

OHP で演示できる電気工学用教具の研究 I

—特に電動機について—

梅 沢 守

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

The Fundamental Principles on the Electric Motors

Mamoru UMESAWA

I. 序 言

電動機について効率よく教授学習するためには種々の方法があると思われるが、大学家庭科における「家庭電気」あるいは中学校技術科における「電動機」学習の場合、限られた時間内では定性的な説明に終始せざるをえない。このような場合、電動機の構造や原理を具現し得る電気用教具（ここで「教具」は狭義で説明実験器あるいは説明用模型に限る）を利用して、教師による演示実験または学生（生徒）による実験（製作）を加えることの効果は否定できない。現に、理科教育用または技術科用として、多くの電気用教具が開発され市販されてきている。しかし、市販機器は実際には取扱い上で問題があったり、価格の点などで一般に広く利用されていない。

これに対して、自作教具は外装をはじめとして体裁など外観の点で劣るが、不完全な教育環境設備の改善¹⁾や自作教具特有の教育効果を期待できるものである。筆者も自作教具が広く活用されることを望む者の一人であり、また、上記の電動機説明用教具の必要性から、本報で述べる自作教具は

- (1) 教具としての必要条件を満足していること。
- (2) 極めて簡易に製作できること。
- (3) 教授学習上の効果のために、かつ、運用上の便宜（たとえば、磁石のような部品の共用および保管）のために、分解組立が容易にできること。
- (4) 学生（生徒）実験のみならず、OHP 技法の一法であるシルエット法²⁾を利用して、比較的多人数の場合でも、OHP ステージ上で演示実験できること。なお、(3)の分解組立が容易なことから、OHP 技法の表出法²⁾も利用できること。

などの点を考慮して製作に当たった。

* 1975 年 10 月 21 日 受理

II. 電気用教具の製作について

序言で述べたように、自作教具も、教具としての必要条件を満足するように製作することが必要である。すなわち、その教具が原理・法則を的確に具現し、かつ、実物との違和感が可能な限り少ないこと。さらに、教具（とくに可動部分）の大きさや配色などのバランスを考慮して、学習者の心理的負担を与えないこと¹⁾などである。

また、自作教具として簡易に製作可能とするために、その部品・材料は安価で入手しやすいものとし、その構造も教具としての条件を具備しつつ簡略化し、かつ、その加工・組立も短時間に完成できるようにした。

さて、一般に身近で多く使用される電動機は、単相整流子電動機および単相誘導電動機（分相型、コンデンサ型、くま取型）である。これらの電動機の回転原理を定性的に説明する場合、右ねじの法則／電磁誘導の法則（レンツの法則およびファラデーの法則）／フレミング左手の法則／アラゴの円板／回転磁界／などについての知識が前提条件である。したがって、これらの原理・法則を具現する電気用教具が必要となり、上に述べた趣旨のもとに製作した。以下にそれらの概要を示す。

§ 1. 右ねじの法則説明器

電流が作る磁界の方向は、その導体が直線状の場合は右ねじの法則で、また、コイルの場合は右ねじの法則あるいは右手親指の方法で決定できる。本報の説明器は学生（生徒）実験用のみならず、OHP でも演示実験用として使用が可能であるように以下の如く製作した。

まず、磁針は方位用磁針を利用し、その磁針には OHP スクリーン上でも磁針の極性が判別できるように OHP 用色テープをはる。磁針の支持台は写真 1 の如く、無色透明アクリル板、ビスナット、画鋲を用いて組立てる。次に導体が直線状の場合とコイル状の場合のそれぞれについて、導体支持台をアクリル板で作る。とくに後者の場合、アクリル板で筒を作り、これにビニールリード線を 3～4 回巻きつける。この時、リード線の両端付近のみ筒に接着固定すれば、OHP ステージ上で、筒の向きと方向が左右されない。

実際に OHP で演示する際は、OHP の焦点をステージ面上でなくコイルの天井部に合わせると、写真 2 の如く、スクリーン上でもコイルの巻方向が判別できる。さらに電池の極性も、OHP 用カラーボードで作製した $\oplus\ominus$ 表示板で判明するので、シルエットでありながらスクリーン上でも、右ねじの法則あるいは右手親指の方法を演示的に説明することができる。

§ 2. 電磁誘導の法則説明器

電磁誘導の法則にレンツの法則とファラデーの法則があるが、本報の説明器は次のようにして OHP 演示を可能とした。

誘導電流を OHP スクリーン上でも演示可能とするために、写真 3 のような OHP 用検流計を製作する。これは市販されているマイクロアンメータ (HIOKI 65 m/m 型 DC $\pm 100\mu\text{A}$) の外箱裏面部分を除去し、この部分を透明アクリル板で覆い、計器駆動部および指針を保護する。目盛板は TP シートに複写し、アンメータのガラス部に接着する。次に、コイルはプラスチックの円筒数本に、それぞれ巻回数を変えて絶縁電線を巻きつける (ここでは巻回数は 7 回, 70 回, 700 回, 絶縁電線は 0.5 mm ϕ PEW 線)。このコイルの巻方向を OHP で提示するために、TP シートに巻方向を手書きしておく。

実際のスクリーンの投影状態は写真 4 に示すように、検流計は実物に近い感じが得られる。また、棒磁石の極性が OHP 用ボードで色別でき、また、コイルの巻方向もスクリーン上で判別できるので、誘導起電力の方向や大きさについて、OHP 演示実験が容易にできる。

§ 3. フレミング左手法則説明器

フレミング左手法則説明器は、理科用教具として既にあり、次のように分類できる。すなわち

- ①ブランコの動き (又は、電線のレール上の滑走) として、
- ②電解液 (硫酸銅) に電流を流して、電解液の動きとして、
- ③バルロウの歯車の回転として、

磁界中の導体の運動方向を観察する種々の方式がある^{3,5,7)}。この中で①の方法として、ひの形状に成型した導線を、ナットを噛んだみの虫クリップで支持し、これを磁界中に入れて、導体の運動方向をみる方法が、最も手軽と思われる。

しかし、この方法では OHP 演示実験する場合、導体の振れが「小」であることに加えて、導体が「振動」してしまうので、スクリーン上で観察する場合、導体に働く力の方向が明確でない。そこで写真 5 のように導線を縦軸型とすると、上記の欠点が解消される。さらに、磁極および電池の極性を OHP 用カラーシートで色別し、導体支持台の天井部に OHP の焦点を合わせると、写真 6 のように、磁界、電流、力の方向がスクリーン上でも判別でき、フレミング左手の法則を OHP で演示実験することができる。

§ 4. アラゴの円板実験説明器

アラゴの円板実験説明器には、市販品もあり⁸⁾、自作教具^{1,5)~11)}も種類が多い。これらに対して、本報の説明器は次のように製作している。

まず、回転磁界発生部としては、「コ」の字型のアルミ板に棒磁石 (N.K.S. 鋼、長さ 40 mm) を輪ゴムで半固定する。これを手回しドリルで回転させれば、アラゴの円板を連続回転しうるだけの回転速度が得られる。次に、直径 80 [mm] ほどのアルミ円板 (厚さ 1.5 [mm]) を作り、この中心に画鋲 2 個を背合わせに接着し、写真 7 のようにアクリル板で支持させる。なお、スクリーン上で回転状態が分かるように、円板中央部には穴をあけ、OHP 用色テープを貼っておく。それでも円

板は充分回転できるが、回転力の増加を比較するために、4 極の回転磁界発生用の磁石支持台と磁気回路用の鉄円板を作製しておく。

以上のようにして製作した本報の説明器は次の特長をもっている。すなわち、

- (a) OHP 演示も可能である。
- (b) 製作が極めて容易である。このことは、ベルト車、はずみ車、電動機が不要で、回転磁界発生部と回転子部が分離しているからである。
- (c) したがって、磁石と回転円板部間の gap 長を変更でき、gap 長に対する回転力の影響をみることができる。
- (d) 磁極数も増減でき、磁界に対する回転力の影響をみることができる。
- (e) 取扱い、及び運用上の点で優れている。すなわち、磁石が簡単に着脱できるので、磁石の保存や他の教具への共用の点で便利である。また、回転子を水に浮かべる方法や、糸でつるす方法と異なり、取扱いが容易で回転磁界以外の影響で回転することはない。

本報の説明器は以上の特長をもつ反面、回転円板部と磁界発生部が分離しているため、両者の回転軸の一致および gap 長を一定に保つことが困難である。(しかし、手回しドリルの取扱いに慣れてきたり、また、OHP ヘッド部分を支持として利用すれば、磁石部分を滑らかに回転させることは容易である。) また、アラゴの円板が回転している時の OHP 投影像を写真 8 に示すが、回転円板および磁石以外にも、手回しドリルの取手部分(人間の手を含む)が影絵として投影されてしまう。しかし、アラゴの円板を回転させている時は、取手部分も回転状態にあり、かつ、コントラストもあるので、円板部と区別でき、演示上の支障は少ない。

§ 5. くま取電動機説明用模型

§ 2～§ 4 の実験が終了すれば、移動磁界について説明ができ、くま取型誘導電動機の回転原理も説明が可能となる。くま取電動機の模型としては、釘数本にコイルを巻く方法⁸⁾やトランスのコアを利用して実物と相似に作る方法⁴⁾が行なわれている。

これらに対して、本報の説明模型は次の点で異なる特長をもつ。すなわち、OHP 演示可能であり、製作が容易で、かつ、くま取コイルを磁極から簡単に装着および除去できる。したがって、回転子の正転・逆転の様子が OHP で演示可能である。

以下に、このくま取電動機の固定子、回転子および電源盤の製作法を示す。

まず、固定子としては、写真 9 のように、洋折釘(90 m/m × 5 m/m) 2 本をたばね、絶縁をほどこしてから絶縁電線を 230 回程巻きつける。さらに、絶縁電線で短絡コイルを電線の径・巻回数を変えて数種作る。

次に、回転子はアルミパイプ(外径 45 m/m, 内径 41 m/m) を用い、その一端は OHP 用カラーボードでフタをし、そのボードの中心に画鋲を接着する。回転子支持台は § 1 と同様に製作する。ただし、ビスの先端にはピボット軸受形式の穴をあけておく。

最後に、電動機模型の入力電圧状態がスクリーン上でも判明するように、OHP 用電圧計および電源盤を作る。OHP 用電圧計は §2 の検流計と同様にして製作する。ここでは、市販のパネルメータ (KUWANO 55 m/m 型 DC 20 V) を整流器型の OHP 用 AC 20 V 用に改造してある。なお、この電圧計は電源盤から着脱自在で、以下の分相型電動機および整流子電動機の場合でも共用できる。

くま取電動機の回転状態の OHP 投影像を写真 10 に示す。なお、OHP ステージ上での回路組立作業も示すことができ、電源入力状態も電圧計で読み取れるので、短絡コイルの効果（移動磁界の発生の有無および方向）を OHP スクリーン上で容易に演示説明することができる。

§ 6. 電池利用の回転磁界説明器

対称二相交流による「回転磁界の発生」についての実験説明器は、市販されているものもあるが、本報の説明器は、回路盤を磁極部と電源部に分離し、かつ、小型・簡略化して OHP 演示実験を可能とした。さらに、磁極配置も実物のそれと近似させている。

製作法については、磁極部（回転磁界発生部）、二相交流電源部の順に述べることにする。まず磁極部であるが、無色透明アクリル製のブロック（大きさ：30 × 20 × 15 m/m）に、コイルを巻いた釘 2 本を挿入して磁極を作る。ここで、主巻線コイルは、0.5 mmφ PEW 線 72 回、補助巻線は 0.3 mmφ 82 回である。また、ブロックにはコイルの巻方向を油性ペンで図示しておく。そして、写真 11 の右部に示すように、磁極ブロック 4 個の中央部に、発生した回転磁界の方向をみるための「磁針」（§1 の磁針を共用）を置く。磁針は画鋏で支持させるが、その針先はつぶしておかなければならない。これは、磁針を外部磁界に対して無定位にするためである。そして、ブロックと支持台をアクリル基板にビス止めし、回路を結線する。

次に、電源部は、アクリル板に対称二相交流波形をえがき、すずメッキ線・押ボタンスイッチ及び単 3 電池を用いて、写真 11 の左部分のように組立結線する。なお、磁極部との接続は図示された正弦波形部分に出力端子を設けてある。なお、主巻線・補助・共通回路部分を OHP 用色シートで色別して、シルエット法の欠点である色彩に対する単調性を補う必要がある。

実際の OHP 投影像は写真 12 に示す。押ボタンスイッチをアクリル板の指示棒で順次押していくにつれて、磁針が回転していき、回転磁界発生についての演示実験ができる。なお、押ボタンスイッチを離しても、磁針は地球磁界に影響されずに、その位置に保持されたままであり、これは演示説明する際便利である。

§ 7. 抵抗分相型誘導電動機

単相誘導電動機の説明模型としては、市販品及び自作器を含めて次のような形式がある。

(1) 主巻線コイルと補助コイルが互いに直交するように配置されている形式。

市販品にはこの形式のものが多く、自作も比較的容易であるが、現実の電動機の構造とはかなり

異なり、原理と現実とを結びつけにくい¹⁾。

(2) カットモータ及び分解組立モータのように、実物（または、それに近い）の電動機を教具化した形式⁴⁾。

内部構造が分かりやすく、実際に回転し得る機種もあるが、自作が簡単ではない。また、原理説明のためには、やや不便な点がある。

(3) EI 型けい素鋼板（あるいは亜鉛鉄板など）を加工の上成層して、固定子や回転子を作る形式⁴⁾。

現実の電動機構造に近づき、回転原理もかなり具現しているが、成層する必要があるために、実際の製作には手数がかかる。

(4) (1)の形式の空心コイルを、主コイルおよび補助コイルの各々2個ずつにして、現実の電動機のコイル配置に近づけた形式。

配置以外にも優れた点が多いが、このままでは OHP 演示が可能ではない。何故ならば、商用電源 100 [V] で回転させるために、コンデンサと発熱体（または電球）が必要であるが、これらは OHP ステージ面にとっては大型で、投影像に影絵部分の面積が広くなるため得策とは言えない。

一方、これらの形式に対して、本報の説明用模型は抵抗分相型誘導電動機で、以下に示す特徴を持っている。すなわち、

(a) OHP 演示可能。

(b) OHP の表出法を利用し、組立結線しながら説明できる。（しかし、組立・分解が容易にできる反面、基板に固定できないため取扱いに注意を要する。）

(c) 本来、抵抗分相型であるが、コンデンサラン型としても使用できる。ただし、コンデンサと発熱体のために、OHP 演示はできない。

(d) 安価で簡易に製作できる。

さて、回転子とその支持台はくま取電動機のを共用するので、以下には固定子側の製作法のみについて述べる。（写真 13 参照）

固定子の磁極は、ボルト (15 × 30 m/m) あるいは釘 20 本を束ねたものに、絶縁を施した上でコイルを巻きつける。ここでは、主巻線は PEW 線 0.5 mmφ 230 回、補助巻線は 0.3 mmφ 200 回とした。各コイル間およびコイル・電源間の接続方法は、PEW 線をリード線として、かつ、衣服用スナップをコネクタとして代用する。なお、主巻線回路ならびに補助巻線回路は OHP 用カラーボードで色別表示し、アクリル基板にはコイルの巻線方向も図示しておく。

当説明用模型の、運転時における OHP 投影像は写真 14 に示す。磁極鉄心が4個のために、スクリーン上で影部面積が広がる。しかし、実際に使用する場合、OHP 表出法を応用して、模型を組立て（結線し）ながら演示できるので、特に支障とはならない。また、スナップをコネクタの代用としているので、影部面積を減少できる。また補助巻線を逆極性に結線変更すれば、回転方向の逆転についても演示説明することができる。

§ 8. 整流子電動機の説明用模型

整流子電動機の説明用模型としては、市販器²⁾、自作器^{1,3)}ともに種類は少ない。本報の説明用模型は OHP 演示可能であるように、次の如く製作した。

まず、固定子は分相型電動機のを共用する。ただし、0.5mm ϕ PEW 線、230 回の界磁とする。回転子は写真 15 のように製作する。すなわち、丸棒（木製、15mm ϕ \times 40 m/m）に 整流子片の代用としてのアルミ缶用鋼板を接着し、さらに、回転子磁極の代用としての釘（35 m/m）6 本を差し込む。この磁極に 0.3mm ϕ PEW 線を 100 回 + 100 回ほど巻いて界磁コイルとし、その端子を整流子片にハンダづけする。その上で、整流子片と同じ材料でブラシを作り、このブラシと回転子の支持台をアクリル板で作成する。なお、回転子軸は画鋸で代用している。

次に、整流子電動機が回転している時の、OHP 投影像を写真 16 に示す。ブラシ、回転子コイル、入力電圧値がスクリーンに投影されている。また、OHP ステージ上で、回転子の結線を逆極性にすると、逆転することも簡単に演示できる。さらに、交流電源の代わりに直流電源を印加しても回転させることができるので、整流子電動機が交直両用であることも演示できる。

III. 結 言

右ねじの法則、電磁誘導法則、フレミング左手法則、アラゴの円板、回転磁界の発生、くま取型電動機、分相型電動機及び整流子電動機らの説明実験器（模型）を、序言で述べた趣旨のもとに製作してきたが、各実験器とも一応の目的は達せ得たと考える。

これらの説明実験器は、本来、演示実験用もしくは学生（生徒）実験用として作られているが、時間や経費などの条件が許されるならば、これらを製作実習することが望ましい。事実、実際に製作実習を行った場合、種々の工夫をこらさないと十分な回転力が得られないものである。すなわち、この点で一般によく言われる「作ることによって考える。考えることによって作りかえ、また考える」の教育上の効果が期待でき、これらを実現させるためにも、これら機器の製作法の簡易性はぜひとも必要な条件の一つであると考ええる。

一方、本報のものは OHP でも演示実験が可能となっているが、実際に演示した場合、磁極や回路リード線などの基板に固定された部分は影絵となり、実物でない影絵としての限界があることは否定できない。しかし、この反面、比較的多人数の前で演示する場合、単なる演示実験よりは OHP 演示の方が、計器の指針や回転子などの可動部分がスクリーン上で拡大投影されるので、表出法を応用すれば演示上の効果はあると考える次第である。

参 考 文 献

- 1) 河原：「教具に関する一考察」（科学技術教育 1974/1）学窓社
- 2) 大野・宮田：オーバーヘッド・プロジェクター 明治図書

- 3) 山川：新しい理科電気実験指導書（上）東京電機大学出版部
- 4) 山川： " (中) "
- 5) 中込： " (下) "
- 6) 畑・古川：「OHP 用デモンストレーション装置」（電子通信学会教育技術研究会資料 E-68-10 1968/10）
- 7) 梅村：技術・家庭科電気製作集 誠文堂新光社
- 8) 荒井・小島：電動機（技術家庭科教室）誠文堂新光社
- 9) 産業教育連盟：電気の学習(1)
- 10) 稲田：技術家庭科電気教室 誠文堂新光社
- 11) 神戸市教育委員会：電気指導資料（第3学年）1969
- 12) 理科教育センター研究協議会：研究集録第II集（昭和48年度）
- 13) 小池：「最近の技術教育の動向と問題点＜電気学習＞」（技術教育 1975/8）国土社
- ∞) 製品カタログ及び取扱説明書（教育用電動機関係のみ）
 - a. 三樹産業 b. 島津理化学器械 c. 中村理科工業 d. Feedback Instruments e. 明和電設工業 f. 理科学機械製作所 g. 精工社製作所 h. 旭電機製造 i. 東栄電機製作所 j. 八神理科器販売 k. 大谷工業 l. 日本教材 m. キトウ n. 金子科学精機 o. スター教材 p. 小山産業

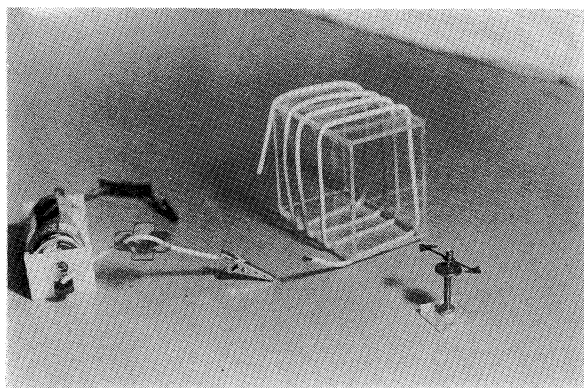


写真 1

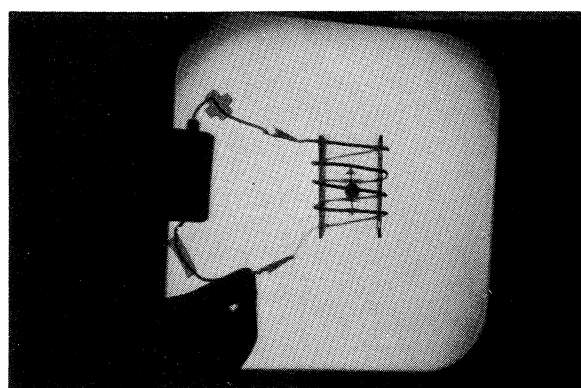


写真 2

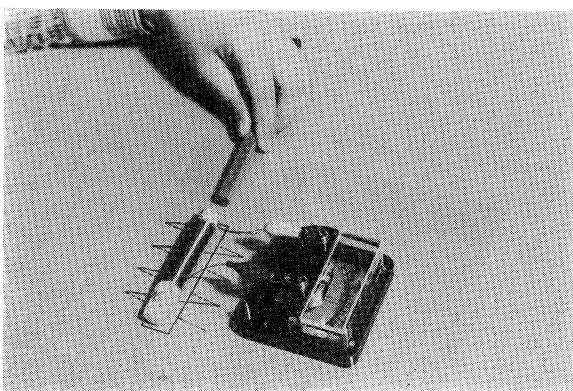


写真 3

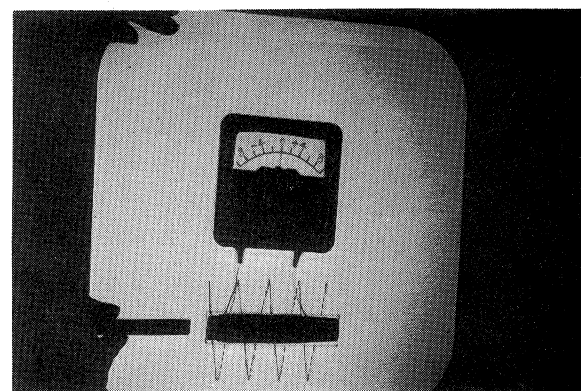


写真 4

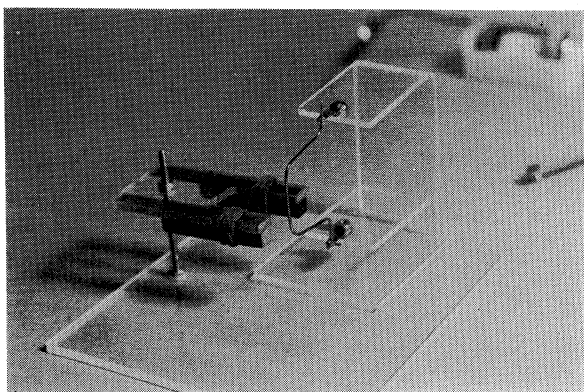


写真 5

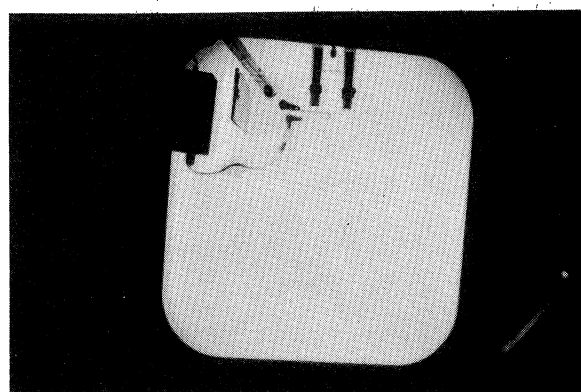


写真 6

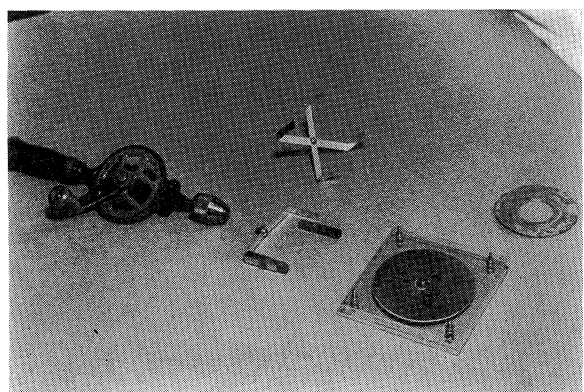


写真 7

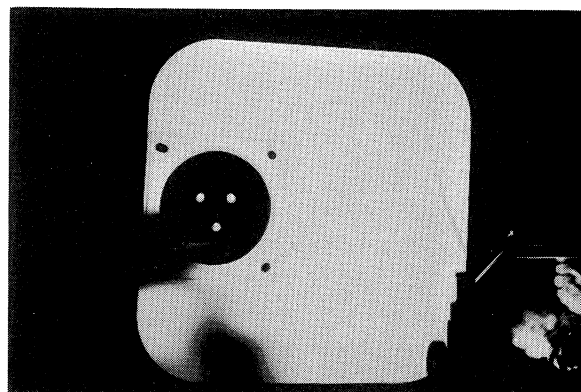


写真 8

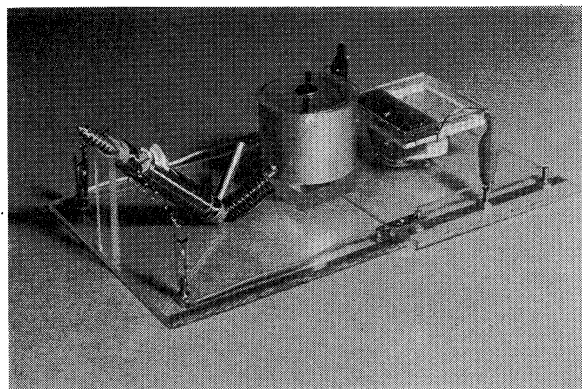


写真 9

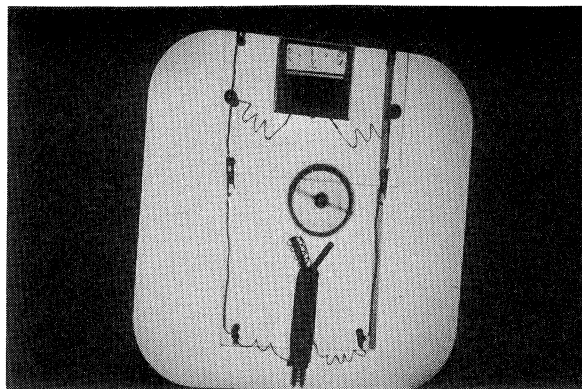


写真 10

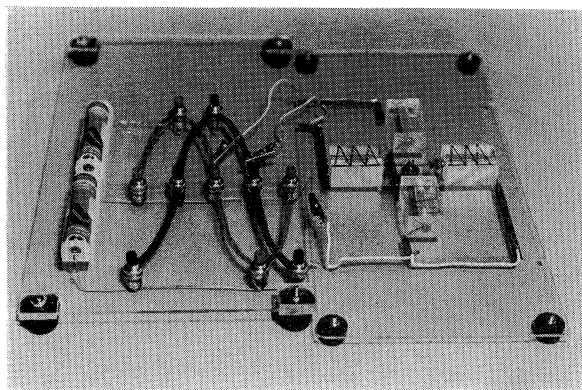


写真 11

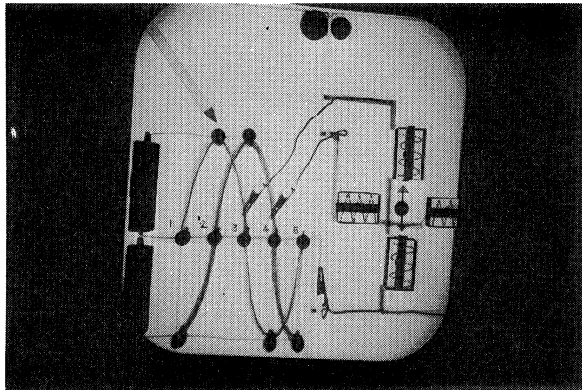


写真 12

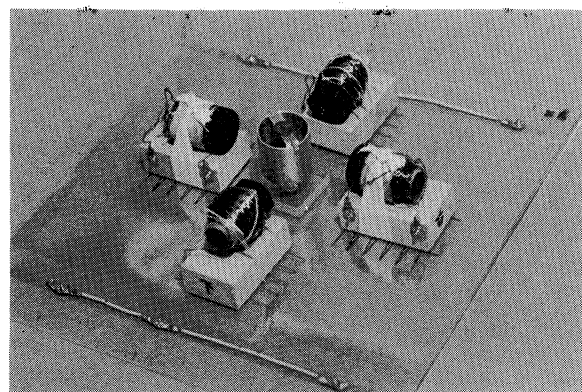


写真 13

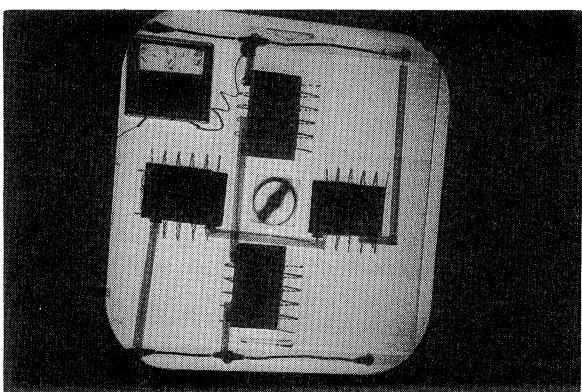


写真 14

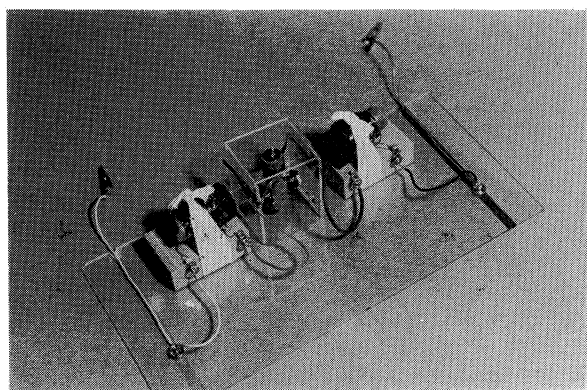


写真 15

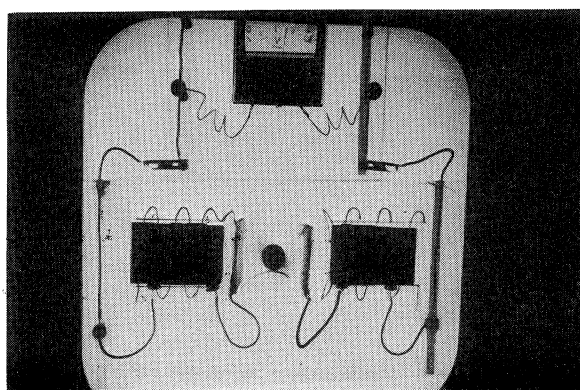


写真 16