

OHP で演示できる電気工学用教具の研究 II

—基礎電気回路用教具—

遠 矢 守

The Teaching Tools to be Demonstrated by O.H.P.:

The Fundamental Principles on the Basic Electric Circuit

Mamoru TOYA

I. 序 言

学校現場における電気磁気学，電気回路などの授業においては，電気自体が直接目に見えることがないため理論のみの抽象的な授業になりがちである。このような際，授業に関連する内容の演示（教師）実験をしてみせることは，理論だけの授業に較べ，学生・生徒達（以下，学習者と呼ぶ）の理解を深め，かつ，彼等をもその学習内容に引きつける上で望ましいことである。このような観点から筆者は今までに，OHP が備えてあれば普通教室でも簡便に演示実験できる装置を開発（製作）してきており，実際の授業でも活用し学習者から好評を得てきている。^{(1)~(6)}

ここに報告するものは，エンジニアリングサイエンスからみた基礎電気回路を教授するための OHP 演示実験装置であって筆者がすでに発表したものを改良したり，あるいは，新たに開発したものである。すなわち，アラゴの円板，フレミング右手の法則，電磁誘導の法則，相互誘導の法則，キャパシタ充放電作用，自己保持作用などについて演示実験するための装置である。なお，これらは演示用のみならず個別あるいはグループ実習用としても使用可能である。

ところで，従来の自作教具の多くは現場教師の方々がいざ製作する段になると，その意志はあっても「材料が入手できない」「製作する時間がない」「費用がない」など現実的制約の他に「作るのが面倒だ」「理論学習だけでよい」などの消極的な理由で，なかなか自作されないことが多かった。しかし，本報に述べる装置は，その開発（製作）にあたっては以下に述べる設計理念で製作してあるので現場用に向いていると考えられる。すなわち，簡易自作教具の立場から，いずれも身の周りにある入手容易な部品・材料を利用しており，また特殊な工具を使用することなく初歩的工作技術で製作できるように考慮してある。さらに，学習者の学習意欲を喚起し学習内容の理解を助けるように，演示装置として基礎電気回路の基本事項をできるだけ適確に具現化するように考慮した。また，電気部品の中には実際に OHP で投影した場合，その部品の種別や極性が識別不能となることもあるので，この点は以下の本文に述べる方法で改善を施してある。

II. OHP 演示実験装置の製作と演示法

序言で述べた趣旨にもとづいて、いくつかの演示装置の開発を試みたのであるが、以下に、その個々の装置の開発意図、製作法ならびに演示法などについて順次述べていくことにする。なお、製作法のうち基本的（共通的）事項については文献（3）で述べてあるので省略する。

§1. アラゴの円板演示装置

〔開発意図〕

アラゴの円板は誘導型電動機の回転原理を理解するための重要な教材の一つであり、また、初めて学習する者にとっては磁石と無接触にもかかわらず電磁作用で回転するアルミニウム円板をみて興味を感じさせられる教材の一つでもある。

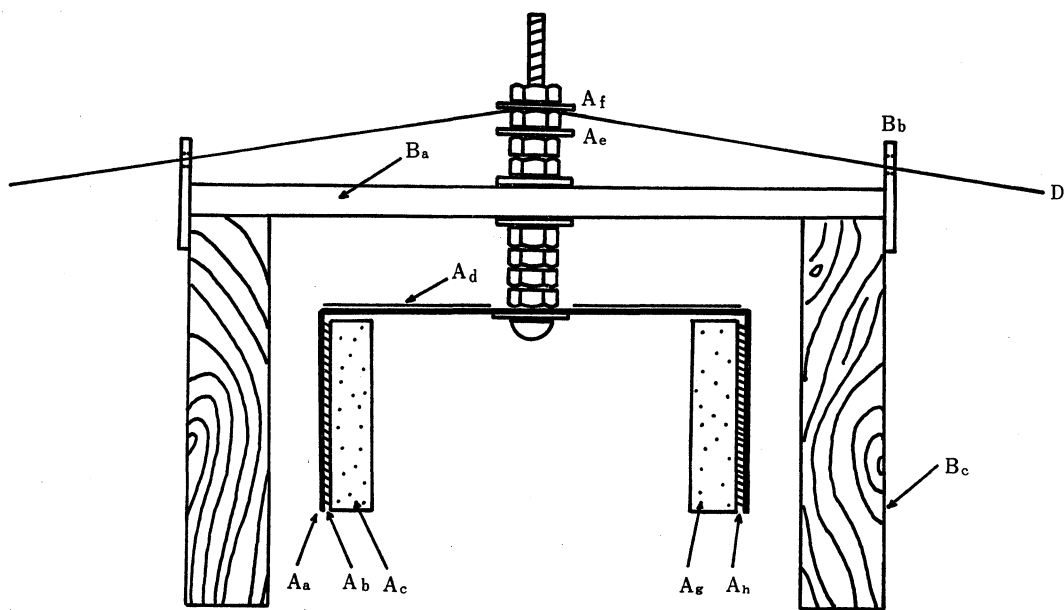
このアラゴの円板教具として市販されているものは、OHP で演示することは不可能であり、また、大型で持ち運びに不便なものが多く、自作教具に比べて高価である。しかし、最近強い磁力をもつ永久磁石も比較的安価で簡単に入手できるようになっているので、教師自らが自作してOHP 演示ができるようにした方が得策と考えられる。

OHP 演示可能なアラゴの円板教具としてすでに、筆者は文献（1）、（2）、（3）に述べたように順次改良を試みてきている。すなわち、第1のタイプとしては、磁石の回転数（回転磁界の速度）を増加するために手回しドリルを利用したもの、第2のタイプとして、手回しドリルをビューレット台で固定するもの、第3のタイプとして、カメラ用リリース・バネで磁石をリモートコントロールして回転させるものなどであった。

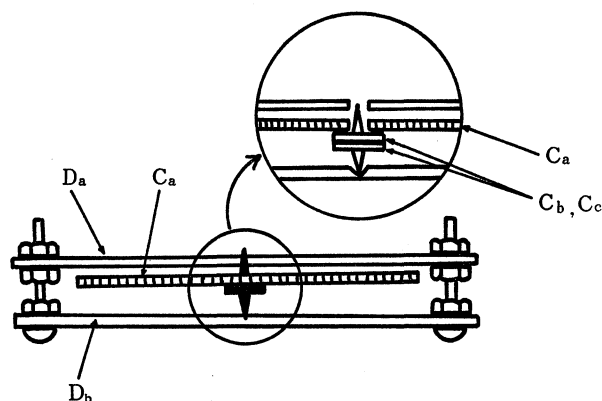
第1、第2のタイプのものは、ともに、製作の手数が非常に少なくすむが、演示する際の準備と技巧が必要であった。また、第3のタイプは準備と技巧は不要であるが、リモートコントロールするためのリリース・バネの機械的寿命の点と、磁石の着脱がやや面倒な点があった。そこで、製作が比較的簡単にでき、その演示も容易に、かつ効果的にできるように改良したのが本報の装置である。以下にその製作法を回転円板部、回転磁界部、遠隔操作部に分けて述べる。

〔製作法〕

（1） 回転円板部（図1（b）参照）としては、まず直径 80 [mm] ほどのアルミニウム円板 C_a を作る（なお、厚さは 1.0 [mm] 1.5 [mm] 2.0 [mm] でも大差なく、どれもほぼ同様にスムーズに回転する）。この円板の中心に直径 1 [mm] 弱の孔をあけ、この孔に画鋏 C_b , C_c を背中合わせにして瞬間接着剤で接着したものを、同図に示したように上記の円板の中心孔に入れて接着する。（なお、アルミ円板にはその回転状態がスクリーン上でも分かるように、数個の孔をあけて透明カラーテープを貼っておく。）このアルミ円板を次のような2枚の透明板で支持する。すなわち、上側の板 D_a は、磁石とアルミ円板との gap を小にするため、1 [mm] 厚の透明塩化ビニール板を用い、下側の板 D_b は、2 [mm]~3 [mm] 厚の透明アクリル板を用いる。



(a) 回転磁界部



(b) 回転円板部

図1 アラゴの円板

(2) 回転磁界部は、図 1(a) のように磁石を手動で回転させるための回転磁石部 A とこれの支持台 B とから成っている。支持台の脚部は前項で述べた回転円板部 (図 b) の枠の寸法に合わせて組み立て、これに回転磁石部 A を取りつけるようにする。支持台の亚克力板 Ba は 10 [mm] 位の厚いものが望ましく、一方、亚克力板 Aa は 3~4 [mm] 厚のものでよい。この板を、幅 10 [mm] 位の短冊状板にしてから同図に示したように「コ」の字型に加熱し折り曲げて作る。なお、これにカラーシート Ad を貼って磁石の極性を色表示できるようにしておく。

この「コ」の字型亚克力板 Aa に磁石 Ac, Ag を保持させるために、両者にマジックテープ (+ あるいは-の一对) をボンドで貼りつけておく (図の Ab, Ah 部分)。なお、このマジックテープによる方法では、回転によって磁石が離脱しそうであるが、アラゴの円板を回す程度の回転数位では確実に保持が可能である。こうすることにより、磁石の着脱が容易になり、磁石の多用途使用

(すなわち磁石が一对あれば、レンツ則、フレミングの法則などに共用)ができ、また、磁石の界磁が弱くなっても磁石の着脱磁器で容易にもとにもどせるなど便利な点が多い。

(3) 磁石を回転させるために図(a)のナット部分を手でつまんで回転力を与えるのでは、スクリーン上に手の大きな影が投影されてしまう上に、滑らかに継続する回転が得にくい。そこで、回転磁石部をリモートコントロールにより回転させるために、糸の摩擦力による方法を用いることにした。すなわち、2枚のワッシャ A_f, A_e 間にあるナット ($4\text{mm}\phi$) に糸 D (ダイヤル用糸あるいは、たこ糸) を巻きつけてから、糸の両端はそれぞれ支持台の穴 B_b に通す。こうすることにより糸のよじれることが少なくなり、スムーズに磁石を正転、逆転させることができる。また、支持台の脚部 B_c の底には、ビニールテープを貼っておけば糸の操作による支持台の OHP ステージ上での滑りをなくすことができる。なお、糸は細い上に、OHP のピントをステージ上に合わせてあるので、スクリーン上では糸はうすく投影されるのみである。

〔演示法〕

まず、回転円板部 (図 b) の実物を学習者に提示したのち、これを OHP ステージ上にのせ、円板がその枠に独立して自由に回転することを示す。次に、回転磁石部 (図 a) の実物を提示したのち、ステージ上にのせ、磁石を装着してから糸の操作で磁石を回転させる。このとき、OHP 用磁針 (あるいはオリエンテーリング用透明型磁針) を磁石 A_c, A_g 間に置くと、回転磁界の概念を演示することができる。

次に、この OHP 用磁針の代わりに、回転円板部 (図 b) をはめこみ、糸の操作によって磁石を回転させるにつれて円板はゆっくり同方向に回転を始める。糸を反対方向に動かすと磁石を直ちに逆転し、円板も逆方向に回転を始める。

このように演示すれば、回転磁界の同期速度に対してすべり S をもって回転する誘導電動機の回転原理を OHP 上で実験することができるし、さらに、上述の OHP 用方位磁針を用いれば、同期速度で回転する同期電動機の原理も合わせて演示できる。

アラゴの円板演示装置の外観を写真 1 に示し、その OHP での投影状態を写真 2 に示す。

§2. フレミングの法則演示装置

〔開発意図〕

フレミング左手の法則 (以下、左手則と呼ぶ。)、および、フレミング右手の法則 (以下、右手則と呼ぶ。) を実験をするための教具は、市販品も自作教具も少なからず見受けられるが、OHP 演示可能なものはなかなか少ないようである。そこで、筆者は左手則については文献 (1) (5) (6) で、すでに述べたように、OHP 演示可能なものへと開発と改良を試みてきており、文献 (5) (6) で述べた縦軸型のものは、自作が極めて容易であり、しかも、演示の操作性、演示の効果も、ほぼ満足

できる所まできていると考えている。

しかし、右手則用教具となると、その誘導起電力 e は Blv 則より分かるように極めて微小であるため、OHP 演示用の VU メータ ($\pm 50 \sim \pm 100 \mu A$) でもその指針を振らすことはできない。(すなわち、序言で述べたように入手容易な材料部品を用いて VU メータの指針を振らせるとすれば、永久磁石の発生する磁束密度 B の大きさに限界があるし、また、導線の長さ l も OHP ステージ上での演示という点で大きさの限界があり、さらに、導体を動かす速度 v にも限界がある。) なお、導体をコイル状にして数百回巻けば、VU メータの指針を振らすこともできるが、スクリーン上ではコイルが一様な黒い影となってしまう学習者にとってはコイルであるという印象が得られにくい。さらに、コイルを巻いたのでは、一般の教科書に載っているような説明図(すなわち磁界中に直線状導体を移動して、その直線状導体の起電力の発生方向を示している)と異なり右手則をそのまま具現しているものでない。現実の教具を原理・法則や実物機器などに、より結びつきやすいものに近づけることが教具として必要条件の一つでもあるので、この教具としては導体はコイルでなく、直線状導体であることが望ましい。

しかし、一本の直線状導体ではその誘導起電力は極めて微小であるので、直流増幅器で増幅して VU メータの針を振らせる必要がある。ところで、市販の直流増幅器は高価であり、また、OHP 用に製作されているわけでもない。また、教具として OHP 用メータ(検流計を含む)が最近市販されるようになったが、そのメータ自体の占める底面積で OHP ステージの大部分を占有してしまい都合が悪い。なお、OHP を 2 台用いれば演示は可能ではあるが、教室では OHP は普通 1 台しか常備されておらず、また OHP が 2 台では装置全体として大がかりなものとなってしまう序言で述べた簡易性を満足しない。そこで、高感度増幅器を内蔵し、かつ、底面積を広く要しない検流計(高感度 OHP 用センターメータ、以下 OP 型メータと呼ぶ)が必要となる。この OP 型メータおよび関連部品の製作法を以下に述べる。

〔製作法〕

(1) メータ本体は、文献(2)(3)で述べたように価格や加工性の点で有利である VU メータ(ここでは、零目盛が中心にあって左右に両振れするものを選ぶ)を利用する。まず、メータの目盛板の裏面のプラスチック板を金鋸あるいはプラスチックカッターなどで切り取り、図 2 に示すように、そのあと同寸法の透明アクリル板 A をはめこみ、セロハンテープなどで固定しておく。なお、あらかじめ指針 G には OHP 用カラーテープを貼っておくとスクリーン上では、細い指針が拡大投影されるし、また、影絵部分が多い中で色表示されるのでその投影効果が改善される。ここで、このカラーテープが指針からはがれてしまうことも考えられるので、そのためには透明板 A をメータ本体 B に接着しないでセロハンテープで半固定する方がよい。なお、指針が比較的太い VU メータを選べば、このメータに電氣的過負荷、静電気の影響、機械的ショック、テープの変質にも充分耐えて、カラーテープが指針からはがれてしまうことはない。

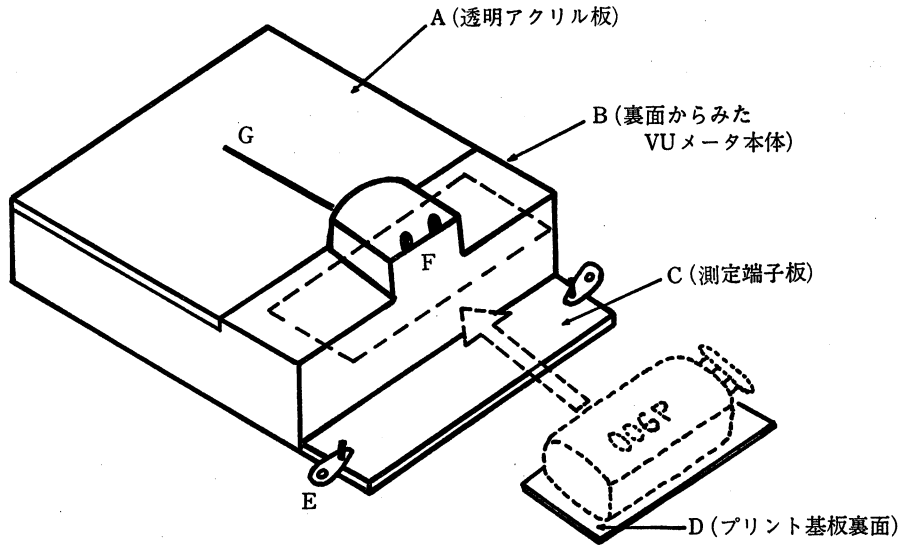


図2 OP型メータ

(2) 次に、直流増幅器を製作するのであるが、この増幅器はOHP 演示用としてできるだけ小型にする必要があり、また、現場教師でも製作が容易であるようにその回路は単純なものであることが必要である。加えて、直流増幅器としてドリフトが少なく、安定に動作し、また、比較的安価に作れることが要求される。

この目的のためには広く安価で市販されているOP アンプ（オペレーショナルアンプ）を利用すればよい。そこで、これを用いて図3に示した反転型直流増幅回路をできるだけ小型のプリント

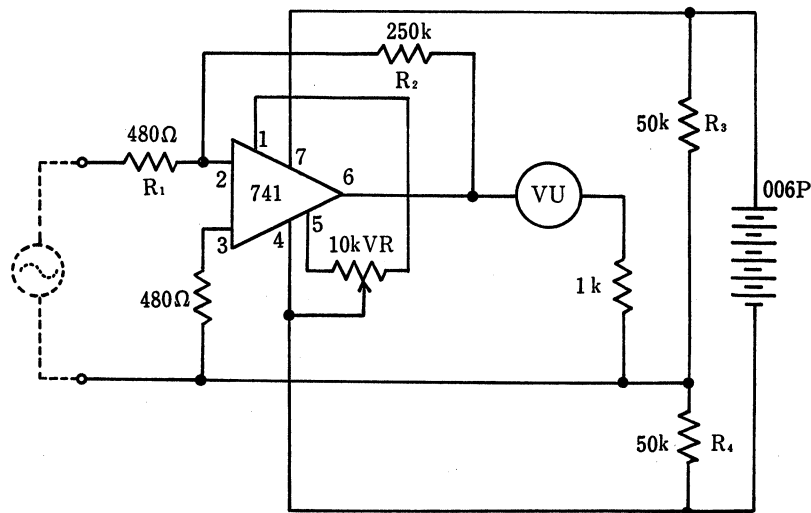


図3 OP型メータ増幅回路

基板に配線する。この直流増幅器の増幅度は近似的に2個の抵抗の比 R_2/R_1 で与えられるが、ある限度以上に増幅度を上げると発振してしまい安定動作が得られなくなる。また、OP アンプの場合、一般の使用法としては、+と-の2電源が必要であるが、図3に示したように抵抗 R_3, R_4 で電圧を分割した単一電源方式でも十分に直流増幅器としての機能を果している（設計法については

たとえば文献 (9) (10))。

(3) 図2に示すように、この直流増幅器を組込んだプリント基板 D を (1) で製作した VUメータ B に点線で示した位置に接着 (あるいはマジックテープで着脱自在と) する。その上にビニールテープを巻いた 006 P の乾電池を着脱自在できるようにマジックテープで半固定とする。次に、不透明板 C をメータ本体 B に接着して、これに卵ラグ E をビスナットじめして、この OP 型メータの測定端子とする。測定端子にはその極性に依じて、二色の OHP 用カラーボードを貼りつけておくと、スクリーン上でも端子の極性が分かりやすくなる。

なお、プリント基板の出力線と VU メータの端子 F との接続は、指針の振れの方向と図2の端子 E の極性を考慮して決める必要がある。

(4) 次に、短冊状 (5 mm×250 mm×1 mm) のアルミ板を図4のように折り曲げて取手部分 A

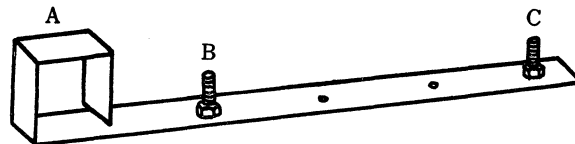


図4 OHP用直線状導体

を作り、また 2 mmφ のビスナット B, C で測定端子の代用とする。この直線状導体の測定端子 B, C と OP 型メータ端子とを接続するためのリード線は、適切な長さに切断して、その両端には小型のみの虫クリップをハンダ付けしておく。なお、みの虫クリップのビニールカバーは、スクリーン上での影絵部分の面積を減らす意味で、取り除いておいた方がよい。

〔演示法〕

まず、U 型磁石の実物を学習者に提示したうえ、これを TP シートの敷いた OHP ステージの上部中央 (図5 A₂) に置き、磁界の方向がスクリーン上で ⊙ 方向であるか ⊗ 方向であるかを OHP ペンで明示する。次に、直線状導体 B の実物を学習者に提示してから、これをステージ上に置いてリード線で OP 型メータと接続し、そのスイッチを閉じる。

導体が静止したままであれば、メータの指針は中央の零点にあるはずであるが、そうでない場合はボルウム VR で零位調整をする。このあと、直線状導体 B を U 型磁

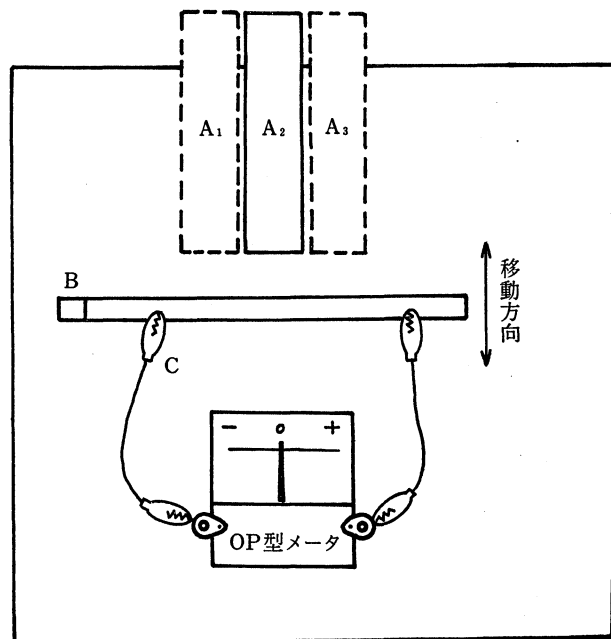


図5 部品配置図 (右手の法則)

