用方法に関するいくつかの一般的な誤解を正すことにあります。

今世紀を顧みると、太古の昔から世界が享受してきた恩恵の中でも、最大級の発達、進歩が見られた世紀といえるでしょう。1800年以降、我々の快適、安全、利便に寄与してきた発明、発見を列挙するだけでも、何冊もの厚い書物になるでしょう。例えば、ガス灯、蒸気機関、鉄道、蒸気船、麻酔、電灯（アーク灯、白熱灯）、電気鉄道、送電、そしてX線など、特に目につくものを取り上げるだけでも、19世紀の驚くべき進歩に深い感銘を受けずにおられません。

X線による驚異的な現象の発見は、最先端の知性、科学に基づく研究と実験の当然の帰結であり、世紀を刻む時計の針がほぼ一周するこの時期にこれが成されたことは、それに相応しいものと言えるでしょう。

この発見が最終的に芸術、科学にどのような影響を与えるかは現時点では予測できません。しかしその発見から数ヵ月を経ずして、その素晴らしい効果が多く of 疾患の緩和に実際に応用されており、我々は今、わずか1年前には想像することすら憚られた神秘の力を手にしています。

X線は、1895年末、ドイツのビュルツブルク大学物理学教授のヴィルヘルム・コンラート・レントゲン(William Konrad Roentgen)教授により発見されました。彼は、長年にわたってガイスラー管、クルックス管、

真空管などと呼ばれる、排気したガラス管中の電流による現象を研究していました。1894年、ヘルツ(Hertz)門下のレーナルト(Lenard)教授も、同じような実験でいくつかの新たな現象に気づいていました。

レントゲン教授は、これらの現象を研究する中で、電流によって励起されたクルックス管から放射される光線により、多くの点で通常の光線に類似した効果が見られることを見いだしました。しかし、新しい光線には、皮膚、血液、筋肉、そして通常の光線では不透過な何枚も重ねた紙、布、皮、木材、ゴムなどの物質をも貫通するという驚くべき違いがありました。

この偉大な発見は当初、世界中から不信と多少の諧謔をもって受け止められましたが、その後、他の科学者がレントゲン教授方法を追試して実際に結果を得たという発表により、直ちに驚愕に変わりました。

X線の発見については、既に新聞、雑誌、専門誌に多くの頁が割かれており、これ以上詳述する必要はないでしょう。従って以下では、X線現象について簡単に説明し、現在広く知られている現象を生み出すために使用される様々な装置とその使用方法を述べることにします。

X線の発生は、現在のところ完全に電氣的なものです。今後、X線を発生させる別の方法が発見される可能性もありますが、現時点ではこの発見を証するに十分な事実はありません。

電流そのものと同じく、謎のX線は目に見えません。その存在は、適当な条件下でX線が引き起こす現象によってのみ知ることができます。X線はガラスの真空管から放出され、まばゆく輝く光を放つと一般に誤解されていますが、これは事実ではありません。励起された真空管は、しばしば淡く発光したり蛍光を発します。これは非常に弱く、時計の文字盤も読めない程度ですが、同時にかなり厚い木片、ボール紙、ゴムなどを通過して数秒間で写真感光板を感光するほどの光線が発生します。

X線の効果は、通常の光線にかなり類似していますが、いろいろな違いがあり、科学者もまだ的確に分類できていません。その正確な性質は、現在のところ未知です。レントゲン教授自身が、この新しい光線をX線、すなわち未知の光線と命名し、以来そのように呼ばれています。しかし、今後の研究、実験によって、いずれ適切に分類されるでしょう。X線の性質に関する最近の研究では、光や放射熱と同じようなエーテル中の横振動であるが、周波数が非常に高く、波長が短いものである、という点についてはほとんど疑いの余地がなくなっています。

この差異を明確に示すには、次の一例を挙げれば充分でしょう。通常の光線は偏向、屈折、集束しますが、

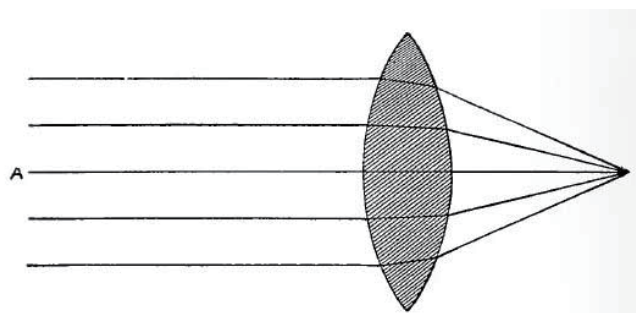


図 1. 凸面レンズ

X線にはこれがありません。X線は、発生点から垂直に、直線を描いて進みます。例えば、図1のような単純な凸面ガラスのレンズを考えます。光はAから進行してレンズに当たり、レンズの反対側に集束して焦点を結びます。これは、通常のカメラレンズの原理の一つで、これによって広範囲からの光線が集束して大幅に縮小し、カメラ内の感光板に投影されます。一方、このようなレンズをX線の進路に置くと、(後述のようにガラスはX線に対して多少なりとも不透過性ですが、実際にガラスを透過したX線については) X線は集束も発散もすることなく直線的に通過します。

これまでに分かっていることは、以下の通りです。

- (1) X線の発生は電源による
- (2) X線は目に見えない
- (3) X線は直進し、現在知られている所では、反射、屈折、集束しないが拡散する

ここでX線の発生方法のひとつについて、予備的に考察します。詳細は後章に譲ります

使用する装置は、(1) リュムコルフ誘導コイルのような、非常に高電圧の電流を発生する何らかの装置、(2) 「断続機」と呼ばれる連続回路を高周波数で断続する機械的装置、(3) 電気エネルギーを蓄積し、急速に放電するコンデンサー、(4) クルックス管、(5) 蓄電池あるいはその他の電源。各装置の詳細については、別項に譲ります。

断続機とコンデンサーを取り付けたコイルに電流を流し、コイルの二次端子を空気をはさんだ状態で一定の距離に離すと、青みがかった稲妻のような火花(スパーク)が端子間にパチパチと飛び、これが高頻度になると持続する流れとして見えるようになります。この火花の長さは、概ねコイルの巻き線量に比例します。X線発生に使用する通常のコイルの火花長は、1~12インチあるいはそれ以上です。この火花は、前述のような特徴を持ち、空気中でのみ発生します。奇妙なジグザグの形は、電流が空気中の粒子の中で、最も抵抗の少ないところを通過するためと言われています。

ここで、コイルからこれら2本の二次端子線を取り出して突出させ、これをガラス球あるいはガラス筒内

に封入します。この端子線が「電極」です。ガラス球内の空気を排気しない状態でコイルに電流を流すと、2つの電極間に同じような放電が起こります。

次に、管球を排気して中程度の真空、たとえば大気圧の3,000ppm程度(1気圧は15psi)として、コイルに通電すると様子は大きく異なります。電極間を跳びはねる火花ではなく、管球全体が紫色のもやで充たされ、急速に振動、移動するようになります。この状態では、管球内の残存空気分子が一方の電極から他方の電極に向けて移動し、互いに激しく接触して、この分子の衝突エネルギーが光を発生します。

管球を高度の真空、例えば大気圧の1ppm程度にして、コイルの電流を管球に通電すると、また新たな現象が起こります。紫色のもやは消失し、ガラスそのものが美しい蛍光を発するようになります。これは残存する空気分子の衝撃によって発生すると考えられます。これがすなわちクルックス管です。

蛍光は、ガラス管の陰極に対面する位置で最も顕著で明るく、X線はここから最も多く放出されます。後章で述べるように、この単純な形のクルックス管は最近改良され、管内に特殊な衝撃面が設けられ、その結果、光線の量のはるかに増え、拡散は減り、X線像の鮮明度が向上しました。

X線は、高度に排気されたガラス管で、陰極に対面する位置から放出されますが、位置は必ずしも管球のガラス自体である必要はありません。

読者が、X線が生成される場所を理解したところで、次に、いかにしてX線の存在を確実に知ることができるかを考えます。

通常の光線(太陽光、人工光線)の存在を確認するために特別な方法は不要です。根本的な違い、つまり暗い、明るいとの差は、視力がある者には明らかだからです。X線は目には見えませんが、通常の光線によって生じる効果と同じような、そしていくつかの点では通常光よりもむしろ強力な効果を生み出すという事実は、一見逆説的に思えます。

新しい現象を説明するに当たっては、既知の基準と比較すると良いことが多いのですが、この場合はX線照射による一連の現象と厳密に比較できる基準が存在しません。

従って、ここではできる限り簡単な方法で考えてみます。現在のところ、X線の存在を確認できる3つの方法が存在します。X線の最も顕著な特徴は、荷電体あるいは荷電面を放電させる力です。実際のところ、これがX線を検出する最も鋭敏な方法です。その他の方法は、通常の写真感光板を使用する方法、およびある種の化合物塩の結晶がX線により発する蛍光を利用する方法です。



図 2a. 写真撮影 (photography)

ここでは後二者について述べれば充分でしょう。順番に行くと、まず写真感光板を使用する方法ですが、最初に通常の写真用カメラでX線写真が撮れるという一般的な誤解を訂正しておきます。カメラは不要であり、X線は集束、屈折しないので、実際のところ役に立ちません。X線によって得られる物体の像は、普通の写真のように感光板に撮影、現像、印画されますが、厳密には写真 (photograph) ではありません。辞書に定義されているように、写真は「化学的光線によって光感受性の化学塩に物体の像を固定する」ものであり、一般に行われているように、レンズを使って被写体の像を感光板上に縮小あるいは拡大して焦点を結ばせます (図 2a)。物体のX線による画像、つまりX線写真 (radiograph) は、レンズによって光線を集束できないため、拡大、縮小することはできず、従ってX線写真は実際には被写体の実物大の像です。しかしX線写真を一度撮影すれば、これを通常の光線で普通の写真に撮ることができ、それを拡大、縮小できます。

写真感光板の上に不透明なもの、例えば手を載せて屋光に数秒露出する場合、光線は手の下にある感光板には届きません。感光板を現像すると、手の明瞭な形、陰影が見え、その周囲はすべて光線が作用して黒くなります。光線は皮膚や血液を透過しないので、手の全体が不透過となり、骨、筋肉、その他の内部構造は見えません。このように、通常光により得られる画像を、写真 (photograph) と言います。この写真を通常の方法で印画紙に焼いたものは、手を明るい窓にかざすのと同じように、単に手の黒い陰影が見え、その周囲はすべて白くなります。印画紙で白い部分は、写真感光板に光線が直接作用した部分です。

写真感光板に直接当たるX線は、通常光線と同じように感光板に作用し、これを現像すると真っ白になります。

比較のために、2枚の感光板を、1枚は通常的光線に、もう1枚はX線に露光し、それぞれの上に全体を覆うように木片、本、ゴムシート、アルミニウム箔を置きます。これを現像、印画すると、通常光に露光した方は真っ黒で、光線が物質を透過しなかったこと示しています。しかし、X線に露光した方の印画は真っ白で、感光板に光線が作用したこと、上記の物質がいずれもX線の透過を妨げなかったことを示しています。

X線は上記のような物体、その他多くのものを透過しますが、必ずしも全てを透過するわけではなく、例え

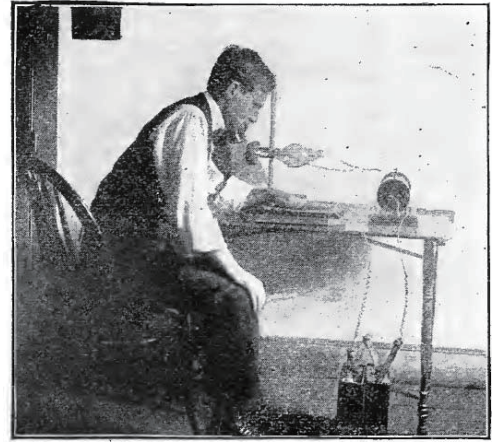


図 2b. X線写真撮影 (radiography)

ば透過しないものには骨、ガラス、ほとんど全ての金属があります。これによって、我々は生体の骨を検査することができ、また体内にはいった不透過性異物の位置を知ることができます。

次に、図 2b のようにもう1枚の感光板を、今度はX線に露光してみます。感光板を黒い紙で包み、これを感光板ホルダーにに入れて、その上をボール紙あるいはゴムで覆います。これを机上において、感光板の上に手を載せ、吊したクルックス管でX線を発生させます。数分で管球の励起を止め、感光板を取りだして現像します。これを印画すると、手で覆われていなかった部分は真っ白になります。X線は皮膚を貫通し、組織、血液、爪もさらに透過して、手の淡い輪郭だけが見えます。しかし、X線は骨を透過せず、その直下の感光板は全く影響されないか、あるいはわずかししか影響されないで、黒い輪郭となり、手の骨の写真が撮れます。弾丸、針などの金属が手に埋没していれば、このような物質もX線不透過なので見えます。

かくして今や我々は、体のいかなる部位の骨の画像も見ることができ、金属異物だけでなく石灰沈着、その他のX線不透過性の物質を見ることができるのです。骨折、骨折後の不適切な整復、脱臼なども、皮膚を剥ぎ取ったかのように見えます。

心臓その他の内臓の明瞭な画像を取得することを目指して、非常に多くの実験、研究が行われていますが、これらはX線に対して充分不透過でないことから、まだ完全には成功しているとは言えません。

最近の外国の報告では、X線不透過性の無害な溶液を飲んでから通常の撮影を行うことにより、胃や腸のX線撮影に成功したと報じられています。

これまで、X線の存在を確認する方法として、その感光板に対する効果だけを紹介しました。しかし、これとは別にもっと速い方法があります。それは、特定の化学塩が、X線の影響下で蛍光を発するという特殊な性質を利用するものです。

この蛍光は決して明るいものではありませんが、周

囲を遮光すると弱い発光が目に見えます。既知のものと適切に比較することは難しいのですが、この蛍光は、夜間にすりガラス窓の後の少し離れた所に、弱いろうそく程度の人工照明を点けた状態に近いといえます。それ自体は目に見えないX線が、このような蛍光を発する性質を持つことは、素人には多少分かりにくいところですが、さらに単純な比較によって容易に理解でき、合理的に考えられるでしょう。

ダイヤモンドは結晶ですが、暗室に置いても光を出すこと無く、その珍重される美しい輝きも見えないことは御存知の通りです。しかし一度光を当てると、輝く宝石になります。X線で蛍光を発する化学塩はすべて結晶ですが、その蛍光を発する性質に関しては、X線が当たるまでは常に暗闇にあると言えます。X線が当たると、ダイヤモンドが光に当たったときのように、ダイヤのような輝きではありませんが直ちに発光します。

この比較は、問題としている現象の説明として示したのではなく、前述のようにX線透視装置で観察される蛍光を読者が理解しやすいようにする目的であることを留意してください。

化学塩結晶のこの特異な性質は、X線透視装置(Fluoroscope)と呼ばれる装置で実用的かつ簡便な観察目的に応用されています。これについては後に詳述します。

化学物質が蛍光を発する性質は、3年前に発見され、結晶を使った蛍光板はレーナルトがその研究に使用したものです。1年前、レントゲンもこの蛍光板を利用しました。米国のトムソン(Elihu Thomson)も、今年の初め、レントゲンのX線発見の報の直後に同じような蛍光板を使用しています。この数ヶ月、蛍光板の知識は一般的なものとなり、エジソン氏は使いやすいX線透視装置「フルオロスコープ」(Fluoroscope)を発明しました。

当面、クルックス管と蛍光結晶の間に不透性物体を置くと、その物体で覆われた結晶の部分にはX線が当たらず、その結果そこだけ結晶が発光しないということが分かれば十分でしょう。たとえば、蛍光版をX線の照射範囲内に置き、光源と蛍光板の間に手を置くと、X線は皮膚、血液、静脈、筋肉を貫通しますが、骨は透過しません(図3)。X線が到達した結晶は光を発するため、X線の影響を受けていない場所を除いて蛍光板が光り、手の骨の形が暗い陰影の輪郭として見えるようになります。X線の発生を停止するか、蛍光板を照射範囲から外すと、結晶の蛍光は止まり、再びX線を当てるまで発光しません。

読者は、これでレントゲン教授の素晴らしい発見に関連する現象について大まかな理解が得られたと思いま

す。次に、このような効果を生み出すために使用されるさまざまな装置についてさらに詳しく説明し、その操作に関するヒントを提供します。



図3. 手のX線写真(著者撮影。トムソンの二重点X線管と誘導コイル使用。露光時間2分50秒。距離12インチ。誘導コイル火花長5インチ)

第2章. 励起装置

クルックス管を適切に励起するために、その電源は2つの条件を備えている必要があります。まず第一に、非常な高電圧であること、第二に、交流派、断続波、あるいは間欠波であることです。クルックス管を、電灯線回路の2つの端子につないでも、何も起こりません。この端子に、16~100燭光の白熱灯を10個あるいは20個接続すると、電線に流れる電流によってこれらの電球がすべて最大燭光で点灯しますが、クルックス管1個を励起することはできません。適切な条件下のクルックス管に必要な電気エネルギーは、電球を点灯するのに必要な電気エネルギーの1/500以下です。

これには二つの理由があります。まず、電流(110ボルトの直流とします)が第一の要件を満たしていません。次に、白熱灯では比較的抵抗の低い回路を電流

が流れますが、クルックス管では、電流が流れる回路は極めて小さく、排気されて約 100 万分の 1 しか残っていない空気の分子だけです。この場合、一方の電極から管球に入った電流は、空気の分子を互いに動かしながらこれを回路として、他方の電極まで到達するしかありません。

白熱灯用の通常の照明電源は、電極間の空間が非常に狭いものであっても、これを飛び越えるほどの電圧はありません。しかし、2つの電極間にたまたま導体が存在すると電流が流れることがあります。この場合は、非常に高圧の断続電源を接続した場合に見られる電極間を飛び交う火花ではなく、連続的なアーク(電弧)が発生します。

白熱灯の通常の照明電源回路は比較的低圧で、一般には 50~120 ボルト、場合によっては 240V です。しかし、電流(アンペア)は、その特性上比較的大きなものです。この場合、電圧は数ポイント以内に一定に保たれますが、電流は受容に応じて大きく変動します。

X線を発生するクルックス管を駆動する電流は、電灯線に比べて著しく高電圧です。電圧は 10,000~100,000 ボルトですが、電流は著しく低く、1 アンペアのわずかな割合に過ぎません。

従って、X線を発生するために必要な実際の電気エネルギーは比較的小さいことがわかります。実際、適切な装置を使用すれば、通常の 16 燭光の白熱灯を点灯するエネルギー量で、強力な X線を発生するのに十分な励起が得られます。

当然読者は何故かと問うでしょう。その答は、電気エネルギーの一つの形が別の形に変換されることにあります。そしてこれは、この後述するある種の装置によって行われます。この装置の仕組みは、ある電気的現象に基づくもので、その法則は良く知られており多くの有用な発明により実用化されています。

比較的低電圧、高電流の電気エネルギーを、非常に高電圧、低電流に変換するために最もよく知られ、最も広く利用される装置は誘導コイルです。リュムコルフコイル(Ruhmkorff coil)とも言います。これを説明する前に、読者の理解を深めるために、その基本にある現象について簡単に説明する章を設けます。これには、X線研究に関連して現在一般的に使用されている高周波電源装置(high frequency transformer)と呼ばれる別のタイプの電源装置の原理にも関係します。この装置も、リュムコルフコイルと同様、電気誘導を応用するものです。

第三の、全く異なるタイプの電源装置は、いわゆる静電発電装置(static machine)です。静電発電装置の動作は、やはり誘導によるものですが、蓄電池、照明回路などの電気エネルギー源に接続しておく必要はな

く、いったん充電されると、それが回転している限り電流を発生、放電します。このような装置の例とした、ホルツ装置(Holtz machine)、ウィムズハースト装置(Wimshurst influence machine)などが知られています。

この3種類の電源装置を順に説明しますが、まず始めに誘導現象の原理について簡単に見てみましょう。

第3章. 誘導現象

誘導現象の知識は、X線発生装置だけでなく他の電気現象についても役立ちます。現在使用されている電気機器における電磁誘導の重要性については、いくら強調してもし過ぎることはありません。これはすべての電灯、電源装置の基本であり、実際のところほとんど全ての電気製品が、この誘導現象を利用しているのです。

電気科学に詳しくなければ、電流が電線やその他導体に流れるとき、その電流の影響はその電線、導体、およびそこに接続されている装置に限定されると考えるのは当然でしょう。しかし、実はこれは違います。電流の影響は、電流が通過する導体の外側にも広がり、他の導体との距離や相対的な位置に応じて、多少なりとも他の導体に影響を与えるのです。

電流が導体を流れると、その近傍に変化が生じます。以前は存在しなかった力が直ちに出現し、導体に電流が流れている限り持続します。導体の周囲には、電流の変化に伴って伸縮する一連のバネに例えられるような作用が発生します。これらは磁力線と呼ばれ、磁気渦、磁場とも言います。これを図4に模式的に示しました。

磁力線は、もちろん目に見えず、ある時点における磁力または磁束の方向を理想的に示すものに過ぎません。静止状態で電流が一定であれば、磁力線は空間的に静止しており、電流の変化に応じて拡大、縮小するだけです。

電線を一端から見るとき、電流が観察者から離れる方向に流れと、磁力線は電線周囲に時計方向に回り、その方向は常にN磁極に向かいます。従って、鉄棒を観測者から遠ざかる方向に伸びる電線の上に水平に置き、電流をこの方向に流すと、鉄の棒の右端にN磁極、左端にS磁極が現れます。棒が電線の下にある場合、極性は電線周りの方向と同じですが、北は左に、南が右になります。電流を逆転すると、すべて反転します。

これらの磁力線はほぼ無限に広がり、遠く離れた導体に影響を及ぼすと考えられますが、その効果は非常に

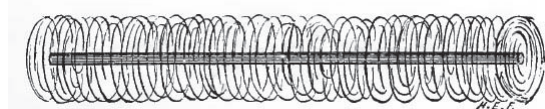


図4. 導体周囲の磁力線

狭い範囲でのみ観察できます。

簡単な例えをすると、分かりやすいでしょう。

池の静かな水に石を落とすと、一連の輪が生じます。輪は徐々に広がりますが、中心となる乱れの原因から離れるほど減弱して、最終的には見えなくなります。

磁力線のこの現象を説明するために、発電機あるいは一次電池、二次電池につないだ電線を厚紙に貫通させて、厚紙の上に少量の細かい鉄粉をばらまくと面白い実験ができます。厚紙を鉛筆の先でそっと叩くと、鉄粉が電線の回りに輪を描いてならび、磁力線の方向が分かります(図5)。発電機や強力な電池につないだ電線自体も、鉄粉を引き寄せます。

小さな方向磁石あるいは水平電位計を置くと、電線周囲の磁力線の存在、向きがわかります。この実験では、厚紙あるいは薄い木片に電線を通しておきます。方向磁石あるいは水平電位計を電線の周囲のいろいろな位置に置いてみると、針が振れるのがわかります。電流の向きを逆転すると、針は反対側に触れます。電流が上から下に流れている場合、これを電線の上から見るとすると(図6)、磁力線の向きは左から右になり、電流を逆転すると逆になります。図6は、電線の上からみた場合、方向磁石の針の向きを描いたものです。

この実験で注意すべきは、強力な電流を使用しない限り、地磁気の影響が多少なりとも針の触れに影響する可能性があることです。

では、上記の磁力線が電流が流れている導体の近くにある他の導体にどのような影響を与えるかを見てみましょう。別の電線あるいは導体(ここでは二次線と呼びます)を電流が流れている電線の近くに平行に配置します。直近の飛び出す磁力線が二次線を横切り、そこに瞬間的に電流が発生します。これは電磁電流誘導と言われるもので、二次線に発生する電流を誘導電流と言います。

この考えは、目に見えない力のエネルギーを扱っているので、明確に理解するのはやや難しいかもしれませんが、水に例えてみると目に見えるものとの比較で理解しやすくなるでしょう。ただし、この例えは正確で

はなく、上述の考えを前提にしてのみ可能であることを知っておく必要があります。いま、大きな水槽に2つのコルクを数インチ離して入れます。コルクの1つを突然押し下げて放すと、水中に一連の徐々に広がる水紋の輪ができて、それがもう一方のコルクに達すると、その影響を受けて上下します。この水紋の輪は、電流が流れる電線周囲に存在する力の線に例えることができます。押し下げられたコルクは電線を表し、押し下げる際に消費されたエネルギーは、電線を通過する電気エネルギーに相当すると考えられます。もう一方のコルクは、もちろん二次電線で、最初のコルクから発生するエネルギーの影響を受けます。

一次線の電流が一定である限り、二次線にそれ以上の変化はありませんが、電流の持続性、強度、方向、あるいは一次線と二次線の相対的な位置が変化すると、その都度二次線に誘導電流が発生します。一次線の電流が断続するたびに同じ効果が生じます。二次線に誘導される電流は一次線に電流が流れると一方向に流れますが、一次線の電流が遮断されたり逆転すると反対方向に流れます。

従って、電磁誘導は、電線と平行に置かれた別の電線を通る電流の変化によって、その電線に生じる効果であると説明できます。

これまで、説明のために一次線、二次線という用語を使用してきました。このため、比較的短い2本の電線が並んで配置されているというイメージを持たれたかも知れませんが、この考え方は、誘導電流の一般的な概念を簡単に理解する一助となりますが、実際には非常に長い電線が使用され、その機械的な構造については誘導コイルの章で触れます。

しかし、誘導電流を得るために長い電線を使用するとどうなるかというもう少し詳しい説明は、興味深いところでしょう。前述のことから、一次線をボビン(筒)に層状に巻いてコイルとし、二次線を一次コイルの上に層状に巻けば、一次コイルに電流が流れたときに非常に多くの磁力線が発生することがわかります。

これらの磁力線は、二次コイルを横切り、そのすべての電線に電流を誘導します。二次コイルに誘導された

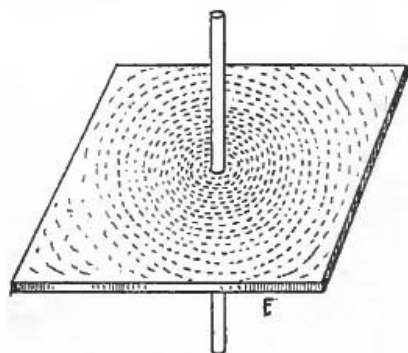


図5. 鉄粉による磁力線

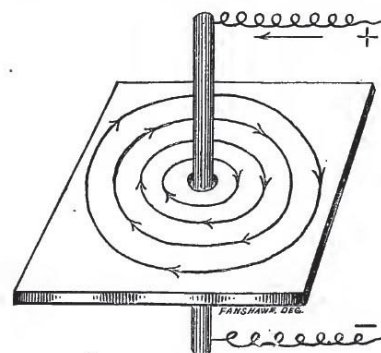


図6. 上から下に流れる電流による磁力線

この電流は、二次コイルから発生する磁力線も作り出します。この誘導効果は、一次コイル内に鉄芯を設けることでさらに増大します。

一次コイルに電流を流すと、鉄芯とその周囲の空間に磁力線が発生し、これがコイルの巻き線を横切り、逆起電力によって電流の増加が抑制されます。従って、いわゆる「自己誘導」により、コアが完全に磁化されるまでに時間がかかります。一方、電流を遮断しようとする、磁力線の崩壊によりコイルの巻き線が再び切断されて起電力が発生し、電流の減少が抑制されます。これは自己誘導のもう1つの効果で、元の電流を延長して、回路が開いた場所で火花やアーク（電弧）を発生させることがあります。

これらすべての誘導効果は瞬間的なもので、回路を接続あるいは切断する瞬間、または電流の強さ、方向、コイルの相対的な位置が変化する瞬間のみ発生することを銘記してください。一次側の電流が遮断されると、磁力線はすべて収縮し、発生元の電線に戻ります。これによって二次側を再び横切り、二次側に反対向きの電流を誘導します。これはもちろん一次側の電流と同じ方向です。従って、回路をオフにするときの効果は、回路をオンにするときの効果にくらべて鉄芯内の磁気変化が突然なので、より強力であることは明らかです。接続時の磁気変化が遮断時と同じくらい急激に起こる場合、二次側の誘導効果はいずれも同程度になります。

通常の誘導コイルの場合、一次側を流れる電流の圧と量は変動します。一次側の電流は、比較的低圧、大電流で、二次側の端子に誘導される電流は比較的高圧、小電流です。誘導コイルを使って所望の效果を得るには、一次側の電線のサイズと巻数に応じたサイズの電線を二次側に巻く必要があります。たとえば、二次側の末端で一次側の10倍の電圧を得るには、二次側の巻き数は一次側の少なくとも10倍必要といえます。二次端子の電圧がこのように10倍に上昇した場合、電流量は一次端子の約10分の1になりますが、元々一次側に流れている電気エネルギーの合計は増加しません。

誘導コイルは、火花を発生させる目的で広く使用され

ています。火花には高電圧が必要ですが、火花に流れる電流はわずかです。この火花の長さは、電線の量とサイズ、巻き数に応じて異なります。長さ3～4インチのコイルに4～6オンスの電線を巻くと、長さ1/8～1/4インチの火花が発生します。

通常、二次コイルに巻かれた細い電線1ポンドにつき1インチの火花が発生すると概算できますが、最近の巻き方ではこの規則が多少修飾される傾向があります。

小型、中型のコイルは、主にガス灯の点灯、導火線の点火、その他多くの実用的あるいは実験的な目的に使用されます。小型コイルは医師が医療目的に使用することもあります。これは、把手が柔軟な電線で二次コイルの端子に接続されているもので、電流が断続するたびに患者に急速に連続するショックを与えるものです。

誘導コイルの誘導効果は、通常一次側の電流の急速な発生と遮断によって生じます。これは、単純なコイルでは、図7に示す振動する接触子 (armature) によって行われます。接触子は、金属柱に取り付けた鋼製バネ片の端に鉄製のボタンを付けた構造です。静止状態では、バネは一次コイルに電流を供給する電池の一端に接続されている別の支柱に接触しています。最初の支柱には、一次コイルの一方の端子が接続されています。一次コイルのもう一つの端子は電池に接続されています。電流が流れると、電気は一次側を流れ、鉄芯に作用してこれが電磁石となります。磁化された鉄芯が接触子を引き寄せ、支柱から引き離します。これにより回路が切断され、一次側からの電流が遮断されます。

一次側に電流が流れなくなるので、鉄芯は磁力を失い、接触子を引き付けることができなくなります。接触子はバネについているので、支持柱の位置に跳ね戻ります。これにより、また回路が閉じて、接触子は再び鉄芯に引き付けられ、また回路が遮断されるというように、電池が接続されている限り、振動が継続的に発生して回路が開閉されます。この説明では、一連の接続と切断が極めて高速に発生することを想像するのは難しいのですが、読者は自らこれを目にする機会があるでしょう。

第4章. 誘導コイル

前章から誘導の基本法則と、装置としての応用についての知識をある程度得られたと思いますので、次に誘導コイル、その部品、その全体像を示して実際的な点を検討します。

一般的な誘導コイルは以下の部品から構成されます (図8)。

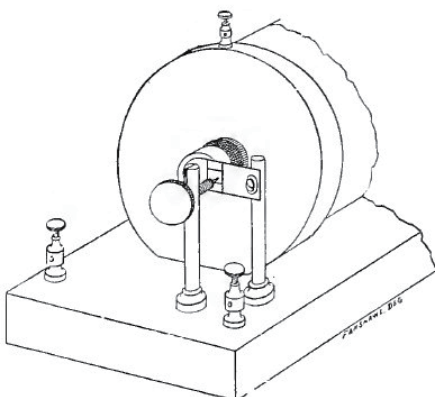


図7. 断続機の振動接触子

1. 鉄芯
2. 一次コイル
3. 二次コイル
4. 二次端子 (発火点)
5. 断続機
6. コンデンサー
7. 極性変換器 (オプション)

誘導コイルの製作法の説明は本書の守備範囲外です。これについては、すでに多くの良い本が出版されており、容易に入手できます。しかし、読者にとって実用的な意味があると思われる、重要な点をいくつか説明します。

コイルの構成部品を順に挙げていくと、まず鉄芯 (コア) です。これは、単に小さな断面積の軟鉄線を円筒形に束ねたものです。電線線は、しっかりと束ねられ外見上は一塊となっています。鉄芯は、良好な絶縁性を得るためにニスやパラフィンに浸されることもあり、絶縁テープを 1 本あるいは複数外側に巻くこともあります。大型コイルでは、これら両方を使用することもあります。

鉄芯を作る上で非常に重要なことが 2 つあります。一つは、鉄線の原料となる鉄が「軟鉄」であること、もう一つ、鉄線の径が非常に小さいことです。ある種の鉄が持つ性質によるヒステリシスと呼ばれる現象により、コアに無用の発熱を来すことがあります。また銅線あるいは太い鉄線を使用すると、渦電流 (Foucoult 電流) により、同様の無用の現象が起こります。細い軟鉄線を使うことで、迅速な消磁を確実なものとし、発熱現象を避けることができます。

鉄芯を絶縁チューブで包むか被せることで絶縁し、その上に一次コイルを巻きます。このコイルは粗い銅線で、十分に絶縁されており、通常は 2 層から成り、1

つの層をもう 1 つの層の上に巻き付けます。各層は互いに絶縁されています。メーカーによっては一次コイルを 3 層以上巻くものもありますが、一般的には良い効果が得られないため、勧められません。

次に、誘導コイルの最も重要な部分である二次コイルについて説明します。使用する電線の太さ、量、電線、巻き方によって、発生する火花の大きさと質が決まりますが、おそらく最も重要なことは絶縁の完全性と一貫性です。

この特性については、徹底した注意と計算が必要です。火花を発生する高電圧により、火花が一次コイル、二次コイルの双方を貫通し、その絶縁を破壊することでコイル全体が全く役に立たなくなる可能性があるためです。

一次コイルは巻いた後で、通常はパラフィン紙を何層にも重ねた厚いチューブ、または金属粒子を全くまない硬質ゴム、雲母、その他の絶縁物質でできたチューブで覆います。次に二次コイルを巻きます。二次コイルの電線は、断面積が非常に小さく、通常は綿または絹で覆います。巻き付けは非常に慎重に行う必要があります。各層をパラフィン、ニス、またはその他の化合物で十分に絶縁する必要があります。これに加えて、通常各層の間にパラフィン紙を 1 枚敷きます。

二次コイルは、細い電線を何千回も、何層にも巻き付けます。二次コイルの巻き付け方の分布、巻き方、絶縁の程度については、非常に多くの意見があります。二次コイルに使用する電線の量、太さについても、メーカーによって見解が大きく異なります。この見解の相違については、最近作られた火花長 12 インチの誘導コイルの重量が 400 ポンドを超えるのに対し、筆者が常時使用している別メーカーの火花長 14 インチの誘導コイルは、わずか約 75 ポンドであるという事実からお分かりいただけるでしょう。

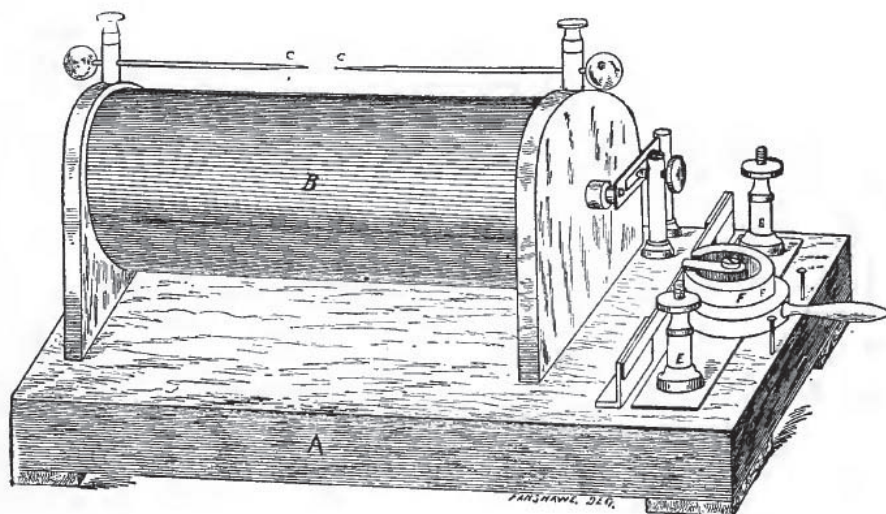


図 8. 誘導コイル。A. 台座, B. コイル, C. 放電端子, D. 断続機, E. 電池の接続端子, F. 極性変換器

二次コイルを形成する電線の端は、2つの電極端子(binding post)に接続されています。端子には通常、2本のロッドが自由にスライドできるように作られており、コイルの定格範囲内で火花の長さを調節できます。これらは二次端子あるいは放電端子とも言われます。

次に、重要な部品である断続機(contact breaker)を説明します。電流が流れている導体に誘導電流が発生するのは、回路が接続または遮断された瞬間であり、電流が安定して流れている間は発生しないという事実を思い出して下さい。従って、接続と遮断(特に遮断)が急激かつ完全であるほど、得られる誘導効果はより大きくなります。このため、断続機の動作を迅速、確実とすることがメーカーの目標となります。図7のように、通常の断続機は、鉄製接触子をもつ板バネ(flat spring)です。このバネは支柱の1本に取り付けられており、通常は接触子が誘導コイルの鉄芯から遠ざかるように配置されますが、電池回路の一部を形成する別の支柱と接触するように置かれます。接触子の動作については、前章で述べたので繰り返す必要はないでしょう。

X線の実験の発展により、この形式の断続機は最適とは言えないことがわかり、これに応じて特に大型コイルを使用する場合は、別の様式が必要になりましたが、これについては別章で扱います。

一般的な誘導コイルのコンデンサーは、通常コイルが取り付けられている中空の木製架台の内部に置かれています。最も一般的な市販コンデンサーは、多数のアルミ箔の間にそれぞれ1枚あるいはそれ以上の厚さの紙を挟んだもので、パラフィン処理されている場合とされていない場合がありますが、望ましいのは後者です。それぞれのアルミ箔には、紙から突出する「ラグ」(lug)があり、これが交互に重なっています。すべてのラグは、コンデンサーのそれぞれの端で連結されており、箔全体で一つのコンデンサーとなります。そ

してこれを、断続機と並列に接続します。コンデンサーの役割は、一次回路の遮断時に一時的に電荷を蓄積し、最大容量まで蓄積されると電流を急激かつ迅速に放電し、コイルの高電圧出力を補強することにあります。これは、誘導コイルの非常に重要な付属部品で、コンデンサーの章で詳述します。

最後の部品は、極性変換器です。これは、コイルに流れる一次電流の極性を変更し、二次端子で放電される高圧電流の極性を反転するためのもので、それほど重要ではありませんが便利なものです。一次電流を流す2本の電線の接続を逆にしても同じ結果が得られますが、極性変換器ほど迅速で便利な方法ではありません。X線の実験では、電流の極性をしたい場合がありますが、後述のように実際の運用では装置をいったん起動すれば通常変更する必要はありません。

コイルの構造を理解しやすいように、図9にいろいろな部品を配置した断面図を示しました。

一般的な誘導コイルの構造と動作を簡単に見てきましたが、さらにこのようなコイルをX線用途に対応させる目的で改良する中で、どのような開発が行われてきたかを見てみます。次章では、この興味深い分野で期待されるさまざまな実用的な成果を得るために必要とされる誘導コイルの大きさ、容量に関するヒントをいくつか示します。

誘導コイルに加えられた最近の一連の改良点には次のようなものがあります。

- (a) 二次コイルの電線の量、巻き方
- (b) 一次コイル、二次コイルの絶縁
- (c) 断続機
- (d) コンデンサー

これらが、X線用誘導コイルに重要な理由は、以下の点にあります。

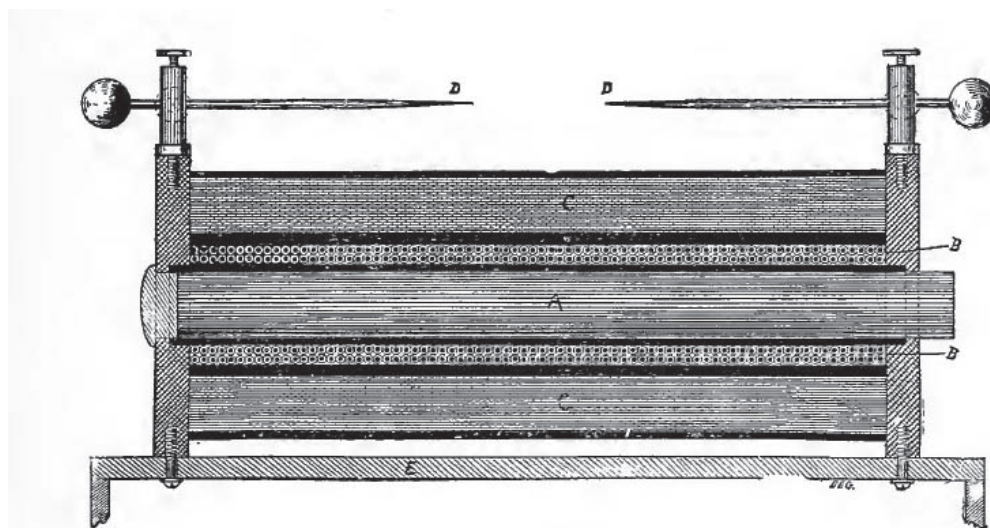


図9. 誘導コイル. A. 鉄芯, B. 一次コイル, C. 二次コイル, D. 放電端子, E. 台座

- (1) 非常に大きな電圧と一定品質の火花が、最適な X 線発生には必須であること
- (2) 一般に誘導コイルは長時間にわたり高電圧で稼働するので、特に高度の絶縁が必要であること
- (3) 確実、規則的、発熱の無い多数の断続が必要であること
- (4) コンデンサーの容量、絶縁、急速放電が重要であること

これを順に見てゆくと、二次コイルの電線の太さ、量、巻き方については、かなり多くの異なる意見があることがわかります。非常に細い電線を巻いた長いコイルは、長く細い火花を発生してゆっくりと消磁します。太い電線を巻いた短く太いコイルは、短い、太い火花を発生し、長いものよりも高速に動作します。これらを組み合わせると、非常に良い結果が得られています。

コイルメーカーの多くは、特に火花長 6 インチ以上の大きなコイルの二次コイルを、多かれ少なかれ複数に分けて巻いています。ほとんどのコイルで二次線は端から端まで均等に巻かれていますが、スプールの中央で巻線数を最大として、両端に向かって徐々に巻数を減らしているものもあります。他にもいろいろな巻き方がありますが、実際この問題は非常に奥深いので、本書では一般的な事項以上は触れません。読者がコイルを自作する場合は、コイルとその構造に関する多くの良い教科書がありますのでそれを参照してください。

本章では、X 線実験における誘導コイルの実用的な面のみ扱うため、重要な絶縁の問題についてもう少し触れます。レントゲン教授の X 線発見以前、誘導コイルは一般的な X 線の研究で要求されるような過酷で持続的な使い方はされていませんでした。

以前も、実験中にコイルの絶縁体に穴が開くことは珍しいことではありませんでした。しかし、新しい実験では、特に以前に作られたコイルでは、このようなことがずっと頻繁に起こるようになりました。

現在、X 線用誘導コイルのメーカーの目標は、一次コイル、二次コイルの絶縁を最高に完璧にすること、太く強い火花が連続的に発生するような巻き線を作ることにあります。

一次コイルと二次コイルを完全にオイルに浸す方法以上に効果的な絶縁方法はおそらくないでしょう。オイルを使えば、は内部的にも外部的にも火花に対して最大限の保護が得られ、コイルが破損することは事実上ありません。

このような絶縁方法では、通常はオイルを充たした箱の中にコイルを入れます。一次端子、二次端子は、もちろん箱の外側の電極端子に引き出され、断続機を外回路に接続します。筆者は、X 線実験、研究に、こ

のようなコイルを数か月間、毎日何時間も使用していますが、絶縁の問題はまったく発生していません。

コイル箱には、必要な場合にいつでもオイルを抜く方法が備えられている場合もあります。箱には、コイル層に徐々に浸透してトラブルを引き起こす可能性がある塵埃、金属粒子、その他の物質がオイルに混ざらないよう、しっかり閉じられるカバーも必要です。油浸コイルは、このように保守すれば、事実上無期限に連続動作します。

第 5 章. 断続機

断続機は、リウムコルフコイル型の装置にのみ接続して使用します。振動バネと接触子から成る一般的な断続機については既に第 3 章で述べました。このタイプは、長年にわたって火花長 6 インチ以下の小型の誘導コイルで広く用いられています。しかし、X 線実験の拡大に伴い、さらに良いものが必要になってきました。

誘導コイルが頻用される他の用途では、一次コイルに大量の電流が流れることは少なく、従って、回路を遮断したときに発生する火花はそれほど破壊的ではありませんでした。しかし X 線実験では、比較的大量の電流が必要となり、振動接触子によってこの電流が突然遮断されると、その度に破壊的な火花が発生します。これには 2 つの影響があります。すなわち、接触している金属点が焼け、バネが熱くなって徐々にその性質が変化します。この結果、この種の断続機を備えた大型コイルでは、クルックス管で得られる効果は不確実、不十分となります。また、比較的大きな電流で使用される振動断続機では、振動の不規則性と振動回数の制限というもう一つの好ましくない性質があります。X 線を発生して最良の結果を得るには、一次コイルへの回路を非常に速く、規則的、確実に開閉することが必要です。

このため、現在では小型モーターで作動する機械式断続器を使用するのが一般的です。その構造は、実験者の考えによって様々なものがあります。この種の断続機の重要な特性には、以下の様なものがあります。(1) 回路をオンにする部分は、一次コイルに通電できるように十分な長さでなければならない。(2) 回路をオフにする部分は、アーク (電弧) を発生させることなく回路を可及的速やかに遮断するために、十分に長く鋭くなければならない。(3) 断続機の回転数は一定でなければならない。(4) ブラシは表面に均等に接しなければならない。

この種の断続機は、電流の両極で遮断するように作る必要はありません。ブラシが接するリングの一つは連続していてもかまいませんが、もう一つは必要な開閉回数に応じてセグメントに分割します。

二つのリングを円形のスレート板に取り付け、リングの一つに電流遮断の必要性に応じた切り込みを入れると、良い断続機を作ることができます。これらのリングは、ネジでスレート板に固定し、全体をモーターシャフトに取り付けるか、あるいはモーターで駆動する滑車につないだベアリングのついた別のシャフトに取り付けます。後者の例を図 10 に示します。

2つのブラシホルダーが取り付けられており、ここにブラシを挿入して、二つのリングの表面に均等に当たるようにします。スレート面がセクション間のリング不連続面と同じ高さになるよう切れ込みが入っていると、スレート面が各セクションのリング面の下にある場合よりも、スムーズに作動します。

この種の断続機でも、電流を遮断する際に発生する火花を避けることは不可能です。実用的な方法があれば、この火花を排除することは非常に望ましいことです。一般的な方法は、接触が遮断されるブラシ下面に向けて空気を吹き付けることです。

火花を消すことは絶対に必要というわけではありませんが、それにより X 線量が増加しても安定になる大きな利点があります。ただし、空気を吹き付けることが常に可能であるとは限りません。おそらく次善策は、断続機に小さな水槽を付け、火花が発生したらすぐに消すことでしょう。この種の断続機は市販されています。

誘導コイルの断続機は、X 線発生装置の非常に重要な部品であり、実験結果はこの部品に大きく依存することを念頭に置く必要があります。既に学んだよう、一次コイルの回路を開閉しなければ、誘導コイルから何も得られません。

安定した満足な X 線を発生できるかは、断続機の完成度に大きく依存します。断続機がスムーズかつ規則的に動作し、確実に断続できれば、それに応じて豊富で安定な放射線が発生します。もちろん、電源が充分で、X 線管が適切であることが条件です。

機械式断続機では、火花長 1～3 インチ小さなコイルが望ましいのですが、火花長 4 インチ以上のコイルの場合のように、遮断時に完全である必要はありません。

たとえば、3 インチの火花しか発生しない小型コイル

では、大型コイルで実行できるような高度な X 線実験はできません。当然のことながら、大型コイルの放電電圧は小型コイルよりもはるかに強力です。

通常の振動断続機と良い X 線管球を使用すれば、3～4 インチのコイルで良好な X 線実験が十分に可能ですが、そのような小さなコイルでも、機械式断続機を使えばさらに良い結果が得られます。必要に応じて、振動断続機を短絡して機械式断続機を接続することで、このようなコイルを使用することができます。筆者はこの方法で、火花長 5 1/4 インチまでの通常のコイルをうまく使えています。

第 6 章. コンデンサー

この電気部品に付けられた「コンデンサー」(condenser) という名前は、その概念と動作の原理を一般の人々に必ずしも十分に伝えるものではありません。コンデンサーという語は、蒸気を凝縮する装置について最も多く使用され、これは容易に理解できます。蒸気は目に見え、触れることができるものですが、目に見えず手にとることもできない電気を扱う場合、コンデンサーの概念は一般人に理解しにくいものです。「蓄電器」(accumulator) という用語は、コンデンサーの別名として使用され、ある程度は正しいといえますが、同じ名前と呼ばれる二次電池 (蓄電池) と混同しないでください。

簡単な例え話がコンデンサーの理論を容易に理解するのに役立つでしょう。この例えは決して完全なものではありませんが、比較の土台としては役立つでしょう。

ガラス板を、沸騰した湯の入ったやかんの注ぎ口から出る蒸気の上にかざします。蒸気が触れたガラス面は、その上で蒸気が凝縮するためすぐに曇ってしまいます。しばらくすると、この曇りは無数の小さな水滴となり、ガラスを蒸気の上にかざしたままにしておくと、徐々に結露が蓄積し、水滴は大きくなり、重量が増加して、ガラス板全体から落下してしまいます (放出されるとも言えます)。

電気は触れることができず、実体も重さありませんが、この水の凝縮という考え方は、以下に述べるコンデンサーの簡単な説明で、大まかな比較の土台となります。ただし、コンデンサーの放電は、ほとんど分からないほど速いことを覚えておく必要があります。

コンデンサーは通常、絶縁体または誘電体によって互いに分離されたアルミ箔で作られています。通常使用される誘電体はガラス、雲母、または紙で、紙の場合はパラフィンでコーティングされることがよくあります。コンデンサーの動作は、1 枚のアルミ箔 (導体) の電荷が、その間に挟まれた誘電体を介して別のアルミ箔に誘導効果をもたらすものです。これについては、

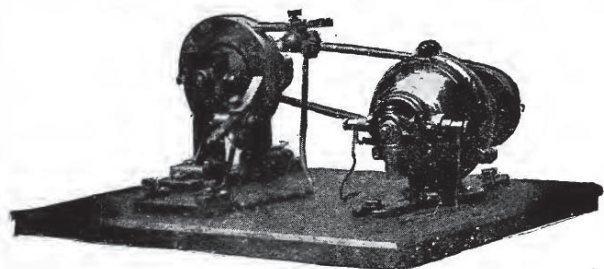


図 10. 小型モーターで作動する機械式断続機

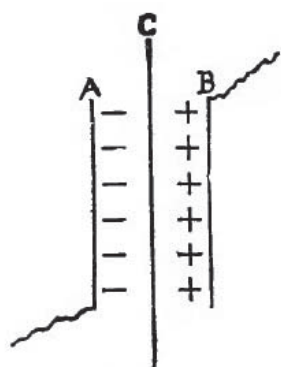


図 11. コンデンサーの原理

後で詳しく説明します。

2枚のアルミ箔 A と B があり、その間に誘電体 C (説明の都合上ガラス板とします) があるとします (図 11)。ここで、導体 B を離れた場所にある電気エネルギー源の正極に接続し、導体 A をアースに接続すると、導体 B は正に帯電し、ガラスを介して導体 A に誘導作用を及ぼし、アースに正の電流を送り出し、B に最も近い A の表面に負の電荷を残します。反対の極性は互いに引き合うため、A の負電荷は、B の近い面の正電荷を引き付けます。2つの導体が近づくほど引力は大きくなり、それぞれの表面により多くの電荷が蓄積されます。従って、このような導体の蓄積能力は、反対に帯電した別の導体に近いほど大幅に増加します。

コンデンサーの製作方法はいろいろありますが、リウムコルフコイルと共に使用する一般的な用途では、アルミ箔 (導体) とパラフィン紙 (誘電体) を交互に重ねて作ります。端からの漏れを防ぐため、アルミ箔は紙よりもはるか薄くします。図 12 のように各アルミ箔には突出する「ラグ」(lug) があり、これが交互に一方の端に突出するように配置されています。すべての箔を積層し、その上部、下部に誘電体を挟み、容量がさらに増すように全体を密に結合します。通常、全体を溶解パラフィンに浸します。突出したラグは、それぞれまとめて2つの端子とします。

導体と誘電体をこのように配置すると、アルミ箔の総面積に等しい面積の2つの大きな導体を実質的に作成されることになります。このコンデンサーは非常に大きな容量を持ち、多くのエネルギーを蓄積できます。導体の面積が小さい、あるいは導体間の距離が長い場合は、容量が小さくなります。

この形は、比較的低電圧のコンデンサー用です。非常に高電圧のコンデンサーが必要な場合は、誘電体に対してアルミ箔を小さくし、各導体間にラグやその他の接続部を置かずに、前と同じように交互に配置します。上部導体と下部導体のみ接続します。このようなコン



図 12. コンデンサー

デンサーでは、漏洩の危険性が他の形式よりも高くなります。

最もよく知られるコンデンサーの原型はライデン瓶で、発明されたライデン (Leyden) の町にちなんで名付けられています (図 13)。これは広口瓶に、長さの2/3の内面と外面にアルミ箔を貼ったものです。瓶の首には、乾燥したニスをよく塗ったコルクをはめ、ここに真鍮の棒を差しします。その下端に小さなチェーンが付いていて、瓶の内面のアルミ箔に接触しています。棒の上端に真鍮の球をつけます。この形のコンデンサーは、球と外側のコーティングをコイルの二次端子の1つに直列に接続することで、誘導コイルから充電できます。絶縁ハンドルのついた放電器 (図 14) の一方の端子を外側のコーティングに当て、もう一方の端子をボールに近づけると、爆発的な火花とともに蓄積された電荷が放電されます。

この形あるいは他のコンデンサーで行える興味深い実験は非常にたくさんありますが、ここではX線発生用の励起装置との関連においてのみ採り上げており、また物理学の標準的な教科書の多くに説明されていますので詳しくは触れません。

本章では、読者にコンデンサーの理論と使用法の一般的な概念、その構造について簡単に説明することを目的としています。従って、X線装置に関連するコンデンサーの有用性の範囲で簡単に述べるにとどめます。

誘導コイルと使用する場合、コンデンサーは一次コイルと並列に接続します。

ここで電池、その他の電源から一次コイルに電流が送られると、二次コイルのすべての巻き線に電流が誘導されることを既に見ました。これに加えて、一次側が断続機によって遮断されると、それ自体に電流が誘導されます。これは自己誘導放電として知られるものです。この自己誘導放電は、コンデンサーがなければ断

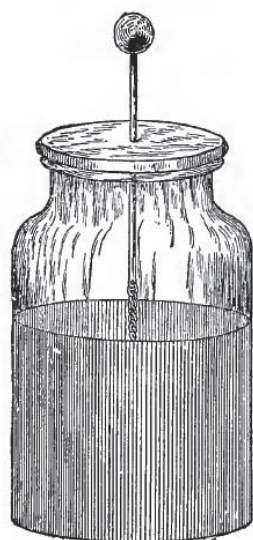


図 13. ライデン瓶



図 14. 放電器

続機に火花を発生させ、電流の遮断がそれほど急激ではなくなります。コンデンサーがあると、余剰電流は回路切断時にコンデンサーに蓄積され、電光石火の速さで一次側に放電され、その結果、二次コイルに誘導される電流の電圧が大きく増加します。

コンデンサー内の電荷の蓄積は、まさに文字通りのものであることを理解する必要があります。これは一次コイル放電柱の電荷と電圧の蓄積であり、元の電流の電圧が8ボルトの場合、コンデンサー内の蓄積はその10倍、12倍にもなり得ます。従って、この蓄積がすべて一次コイルに急速、瞬間的に放電される結果、非常に強力な誘導効果を生み出すことがわかります。

要約すると、誘導コイルに関連するコンデンサーには2つの目的があります。1つは断続機の火花を減らすこと、もう1つは一次側への瞬間的な完全放電によって二次コイルの誘導電流を大幅に増加させることです。

一般に、誘導コイルに接続するコンデンサーの規定の容量は変更できませんが、容量の一部だけあるいは全部を使用できる特別なコンデンサーもあります。これは、高度な実験を行うX線研究者には有用ですが、絶対に必要なものではありません。このような可変コンデンサーについては、運用の章でさらに説明します。

第7章. 高周波電源装置

前章で、誘導コイルは誘導効果により、低電圧、大電流を非常に高電圧、小電流に変換する装置であることを学びました。この場合、一次電流は直流または連続電流であり、誘導効果は機械的な手段による回路の開閉時に発生します。非常に高電圧、小電流を二次側の端子に流すと、同じコイルで電流の逆変換が得られます。この場合、低電圧、比較的大電流の不連続な電流が一次側の端子に得られます。

この変換は、交流電流による電気照明システムで実際に行われていることです。このようなシステムでは、高電圧の電流が中央施設で生成され、電線によって使用部署に送られます。このような使用部署には、「変圧器」(transformer)と呼ばれるコイルが設置されています。高電圧の電流は変圧器の二次側に送られ、一次端子から電気照明や電力用の大電流、低電圧の電流が取り出されます。

この変換はリウムコルフコイルの場合と同様に誘導によって行われますが、交流電流の場合、誘導効果は回路の機械的な遮断ではなく、電流の方向の連続的な変化によって得られます。

「誘導現象」の章で述べたように、一次電流が安定して連続している限り誘導効果は発生しないが、電流の連続性、強度、方向が変化すると、周囲のコイルに電

流が誘導される、ということを思い出してください。誘導コイル(リウムコルフコイル)の一次側に接続された電池からの電流は連続的で一方向に流れるため、その連続性または強度は機械的な手段によって変化させる必要がありますが、交流電流はその名前が示すように連続的ではなく、まず一方向に、次に他の方向に流れます。

このように、交流電流は、その性質上適当な構造の装置であれば(機械的に遮断することなく)誘導効果を引き起こすための必要な特性を備えていることがわかります。ここで、変圧器の機械的構造は、通常の誘導コイルの構造とは多少異なることに留意する必要があります。しかし、その詳細については紙面の都合でここでは説明しません。

ここでは、X線発生使用される高周波電源装置の動作を読者が理解できるように、交流に関連する点に限り説明します。

交流電流は、そもそも機械的な手段、例えば蒸気機関その他の動力によって作動する発電機によって生成されるため、必然的に電流の変動にはある程度の規則性があります。図15に交流を図式的に示しました。線ABはゼロ基線です。電流は線上で一方向に流れ始め、最大電位まで上昇し、再びゼロまで減少し、その後反対方向に流れ始め、再びゼロまで減少し、これを繰り返します。

それぞれの波は正または負の方向への1つの交代波(alteration)を表し、2つの波は完全な二重反転で、周波(cycle)を作ります。

2つの交代波が占める時間、すなわち1周波の時間を周期(period)と言い、1秒当たりの周期の数を周波数と言います。現在使われている交流発電機の多くは、60~130周波/秒、7200~15,600周波/分です。機械的な手段によって遮断された連続電流によって作動する誘導コイルの誘導効果と、交流電流が流れるコイルで生成される誘導効果を比較すると、前者では機械式遮断器の限界により、後者ほど迅速、連続的、強力な結果が得られないことがわかります。交流コイル(変圧器)に1つ以上のコンデンサを加えた交流変圧器(高周波励起装置)は、高電圧の放電を規則的に、非常に高頻度で生成するために非常に強力なものであることが分かります。

簡単に言うと、X線管に使用する高周波電源装置(high frequency apparatus)は、2つのコイル(変圧器)で構成され、1つ以上のコンデンサー、2つの放電端子、1

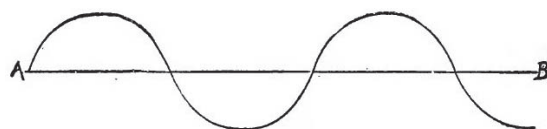


図 15. 交流

つの火花間隙を備えています。火花間隙は、2つの端子(金属棒)でから成り、それぞれの端に金属球がついています。現在市販されているものは、通常2つの変圧器とコンデンサーが高絶縁オイルを充たした1つの箱に収められており、放電端子、火花間隙が箱の外にあります。これに小さなモーターで動くエアブラスト(用途は後述)を備えた装置を図16に示します。

変圧器、コンデンサー、放電端子、火花間隙の接続を図17に示します。この図から、低周波変圧器(コイル)一次側が交流電源に直接接続され、その二次側の端子線が延長されて高周波変圧器の一次コイルとして巻かれ、これとコンデンサーが並列に接続され、火花間隙がこれを遮断していることがわかります。放電端子は、高圧変圧器の二次端子です。

変圧器は実際には誘導コイルですが、このようなコイルが交流で動作するように設計されている場合に「変圧器」(transformer)と呼ばれることが多いことを念頭に置いて、この装置の動作を見てみましょう。

この装置を回路に接続して電流を流すと、電流は低周波変圧器の一次側を通過し、交流により二次側に電流が誘導されます。二次コイルは比較的細いワイヤを多数巻いて作られているため、ここに誘導される電流は一次側よりもはるかに高い電圧になります。一次側の電圧が52ボルトの時、二次側の電圧は誘導電流の電圧は7,500ボルトになります。

図17のように、この低周波変圧器の二次側は高周波変圧器の一次側になります。高周波変圧器を独立した誘導コイル、低周波変圧器を一次側を励起する(蓄電池のような)電源と考えることができます。実際、その通りです。従って、高周波変圧器の一次側の電流(たとえば7500ボルト)が、細いワイヤで巻かれた二次側の誘導効果により、二次側端子に非常に高い電圧の誘導電流を発生することは明らかです。

低周波変圧器(二次側で例えば7,500ボルトを供給)の唯一の目的は、二次側端子が接続されているコンデンサーを充電することです。コンデンサーが火花間隙を飛び越えて高周波変圧器の一次側の数ターンを通過

するまで充電されると、その放電は非常に速く、非常に高い周波数となります。このような放電の電圧は7,500ボルトを超えることはなく、実際には通常それより低くなります。

高周波変圧器の二次巻線数が一次巻線数の20倍の場合、電圧は20倍、つまり150,000ボルトになりますが、主にコイル間の距離による損失のためにかなり目減りします。高周波変圧器の二次端子での火花長5インチは、50,000~75,000ボルトの電圧に相当します。

以上、電圧比として示した数値は正確なものではなく、あくまでも近似値で、比較と説明を目的としていることに留意してください。

ここで読者は、なぜ1つの変圧器は低周波変圧器、他方は高周波変圧器と命名されているのか疑問に思うでしょう。

前述のように、交流電流の周波数は、1秒あたりの完全なサイクルまたは二重反転の数です。低周波変圧器の誘導効果は、元の電流が交互に変化するたびに、つまり波が始まるときと波が消えるときの2回のみ発生します。従って、電流の周波数が1秒あたり65サイクルの場合、同じ期間に低周波変圧器には260の誘導効果が発生します。低周波変圧器(高周波変圧器の一

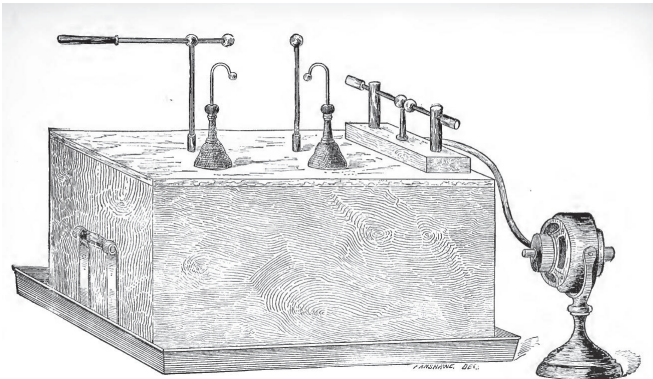


図16. トムソンX線変圧器(高周波電源装置, エアブラスト付)

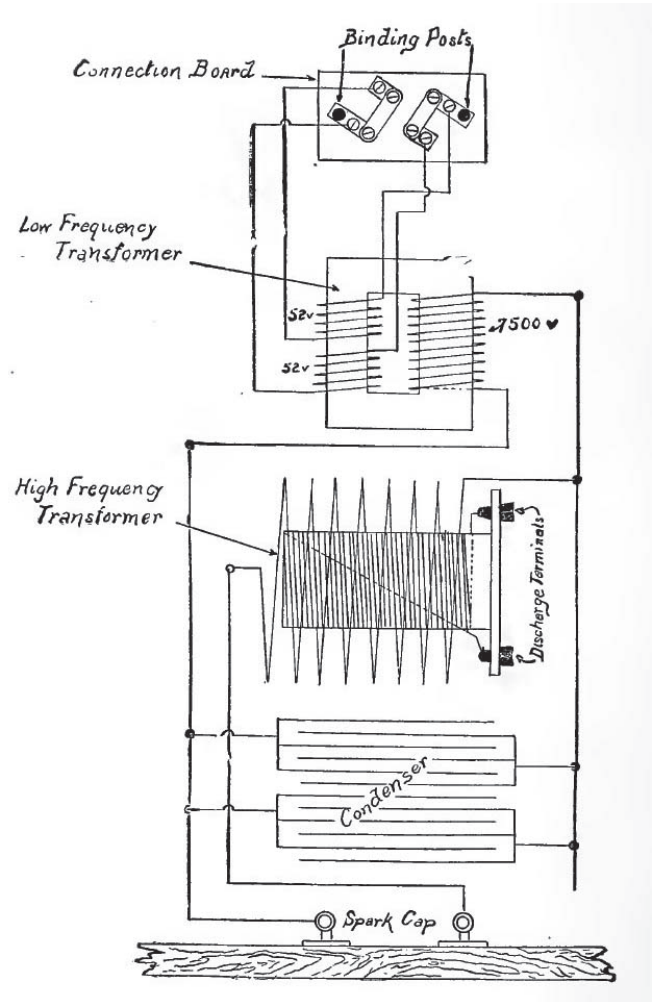


図17. 高周波電源装置の構造

次側)にコンデンサーがない場合、高周波変圧器でも同じ数の効果が発生しますが、コンデンサーの放電は元の電流の交代よりもさらに高頻度なので、誘導効果の数が増加し、高周波変圧器はそれに応じて高周波数になります。

火花間隙の機能は、高周波変圧器の一次コイルを通して放電する前に、コンデンサーを高電圧に充電することです。前述のように、この放電は非常に高い周波数で振動します。ただし、火花間隙の低電圧アーク(電弧)は防止する必要があります、さもないとコンデンサーは充電されません。これには、エアブラストを利用するか、これを使わない場合は特別な設計が必要です。

火花が発生したらすぐに消すことができれば、火花が自然に弱まって消えるのを待つよりも、回路の遮断をより迅速、確実にできます。そのため、火花を消すためにさまざまな方法が考案されており、その中でも主なものは電磁消弧(electromagnetic blow-out)とエアブラスト(airblast、空気消弧)です。このうちエアブラストはより単純な方法で、通常はファンを取り付けた小型モーターと、火花間隙の2つの端子間に空気のジェットを向けるように配置された小さなノズルをもつパイプを使います。

エアブラストにより、火花は発生後ほんの一瞬で消えますが、火花の連続はきわめて速いため、作動していても火花が消えたことを目で確認することはできません。火花がこの小さな間隙を毎秒500~600回も飛び越える可能性があることを思うと、個々の火花の発生、消滅を感知することは全く不可能です。従って、実際にはこの小間隙を火花が絶えず飛びかっているように見えます。

説明を終える前に、周波数変圧器の二次側からの放電端子について少し触れておく必要があります。ここに累積的かつ完全な誘導効果が得られます。これらの端子間には、非常に強力な火花と放電が発生し、この装置をX線検査に使用する場合は、この端子にクルックス管を接続します。各端子は通常、放電桿を備えた真

鍮製の立柱で、それぞれの一方の端はに金属球、もう一方の端にはゴム製の絶縁ハンドルが付いています。

市販の装置の一部には、低周波変圧器に供給される電流量を制御する小さな調整コイルが付いています(図17a)。これは、使用するクルックス管の条件や特性、各症例の目的に応じて、より強いあるいは弱い効果が得られるように調整するために役立ちます。

このタイプの装置は、やや複雑に見えるかもしれませんが、多少の経験があれば操作は比較的簡単です。付属品がほとんどなく、特に交流が利用できる場合に推奨できる優れた特徴が1つあります。それは、回路に直接接続でき、電池の扱いが不要なことです。実際、このタイプの装置は、高価で特殊な装置を介さない限り、電池で作動することはできません。

高周波電源装置は、良いX線管と組み合わせると非常に強力なX線発生装置となります。この放電装置に最も適していると思われるX線管は、二重焦点管です。これには3つの電極があり、そのうち2つを電源装置の2つの端子に接続し、3番目の電極上で陰極線の衝撃が発生してX線が生成されます。高周波電源装置は、交流電流に依存しているため、2つの電極はそれぞれ交互に正と負になりますが、これらの変化が生成する高周波により、第3電極の両面にほぼ一定の陰極線が照射されることに留意する必要があります。

高周波電源装置に関して注意すべき点が1つあります。それは、X線撮影あるいはX線透視の画像はかなり鮮明であるが、鮮明度は静電発電機には及ばないということです。主な理由は、高周波コイルの場合、放電が振動的な性質を持つためX線が多少拡散するのに対し、静電発電機の場合、放電がは方向なのでより鮮明な輪郭が得られるからです。

高周波コイルとともに、中央に直径約1~1 1/2インチの穴が開いた金属板の絞りを使用することで、静電発電機に近い鮮明な像が得られます。これはX線管の前方約1インチに置き、第3の電極(衝撃電極)の直前を除くX線管全体を覆って拡散、散乱するX線を遮蔽するものです。このようなセットアップは、X線撮影や検査の被写体の特定の部分を特に鮮明に描写したい場合のみ使用します。被写体が感光板あるいは透視板の表面に接近してある場合は、通常必要ありません。

第8章. 静電発電装置

誘導コイルと変圧器の議論では、通常は動電気(dynamic electricity, current electricity)と言われる動いている電気を扱ってきましたが、これから述べるタイプの装置では、静電気(static electricity)とはどういうものかを見てゆきます。動電気の場合、電流は容易に制御可能ですが、静電気は制御がそれほど容易では

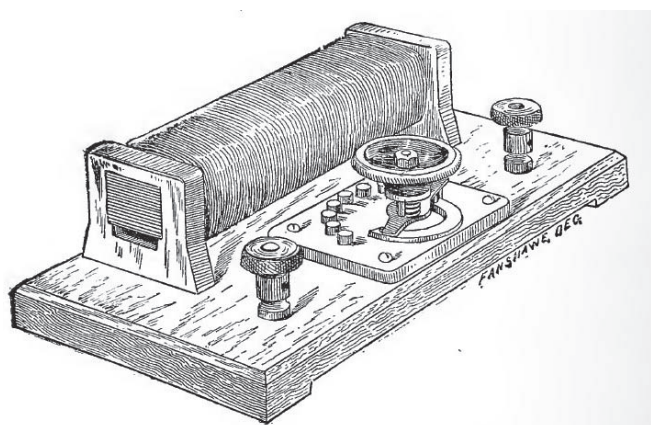


図 17a. トムソン高周波電源装置の調節器

なく、引力、反発力、激しい放電が見られます。

誘導コイル、変圧器、静電発電機で何らかの効果を得るために電流を扱う場合、その効果はすべて誘導現象の結果です。しかし、誘導コイル、変圧器の誘導効果は、隣接する導体を流れる電流の変化の直接的な結果ですが、静電発電機における誘導効果は、異符号あるいは同符号の電気の牽引、反発によります。誘導コイル、変圧器では、その動作には一定の電流供給を必要としますが、静電発電機は初期電荷のみ必要とし、これは通常、自己充電装置あるいは何らかの摩擦によって獲得します。この初期電荷が存在するかあるいはこれを賦与すると、装置の動的部分が動き始め、小さな電荷から急速に大きな電荷が蓄積され、機械が動き続ける限り一定の放電を発生します。

封蝋棒、ガラス棒、象牙片、その他様々な物体（基本的には絶縁体）を猫の毛皮、フランネル、絹などで摩擦すると、新しい物性が現れて、羽、紙、金箔など軽い物体が引き寄せられることは良く知られています。これは、帯電している状態で、その摩擦された部分の表面には、使用する物質に応じて、正または負の静電荷が存在します。

このように軽い物体が帯電した物体に引き寄せられると、それらは短時間接触した状態となり、その後反発されます。それらは単に離れるだけでなく、接触中に同種の帯電状態を獲得し、有名な科学者たちが作った、同符号に帯電した2つの物体はそれぞれ反発するという法則に従い、実際に反発されます。一方、異符号に帯電した2つの物体は互いに引き合います。

先ほどの例から、ある物体がすでに帯電している別の物体と接触することで帯電することがわかります。この状態は、2つの物体が互いに接触していない場合でも誘導によって発生することがあります。

図18のように、絶縁ガラス棒の上にガラス球を置き、その近くに同じく絶縁ガラス棒の上に金属円筒を置いて、ガラス球を絹でこすると、ガラス球は正に帯電します。すると、ガラス球の存在により金属円筒も誘導

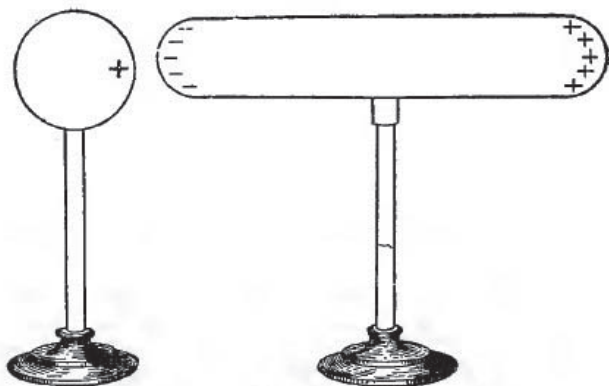


図18. 静電誘導

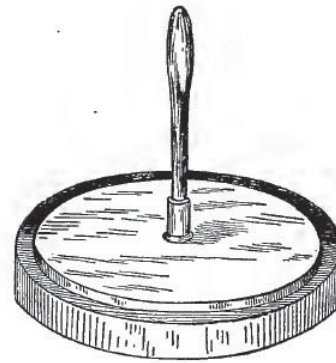


図19. 電気盆

で帯電します。しかし、正の電荷は円筒の遠い端に反発され、ガラス球は円筒の近い側に負の電荷を引き寄せます。

この現象は、ガラス球と金属円筒の間にガラス板を挟んでも起こり、またある程度離れていても起こります。ガラス球を完全に取り除くと誘導効果がなくなって円筒の電荷は消失しますが、ガラス球はまだ帯電している可能性があります。

ガラス球が円筒の近くにある状態で、円筒を接地すると、正電荷は地面に流れて円筒の遠い端の電荷は消失しますが、負電荷はガラス球に最も近い端に引き寄せられます。

この状態の電気は、それぞれ「束縛」(bound) されている、「自由」(free) であると言います。近くにある異符号の電荷に引き付けられ、明らかに中和されているときは「束縛」されていると言われ、異符号の電荷が近くに存在しないときは「自由」であると言われます。例えば、図18では、絶縁された金属円筒の端に誘導された負の電荷は、絶縁されたガラス球の正の電荷引力によって「束縛」されます。一方、ガラス球から遠い円筒の端に反発された正電荷は「自由」であり、導体がつながれると地面に流れます。ガラス球の正電荷の引力によって「束縛」されている円筒の負電荷は、たとえ地面への導体、回路が提供されたとしても、「束縛」されたままになります。

ボルタが考案した、誘導によって少量の初期電荷から多くの電荷を得る装置について説明することは一部の読者には無用かもしれませんが、これは静電発電機 (static machine) の原理を容易に理解する上で役立つでしょう。この器具は電気盆 (electrophorus) と呼ばれるもので、樹脂製の円板と、アルミ箔を貼った金属または木製の円盤から成り、真ん中にガラス製の絶縁把手が取り付けられています (図19)。樹脂製の円板を、乾いた温かいウールあるいは毛皮でこすると、負に帯電します。次に円板を樹脂製円板の表面に置くと、この負の電荷が金属面に誘導的に作用し、下面に正の電荷を引き付け、上面に負の電荷を反発します。図20にこれを模式的に示しました。この場合、円板下面の正電荷は束縛されており、上面の負電荷は自由です。

自由電荷に導体をつなぐと自由電荷は直ちにアースに流れ、図21のように円板下面の束縛電荷だけが残ります。円板を持ち上げると、正電荷が円板の上面、下面に分布します。円板に指を近づけると、火花が飛んでこの正電荷が放電することが分かります。この操作

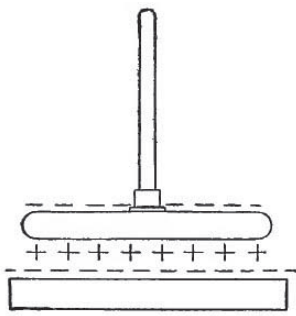


図 20. 帯電した電気盆

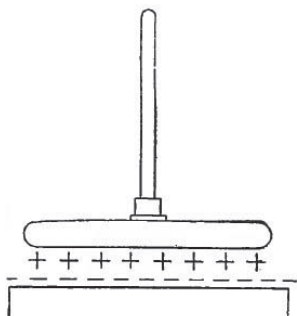


図 21. アース接続後

は、樹脂製円板の摩擦後、その帯電がなくなるまで何度でも限りなく繰り返すことができます。

従って、この操作を実行する何らかの機械的手段を工夫すれば、急速かつ連続的な放電が得られる可能性があります。実際に、1775年にボルタが初めてこの電気盆を製作して以来、数多くの機械が考案されてきました。それらはいずれもより完璧なものを目指す道程として非常に興味深いものですが、ここでは最も効率的で一般的に有用であるとして生き残ったホルツ装置 (Holtz machine) とウィムズハースト装置 (Wimshurst machine) を簡単に説明します。

ホルツ装置 (Holtz influence machine, 誘導起電機) は、よく知られる最も単純な形では、2枚のガラス円板から成り、1枚は辺縁で固定され、もう1枚は背面の台座に固定されたスピンドルに取り付けられています。後者のガラス円板の回転軸には滑車が付いており、図22のように、ベルトで滑車を回して円板を回転できます。

固定円板には、正反対の位置に2つの穴が開いています。これらは通常「窓」(window)と呼ばれ、それぞれの窓の近くのガラス板の裏にはニス塗りの紙が貼ってあり、1枚は1つの窓の上に、もう1枚は他の窓の下に貼られています。これらは接触子 (armature) と呼ばれます。各接触子には、回転円板に向かって窓から突き出た細い舌 (tongue) があり、舌は円板の回転方向とは反対を向いており、回転円板に触れないように置かれています。

回転円板の前には、対角線上に固定導体が置かれ、その両端には円板に向かって突出する多数の金属製の「櫛」 (comb) があります。

これらの部品はすべて機械の動作に直接関係するものですが、電荷を収集して利用するには、そのための装置が必要です。回転円板の前面両側に、絶縁ホルダーで支えられた水平の金属櫛があります。これらの櫛は、端に真鍮の球がついた真鍮の棒に接続されており、真鍮の棒にはライデン瓶コンデンサーを取り付けます。この2つの真鍮球の間に放電が起こります。

所望の放電が、単に「無音」放電 (silent discharge),

すなわちブラシ放電 (brush discharge) である場合、ライデン瓶は接続しませんが、高電圧の火花が必要な場合は、ライデン瓶に蓄積される電荷を使います。

装置の起動には、通常少量の初期電荷を与える必要があります。これには、摩擦したガラス棒、あるいは何か事前に帯電させた物体で接触子の1つを帯電します。ゴム板をうまく使って、毛皮で擦ったり叩いたりすると、接触子の1つにこの初期電荷が賦与できる装置もあります。

初期電荷を与えたら、すぐに回転プレートを回転すると、急速に電荷が蓄積されて、回転開始数秒後には放電端子間に火花を放出します。

章の前半で説明した帯電体の誘導効果と、その結果生じる引力と反発力を念頭に置くと、この装置の動作を比較的簡単に理解できるでしょう。

まず、円板を回転させずに初期充電の結果がどうなるか見てみましょう。右側の接触子に正の電荷を与えます。この電荷はガラスと空気を介して誘導的に作用し、対角線上の導体の下端にある金属櫛を負に帯電させ、他端に正電荷を反発します。これにより、円板前面に正電気が放電され、これが他の接触子に誘導作用を及ぼし、櫛の反対側の部分に負電気が充電され、最も遠い舌 (tongue) に正電気が反発されます。従って、左右の舌は、回転円板の背面に正と負に帯電した空気を放電し、対角線導体に取り付けられた櫛も、円板の前面に同様に放電します。

円板を回転すると、左側の舌によって背面に放電された正電荷が右側に伝わり、自由電荷となってもともと正電荷を持っていた接触子に放電されるため、その電荷の強度が増して以前よりも強く作用するようになります。左側の接触子に誘導された負電荷は上部の櫛に反応して、より強力な正電気を放電し、対角線導体を通して引き込まれる電荷を増強します。

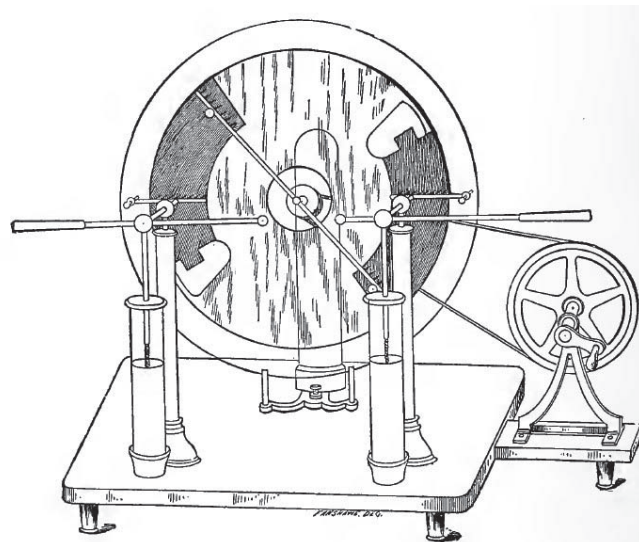


図 22. ホルツ装置

従って、回転円板の前面、後面の双方が正、負に帯電しますが、前面は接触子から発生する誘導により、後面は前面の帯電による誘導効果により帯電したものです。また、円板背面の正電気と負電気は、2つの接触子本来の誘導力を強化して維持する役割を果たし、円板前面に誘導された余剰の正電気と負電気は、装置が最大充電に達した後、2つの水平な金属櫛により集電され、装置前面の端子間に放電されます。

これまでホルツ装置には様々な改良が加えられて来ましたが、特に良く知られているのはテピア (Toepier) の装置です。これは基本的に、回転プレート前面に小さな金属製のボタンを付け、櫛に小さなワイヤブラシを付けたものです。接触子に取り付けた金属製アームが通過するときに、ボタンに軽く触れるようになっていきます。このボタンには微弱な電荷が存在し、そのためボタンが帯電体となって、櫛に取り付けられたブラシに接触すると放電します。言い換えれば、ボタンとブラシにより、非常に微弱な電荷が存在する状態でも、装置がフルに動作している時と同じように電荷を転送できます。櫛の先端だけではそれができないため、実際の接触が不可欠となります。このような微弱な電荷は常に存在するので、装置は自己充電します。

ホルツ装置は、湿気やほこりに非常に弱いため、通常は保護ケースに収められています。通常は、水分を



図 22a. 単焦点 X 線管、ウィムズハースト装置で撮影 (ニューヨーク州ミドルタウン、H. C. Ogden 氏撮影)

吸収して機械の周囲の空気が完全に乾燥した状態となるように、塩化カルシウム、硫酸、軽石などの人工乾燥剤をケースに入れます。最大の性能を発揮するには、できる限り乾いた所に置く必要があります。

最近では、単純な実験を除けば、これらの機械を単一の回転円板で作ることは非常に珍しくなりました。X 線装置用の場合は、通常 2 枚以上、中には 24 枚も円板を備えたものもあります。しかし、これらは非常に精巧で高価なもので、一般的には特別な実験、研究を行う科学者だけが使用します。円板は必ずしもガラスである必要はなく、硬質ゴムの場合もあります。

4～10 インチの火花を発生する市販のホルツ装置は、X 線の研究や検査に非常に好適です。放電は振動せず一方向で、単焦点クルックス管と使用して、X 線透視、X 線撮影で良い画像を得ることができます (図 22a, 図 22b)。X 線撮影について言えば、現時点で輪郭のボケはおそらく最も小さくなります。このような装置は、蓄電池や電灯回路が不要という利点もあります。すでに述べたように、円板を回転すれば放電します。しかしながら、利点があれば、失うものもあることを留意しておく必要があります。円板の回転自体は、大した力は使いませんが、そこから電気エネルギーを発生する場合は何か代償を払う必要があります。この何かとは力で、火花長が短い装置の場合は大したものではありませんが、火花長が 6～8 インチにもなると考慮すべき事項になります。大型のホルツ装置を購入する場合は、何らかの動力源を用意することを勧めます。主な理由は、それによって動作の規則性が大幅に向上し、得られる結果もそれに応じて向上するからです。

ウィムズハースト装置。これはホルツ装置の原型よりも最近になって発明されたもので、図 23 に示すようにホルツ装置とは若干構造が異なります。

この装置には少なくとも 2 枚の回転円板があります



図 22b. 硬貨、鍵の入った財布の X 線写真。ウィムズハースト装置、コンデンサーなし、火花長わずか 3/8 インチで撮影 (GE 社技術部長 E. W. Rice, Jr. 氏撮影)

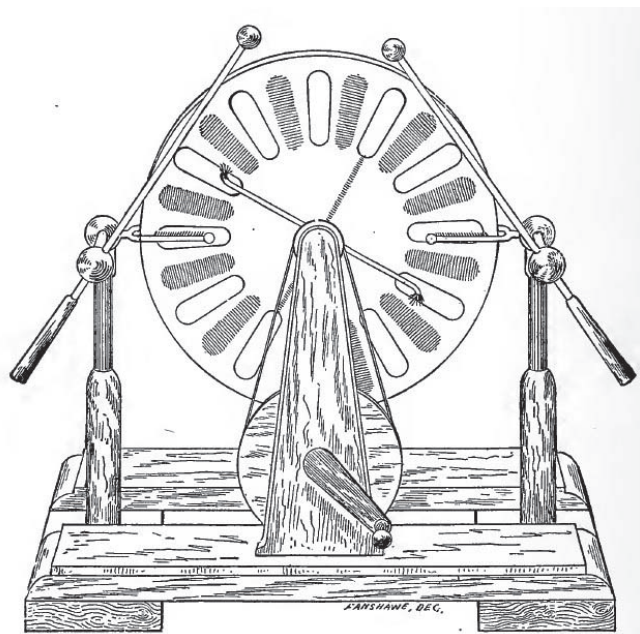


図 23. ウィムズハースト装置

が、固定円板はありません。目的に応じて、必要な数の円板のペアを使用します。円板はガラス製でもゴム製でもかまいません。

各円板上には、通常「セクター」(sector)と呼ばれる、帯電体 (carrier) と接触子 (armature) の 2 つの目的を果たす、アルミ箔または薄い金属製の帯が多数配置されています。各円板の前面には絶縁されていない対角線状の金属部品があり、その両端に柔らかい金属製ブラシがついています。両側の台座には、前面、後面に集電櫛が取り付けられており、前面の放電端子に接続されています。

この装置の動作は、全体にはホルツ装置とある程度似ており、初期電荷を与えると、引力と反発力による誘導効果が得られます。各帯電体は、ブラシの 1 つが他の円板の充電された接触子の反対側に来ると接触します。この装置の動作は、前述のテプラ装置の動作に似ており、アルミ箔とブラシはテプラ装置のボタンとブラシと同じ目的に使用されています。

第 9 章. クルックス管

電気機器の知識に乏しい読者、X 線について新聞で読んだだけの読者は、クルックス管 (Crookes tube) というと、ある特定の形と大きさをもつ装置と考えるかもしれません。

しかし、それは違います。大きさ、形状、電極の有無にかかわらず、排気されたガラス管に付けられる「クルックス」という名前は、その管が持つべき真空度を示しています。有名なイギリスの科学者ウィリアム・クルックス (William Crookes) は、高真空度における放電というテーマについて広く研究し、1879 年にその

研究と実験の意義ある結果を発表し、一定の排気度を持つ一連の真空管を開発しました。これにより、それまで知られていなかったいくつもの興味深い現象を観察できるようになりました。

ガイスラー管、クルックス管、その他の真空管は、一般的に球形、円筒形、その他の形状のガラス製チェンバーで、内部に管内外に電流を流す白金線の金属電極が 2 本以上封入されています。これらの真空管は、内部に電極を入れずに、アルミ箔やその他の金属電極を外側に固定したり、その近くに置いて作ることもできます。しかしこのタイプの X 線管は、効率が悪く、破裂しやすいことから、滅多に使われません。

クルックスの研究、発見以前にも、ガイスラーらによって様々なガスを封入したガラス管内での放電実験が長年行われていましたが、これらのガラス管内の真空度はクルックス管ほど高度ではありませんでした。このような低真空度管で観察される現象は非常に美しく、実際ガイスラー管は今日でも、そのような条件下での電気放電の特性を示すために広く使用されています。低真空度管は、電気放電により現れる線条と美しい発光効果が特に目をひきます。これらの効果は、真空度、管内の様々なガスや液体、ガラス管に使用される様々なガラスの種類、あるいはこれらの組み合わせなどによって変わります。

ガイスラー管など、比較的低真空の管内で放電によって生じる発光効果は、管内のガス分子の激しい攪乱と、放電中の分子どうしの絶え間ない衝突によるものと言われています。通常、低真空度管内の分子は直線的に移動しますが、その平均的な「自由行程」(free path) は非常に短く、分子同士が衝突して特徴的な曇った発光を生み出します。この種の真空管は、クルックス管に比べて高い内圧を持ちます。真空管の稀薄化が進み、圧力が低下する、すなわち真空度が増すと、各分子の「自由行程」が長くなり、分子は以前よりも相互干渉が少なくなり直線的に移動するようになります。

低真空度管で見られる曇った発光効果は、クルックス管では見られません。それと異なり、クルックス管の内部は全体的に透明ですが、管のガラス自体が美しい蛍光を発し、電気放電が続く限りその状態が続きます。この蛍光は、陰極の反対側で最も明るくなります。このガラスの蛍光は、ガイスラー管や他の低真空度管では決して見られません。実際、これはクルックス管を見分ける確実な現象の 1 つです。多くのクルックス管では、陰極周囲のガラスにも連続的な明るい蛍光が観察されます。

ガラスの蛍光色は、ガラス管に使われるガラスの種類によって変わります。硬質ガラス、ドイツガラス、その他のガラスでは、明るい青リンゴ色のものもあれば、より薄緑色からカナリア色まで様々です。ある種の石

灰ガラスは、不明瞭な色のまだらな蛍光を發します。鉛ガラスは、美しいコマドリの卵のような青色の蛍光を發します。

クルックス氏が設計した真空管は、高真空中の放電に伴う数々の興味深い現象を実証するために、長年にわたり実験家や教育機関で広く使用されてきましたが、レントゲン教授がX線を発見して初めて、そのガラスから發する蛍光に特別な関心が持たれるようになりました。レントゲンが、クルックス管の陰極の反対側、すなわちガラスの蛍光が最も強い部分から、X線が最も強く放射されていることが明らかであると報告したからです。

この実験を追試した他の研究者らは、陰極線がガラス自体に当たるような電極をもつクルックス管を使用した場合に、最大量のX線が得られることを発見しました。このタイプのX線管を2つ、図24と図25に示します。

初期のX線実験に使用された2種類のクルックス管を示します。洋ナシ型は、今でもこの目的に効果的に使用されていますが、より先進的な研究者は、これから説明する焦点管のもつ大きな利点に気づいています。

図24, 25をみると、電極が平たい金属板でできていることがわかります。これは、通常アルミニウムで作られています。また、この金属板はいずれもガラス管に直面しており、互いに干渉していないこと、また一方が他方より大きいこともわかります。

実際には、いずれのX線管でも、大きい金属板が陰極、小さい方が陽極になるように接続します。電流を流すと、放電によって發生した陰極線が陰極の反対側のガラスに当たり、X線管が適切に作られていれば、特徴的な蛍光が直ちに現れます。最も強い、最も良好な蛍光は、陰極の反対側のガラスに現れます。X線が發生するのもここで、透視装置あるいは感光板によって確認できます。陽極の反対側のガラス管には、X線が存在を示す徴候はほとんど見られません。

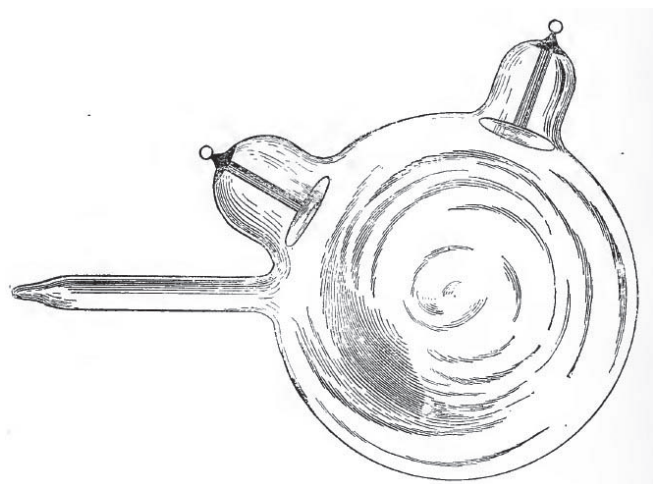


図 24. クルックス管

図24, 図25のようなクルックス管は、X線の發生にこれまでも現在も効果的に使用されていますが、最適なタイプとは言えません。まず第一に、焦点のない平らな金属板から發生する陰極線から發生するX線は大きく拡散します。この拡散のため、透視装置で見える物体の陰影や、感光板上に現れるX線写真の物体の陰影はぼやけたものになります。しかし、このようなX線管が發生するX線が、静電発電機の放電による場合、輪郭の不鮮明の程度は小さくなります。その理由は、静電発電機による放電は通常一方向であり、誘導コイルによる放電に伴う振動特性が少ないためです。

拡散とそれに伴う輪郭の不鮮明は、すでに説明したように絞りを使用することである程度克服できます。絞りを使用すると、より鮮明な画像が得られますが、X線写真撮影時の露出時間は長くなります。

このクルックス管のタイプには、もう一つの好ましくない特性があります。それは、陰極線が直接ガラスに当たる点からX線が放射されるタイプでは、その部位のガラスが加熱されることです。

陰極線が当たる点でかなりの熱が發生することは一般には理解されていないかもしれませんが、これは事実で、陰極線が強力であればあるほど、発熱は大きくなります。筆者は、図25に示す長さ10インチのX線管を、火花長9インチのコイルで励起すると、陰極の反対側にある5セント硬貨ほどの大きさの領域が約3分ではば赤熱するのを確認しました。

この発熱現象は、定期的に使用されてきたX線管よりも、新しいX線管の方がはるかに大きくなります。

実際、このような事実を知っている人たちは、このタイプのX線管を継続的に使用する前に「養生」(cure)するのが普通です。チューブの「養生」は、比較的弱い放電を数秒ずつ行い、同じかそれ以上の時間間隔をあけて、この処理を1~2時間続けます。このようにして「養生」すると、X線管は以前ほど熱を發生しなくなり、実際に使用できるようになります。陽極の反

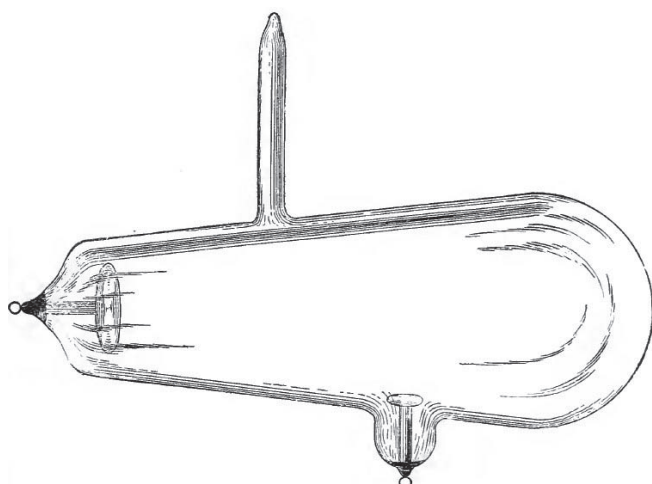


図 25. クルックス管

対側のガラスの部分にもかなりの熱が発生しますが、陰極ほどではありません。これも、X線管を養生して真空度が高くなると変化します。

この種のクルックス管の多くは、新品の状態で電流を流すとすぐにガラスが発熱、溶融、破損するなどして使えなくなり、養生したX線管を慎重に長期間使用できていたとしても、最終的にはこのようにして壊れます。

初期のX線研究に活躍したクルックス管の一般的な形状について説明しましたが、ここでさらに、この新しい驚異的な発見に関する知識をより完全なものにするために、新しい発明がもたらした成果を見てみましょう。ただしその前に、新しい形式のクルックス管の一部には、商業的に、あるいは個人の発明として、別の名前がついていることに注意する必要があります。留意すべき点は、現在のところ、X線の発生に使用するすべてのタイプの真空管は「クルックス管」という総称の下に分類できますが、クルックス氏が想定していなかった目的のために特別に設計された「二重焦点」管や「単焦点」管など新しいタイプは、その変種として考えられるということです。

多くの読者も知るように、エジソン氏はレントゲン教授の発見が海外で発表された後、アメリカで最初にX線実験を行った一人でした。エジソン氏は独自の方法でこれに取り組み、様々な形のクルックス管を作り、多くの実験の末に、最終的に図26に示すような形を採用しました。

この図からわかるように、エジソン管では2つの電極が対向し、それぞれ傾いています。振動放電では、各電極が交互に陽極と陰極になり、陰極線が向けられたガラス壁の部分でX線が発生します。このX線管は、先述のものに比べて大きな進歩でした。X線量が豊富で、X線管と蛍光板あるいは感光板の間に置いた不透過物体をかなり鮮明に描出できます。

このX線管は、過去数か月間にわたって、エジソン氏によるX線研究で非常に活躍してきました。また、1896年5月にニューヨーク市で開催された全米電気博覧会で4週間にわたって公開展示で使用されたX線管もこれであったことは注目に値します。この展示では、何千人もの人々が初めてX線現象を目にしました。

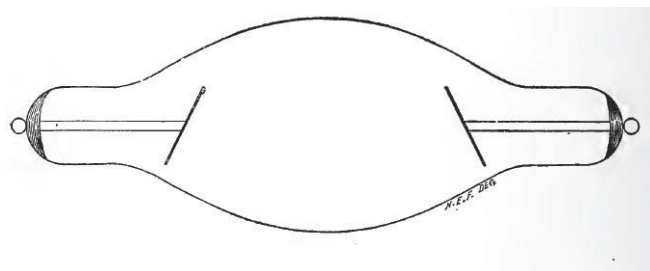


図26. エジソンが改良したクルックス管

初期のクルックス管から発生するX線源拡散の欠点は、レントゲン教授の発見の応用可能性を探る研究の中で直ちに明らかとなりました。鮮明な輪郭を得るには、X線管の焦点を絞るしかないと思われましたが、X線は通常の光線を焦点に集めるレンズによって屈折、集束されないため、この目的の達成はかなり困難であると思われました。

X線の発見が発表されて以来、理論的観点からだけでなく実践的観点からも、エリヒュー・トムソン (Elihu Thomson) 教授ほどこの主題に熱心に取り組んだ人は、おそらく米国にはいないでしょう。トムソン教授は、初期のクルックス管を使って一連の徹底的な実験を行い、X線実験の目的に最も効率的な真空管は、陰極線を焦点に集束して真っ直ぐ投影できるものであるという結論に達したのです。

早くも1896年1月、トムソン教授は図27に示すような標準的な形のクルックス管を実験に使用していました。このX線管は、中央に白金片があり、一方の端には直径約1インチの凹面陰極があります。X線管は白金に焦点を結び、大量のX線が発生します。この焦点X線管によって鮮明な画像が得られました。このような形式のクルックス管は、1896年初頭にシャレンバーガー (Shallenbeger) 氏やスクリプナー (Scribner) 氏など他にも数人の研究者が使用しています。1896年4月の技術雑誌で、実質的に同じ設計のX線管がイギリスでもX線研究用に開発され、有効に使用されたことが発表されました。この形式は、商業的には単焦点管 (single focus tube) と呼ばれます。

トムソン教授は、X線発生装置にリュムコルフを使った研究の結果、クルックス管内の放電の性質はある程度振動的であるという結論に達しました。従って、X線管光線を集束するX線管の設計にあたっては、そのような性質の放電の下でも集束が可能で、同時にホルツ装置、ウィムズハースト装置のような一方方向の放電

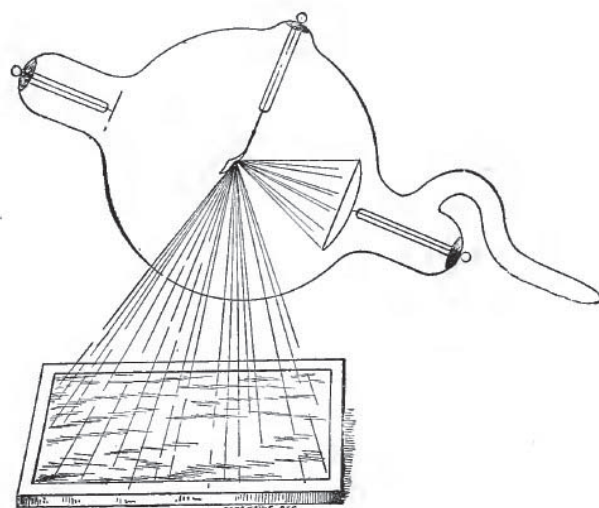


図27. トムソンが改良したクルックス管

の下でも集束管として役立つものが望ましいと考えられました。この理論と実験の最終的な結果が、図 28 の二重点 X 線管 (double focus tube) です。

この形は、既知の X 線発生装置の放電に普遍的に適応するように考えられたものです。

図のように、両側に対向する 2 つの凹面電極があり、その間に楔形の電極がもう 1 つあります。楔型の電極は白金製、他の 2 つはアルミニウム製です。

二重点 X 線管をリウムコルフコイルと組み合わせる場合は、2 つの凹面電極を互いに接続し、これをコイルの陰極につなぎます。楔型電極の端子は、陽極につなぎます。コイルからの電流が X 線管で放電されると、2 つの陰極線が白金製の楔型電極に衝突します。2 つの陰極は凹面なので、陰極線は一点に集中し、陽極の両面に当たります。このようにして、X 線が大量に発生し、陽極からその表面に垂直な方向に放射されます。

二重点 X 線管を交流で作動する高周波コイルと使用する場合は、2 つの凹面電極の 1 つをコイルの 1 つの端子に、もう 1 つの凹面電極を他の端子に接続します。これは、電流が急速に変化すると、コイル端子の極性も同じ速さで変化するためです。これにより、各凹面電極は最初は陽極、次に陰極となり、1 秒未満のごくわずかな時間でこの交替が発生します。その結果は、この X 線管をリウムコルフコイルに接続した場合と非常に似ています。

静電発電機で二重点管を使用するには、凹面電極の 1 つと楔型電極のみを発電機の端子に接続します。前述のように、この装置からの放電はほとんど振動せず、通常は一方方向なので、2 つの陰極を持つように接続しても、出力の小さい機械では良い結果は得られません。実際、陰極線の力が分割され、発生する X 線の出力が

低下する可能性があるので、おそらく不利になるでしょう。全体として、二重点管は単焦点管ほど小出力の静電発電機での使用にはおそらく向きです。

しかし、他のタイプの発生装置と組み合わせて使用する場合は、二重点真空管が望ましいものとなります。これにより、透視装置では不透過性物体の陰影を鮮明に描写でき、写真乾板を使えば良好な X 線写真が得られます。ある程度の出力の X 線発生装置を使えば、X 線が非常に大量かつ強力に発生するので、X 線撮影に必要な被曝量が低く抑えられ、透視検査を確実かつ満足に行えます。

1896 年 4 月の技術雑誌に掲載された単焦点管は、図 27 の標準タイプと非常によく似ており、ガラス管球の中にアルミニウム製の凹面陰極と、約 45 度の角度がついた白金円板を陽極とする構造です。陰極線はこの陽極円板に焦点を結び、そこから前方に放射投射される点は、二重点管と同じです。

単焦点管の陽極には必ずしも円形の白金板を使用する必要はなく、図 29 のように四角、三角、星形のものも国内メーカーでよく採用されています。単焦点管は、適切に作られていれば X 線発生に最も優れたものです。また、不透過物体の検査、撮影では鮮明な像が得られ、現在行われている高度な用途のほとんどに使用できます。ただし、このタイプの X 線管は、高周波電源装置や大型コイルに接続するよりも、静電発電機や小型、中型コイルでの使用に適しています。

最後に、(1) クルックス管の継続使用に際する真空度の自然増大、(2) その影響、(3) 真空度を再び使用可能な状態に戻すための方法について述べないと章を終えることができません。

X 線研究でクルックス管を頻回に使用する人ならば、しばらくすると真空度が高くなりすぎて X 線発生装置につないでも放電しなくなることをよく知っています。蛍光、X 線現象が停止し、通常は X 線管内が黒く汚れます。これは、白金線や白金電極が分解し、その粒子がガラス管の壁に沈着するためです。このような粒子は、電気放電によって飛散し、冷却されると、電線や電極と同様に、管内に残るわずかな残留ガスを徐々に吸収、凝縮し、ほぼ完全な真空となります。

このような真空では、放電が通らなくなり、真空管は X 線発生用の用をなさなくなります。この状態の X 線管

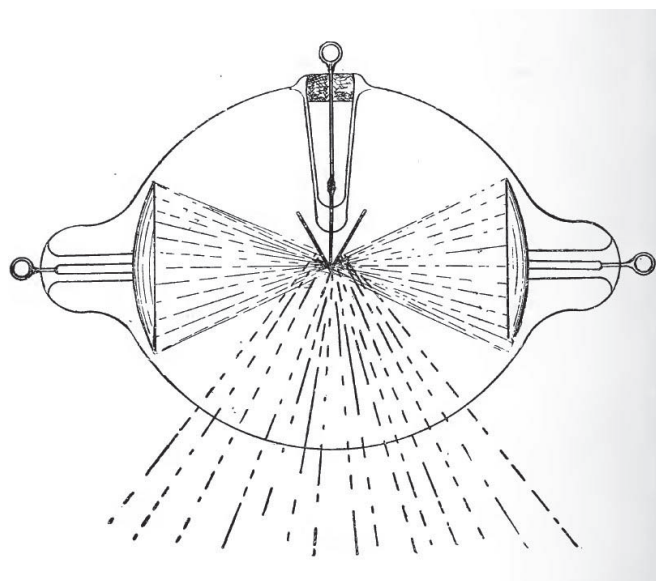


図 28. 二重点 X 線管

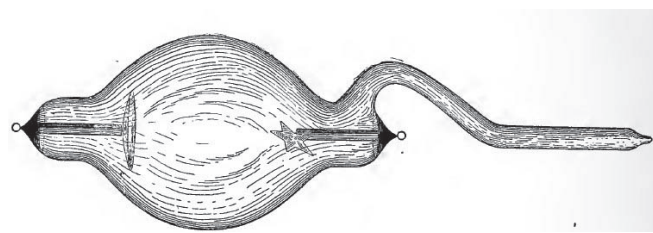


図 29. 星型陽極をもつ単焦点 X 線管

の外側をブンゼンバーナーやアルコールランプの炎で加熱すると、白金粒子が吸収した空気を放出し、放電が起きるようになります、特徴的な蛍光と X 線が再び現れます。

ただしこれも結局は一時凌ぎで、限られた回数のみ可能です。加熱の度に X 線管としての有用性は次第に低下し、最終的にはそれ以上は動作しなくなります。その時点での唯一の手段は、製造元に再度排気してもらうことです。

エリフ・トムソン教授は、この問題を解決する二重焦点 X 線管を開発しました。彼は、加熱されると蒸気を放出する性質を持つ化学物質を一定量含んだ小さな補助ガラス管を追加しました (図 30)。トムソン管は工場で完成時に、通常の方法で蛍光、X 線を発するように適切な真空度まで排気されます。使用して時間が経つと、真空度が高くなりすぎて X 線が出なくなりますが、小さな補助管をゆっくり加熱すると、すぐに十分な蒸気が発生して真空度が適切なレベルまで下がり、X 線が再び充分に発生するようになります。

この操作は必要に応じて何度でも繰り返すことができ、X 線管の寿命は延長されます。補助ガラス管内の化学物質の寿命が X 線管自体よりも短い場合は、いつでも新しい供給源を備えた別の小さな補助管を付けることができます。

補助真空調整管は、単焦点管にも取り付けられ、その他すべてのタイプのクルックス管にも取り付けることができます。しかし、特に高価な X 線管にこれを付ける場合は、非常に繊細な作業であり、その後の再消耗時の作業はさら困難であることは言うまでもないので、熟練した人に依頼することを勧めます。

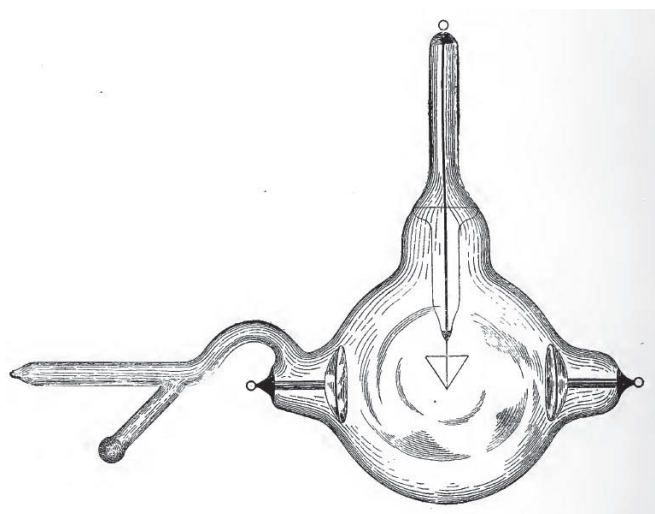


図 30. 補助ガラス管をもつクルックス管



図 30a. エジプト王女のミイラの手の写真. 1892 年, テーベの王家の墓より. 3~4000 年前のものと思われる. Carbutt Process Plate を使用して印画.



図 30b. 上図の X 線写真. Keystone Dry Plate Works 社の研究室で撮影. Carbutt X 線写真乾板使用. John Carbutt 氏. Carbutt Process Plate を使用して印画.

第 10 章. X 線透視装置

前章で述べたように、X 線透視装置は、特定の化学結晶塩が X 線によって蛍光を発するという特殊な性質を利用するものです。この特性を持つ化学塩はいくつかありますが、現在のところ一般的に最も有用とされているのは 2 つだけです。1 つは白金シアン化バリウム、もう 1 つはタングステン酸カルシウムです。白金シアン化カリウム結晶もこの蛍光特性を持っていますが、通常の大気下で潮解する、つまり液体に変わる傾向があるためこの用途には適していません。

レントゲン教授による X 線の発見後しばらくの間、白金シアン化バリウムが、蛍光を発する唯一の化学結晶でした。しかしエジソン氏は、独自の研究で、タングステン酸カルシウムが同等あるいはそれ以上の蛍光を発することを発見しました。タングステン酸カルシウムは、他の塩に比べてコストが約 3 分の 1 というメリットがあり、実際エジソン氏の蛍光特性の発表以来、タングステン酸カルシウムの価格は下がり、白金シアン化バリウムの約 9 分の 1 の価格で購入できるようになりました。

エジソン氏には、X 線透視装置 (Fluoroscope, フルオロスコープ) として知られる実用的な装置を作った功績が帰せられ、これによって経験の浅い人でも、実際に蛍光塩を使って X 線の効果を観察することができるようになりました。この装置を簡単に説明すると、その実用的な価値を理解できるでしょう。

当面、大きさの問題を別にしておくと、X 線透視装置は、一方の端に開口部があり、周囲に柔らかな暗色の素材で縁取られた先細った形の箱です。その開口部に顔の上部をぴったりと当てると、光が入らないようになっています (図 31)。箱の反対側には、「蛍光板」



図 31. エジソンが発明した X 線透視装置 (フルオロスコープ)

(fluorescence screen) が置かれています。これは、ボール紙、木材、薄いアルミニウム、薄い硬質ゴム、または X 線が容易に透過する他の物質で作られています。蛍光板の内側には、白金シアン化バリウムまたはタングステン酸カルシウムの結晶が塗布されています。最も一般的には後者が使用されます。装置全体は、観察者が覗く上部の開口部を除いて、できるだけ遮光されるように作られています。

最も重要なものは、もちろん蛍光板です。結晶が均一に分布していない場合、つまりある場所では結晶が厚く、別の場所では薄く塗られていると、蛍光板の明るさが不均一になります。従って、結晶を均等に分散させ、適切な厚さに塗布することが非常に重要です。蛍光物質の品質も当然重要な要素ですが、現在市場で一般に入手できるものは、十分な品質で良い結果が得られています。

第 1 章に述べたように、クルックス管と蛍光板の間に不透過性の物体を置くと、X 線が妨害されていないところでは蛍光板が蛍光を発します。

X 線によって物体を検査する場合、外光が入らないように透視装置を目に当てます。X 線が当たると蛍光板は、夜間に少し離れた背後から照らされたすりガラス窓のように、特徴的な蛍光で輝きます。

ここで何か、たとえば鉛筆を観察したい場合を考えます。鉛筆は蛍光板の外側に、できるだけ近く置く必要があります。アイピースから見ると、非常に細い直線しか見えません。X 線が特に強く透過性が高い場合は、他には何も見えません。これは、木材の中の黒鉛が見えているのです。X 線は木材を完全に透過し、蛍光板上に影を落としません。一方、鉛筆の黒鉛は X 線に対して不透過であるため、X 線は鉛筆を通過できず、黒鉛に接する蛍光板の結晶を発光させません。その結果として、黒鉛を表す暗い線が蛍光板上に見えることになります。

蛍光板の前に、硬貨の入った革製の財布を置くと、X 線は同様に革を透過して蛍光結晶に到達し、革のすぐ

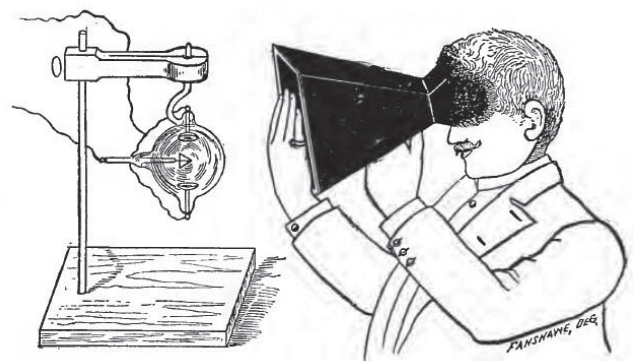


図 32. X 線透視

後ろにある蛍光板は、まるで何も置かれていないかのように蛍光を発します。しかし、硬貨は金属製なので、X線を遮り、X線は蛍光板上の蛍光結晶に当たることができず、観察者の目には硬貨の輪郭が黒く見えることになります。手を蛍光板の外側にしっかりと押しつけ、X線管の前にかざすと、同じ効果が得られます(図32)。X線は皮膚、血液、腱、筋肉を通過しますが、骨は不透過なので、その陰影が蛍光板に映し出されます。

もちろん、このように蛍光板の前に物体を置いても、蛍光板上に永久的な陰影が残ることはありません。X線の発生が止まると、当然ながら結晶に蛍光を発させるものがなくなり、蛍光板は暗くなります。従って、X線透視装置は、適切に扱えば永久に使用できる装置であることが分かります。

X線透視装置を、クルックス管にどの程度近づける必要があるかについては、一定のルールを定めることはできません。X線装置が非常に強力で、X線管が大量のX線を発生している場合、クルックス管から10～12フィート離れた場所に立っている人が、自分の手の骨をはっきりと見ることができます。

しかしこれは極端な場合で、通常はX線管から1～2フィートで観察します。非常に優れた二重焦点管を強力に励起すると、2つのドアと木製の仕切りを隔てた蛍光板が、50フィート離れた場所で蛍光を発することを著者は経験していますが、これもまた非常に例外的なことであり、通常の使用では期待できません。

第 11 章. 電源

X線撮影、X線検査を行う装置を所有したり利用できない医師は、時代遅れになるだろうという主張が証明されるのは、それほど遠い将来のことではないでしょう。この装置を取得しようする場合に、まず第一に考慮すべきことは、装置を駆動する電源をいかに確保するかという点です。一般に医師は非常に多忙であり、日中のみならず夜間も時間がありません。日曜日、休日も職業的な要求から逃げることはできません。従って、医師は蓄電池を操作、保守する手間と時間を嫌います。

この重要な問題は、医師のみならず、X線の研究を行う実験家も直面します。

医師や実験家の便宜を図るため、クルックス管の励起に使用できる様々な種類の装置を分類し、それぞれ効率的に使用する方法を併記します。以下にこれを表に示します。

静電発電機：この表から、電灯線回路や電池をまったく必要としない唯一の装置は静電発電機であることがわかります。この装置は、円板が回転すると自ら電気

励起装置	エネルギー源
リウムコルフコイル	1. 電灯線回路, 直流
	2. 電池 (一次電池, 蓄電池)
高周波電源装置 (X線変圧器)	交流のみ
静電発電機	1. 手 (足) 動 (ホルツ装置, ウィムズハースト装置)
	2. 電動モーター
	3. 水力モーター
	4. 気動モーター

を発生します。円板の回転は、手動でも、あるいは十分なパワーを持つ小型モーターでも行うことができます。

通常、静電発電機は手動でも小型モーターを取り付けても操作できるように作られており、そのために通常は滑車がついています。もちろん可能であれば、規則性が高いという理由でモーターによって回転させる方がはるかに望ましく便利ですが、モーターを使えない場合は、手動で操作してもX線を正常に発生して同じ結果が得られます。

交流または直流の電灯線回路を利用できる場合は、1/8～1/2馬力の小型モーターを通常の市販の静電発電機につないで動作させることができます。このようなモーターは通常、送電を管理している電灯会社から入手できます。静電発電機を使う場合、電池、可変抵抗器、その他の付属品は必要ありません。実際これは、一般的な目的に必要なX線を発生するには最も簡単、便利な方法です。

高周波コイル：次に高周波電源装置（またはX線変圧器）を取り上げます。上の表のように、これを動作させる唯一の方法は交流電流です。この装置は操作が非常に簡単で、最小限の付属品で電灯線回路で直接使用できるため、交流を得ることができる場合は理想的な装置です。

今日では、交流によって電灯線電流を供給する中央送電所をもつ都市や町が非常に多くあります。回路の電圧は、50～52ボルトの場合もあれば、100～104ボルトの場合もあります。市販の高周波電源装置は、原則としてこれらのいずれにも使用できるように様々なメーカーが製造しています。一般に購入者は電圧と周波数を指定するだけでよく、その情報はその電力を供給する送電所で容易に入手できます。米国の多くの大都市では直流または連続電流の供給はありますが、交流はありません。高周波電源装置はすべてのX線電源の中で最も強力な装置の1つであるため、直流しか利用できない場所でもこのタイプの装置を使用したいと考える人がたくさんいます。このような場合、電気機

器のメーカーからモーター変圧器 (motor transformer) を入手し、直流を交流に変換して高周波電源装置に適用して使用することが可能です。

モーター変圧器は非常に単純な機械で、小さな直流モーターのみで構成され、接触子の一端にブラシと接触する 2 つの集電リングがあり、ブラシに 2 本の電線が接続されています。セットアップするには、直流回路から 2 本の電線をモーターにつなぎ、モーターからは交流を流す 2 本の電線を可変抵抗器または調整コイルを介して高周波電源装置につなぎます。

この装置は、非常に複雑な構成と多大な手間と費用をかけない限り、電池で作動させることはできません。唯一の方法は、上記の方法で常に交流電流を使用することです。

リュムコルフコイル：表のように、リュムコルフコイルは電灯線回路 (直流)、または電池のいずれかの方法でのみ満足に動作します。

使用できる電灯線回路がない場合は、次の数種類の電池を使用できます。(1) 蓄電池、または (2) 一次電池 (ブンゼン Bunsen, グローヴ Grove, フラー Fuller, グレネット Grenet, エジソン・ラランド Edison-Lalande など)。

順番に言うと、蓄電池は間違いなく最適ですが、もちろん直流回路から蓄電池を充電する何らかの手段を持っている必要があります。

このような主電源回路が使える場合は、蓄電池を常時接続して、スイッチを切り替えて充電できるため、非常に簡単で便利です。

ここに挙げた一次電池の中では、エジソン・ラランドが最適です。非常に電流量が大きく、使用中の分極による劣化がほとんどありません。エジソン・ラランド電池の各セルから供給される電圧は、上記の他の一次電池の電圧の半分もありますが、その大きな電流出力と非分極特性により、蓄電池も直流回路も利用できない場合、この目的には非常に好適です。

もちろん、リュムコルフを電灯線回路で直接動作させることも、そのような電源が利用可能でいかなる電池も使用したくない場合は、全く可能です。

そのような場合、リュムコルフコイルの一次側を通過する電流と電圧は、可変抵抗器 (rheostat) またはランプバンク (bank of lamps) によって調整するか、または回転変圧器 (rotary transformer)、モーター発電機 (motor dynamo) などと呼ばれる補助装置によって適切な電圧、電流を得ることができます。可変抵抗器は通常の種類のもので、ランプバンクはボード上に多数のランプをつけたもので、オン／オフするランプの数を増減して制御します。回転変圧器は、回路からの電流

で小さな発電機を回し、コイルに電流を発生します。

これら 3 つの方法はいずれもやや不経済ですが、電池よりもこれを好む人は多いでしょう。このうち最も簡単なのは、通常の可変抵抗器を使用する方法です。ハンドルを動かして必要な電流量を調整するだけです。

多くの実験家が電池に反対していますが、直流回路が利用できる場合でも、リュムコルフコイルを作動させるために蓄電池を使用する相応の理由があることを理解する必要があります。全体的にはおそらくより経済的で、この種の回路では必ずしも得られない電圧の一定性を備えています。また前述のように、主電源と常時接続して使うこともでき、その場合最小限の手間で済みます。

このようなセットアップで、可変抵抗器やランプバンクと直流電灯回路が利用できる場合は、実験者はその思考と注意を X 線の観察と実験に集中でき、電源に関する余計な配慮、精神的労力を避けることができます。その部分は電灯会社に任せ、電流を得るために必要なことはスイッチを入れるだけです。

しかし、いかなる電源も手元にない場合も多いでしょう。このような場合は、2 つの方法、すなわち誘導コイル、静電発電機を使うことができます。後者は手で使え、装置自体が電気エネルギーを内蔵しているので、電源については何も考える必要がありません。

直流電灯線回路が利用できない場所では、当然のことながら蓄電池は問題外です。蓄電池は直流からしか充電できません。したがって、通常の電灯線回路が利用できない状況で誘導コイルを使用したい場合、唯一のエネルギー源は一次電池となります。

重クロム酸溶液を使用する一次電池、またはエジソン・ラランド電池のいずれのタイプも、この目的に適います。大電流を得るためには、十分な大きさのセルを用意することが推奨されます。通常のコイルに必要なセルの数については、後章に例を挙げます。

第 12 章. 操作法

X 線の発生に使用する装置の操作をめぐって絶えず生じる多くの疑問を解決するには、慎重な観察と思考が必要です。最も簡単な方法でさえ全く知らない読者も多いかと思います。従って、まずは X 線写真を作成するための装置や、X 線透視装置による観察を行うための装置のセットアップ方法をわかりやすく説明することから始めることにしましょう。

まず、1 インチ以上の火花を発生する誘導コイルで構成される、アマチュア向けのセットアップから始めます。このサイズのコイルには、おそらく通常の形式の

断続機、つまりすでに説明した振動接触子が採用されています。このようなコイルのコンデンサーは、一般にコイルを載せた台座の中空部分に収まっています。

この作業には、しっかりとした広いテーブルが常に望ましく、クルックス管用のスタンドまたはホルダーを用意するのがベストです。X線管を任意の位置に置けるような、位置調整可能なスタンドが最適です。

市販の良いものがたくさんあります。コイルは、テーブルの前面から少し離れたところに置き、X線管は手の届きやすい前面近くに設置します。電池はテーブルの下に置き、電線をコイルまで引き上げます。電流をオフにしたいときにコイルから電池を外す手間を省くために、コイルにつながる電池の電線の1つに、スイッチを付けておくことを勧めます。

X線管を位置調整可能スタンドに設置し、コイルの二次端子からの2本の電線を適切な電極に接続します。X線管に接続する電線は、たとえばNo.26~29のように断面積が非常に小さい必要がありますが、捻ったりX線管の端子に固定する必要はありません。緩く引っ掛けるだけで十分です。太い電線を接続すると、ガラスがひび割れて真空が失われる危険があります。

後述のように、コイルの二次端子から伸びる電線に火花間隙を設ける場合、X線管は当然この火花間隙から伸びる電線に接続します。X線透視を行う場合、非焦点型X線管では陰極が観察者に面するように調整可能スタンドに置き、焦点型X線管では陽極が面するように置きます(図32)。

コイルに電流が流れると、X線管の放電が起こります。X線管が適切に接続されてX線を発生していれば、クルックス管のすぐ前に蛍光透視装置を置くと、蛍光板が発光してその効果を確認できます。被写体を蛍光板の外側に密着させて保持すると、これを検査できます。この時、X線透視装置の開端側を顔に密着させて、外部の光を遮光する必要があります。

透視検査は明るい部屋でもできますが、部分的にあるいは完全に暗くすると一層有利です。X線透視装置を明るい部屋で使用し、検査者がいったん装置を眼から外すと、眼が完全に感度を回復するのに非常に時間が

かかり、蛍光板を正確に観察できる適切な状態に戻るまで、10分以上かかります。

最初にX線管をコイルに接続した時点で、蛍光がほとんど、あるいはまったく見えない可能性もあります。これには2つの原因が考えられます。(1)2本の接続電線が互いに接触している、(2)コイルの陽極と陰極がX線管の適切な電極に接続されていない。これらのトラブルの解決方法は明らかでしょう。

X線写真を撮りたい場合は、感光板(乾板)を所定の位置に置くまではコイルの電流をオフにし、X線が感光板の位置に当たるようにX線管を調整します。

感光板は、通常の感光板ホルダーに入れて、普通の方法で(非金属製の)スライドで閉じるか、側面と両端から遮光できるように十分に折り曲げた黒い写真用紙で感光板を包みます。感光板をセットするにあたっては、フィルム側が上面にくるように常に留意する必要があります。その理由は、被写体がフィルムに近いほど、鮮明な像が得られるからです。

このようにセットした感光板を、フィルムがX線管から出るX線の影響が最も強く現れる一番上になるようにテーブルの上に置きます。

被写体は、X線管から4~12cmの距離とし、感光板とはできるだけ密着させます。電流をオンにして、露光します。感光板をクルックス管の近くに置いた後は、被写体を所定の位置に置いて露光の準備ができるまで、電流をオンにしないでください。露光後は、通常の写真と同様に、感光板を普通に現像します。

露光時間については、具体的な時間を決められませんが、火花長1インチの小さなコイルと焦点X線管を使う場合、手のX線写真はおそらく20分、財布の中のX線写真は9~10分で撮影できるでしょう。より大きな強力な装置では、露光時間はより短くなります。たとえば、火花長6インチのコイルで焦点X線管を使用すると、2分~2分半で手の良好なX線写真を作成できますが、火花長12インチのコイルと二重焦点管を使用すると、同じ写真を約1分あるいはそれ以下で撮影できます。

露光時間は、使用する装置の種類、品質、強度によって大きく異なるため、特定のケースでどの程度露光すべきかを明確に言うことは事実上不可能です。それぞれのケースで、先行する実験の結果によってのみ決定できます。

被写体のX線写真を撮るために、蛍光板ホルダーや保護プレートを立てて使いたい場合があります。被写体は、糸やより糸でホルダーにしっかりと結び付けたり、ゴムバンドで固定したりすることができますが、ゴムテープでは固定できないことに留意してください。これらの固定具はX線写真には写りません。X線は固

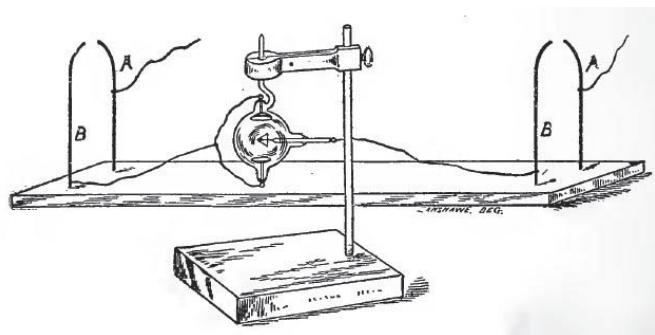


図 33. A. コイルの放電端子に接続する電線, B. X線管に接続する電線

定具を完全に透過し、蛍光板に陰影を残さないからです。

より大きな X 線管発生装置の操作について説明する前に、誘導コイルの二次端子につなぐ回路内の可変火花間隙について、もう少し詳しく説明します。火花間隙は、通常は高周波電源装置で利用しますが、静電発電機でもしばしば使われます。

図 33 に、可変長火花間隙を作る実際的な方法の 1 つを示します。台座上に 2 組、4 つの立柱が配置されています。各 2 本の立柱の端は曲がって、互いの方向を向いていますが、間隙があります。

立柱は、図に示すように端を曲げた 4 本の裸電線で、コイルによって発生する火花の最大長さよりも常に離して置く必要があります。立柱を取り付ける台座は、乾燥した状態に保つ必要があります。できればガラス、硬質ゴム、またはその他の良好な絶縁体の小さなブロックの上に取付けることを勧めます。立柱の一方には、二次端子の 1 つから伸びる電線が接続されており、他の 2 つ立柱にはクルックス管につながる細い電線が接続されています。

これは自作の簡易火花間隙の例ですが、現在ではもっと扱い易い放電スタンドが X 線装置販売店から入手可能です。これは通常、それぞれ小さな木製スタンドで、そこにボールに載せた太い針金が挿入されています。この針金にクルックス管からの電線をつなぎ、木製スタンドを動かすことにより火花間隙を調整できるようになっています。

実際には、火花間隙の 2 つの端点を離す必要がない場合があります。ただし、真空管が最高の性能を発揮していないと思われる場合は、火花間隙の距離を大きくして、最適な結果が得られるまで何回か試行します。一般に、1～1.5 インチを超える距離をとる必要はありません。クルックス管を継続使用すると、真空度が高くなります。このようなわずかな変化に対しては、火花間隙の調整が非常に有用で、より良い結果につながります。X 線管は、たとえ同じメーカーでもそれぞれにかなりの違いがあり、独自の特徴をもっています。

また、X 線管によっては日によっても僅かに変化しますが、ほとんどの場合、この火花間隙の調整がそのような変化に対応するのに非常に有用です。もちろん、X 線管の真空度があまりにも高くなって放電しなくなった場合は、真空度を調整できるタイプの X 線管でない限り、再度排気する以外に方法はありません。調整できるタイプであれば、数秒で真空度を下げることができます。

また操作方法に戻り、大きなパワー、容量を持つ励起装置の場合は、X 線写真の撮影、透視検査を行う方法は、前述の小型コイルの場合と実質的に同じです。主な困

難は、必要な露光時間、X 線管と被写体の距離、および回路の接続と切断の方法にあります。

前述の通り、いかなる被写体の撮影についても、露光時間の長さについて具体的な推奨を行うことは困難です。もちろん、小さな被写体では、大きな被写体、密度の高い被写体よりも露光時間が非常に短くなりますが、いずれの場合も、露光時間は X 線管と物体の距離に応じて長くなります。人体の様々な部分のうち、手と手首は、比較的短い露光時間で撮影できます。足、足首、その他の四肢の撮影で、同等の品質の X 線写真を得るには、通常約 3 倍の露光時間が必要です。躯幹の写真を撮るには、通常手の 10 倍もの露光が必要で、その場合も、装置が最高の動作状態にあり、十分な量の X 線が発生していることが条件です。

6 インチ以上の火花を発する装置では、被写体と X 線管の距離は 6 インチ以上離す必要があります。もちろん、これは手、腕、足などの場合で、X 線管の距離は 12 インチ以上になることもあります。一般的に手足の X 線撮影で露光時間を最短にするには、X 線管の距離は 6～8 インチまでが推奨されます。ごく限られた部分だけを撮影したい場合は、X 線管を 2～3 インチ近づけることで、露光時間をさらに短縮できます。しかし、X 線管との距離が長いほど鮮明度は高くなりますが、露光時間は長くなることを覚えておく必要があります。

躯幹の一部の撮影では、数時間の露出が必要になることもあるため、X 線管を体から遠く離すことは必ずしも実際的ではありません。

躯幹、手足の太い部分の X 線写真を撮る場合、被写体と感光板の間に蛍光板を置いて露光時間を短縮するのが一般的です。これは、X 線によって蛍光を発する蛍光板を感光板の隣に置くことによって、感光板を現像、印画すると、不透過物体に遮光される部分以外は蛍光板の明るい部分の影響を受けており、不透過性の部分は暗く見えるようになるものです。

場合によっては、図 34 に示す著者が撮影した針が刺さった手の写真のように、フレキシブルな感光板を撮影部位に固定して撮影すると良い場合もあります。指が部分的に拘縮して開かないため、フレキシブルなフィルムを糸で手の内側に結び付け、手背に X 線を当て撮影しました。

アマチュアの実験ではほとんどの場合、小型コイルと通常の振動型断続機で対応できますが、火花長 5 インチ以上の場合は、回転式断続機を勧めます。回転式断続機は、振動式断続機よりも動作がはるかに迅速、確実、満足なもので、実際の X 線業務での使用には唯一の望ましい形式と考えられます。その用途は、必ずしも大型のコイルに限定されるわけではなく、振動部品を外



図 34. 手掌に針が刺さった手の X 線写真. トムソン二重焦点 X 線管使用. 著者撮影. 露光時間 2 分 20 秒, 距離 10 インチ. 火花長 5 インチのトムソン誘電コイル使用.

し、代わりに回転式断続機を接続することで、火花長 1 インチ以上のコイルに接続して使用できます。しかし、これはアマチュア実験の範囲の限界を超えたいと思う人にも推奨されます。このような場合、バッテリーや電灯線回路で使用できるモーターを備えた市販の回転断続機が入手可能です*。

* 本稿執筆後、回転式断続機と同様に完璧かつ実用的な特殊な形式の振動型断続機が登場しました。

読者が、自分の作業や装置に起こりうるトラブルについて事前に知っておくことは有用でしょう。このような装置を継続的に使用していると、常にスムーズに動くとは限りません。しかしトラブルから得られるものが無いわけではありません。このようなトラブルによってこそ、最も貴重な情報が非常に多く収集できるからです。

例えば、標準的な振動型断続機と小さなコイルを使って実験を行っているとして。ある日、X 線管をつないでもいつも通りの結果が得られないことがあります。その場合は、まず X 線管を外してコイルから始め、二次端子の放電ポイントを調整して、コイルが通常の高さ、品質の火花を発生するかどうかを確認するのが最善です。

火花が不規則で、通常よりも小さく細い場合は、接触

子の接点に問題がある可能性があります。接点は、しっかりと、汚れがなく、接触が良好である必要があります。これが良好な状態にあることがわかった場合は、バッテリー溶液を交換する必要がある可能性があります。ここまで試してもコイルがまだうまく動作しない場合は、全体の接続がすべて確実かどうかを調べる必要があります。それでも動作しない場合は、コイルの絶縁体が火花の穿通で損傷している可能性があります。

コイルに問題がないことがわかれば、X 線管との接続を新しくしてもう一度試してください。すべての接続に問題がなく適切であるにもかかわらず、X 線管がまだ機能しない場合は、一度に 1 つの極性で発火させることを含め、考えられるすべてのバリエーションで可変火花間隙を試してみる必要があります。可変コンデンサーを使用している場合は、さまざまな設定の組合せを試してみるとよいでしょう。

原因が X 線管にあると思える場合は、次の 2 つの理由が考えられます。

1. X 線管が破損、パンクしているかも知れません。この場合、管内が暗青色ないし紫色の曇りで充満し、一方の電極から他方の電極に火花がジャンプします。このような様子がみられた場合は、間違いなく X 線管がパンク、破損しており、修理するまで X 線を発生させることはできません。電極周囲に薄青い曇りが見られる場合、特にガラスの一部に淡い蛍光が見られる場合は、真空度が低下している徴候です。これを改善するには、火花間隙を閉じた状態で 5～10 分放電させ、同じ時間だけ X 線管を冷やします。これを数回繰り返すと、X 線管に蛍光が見られるようになって、X 線を発生するようになります。2. X 線の真空度が高すぎる可能性があります。この場合、電気放電が X 線管内を通過せず、内部は暗く、ガラス壁の蛍光が全くあるいはほとんど発光しません。真空度が高すぎる場合、コイルからの放電によって X 線管の外側の端子から端子へと火花が飛ぶことがあります。真空度を調節できる X 線管でない場合、この問題の解決方法は 2 つあります。1 つはアルコールランプやブンゼンバーナーで X 線管の表面をゆっくりと加熱する方法、もう 1 つは真空管を製造元に送って再度排気してもらう方法です。

以上の方法で X 線管のトラブルが解消しない場合は、数日間あるいはそれ以上放置しておくのがベストです。筆者の経験では、クルックス管が一見適切な条件下でも動作不良を起こしている場合、1 週間か 10 日放置すると以前と同じように動作することがあります。

上記は小型装置の X 線管に起こるトラブルの説明ですが、大型装置の場合にも当てはまります。同様に、回路の断線や接触不良についても慎重に調べる必要があります。回転式断続機と備えた大型誘導コイルを使

用している場合、ブラシが金属表面にスムーズに当たらない、ブラシが不規則に摩耗している、または断続機の金属接触面が非常に汚損、損傷しているなど、ブラシに問題があることがあります。また、断続機の絶縁表面に小さな金属粒子が付着して、遮断の完全性、効率性が損なわれることがトラブルの原因となることがあります。

これらのコメントは、読者の意欲をそぐためのものではなく、実際に頻繁に起こるわけではないが起こり得ることに備えるためです。一般的に、装置のすべての部品が清潔に保たれ、ほこりや汚れがなく、すべての接触が適切で、良好な状態に保たれていることを確認することが望ましいといえます。そうすることで、通常はベストな結果が得られます。

通常、信用のおける会社からX線装置を購入する場合、特にその装置が特殊な性能を備えたものである場合は、装置の設置および操作に関する説明書が提供されるはずですが、しかし、X線実験は長年にわたって標準となっている種類のX線発生装置を使用して実行されており、既に多くの人がこの種の装置を所有していることから、ここでこの装置を電灯線回路に接続する方法を示すことは有用と思われる。

図 35 と図 36 に、この方法を示します。図 35 では、電灯線回路の主電源から 1 本の電線が一次コイル端子の 1 つに接続されています。分岐回路では、もう 1 本の主電源線からの回路上に可変抵抗あるいはランプバンクが配置され、抵抗と一次端子の他端の間に断続機があります。コンデンサーは、断続機と並列につながれています。

図 36 は、回路全体に蓄電池が配置されている点を除いて、同じ一般構成を示しています。蓄電池は、標準的なものである必要はなく、各セルを硫酸 1、水 10 の

溶液に浸した 2 枚の鉛板だけで作ることもできます。もちろん、各セルの鉛板は互いに分離され、図のようにすべてのセルを直列に接続する必要があります。

図の方法で電灯線回路で誘導コイルを作動させる場合、コイルに供給される電気エネルギーの量は、可変抵抗あるいは抵抗として使用されるランプバンクで点灯するランプの数によって調整できます。当然、接続されたランプに応じてコイルに流れる電流が増加します。

新しい X 線管を使用する場合は、一次コイルに流れる電流を控え目にして、徐々に能力を最大限に引き出すことを勧めます。これは、X 線管が焦点型ではない場合に特に当てはまります。多くの X 線管が、初回使用時に最大電流で励起され、コイルの全容量が管内で放電することにより損傷されています。

新しい X 線管では、電極の周囲に薄青色の曇りが見られることがよくありますが、最初は電流で動作させることにより、徐々にこれを消す必要があります。これは、焦点型、非焦点型、いずれの場合も行うのが最適ですが、焦点型場合はそれほど必要というわけではありません。

高周波電源装置やホルツまたはウィムズハースト静電発電機と組み合わせて、X 線撮影や透視検査を行う方法は、誘導コイルを使う場合と実質的に同じです。つまり、X 線管をスタンドに設置して X 線を発生させれば、X 線透視装置で検査したり、上記と同じ一般的な方法で X 線写真を撮影できます (図 37)。露光時間、物体と X 線管の距離について述べたことは、基本的に他のタイプの励起装置を使用する場合にも当てはまります。

距離と露光時間に関して既に述べたことを補足すると、示した例はあくまでも概算であることをご理解ください。これらの条件は、操作者が何回か試してみることによってのみ解決する問題です。特定のケースで必要な正確な時間と距離を決めることは、被写体の密度、装置の完成度、X 線の強度や量などがわからない限り不可能です。従って、これらの点に関する上述の

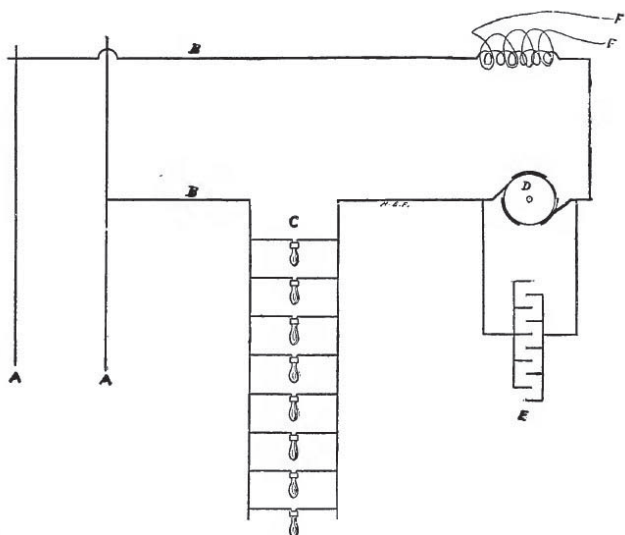


図 35. A. 主回路, B, G. 分岐回路, C. ランプバンク, D. 回転式断続機, E. コンデンサー, F. 二次コイル端子

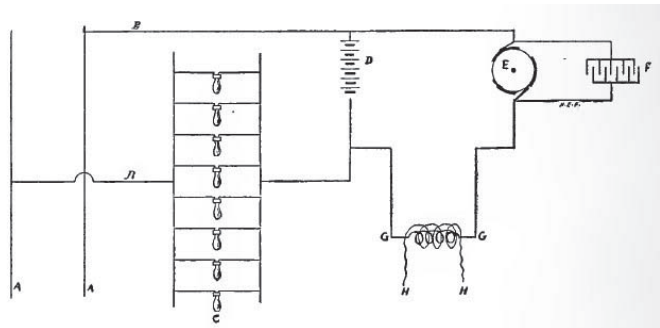


図 36. A. 主回路, B, G. 分岐回路, C. ランプバンク, D. 蓄電池, E. 回転式断続機, F. コンデンサー, H. 二次コイル端子

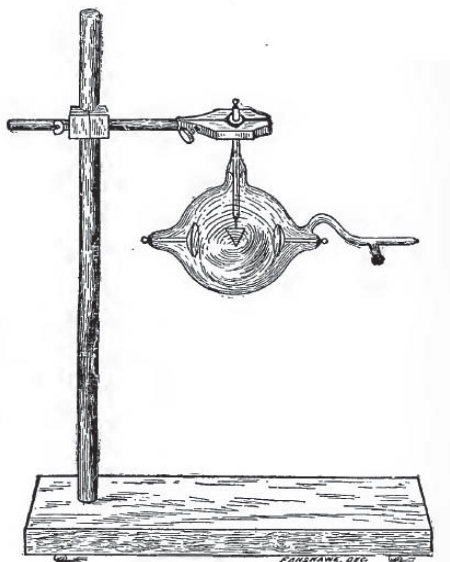


図 37. 調整可能架台にセットしたクルックス管

コメントは、単に出発点およびある程度の目安となることを意図しています。X線装置の使用を短期間でも実際に経験すれば、最適な条件を決定する際の助けとなります。

静電発電機や高周波電源装置は、メーカーによって配置や構造が異なるため、その保守や取り扱いについて具体的な示唆を与えることはほとんど不可能です。定評あるメーカーはすべて、適切な保守と操作に必要な説明書を同梱しています。これらの説明書は各社の経験に基づいているため、購入者は十分な注意と配慮を払えば最適な結果を得ることができます。

アマチュアの実験者は、本章のヒントに従って良い装置を使えば、満足の行くX線写真や透視検査を容易に実行できると確信しています。

第 13 章. 実際的なヒント

この本の読者は、おそらく2つのグループに分かれるでしょう。単にX線に関する一般的な情報を求めている人、そしてそのX線を実験、研究、あるいは実用したいと望んでいる人々です。この章の内容は、後者に実際的な情報を提供することを目的としています。

まず、これらの研究に使用できる小型の装置を1つ以上既に所有しているアマチュア実験家が、どこまでできるかを見てみましょう。少なくとも1インチの長さの火花を発生できる誘導コイルと静電発電装置を既に所有しているアマチュア実験家が何千人もいます。時折新聞に掲載される記事から、このような控えめな装置は、X線実験で満足な結果を得るにはパワーが足りないと思われるかもしれませんが、しかし、この種の装置の所有者にさらなる励ましを与えることができるのは我々の喜びとするところです。

実際のところ、火花長1インチ未満の装置で何らかの結果を得ることは可能ですが、自信を持って推奨することはできません。しかし、火花長1インチ以上の誘導コイル、ホルツ装置、ウィムズハースト装置の所有者は、小型の単焦点X線管と組み合わせて、多くの興味深い研究、実験を行うことができます。

火花長1インチの誘導コイルを使用してこれらの実験を行いたい場合は、誘導コイルを作動させるために、1個ないし2個のセルをもつ蓄電池、またはグレネット、ブンゼン、フラー、グローヴなど良質の一次電池、あるいは4セルのエジソン・ラランド電池の使用を勧めます。ルクランシェ電池 (Leclanche cell) は、X線用の誘導コイルと併用するには不適です。重力電池 (gravity cell) も使用できますが、その場合はこのサイズの誘導コイルでは、6～12個の重力セルを3個ずつ2連に接続する必要があります。

単焦点管は、小型誘導コイルや静電発電機とともに使用するクルックス管としては間違いなく最適なタイプです。これは、陰極線を管内で集中させて焦点に導くことができ、焦点から直線的に進むため、X線透視装置で検査する不透過性物体や感光板上の物体の輪郭が鮮明に見えるからです。小型コイル用に特別に設計された単焦点X線管は、いくつかのメーカーにより製造されており、手頃な価格で容易に入手できます。

このような小型誘導コイルまたは静電発電機と、これらの単焦点X線管の1つ、X線管透視装置または蛍光板、および通常の写真乾板があれば、実験者はX線による観察やX線撮影を行うことができます。このような装置一式は、総額が比較的小さく、小さな物体の非常にきれいなX線写真を撮影でき、X線透視装置でもかなり良好な結果が得られます。

この種の装置を使用して、様々な厚の木材や厚紙を通して被写体のX線写真を撮ることができます。もちろん、大きなコイルや静電発電機を使う場合と比べて、露光時間は必然的にやや長くなります。

従って、火花長1インチの誘導コイルをうまく使用できるなら、より長い火花長のコイルを使えば、当然それに応じてより良い結果が得られることが期待できます。火花長2～3インチの中程度の誘導コイルの所有者の中には、これでX線実験が可能かまだ確信が持てない人が非常に多くいます。

このような作業では、アンペア容量の大きい電池を使用することが非常に重要です。その点では蓄電池が理想的ですが、直流電源から充電する必要があるため必ずしも便利ではありません。次に望ましいのは、エジソン・ラランド (Edison-Lalande) 電池として知られる一次電池です。これは、アンペア容量が非常に大きく、非使用時にほとんど分極しません。しかしこの電

池の起電力は比較的低く、セルあたり約 10 分の 7 ボルトにすぎません。一方、蓄電池、グレネット (Grenet)、ブンゼン (Bunsen)、グローヴ (Grove)、フラー (Fuller) 電池は、セルあたり約 2 ボルトの起電力を発生します。エジソン・ラランド電池の場合は多くの個数が必要になりますが、ここで扱うような種類の実験には、様々な種類の一次電池の中からエジソン・ラランド電池を選択するのが確実です。

通常、火花長 1～2 インチの誘導コイルの場合、コイルの適切な性能を発揮するには、蓄電池 2 個またはエジソン・ラランド電池 6 個を接続すれば十分です。他の一次電池を使用する場合、同じ効果を得るために必要な電池の数はセルのサイズによって異なります。1 ガロン容器に入っているサイズのグレネット、ブンゼン、グローヴ、フラー電池の単一セルは、実質的に中サイズの蓄電池 1 セルと同程度の能力がありますが、より小さな容器の一次電池を使用する場合は、2 セット以上のセルを用意しておき、2 つ以上を複数接続して、接続セルの総和アンペア量が使えるようにすることを勧めます。火花長 3～4 インチの誘導コイルの場合、小型コイルについて先述した電池容量の 2 倍にするか、少なくとも必要に応じて回路に接続できるようにしておくことを勧めます。

運良く静電発電機が手元にあれば、電池の問題に悩まされることはありません。なぜなら、電源は機械自体にあり、円板の回転によって最大限の電流が得られるからです。中程度の静電発電機で小さな焦点 X 線管を励起する方法は、電池の管理が不要なので、非常に簡単です。

静電発電機はいずれも、電源を内蔵しているという点では同じであり、装置が大きくても小さくても、円板を回転する手段は操作者次第です。大きな静電発電機では、最も望ましいのは何らかの小型モーターです。これにより、円板は手で操作するよりも規則正しく、より少ない労力で回転するからです。

結果に関する限り、X 線用の装置一式を準備するにあたって、静電発電機と誘導コイルの間に選択基準があるかは疑問です。適切な条件下では、火花放電がほぼ同程度であればいずれの装置でも同様に良好な結果が得られます。装置の選択は、購入者が装置を使用する条件を十分に考慮した上であれば、あとは個人の好みの問題です。

X 線をより広範かつ綿密に研究し、実用に供したいと考えて装置を選択する場合、より大きな火花長の誘導コイルが必要になるでしょう。このような目的に適したコイルのサイズは、5～6 インチの良質の火花を発するもので、実際前述のようにこのような仕事では、細く弱い火花よりも太い強い火花の方がはるかに望ましいのですが、細く弱い火花でもある程度の結果は得

られます。内科医、外科医が使用する場合は、この程度の火花長の誘導コイル、装置を、優れた設計と効率の良いクルックス管と共に使えば、一般的にほとんどすべての目的に非常に有用でしょう。

しかしここでも、機器の購入を検討する場合に、既存の周辺状況に依存する個人の好みの問題に直面します。上述のように、火花長 5～6 インチの励起装置は、ほぼすべての X 線作業に十分です。このサイズの火花を発生させる励起装置にはいくつかの種類があります。1 つは誘導コイル、もう 1 つは静電発電機、3 つ目は交流で使用される高周波電源装置です。

装置を作動させるには、誘導コイルの場合、電池または直流を供給する電灯線回路からの電流が必要です。静電発電機は、電気、ガス、または水から電力を得て、手動または小型モーターで作動できますが、高周波電源装置 (X 線変圧器) は、交流回路でのみ使用できます。

この 3 種類の装置の中では、火花長が同程度であれば、高周波電源装置が最も強力です。従って、医師その他が装置の購入を検討場合、交流回路を利用できるのであれば、交流変圧器タイプの装置の採用を推奨します。非常に効率的で、必要な付属品が少なく、回路に直接接続できるため電池が不要です。

交流回路が利用できない場合は、誘導コイル、静電発電機のいずれかを選択する必要があります。前者は電灯線回路に直接つなぐことも、数個の蓄電池セルで使うことも、あるいは両者を組み合わせることもできること、静電発電機は手動でも小型モーターでも使えることは既に見てきました。いずれの装置も、一度セットアップして準備すれば、操作の手間にはほとんど違いがありません。静電発電機は、おそらく必要な付属品が最も少なく、非常に鮮明な X 線写真が撮れます。誘導コイルは、一般的にいろいろな状況に応じてフレキシブルで、構造や設定がそれほど繊細ではなく、おそらくより長年月にわたる継続的な使用に耐えるものです。

しかし、前述のようにこれは主として個人の好みの問題であり、いずれの容量の装置でも、信頼できるメーカーから購入し、十分な判断と慎重さを持って使用すれば、満足な成果を期待できます。

最高レベルの X 線検査を行いたい場合は、まず大型の誘導コイルまたは静電発電機に投資することを勧めます。火花長 8～12 インチの装置が市販されており、小型のものと同じように操作できますが、もちろんより大きな電力が必要になります。さらに大きな装置も入手可能ですが、これまでのところ最高の X 線効果を得るために、12 インチ以上のものは必要ありませんでした。

第 14 章. 写真乾板と現像液

写真技術は、現在非常によく理解されているため、この点に関して何か提案することはほとんど不要と思います。しかし、X 線実験をする人々は写真の経験が全くないことが多いので、写真乾板を扱ったり現像したりしたことがない読者のために、いくつかのヒントを呈示します。

X 線写真を撮るには、もちろん感光写真乾板が必要です。これは、ほとんどどの町でも入手可能です。また暗室が必要で、次に赤色灯 (ruby light) が必要です。赤色ガラスが付いたランタンは、どの写真用品店でも購入できます。未現像の写真乾板は、赤色灯以外の光を当てないでください。写真乾板と赤色灯は用意できたとしましょう。完全に暗い部屋に入り、ランタンに点灯してその開口部を閉じた後、乾板の箱を開けることができます。写真乾板を取り出し、通常の乾板ホルダーに置くか、写真用黒紙で包むか、あるいはボール紙の箱に入れる必要があります。

写真乾板の片面には、硬い白色の感光性ゼラチンフィルムが塗布されています。フィルム面は、写真乾板の横から赤色光を当てるといつでも確認できます。フィルム面は光沢がなく、もう片面はガラスなので明るく光沢があります。まだ疑わしい場合は、指を湿らせてプレートの角の 1 つに触れると、フィルム面を判別できます。フィルム面の場合は、べたつく感じがします。

写真乾板をホルダーまたはその他のカバーに置くときは、フィルムを被写体にできるだけ近づけることが望ましいため、フィルム側が上になるように十分注意してください。乾板の箱を閉じれば、撮影準備完了です。

写真乾板をボール紙の箱に入れる場合は、フィルムが箱の上面に近くなるように、箱の中に数枚の紙またはコルクを詰めてください。

露光するために、乾板ホルダーや箱のカバーを開ける必要はありません。ホルダーのカバーあるいは包み紙を通して露光できます。乾板ホルダーを購入する際は、金属製でないスライドカバー付きのものを選択してください。

露光が済んだら、次に行くことは写真乾板の現像です。現像して画像を固定するには、2 つのものがが必要です。1 つは現像液、もう 1 つは次亜硫酸ソーダ溶液です。後者は、現像後に乾板に画像を固定するためです。

溶液を入れるトレイが 2 つ必要です。1 つは現像液用、もう 1 つは次亜硫酸ソーダ用です。いずれも最初に入れた溶液以外の溶液には使用しないでください。単一溶液現像液は、写真材料を扱うディーラーからどこでも購入でき、また次亜硫酸ソーダも販売されています。後者は結晶状になっており、写真乾板の箱に必ず同封されている処方に従って水に溶かす必要があります。

従って、必要なボトルは 2 つだけです。1 つは現像液、もう 1 つは次亜硫酸ソーダ溶液です。ここで、現像の準備ができたとしましょう。

少量の現像液を、ボトルに記載されている指示に従って冷水と混ぜます。この希釈溶液をトレイに注ぎ、フィルム側を上にして乾板をその中に浸します。もちろん、これは赤色灯の下で行います。トレイを数分間、静かに左右に揺らしていると、像がゆっくりと浮かび上がってきます。写真乾板を溶液に浸したまま、暗くなって画像がほとんど消えるまで置いておきます。その後、乾板を取り出し、きれいな水で洗い、次亜硫酸ソーダ溶液が入った別のトレイに入れます。

このとき、乾板の裏側はほとんど元の色と同じ明るい色ですが、次亜硫酸ソーダ溶液に 5～10 分浸すと色が消えて黒くなります。これで画像が現像され、定着され、日光の下に取り出すことができますが、乾燥する前に流水で約 30 分間洗浄する必要があります。流水が利用できない場合は、同程度の時間、きれいな冷水で洗浄します。この時、水は頻回に交換し、常に冷水を使用する必要があります。

この手順は、読んで想像するほど難しくはありません。数枚の写真を撮影後、15～20 分で X 線写真を作成し、現像、固定できます。これまで写真撮影の経験がない場合は、最初の X 線写真として重要な写真を撮影するのではなく、実際の作業に進む前に少し実験してみることを勧めます。基本的には非常に単純ですが、もちろん高品質の写真は経験によってのみ可能となります。

X 線撮影に最適な写真乾板は、フィルムが厚く塗布されたものです。これは、いくつかの有名メーカーが X 線用に特別に製造しています。現像液は良質なものであればどれでも使用できますが、一般的な作業、特にアマチュアには「Metol」現像液が強く推奨されており、筆者もこの現像液を使用してかなりの成果を上げています。フィラデルフィアの J. カーバット (J. Carbutt) の乾式現像液は、「J.C. タブロイド」として知られており、多くの人が推奨しています。

同社では X 線撮影用に特別に調製した写真乾板も提供しており、それぞれ個別に包装され、黒い紙で密封されています。これらはカーバット X 線乾板 (Carbutt's X ray plate) として知られており、正規の販売店から入手できます。