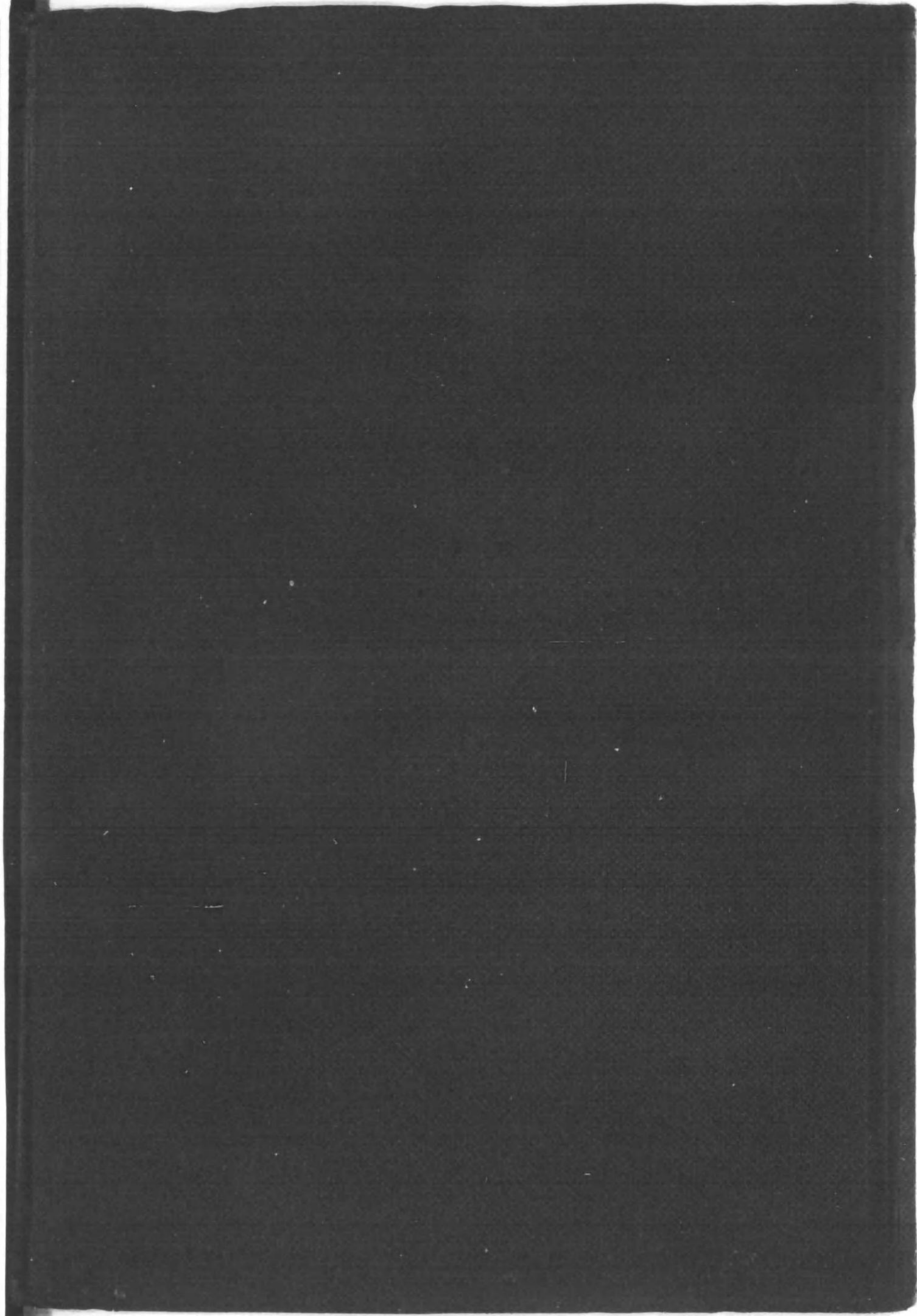




始



特 225
283



電 氣 磁 氣

及

測 定

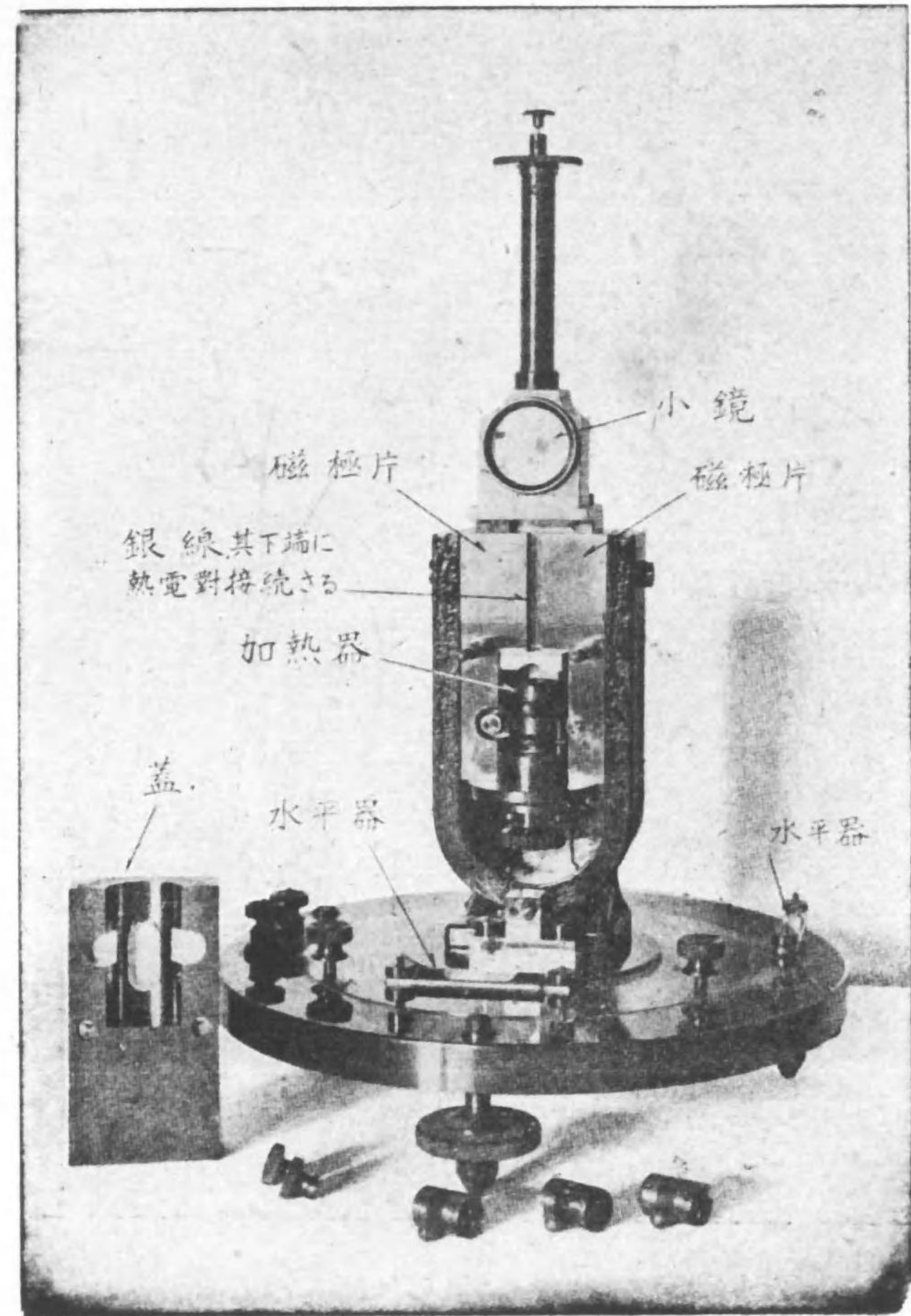
電機學校編



初等電氣工學叢書第一卷

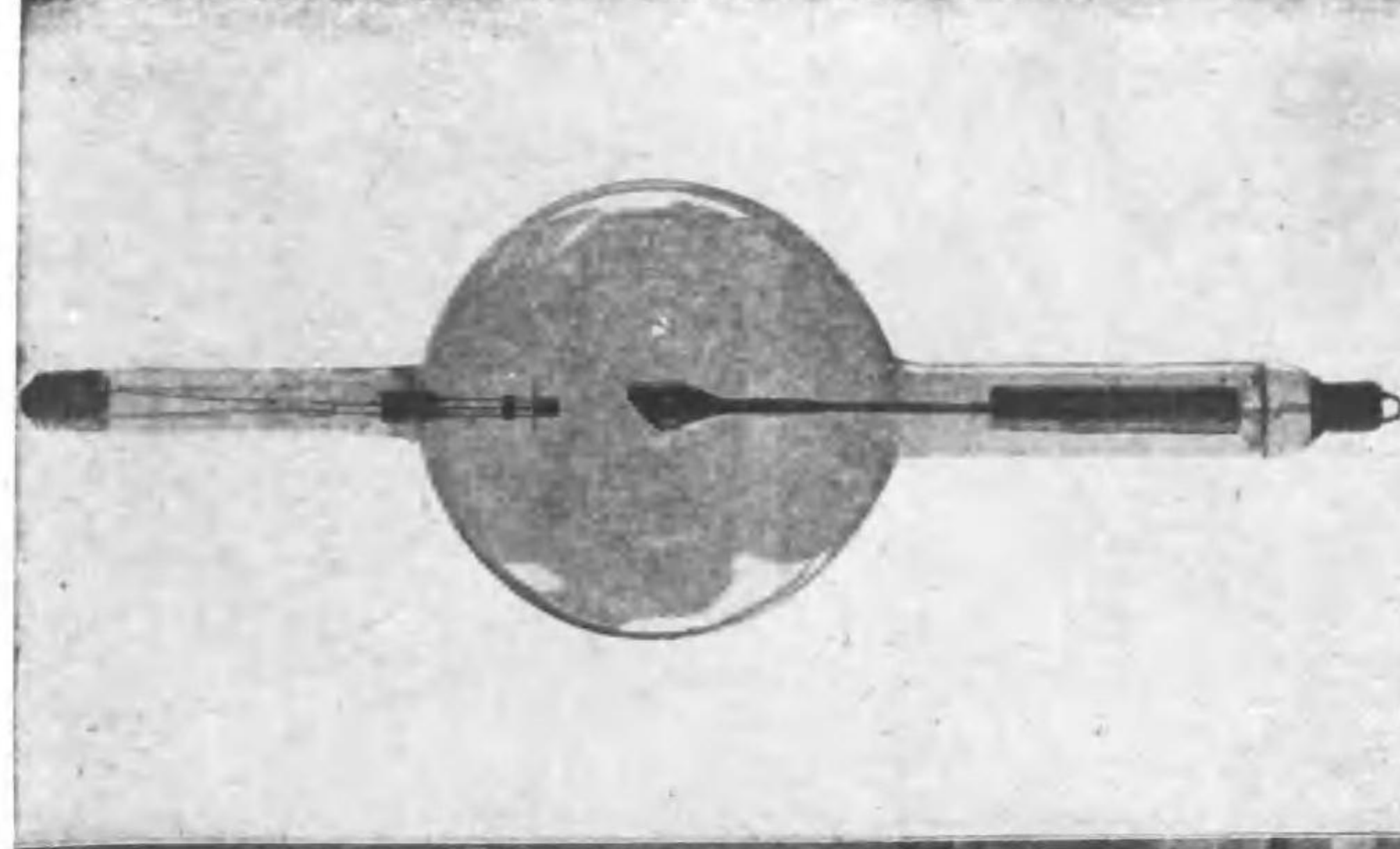


熱 檢 流 計

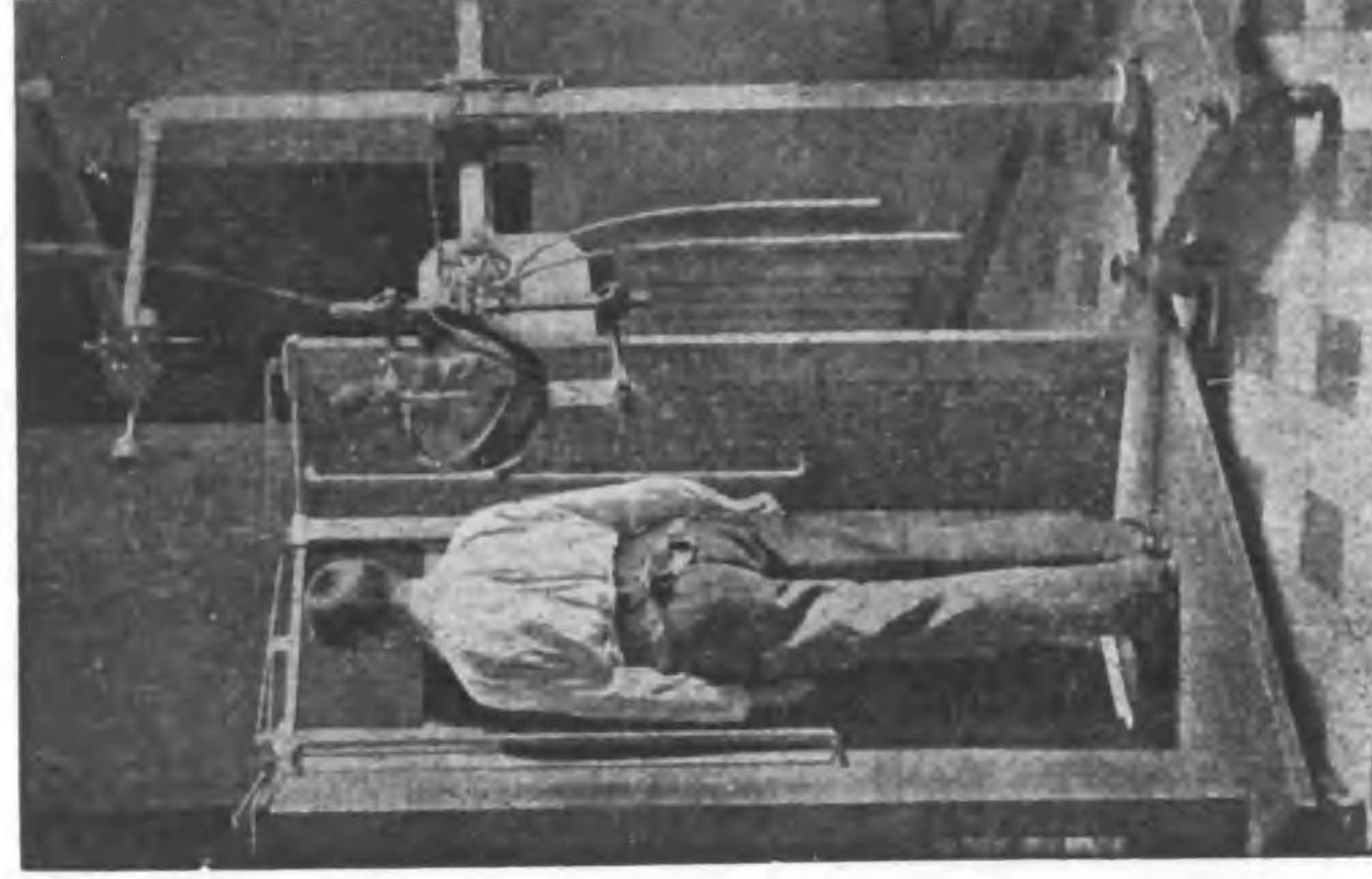


本文 210頁, 308頁及 314頁參照

クーリング管



X線に依り人體を撮影する圖



(本 第 215 頁 第 126 節 參 照)

は し が き



電氣の應用は極めて廣い。吾々の日常生活に必要な光、力及び熱に於ても、電燈、電力、電熱の便利な事は誰れしも認むる所である。如何にして發電し、如何にして之を各地へ分配し、如何にして利用するか。之等の事を最も能率よく行ふにはどうしたらよいかを研究するのが電氣工學の目的である。

本書は電機學校初等電氣工學叢書の一として、初めて電氣工學を修めようとする人々のために、基礎となるべき電氣磁氣學の大要を述べ、併せて其應用の概略を説明する目的で編まれたものである。

本書の説明の順序は、小學校理科教科書の順にならつて、磁氣、電氣、電流と云ふ順に述べ、最後に電氣測定に就いて説明した。

本叢書の特徴とする所は、普通の理化學書が理論に偏して居るに反し出来るだけ應用の才を養ふ様苦心した所にある。換言すれば、普通の理科知識から次第次第に専門の電氣工學へ導く所にある。本書に於ても此趣旨の下に、出来るだけ簡単な實驗を十分に觀察

させることに勉めた。これがやがては複雑な電気の働きを理解する基となるからである。尙ほ本文中各處に例題を置き、又各章末に多くの練習問題を集め稍むづかしい問題には解答を附けて置いた。書中、數式を使つて説明した所も處々あるが之は代數學と三角法の初歩の知識のみで充分であるから、小學校を卒へただけの人でも少し勉強すれば樂に讀了する事が出来ると思ふ。

昭和四年十月

編者しるす

電氣磁氣及測定目次

第一章 磁 氣	1—24 ^頁
(1)序言—(2)磁石—(3)磁石の同極は斥け合ひ、異極は引合ふ—(4)磁石は何故に南北をさすか—(5)磁性體—(6)磁氣誘導—(7)磁力の及ぶ空間を磁界と稱する—(8)磁界は磁力線と云ふ線を假定するとよくわかる—(9)磁線は環狀をなして居る—(10)磁線の性質—(11)磁性體を磁界へ持つて來ると、磁線が磁性體の中へ多く吸ひ付けられる様な形となる—(12)磁氣分子説—(13)磁氣誘導の説明—(14)鐵には磁氣飽和と云ふ性質がある—(15)磁性體には磁氣を残留する性質がある—(16)簡単な磁石の作り方—(17)耐久磁石の保存法—(18)磁石のN極及S極—練習問題 I	
第二章 電 氣	25—52
(19)電氣—(20)導體と不導體—(21)二種の電氣—(22)電氣量—(23)顯電器—(24)靜電誘導と云ふ事に依つても電氣が起る—(25)遊離電荷と牽束電荷—(26)陰陽兩電氣は常に同時に同量に發生する—(27)電氣盆—(28)感應起電機—(29)電氣は導體の表面にのみ在る—(30)導體の遮斷作用—(31)電氣の分布—(32)電氣は尖端から逃れ去る—(33)雷—(34)避雷針—(35)電氣の流れと水の流れは似て居る—(36)電流の方向は陽電氣の流れる方向を取る—(37)電位—(38)電位の差を電壓と云ふ—(39)導體の靜電容量—(40)蓄電器—練習問題 II	
第三章 電流及電池	53—63
(41)電流の作用—(42)電池と起電力—(43)電池の成極作用—(44)電池の局部作用—(45)種々の電池—(46)標準電池は起電力を比較する爲めのものである—(47)電流の通ずる路を電路と云ふ—(48)連続した電流が通ずる電路は常に環狀である—(49)電流の單位をアムペアと云ふ—練習問題 III	
第四章 電氣抵抗及絶縁抵抗	64—72
(50)電氣抵抗—(51)抵抗は物の種類によつて違ひ、同じ種類の物では長さに比例し、切口の太さに反比例する—(52)抵抗と温度との關係—(53)抵抗の標準器—(54)絶縁抵抗—練習問題 IV	
第五章 オームの法則	73—79
(55)電壓と電流とを知つて抵抗を計算する法—(56)抵抗と電流とを知つて電壓を計算	

する法——(57)抵抗と電壓とを知つて電流を計算する法——(58)オームの法則——練習問題 V

第 六 章 直列接続及並列接続 80—120

(59)直列接続と並列接続——(60)直列接続と並列接続との例——(61)直列接続の合成抵抗——(62)並列接続の合成抵抗——(63)直列並列の混合せる接続の合成抵抗——(64)分路を用ゐると或る導體を通ずる電流を減少させる事が出来る——(65)或る二點を短絡するとは其の二點間を極めて抵抗の少ない導體で接続する事である——(66)電源の内部抵抗と起電力——(67)端子電壓と電壓の内部降下——(68)電路に電流が通ずると電壓は電路の抵抗に従つて降下する——(69)電線路の電壓降下——(70)電流計、電壓計の接続法——(71)電池の接続法——(72)直列接続のバッテリーを電源とした時の外部抵抗に通る電流——(73)並列接続のバッテリーを電源とした時の外部抵抗に通る電流——(74)直列接続のバッテリーを電源とした時に接続された外部抵抗に通る電流——練習問題 VI

第 七 章 キルヒホッフの法則 121—138

(75)電流電壓降下及起電力の正負——(76)キルヒホッフ氏の法則——(77)キルヒホッフ法則の應用例——(78)ホキートストーン・ブリッジの原理——(79)抵抗箱及抵抗器——練習問題 VII

第 八 章 電力量及電力 139—156

(80)仕事をなし得る能力をエネルギーと云ふ——(81)エネルギー不滅の法則——(82)ジュールの法則——(83)電熱器、白熱電燈、及フューズ——(84)弧光燈は電弧を應用したものである——(85)電氣融接及び電氣爐——(86)電力量と其單位ジュール、ワット時、キロワット時——(87)電力量の種々の公式——(88)電氣のパワーを電力と云ふ——(89)電源の發生電力と出力——(90)能率——練習問題 VIII

第 九 章 電流の磁氣作用及鐵の磁化 157—177

(91)電流が通ると其周圍に磁線が出来る——(92)電流の方向と磁線の方向とは右螺子の進む方向と之を廻はす方向とで表はされる——(93)線輪の電流による磁線の方向も右螺子の規則で分かる——(94)磁線と電流との相互間に作用する力——(95)フレミングの左手三指の規則——(96)電流と電流との間にも力が作用する——(97)線輪の起磁力はアンペア回数で表はす——(98)電磁石——(99)電信機——(100)電鈴——(101)磁化力に對する鐵の磁束密度の比をその導磁率と稱する——(102)鐵のB-H曲線——(103)ヒステリシス——練習問題 IX

第 十 章 電磁誘導作用 178—199

(104)磁線と導體と切り合ひつゝある間は導體に起電力を生ずる——(105)フレミングの右手三指の規則——(106)レンツの法則——(107)相互誘導——(108)自己誘導——(109)交番起電力及び交流——(110)直流發電機の原理——(111)誘導線輪——(112)變壓器——(113)金屬板が磁線と切り合ふと金屬板に渦流が生ずる——練習問題 X

第 十 一 章 電流の化學作用 200—206

(114)電氣分解——(115)電氣分解に就いてのファラデーの法則——(116)ヴォルタメーター——(117)電氣分解の應用——(118)蓄電池——練習問題 XI

第 十 二 章 熱 電 氣 207—211

(119)熱電流——(120)熱電堆——(121)熱電高温計——(122)熱檢流計及熱電流計——練習問題 XII

第 十 三 章 眞空放電及電子 212—220

(123)眞空放電——(124)陰極線——(125)電子——(126)X線——(127)原子説及電子説——(128)電子説による一電氣現象の説明——練習問題 XIII

第 十 四 章 交流の概要 221—235

(129)交流——(130)交番起電力の發生——(131)交流波——(132)周波數——(133)實効値——(134)交流の平均値——練習問題 XIV

第 十 五 章 正弦波交流 236—244

(135)正弦波——(136)正弦波交流——(137)正弦波交流の實効値及平均値——練習問題 XV

第 十 六 章 交流のベクトル表現法 245—260

(138)位相——(139)交流のベクトル表現法——(140)交流の和及差の求め方——練習問題 XVI

第 十 七 章 交 流 電 路 261—288

(141)抵抗電路——(142)自己インダクタンスのみを有する電路——(143)容量のみを有する電路——(144)抵抗と自己インダクタンスとが直列にある電路——(145)抵抗と自己インダクタンス及容量が直列にある電路——(146)自己インダクタンスと抵抗とが並列にある電路——(147)交流の電力——練習問題 XVII

第十八章 三相式電路	289—307
(148) 三相起電力の發生—(149) 三相式の接續法—(150) 三相三角結線の電壓— (151) 三相星形結線の電壓—(152) 三相星形結線の電流—(153) 三角結線の電流— (154) 三相電力—練習問題XVIII	
第十九章 檢流計	308—315
(155) 電氣測定及び測定器—(156) 檢流計—(157) 檢流計の振れを観る法—(158) 携 帶用檢流計—(159) 檢流計分流器—(160) 交流用檢流計及び電話受話器—練習問題 XIX	
第二十章 抵抗の測定	316—329
(161) ホキートストーン・ブリッジ法—(162) 電壓降下法—(163) 絶縁抵抗の測定— (164) メッター—(165) 種々の抵抗の測定—練習問題XX	
第二十一章 電位差計	330—334
(166) 電位差計の原理—(167) 電位差計の應用—練習問題XXI	
第二十二章 電壓計及電流計	335—344
(168) 電壓計と電流計とは構造は違ふが動作原理は同一である—(169) 電壓計及電流計 の分類—(170) 可動線輪型計器—(171) 電流計型計器—(172) 高電壓の交流回路 用計器は變成器と共に用ひる—練習問題XXII	
第二十三章 電力の測定	345—352
(173) 直流電力は電壓計と電流計とを用ひて測る事も出来る—(174) 指示電力計— (175) 単相交流電力の測定法—(176) 三相交流電力の測定法—(177) 力率の測定法— 練習問題XXIII	
第二十四章 電力量の測定	353—357
(178) 電力量の測定—(179) 積算電力計—練習問題XXIV	
第二十五章 種々の測定器	358—366
(180) 周波計—(181) 力率計—(182) 同期檢定器—(183) 檢漏器—(184) 自記計器 —練習問題XXV	

初等電氣工學

第一卷 電氣磁氣及測定

電機學校編

第一章 磁氣

1. 序言 諸君は小學校で、磁石、電氣、電流の作用や又
其の應用として電燈、電信機、電鈴、電話機等を習つたであらう。
此の磁石、電氣、電流の理窟をしらべたり應用を考へたりする學
問を電氣磁氣學と云つて居る。

磁石や電氣が世の中に知られたのは餘程古い話で、今から二千
年以上も前である。然し之等の研究が初まつたのは随分おくれ
て十六世紀以後である。電流を起す電池を發明したのは十八世紀の
末である。十九世紀になつてからは理科の研究が盛になつた。諸
君の習つた電流の實驗即ち自由に水平に廻れる磁石と平行に、電
流の通じて居る銅線を近づけると、磁石の方向がかはる事はエー
ルステッドと云ふ人が初めて發見した電流と磁石との關係であ
る。其後約十年経つて西曆 1831 年にファラデーと云ふ有名な學
者(第1圖)が磁石の傍で針金を動かすと針金に電流が起る事を
實驗した。此の實驗に基いて工夫に工夫を重ねて、遂に大仕掛け
に電流を起す機械即ち發電機なるものが作られ、今日の電氣工業

の基礎が出来たのである。かやうに磁石、電氣の発見は随分古い

第 1 圖



ファラデー(1791-1867)

英國の大物理學者。貧しい鍛冶職の家に生れ、少年の頃製本屋の徒弟にやられた。科學に興味をもち暇さへあれば獨習した。當時有名な化學者デヴィー先生に見出されてその助手となり、遂に電氣磁氣に就いての幾多の研究発見をした。

が實地に電氣が盛に應用されたのは漸く五六十年前からである。現在では、電燈、電車、電信、電話、無線電信電話其他電熱器や扇風機等皆電氣の應用である。さてこれから諸君が小學校で習つたよりはもつと詳しく磁石、電氣、電流等の理窟をしらべて見よう。茲で注意して貰ひたい事は上に述べた大體の話からも分かるやうに、一寸考へてはつまらない様に見える實驗でも、よく注意してそれにいろいろ工夫を重ねて見ると遂に世を益する事を考へ出すのであ

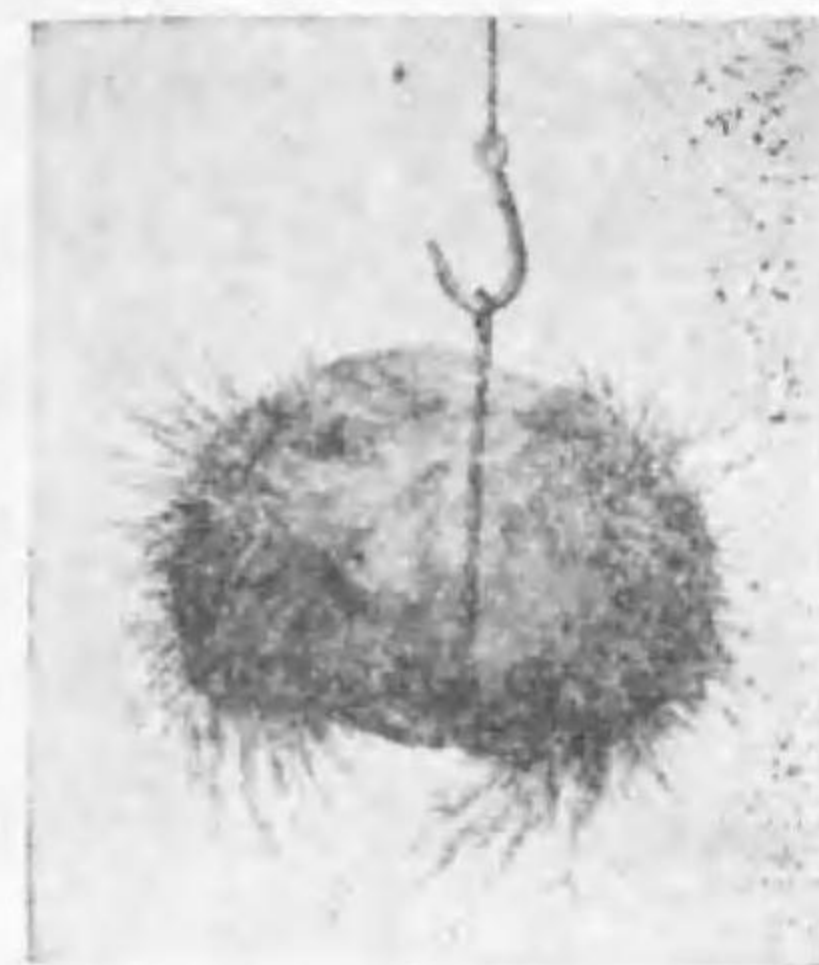
る。だから諸君もよく氣を付けて勉強して貰ひたい。

2. 磁 石

磁鐵鑛と云ふ鑛石がある。此の鑛石を鐵粉

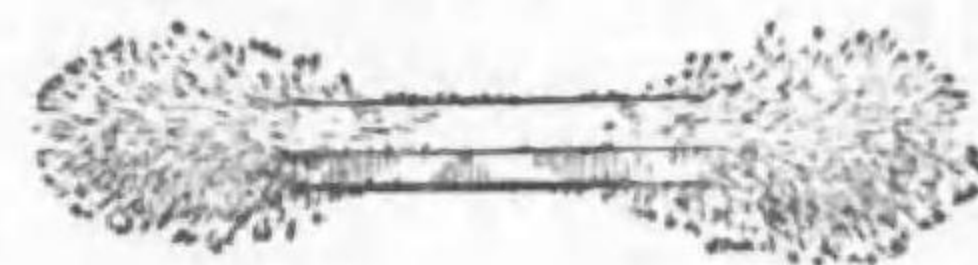
中に入れて引き出すと、鐵粉が之に引つづくのである。第2圖甲は磁鐵鑛が鐵粉を吸引して居るのを示す。また細い鋼の棒を磁鐵鑛で二三度摩擦すると、此の鋼の棒も亦鐵粉を引きつけるのである(第2圖乙)。

第 2 圖 甲



磁鐵鑛が鐵粉を吸引する實驗

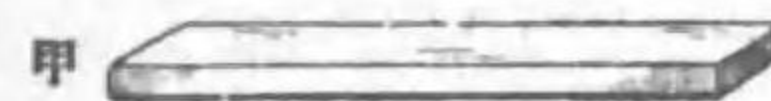
第 2 圖 乙



磁石が鐵粉を吸引する事を示す

かやうに鐵を吸引する性質を磁性と云ひ、又此の磁性を有する物體を磁石と名づけて居る。磁石において此の磁性の原因をなすものを磁氣と呼んで居る。鐵や鋼を他の磁石で摩擦するとか又は其他の方法で磁石になすことを磁化と稱する。

第 3 圖



- 甲 棒磁石
- 乙 蹄形磁石
- 丙 磁針

磁鐵鑛は天然に産する磁石であるから之を天然磁石と名付ける。普通の磁石は鋼を磁化して作つたもので之を人工磁石と名づける。人工磁石には其形によつて、棒磁石、蹄形磁石、磁針等がある(第3圖)。

磁石が鐵粉又は小鐵片を吸引する力は磁石の兩端の部分著しい。此の所を磁石の極と云ふのである。即ち一つの磁石には常に二つの極がある。

磁石を中央でささへ、自由に水平に廻られるやうにしておくと、ほとん南北の方向をとつて靜かに止まる。そして北をさした極はい

つも北をさし、南をさした極はいつも南をさして居る。北をさす極を北極、南をさす極を南極と名づける。又磁石の北極を一名正極とも云ひ、南極のことを負極とも云ふことがある。そして北極を N (又は+) と云ふ符號で表はし、南極を S (又は-) と云ふ符號で表はす。

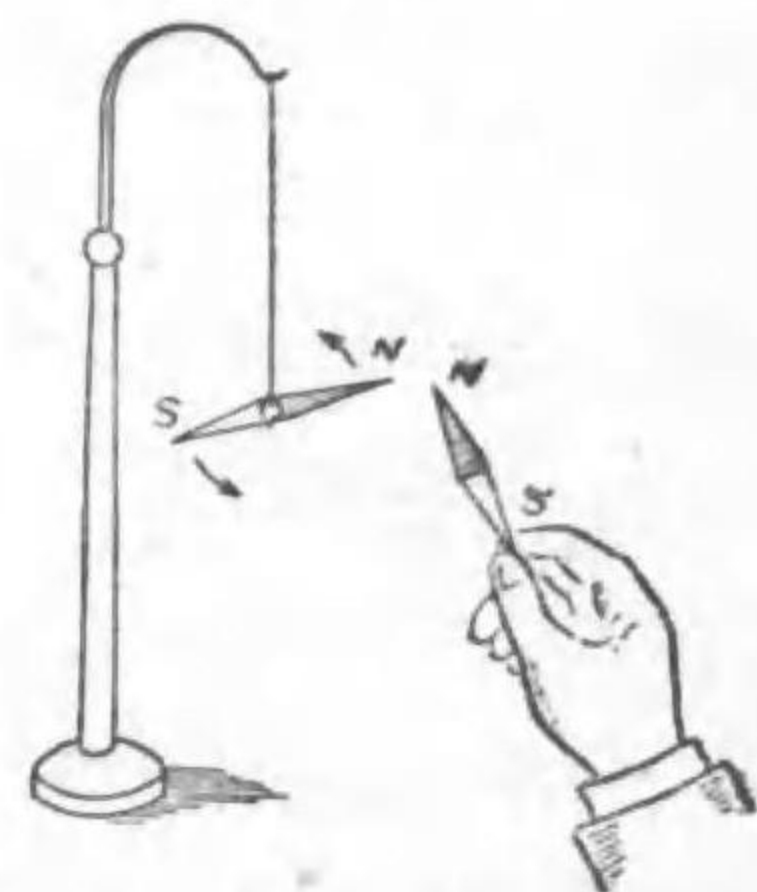
3. 磁石の同極は斥け合ひ、異極は引合ふ 第 4 圖

圖の様に二本の磁針を取つて、一本の中央を糸で釣つて、他の磁針の極を此釣つた磁針の極に近づけて實驗して見て貰ひ度い。すると北極と北極とは互に斥け合ひ、又南極と南極とも互に斥け合ふ。次に北極と南極とは互に引き合ふ事を見るであらう。

これによつて、磁石の北極と南極とは性質が全く違つたものであつて、同極は互に斥け合ひ、異極は互に引き合ふことが知れる。これは磁石の重要な性質の一つである。

4. 磁石は何故に南北をさすか 中央で支へられた磁針が南北をさして静止する譯は、實は地球が一個の磁石であるからである。

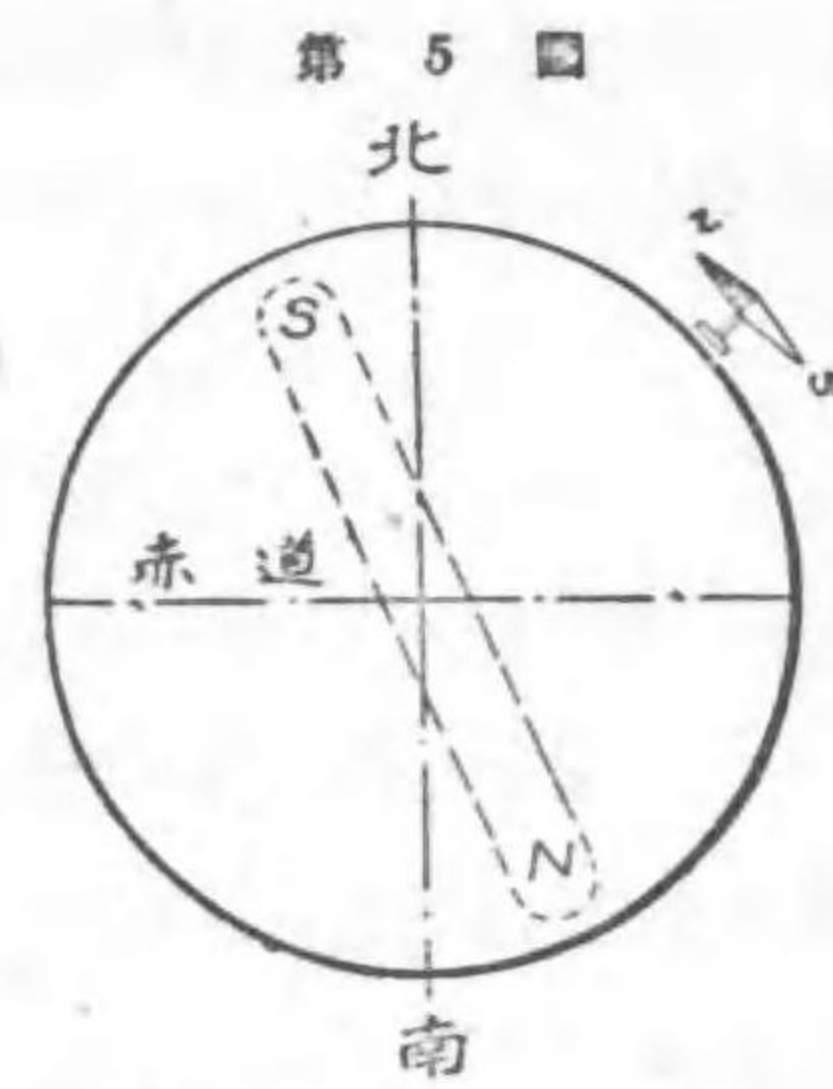
即ち前節に述べた、異名の極は引き合ひ同名の極は斥け合ふと云ふ性質から考えると、地球磁石の N 極は南方に、S 極は北方に在るから、第 5 圖に示す様に磁針は南北をさして静止するのである。



磁石の同極は互に斥け合ひ 異極は互に引き合ふ實驗

5. 磁性體 普通の鐵及び

鋼の様に磁石に吸引されるものを磁性體と稱へる。鐵及鋼の外に磁性體にはニッケル、コバルト、マンガン、クロム等があるが、之等は鐵及鋼の場合にくらべて、其力が非常に微弱である。それで工業上では、磁性體と云へば、鐵と鋼のみと思つて居れば差支へがない。

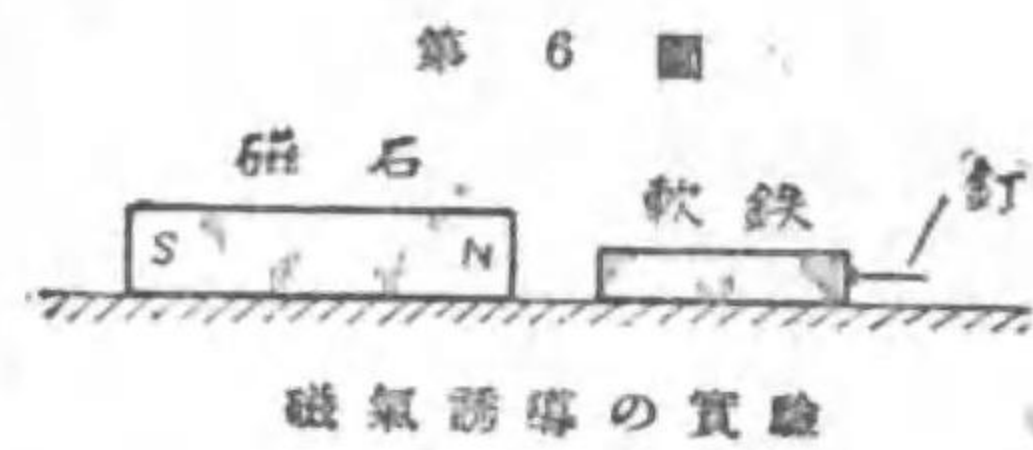


地球も一個の磁石である事を示す

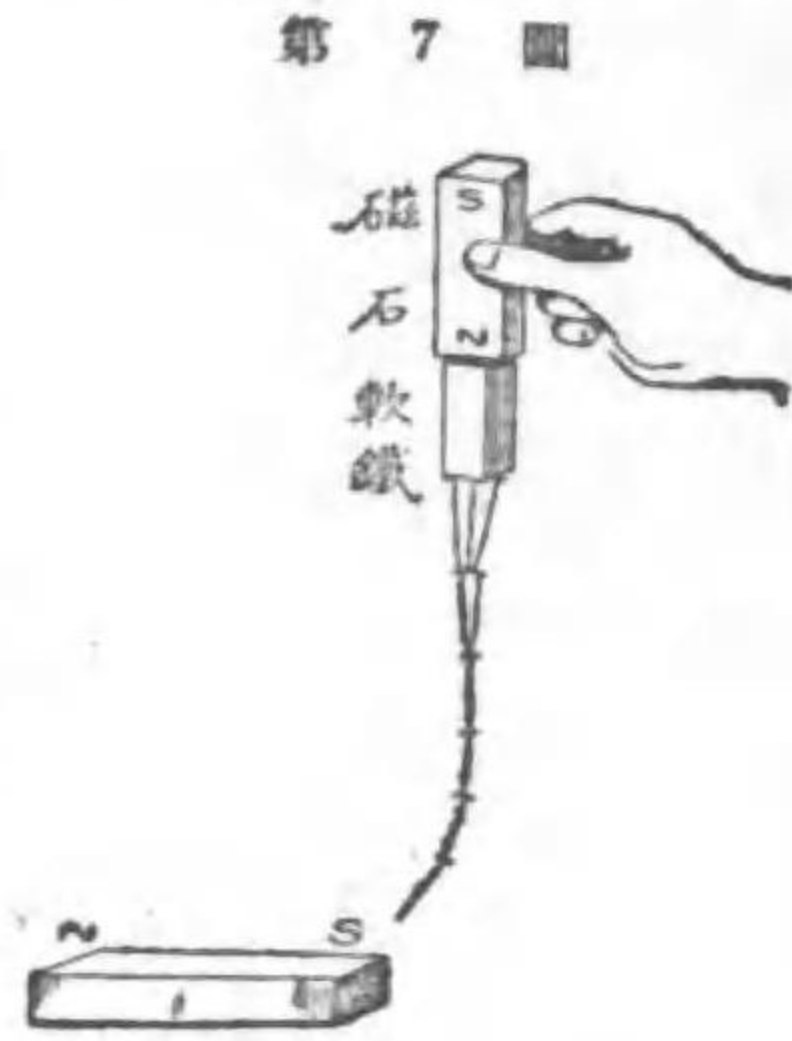
其他の大概の物質は磁石に吸引せられないので、非磁性物である。尤も物理學上の精密な實驗によると、蒼鉛、燐、アンチモン等の様なものは磁石に吸引されないで反撥される性質が認められる。かやうな物質を逆磁性體と名付けて居る。そして鐵其他の磁性體の様に磁石から吸引されるものを正磁性體と名付けて居る。

6. 磁氣誘導 机の上に軟鐵片を置き、之に磁石の一つの極を接して見給へ。すると此鐵片の磁石に接して居ない方の端は、他の釘等を之に近づけると吸引する様になる。即ち此鐵片も俄に磁石となつた譯である。若し磁石を取り去ると、鐵片は磁石の性質を失ふのである。此の實驗は磁石と鐵片とを相當の距離に置いて軟鐵片は尙ほ磁氣の感化を受けて磁化され、他の鐵片を吸引するのである。之れを磁氣誘導により鐵が磁化されたと稱する。磁化された鐵片には、接近せる磁極に近い端に其の磁極と異

名の磁極が生じ、他方の端に同名の極が出来るものである(第6圖参照)。

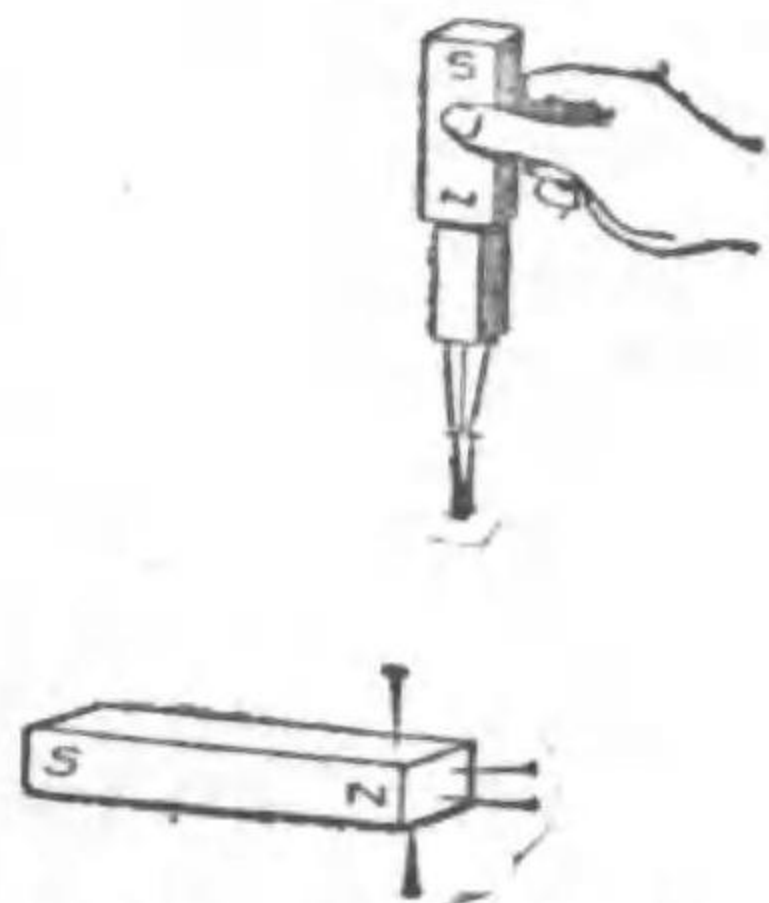


鐵が磁石に吸引されるのは皆此磁氣誘導作用により鐵が磁化されて吸引されるものである。第7圖は磁石N極により吸引された軟鐵に鐵釘を吸引せしめたもので、澤山釘を連鎖させて持ち上げる事が出来る。その下



上のN極と下のS極とが助け合つて釘に誘導磁化を及ぼす實驗

第 8 圖



上のN極と下のN極とが釘に反對に誘導磁化を及ぼす實驗

る位置によつて、第7圖の如き場合は上のN極下のS極と互に

方に他の棒磁石のS極を近づけると下端の釘の先は之に向ふのである。若し、此S極を遠ざけると下方の釘は何本か落ちる。次に若し第8圖の様にN極を近づけると、更に幾本かの釘は落ちるのである。そして圖に示す様に落ちたものは下の磁石により吸引せられて之に附着する。かやうに棒磁石が二つ以上も在る時、之等が軟鐵に對す

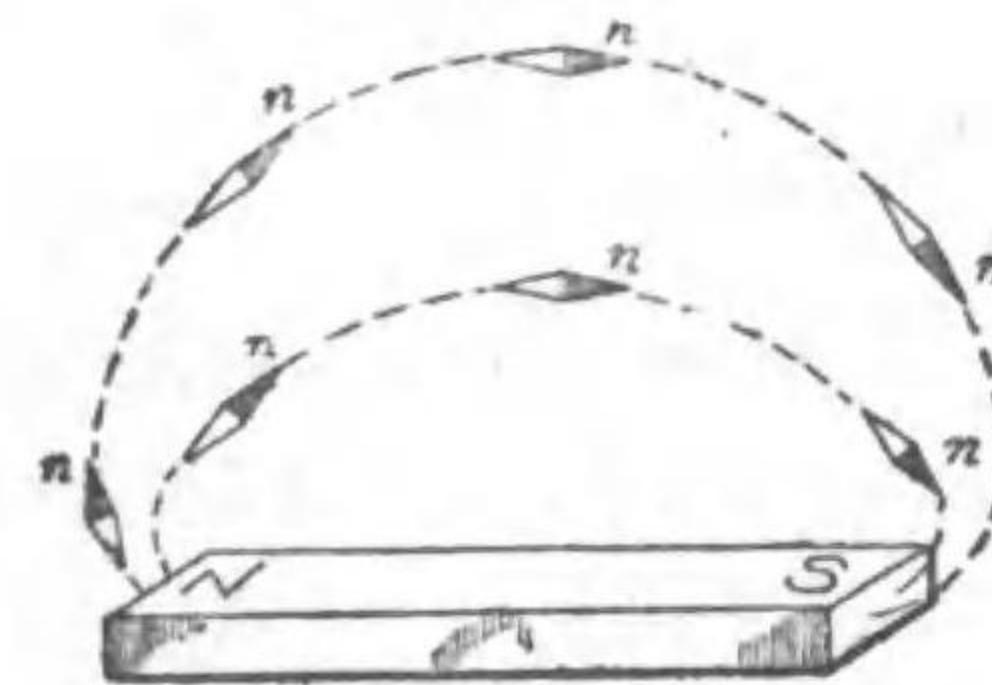
助け合つて軟鐵に誘導磁化を及ぼして居るが、第8圖の場合に上のN極と下のN極とが互に軟鐵に反對に誘導磁化を及ぼして居る。

7. 磁力の及ぶ空間を磁界と稱する

磁石は其の附近に在る鐵片を吸引したり、又附近に在る他の磁石に吸引力又は斥力(引力及び斥力を總稱して磁力と云ふ)を及ぼしたりすることは今まで述べた通りである。即ち磁石の有する磁氣が空間を通じて其磁力を及ぼすので、丁度火鉢の中の火が附近を温めると似て居る。かやうに磁力の作用が働いて居る空間を磁界と名付ける。

一つの磁石が在ると、其周圍は到る處磁界と云ふべき筈であるが、實際に於て磁力の認められる範圍は磁石に近い部分である。即ち磁力は極に近い點が大で、極を遠ざかるに従つて磁力は小になるのである。それで磁界内で極に近い點は磁界の強さ大であると稱し、磁力の小なる點は磁界の強さ小なりと稱する。

第 9 圖



磁界内各點の磁界の方向を示す實驗

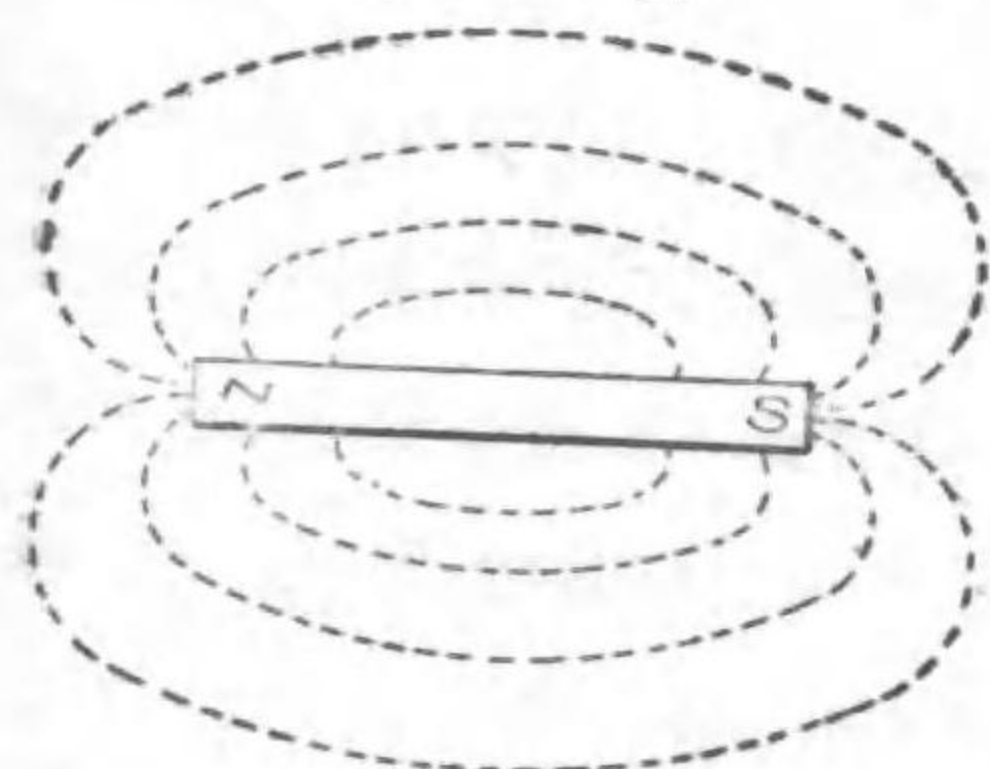
今一個の非常に小さな磁針を取り、之を棒磁石の周圍の或點に持つて來ると、其兩極は棒磁石の兩極のために吸引、反撥される結果、小磁針は其點での磁力の方角を取つて靜止する。即ち

此小磁針を磁界内の各點に持ち來ると各點毎に其場所の磁力の方向を示す譯である。これによつて、磁界内の各點の磁力の方向は色々違つて居る事が知れる。そして此磁力の方向の相違を云ひ表はすに此小磁針の **N 極の向ふ方向で定める**のが普通になつて居る。此方向を**磁界の方向**と名付けるのである。第9圖は、磁界内の各點の磁界の方向が色々違つて居る事を示すものである。

8. 磁界は磁力線と云ふ線を假定するとよくわかる

今一本の棒磁石を取つて、其上に硝子板をおき、**鐵粉**を散布して靜かに硝子板をたたいて貫ひ度い。すると第10圖の

第 10 圖



磁力線を示す

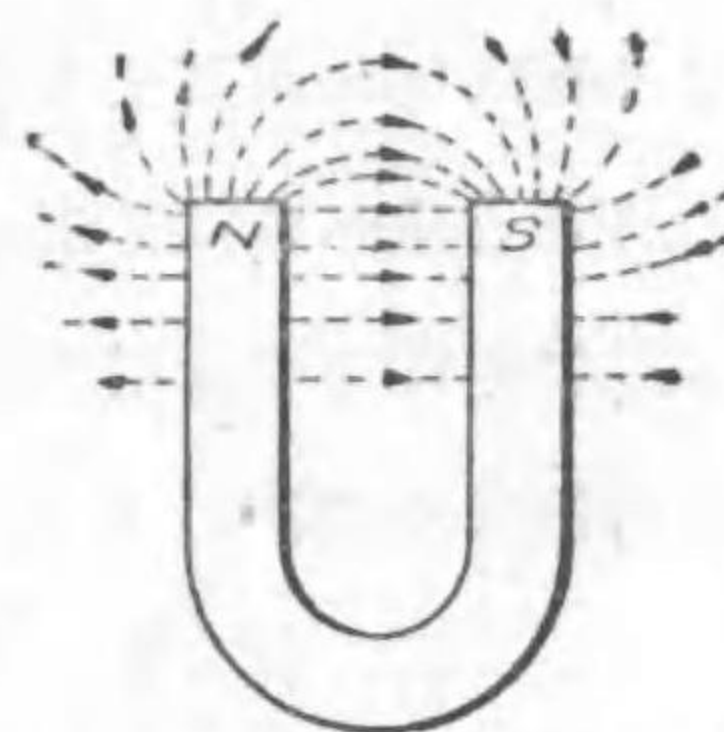
様に、鐵粉は N S 兩極間に連續した多數の線をなすだらう。これは、棒磁石の磁氣誘導によつて各鐵粉が小磁石となつて、各其場所に於て磁界の方向を指して靜止しようとして、相連續して線狀となつたものである。

従つて、此鐵粉でかかれた曲線は其の方向が磁界の方向と一致して居るのである。又此鐵粉のかいた曲線の**密度**（濃さ）をしらべて見ると、磁極に近い部分（即ち磁界の強さの大なる部分）では曲線が密であつて、磁極から遠ざかつた部分即ち磁界の強さが小なる部分では曲線が粗である。

かやうに鐵粉の表はした曲線は其の方向で磁界の方向がわか

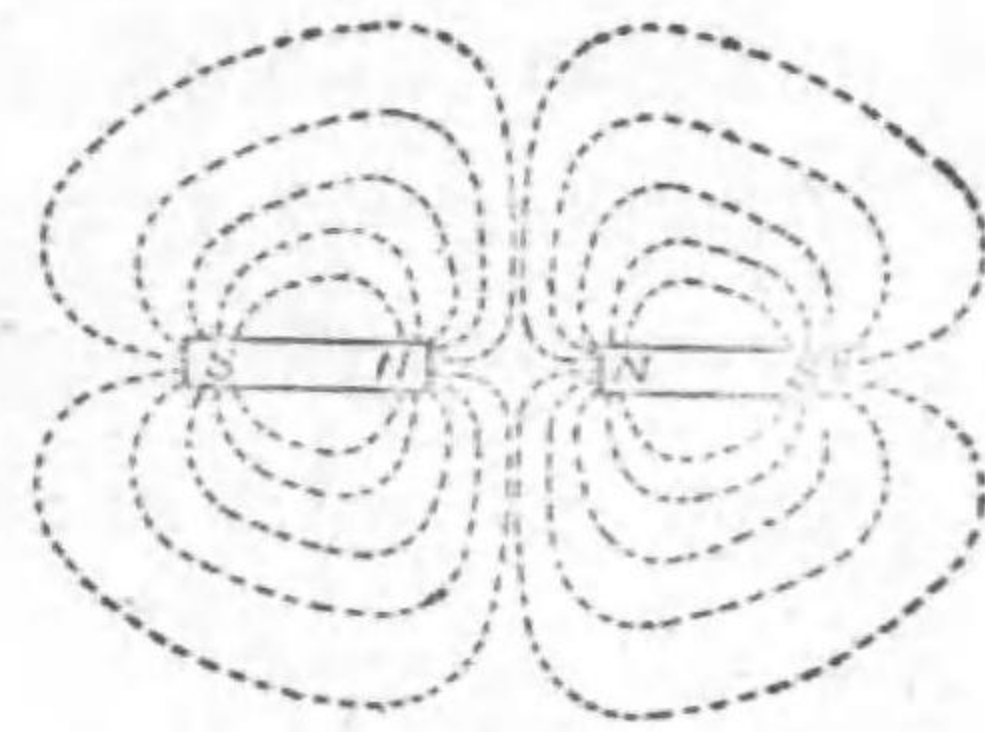
り、其密度の大小で磁界の強さの大小がわかる都合のよい線である。茲で吾々は此鐵粉の曲線にならつて、磁界の強さと方向とを

第 11 圖



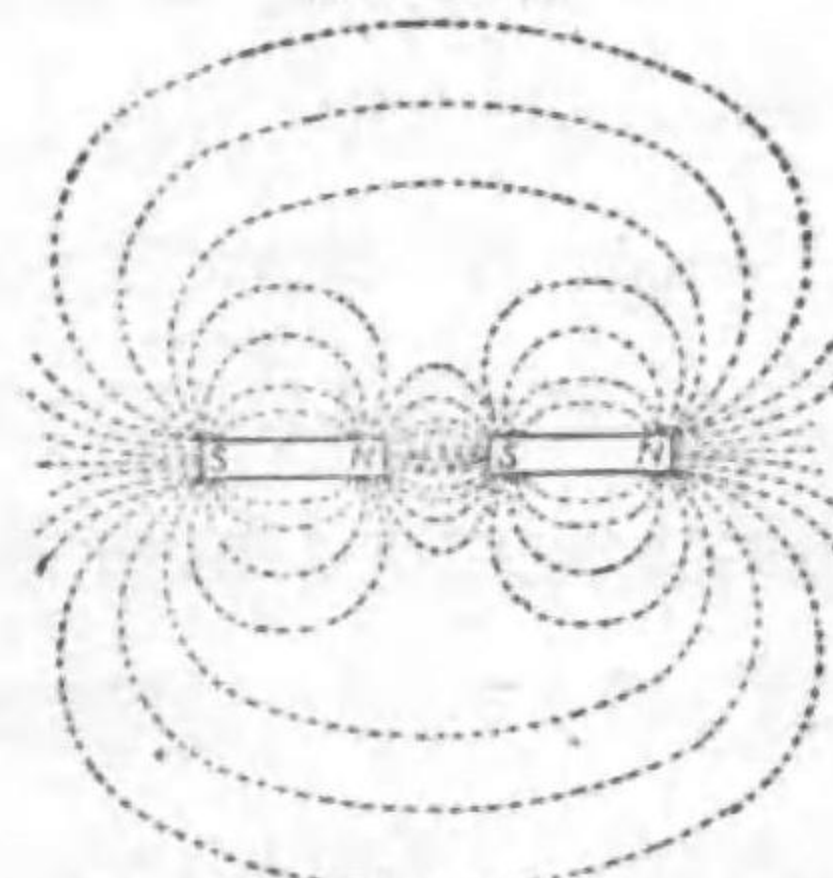
蹄形磁石による磁界の有様

第 12 圖



同名の極を近づけた時の磁界の有様

第 13 圖



異名の極を近づけた時の磁界の有様

示す線を想像して之を**磁力線**と名付ける。即ち磁力線は磁石の N 極から出發して磁界内を常に磁界の方向に通じ、S 極に終るものである。第 11 圖は蹄形磁石に依る磁界の有様を示す磁力線、第 12 圖は二つの棒磁石の同名の極を近づけた時の磁力線を示し、第 13 圖は

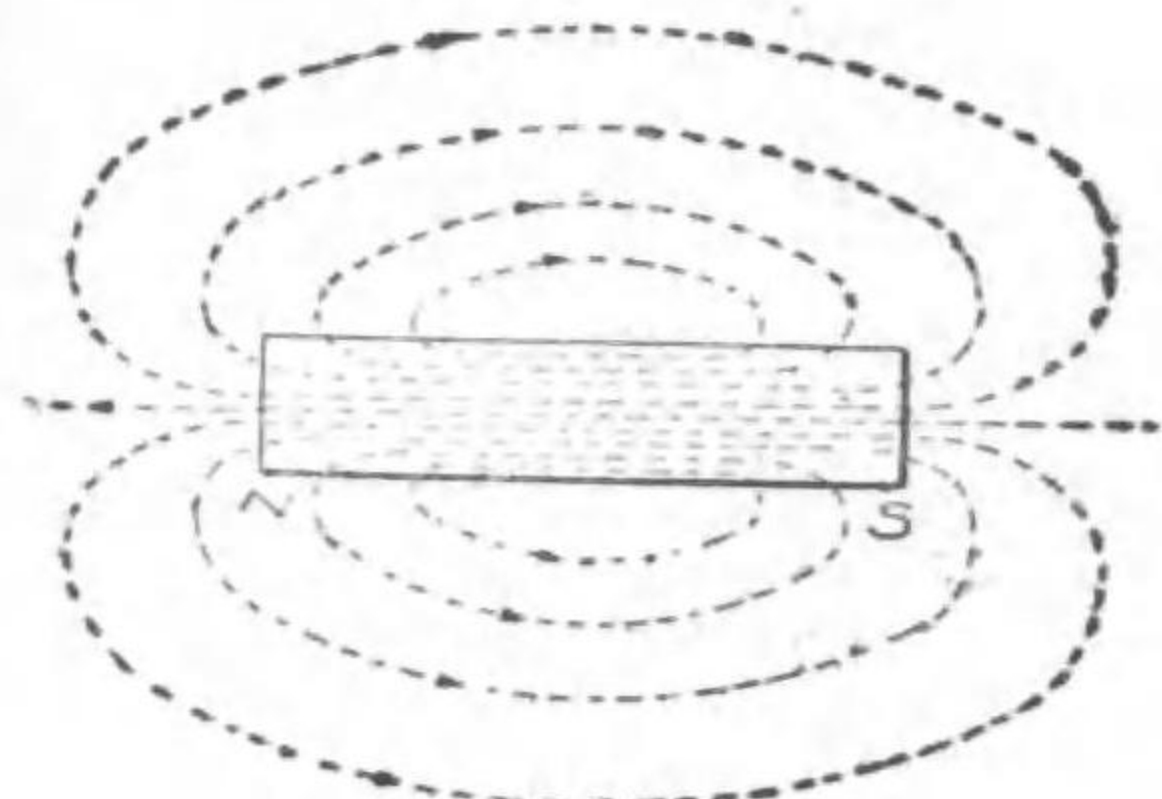
二つの棒磁石の異名の極を近づけた時の磁界の有様を示す。

9. 磁線は環状をなして居る

磁力線と同じ様な性質の線に**磁線**と云ふものがある。此線は磁力線の考を尙一層押し廣めたもので、磁力を表はす線は、たゞ磁石の外部に於て N 極から出て S 極に終ると考へず、N 極から出た線は空氣中を通

つて S 極へ来り、更に磁石の内部を S 極から N 極へと歸ると

第 14 圖



磁 線 を 示 す

考へるのである。即ち第 14 圖の様に、磁力を表はす線が常に環状をなして居ると考へるのである。故に空間中では磁力線も磁線も全く同じものである。たゞ、磁力線では N 極から空間に出て S 極

に終つて了ふものと考へ磁線は此線が更に磁石の内部を S 極から N 極へ歸へつて必ず環状をなすと考へる時の名稱である。

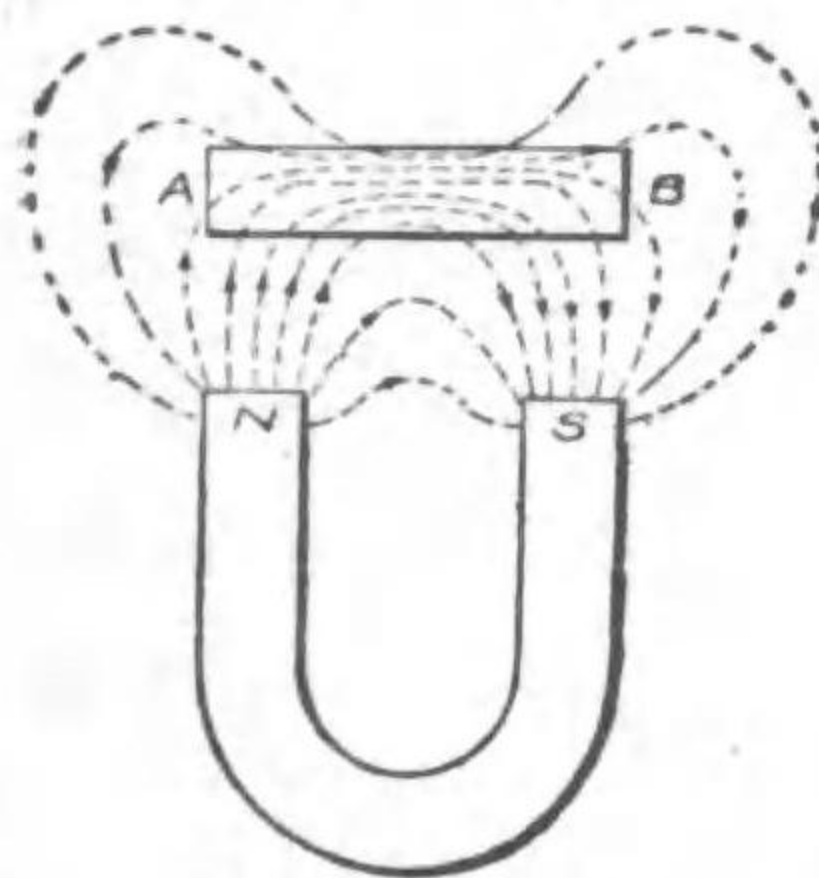
そして、磁石の強弱は其 N 極から出る磁力線の總數によつて定まる事勿論である。従つて次の様に云へる譯である。磁石の強弱は其の磁石の S 極から N 極へ通る磁線の數によつて定まる。何となれば、磁石の N 極から空間に出る磁力線の數と磁線の磁石内を S 極から N 極へ通る數とは等しいからである。

10. 磁線の性質 磁石は同極相斥け、異極相引くことは既に説明した通りである。又磁界内におかれた鐵片が磁極に吸引されるのは磁氣誘導により、異名の極が相面する部分に生じ互に吸引するためであることは既に説明した通りである。而して之等の引力や斥力の起るのは磁線の性質に因るものと想像するのが便利である。即ち磁線の各は丁度引張られたゴムの様に常に其の

長さが短かく縮まらうとし、それと同時に磁線と磁線とのお互の間には其の長さに直角の方向に斥け合つて互に遠ざからうとする性質を有するものと信ずるのである。かやうに假定すると便利である。例へば、第 8 節の第 12 圖の如く、二つの磁石が同名の極面が向ひ合つて居る時は、圖の磁線に上の假定を應用すると二つの磁石は互に遠ざくべきものである。又第 13 圖に示す様に二つの磁石が異名の極面が相向つた時は、此圖の磁線に上の假定を應用すると、二つの磁石は互に引着き合ふべきものである。

次に磁氣誘導の場合に磁線の性質を應用して見よう。第 8 節

第 15 圖



蹄 形 磁 石 と 軟 鐵

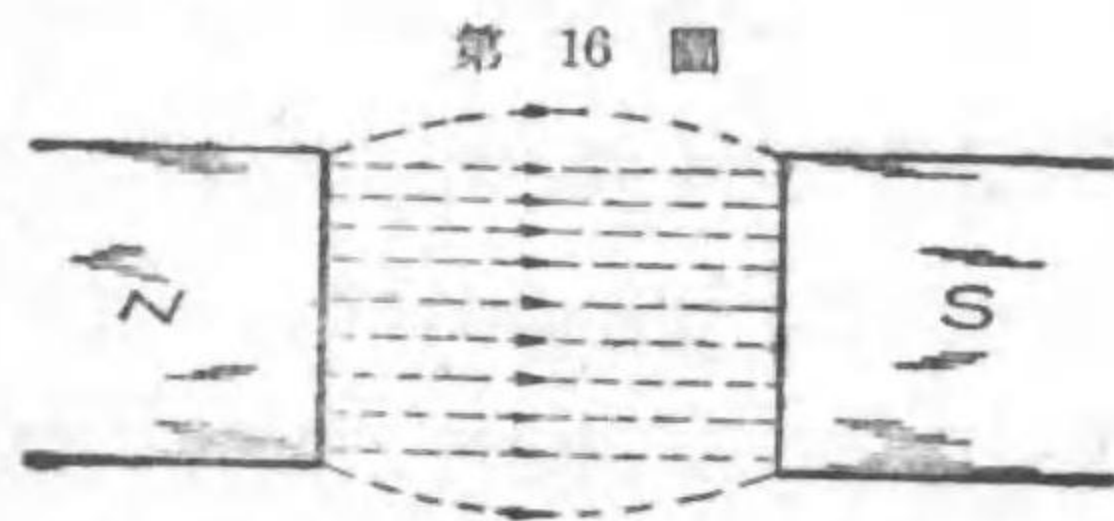
第 11 圖に示す様に蹄形磁石が只一個在る場合は磁界の有様は第 11 圖に示す通りであるが、若し磁石の附近に軟鐵を置いたとすれば、磁線の大部分は鐵の中を通るのである。例へば、第 15 圖の様に磁界内に軟鐵を置けば磁線の分布の有様は圖の様に變はる。従つて此場合には、磁

線が縮まつて短くならうとするには、どうしても軟鐵は磁石に引きよせられなければならない譯けである。磁氣誘導の場合に於ても磁線が空間に出て行く部分 B は N 極であつて、磁線が入り来る部分 A は S 極を爲す事は申すまでもない。

11. 磁性體を磁界へ持つて來ると、磁線が磁性

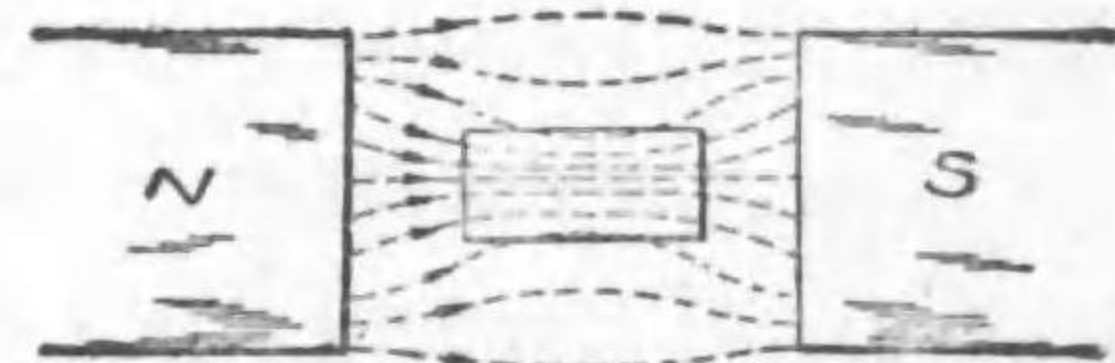
體の中へ多く吸ひ付けられる様な形となる 前節

でも既に述べた様に、磁界内へ軟鐵を持つて來ると、第 15 圖の様に磁線は鐵に多く吸ひ付けられた形になる。之等の磁線の分布の有様は、勿論、硝子板を上にてのせて鐵粉を散布して實驗することとわかる。第 16 圖の様に二個の磁石の N, S の兩極を相對する様に置いたとしよう。すると、此兩極間に圖に示す様に磁界が出来る。次に兩極間に鐵片を持つて來た場合と、持つて來ない場合との兩極間の磁界の有様を調べて磁線をかいて見たとしよう。すると必ず第 17 圖の様になるのである。今之等の兩圖を比較して見ると大變其趣が違ふ。即ち磁線は鐵片の方へ多く吸ひ付けられ、其の内を通らう通らうとする様な形をして居る。これは、新



第 16 圖 N 極と S 極とを相對せしめたる時の磁界

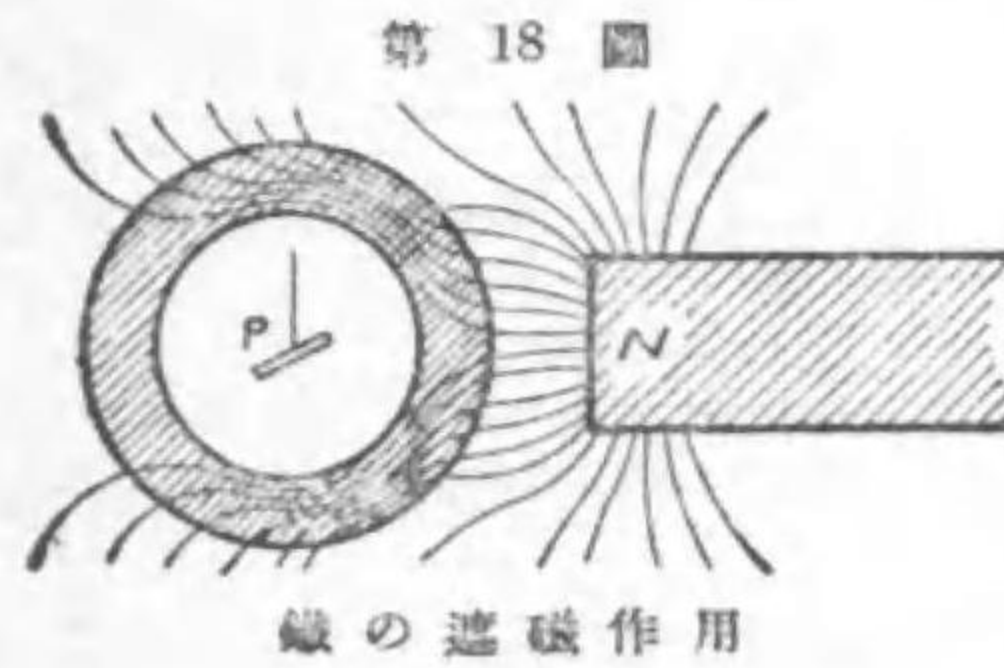
此の結果を次の様に云つて覺える事も出来る。即ち磁性體は磁線を通じ易いので、磁線はなるべく此磁性體の内部を通らうとする傾向があるのである。



第 16 圖の磁界内に鐵片を置いた場合の磁界

に持つて來た鐵片が磁氣誘導により磁化されて磁石となつた爲めに、此磁石からも磁線を出すからである。

此様に鐵が磁線を吸ひ付ける事には面白い應用がある。第 18



第 18 圖 鐵の遮磁作用

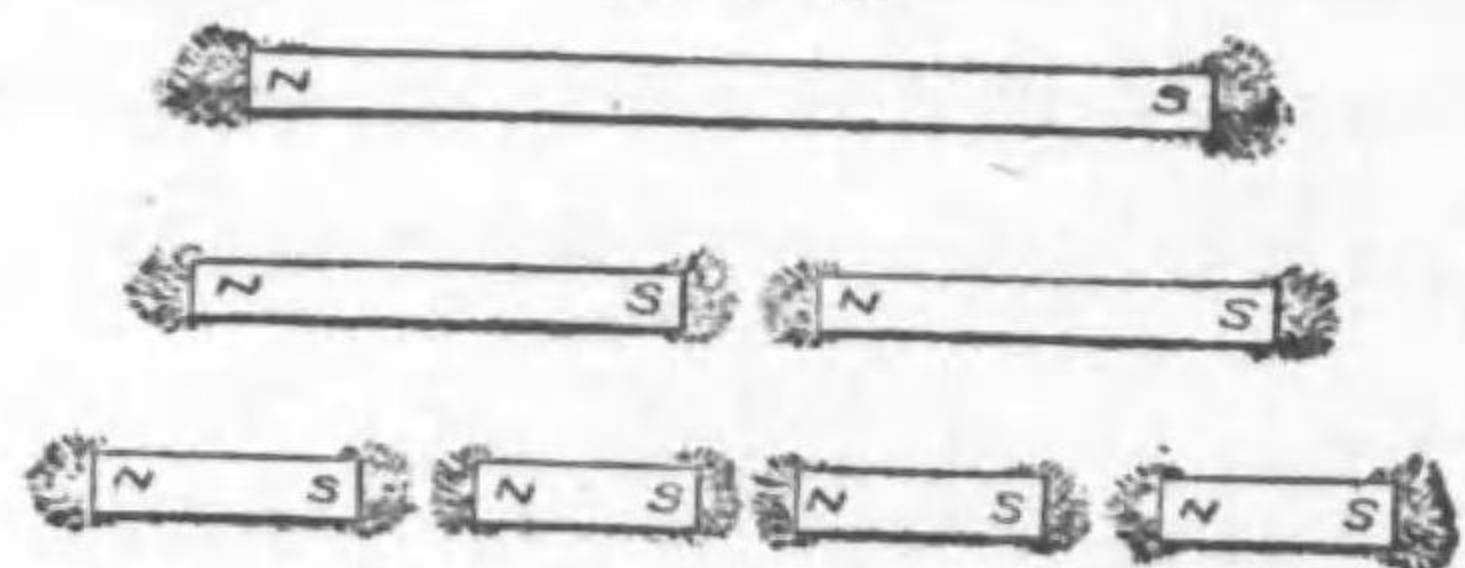
圖に示す様に、大きな磁石の傍へ、鐵で作つた中空の球を持つて來たとしよう。すると磁線は外側にある鐵に吸ひ付けられる爲めに球の中の空所には磁線がなくなる。従て此様な所へ他の小磁石を持つて來ても、大きな磁石へ吸ひ付けられないのである。この様に外部の磁石の磁線をさへぎり、中空部の磁石に誘導作用を受けさせない様にする事を^{しやじ}遮磁すると云つて、此爲めに使用する鐵を^{しやじへき}遮磁壁と名付ける。之は磁氣誘導の作用を受けてはならぬ測定器具に使用される。吾々の住む地球も磁石であるから地球上の空間には磁線が通じて居る。そして之が爲めに磁針は南北をさす。然し若し鐵製の函の様なもの即ち遮磁壁を持つて來ると、磁線は皆此鐵製の函に吸はれて、其中では磁針は必ずしも南北を指す様にはならない譯である。

12. 磁氣分子説 鐵は何故磁石となつたり、又は磁石の性質を現はさなかつたりするか。此事に就いて調べて見よう。

今一個の磁石を取り、之を中央で切斷して鐵粉を散布して見ると鐵粉は各片の兩端に附着する。即ち二個の磁石が出来たのである。之を更に數片に切つて、鐵粉を散布すると、何れも皆各の兩端に鐵粉を附着する。即ち各片は各小磁石である事がわかる(第

19 圖)。

次に之等の小磁石を接合して一本にすると、接合面の N 極と S 極と



第 19 圖

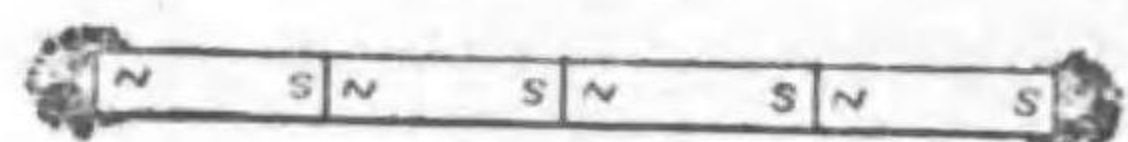
は互に其作用を打ち消し合つて、元の一つの磁石になつて只其兩端に極があるのである(第

20 圖)。

之れで見ると、磁石はど

んなに細かく分割しても、各細片は尚ほ一つの小磁石で、即ち如何なる場合にも、磁石は必ず N, S 兩極が兩端にあつて、一方の極のみを有する磁石と云ふのは無いのである。従つて磁石となつて居る鐵の各分子は一個の磁石と考へる事が出来る。[茲で分子と云ふのは、物質を極く細く碎いても碎いても其性質が變へらない最微粒の事である。そして、種々の物質例へば一片の鐵は鐵の分子から成るのである。]

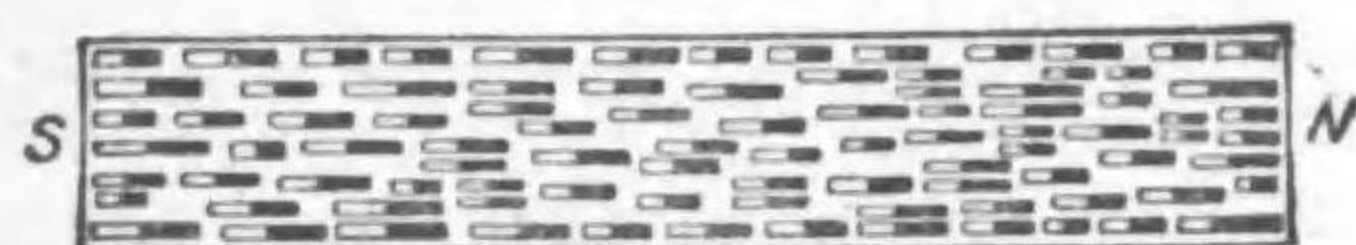
此様に磁石となつて居る各分子は皆一個の磁石であつて、其各極が同極同方向に、即ち何れも磁線の方向に排列せるものであると信ずる事が出来る。即ち磁線は、各分子の S 極から入り N 極に出て、又次の S 極に入り其 N 極に出ると云ふ具合に、次々に各分子を通り、最後に磁線が空中に出る所が全磁石の N 極であつて、之から空中を廻はつて再び鐵分子に入る所が全磁石の S 極



第 20 圖

であると思へる事が出来る。此の説はウェーバーと云ふ人の説で之を磁氣分子説と云つて居る。第 21 圖は磁石に於いて各分子磁石が排列した有様を示す想像圖である。

第 21 圖



磁石内の分子磁石の整列した有様を示す想像圖

磁氣分子説に依

ると、普通の未だ磁化されてない鐵

も、其各分子は磁

石であるが、只磁石の

場合と違ふのは、各分子磁石が行儀よく排列

して居ないので第 22 圖に示す様に各勝手の方角に向いて居るため

に互に其作用を打

消し、其兩端でも其

作用が互に打消され

て全體としては外部

に何等の磁石作用を

現はさないのである

と説明して居る。尚

ほ此考へ方は第 23 圖の様な實驗からも只の空想でない事がわかる。

即ち第 23 圖は小さな磁石多數を勝手の方角に置いて、鐵粉

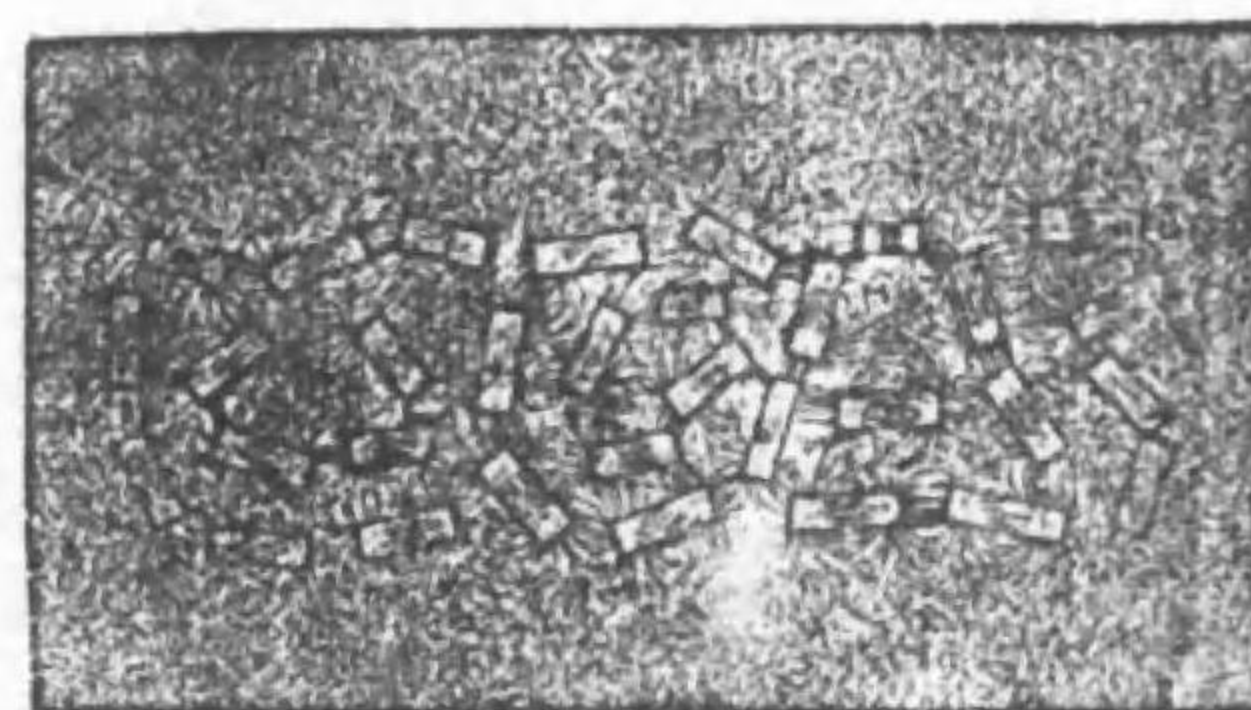
で磁界の有様を試験して見たものである。之れによると外部に殆

ど磁界を生じて居ない事がわかるだらう。

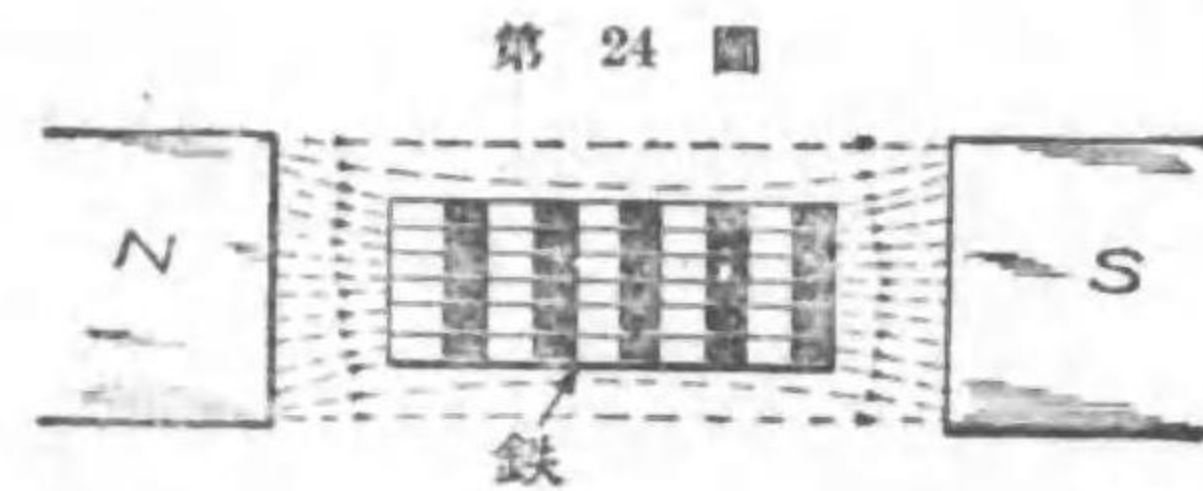
第 22 圖



第 23 圖



13. 磁氣誘導の説明 磁氣誘導で鐵が磁化される理由を前節の磁氣分子説によつて説明することが出来る。今一つの鐵を取つて、磁界内に持つて來たとする。磁界内に持つて來ない前は鐵は其各分子磁石が第 22 圖に示す様に排列して居る爲め磁石の性質を現はさないが、一度之を磁界内に入れると、各分子磁石



第 24 圖

の N 極は磁線の方向に向ふのであるから、此鐵は磁石となるのである。

(第 24 圖)

然し若し此鐵片を磁界外に取り出すと、各分子に磁石を一定方向に排列せしめやうとする力が消えて、各分子磁石は元の様に (第 22 圖の様に) 各種の向きに向つて磁石の性質を失ふのである。

14. 鐵には磁氣飽和と云ふ性質がある 磁氣誘導によつて鐵を磁化する場合、鐵の分子磁石を一定方向に列べる原因としては先づ鐵中に磁界を作ることである。此の鐵中の内部磁界の強さのことを磁化力じきりょくと稱することがある。今鐵を磁化する原因即ち磁化力を順次強くしたとすると、磁化力が増すに従つて一定方向に列ぶ分子磁石の数も増して、次第に強い磁石と爲るべき筈である。然し鐵の内部にある全部の分子磁石が一定方向に整列し終つたら、その後はいくら磁化力を増しても磁石の強さはそれ以上に増すことはない譯である。此事は實驗でも確められて

居て、鐵片が磁石となり得る度合には一定の限りがある。此様に、もはやそれ以上強く磁化することの出来ない様になつた時には、其の鐵は磁氣飽和じきほうわに達した、又は簡単に、鐵が飽和ほうわしたと稱するのである。即ち鐵が磁線に満腹して飽きたのである。

15. 磁性體には磁氣を残留する性質がある 前に、磁氣誘導によつて磁化されて居る鐵を磁界から遠ざけると、即ち磁化力を無くすると、其鐵は磁石の性質を失つたゞの鐵に歸るものであると述べた。然し此時尚ほ細かにしらべて見ると、磁化力を無くしても、其鐵には未だ多少の磁氣が残留する事を實驗することが出来る。此様に一度磁化された鐵が、磁化の原因即ち磁化力を取去つても其の鐵が尙多少の磁石の性を保つて居る性質を保磁性ほじせいと稱し、鐵に残留する磁氣を残留磁氣ざんりゅうじきと名付ける。

残留磁氣は鐵の性質によつて大變違ふ。炭素を多く含んだ堅い鋼は磁化するには困難であるが、一旦磁化したら保磁性が大である爲めに磁氣を失ふこと容易でない。又炭素を割合に少く含んだ軟鐵は磁化するには容易であるが、其代りに保磁性が小なる爲めに磁化力を無くすると磁性を失ひ易いのである。

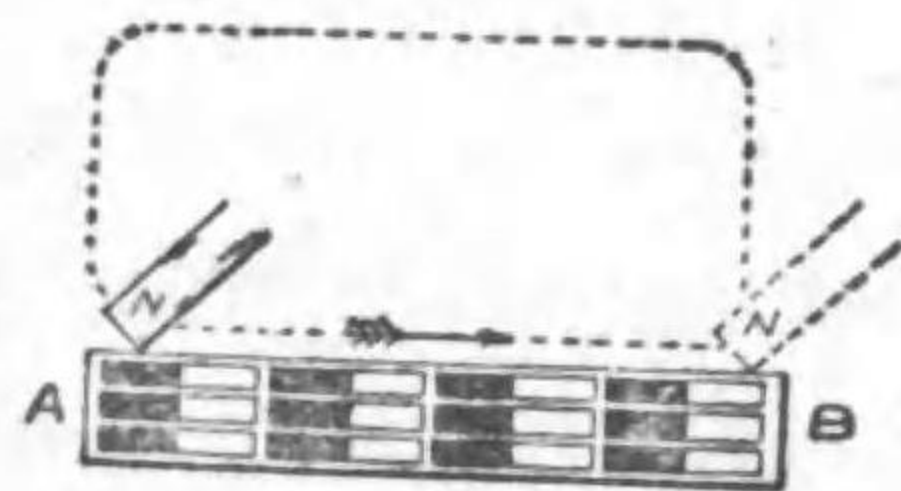
此事は前の鐵の分子が磁石であると云ふ説で説明して見ると次の様に云へる。鋼では其分子が密であるために、分子の運動が自由でないので、磁化するも却々各分子が整列しにくい、一度整列した以上は容易に亂れないのである。之に反して軟鐵では其分子が鋼にくらべて粗になつて運動が自由であるため、磁化すると

直ぐ各分子は整列するが、磁化力を取り去ると直ぐ各分子が亂れ易い。

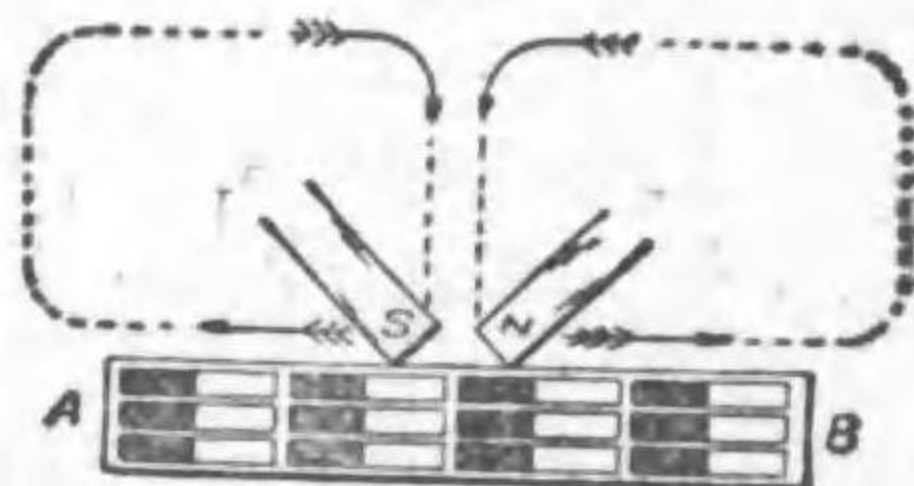
かやうに鋼と軟鐵とは磁化の有様が違ふのであるから、用途に應じて適當に使用する。即ち鋼は磁化力を取り去つても磁性を永く保つものであるから、之で普通の棒磁石、蹄形磁石及磁針を作る。之等を耐久磁石と云ふのである。之に反して軟鐵は磁化され居る間の一時磁石となるので、磁化力を取り去ると磁性を失ふから之を一時磁石と云ふ。一時磁石として重要なものは電磁石である。電磁石とは、小學校で習つた通り、絲で包んだ銅線を軟鐵にぐるぐる捲きつけたもので、銅線に電流を通じて居る間は軟鐵が磁石になつて居り、電流をたつと磁性を失ふものである。尙ほ此電磁石は電氣機械器具で重要な部分をなすものであるから、後章に改めて説明しよう。

16. 簡単な磁石の作り方 大仕掛で又強い耐久磁石を作るには、電流に依つて鋼鐵を磁化するのであるが、今簡単に

第 25 圖 甲



第 25 圖 乙



磁石を作る方法を述べよう。第 25 圖甲に示す様に、鋼鐵棒 AB を机土におき、之に棒磁石 NS の一つの極 N をあて、一端 A か

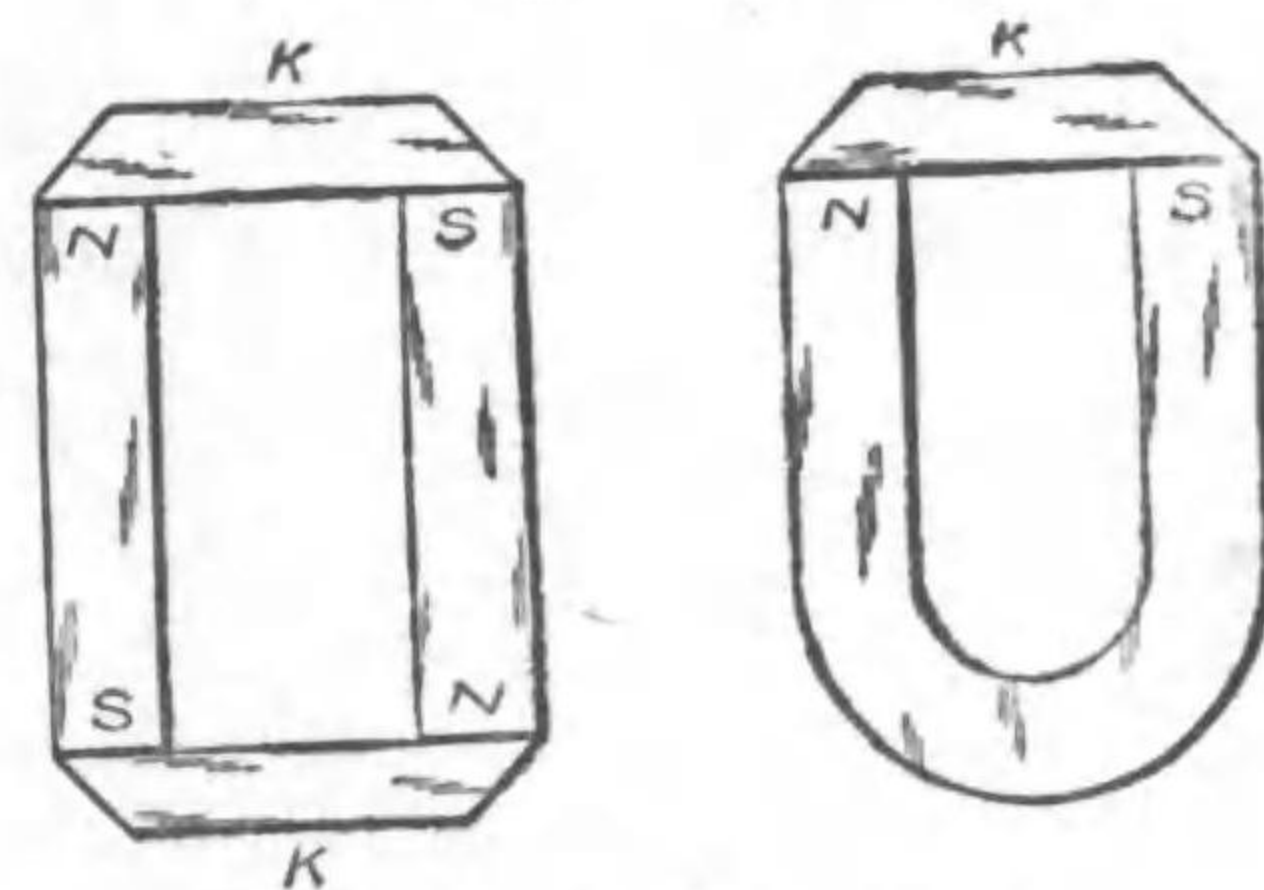
ら他端 B に向けて何回でも同方向に摩擦すれば AB は磁石となる。そして此圖の場合では、鋼の分子磁石の S 極は耐久磁石の N 極から引かれるから、圖に示す様に各分子が整列して、B 端が S 極、A 端が N 極となるのである。

第 25 圖乙に示す様に、耐久磁石を二つ使つて、鋼鐵棒の右の半分を N 極で、左の半分を S 極で、各中央から反對の方向に摩擦してもよい。此の場合にも A 端は N 極、B 端は S 極となるのである。

17. 耐久磁石の保存法 耐久磁石でも、之をたいたり又は焼いたりすると磁性を失ふのである。又耐久磁石は其儘

放置しておいても永い月日の間には自然に其兩端から磁氣を失ふ傾向がある。即ち其分子の整列が亂れて来る。そこで此の分子の整列を保存するために

第 26 圖



耐久磁石の保存法 K は保磁子

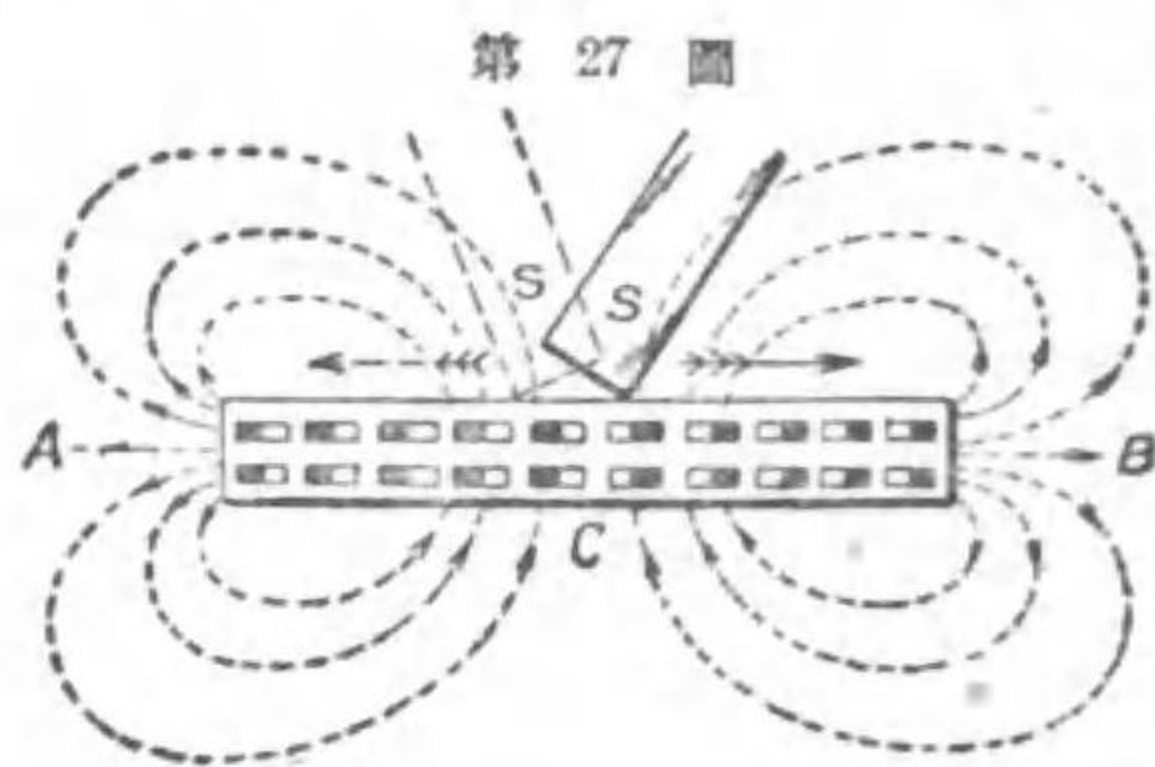
第 26 圖に示す様に、棒磁石ならば二つの棒磁石を極を反對にして並行にし兩側に軟鐵片

K を付けておく。すると磁氣誘導によつて軟鐵に反對の極を生じ、相吸引するから、分子磁石の整列を保つて居るのである。又蹄形磁石の場合は、一個に一つの軟鐵片を附ければよい。之等の

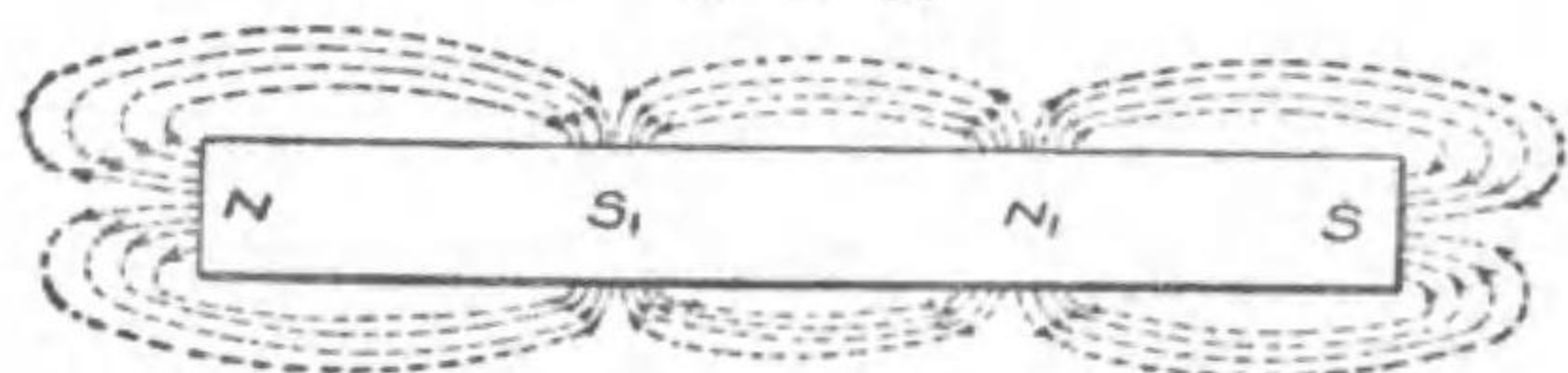
軟鐵片 K を保磁子と名づける。かやうに磁石を使用しない時は、之に保磁子を附けて、磁線が空間に出ずに磁石と軟鐵とを一巡する様にしておけばよい。

18. 磁石の N 極及 S 極 普通の棒磁石や蹄形磁石や磁針等では各其兩端に N 極及び S 極がある。然し一般には如何なる磁石でも其兩端に各 N 及び S なる磁極が在るものとは限らない。時によると三個、四個或は多數の磁極を有つて居る磁石もある。又全く磁極を有つて居ない磁石も作る事が出来る。

例へば、第 27 圖に示す様に一個の鋼鐵棒を其中央から兩端に向つて、耐久磁石の S 極で以て代る代る摩擦して見給へ。すると、鋼鐵棒の分子磁石の N 極が耐久磁石の S 極に吸引されるから、中央 C から左方 A に至る間は各分子の N 極が皆左方を向き、又 C から右



第 27 圖



第 28 圖

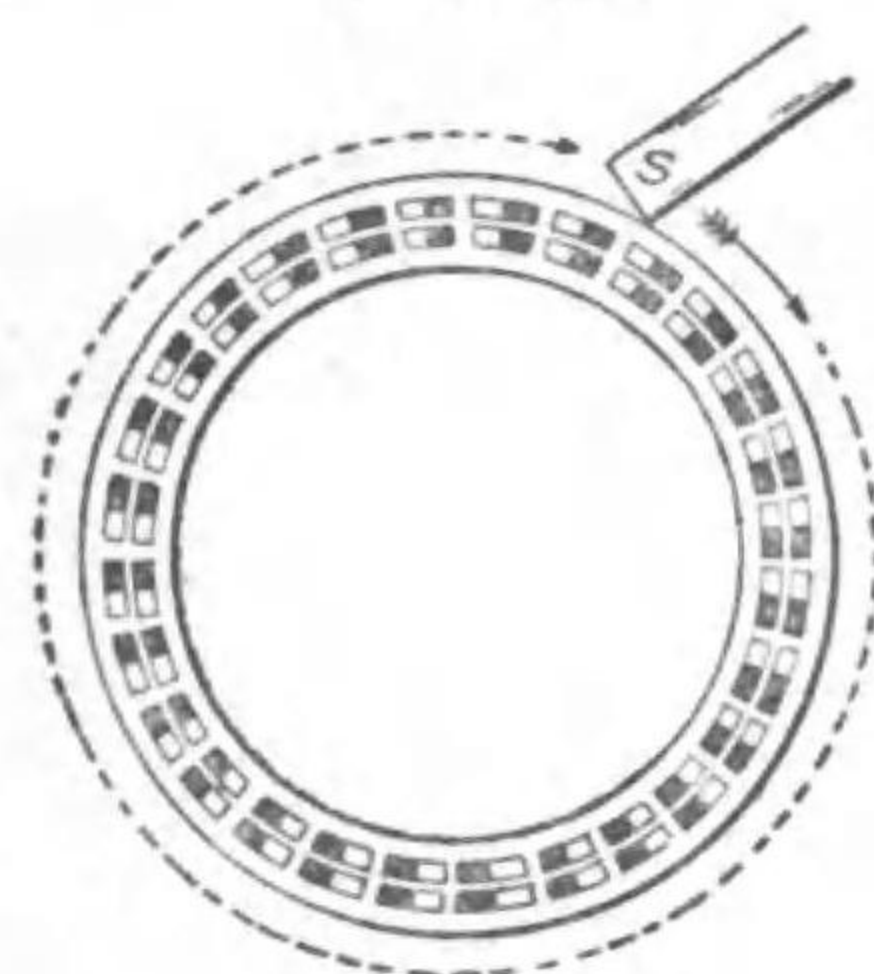
N₁ S₁ は中間磁極
方 B に至る間は各分子の N 極は皆右方を向いて整列する。従つて A, B 兩端には N 極生じ、中央部に S 極が生ずる。即ち三

個の磁極が出来たのである。此中間の S 極を中間磁極と呼ぶことがある。

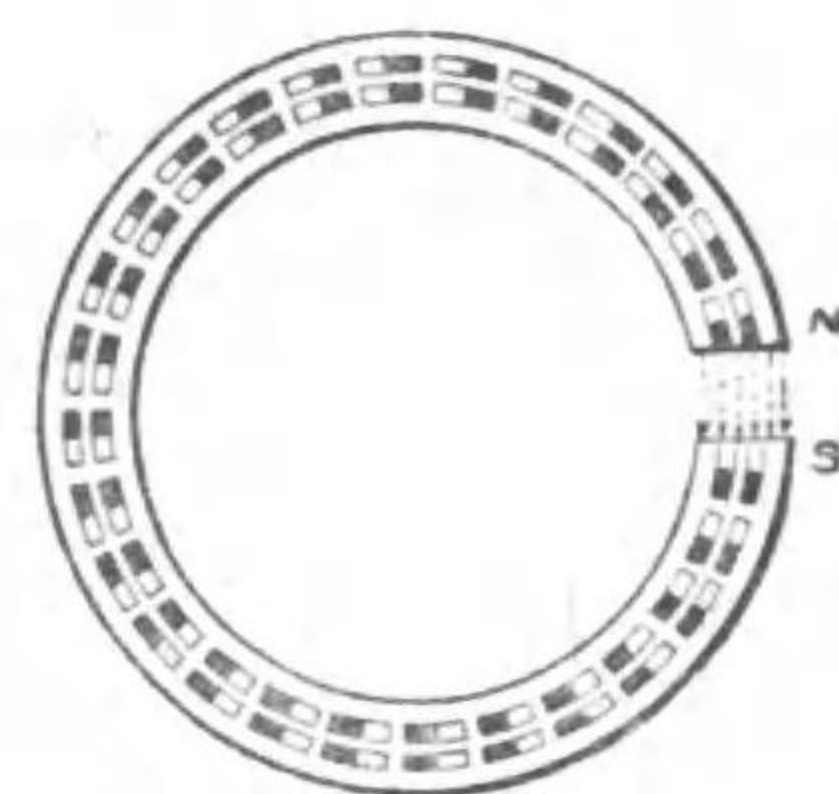
其他第 28 圖の様に磁化することも出来る。此場合は S₁, N₁ が中間磁極になつて居る。

次に又第 29 圖に示す様に、環状の鋼を取り、其の周圍を耐久磁石の一つの極で同方向に摩擦して見給へ。すると、鋼の各分子

第 29 圖



第 30 圖

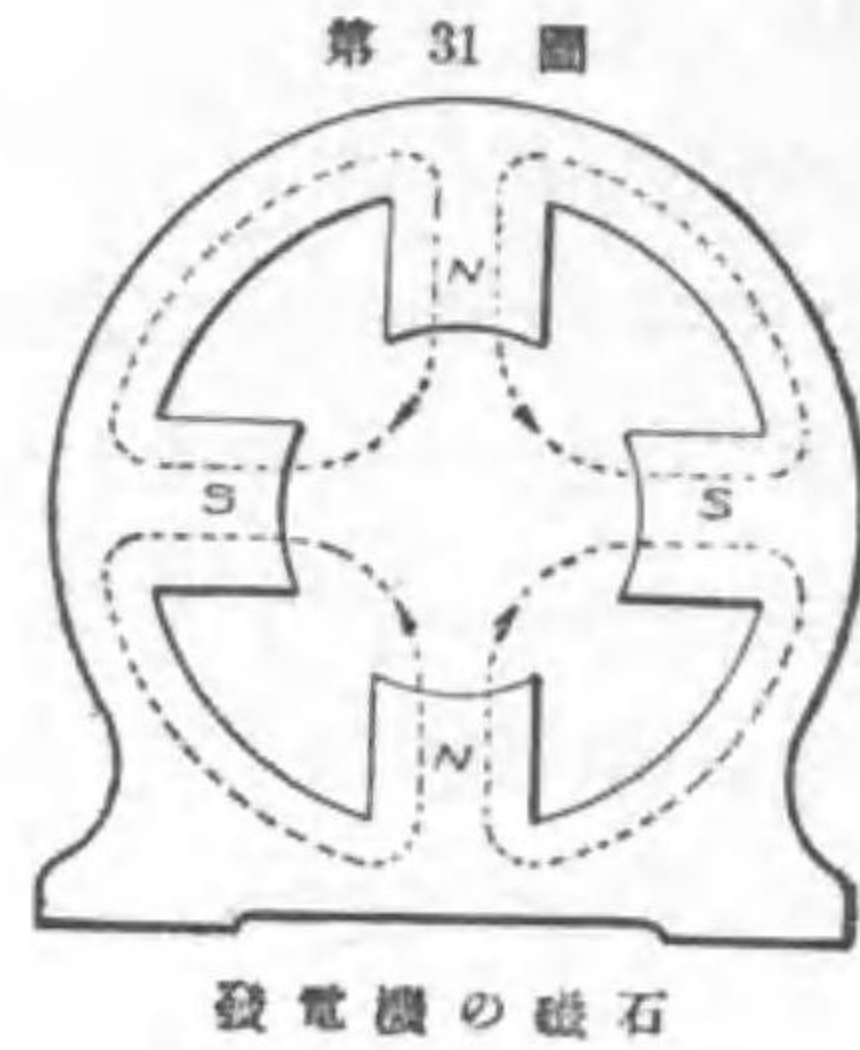


磁石は圖に示す様に整列して、磁線が各分子の N 極から S 極へと順々に連なり、鋼の内部のみを通じて外部に出ない。これは勿論磁石ではあるが、磁極は無いのである。若し此環状磁石を一部切つて空隙を作ると、第 30 圖の様に切つた部分の兩端に磁極が在る譯である。

又第 31 圖は電氣機械に使用する磁石を示すもので、之等の場合には多數の N 極及 S 極が交互に在るものである。

以上の事から推して考へると、磁石の N 極とか S 極とか云ふ

事は次の様に云ひ表はした方がよい。即ち一般に磁石から外部に磁線が出る部分が N 極で、又外部から磁線が磁石内に入る部分が S 極である。

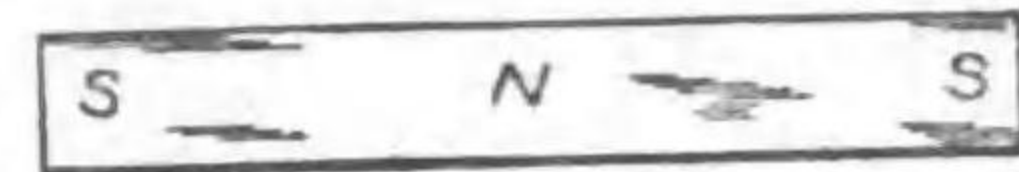


練習問題 I.

1. 天然に産する磁石の名を云へ。
2. 磁極と磁極との間の作用を述べよ。
3. 磁針は何故南北をさすか。
4. 磁性體中最も有用なものは何か。
5. 磁氣誘導とは何のことか。
6. 磁界とは何か。
7. 磁線とは何か、又磁線とは實際存在するものか。又その性質を述べよ。
8. 遮磁とは何か。
9. 磁氣分子説で磁氣誘導を説明せよ。
10. 磁氣飽和とは何か。残留磁氣とは何か。
11. 簡単に磁石を作る方法を述べよ。
12. 保磁子とは何か。
13. 中間磁極とは何か。
14. 第 32 圖の様に中間磁極生じて居る時、磁線の圖を畫け。

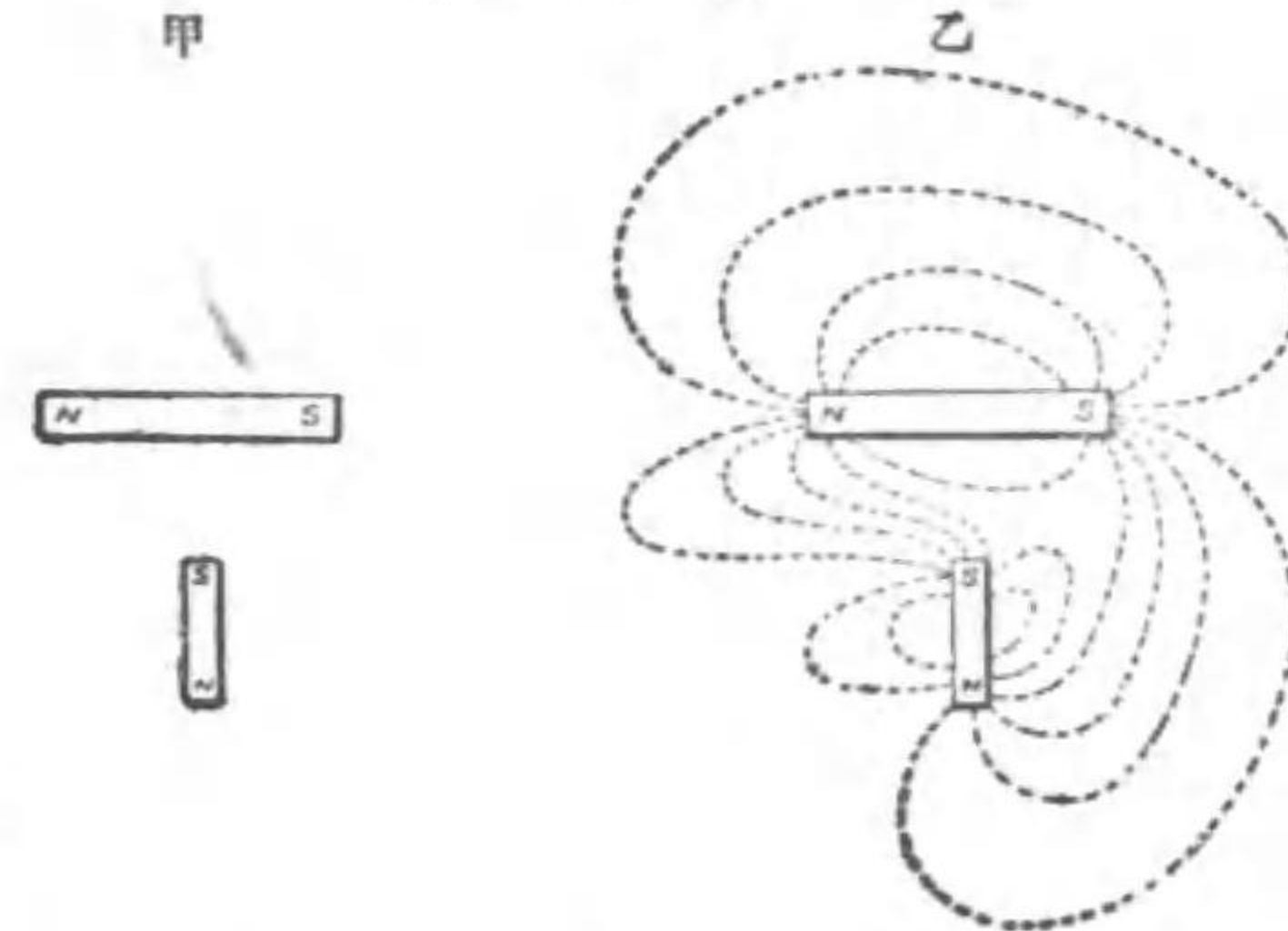
15. 第 33 圖甲の如く二つの棒磁石が置かれた場合、磁界の有様を畫け。

第 32 圖



解 第 33 圖乙の様になる。

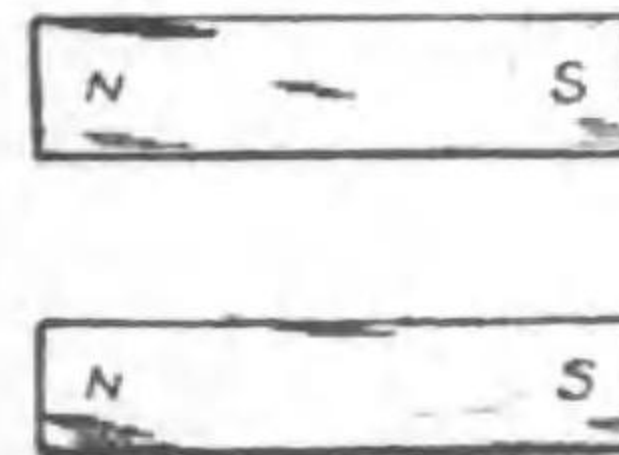
第 33 圖



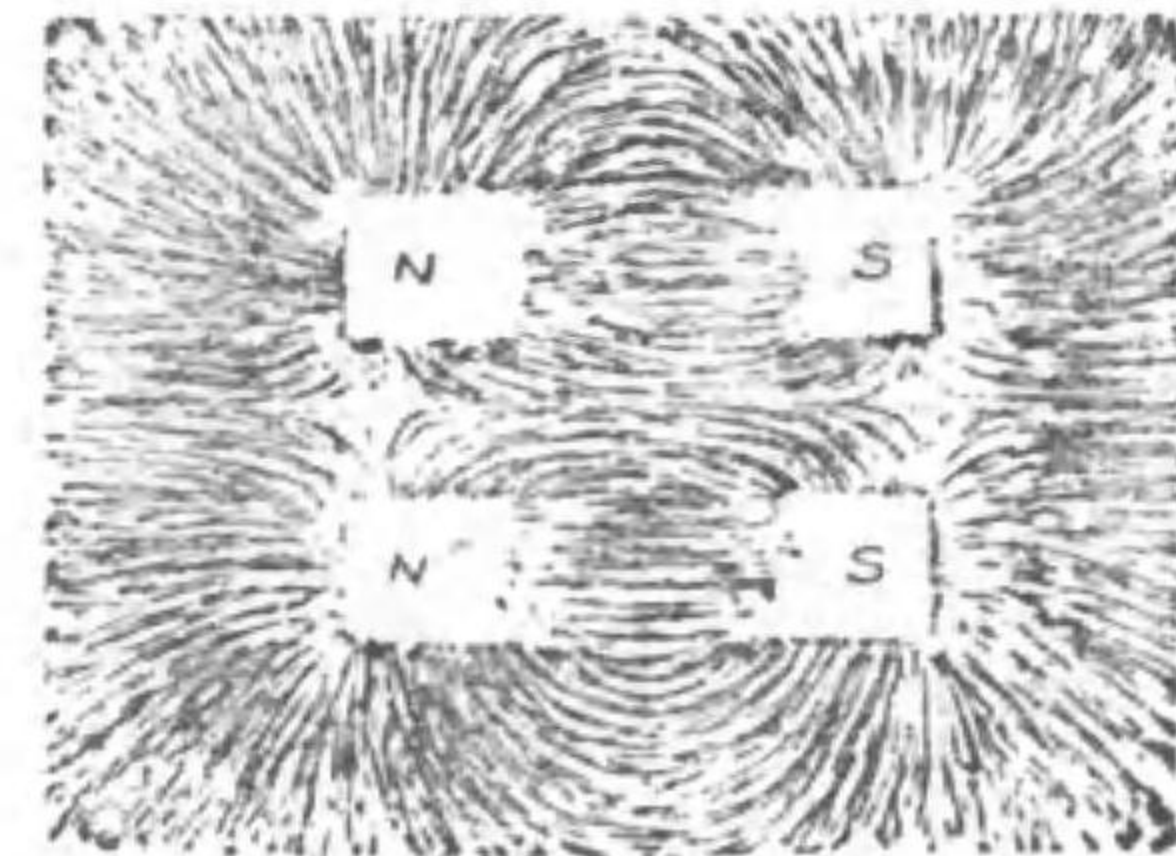
16. 第 34 圖甲の如く二つの棒磁石が置かれた場合、磁界の有様を畫け。

解 第 34 圖乙の様になる。

第 34 圖 甲

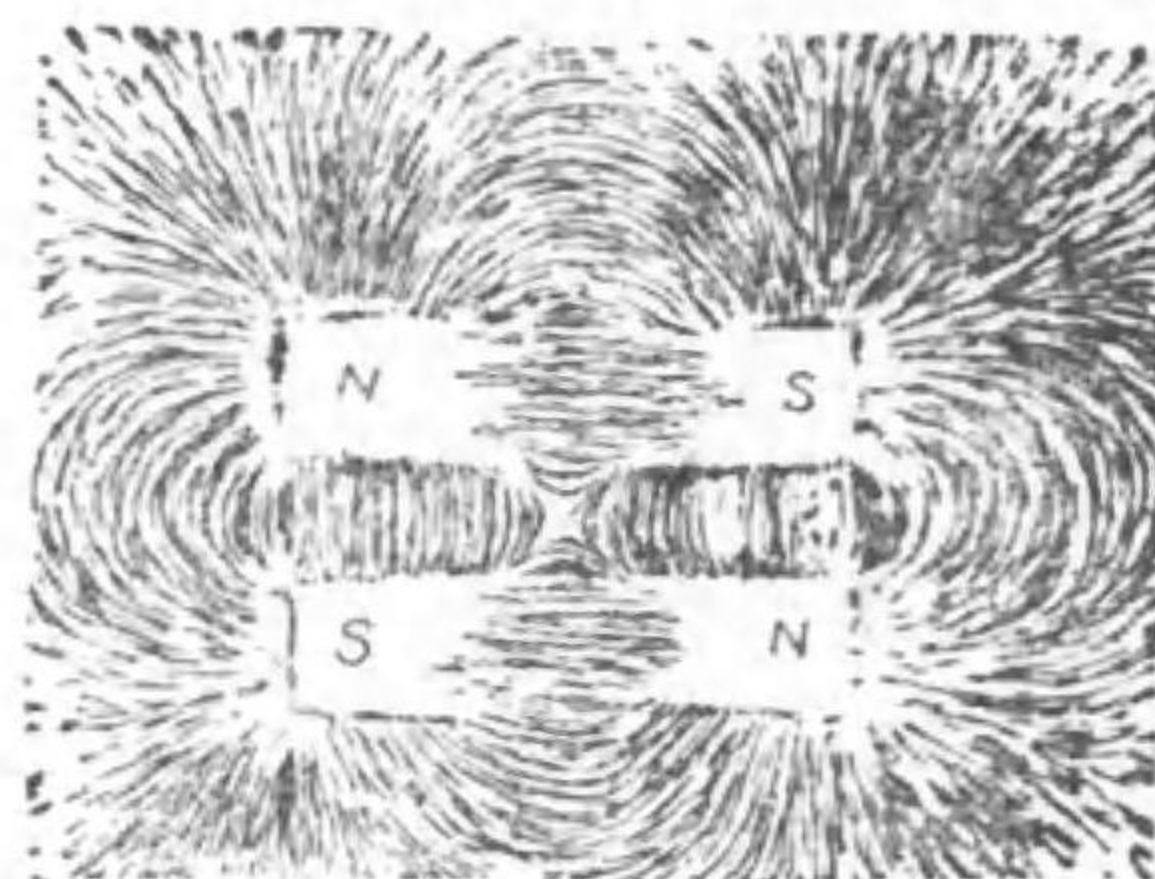
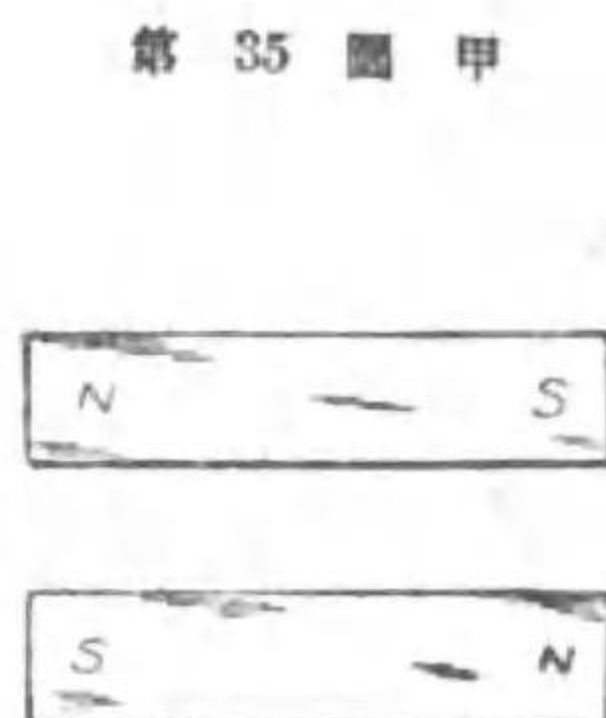


第 34 圖 乙

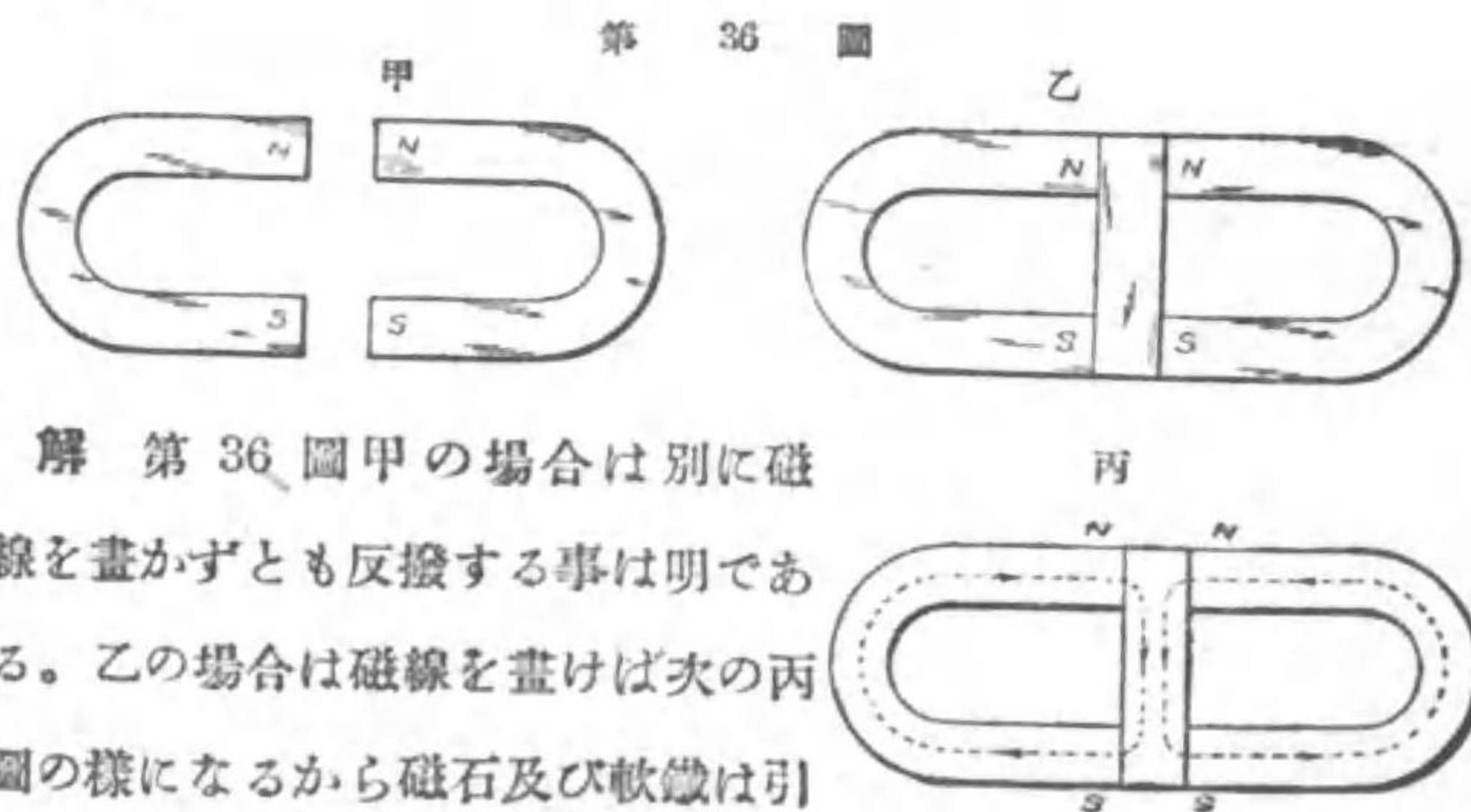


17. 第 35 圖甲の如く二つの棒磁石を置いた時、磁界の有様を
畫け。

解 第 35 圖乙の様になる。



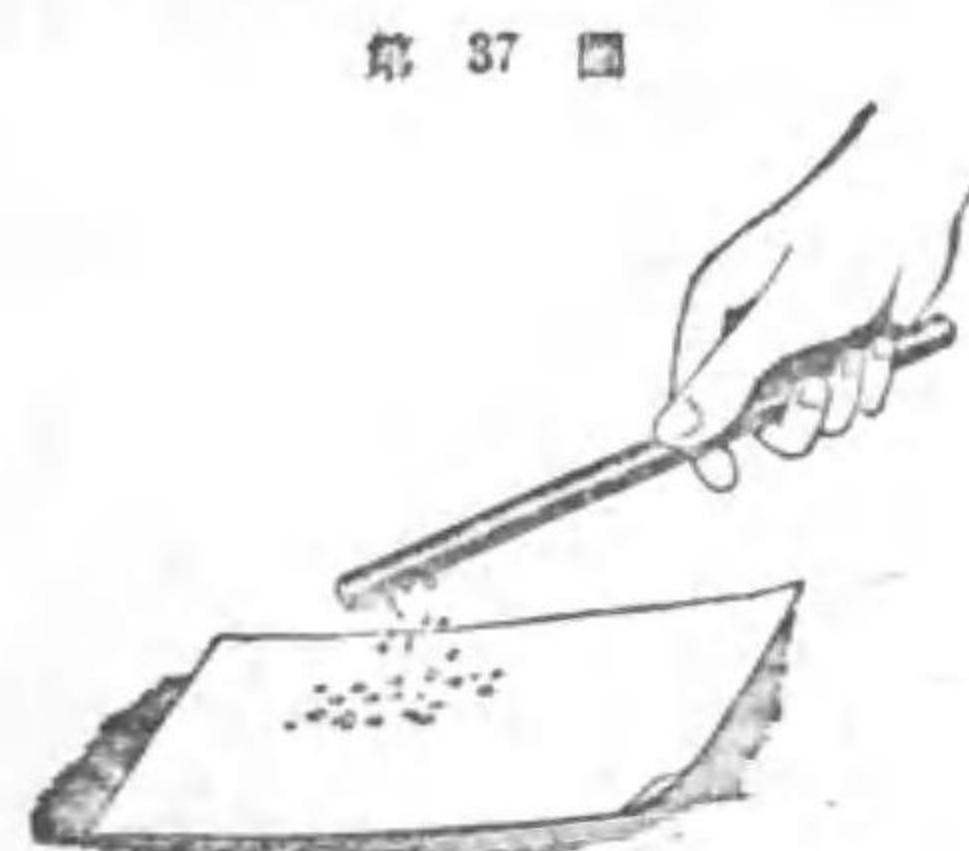
18. 第 36 圖甲の如く二つの蹄形磁石を置くと反撥するが、中
間に乙圖に示す様に軟鐵を入れると磁石と鐵との三つは引つく。
何故か。



解 第 36 圖甲の場合は別に磁
線を畫かずとも反撥する事は明であ
る。乙の場合は磁線を畫けば次の丙
圖の様になるから磁石及び軟鐵は引
ついて放れない。

第二章 電 氣

19. 電氣 乾いた絹で、よく乾かした硝子棒を摩擦する
と、此硝子棒は、細かに切つた燈心、紙片の様な軽い物を引きつ
ける。エボナイトをよくかわかし、毛皮でこすつても、エボナイ
ト棒は軽い物を引き付ける。此様に硝子棒やエボナイト棒が軽い

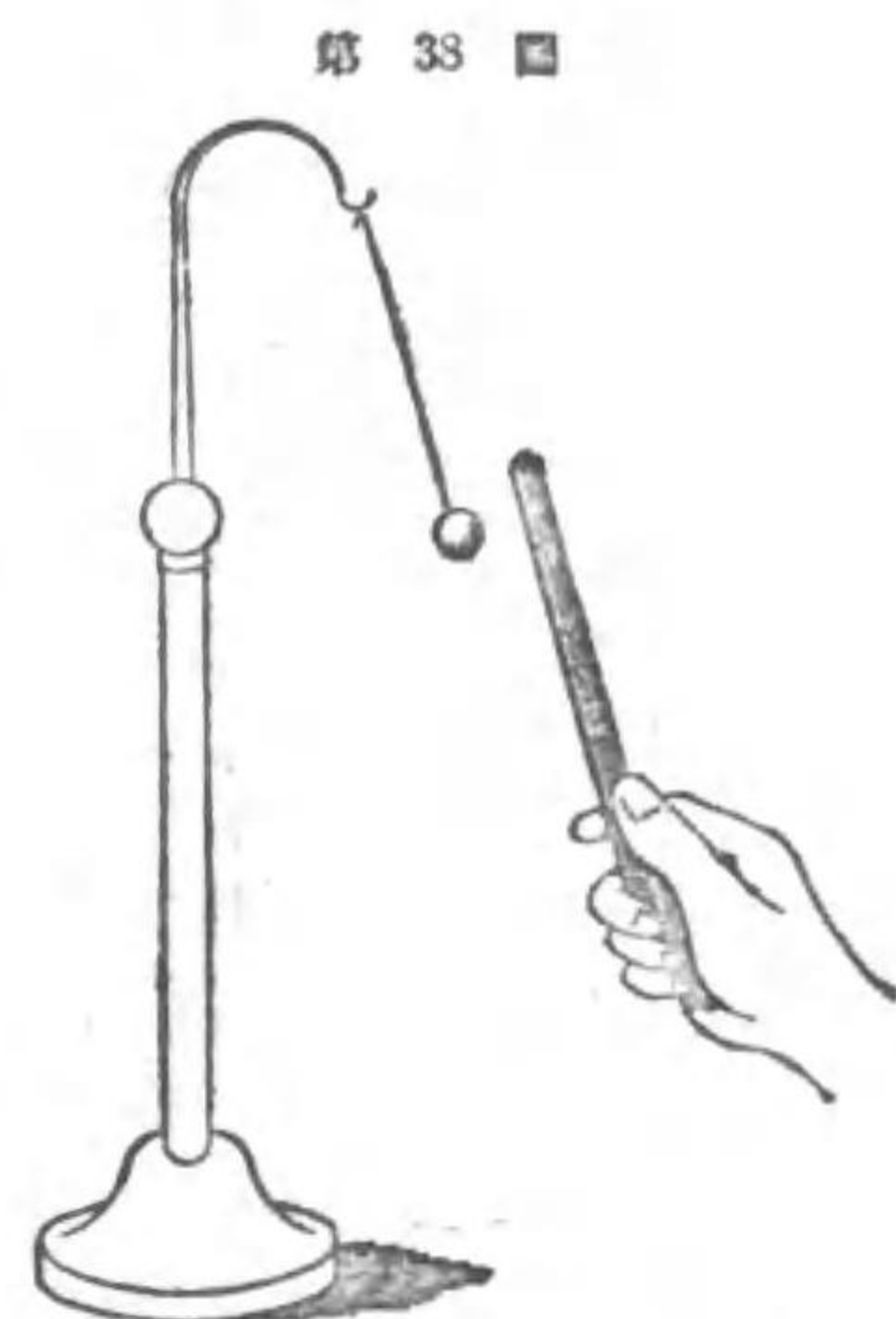


充電體が軽い物を吸ひ付ける實驗

ト棒は充電したと云ふのであ
る。そして、充電した物體を充
電體と稱する。種類の違つた二
の物質を摩擦すると大抵電氣が
起るのである。第 37 圖は充電
體が軽い物を吸ひ付ける様を示
すものである。

尙ほ電氣が有るか無いかをし
らべるには電氣振子と云ふものを使ふと便利であるそれは第 38

物を吸ふ様になるのは、摩擦に
よつて硝子や、エボナイトに電
氣が起つたのである。之を學問
的に云ふと、硝子棒やエボナイ



充電體が燈心球を吸ひ付ける實驗

圖に示す様に、絹糸で燈心を吊したものである。之に充電體を近づけると、燈心球が充電體に吸ひ付けられる。然し一度充電體にふれると、電氣の一部は燈心球に移り、球は充電體を飛びのいて了ひ、充電體を持つて行つても、ぐるぐる逃げ廻つて充電體に近づかない。

摩擦に用ひた前の絹布又は毛皮を電氣振子でしらべて見ると、之等の絹布や毛皮にも充電して居ることがわかる。

20. 導體と不導體 大抵の物は違つた二つの物を摩擦すると電氣が起ると云つた。然らば、金屬棒を絹ハンケチで摩擦して、電氣が起るかを電氣振子でしらべて見ると、すこしも電氣が起つて居ない事がわかる。然し若し金屬棒に硝子の柄をつけて其柄を持つて居て、金屬部を絹で摩擦すると、電氣振子を吸ひ付ける様になる。即ち電氣が起つて居る。これは、どうした譯かと云ふと、金屬や人の身體や大地は電氣を通じ易いから、摩擦で金屬に出來た電氣は人の手、足を通つて大地へ逃げて行つて了ふ。だから、電氣振子でしらべて見ても電氣が起つて居ないのである。然し、硝子は電氣を通じ難いから、金屬棒に硝子の柄をつけると、逃げ道がないから、摩擦によつて起つた電氣は、金屬棒の中に溜まつて電氣振子を吸ひ付ける譯である。

硝子の様に電氣を通さぬ物を不導體と云ひ、金屬や人體などの様に電氣を通じ易い物を導體と云ふ。然し不導體と云つても其物が全く電氣を通さぬと云ふわけではなく、又導體と云つても電氣

の通るのを全く妨げぬ即ち少しも抵抗しないと云ふものもない。即ち電氣を通じ易い通じ難いと云ふ其程度がある。従つて物によつて半導體と云つて中間にあるものもある譯である。今普通導體不導體、半導體を擧げて見ると次の様になる。

導 體：— 金屬，炭，不純の水。

半導體：— 人體，綿，木材。

不導體：— 紙，油類，陶磁器，毛皮，封臘，絹，シエラック，エポナイト，パラフィン，硝子，乾いた空氣。

上に話した金屬棒に硝子の柄を付けた様に電氣の逃げ去るのを防ぐために用ひられた不導體を特に絶縁體と名付けて居る。絶縁體で電氣の通路を遮へぎることを絶縁すると云ふ。乾いた空氣は良い絶縁體であるから、乾いた空氣中に在る導體は絶縁されて居る譯である。然し不純の水は導體であるから、濕氣を含んだ空氣は良い絶縁體ではない。故に濕めつた空氣中に在る導體の絶縁は完全でないのである。

充電體が其の電氣を失ふことを放電と名付ける。

21. 二種の電氣 絹布で摩擦した硝子棒を電氣振子の球にふれしめた後、其の硝子棒を又近づけると球ははじかれる。然し毛皮で摩擦したエポナイト棒を近づけると球は吸引される。又充電したエポナイト棒にふれた球はエポナイト棒からはじかれるが、硝子棒には吸引される。

此實驗から絹でこすつて硝子に起つて居る電氣と、毛皮でこす

つてエボナイトに起つた電気とは、其性質が違つて居ることがわかる。

之を區別するために、此硝子棒の電気を陽電気やうでんきと云つて+の符號で表はし、エボナイト棒に起つた電気を陰電気いんでんきと云つて-の符號で表はすのである。

前の實驗で、電気振子の球に、充電した硝子棒をふれると、硝子の電気の一部は燈心球に移つて球は陽電氣を得る。此陽電氣を帯びた球は、陽電氣を帯びた硝子からはじかれるが、陰電氣を帯びたエボナイトには吸ひ付けられるのである。之等の實驗から次の法則が得られる。即ち同じ種類の電氣は互に斥け合ひ、異なる種類の電氣は互に引き合ふのである。

前の實驗に使つた、硝子棒をこすつた絹布の電氣をしらべて見ると、これは硝子の電氣とは反對のもので、エボナイトの電氣と同じ種類即ち陰電氣なることがわかる。又エボナイトをこすつた毛皮の電氣は、エボナイトの電氣と反對で硝子の電氣即ち陽電氣であることが、電気振子を使つて實驗することが出来る。

かやうに總て違つた二種の物を互に摩擦すると、一方に陽電氣他の方に陰電氣を生ずるものである。そして、何の物體に何種の電氣が生ずるかは、摩擦する二つの物質によつて定まつて居るものである。たとへば、硝子は絹と摩擦する時は陽電氣を生ずるが、猫の皮を摩擦すると硝子は陰電氣を生ずるのである。かやうに、色々の物を摩擦して何れが陽電氣、何れが陰電氣なるかは實驗に

よつてわかるので、之を一々覚えるのは甚だ面倒で次に其順序を示して説明しやう。

- (1) 猫の毛皮, (2) 毛布, (3) 硝子 (4) 絹, (5) 手,
(6) 金屬, (7) 封蠟, (8) ゴム, (9) 硫黃, (10) エボナイト。

此の上位のものと下位のものとをこすると、上位に在る物に陽電氣、下位に在る物に陰電氣が起る。そして、そのお互の隔つたもの程よく電氣が起るものである。

22. 電氣量 同種の電氣は互に斥け合ひ、異種の電氣は互に吸引することは前に述べたが、此充電體と充電體との間の斥力若しくは引力の大小によつて充電體の有する電氣の量の大小を比較することが出来るのである。即ち二個の充電體甲乙の電氣量を比較しやうとするには、他の充電體丙を使つて、甲と丙とを或距離だけ離して其間に作用する力と、乙と丙とを前と同じ距離にて其間に作用する力とを比較すればよろしい。若し此二つの力が等しい時は、甲の電氣量と乙の電氣量とは相等しいのである。若し又前の力が後の力の二倍である時は甲の電氣量は乙の電氣量の二倍であると云へる。そして、電氣量の實用單位をクーロムと名付ける。

23. 顯電器 物體が充電して居るかどうかをしらべたり又充電體の電氣の多少をしらべるために顯電器けんでんきよるものを使ふのである。前にのべた電気振子は簡単な顯電器である。然し尙普通用ひられる鋭敏な顯電器は金箔顯電器である。之は第 39 圖に示

す様に、硝子瓶中に金属棒を挿入し、其の下端から瓶内で二枚の金箔を下げ、上端に金属板を附けてある。瓶の口の栓にはエポナイト、硫黄等を使つて金属棒をよく絶縁してある。

今充電體を此金箔顯電器の金属板にふれると、其電氣の一部は金箔に移り、各金箔には同種

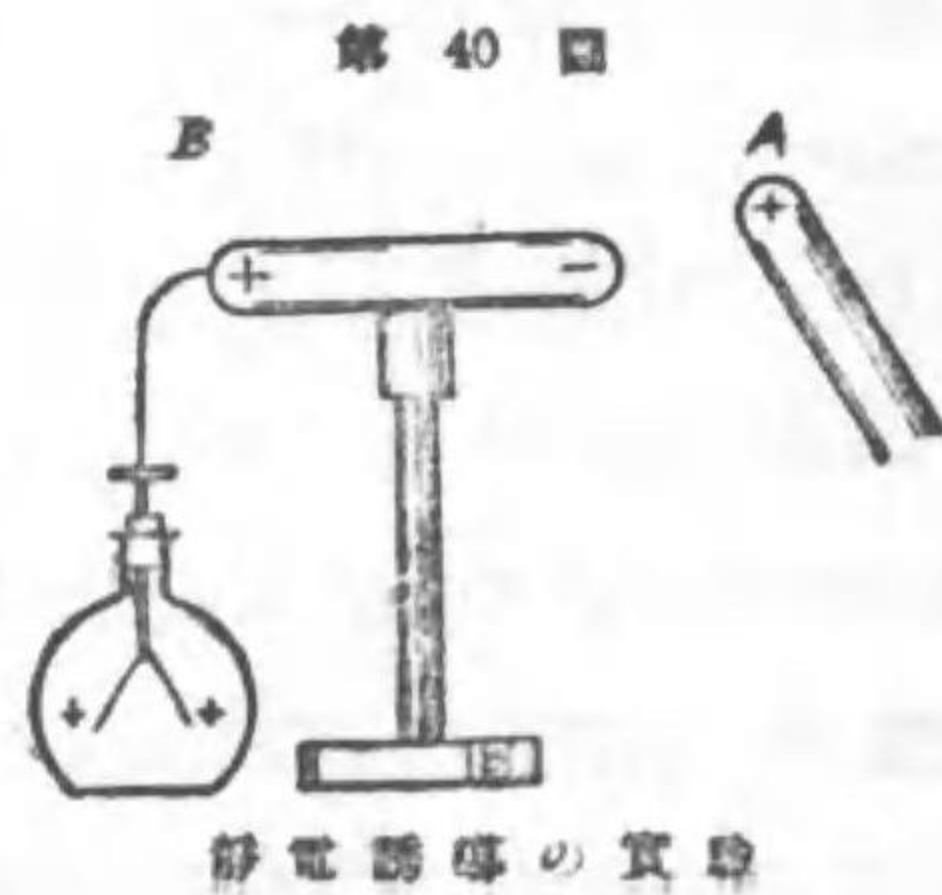
の電氣を帯びるから二枚の金箔は互に斥け合つて開く。其の開きの角の大小は電氣の多少によるから、此角度で以て充電體の有して居る電氣の多少を知ることが出来る。

24. 静電誘導と云ふ事に依つても電氣が起る

第 40 圖に示す様に、充電體 A の近くに絶縁したる導體 B を持つて來ると、此導體は電氣の感化を受けて、充電體に近い側に充電體の電氣と異性の電氣を生じ、遠い側に同性の電氣を生ずるのである。かやうに充電體に接觸せしめないでも、只其近くに於ける導體に影響を及ぼすものである。此の事を静電誘導と名付ける。或は感應とも云ふのである。而して静電誘導によつて生じた兩種の電氣は充電體 A を



金箔顯電器



静電誘導の實驗

遠ざけると、相结合して B 導體は全く電氣を失ふのである。斯様に陰陽の兩電氣が結び付くのを電氣が中和すると稱す。故に静電誘導によつて生じたる二種の電氣の量は相等しいことが知れる。

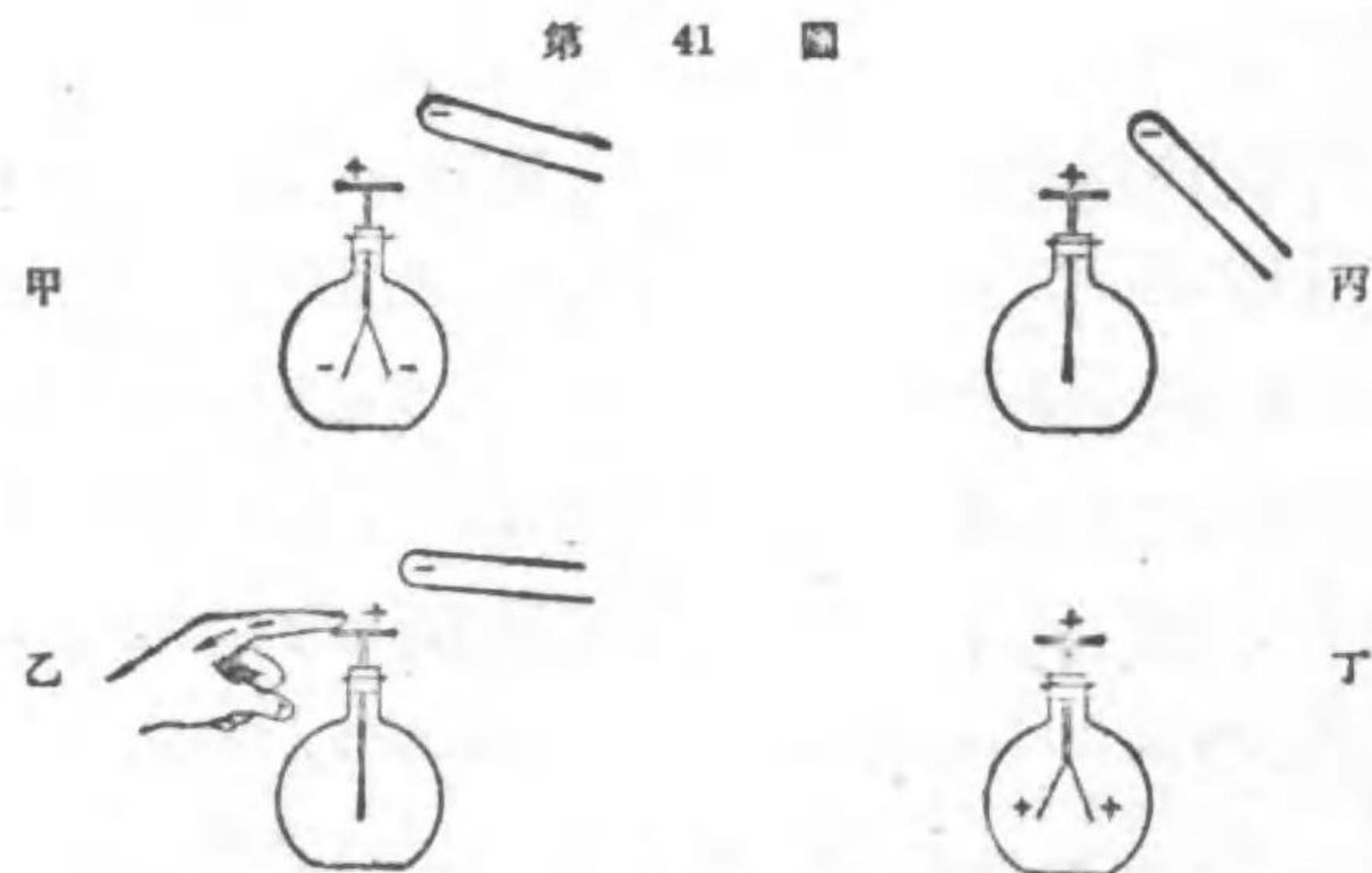
静電誘導は次の様に説明することが出来る。元來物體は凡て等しき量の陽電氣及び陰電氣を持つて居るものであるが、普通の状態では、互に吸引して結合し、相中和するから電氣の存在を示さないのである。今此の中和の状態に在る導體に充電體を近づけると、其充電體と異種の電氣は充電體に近く引き寄せられ、同種の電氣は遠く斥けられるから、元と結合して居た二種の電氣は分離する譯である。

充電體が軽い物體を吸引するのは、此静電誘導に依つて生ずる電氣の作用に過ぎない。例へば、燈心球に充電體を近づけると、球の充電體に近い側に充電體の電氣と異種の電氣を、遠い側に同種の電氣を生ずる。而して充電體の電氣が、之に近い球の異種の電氣を引く力は、遠い部分に生じた同種の電氣を斥ける力よりも大きいから球は充電體の方に引かれるのである。

25. 遊離電荷と牽束電荷 前節の第 40 圖の様に、絶縁された導體 B の近くに陽電氣を帯びた充電體 A を近づけると、圖の様に B は誘導作用を受ける。今導體 B に手をふれると、充電體 A の陽電氣から斥けられ居る B の陽電氣は大地に逃げるが、B の陰電氣は充電體の陽電氣から引かれて居るから大地に逃

げることが出来ないで B 導體上に牽束されるのである。そこで手をはなして大地との連絡を絶つて、充電體 A を遠ざけると、導體には陰電気のみが残る。上の實驗で、充電體に近い導體の部分に在る電気は充電體が在る間は、逃がることが出来ないで、之を牽束電荷と名付ける。又斥けられた電気は自由に導體を傳つて行くものであるから、之を遊離電荷と稱する。而して絶縁された導體 B 上の遊離電荷は、此導體 B 上の何の部分も大地に接続しても、直に大地に逃げる。

尙ほ一例として金箔顯電器を充電する方法を示さう。先づ第 41



静電誘導によつて顯電器を充電する法

圖甲に示す様に、若し陰電気を有する充電體を近づけると、顯電器は圖に示す様に静電誘導作用を受ける。然るに乙圖に示す様に手をふれると、顯電器の遊離電荷（此時は陰電気）は大地へ逃げ

るから、金箔は閉ぢる。手をはなしてもまだ金箔は閉ぢて居る。（丙圖）何んとなれば、牽束電荷は充電體の電気に引かれ居るからである。そこで充電體を遠ざけると（丁圖）、顯電器は陽電気のみが残り、之が導體に擴がり金箔は開く。かやうにして、顯電器を陽電気を以て充電せしむる事が出来る。初め近づける充電體が陽電気を有して居れば、最後の丁圖に於て金箔は陰電気を以て充電される。

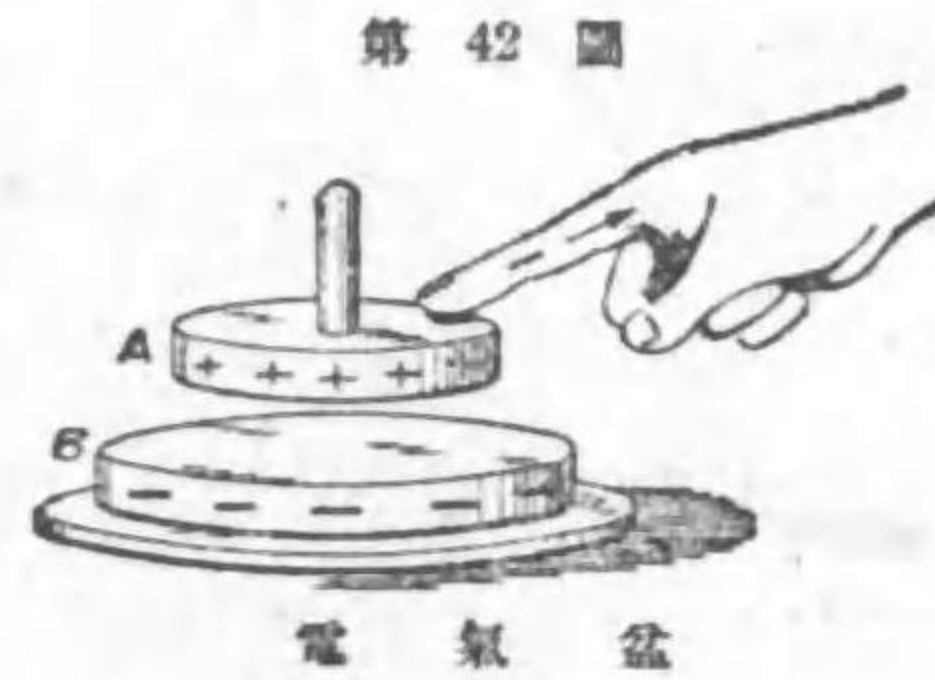
26. 陰陽兩電氣は常に同時に同量に發生する

前に摩擦によつて生ずる電氣は必ず陰陽同時に生ずることを述べたが、此同時に生ずる陰陽兩電氣の電氣量は相等しいのである。例へば、硝子棒の先にフランネルをしつかりと捲き付けおき、此のフランネルを封蠟棒で摩擦して、其の一つ宛を顯電器の金屬板に觸れて見ると、金箔が開いて各が電気を有することを示すのであるが、此の二つを同時に金屬板に觸れると、金箔は少しも開かないのである。即ち此二つに生じた異種の兩電氣は其量が相等しいために互に相殺消失して電氣作用を表はさないのである。摩擦電氣ばかりでなく、静電誘導によつて生じた陰陽兩種の電氣も同量であることは既に述べた通りである。

27. 電氣盆

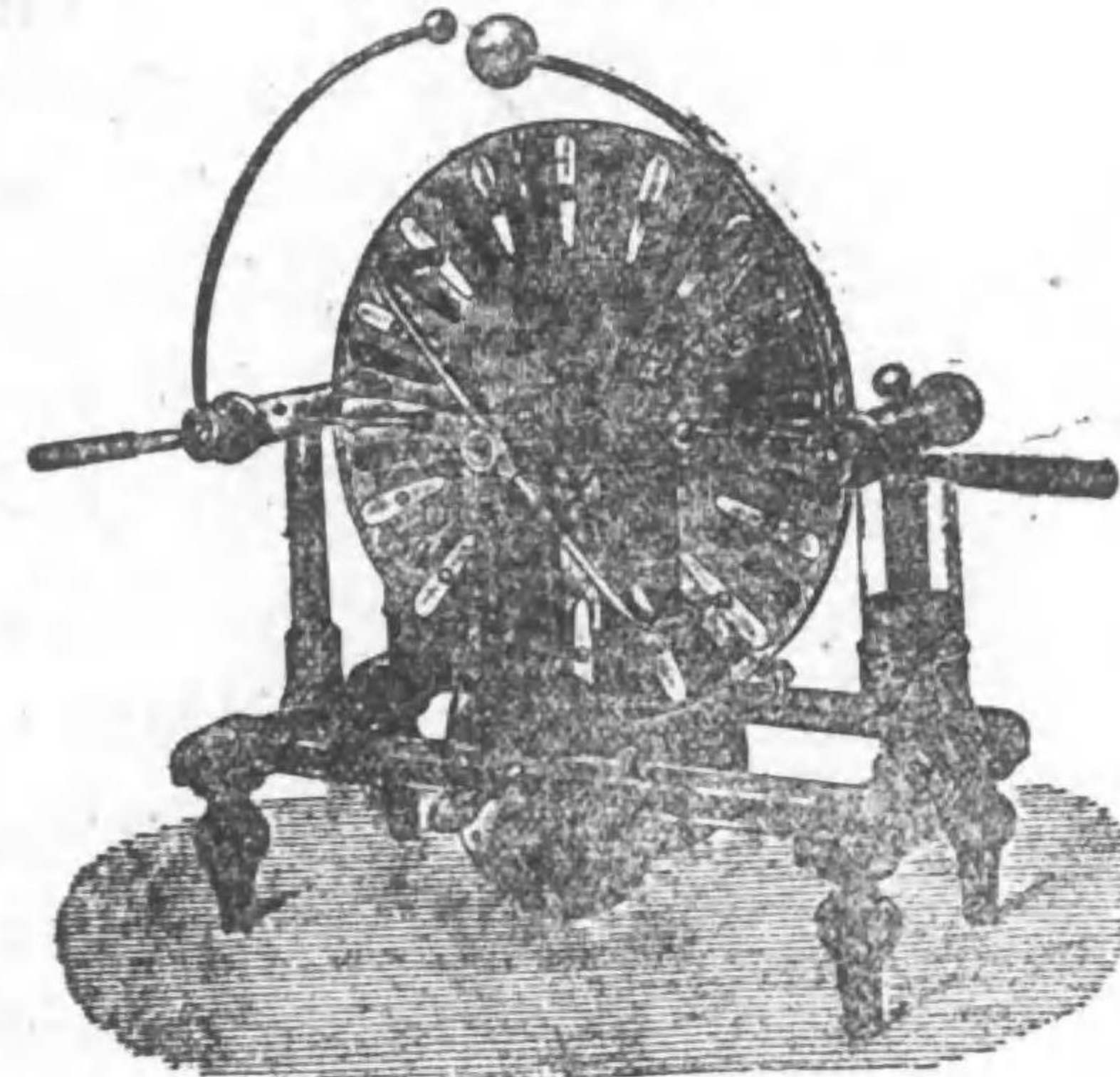
静電誘導の理を應用して電氣を得る器械の一つに電氣盆と云ふものがある。之は第 42 圖に示す様に、二つの部分から出来て居る。一つは木製の臺の上に載せたネボナイト製圓板 B で、一つは之よりも少しく小さい金屬製圓板 A に硝子

の柄を附けたものである。先づ猫皮で以てエポナイト板 B を打つか又は激しく摩擦して、次に金属板 A を此の上のせ一瞬間手を之にふれて、最後に硝子柄を持つて金属板 A を取り去ると、此金属板に陽電氣を得ることが出来る。その理由はどうかと云ふに、先づエポナイト板を猫皮で打つとエポナイト板には陰電氣を生ずる。之に金属板をのせると、之が全く平面でなく凸凹があるから實は極くわづかの點でエポナイト板にふれるから A と B とは空氣の薄い層で隔てられて居る。故に靜電誘導によりて A の下面に陽電氣、上面に陰電氣を生ずるのである。そこで A に指をふれると遊離電荷即ち陰電氣は大地に逃げるから、金属板を取り去ると陽電氣は之に残る譯である。かやうにして一度エポナイト板に陰電氣を與へておけば、之から何回もくりかへして金属板に陽電氣を得ることが出来るのである。



28. 感應起電機 靜電誘導の理を應用して、稍多量の電氣を得る機械に感應起電機と云ふのがある。之にもウイムシャースト氏感應起電機が最も有名である。其の構造は第 43 圖に示す様に、互に反對の方向に廻轉する二枚の硝子圓板があつて、其表面には數多の錫箔を貼り付けてある。左右の位置に金属製の櫛があつて、其齒は兩硝子板に向つて居るが硝子板に接觸はして居

第 43 圖 甲

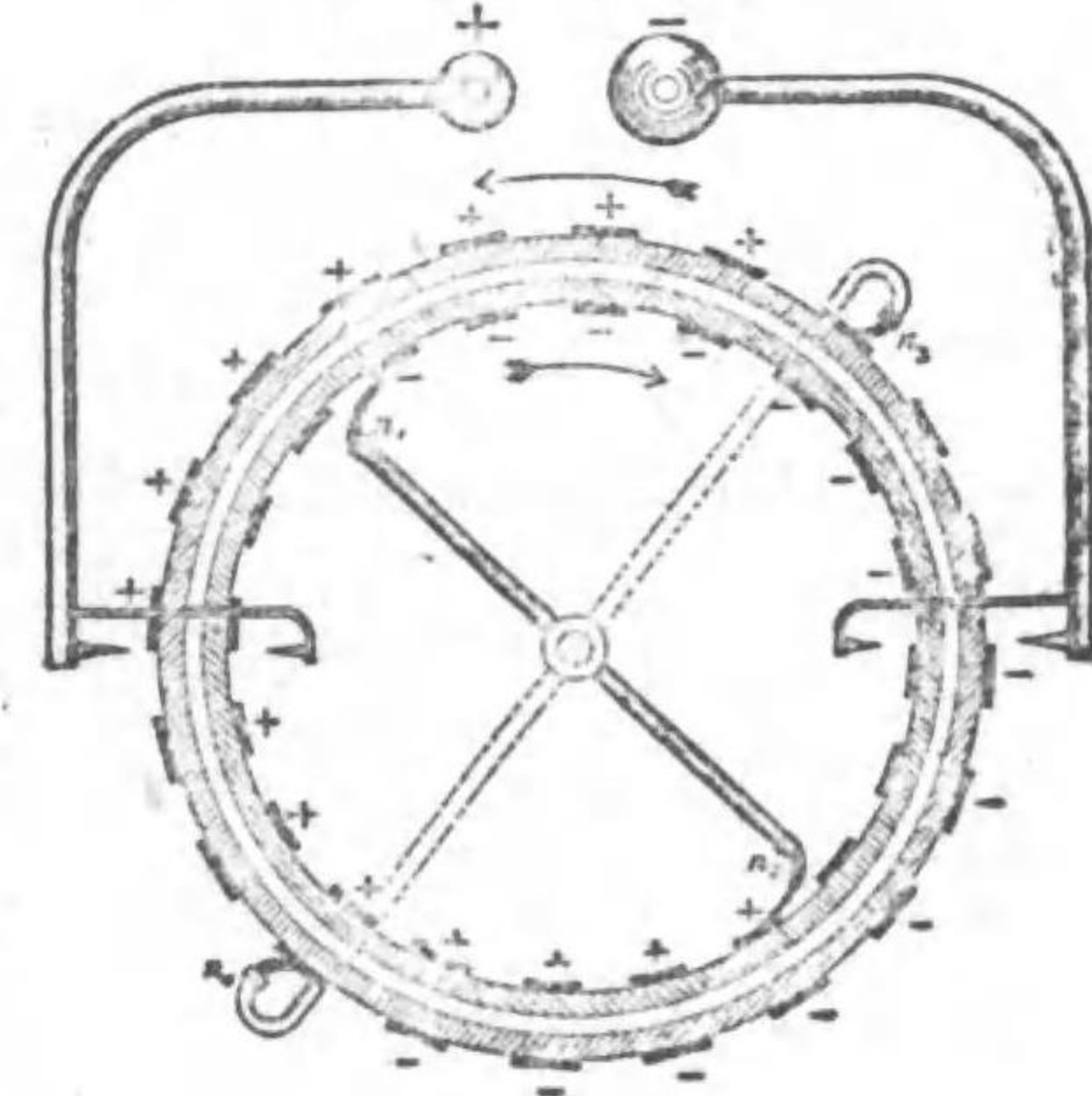


ウイムシャースト起電機

ない。そしてそれぞれ金属球に導體で接続されて居る。又互に直角になつて居る二個の金属製刷子^{すし} n_1n_2 及び n_3n_4 があつて圖に示す様に水平と約45度の位置で前

後各廻轉硝子板に接觸して居る。乙圖は略圖で、説明し易い様に、二つの廻轉板を二つの圓筒で表はし、一つは他のものゝ内部にあるものとした。即ち内圓筒は前板を、外圓筒は後板を表はすのである。廻轉板は圖に矢で示す様に互に反對の方向

第 43 圖 乙



に廻る。今、後板の上部に在る錫箔が始め極めて僅かな陽電氣を有して居るものとする。此箔が左に廻るし、前板が右に廻るから前板の錫箔の一つが刷子 n_1 にふれる處に來ると、靜電誘導により n_1 及び之に接した箔は陰電氣を得、之より遠い n_2 に陽電氣を生ずる。而して n_1 にふれた錫箔は右に廻り其陰電氣を持ち運んで行く。之れが刷子 n_2 に對する位置に來ると、 n_2 及び之にふれる後板の箔に誘導により陽電氣を生じ、 n_3 の處に陰電氣を生ずる。かやうにして上の半分では、前板の箔は陰電氣を左から右へ運び、後板の箔は陽電氣を右から左へ運ぶことになる。下方の半分では結果は之と丁度正反對になり、前板の箔は陽電氣を右から左へ運び、後板の箔は陰電氣を左から右の方へ運ぶ。而して前板と後板とが同種の電氣を有する處即ち左右に於て一對宛の櫛があるから、靜電誘導により左右の二つの金屬球は夫々陽及陰電氣を生じ、櫛の齒には夫々陰陽の電氣を生じ之は箔の陽及び陰電氣と中和するから、結局各金屬球には夫々陽及陰電氣が集まる。

起電機を廻すと、各金屬球に集まる電氣の量が増して來て遂に陰陽の電氣は空氣の絶縁を破つて火花と音とを發して中和放電する。此の種の放電を破裂放電はれつほうでんと稱する。又左右の金屬球を放電球と稱する。

29. 電氣は導體の表面にのみ在る 不導體の一部に電氣が起ると、電氣は其部分に止まつて居て其の全表面に移らない。例へば、硝子棒の一端を猫皮でこすると、只其一端のみに

電氣は起つて他端へは移らないのである。故に不導體に就いては電氣の分布の問題は起らない。然し導體に電氣を與へると、不導體の場合と違つて、電氣は直に導體の全表面にのみ廣がり、導體の内部には存在しないのである。之を實驗で證明する一二の方法を述べよう。

第 44 圖の様な絶縁した中空の金屬球に電氣を與へておく。次に硝子の柄の先きに銅製の小圓板を附けたもの（之を試驗板と名付ける）を取り、その柄を手を持つて、球の外表面にふれると、球は其處の電氣の小部分を板に與へるから顯電器で調べると球の外表面に電氣があることがわかる。しかし此の試驗板を球の内面にふれて顯電器で板



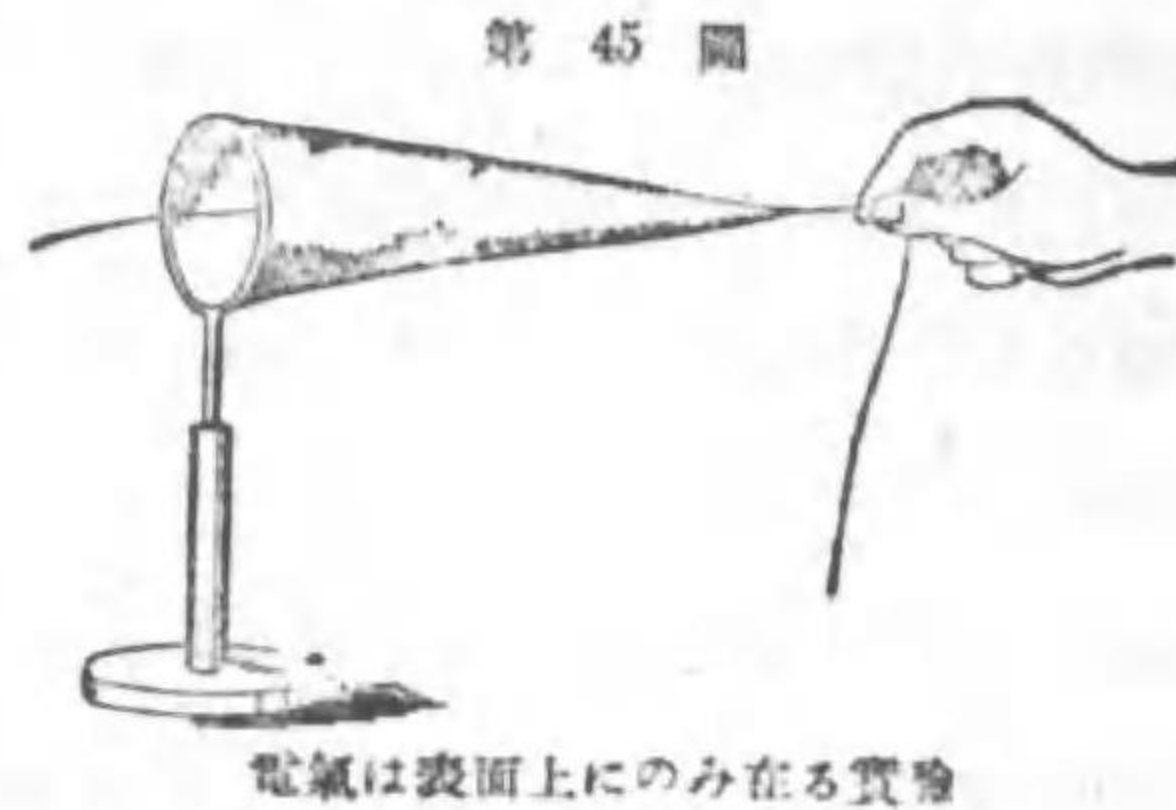
中空金屬球と試験板

を調べても電氣がない事が實驗される。かやうに導體の内部には電氣は無いので、外側の表面のみに在る。

又第二の實驗として、第 45 圖に示す様に圓錐形の麻袋あまごころを作り之を絶縁臺の上ののせ、此袋の端に二つの絹絲を附け、此絲を引いて勝手に袋の表裏を反對にすることが出来る様にして置く。而して此袋に電氣を與へ、前の實驗の様に試験板と顯電器で試験すると、袋の表裏をどんなにしても、電氣は常に外表面にのみ在つて内面には存在しない事がわかる。

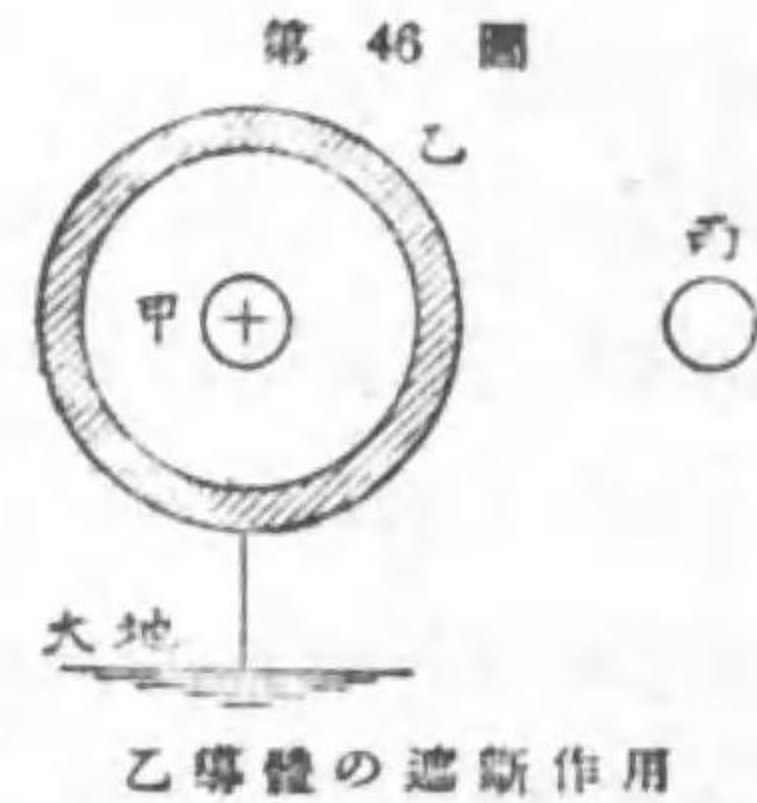
かやうに導體では電氣は表面のみに在る。然し次の二つの例外

がある。中空導體の内部に絶縁した充電體があるときは、静電誘導によつて、中空導體の内面には充電體と異なる電氣を生ずる。又電氣が導體を傳つて流れる場合即ち電流として通る場合は、導體の内部をも通過するのである。



30. 導體の遮斷作用 大地に連絡された中空の導體で

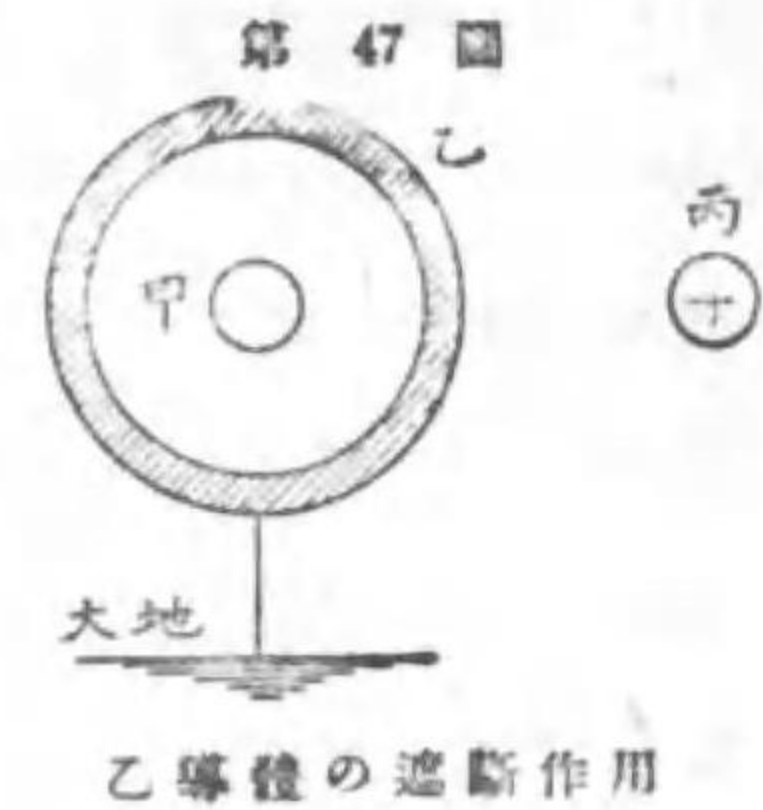
充電體を包むと、中空導體外の導體には何等電氣の作用を及ぼさないものである。即ち第 46 圖に示す様に、甲なる充電體があつて、之が大地に連絡された乙なる導體で包まれ居る時は、乙導體の内面には静電誘導により甲の電氣と異種の電氣を生ずるが、乙導體の外側に在る他の導體丙には何等電氣の作用を及ぼさない。



又第 47 圖に示す様に、甲なる導體が他の中空導體乙の内部に在つて、乙導體は大地に接續されて居る時、今導體の外側に他の充電體丙を近づけても、内部の甲導體には何等電氣作用を及ぼさないのである。

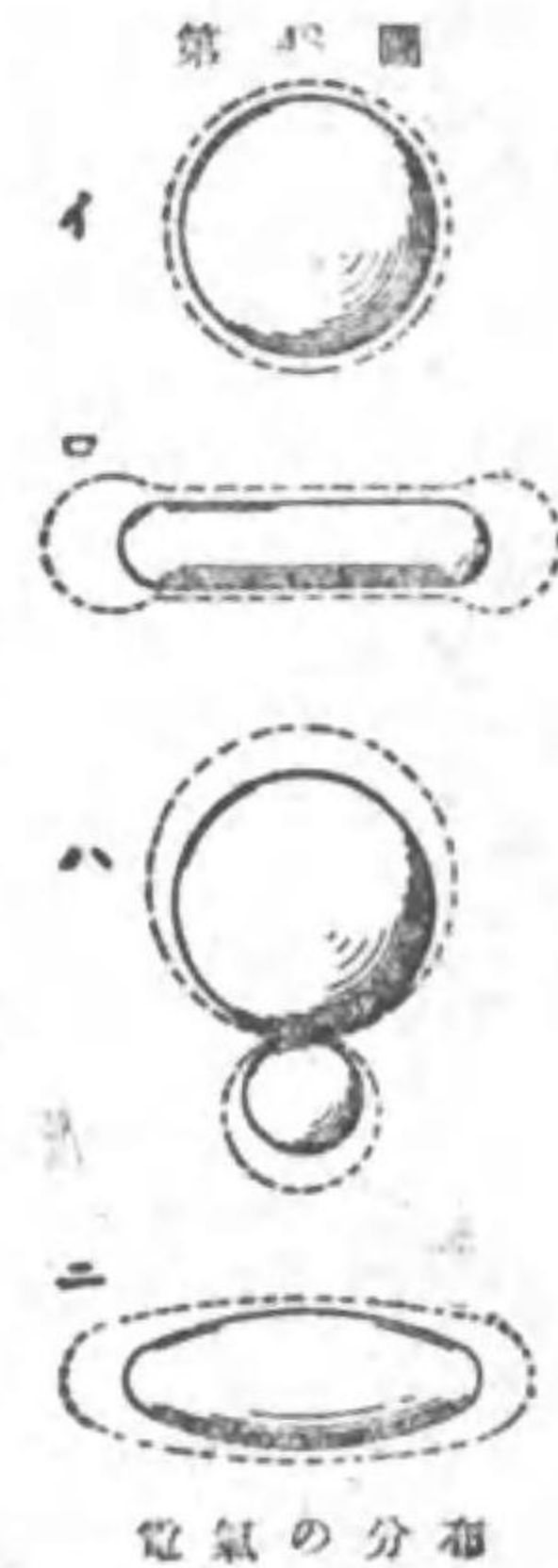
かやうに、大地に連絡した中空導體は、内部と外部との電氣の

現象を遮斷するものである。この事を導體の電氣遮斷作用と云ふ。送電線(遠い所に電氣を供給する電線)の上に地線と稱する大地に連絡せる線條を架するのは不完全ながら一面此の遮斷作用によりて送電線を雷雲等から保護するものである。又導體の遮斷作用は精密な測定器等にも用ひられる。



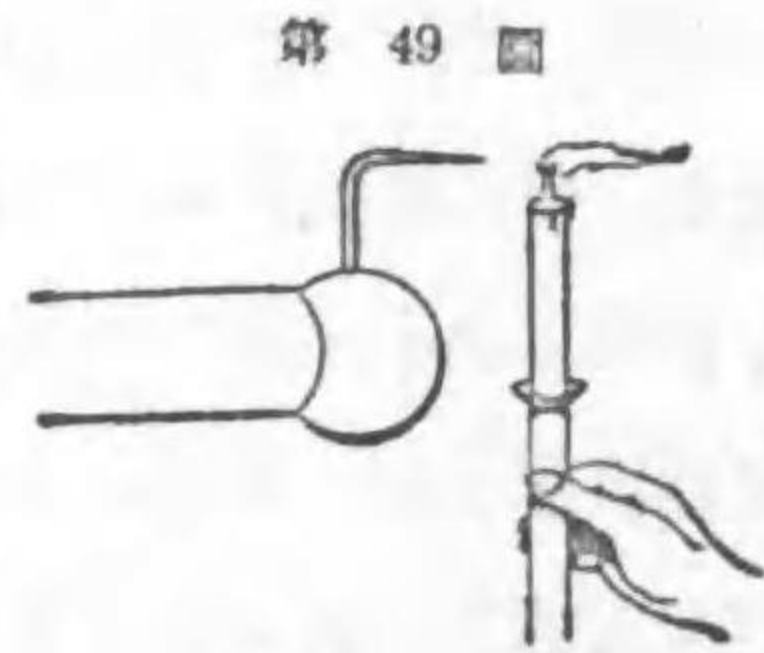
31. 電氣の分布 電氣は一般に導體の表面に一様に分布して居るか云ふに、其分布の有様は表面の各部分によつて違つて居る。而して一般に尖端と云ふ様などが

つた所に餘計集まつて、平らな所には少く集まる。今導體の表面上の任意の一點の周りに小面積を取り、此の面積内に於ける電氣量を其の面積で割つた値即ち其點の周りに於ける單位面積内に在る電氣量を其點の表面密度と稱する。故に表面密度は導體の尖端で大きく平たい所で少いと云ふことになる。第 48 圖は種々の形をした導體に電氣を夫々與へた時の、電氣の分布の有様を想像した圖である。即ち導體の表面から點線までの距離の長短で其點の表面密度を表はしたもので、之れは表



面密度の表はし方であつて、決して電氣がかやうに層をなして存在すると云ふ意味ではない。(イ)の球状導體に電氣を與へると、一様に分布する。即ち此場合に限り表面密度はどの部分も同一である。(ロ)の兩端を丸くした圓筒では、尖端の部が表面密度大である。(ハ)接觸した二球は接觸した附近が表面密度小で、之を遠ざかる程大になつて居る。(ニ)卵形の導體では矢張り尖つた部分が表面密度大である。かやうに電氣が導體表面上で分布するのは同じ種類の電氣がお互に斥け合つて遠ざからうとする自然の結果である。

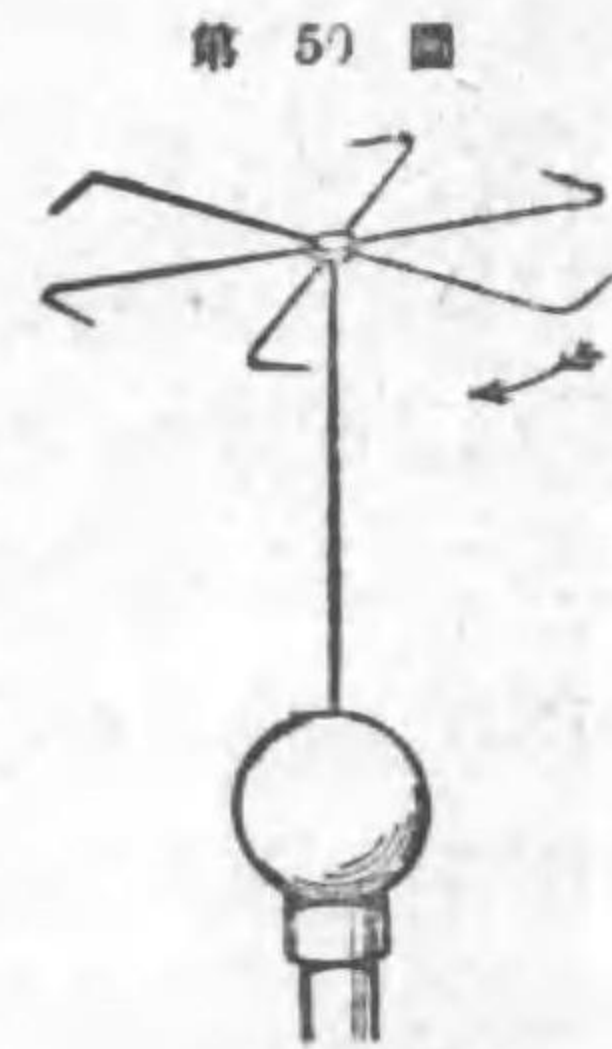
32. 電氣は尖端から逃れ去る 前節に述べた様に導體の表面の尖つた處には多量の電氣が集まるから、其の電氣が相斥くる力も亦強い。故に充電體の一點に尖端がある時は、此處で電氣が相斥くる力大なるために電氣は次第に空氣中に逃げて遂には導體は電氣を失ふのである。故に電氣を蓄へたりする導體には尖つた部分が無い様に作る必要がある。

第 49 圖
電氣風の實驗

此の尖端に集まつた電氣が多量になると其逃げ方がはげしくなるので、第 49 圖に示す様に起電機の一つの放電球に尖端を備へると、電氣は其尖端から逃げて空氣に傳はり、空氣も尖端と同種の電氣を帯びて空氣は電氣に斥けられて流動し、其の跡に來る

新しい空氣も絶えず斥けられる。故に風が生ずるのである。之を電氣風と名付ける。仍つて尖端に蠟燭の火を近づけると風のために吹消されんとするのである。

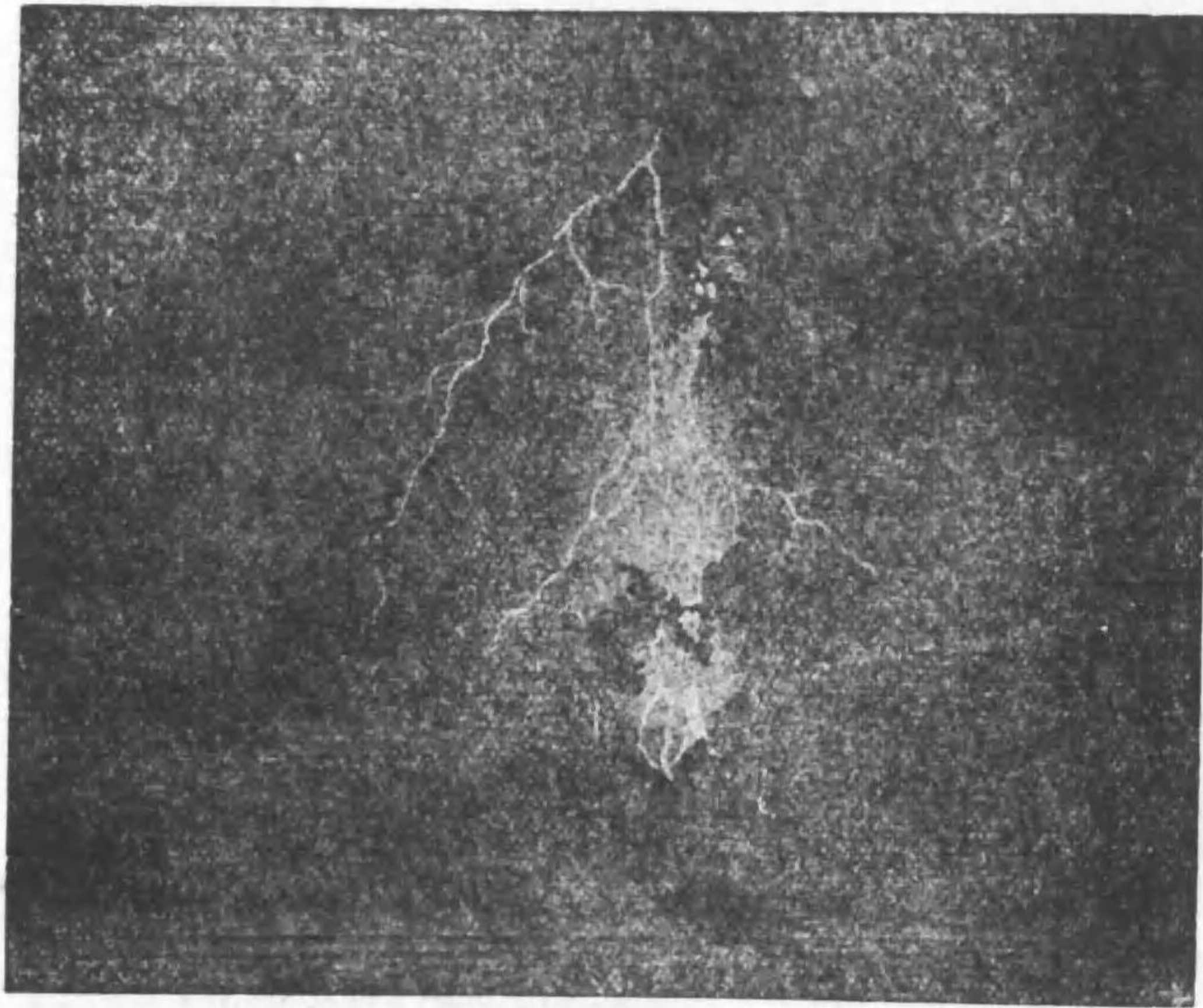
尙ほ尖端の作用の一例として、第 50 圖に示す様にハミルトン氏の電氣反動車がある。之は垂直軸の周りに廻はり得る金屬車で、其の先端は直角に曲げた尖端にして同じ方向に向けてある。軸を起電機に接続して電氣を與へると、電氣は尖端から逃げるから、その反動で車は矢の方向に廻る。

第 50 圖
電氣反動車

33. 雷 どう云ふ原因であるかしつかりとまだわかつては居ないが、吾々の地球を取り囲んだ空氣は電氣を帯びて居るものである。そして此空中電氣は、雨天の場合には陰、陽何れと決まつては居ないが、晴天には空氣は普通陽電氣を帯びて居る。

雲は多少の電氣を持つて居るものであるが、若し多量の異種の電氣を持つた雲と雲とが近づくと、兩電氣は中間の空氣を破つて結び付き破裂放電を生ずるのである。此時生ずる火花を電光と云ひ、之に伴ふ音が雷である。即ち前に述べたウィムシャースト起電機を廻はして、其放電球間に破裂放電をさせたと同じ放電である。又多量に電氣を持つた雲が、地面に近く降りて來ると、之に對した地面は靜電誘導により、異種の電氣を生じ、此の誘導作

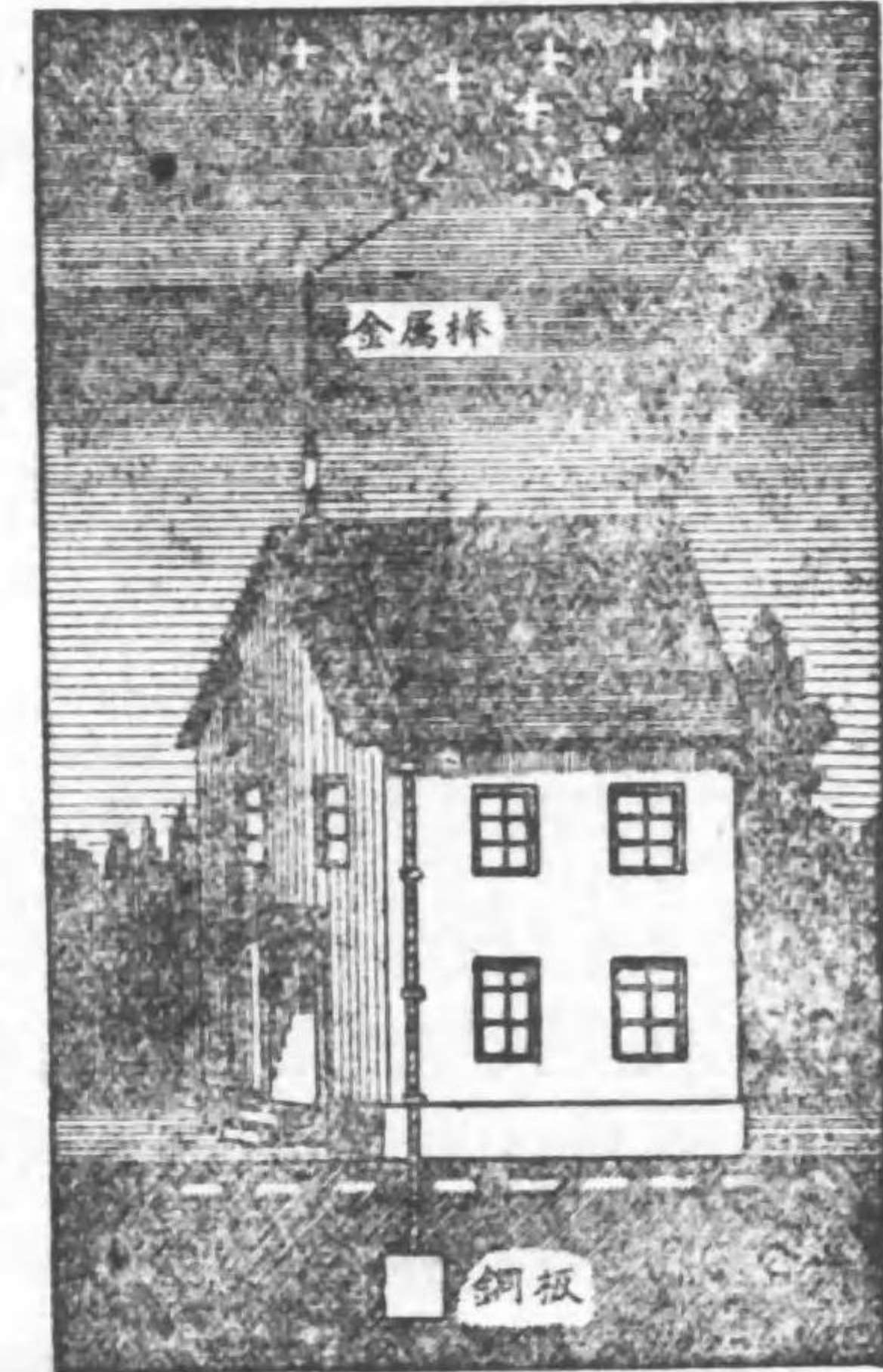
第 51 圖



用が強いと中間の空気を破つて放電する。之が落雷である。樹木とか煙突とかの様に突き出て居る部分は静電誘導作用を受けることが強く、電氣はそう云ふ尖端に密集するから、落雷することが多い。

34. 避雷針 落雷すると、家を焼いたり、樹木を裂いたり、人を殺したりするから、之を避けるために避雷針が工夫された。落雷は要するに静電誘導によつて出来た多量の電氣を一時に放電させるから大變な事になる。之を少しづつなし崩的に静かに中和させたならば害は無い筈である。それで、屋根の上へ先きの

第 52 圖



避 雷 針

尖がつた金属棒を立て、之を針金の様な導體で大地へ連結すると、大地に静電誘導で出来た電氣は此導體を傳ひ金属棒の尖端から少しづつ静かに中和して、一時に多量の電氣が放電する事を防ぐ事が出来る。然し避雷針は、雷雲を屋根の上まで呼んで来て少しづつ放電させるのであるから若し金属棒の尖端が錆びたりして居るとか（錆は電氣の不導體である）又は大地との接觸が不充分である時には、それが爲めに折角屋根の上と呼ん

で来た雲の電氣がなし崩的に放電されずに一時に空気を破つて放電するから、不完全な避雷針のために反つて屢大害をなす事がある。故に避雷針の尖端は錆びない様に普通金又は白金を付けておき、又大地との接觸をよくする爲めに、地中導體は銅板か、又は銅の燃線ヨリヤンを數回輪形に捲いたものを、特に濕氣しつの充分な場所に埋めるのである。

35. 電氣の流れと水の流れは似て居る 金属棒

を手を持つて居て毛皮で摩擦すると、金属棒に起つた電氣は人の身體を通つて大地へ逃げて行く事は既に述べた通りである。又二個の金属球を絶縁しておいて、一方のみに電氣を與へ、兩球を接觸せしめて後之を離すと、電氣は他の方にも移つて居る事が實驗される。又陰陽兩性に充電して居る二物體を導體で接續すると電氣は導體を傳つて互に中和する。かやうに起電したものを導體で他の充電してないもの又は反對に充電したものに接續すると、電氣は其導體を通つて他の物へ移つて行く。而して電氣の導體を通つて行くのは丁度水が河を流れる、即ち水流と似て居るから電氣の流れ即ち電流と名付ける。

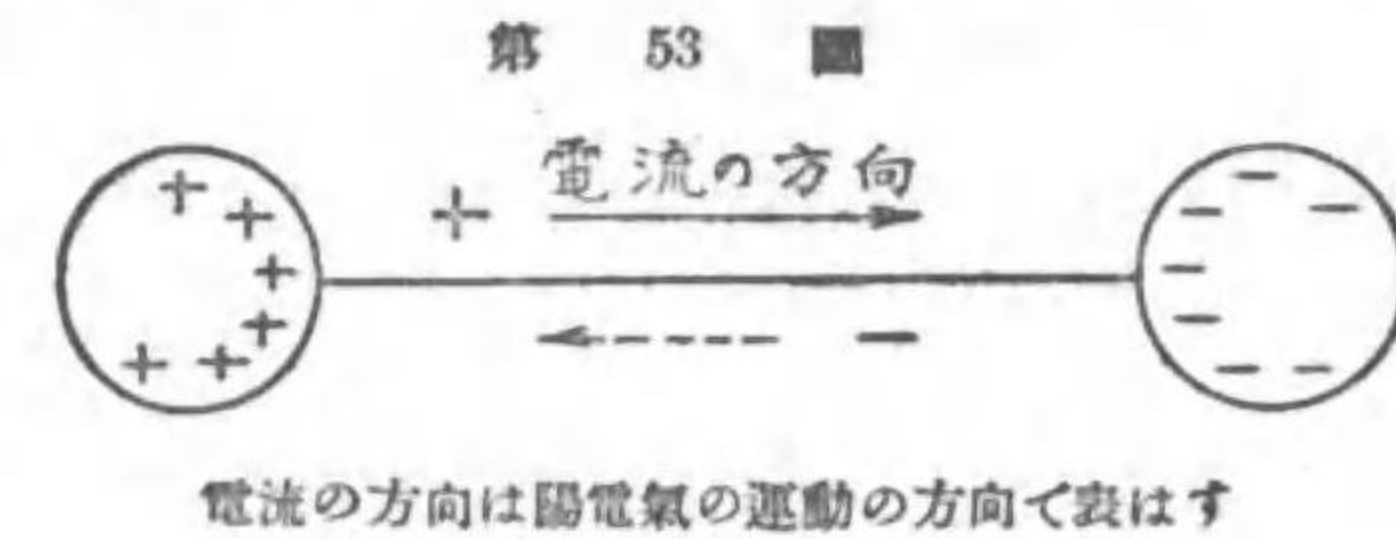
36. 電流の方向は陽電氣の流れる方向を取る

水流には方向がある。其れと同じに電流にも方向がある。水は唯一つの物しかないから、其の流れる方向は簡單である。然し電氣には陰陽の兩種の電氣があるから水の様に簡單には行かない。

陰陽兩電氣を與へられた二導體を他の導體で接續すると、陰電氣は陽に充電した方へ移り、陽電氣は陰に充電した方へ向つて流れて中和する。だから電流の方向は、陰電氣の方から考へたのと陽電氣の方から考へたのとは正反對になる。どつちか一つに決めておかないと間違ひが起り易い。そこで電氣工學では、陽電氣の流れる方向を電流の方向と決めて、陰電氣は電流と反對の方向に移動して行くものと考へる。(第 53 圖参照)

だから若し陰電氣を持つて居るものを導體で大地に接續すると、

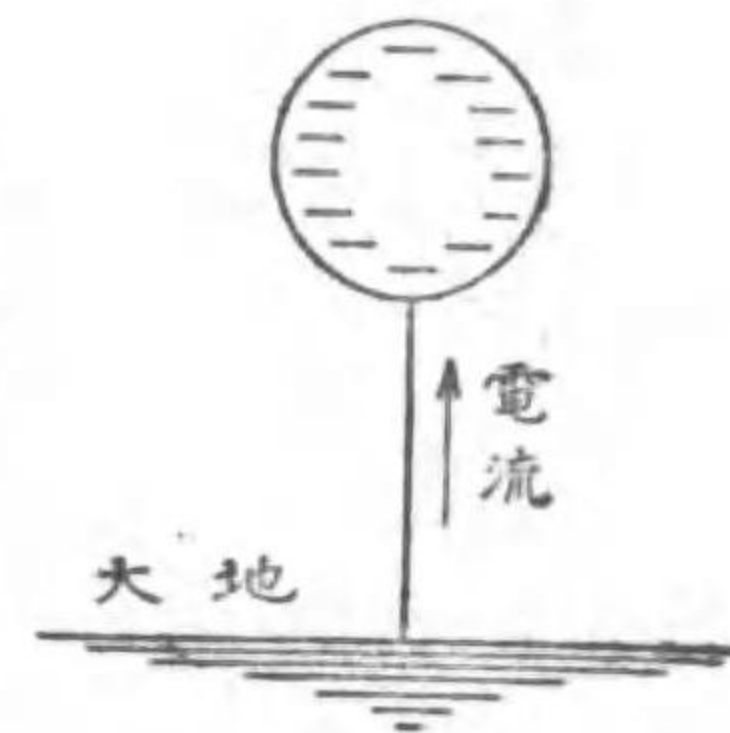
陰電氣は導體の中を通つて大地へ行くけれども、電流は第 54 圖に示す



様に、大地から導體を通つて陰に充電したものに流れると稱するのである。

何故に上の様に、陽電氣の流れる方向を電流の方向としたかと云ふに、之は昔の學者が電氣は陽電氣のたゞ一種類で、萬物皆電氣の一定の量を持つて居り、さうして此量が普通より多くなると陽に起

第 54 圖



電した様な働きをなし、此量が不足した時には陰に起電した様な働きをなすものと考へた。そこで電流は常に陽電氣が流るるもので、陰電氣が流るゝ様に見ゆる時にも實際は陽電氣が陰電氣と反對の方向に流るゝのであるとしたからである。最近の電子説によると、導體内で移動するのは陽電氣でなくて陰電氣の方だと云ふ事になつて居るが、電氣工學上では矢張り陽電氣の流れる方向を電流の方向と約束して居る。

37. 電位 第 55 圖に示す様に、甲乙二つの容器に水を入れ、之を丙なる管で連絡すると、水は、甲、乙の水量の多い少いに拘らず、唯水面の高い甲から水面の低い乙へ向つて流れる。

又熱の移動についても、二つの物體を接觸させると、熱は各の熱量の多い少いに拘らずに唯温度の高い方から低い方へ移動するのである。

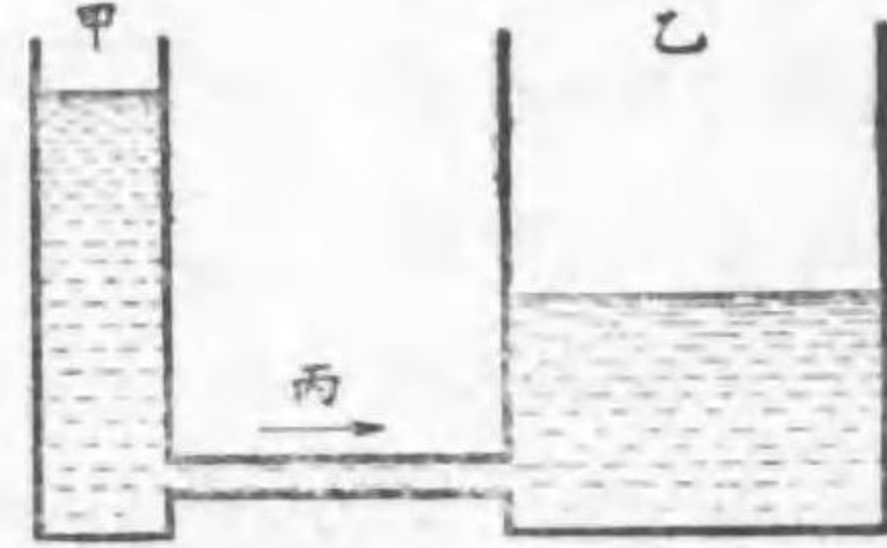
電氣の流れも上の水や熱の移動とよく似て居る。二個の絶縁され

た導體の各に充電して此二つを他の導體で連結して實驗を色々やつて見ると、電氣の移動は各の電氣量の多少に拘らずに、丁度水の場合の水面の高さや熱の場合の温度に相當する或る原因によつて電氣の移動が決まるのである。此の原因を電位と名付ける。即ち水面の高低があるために水は移動し、温度の差があるために熱の移動がある様に、電位の高低がある爲めに導體に電氣の流れ即ち電流が生ずる。而して甲と乙とを導體で接續した時、陽電氣が甲から乙へ流れると（即ち電氣が甲から乙へ流れると）、甲は乙より電位が高いと云ふ。故に若し甲と乙とを接續した時、若し陰電氣が甲から乙へ移つたならば電流は乙から甲に流れた事になるから、此時は甲は乙より電位が低いと云はなければならない。かやうに電流は電位の高い方から低い方へ流れる。

又第 55 圖に於て甲、乙各容器の水面が同じ高さになると丙には水の流れは止んで終ふ。それと同じく電氣でも甲乙二導體が同じ電位になると電流は止んで終ふ。

つまり、甲乙二個の充電體を他の導體丙で接續すれば、甲と乙

第 55 圖



とが電位の差があれば、高い電位の方から低い電位のものへ丙を通つて電流が通じ、甲と乙とが同じ電位になつて電流は止んで終ふ譯である。之から又一個の充電した導體のどの點も同じ電位である事が分かる。

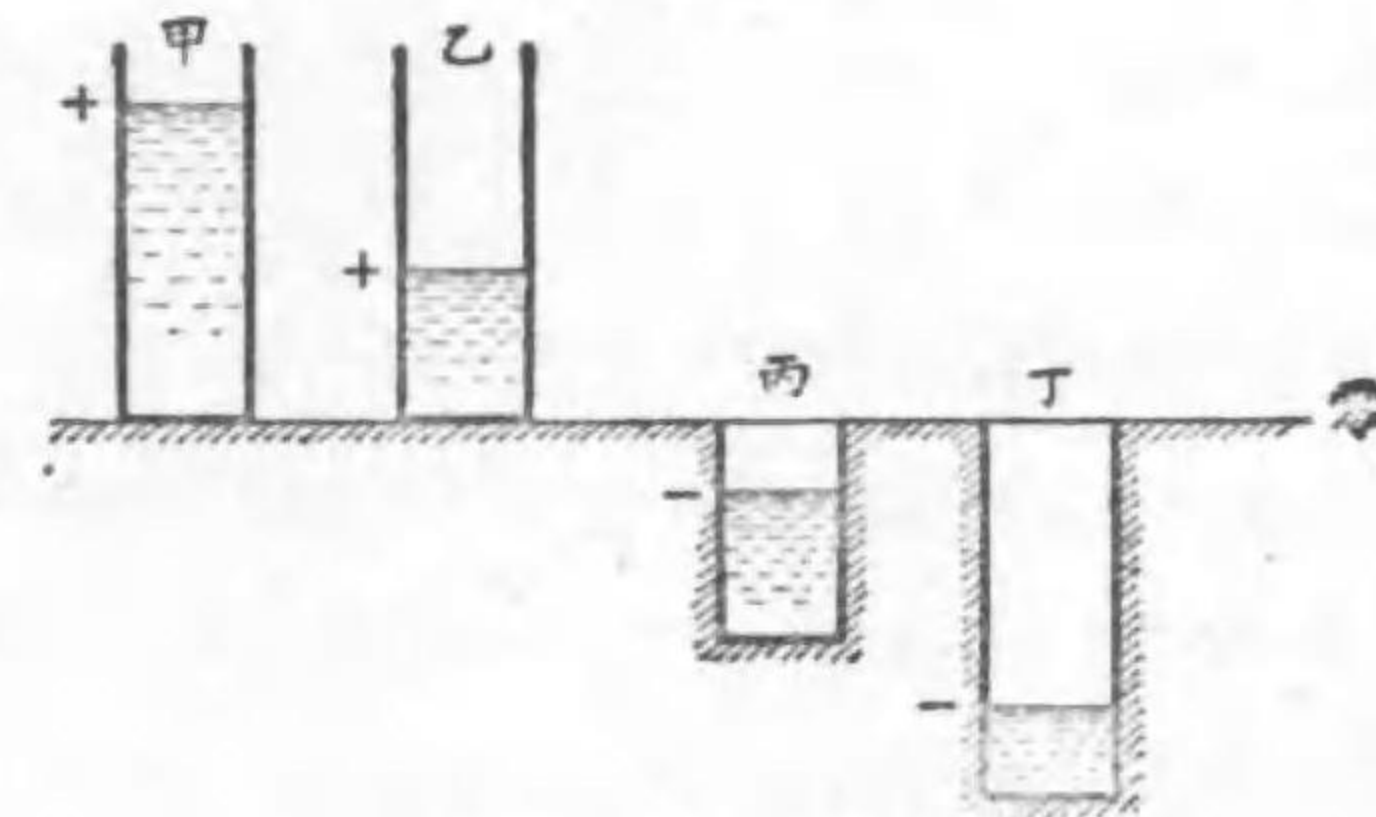
又水は高さの差があつても兩方を管で連絡しない限りは水流が無いのと同じく、二個の充電體に電位の差があつても、之を導體で接續するか又は互に接觸させるとかしなければ勿論電流は流れない。

38. 電位の差を電壓と云ふ 水の高さを1メートルとか2mとか云つて計る様に、電位も1ヴォルトとか2ヴォルトとか云つて計る。即ち電位の實用單位をヴォルトと名づける。

あのタンクの水面は30mの高さにあるとか、此井戸の水の水面は3mの深さにあるとか云つて居るのは、水面は皆地面から計つたものである。それと同じ様に、甲電氣の電位が2000ヴォルト高いとか、乙電氣

の電位が3000ヴォルト低いとか云ふのは皆此大地の電位を零として大地の電位より甲は2000ヴォルト高い、乙は大地の電

第 56 圖



電位の高低の比喩

位より 3000 ヴォルト低いと云ふ意味である。つまり或電氣の電位と云ふのは普通は、其電氣と大地との間の電位の差を云ふのである。そして普通の場合、陽電氣を持つて居るものを地球へ接続すると、陽電氣が地球へ流れるから、陽電氣を持つたものはその電位は地球の電位即ち零より高い。又陰電氣を持つて居るものを地球へ接続すると、陰電氣が地球へ移る即ち電流が大地から陰電氣を持つたものへ流れるから、陰電氣を持つたものはその電位は地球の電位即ち零より低い譯である。

電位の差を一名電壓と稱する。而して此電壓の單位もヴォルトを用ひる。感應起電機を廻はすと兩放電球間の電位差は數萬ヴォルトある。さう云ふ高い電壓になると前にも述べた様に、陰陽兩電氣は中間の空氣の絶縁を破つて中和放電する。

39. 導體の靜電容量 一つの容器に水を入れる時水量が多い程其の水面の高さは高い。又違つた色々の容器に同じ水量を入れて見ても、各其の水面の高さは違ふ。電氣の場合でも上と同じ様な事柄がある。一個の導體に陽電氣を與へると、其電氣量が多い程其の電位は高くなる。又違つた形をした色々の導體に同じ電氣量の陽電氣を與へて見ても、各導體の電位は同一ではないのである。即ち導體の形によつて同じ電氣量の陽電氣を與へても電位の高まる度が違つて、甲の導體の電位は非常に高くなるのに、乙の導體の電位はそんなに高くないことがある。そこで甲乙二つの導體を同じ電位まで高めるには乙の導體は甲の導體より多

量^{せいでんりやう}を要する。此の場合に乙の導體は甲の導體よりも大なる靜電容量^{せいでんりやう}を有して居ると云ふのである。そして靜電容量の實用上の單位の名をファラッドと云ふ。それには、電位を1 ヴォルト高めるに1 クーロムの電氣量を要するものは1 ファラッドの靜電容量であると云ひ、若し又百ヴォルト高めるに1 クーロム要する導體は百分の一ファラッドの靜電容量であると云ふのである。一般に云つて見ると、或る導體に Q クーロムの電氣量を與へて其の電位が V ヴォルト高まる時は、其導體の靜電容量を C で表はすと、

$$C = \frac{Q}{V},$$

即ち、 靜電容量(ファラッド) = $\frac{\text{電氣量(クーロム)}}{\text{電位の變化(ヴォルト)}}$

なる關係がある。靜電容量の實用單位はファラッドであるが、此1 ファラッドは實際に用ひる單位としては餘り大きすぎるので、ファラッドの百萬分の一を單位とし之をマイクロ・ファラッドと云ふのである。百萬分の一の事を英語ではマイクロと呼んで居る。だからマイクロ・ファラッドとは百萬分の一のファラッドになる。地球は一つの大きな球狀導體であるが、その靜電容量は計算によると約710 マイクロ・ファラッドである。

40. 蓄電器 第57圖に示す様に、絶縁された甲乙二枚の金屬板を平行に並べて、一方の甲を起電機に連結して之に陽電氣を與へると、乙には靜電誘導に依つて甲に對した面に甲と異種の電氣即ち陰電氣を、遠い側に同種の電氣即ち陽電氣を生ずる。

今乙を導體で大地へ連結すると、

遊離電荷即ち甲から反撥された陽

電荷は大地へ逃げ去り、^{けんそく}牽束電荷

即ち陰電氣丈けが乙に残り、此乙

の陰電氣が甲の陽電氣を吸引する

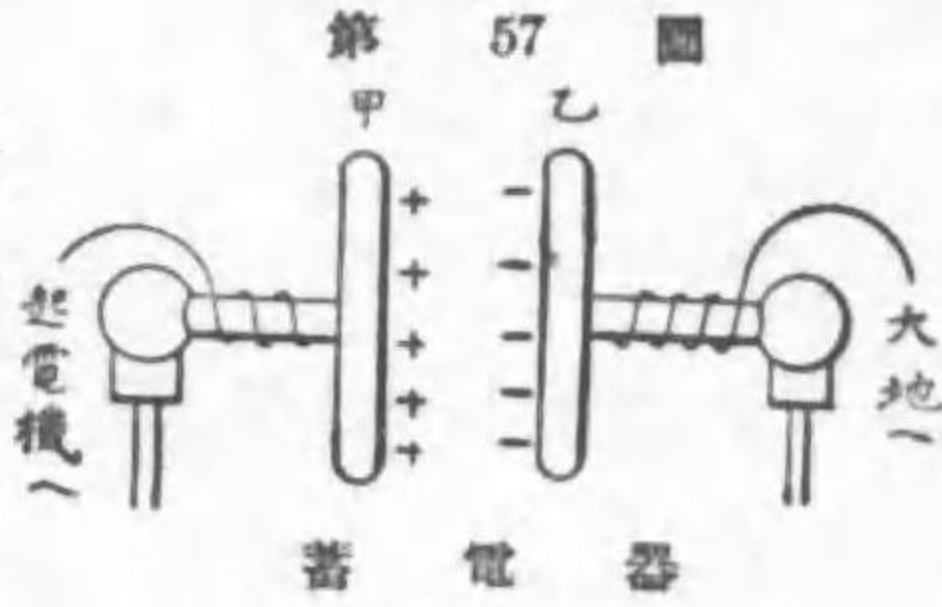
から、甲には更に起電機から陽電氣を供給し得る譯である。即ち此装置は甲が只一個丈け在る時よりも多量の電氣を蓄へることが出来る。つまり乙導體が在る爲めに其の靜電容量が増したもので

此の様に二個の導體が中間に絶縁物（此場合には空氣絶縁）を隔てて相對した装置を^{くんでんき}蓄電器又はコンデンサーと稱する。蓄電器の靜電容量は甲に與へた電氣量と甲乙間の電位差との比である。

即ち甲の電氣量が Q クーロムで、甲と乙との間の電位の差が V ヴォルトなら、此の蓄電器の靜電容量は $(Q \div V)$ フェラッドである。

實驗の結果によると、蓄電器の靜電容量は、相對する兩金屬板の面積廣く、其の間の距離近い程大で、又兩導體板の間に在る絶縁體の種類によつても色々違ふ。例へば、相對する面積や距離は等しくても、間の絶縁體が硝子である時は空氣である時より餘程靜電容量が大きくなる、即ち同じ電位差でも多量の電氣量を蓄へることが出来る。此の二つの導體の間の絶縁體を^{いんてんたい}誘電體と云ふ。

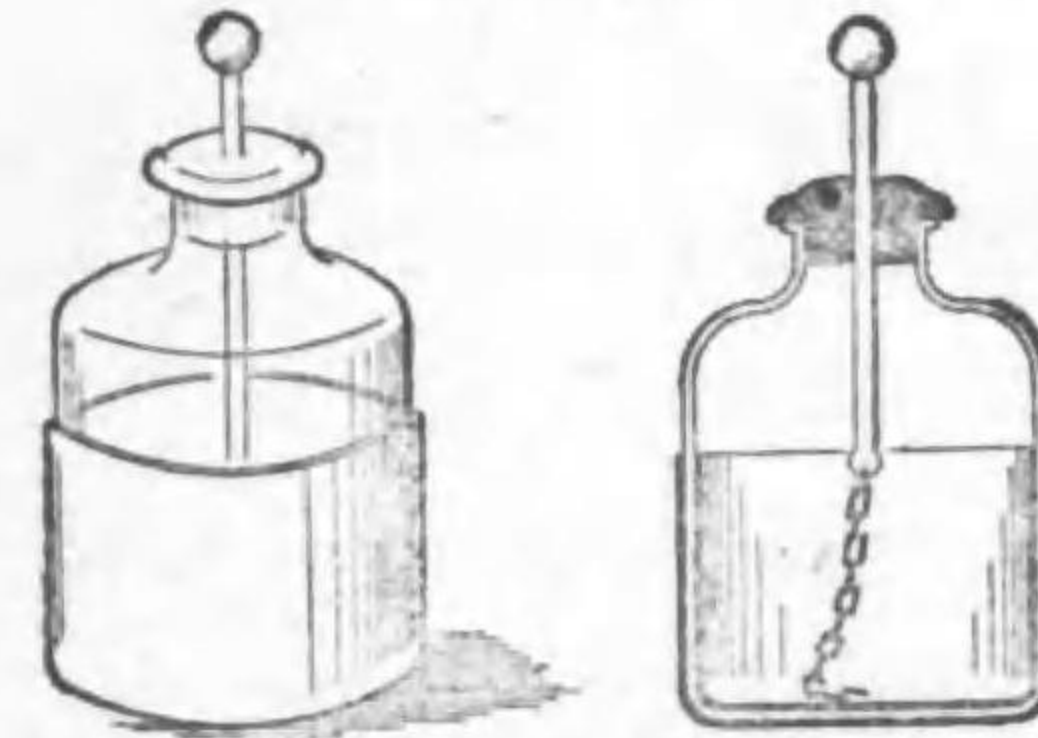
以上の様に一般に蓄電器とは誘電體を隔て、相對した二つの導體の装置であるが、實際に使はれる蓄電器は其靜電容量を大きく



第 57 圖

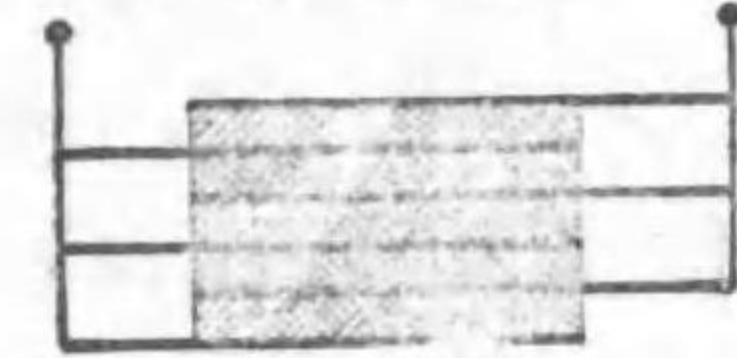
蓄 電 器

する爲めに、相對する面積を大きくしてある。次に二三の蓄電器



第 58 圖

ライデン瓶



第 59 圖

紙蓄電器

を示さう。第 58 圖はライデン瓶と稱する蓄電器の構造を示すもので、硝子瓶の

内外兩面に相對して^{すややく}錫箔を貼^はり付け、蓋に金屬棒を挿し、その下

端に鎖を下げて内面の錫箔と連絡してある。即ち内外兩錫箔が導

體で中間の硝子が誘電體になつて居る。第 59 圖は紙蓄電器で、

錫箔とパラフィン紙とを交互に積み重ねて、奇數番目の錫箔を一

組とし、偶數番目の錫箔を他の一組として、二組の導體の相對す

る面積を大きくしてある。

第 60 圖は無線電信電話の受信器に使

はれる^{かへんてんき}可變蓄電器で、固定した導體板

と轉ずることの出来る導體板とが交互

に空氣を距て、相對する構造である。

廻轉板を廻はすとそれと固定板との間

の相對する面積が色々に變はるから、

靜電容量を色々變へることが出来る。



第 60 圖

可變蓄電器

練習問題 II

1. 次の物を導體と不導體とに分けてごらん。
硫黄, 金屬, エポナイト, 硝子, 身體, ゴム, 土地。
 2. 兩種の電氣の間にはどんな作用があるか。
 3. 電氣に二種あることを證明してごらん。
 4. クーロムとは何の單位か。
 5. 靜電誘導とはどんなことか説明せよ。
 6. 充電體が軽い物を引く理由を靜電誘導により説明せよ。
 7. 陰陽兩電氣は常に同時に同量に發生することを證明せよ。
 8. 感應起電機は如何なる理を應用して作ったものか。
 9. 電氣は導體の表面のみに在る事を證明せよ。
 10. 導體の遮斷作用を述べよ。
 11. 電氣を集める器には尖がつた所を無くするのは何故か。
 12. 避雷針の原理を述べよ。
 13. 電壓とは何か又其の單位は何か。
 14. 蓄電器とは何か又其の靜電容量はどんなにして表はすか。
 15. 感應起電機で錫箔の電氣が櫛に移る作用を説明せよ。
- 解 靜電誘導によつて錫箔に對した櫛の齒はその箔の異種の電氣を、又遠い放電球には同種の電氣を生ずるが、箔の電氣と櫛の齒の電氣とは齒の尖端から電氣風が起り互に中和するから、放電球には結局箔から電氣が移つた事になる。

第三章 電流及電池

41. 電流の作用 池の溜り水の様に靜止して居る水は、そのまゝでは水車を廻はすと云ふことも出来ないが、河の水の様に絶えず流れて居る時、即ち水流ならば、材木を流して運んでやるとか、又は水車を廻はして米をつくと云ふ様に仕事をする事が出来る。之と同じ様に、電氣も靜止したまゝでは仕事をしないので、電氣が絶えず運動して即ち例へば導體中を通る電流として始めて仕事をするものである。電燈を點じたり、電車を走らせたり、或は電信、電話等は勿論電熱器や電氣鍍金等に至るまでも皆電流の結果として表はれるものである。普通、電氣を利用して居ると云つて居るのは電氣そのものを利用するのではなくて、實は電氣の運動即ち電流に伴ふ作用を利用するものである。

水流は目で見て分かるが、電流は目に見えない。電流が導體中を流れて居ると云ふことを判斷するには、電流に伴ふ作用によつて知ることが出来る。此の電流に伴ふ作用は、詳しいことは後に述べるが、大體次の通りである。

- (1) 熱作用 電流が導體の中を通ると熱を生ずる。此の熱を利用すると電熱器が出来る。又電流で導體を高溫度に熱すると遂に光を發する。之を利用したのが電燈である。

(ロ) **磁氣作用** 電流が通つて居る導體の周圍は磁界となる。

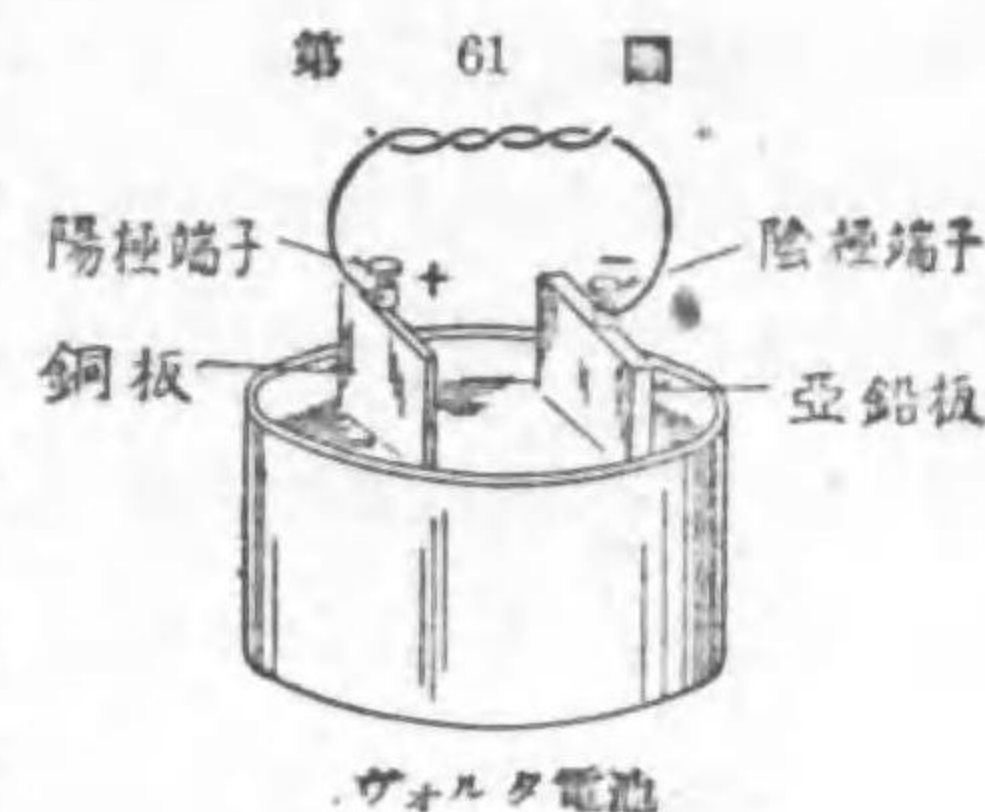
即ち磁石の作用をする。此の電流の磁氣作用を利用して電磁石を作り電鈴、電信、電話等に應用する。發電機や電動機に使ふ磁石も此の理窟を應用したものである。

(ハ) **化學作用** 酸の溶液などに電流を通ずると化學作用を伴ふものである。一般に電流を通ずると化學作用を伴ふ液體を**電解液**と名付ける。電氣鍍金は此の化學作用を利用した一例である。

42. 電池と起電力 前章で説明した様に、陽及び陰に夫々充電された甲乙二個の導體を針金で接続すると、電位の高い方から針金を傳つて電位の低い方へ電氣が流れる。然し此の電流は甲と乙との間に電位差がなくなつて直に止んで了ふので、之れでは應用が出来ない。針金に絶えず連続して電流を生ぜしむるには、どうしても、電流が絶えず通つても兩端の甲乙間の電位差が無くならない様にする者が必要である。此者を一般に**電源**と名付ける。電源にも色々あるが、其の内最も簡單なのに**電池**、又大仕掛けのものに**發電機**と云ふ装置がある。發電機に就いては後に述べよう。

電池には種類が多いが、其中最も簡單で最初に發明された**ヴォルタの電池**と云ふのが有る。之は第 61 圖に示す様に、硝子又は陶器製の器にうすい硫酸を充し、之れに銅板と亞鉛板とを對立さ

せた物である。此銅板と亞鉛板とを針金で結ぶと陽電氣が絶えず銅板から針金を傳つて亞鉛板の方へ流れて行く。即ち連續した電流が銅板から針金を傳つて亞鉛板の方へ出来る。即ち銅板の電位が亞鉛

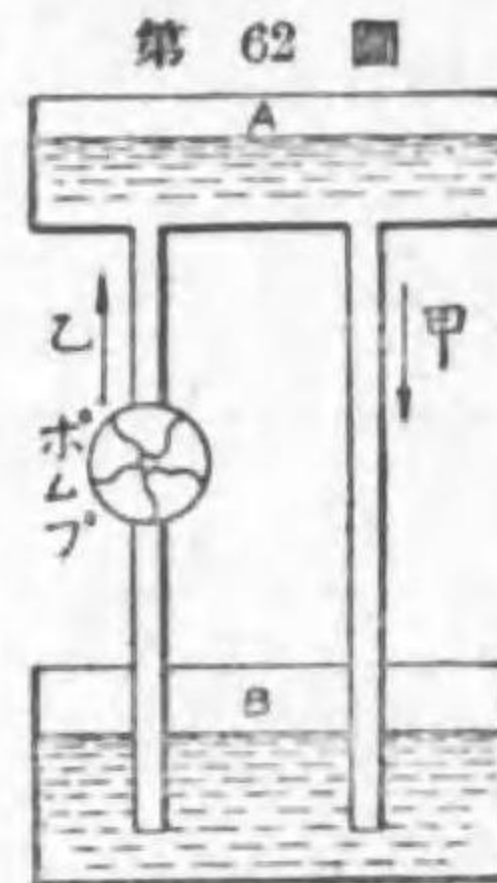


板の電位よりも常に高く、兩板の間の電位差はなくなる。そして高電位の銅板を**陽極**と云ひ、低電位の亞鉛板を**陰極**と名付ける。陽極を+記號で、陰極を-記號で表はす。陰陽兩極には夫々外部導體の接続に便利の爲め捻子付金物が附けてある。之を**端子**と名付ける。そして陽極に附けた端子を**陽極端子**、陰極に附けた端子を**陰極端子**と稱する。

電池の様に電源と云ふものは、其の陰陽の兩極間に一定の電位差を發生し、此の電壓によつて電源外に接続された針金に連續した電流を生ぜしむる能力を有つて居る。此能力を**起電力**と名付ける。即ち起電力とは電源の兩極の間に電壓を生ぜしめる能力で、其の大きさは電源が發生し得る電壓の大きさを測り、從つて之を測る單位は**ヴォルト**である。ヴォルタの電池は凡そ 1 ヴォルトの起電力を有つて居る。發電機も要するに起電力を大仕掛けに發生せしむるものに過ぎない。

電池の働きを譬へて見ると丁度ボムズの様なものである。第 62 圖に於て、A と B との水溜がある。A の水溜を B の水溜と鐵

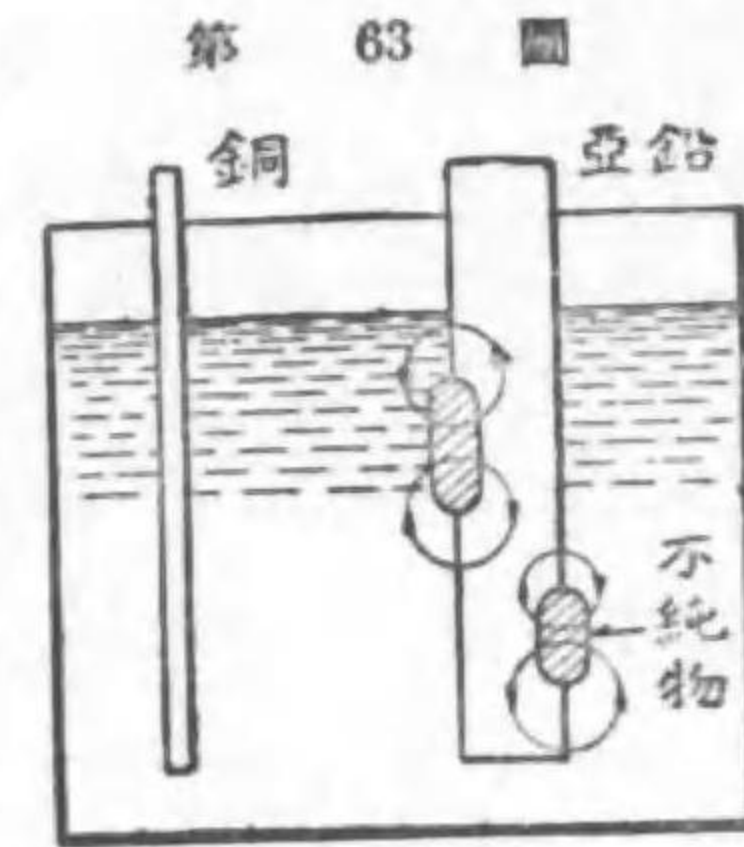
管甲でつなぐと、Aの水はBへ流れる。若し何もせなかつたならば、Aの水は皆Bへ流れ落ちて了ふ。然しAとBとの間に尙一本の鐵管乙を入れて、此鐵管にポンプを取り付け甲の鐵管を傳つて落ちて來た水をポンプで乙の鐵管からAへ返してやれば、甲の鐵管内には常に水が連続して流れる様にする事が出来る。電池は丁度此時のポンプの働きにたとへることが出来る。



43. 電池の成極作用 ヴォルタの電池の銅板と亜鉛板とを針金で接続すると、電流は銅板から針金を傳つて亜鉛板に流れ、電池内では亜鉛板から硫酸を傳つて銅板に歸へる。硫酸に電流が通ると化學作用が起り、水素瓦斯が出來て銅板の上に集まる。そして此の水素瓦斯は電流の通るのを妨げ、又此の水素瓦斯は電流と反對の方向に起電力を生ずるものである。故に電池の電流はだんだん弱められる。此の現象を電池の成極作用と名付ける。此の成極作用を取り除くため色々の電池が考案されて居る。第45節に二三の電池を説明しよう。

44. 電池の局部作用 ヴォルタの電池で、陰極の亜鉛に不純なものを使用すると、針金で陰陽兩極を結ばない時でも亜鉛がだんだん稀硫酸中にとけて了ふ。これは亜鉛が不純物を含んで居ると、第63圖に示す様に此の不純物と亜鉛と稀硫酸との三つが小さい電池作用をして居るため不純物から亜鉛を経て稀硫酸

を傳ひ不純物に歸へる局部の電流を生ずからである。之を電池の局部作用と名付ける。局部作用は、電池を使用しない場合でも、亜鉛をだんだん硫酸にとかして行くから損である。此の局部作用を防ぐには、亜鉛を稀硫酸で洗つて表面に水銀を塗つておけばよろしい。



局部作用を示す

45. 種々の電池 成極作用は電池で忌むべき作用であつて、ヴォルタの電池は此の作用があるために實際には使はれて居ない。成極作用を止めるには、薬品を加へて水素瓦斯を瓦斯状でない外の物質に變へるとか、又は水素が出來ない様にする。次にか様にして考案された二三の電池を示さう。

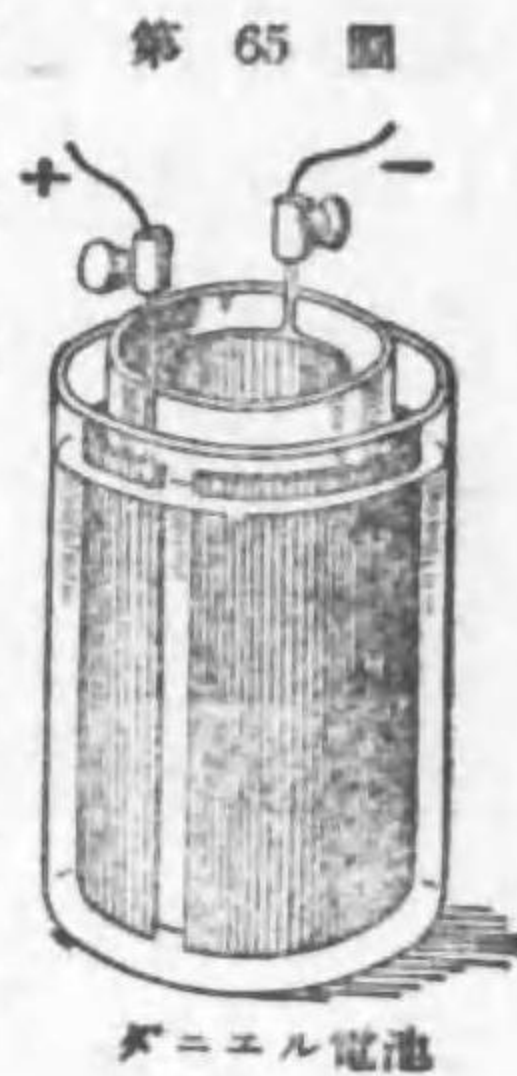
(イ) **重クローム酸電池** 之は、稀硫酸中に重クローム酸カリと云ふ薬品を少し加へたものを液とし、此の液の中に炭素板(C)を陽極とし、亜鉛板(Z)を陰極として入れたものである。此電池を使用して電流が通る時、出來る水素は重クローム酸のために水になるから成極作用は生じない。此の電池は約2ヴォルトの起電力を有し、一時強い電流を得るに便利であるから、學校などの實驗に用ひられる。



重クローム酸電池

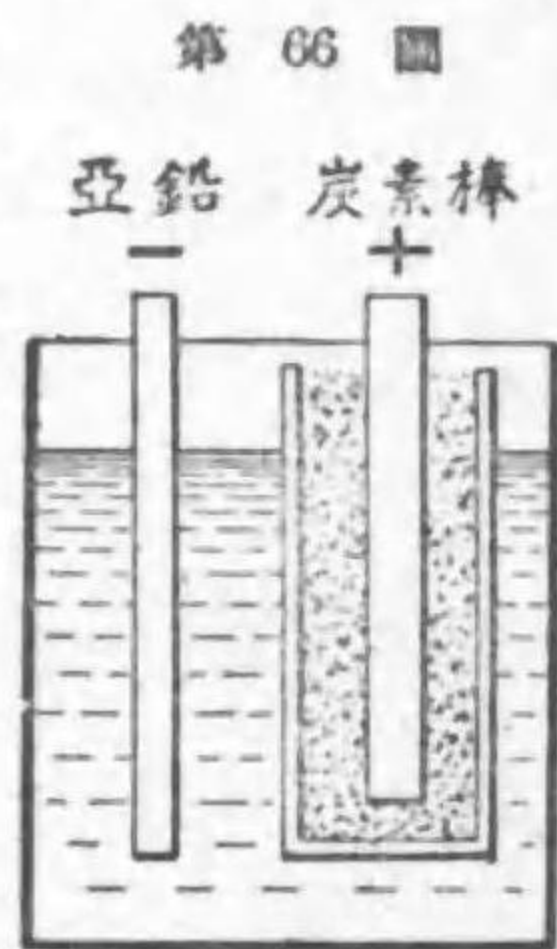
(ロ) **ダニエル電池** 之は第65圖に示す様に、中央の素燒

の器に稀硫酸を入れその中に水銀を塗つた圓筒状の亜鉛板を立て、之を陰極とし、外部の容器には硫酸銅の飽和溶液を入れ、其の中に圓筒状の銅板を入れて之を陽極としたものである。此の電池では、電流が通る時出来る水素は硫酸銅と作用して硫酸になり、水素の代りに銅が銅板に着くので、成極作用は起らない。此の電池の起電力は約 1.1 ヴォルトである。之は、電信、電話等に用ひられる。



ダニエル電池

(ハ) ルクランシェ電池 此電池は第 66 圖の様に、外の器に入れた鹽化アンモニウム液中に亜鉛棒を立て、陰極とし、内側に素焼の筒を置き、之に炭素の粉と二酸化マンガンの混合物を充たして其中に炭素棒を立て、之を陽極としたものである。此の電池の起電力は約 1.5 ヴォルトである。電鈴、電話等に用ひられる。



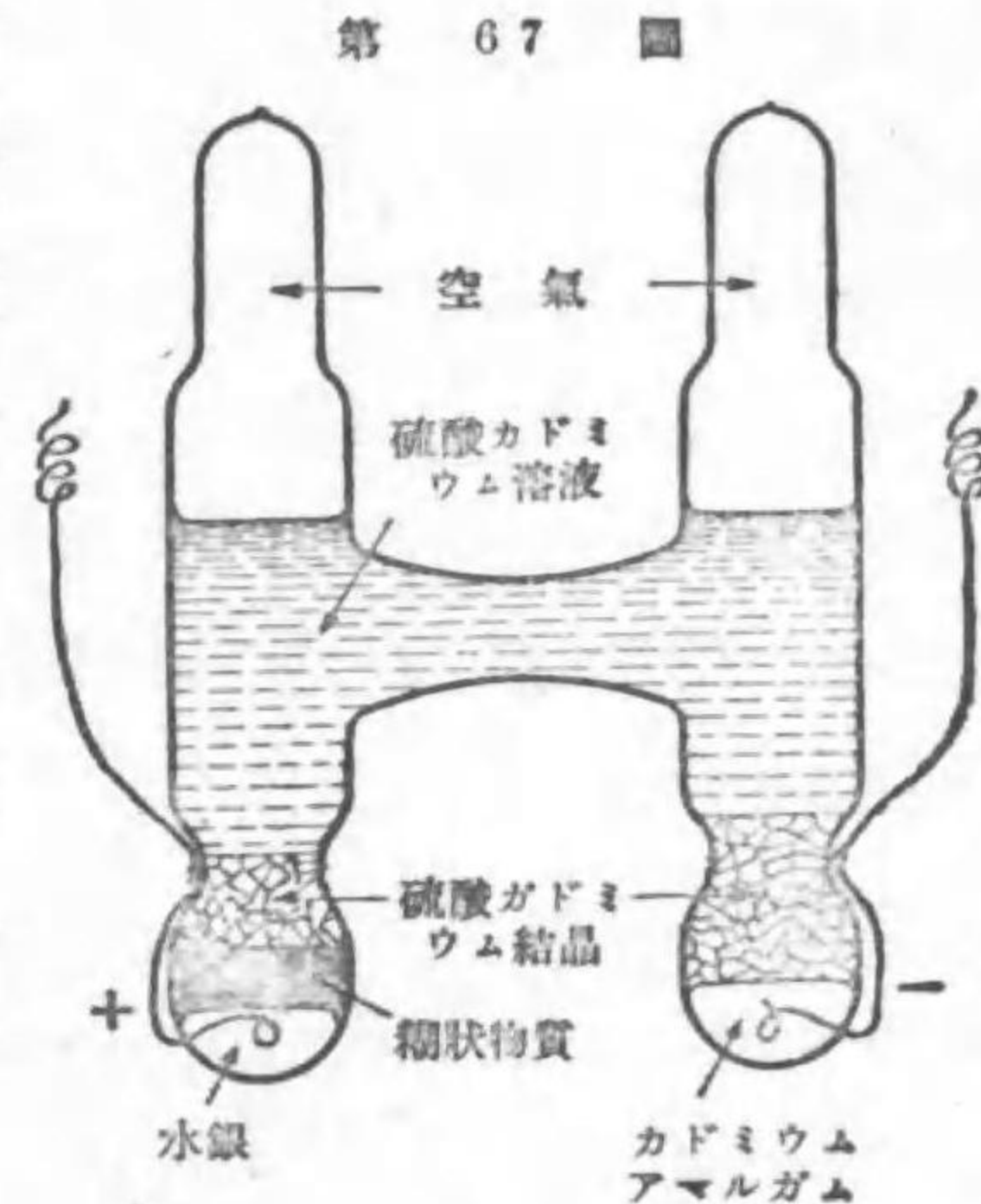
ルクランシェ電池

(ニ) 乾電池 ルクランシェ電池を改良して、亜鉛の圓筒を作り之を陰極とし、其内に鹽化アンモニウムを酸化亜鉛等と混ぜて糊の様にしたものをつたし、中央に炭素板を立て之を陽極とした電池は持ち運びに便利である。これを乾電池と云ひ、電鈴、懐中電燈等に用ひられる。

46. 標準電池は起電力を比較する爲めのもの

である 前節で述べた各種の電池は電流を之から得る爲めのもの即ち電源として用ひられるものである。然し電流を得るためではなくて、單に他の電池の起電力を比較するために標準として用ひられる電池がある。之をウェストンの標準電池と云ふ。

第 67 圖はウェストン標準電池を示すもので、H 字型の硝子管の一方に陽極として水銀を入れ、他の方に陰極としてカドミウム・アマルガムを入れ、液としては硫酸カドミウムの飽和溶液を入れてある。尚ほ成極作用を防ぐため陽極の水銀の上には糊状物質を入れてある。又糊状物質の上と陰極のカドミウム・アマルガムの上には硫酸カドミウムの結晶を加へてある。陽極及陰極の端子には白金線を用ひてある。



ウェストン標準電池

此の電池は攝氏 20 度では 1.0183 ヴォルトの起電力を有するものである。さうして此電池の起電力は温度に應じて次式に示す様な規則正しい變化をなすものであるから、起電力が正確に分る。従つて外の電池の起電力を比較するに必要なものである。此電池の攝氏 t 度に於ける起電力 E は次式で計算される。

$$E = 1.0183 - 0.0000406 \times (t - 20) - 0.00000095 \times (t - 20)^2 + 0.00000001 \times (t - 20)^3 \text{ ヴォルト}$$

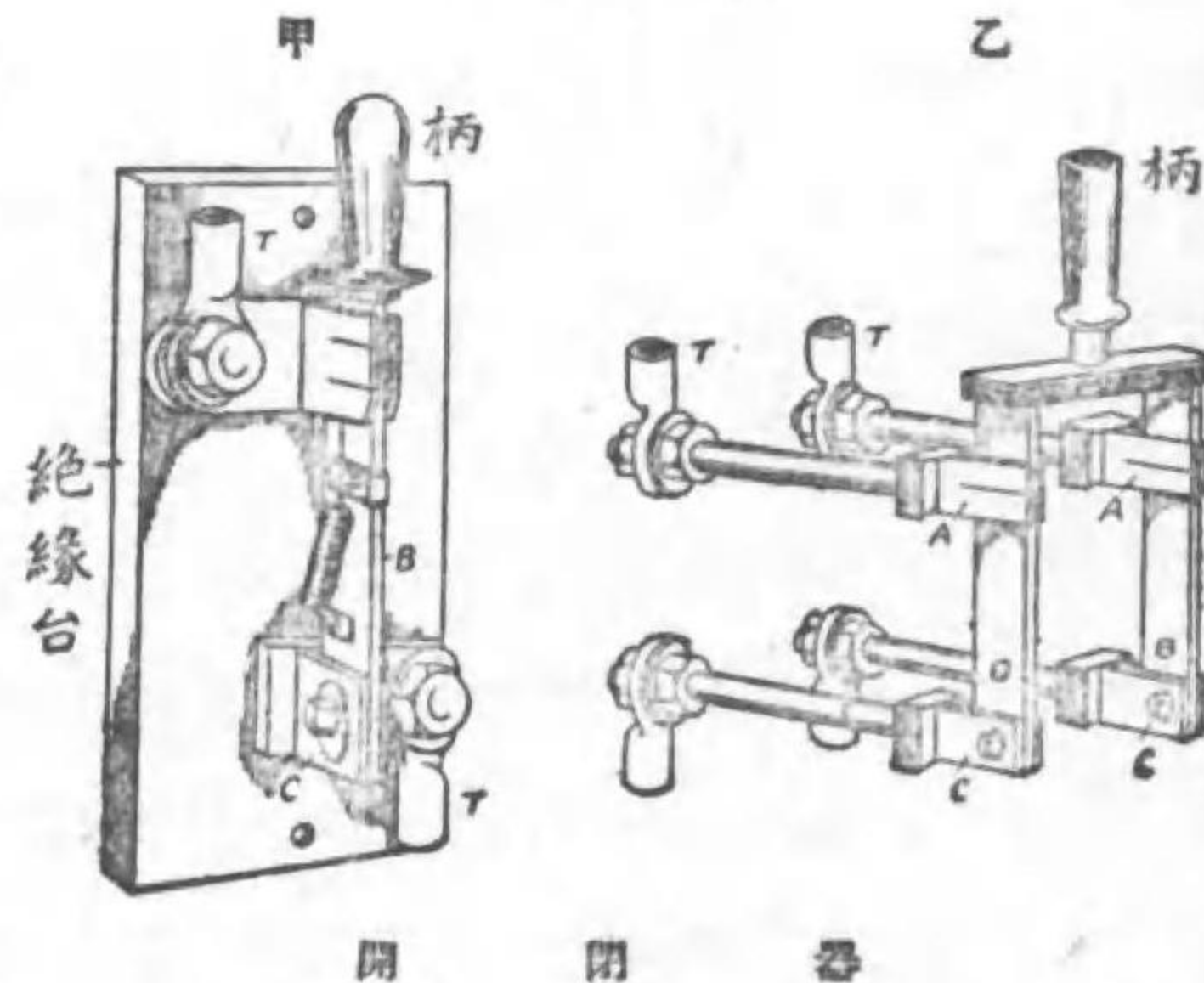
尙ほ此標準電池を使つて他の電池の起電力を測る方法は電氣測定の章で述べる。

47. 電流の通ずる路を電路と云ふ

今までお話しした事から分かる様に、電流を得るためには、電源の陰陽兩極を導體で接續して電流の通り路を作つてやらなければならない。此の電流の通路を電氣回路又は簡単に電路と名付ける。そして電路を作つて電流を通ずる事を電路を閉ぢると云ひ、電路の一部を切り開いて電流の通らない様にする事を電路を開くと云つて居る。

電路を開いたり閉ぢたりする装置を開閉器（スイッチ）と呼んで居る。第 68 圖の甲、乙は夫々開閉器の例で、双形開閉器と稱するものである。T

T は端子と云ひ、此處へ電路をなす導體の兩端が接續される。A, B, C の部分は銅で、B 部は之を絶縁物の柄で以て前後に動か

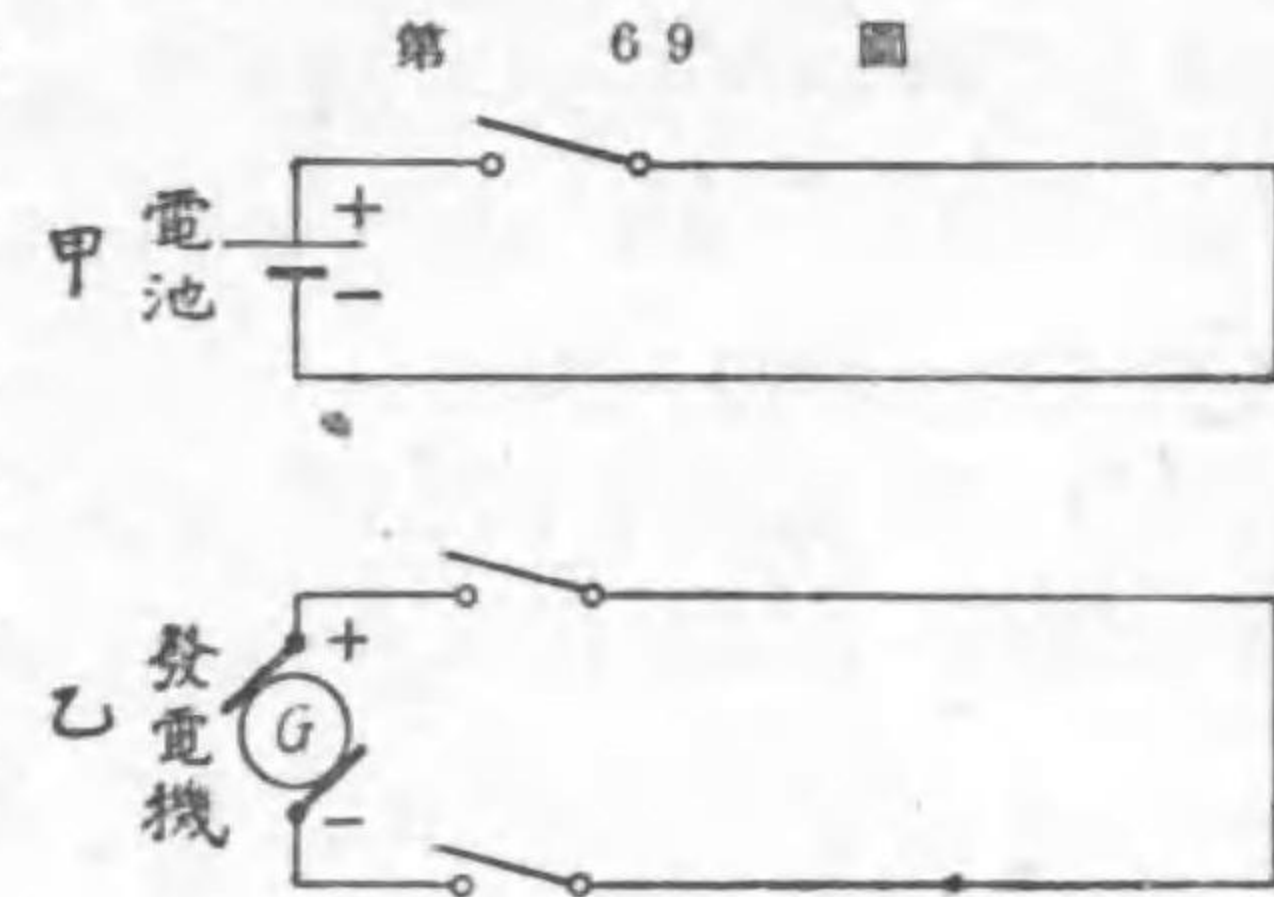


し得る様に出て居る。之によつて電路を開閉する。第 68 圖は何れも閉ぢた時の

位置を示す。甲圖は一ヶ所で開閉するから之を單極開閉器（単極開閉器）と稱し、乙圖は二ヶ所で開閉するから兩極開閉器（兩極開閉器）と稱する。

第 69 圖甲乙は此二種の開閉器用法を極く簡単に示した略圖である。又此圖に於て — は電池を示す記號で、其細長い線は陽極、

短い太い線は陰極を示す。又乙圖の左の記號は發電機の略記號を示すものである。此略圖は何れも開閉器を開いた場合であるから、勿論電路には電流は通つて居ない。

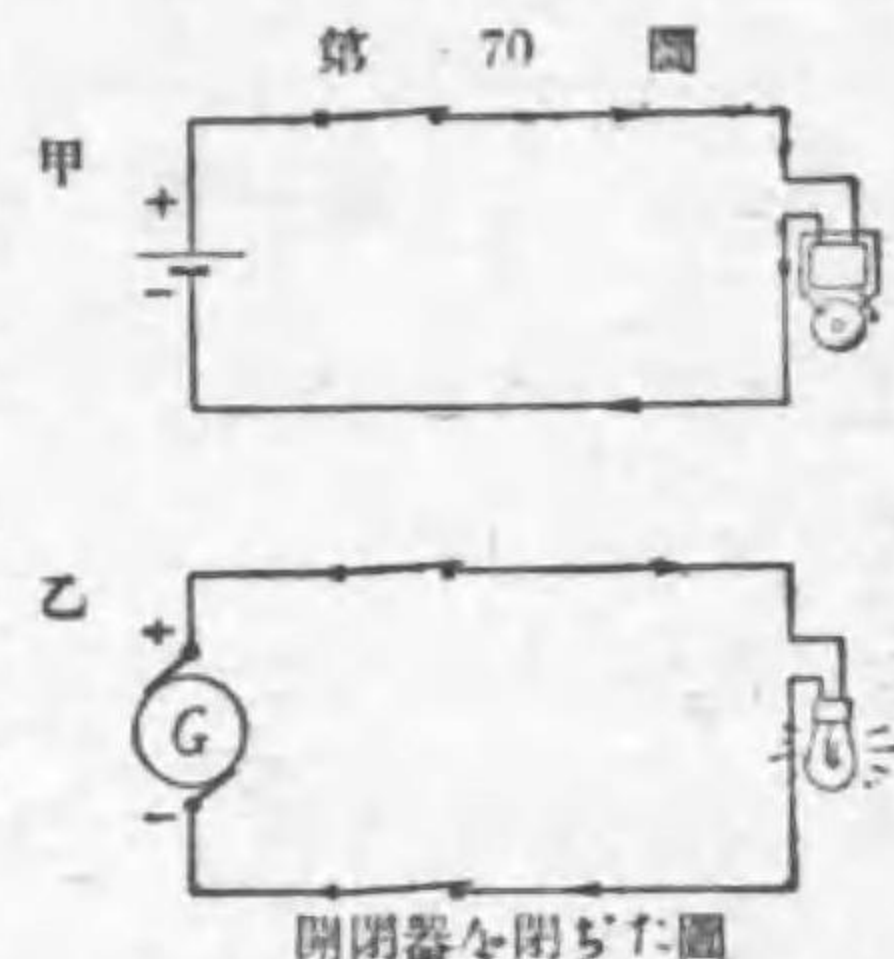


48. 連続した電流が通ずる電路は常に環状である

前節で説明した様に、電源の陰陽兩極間を導體で接續した時は、電流は陽極から出て外部の電路を通つて陰極に至り、更に電源の内部を陰極の方から陽極の方へ向つて流れる。故に全電路即ち電源の内外を引きまとめて考へると、一つの環状（くわんじやう）をなして居る。そして一般にどんな場合でも、連続した電流が流れて居る時は、其の電路は必ず環状をなして居る。

前節の第 69 圖甲、乙は何れも、開閉器が開かれて居るために環状ではない。そして電流は流れて居ないのである。茲に注意すべき事は、此の場合に電路に電流は通つて居ないが、電源の起電力は必ず在るのである。電源の起電力は開閉器を開いてある場合で

も閉ぢてある場合でも常に電源の陰陽兩極間に在るものである。若し開閉器を第 70 圖甲、乙の様に開閉器を閉ぢれば電源の起電力によりて矢の方向に電流が連続して流れる譯である。即ち第 70 圖 甲、乙は電路が環状をなした場合である。



49. 電流の單位をアムペアと云ふ 水流の強さを測るには一秒間に何リットル宛流れると測る。即ち毎秒の水量で表はす。例へば、一秒間に 100 リットル宛流れる水流は、一秒間に 10 リットル宛流れる水流の十倍の強さである。之と同様に、電流の強さを測るには、導體の中を一秒間に何クーロム宛の電氣量が通過するか其の割合で測る。即ち毎秒のクーロム數で表はす。そして導體中を一秒間に一クーロムの電氣量を通ずる強さを一アムペアと名付ける。例へば、一秒間に一クーロムの割合で流れて居れば其の電流を 1 アムペアの電流と云ひ、一秒間に 10 クーロムの割合で流れて居る電流は 10 アムペアの強さと云ふ。一般に t 秒間に Q クーロム宛の割合で流れて居る電流は $\frac{Q}{t}$ アムペアである。即ち此電流の強さのアムペア數を I とすれば、次の關係がある。

$$I = \frac{Q}{t}$$

練習問題 III

1. 電流の諸作用を述べよ。
2. 電池の起電力とは何か、又その單位は何か。
3. 電池の成極作用とはどんな事か。
4. 電池の局部作用とは何か。
5. 實用電池二個を擧げ、各電池に於ける成極作用を防ぐ工夫を記せ。
6. 開閉器は何のために使ふか。
7. 或る電路に 10 秒間に 100 クーロムの割合で絶えず電流が流れて居る時、此電路の電流の強さは幾何か。

答 10 アムペア

第 四 章 電 氣 抵 抗 及 絶 縁 抵 抗

50. 電氣抵抗 水管内に水を流すとき、たとひ管を通じて水を押しやろうとする水圧は同一であつても、細長い水管を使つた場合と、太く短い水管を使つた場合とは水流の強さに差があつて、前の場合が水流が弱い。之れは、水管には水流に逆ふ抵抗があるの、細長い管程抵抗が大きいために水流の強さは弱くなるからである。

之と同様に、電流が導體中を通るときにも、導體の兩端の電位差即ち電圧は同一であつても、導體の種類により、又太さや長さの異なる導體を用ひて見ると、電流の強さに強弱があるのである。之は、導體には電流に逆ふ抵抗作用があつて、而も導體の種類により、又導體の太さや長さによつて抵抗作用が異なるからである。此の導體の電流に抵抗する作用を電氣抵抗又は簡単に抵抗と名付ける。而して此の抵抗を測るにはオームと云ふ單位が用ひられる。

然らば1オームとはどんなにして定めてあるかと云ふと、導體に1アムペアの電流が通じて居る時、若しその導體の兩端の電位差即ち電圧が1ヴォルトである様な場合に、此の導體の抵抗は1オームであると云ふ。即ち言ひかへると、導體を通過すべき電流1アムペアに付き其兩端に要する電圧が1ヴォルトなる導體の抵

抗を1オームと名付ける。

51. 抵抗は物の種類によつて違ひ、同じ種類の物では長さに正比例し、切口の太さに反比例する。

前節でお話した様に、導體の抵抗は其物の種類により異なり、又同じ種類のものでも長さや太さによつて違ふ。そして導體の電流に對する抵抗は、水管の水流に對する抵抗とよく似て居る。

同じ種類の同じ太さの導體ならば、導體の長いもの程電流は通り難く、即ち抵抗は大である。そして長さが倍になると抵抗も倍になり、長さが三倍になると抵抗も三倍になる。之を數學的に云ひ表はすと抵抗は長さに正比例すると云ふことになる。

次に同じ種類の同じ長さの導體ならば、導體の切口の太さの大きいもの程電流は通り易い、即ち抵抗は小さくなる。そして太さが二倍になると、抵抗は $\frac{1}{2}$ になり、太さが三倍になると抵抗は $\frac{1}{3}$ になる。之を數學的に云ひ表はすと、抵抗は切口の太さに反比例すると云ふことになる。

最後に、太さも長さも同じく種類異なる導體例へば、銅線と鐵線とを比較して見ると、銅線が鐵線より電流が通り易い即ち銅線が鐵線より抵抗小である。斯様に抵抗は物の種類によつて違ふのである。

以上述べた事を數學的に書き表はして見よう。今導體の長さを l メートル、太さ即ち切口の面積を A 平方ミリメートル、抵抗を R オームとすれば、

$$R \propto \frac{l}{A}, \quad [\propto \text{は比例すると云ふ記號}]$$

上の比例式を等式に直ほすに、比例常数を ρ (ローと讀む) とせば、

$$R = \rho \times \frac{l}{A}$$

此 ρ なる比例定数は導體の種類、温度によつて違つて來る、即ち各種の導體に固有の値である。故に ρ を其の導體の固有抵抗と名付ける。今長さ 1 メートル、面積 1 平方ミリメートルの或る導體を考へると、上式から其の抵抗 R は、

$$R = \rho \frac{1}{1} = \rho$$

と云ふことになる。即ち或る導體の固有抵抗 ρ とは長さ 1 メートル、面積 1 平方ミリメートルのその導體の抵抗であると云ふことになる。

例題 1. 直徑 2 ミリメートル、長さ 345 メートルの銅線あり。此の抵抗を計算せよ。但し此の銅線の固有抵抗は $\frac{1}{55}$ なり。

解 $\rho = \frac{1}{55}$, $l = 345$ メートル、又直徑 2 ミリメートルのものの面積 A は $A = \frac{3.14}{4} \times 2^2 = 3.14$ 平方ミリメートル、公式に代入して

$$R = \rho \times \frac{l}{A} = \frac{1}{55} \times \frac{345}{3.14} \approx 2 \quad \text{答 約 2 オーム}$$

52. 抵抗と温度との關係 前節に述べた事は、温度が變らないで一定の場合の抵抗を考へたので、抵抗と温度との關係は考へなかつた。然るに温度が變はると抵抗の値も違つて來るものである。

一般に金屬導體の抵抗は温度が増すと抵抗の値も増すものである。そして温度が攝氏の一度宛増す毎に抵抗はどれだけ増すかと云ふその割合は、金屬の種類によつて違ふが、銅だと、大體 0.4 パーセント位である。即ち金屬導體では温度が攝氏一度増す毎に大體 0.4 パーセント位宛抵抗は増すのである。(パーセントは百分の一の割合と云ふ事であるから、0.4 パーセントとは $\frac{0.4}{100}$ の割合即ち 0.004 の割合の事である。)

例へば、攝氏零度の時 10 オームの抵抗を有する或銅線があるとする、之は攝氏 1 度の時は、 $10 \times \frac{0.4}{100} \times 1 = 0.04$ オームだけ増して、 $10 + 0.04 = 10.04$ オームになつて居り、又攝氏 2 度の時は $10 \times \frac{0.4}{100} \times 2 = 0.08$ オームだけ増して、 $10 + 0.08 = 10.08$ オームになつて居り、又同様にして攝氏 50 度の時は $10 \times \frac{0.4}{100} \times 50 = 2$ オームだけ増して、 $10 + 2 = 12$ オームになる譯である。

一般に攝氏零度の時 R オームの導體があつて、温度が攝氏一度増す毎に抵抗の増す割合を α (アルファと讀む) とせば、攝氏の t 度の時の抵抗 R' オームは次の式で表はされる。

$$R' = R + R\alpha t = R(1 + \alpha t)$$

此式中の α 即ち温度が攝氏一度増す毎に抵抗の増す割合は、前に述べた様に銅や銀の様な導體では大體 0.4 パーセント即ち 0.004 であるが、精密に云ふと導體の種類によつて定まつて居る値である。此の α を其の導體の攝氏零度に於ける抵抗の温度係数と名付ける。

合金には面白い性質がある。合金の固有抵抗は合金を作つて居る各金属の固有抵抗より大であるが、合金の温度係数は非常に小さいものである。か様に合金は温度係数が非常に小さいから、温度が變はつても抵抗の値は殆ど變はらないことになる。殊にマンガン（之は銅 84, マンガン 12, ニッケル 4 の割合で出来た合金）や又はコンスタタン（之は銅 60, ニッケル 40 の割合で出来た合金）は温度係数が殆ど零であるから、之等の導體は温度によつて抵抗が殆ど變はらないで一定の値のものと思られる。それ故マンガンは、固有抵抗が大で温度係数が零なることを必要とする場合、例へば、抵抗の標準器とか電気測定器等によく用ゐられる。

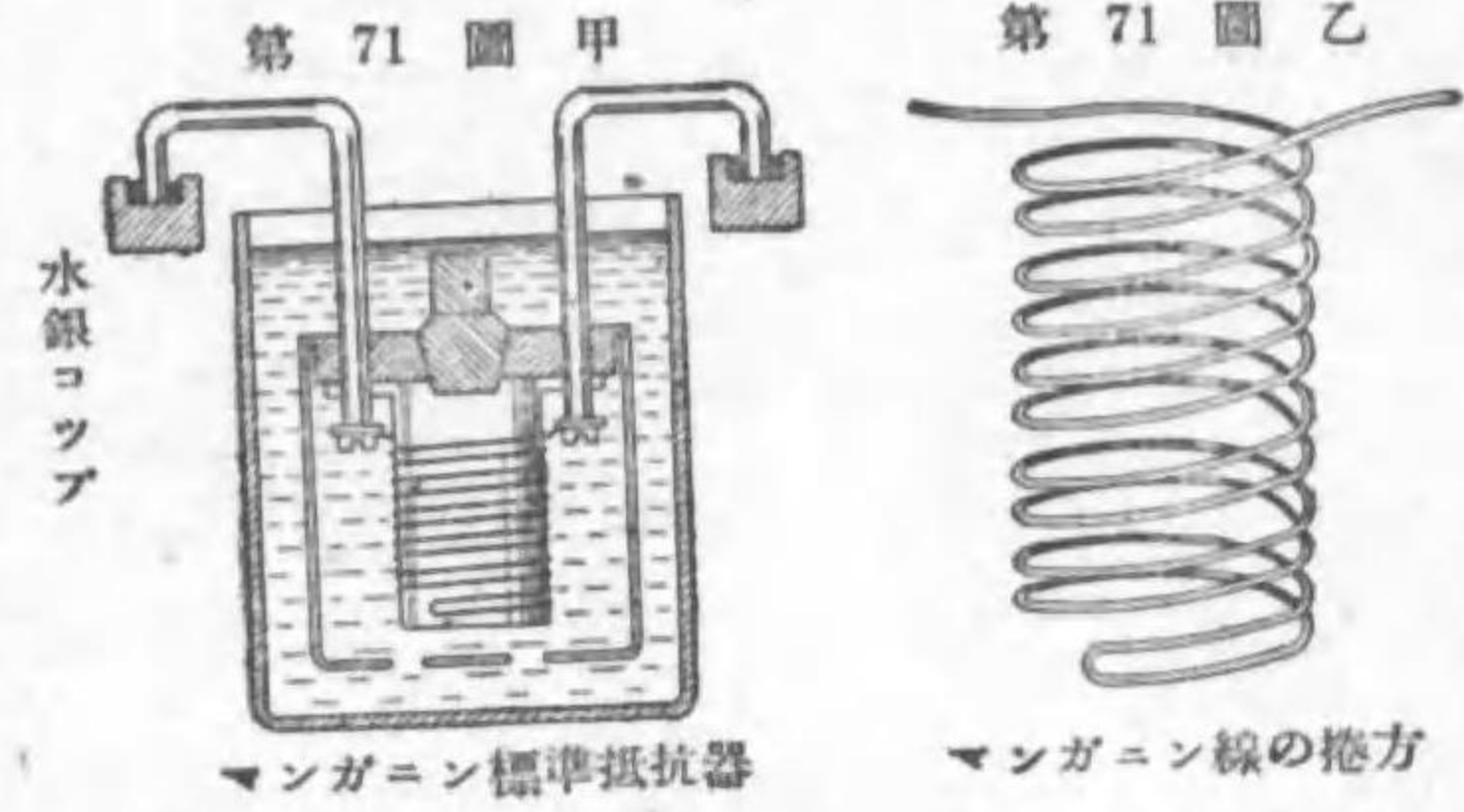
炭素や電解液等は金属と違つて、温度が増すと抵抗は却つて減少するものである。

53. 抵抗の標準器 前に 1 オームとは、兩端に電位差 1 ヴォルトを與へた時に 1 アムペアの電流が流れる様な導體の抵抗であると述べたが、これは理窟上の言ひ表はし方で、吾々には實際に此の物の抵抗が 1 オームであると云ふ様な抵抗の標準器が欲しい。實際、電気抵抗の單位の 1 オームとは攝氏零度に於て質量 14.4521 グラム、長さ 106.300 センチメートルの一樣な太さを有する水銀柱の抵抗を云ふのである。之は法律で定められた 1 オームの定義である。之を實際に示す水銀柱を抵抗原器と稱し、遞信省に保管されてある。

此の水銀抵抗原器に比較して定められた抵抗副原器と云ふものを備へて置いて平常は此の副原器を使ふのである。

抵抗副原器はマンガン線で作られた抵抗器で、第 71 圖はマンガン抵抗器を示すものである。

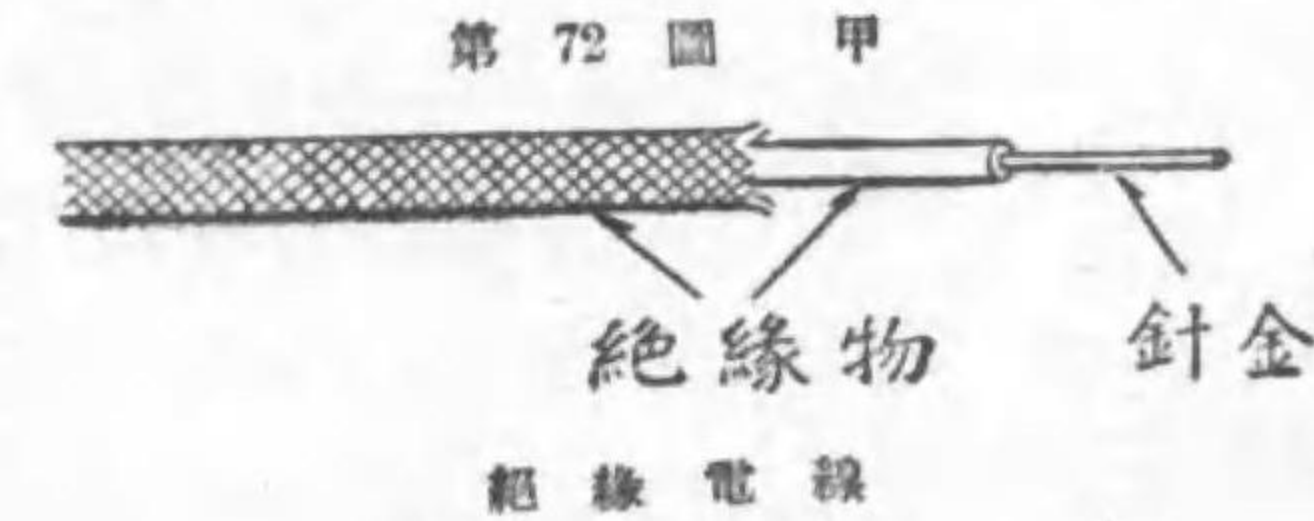
之は二重又は三重絹捲になつたマンガン線を真鍮圓筒に往復列べて捲き（乙圖参照）、其の兩端は銅棒の端子に接続される。之を金属製の函の内におさめて内部のマンガン線を保護してある。此抵抗器を使ふ場合は、圖に示す様にパラフィン油槽中に入れて、銅棒端子は水銀コップに入れて、此水銀で電流を導くのである。油は保護函の孔を通つてマンガン線に觸れて温度の昇るのを防ぐのである。



き（乙圖参照）、其の兩端は銅棒の端子に接続される。之を金属製の函の内におさめて内部のマンガン線を保護してある。此抵抗器を使ふ場合は、圖に示す様にパラフィン油槽中に入れて、銅棒端子は水銀コップに入れて、此水銀で電流を導くのである。油は保護函の孔を通つてマンガン線に觸れて温度の昇るのを防ぐのである。

54. 絶縁抵抗 電路は其電路以外に電路の電流が漏れない様に、外部に對して絶縁をするのである。例へば、第 72 圖

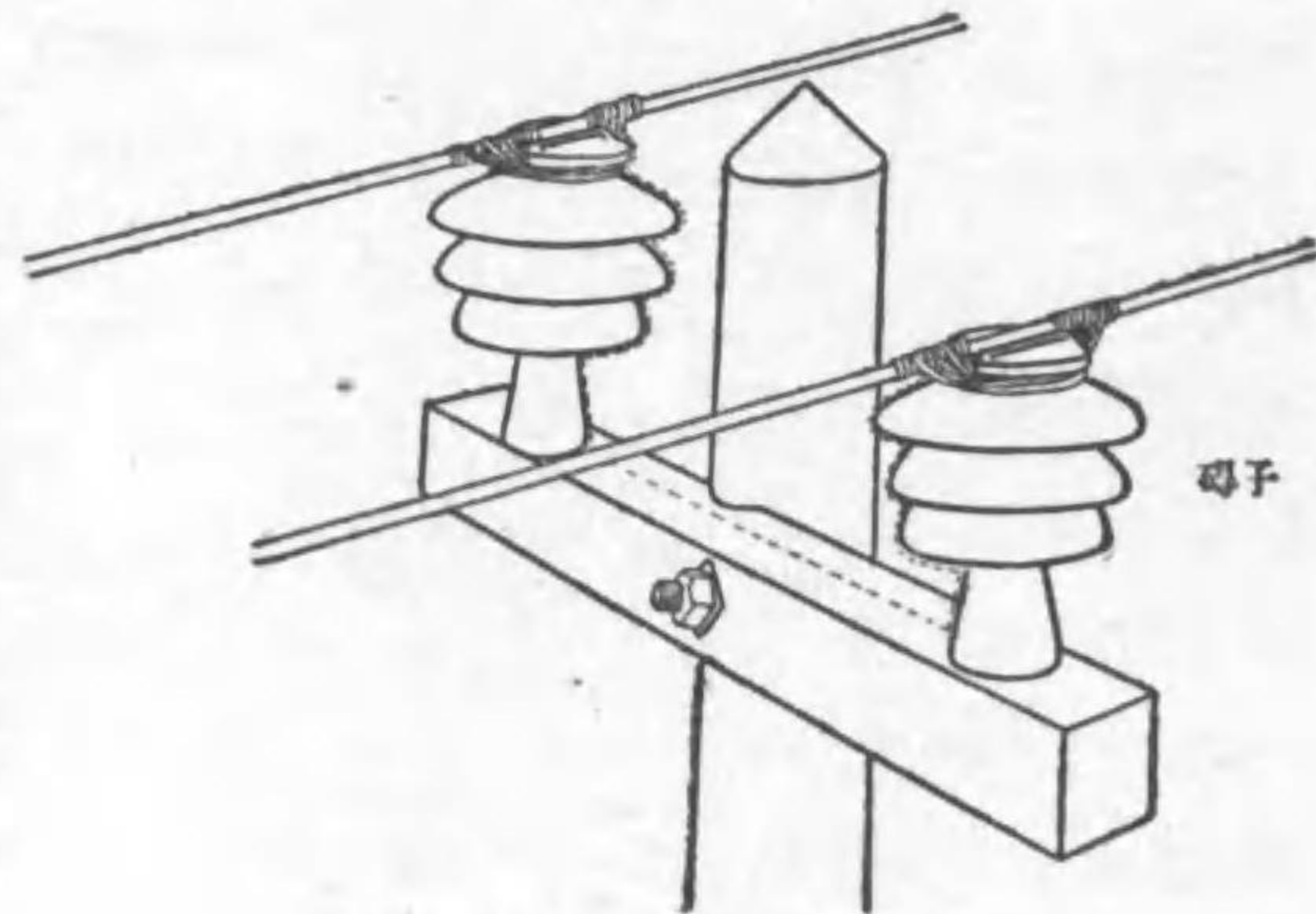
甲に示す様に絶縁物で覆ふた銅の針金〔之を絶縁電線と稱する〕を使用するか、又はその上更に磁器製の磚子と稱する絶縁體で電柱に支へるのである（第



第 72 圖 乙

72 圖乙)。

然るに第二章で述べた様に完全な絶縁體と云ふのではないから、その絶縁體を通じて電線外に電路から



電柱に支へられた絶縁電線を示す

非常に僅かではあるが電流が漏れる譯である。此様に絶縁物を通して電路から外部に漏洩する電流を漏洩電流と稱する。乙圖に點線で示したのは此漏洩電流を示すものである。さうして此漏洩電流に對して絶縁物が抵抗するその抵抗を絶縁抵抗と稱する。絶縁抵抗の単位にはメガオームと云ふ単位を使ふ。1メガオームとは1オームの百萬倍即ち百萬オームの事である。(一般に百萬倍の事を英語ではメガと云つて居る)。例へば、或絶縁電線の絶縁抵抗が400メガオームであるとか云つて表はす。

絶縁電線の絶縁抵抗は電線の長い程小さくなるものである。何故なれば、電線が長い程漏洩する面が廣くなるからである。即ち絶縁電線の絶縁抵抗はその電線の長さに反比例する。此事は導體の電気抵抗と混同しない様に注意すべきである。電線導體の抵抗

はその長さに正比例するが、絶縁抵抗はその長さに反比例するものである。例へば、1キロメートルにつき絶縁抵抗が400メガオームの絶縁電線は2キロメートルの長さでは200メガオームの絶縁抵抗がある譯である。尚ほ絶縁電線の詳しい事は送電配電編に述べてある。

練習問題 IV

1. 太さ0.5平方ミリメートル、長さ110メートルの銅線の抵抗は何オームか。但し此の銅線の固有抵抗を $\frac{1}{55}$ オームとする。

答 4 オーム

2. 太さ1平方ミリメートル、長さ1メートルの抵抗が0.1オームなる鐵線がある。之と同じ材料で出来た太さ2平方ミリメートル、長さ1000メートルの鐵線の抵抗は何オームか。

答 50 オーム

(手引、此鐵の固有抵抗が0.1オームなることが分かるから、公式を使つて計算し給へ。)

3. 攝氏零度の時20オームの抵抗を有する銅線がある。之は攝氏50度の時は何オームの抵抗を有するか。但し此銅線の零度に於ける温度係数を0.004とする。

答 24 オーム

4. 攝氏20度の時54オームの抵抗を有する線銅がある。此の銅線は攝氏50度の時は何オームなるか。但し此銅線の零度に於ける温度係数を0.004とする。

答 60 オーム

5. 法律で定めた 1 オームとはどんなものか。
6. 電気抵抗の標準器に抵抗原器と抵抗副原器とがある。夫々何で出来て居るか。
7. 絶縁電線の絶縁抵抗とはどんな事か。
8. 或る絶縁電線の 1 キロメートルの絶縁抵抗が 400 メグオームであつたと云ふ。此電線の 500 メートルの長さの絶縁抵抗は何メグオームか。

答 800 メグオーム

第五章 オームの法則

55. 電圧と電流とを知つて抵抗を計算する法

第 50 節に述べた通り通過電流 1 アムペアに付き其の両端に要する電圧が 1 ヴォルトなる様な導體の抵抗を 1 オームと定めてあるから、或る導體の抵抗が何オームあるかを知るには、それに通るべき電流 1 アムペアに付き何ヴォルトの電圧をその導體の両端に與ふべきか、そのヴォルト数が分かればよい。即ち電流のアムペア數に對する電壓のヴォルト數の比が抵抗のオーム數である。従つて次の關係がある。

$$[\text{抵抗のオーム數}] = \frac{[\text{電壓のヴォルト數}]}{[\text{電流のアムペア數}]}$$

尙ほ此の關係を記號で表はしておく^{かんたん}と簡單で便利である。即ち電壓のヴォルト數の代りに E 、電流のアムペア數の代りに I 、又抵抗のオーム數の代りに R とすれば、

$$R = \frac{E}{I}$$

なる式で以て抵抗の計算が出来る。

例題 2. 或る導體の両端に 2 ヴォルトの電圧を與へた時、2 アムペアの電流が通じたと云ふ。此の導體の抵抗は何オームか。

解 電壓 $E=2$ ヴォルト、電流 $I=2$ アムペアであるから、抵抗 R は公式から、

$$R = \frac{E}{I} = \frac{2}{2} = 1 \text{ オーム (答)}$$

例題 3. 或る導體の兩端に 10 ヴォルトの電壓を與へたら、2 アムペアの電流が流れたと云ふ。此の導體の抵抗は何オームか。

解 $E=10$, $I=2$ とおけば、抵抗 R は

$$R = \frac{E}{I} = \frac{10}{2} = 5 \text{ オーム (答)}$$

例題 4. 或る導體の兩端に 100 ヴォルトの電壓を與へたら、20 アムペアの電流が通つたと云ふ。此の導體の抵抗何オームか。

解 電壓 $E=100$ ヴォルト、電流 $I=20$ アムペア、抵抗 R は、

$$R = \frac{E}{I} = \frac{100}{20} = 5 \text{ オーム (答)}$$

56. 抵抗と電流とを知つて電壓を計算する法

前節では電壓と電流とを知つて導體の抵抗を計算する法を述べたが、ここでは反對に導體の抵抗とそれに通る電流とを知つて、導體の兩端に與へた電壓を計算する法を考へよう。前節の三つの例題と其の解答の結果から考へて見る。例題 2. からは次の事が考へられる。1 オームの抵抗ある導體に 2 アムペアの電流が通つて居る時は、その導體の兩端の電壓は 2 ヴォルトを要する事が分かる。又例題 3. の結果からは、5 オームの導體に 2 アムペアの電流が通ずる時はその導體の兩端の電壓は 10 ヴォルトを要する事が分る。又例題 4. の結果からは、5 オームの導體に 20 アムペアの電流が通る爲には、その導體の兩端には、100 ヴォルトの電壓

を要する事が分かる。之等の例から分る様に、導體の抵抗のオーム數とその導體に通る電流のアムペア數とを掛けると、導體の兩端に與ふべき電壓のヴォルト數が得られる譯である。故に次の關係がある。

$$[\text{電壓のヴォルト數}] = [\text{電流のアムペア數}] \times [\text{抵抗のオーム數}]$$

例へば、今述べた例では、2 アムペアの電流が 1 オームの抵抗に通ずる爲めには、導體の兩端に $2 \times 1 = 2$ ヴォルトの電壓を要するし、又 2 アムペアの電流を 5 オームの抵抗ある導體に通ずるためには、導體の兩端に $2 \times 5 = 10$ ヴォルトの電壓を與へる必要があるし、又 5 オームの導體に 20 アムペアを通すためには、導體の兩端に、 $20 \times 5 = 100$ ヴォルトの電壓を與へる必要がある。

尙ほ簡単に上の關係を式で表はす爲めに、導體の抵抗のオーム數を R 、これに通ずる電流のアムペア數を I とし、導體の兩端に與ふべき電壓のヴォルト數を E で表はせば、

$$E = IR$$

なる式が得られる。

例題 5. 10 オームの抵抗を有する針金に 0.5 アムペアを通ずる爲めには、其の針金の兩端に何ヴォルトの電壓を與へるべきか。

解 $E = IR = 0.5 \times 10 = 5$ ヴォルトの電壓を與ふべきである。

57. 抵抗と電壓とを知つて電流を計算する法

導體の兩端に或る電壓を與へると電流が通ずる。そして若しその導體の抵抗が大きいと電流は少いが、若し導體の抵抗が少いと電

流は多い譯である。所が既に述べた通り、導體の兩端に 1 ヴォルトの電壓を與へた時それに 1 アムペアの電流が通ずる様な導體の抵抗は 1 オームである。即ち電壓が 1 ヴォルトで抵抗が 1 オームの時は 1 アムペアの電流が通ずる。従つて電壓 1 ヴォルトを抵抗が 1 オームの二倍即ち 2 オームの導體の兩端に與へると、電流は前の半分即ち $\frac{1}{2}$ アムペア通ずる譯である。又電壓 1 ヴォルトを抵抗が 1 オームの半分即ち $\frac{1}{2}$ オームの導體の兩端に與へた時は、電流は 2 アムペア通る譯である。一般に導體の兩端に與へたヴォルト數を其の導體の抵抗のオーム數で割れば、導體に通ずる電流のアムペア數を得るのである。即ち次の關係が得られる。

$$[\text{電流のアムペア數}] = \frac{[\text{電壓のヴォルト數}]}{[\text{抵抗のオーム數}]}$$

尙ほ今まで使用した記號で簡単に之を表せば、次の様になる。

$$I = \frac{E}{R}$$

但し、 R は導體の抵抗のオーム數、 E は導體の兩端に與へた電壓のヴォルト數、 I は導體に通ずる電流のアムペア數を表はす。

例題 6. 20 オームの抵抗を有する電線あり、その兩端に 100 ヴォルトの電壓を與へた時、電線には何アムペアの電流を通ずるか。

解 $I = \frac{E}{R}$ の公式で、 $R=20$ 、 $E=100$ と代入して、計算すれば、 $I = \frac{E}{R} = \frac{100}{20} = 5$ 。即ち 5 アムペアの電流を通ずる。

58. オームの法則 55、56 及 57 の三節で述べた事から分る様に、電氣回路の或る定まつた部分の電壓、電流、抵抗の三

つの者の間には一定の法則に従ふ關係がある。即ち、

$$[\text{抵抗のオーム數}] = \frac{[\text{電壓のヴォルト數}]}{[\text{電流のアムペア數}]} \quad \text{又は、} \quad R = \frac{E}{I}$$

$$[\text{電壓のヴォルト數}] = [\text{電流のアムペア數}] \times [\text{抵抗のオーム數}],$$

$$\text{又は、} \quad E = IR$$


$$[\text{電流のアムペア數}] = \frac{[\text{電壓のヴォルト數}]}{[\text{抵抗のオーム數}]} \quad \text{又は、} \quad I = \frac{E}{R}$$

故に電壓、電流、抵抗の三つの者の内どれか二つを知つて居る時は、残りの一つは計算する事が出来る。此の三つの關係はオームと云ふ人が實驗から得たもので、之を**オームの法則**と稱する。

オームの法則は電氣回路の計算の基になるので重要なものであるから、よく覚えておいて貰ひたい。そして E は電壓、 R は抵抗、 I は電流の記號として一般に使用されて居るから之を覚えておくと便利である。尙ほ以上の三つの式を別々に覚えておいてもよいが、代數を使ふと一つの式だけを覚えて置けば残りの二式は代數式の變化で導き出される。例へば、最後の式即ち電流を求める式、

$$I = \frac{E}{R}$$

だけ覚えておけばよい。之から變化して $E = IR$ も得られ、又 $R = \frac{E}{I}$ も導かれる。

抵抗の略記號として普通ギザギザした線  で表はす。例へば第 73 圖は R オームの抵抗に、 E ヴォルトの電壓を與へて、 I アムペアの電流が通じて居るのを示す。此の場合には勿論オーム

の法則により、

$$I = \frac{E}{R}$$

なる関係がある。

例題 7. 第 74 圖に示す様に、100
ヴォルトの電圧を有する二線の間電球を接続した時、0.2 アムペ
アの電流が流れたと云ふ。此の

電球の抵抗何オームか。

解 電圧 $E=100$ 、電流 $I=$
0.2 であるから、電球の抵抗を
 R とせば、オームの法則 $I = \frac{E}{R}$ に入れて、 $0.2 = \frac{100}{R}$ 、之を變
化して、 $R = \frac{100}{0.2} = 500$ 、即ち求むる抵抗は 500 オームである。

勿論、始めから $R = \frac{E}{I}$ なる公式を使つて計算してもよい。即
ち $R = \frac{E}{I} = \frac{100}{0.2} = 500$ としてもよい。

練 習 問 題 V

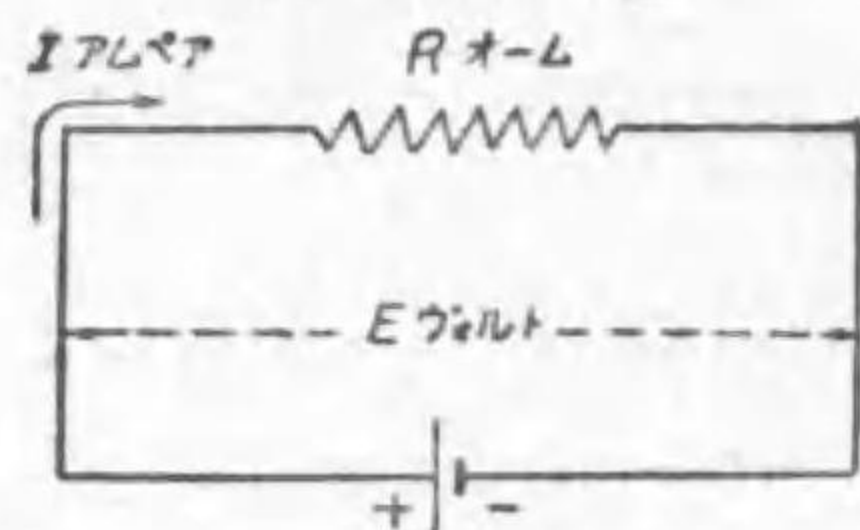
1. 500 オームの抵抗を有する導體に 0.2 アムペアの電流を通
ずる爲めには、此導體の兩端に何ヴォルトの電圧を與ふべきか。

答 100 ヴォルト

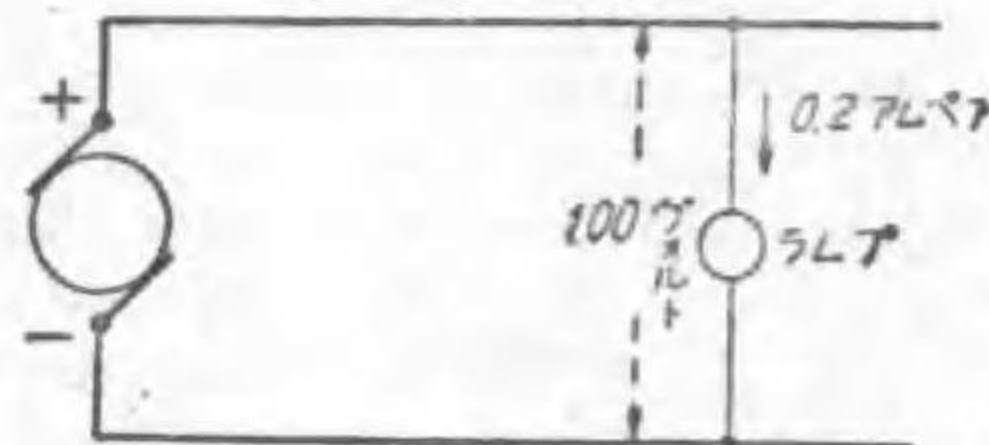
2. 500 オームの抵抗を有する導體の兩端に 100 ヴォルトの電
壓を與へたら、此の導體には何アムペアの電流通ずるか。

答 0.2 アムペア

第 73 圖



第 74 圖



3. 或る導體に 40 アムペアの電流通じて居る時に其兩端の電
壓 200 ヴォルトなりと云ふ。此導體の抵抗は何オームか。

答 5 オーム

4. 甲、乙二つの導體がある。甲導體の兩端に 10 ヴォルトの電
壓を與へると之に 2 アムペアの電流が通じ、乙導體の兩端に 15
ヴォルトの電圧を與へると之に 2.5 アムペアの電流が通ずると云
ふ。甲、乙何れの抵抗が大きいか。 答 乙の抵抗が大きい

5. 或導體あり、その兩端に 20 ヴォルトの電圧を與へると之に
4 アムペアの電流が通ずると云ふ。然らば此の導體に 6 アムペ
ア通ずる爲めには、此の導體の兩端に何ヴォルトの電圧を與ふべき
か。 答 30 ヴォルト

6. 或導體あり、その兩端に 100 ヴォルトの電圧を與へると之
に 0.4 アムペアの電流通ずると云ふ。然らば此導體の兩端に 90
ヴォルトの電圧を與へた時は何アムペアの電流が通ずるか。

答 0.36 アムペア

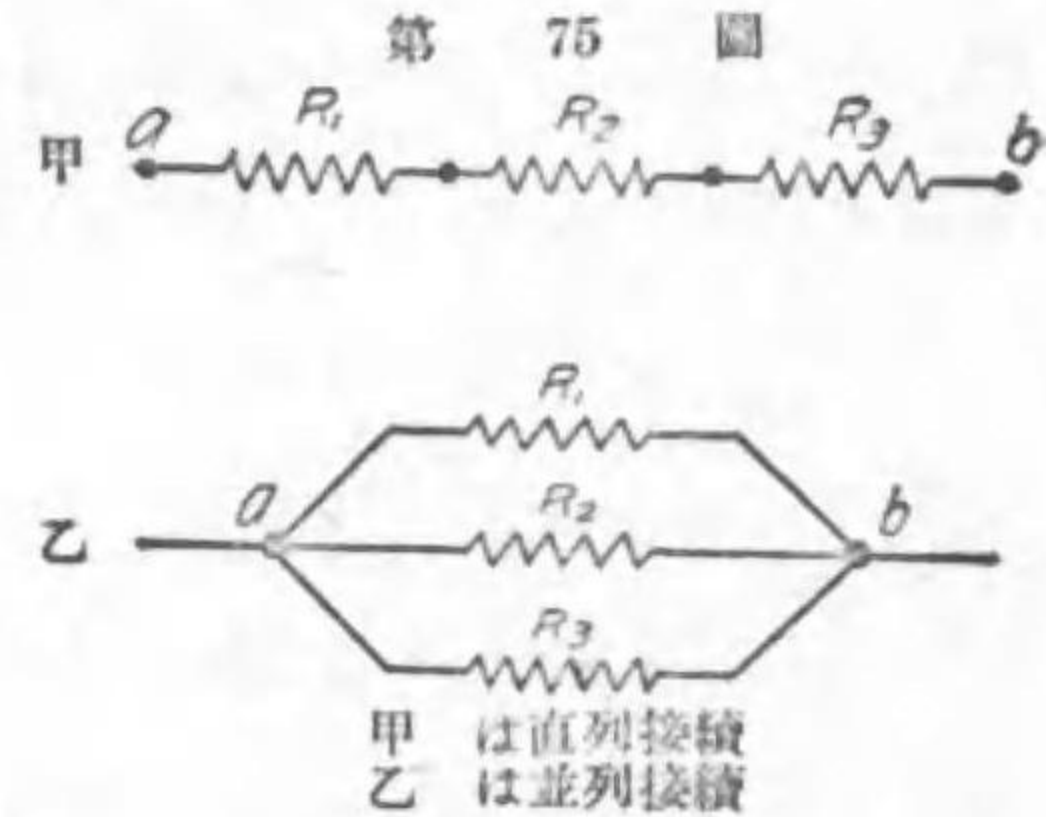
第 六 章 直 列 接 續 及 並 列 接 續

59. 直列接續と並列接續 抵抗を有する導體が二個以上あつて之等を接續するのに第 75 圖甲に示す様に、次々に接續した時之を直列接續と名付ける。即ち此圖では R_1 オーム、 R_2 オーム、 R_3 オームの三個の抵抗が直列に接續されて居るのである。

又二個以上の導體があつて、之等を接續するのに第 75 圖乙に示す様に、各導體の一端を同

一點 (a) に結び各導體の他端を他の同一点 b に結び付けた時之を並列接續と名付ける。此乙圖では、 R_1 オーム、 R_2 オーム、 R_3 オームの三個の抵抗が並列に接續された場合を示すのである。

種々の抵抗の直列接續の場合に全體としての抵抗、即ち甲圖の ab 間の抵抗の値は各導體の抵抗と違つた値になつて来る。此全體としての抵抗即ち ab 間の抵抗を此直列接續の合成抵抗と云ふ。直列接續の合成抵抗は各導體のどの抵抗よりも大きくなるものである。又並列接續の場合に全體としての抵抗、即ち乙圖の ab 間の抵抗の値は各導體の抵抗と違つた値になつて来る。此の場合にも全體としての抵抗即ち乙圖の ab 間の抵抗を此並列接續の合成抵



抗と云ふ。而して後節で分るが並列接續の合成抵抗は各導體のどの抵抗よりも小さくなるものである。

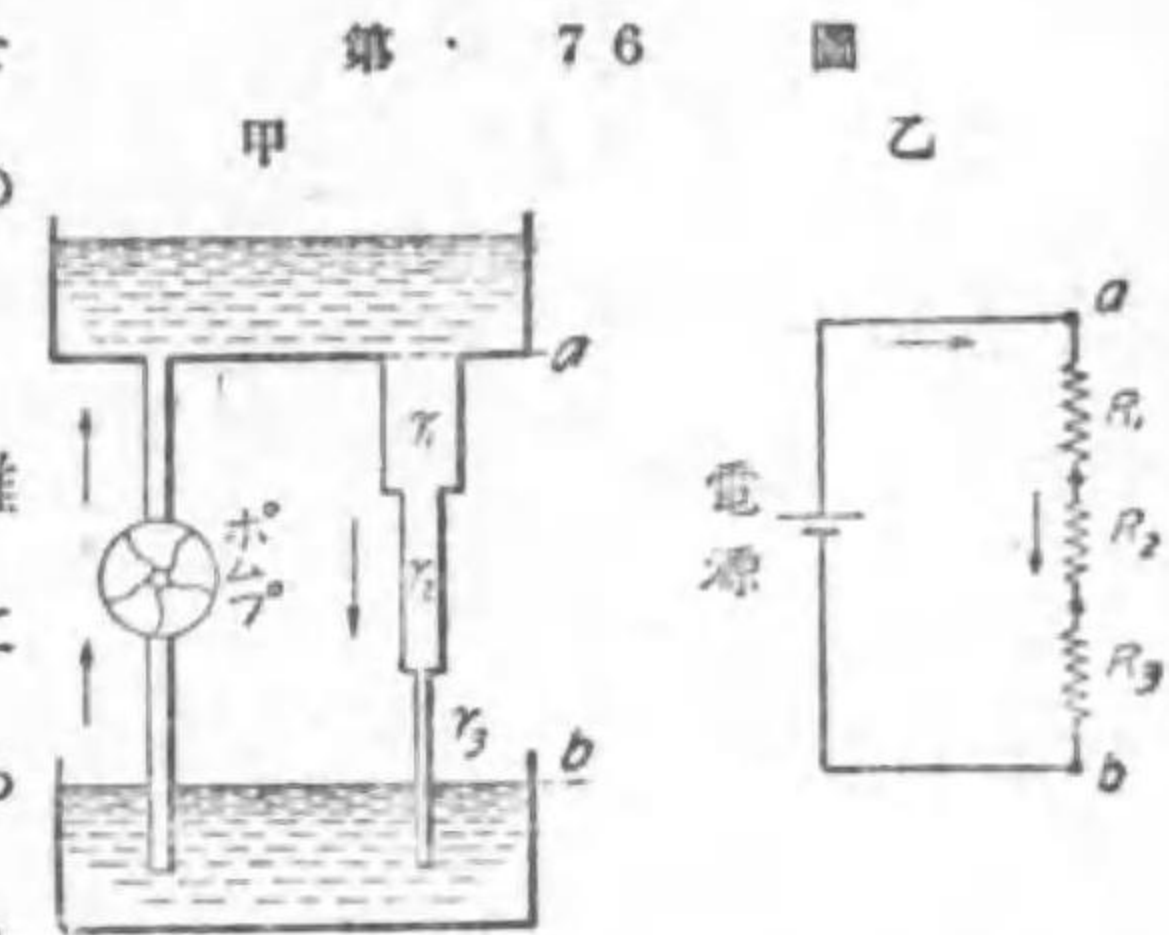
60. 直列接續と並列接續との例 直列接續と並列接續との場合を水の場合の例に就いて考へて見よう。

第 76 圖甲に示す様に、太さや長さの異なる三本の鐵管 r_1, r_2, r_3 を次々に連結して水を流すと全體としての鐵管即ち ab 間の

長さは増すから各々の一本、一本の場合よりも水は流れ難くなる。即ち此場合は水流に對する抵抗作用が増す。即ち鐵管 ab 間の合成抵抗は $r_1,$

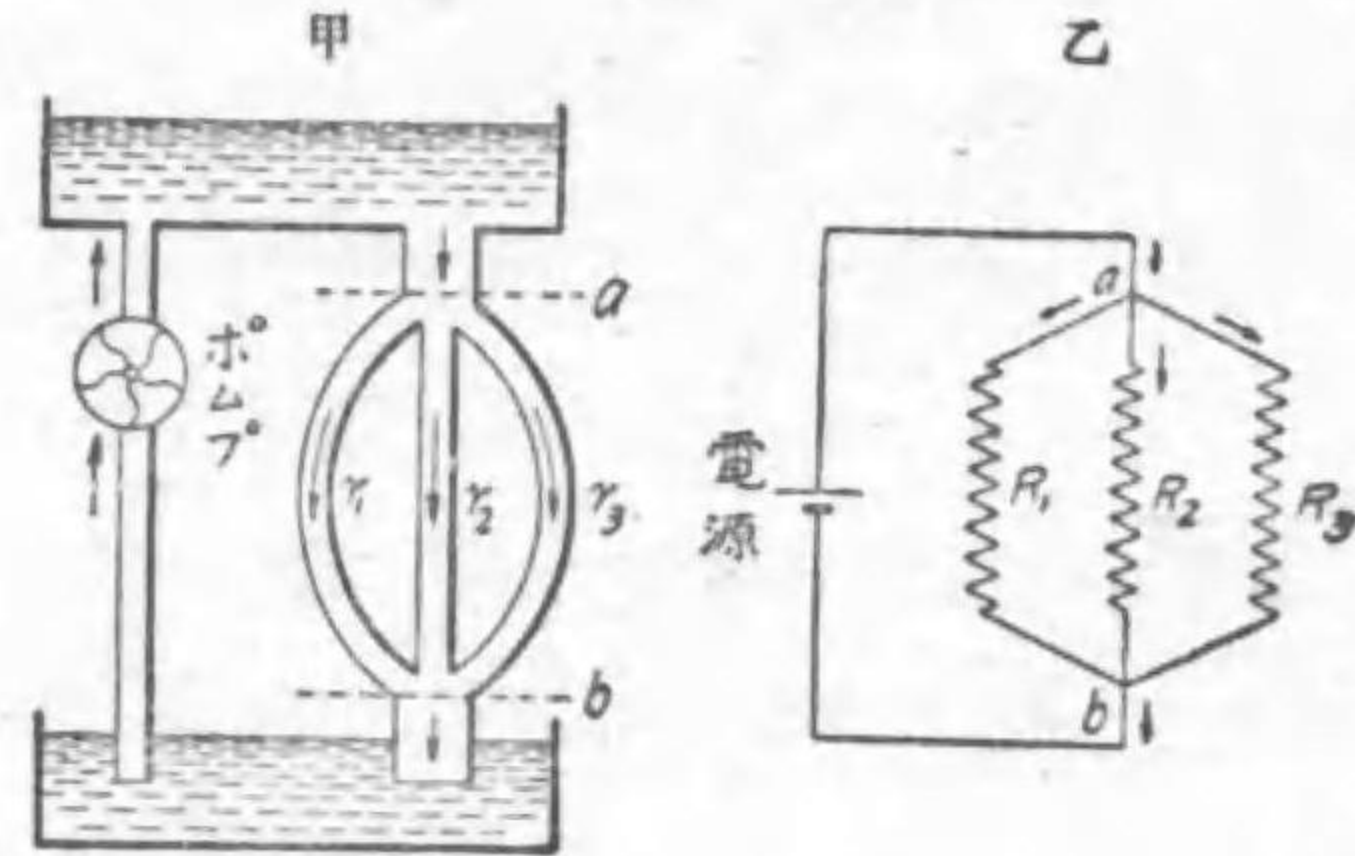
r_2, r_3 の中のどの管の抵抗よりも大きいのである。そして此の時水流は圖から明に r_1, r_2, r_3 のどの管にも同一の水流が通るのである。之と同様に、乙圖に示す様に、 R_1 オーム、 R_2 オーム、 R_3 オームの三個の導體を直列に接續してその兩端 ab 間に電壓を與へた時は、各導體の一個一個に別々此電壓を與へた時よりも電流は通じ難い。即ち此の直列接續の合成抵抗の値は各導體のどの抵抗よりも大きいのである。又此直列接續の時には R_1 オーム、 R_2 オーム、 R_3 オームの導體にも同一の値の電流が通るのである。

次に第 77 圖甲に示す様に、太さの異なる三本の鐵管 r_1, r_2, r_3 を一端を一緒に連結し、他端を一緒に連結し即ち並列にして之に水



第 77 圖

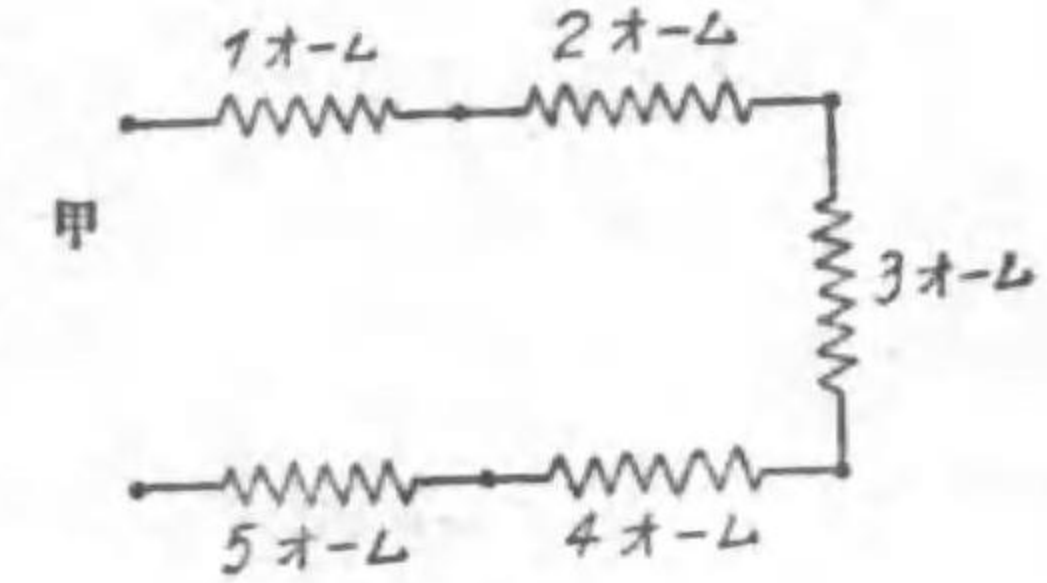
を流すとする。此場合には三本の管に水が流れるから、各々の一本を別にして水を流す時よりも多くの水が流れる。即ち a 部に流入する水流



又は b 部から流出する水流は各の管を通ずる水流の和に等しい。之は丁度三本の管の太さの和に等しい一本の太い管を、 r_1, r_2, r_3 の三本の代りに ab 間に置き換へたと同じ事になる。従つて ab 間の抵抗作用は、一本宛の抵抗作用よりも小さい譯である。そして此並列接続の場合には圖から明な様に、a, b は r_1 の両端であり、又 r_2 の両端でもあり、又 r_3 の両端にもなつて居るのであるから各管の両端の水頭の差は同一である。之と同様に、乙圖に示す様に、 R_1 オーム、 R_2 オーム、 R_3 オームの三個の導體を並列に接続して、その両端 ab 間に電壓を與へた時は、各導體の一個一個に別々に電壓を與へた時よりも電流は通じ易く、即ち此並列接続の a に流入する電流又は b より流出する電流は各抵抗に通ずる電流の和に等しい。之は丁度並列になつてゐる三個の R_1, R_2, R_3 の代りに、三本に通る電流の和に等しい電流を通すべき一本の太い導體即ち小さな抵抗を ab 間に置換へたと同じ事になる。従つて此並列接続では ab 間の合成抵抗の値は各導體のどの抵抗よりも小さな値で

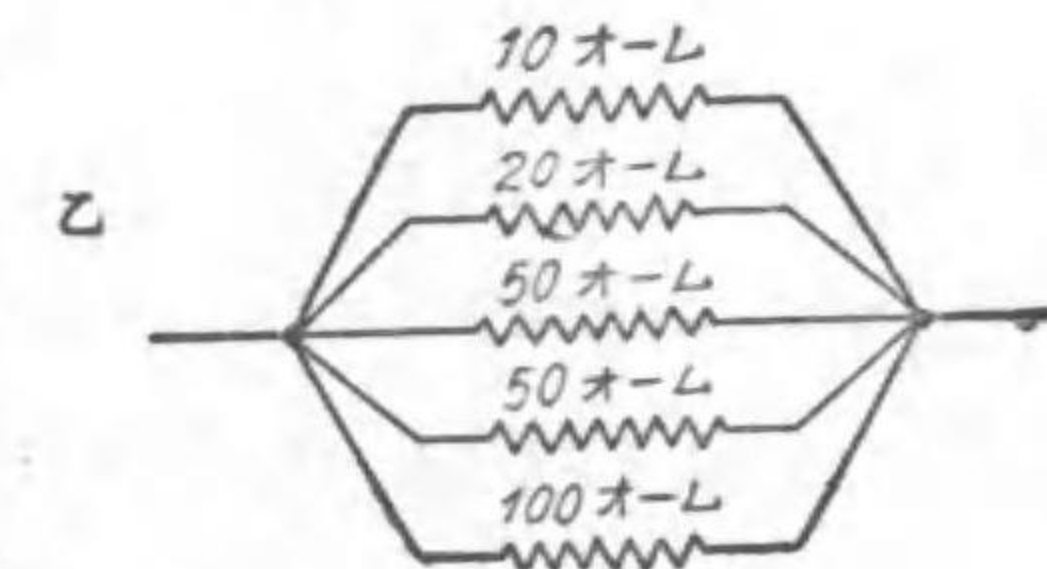
ある。そして a, b は R_1 の両端であり、又 R_2 の両端でもあり、又 R_3 の両端にもなつて居るから、ab 間の電壓は R_1 オームの両端の電圧でもあり、 R_2 オームの両端の電圧にもなり又 R_3 オームの両端の電圧にもなる譯である。即ち抵抗の値が種々異つても並列に接続された各抵抗は何れも同一の値の電壓を受けるものである。

第 78 圖



例題 8. 第 78 圖甲、乙各は何接続か。

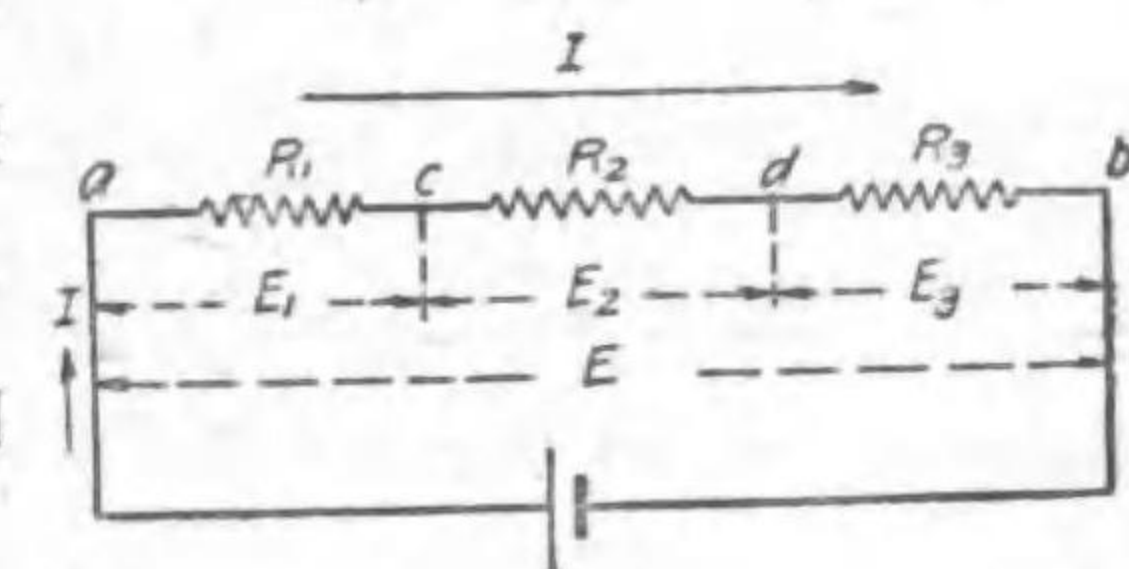
解 甲圖は 1 オーム、2 オーム、3 オーム、4 オーム、5 オームの五つが直列に接続された圖。乙圖は 10 オーム、20 オーム、50 オーム、50 オーム、100 オームの五つが並列に接続された圖である。



61. 直列接続の合成抵抗 R_1 オーム、 R_2 オーム及

R_3 オームの三つの抵抗を第 79 圖に示す様に直列に接続し其の合成抵抗を R オームとせば、R と R_1, R_2, R_3 間には次の関係がある。

第 79 圖



合成抵抗 $R = R_1 + R_2 + R_3$

即ち直列接続の合成抵抗は各導體の和に等しい。以下之を證明しよう。

圖に示す様に、三つの抵抗を直列にした兩端 ab 間に E ヴォルトの電壓を與へたとする。すると電流は電源の陽極から a 端を通り R_1, R_2, R_3 を通つて b から 電源の陰極に向つて通ずる。今此電流を I アムペアとする。即ち直列に接続された各抵抗 R_1, R_2, R_3 には同じ電流 I が通ずる譯である。そして、 R_1, R_2, R_3 の各抵抗の電壓を夫々 E_1, E_2, E_3 ヴォルトとせば、オームの法則から、

$$\left. \begin{array}{l} ac \text{ 部分では, } E_1 = IR_1 \\ cd \text{ 部分では, } E_2 = IR_2 \\ db \text{ 部分では, } E_3 = IR_3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (イ)$$

然るに、 ac 間の電壓 E_1 、 cd 間の電壓 E_2 、 db 間の電壓 E_3 の和は圖から明に ab 間の電壓 E に等しい。故に

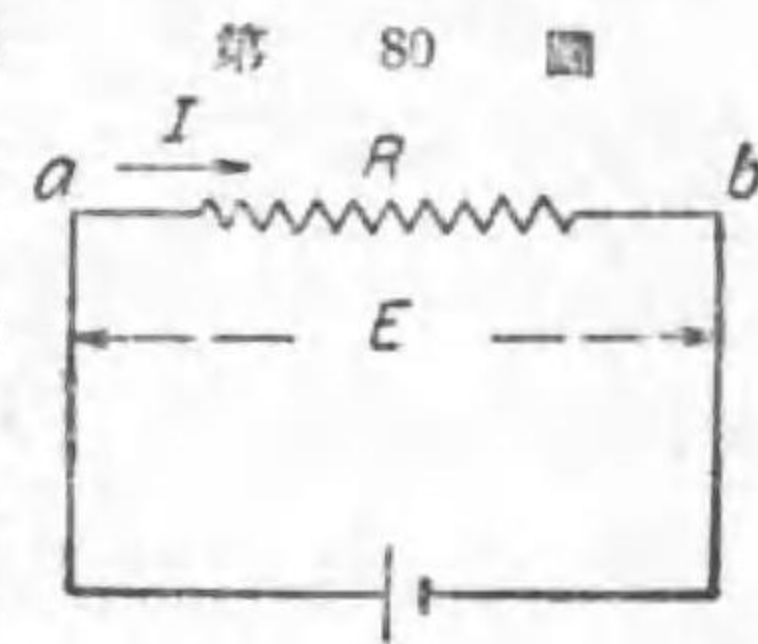
$$E = E_1 + E_2 + E_3 \dots\dots\dots (ロ)$$

(ロ)に(イ)の値を代入して

$$E = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\therefore R_1 + R_2 + R_3 = \frac{E}{I} \dots\dots\dots (ハ)$$

然るに、第 79 圖の $acdb$ 即ち ab 全體を一個の抵抗と考へ之を一つの導體と置きかへて、第 80 圖に示す様にその兩端 ab 間に前と同じ値の電壓 E ヴォルトを與へた時之に前と同じ値の電流 I アムペア



第 80 圖

が通じて居る場合はその抵抗の値 R オームはオームの法則から、

$$R = \frac{E}{I} \dots\dots\dots (ニ)$$

今(ハ)と(ニ)とを比較すると、右邊は相等しいから左邊も等しい。故に $R = R_1 + R_2 + R_3$ 。

即ち抵抗を三つ直列に接続した場合はその合成抵抗は各導體の抵抗の和に等しいのである。

以上は三個の抵抗の直列接続に就いて述べたが、一般に導體が何個直列に接続されてもその合成抵抗は各導體の抵抗の和に等しいのである。

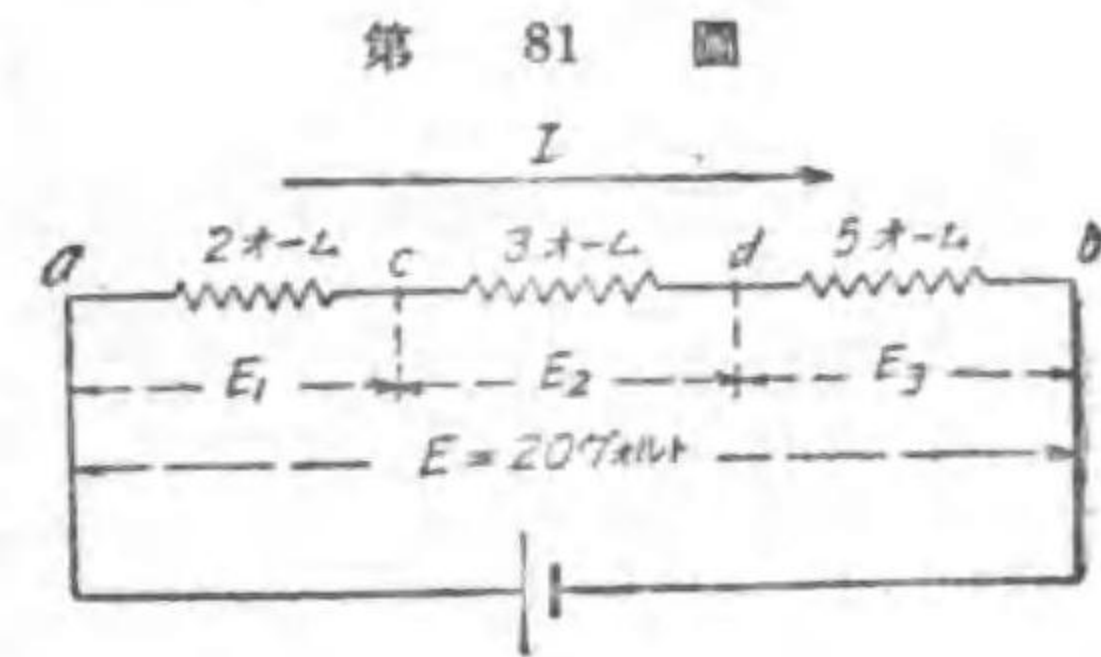
例題 9. 2 オーム、3 オーム、5 オームの三個の導體を直列に接続した時その合成抵抗は何オームか。今此直列に接続された兩端に 20 ヴォルトの電壓を與へた時何アムペアの電流が通ずるか、又此時各導體の兩端間の電壓は各何ヴォルトか。

解 第 81 圖の様に $R_1 = 2$ オーム、 $R_2 = 3$ オーム、 $R_3 = 5$ オームとし、合成抵抗を R とせば、 $R = R_1 + R_2 + R_3$

$$= 2 + 3 + 5 = 10 \text{ オーム,}$$

次に兩端 ab 間に與へた電壓は $E = 20$ ヴォルトであるから、之に通ずる電流 I は、

$$I = \frac{E}{R} = \frac{20}{10} = 2 \text{ アムペア}$$



第 81 圖

又此時 $R_1=2$ オームの抵抗の兩端 ac 間の電壓 $E_1=IR_1=2 \times 2=4$ ヴォルト, $R_2=3$ オームの抵抗の兩端 cd 間の電壓 $E_2=IR_2=2 \times 3=6$ ヴォルト, $R_3=5$ オームの抵抗の兩端 db 間の電壓 $E_3=IR_3=2 \times 5=10$ ヴォルト。

答 { 合成抵抗は 10 オーム
 $acdb$ に通ずる電流は 2 アムペア
 2 オームの兩端の電壓は 4 ヴォルト, 3 オームの
 兩端の電壓は 6 ヴォルト, 5 オームの兩端の電壓
 は 10 ヴォルト

例題 10. 2 オーム, 3 オーム, 5 オームの三個の抵抗を直列に接続したものに 5 アムペアの電流を通ずる爲めには直列接続の兩端に何ヴォルトの電壓を與ふべきか。又各抵抗の兩端の電壓は夫々何ヴォルトか。

解 合成抵抗 $R=2+3+5=10$ オーム, 之に 5 アムペアを通ずる爲めには, $5 \times 10=50$ ヴォルトの電壓を直列接続の兩端に與ふる必要がある。又此時の 2 オームの抵抗の兩端の電壓は $5 \times 2=10$ ヴォルト, 3 オームの抵抗の兩端の電壓は $5 \times 3=15$ ヴォルト, 5 オームの兩端の電壓は $5 \times 5=25$ ヴォルトである。

例題 11. 30 オーム, 20 オーム, 5 オーム, 12 オーム, 15 オーム, 18 オームの六個の導體を直列にした兩端に 100 ヴォルトの電壓を與へた時は之に何アムペアの電流通ずるか。又各抵抗の兩端の電壓は夫々何ヴォルトか。

解 合成抵抗 $R=30+20+5+12+15+18=100$ オーム, 故に此 100 オームの兩端に 100 ヴォルトの電壓を與へると, 電流 $I=\frac{100}{100}=1$ アムペア通ずる。故に 30 オームの兩端の電壓は $1 \times 30=30$ ヴォルト, 20 オームの兩端の電壓は $1 \times 20=20$ ヴォルト, 5 オームの兩端の電壓は $1 \times 5=5$ ヴォルト, 12 オームの兩端の電壓は, $1 \times 12=12$ ヴォルト, 15 オームの兩端の電壓は, $1 \times 15=15$ ヴォルト, 又 18 オームの兩端の電壓は, $1 \times 18=18$ ヴォルトである。

例題 12. 抵抗 r オームの導體 n 箇を直列に接続すれば合成抵抗は何オームか。

解 合成抵抗 $R=r+r+r+\dots$ (n 回加へる) $=r \times n=nr$ オームである。例へば, 10 オームの導體が 100 箇あつて之を直列に接続すると合成抵抗は $10 \times 100=1000$ オームである。

例題 13. 多くの抵抗が直列に接続されて之に電流通じ居る時は, 各抵抗の受ける電壓の比は各抵抗の比に等しい事を證明せよ。

解 抵抗が何箇あつても之等がすべて直列に接続された場合は同様な考へ方で證明されるから, 茲では三箇の抵抗の場合に就いて考へよう。前の第 79 圖に示す様に R_1, R_2, R_3 オームの三箇の抵抗を直列に接続し, 之に I アムペアの電流通じ居る時は, 各抵抗 R_1, R_2, R_3 の受ける電壓を夫々 E_1, E_2, E_3 ヴォルトとせば, オームの法則から [即ち 84 頁の (イ) 式から],

$$E_1=IR_1, \quad E_2=IR_2, \quad E_3=IR_3$$

$$\therefore E_1 : E_2 : E_3 = IR_1 : IR_2 : IR_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

即ち直列に接続された各抵抗の受ける電圧の比は各抵抗の比に等しい譯である。

附記 尙ほ此時、全電圧を E ヴォルトとし、合成抵抗を R オームとすれば、オームの法則から〔即ち 85 頁の(=)式から〕、

$$E = IR$$

であるから、此關係と前の(イ)の關係式とを結び付けて、

$$E_1 : E_2 : E_3 : E = IR_1 : IR_2 : IR_3 : IR = R_1 : R_2 : R_3 : R$$

なる關係がある事も分るであらう。

或は又(イ)式と(=)式とを各書きかへて、電流 I を考へると次の關係が成り立つ譯である。

$$I = \frac{E_1}{R_1} = \frac{E_2}{R_2} = \frac{E_3}{R_3} = \frac{E}{R}$$

62. 並列接続の合成抵抗

抵抗 R_1 オーム、 R_2 オーム、 R_3 オームの三箇の導體を並列に接続した場合に、其の合成抵抗を R オームとすれば、次の關係がある。

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

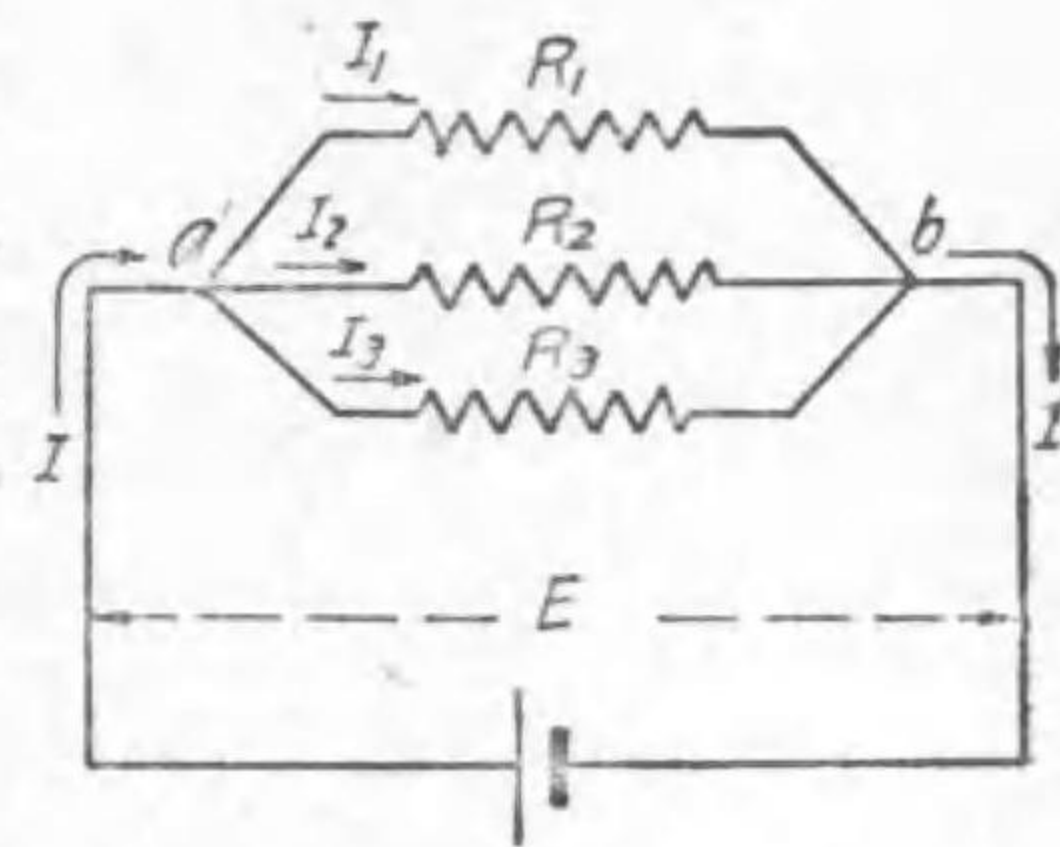
又は

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

以下之を證明しよう。

第 82 圖に示す様に、並列に接続した兩端 ab 間に E ヴォルトの

第 82 圖



電壓を與へたとする。すると電流は電源の陽極から a に向ひ、 a から三つの抵抗に分流して b で合して b から陰極に向つて通ずる。今 R_1, R_2, R_3 に通ずる電流を夫々 I_1 アムペア、 I_2 アムペア、 I_3 アムペアとすればオームの法則から次の三式が成立する。即ち、

I_1 の通ぜる R_1 の兩端の

電壓は E であるから、

$$I_1 = \frac{E}{R_1}$$

I_2 の通ぜる R_2 の兩端の

電壓は E であるから、

$$I_2 = \frac{E}{R_2}$$

I_3 の通ぜる R_3 の兩端の

電壓は E であるから、

$$I_3 = \frac{E}{R_3}$$

..(イ)

然るに a に流入する電流(從つて又 b から流出する電流)を I アムペアとすれば、 I アムペアが a から分流して I_1 アムペア、 I_2 アムペア、 I_3 アムペアになつて居るから(又は I_1, I_2, I_3 が b で合して b から I アムペアとして流出するから)、 I は I_1, I_2, I_3 の和に等しい。即ち

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \dots \dots \dots (ロ)$$

(ロ) に(イ)の値を代入して、

$$I = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

$$\therefore I = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \dots\dots\dots (ハ)$$

然るに今第 82 圖の ab 間全體を一個の抵抗と考へ、一つの導體と置きかへて、第 83 圖に示す様にその ab 兩端に前と同じ値の電壓 E ヴォルトを與へた時、之に前と同じ値の電流 I アムペアが通じて居る様な場合のその抵抗の値を R オームとせば、オームの法則から、

$$I = \frac{E}{R} \dots\dots\dots (ニ)$$

(ハ) と (ニ) とは左邊が等しいから右邊も等しい。即ち、

$$\frac{E}{R} = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

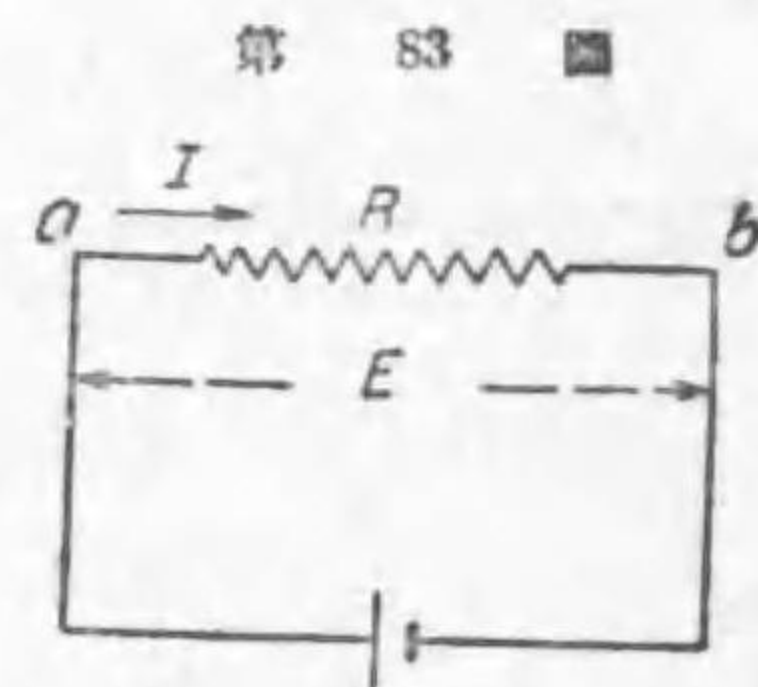
故に此兩邊を E で割れば、

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots\dots\dots (*)$$

即ち並列接続の場合には、各導體の抵抗の逆数の和が合成抵抗の逆数に等しい。(*) 式を書きかへると次の通りになる。

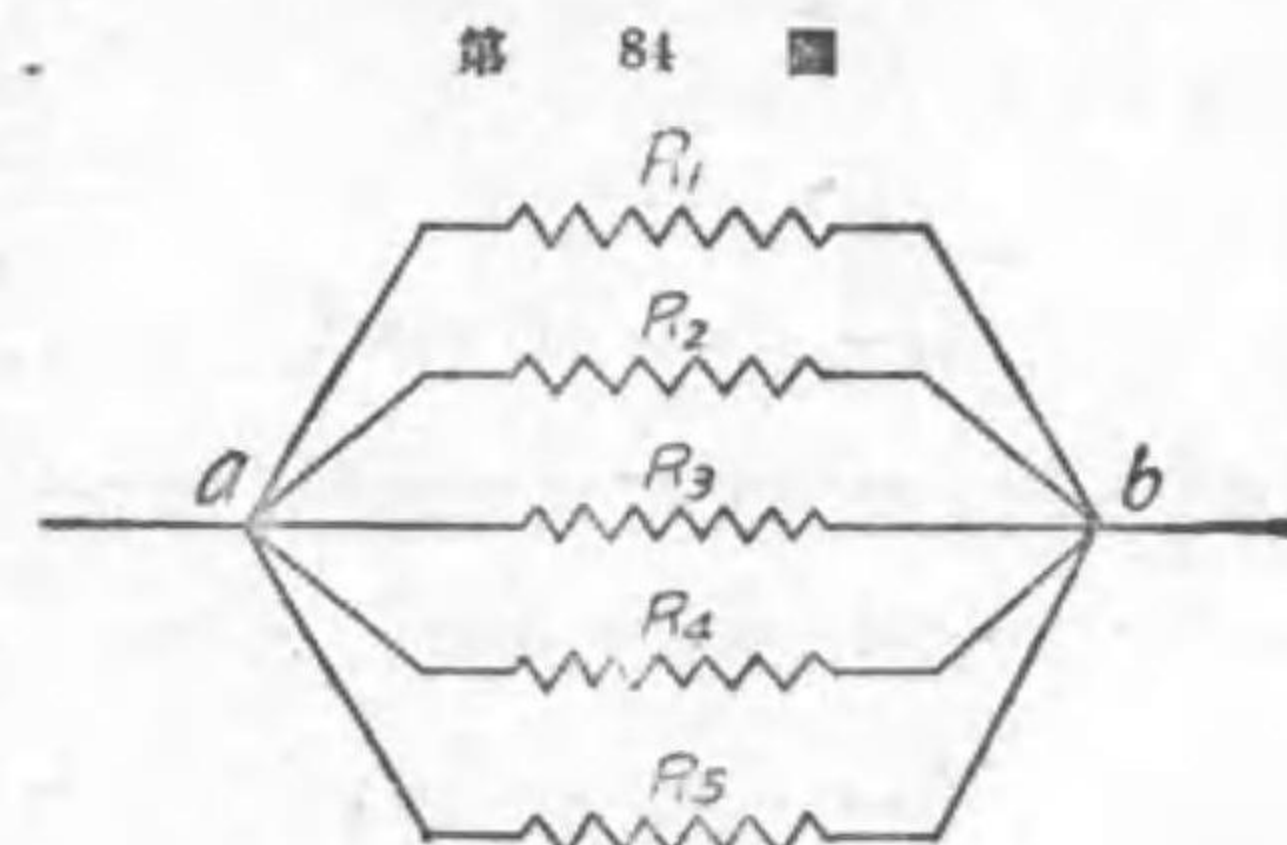
$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

以上は導體が三個の場合に就いて述べたが、何個の導體でも例へば第 84 圖の様に 5 個の導體 R_1 オーム、 R_2 オーム、 R_3 オーム、



第 83 圖

R_4 オーム、 R_5 オームが並列にある場合の合成抵抗即ち ab 間の抵抗を R オームとすると、上の證明と同様にして次の関係が得られる。



第 84 圖

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}$$

又は、
$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}}$$

又特別の場合として、若し五個の抵抗が皆等しいもので之等が並列に接続された時は、即ち $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5$ の時は、

$$\begin{aligned} \text{合成抵抗 } R &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1}} \\ &= \frac{1}{\frac{5}{R_1}} = \frac{R_1}{5} \end{aligned}$$

即ち一個の抵抗の五分の一の値の合成抵抗である。

例題 14. 20 オーム、25 オーム、100 オームの三個の抵抗を並列に接続したものの合成抵抗は何オームか。

解 $R_1 = 20$, $R_2 = 25$, $R_3 = 100$ とし、合成抵抗を R とせば、公式から、

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20} + \frac{1}{25} + \frac{1}{100}$$

$$= 0.05 + 0.04 + 0.01 = 0.1$$

$$\therefore R = \frac{1}{0.1} = 10 \text{ オーム} \quad \text{答 } 10 \text{ オーム}$$

例題 15. 第 85 圖に示す様に 20 オーム, 25 オーム, 100 オームの並列接続の両端 ab 間に 100 ヴォルトの電圧を與へた時は各抵抗には何アムペアの電流が通ずるか。又 b から流出する電流は何アムペアか。

解 $R_1 = 20$ オームに通ずる電流 $I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{100}{20} = 5$ アムペア,

25 オームに通ずる電流

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{100}{25} = 4 \text{ アムペア}$$

又 100 オームに通ずる電流

$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{100}{100} = 1 \text{ アムペア.}$$

又 b から流出する全電流 I は

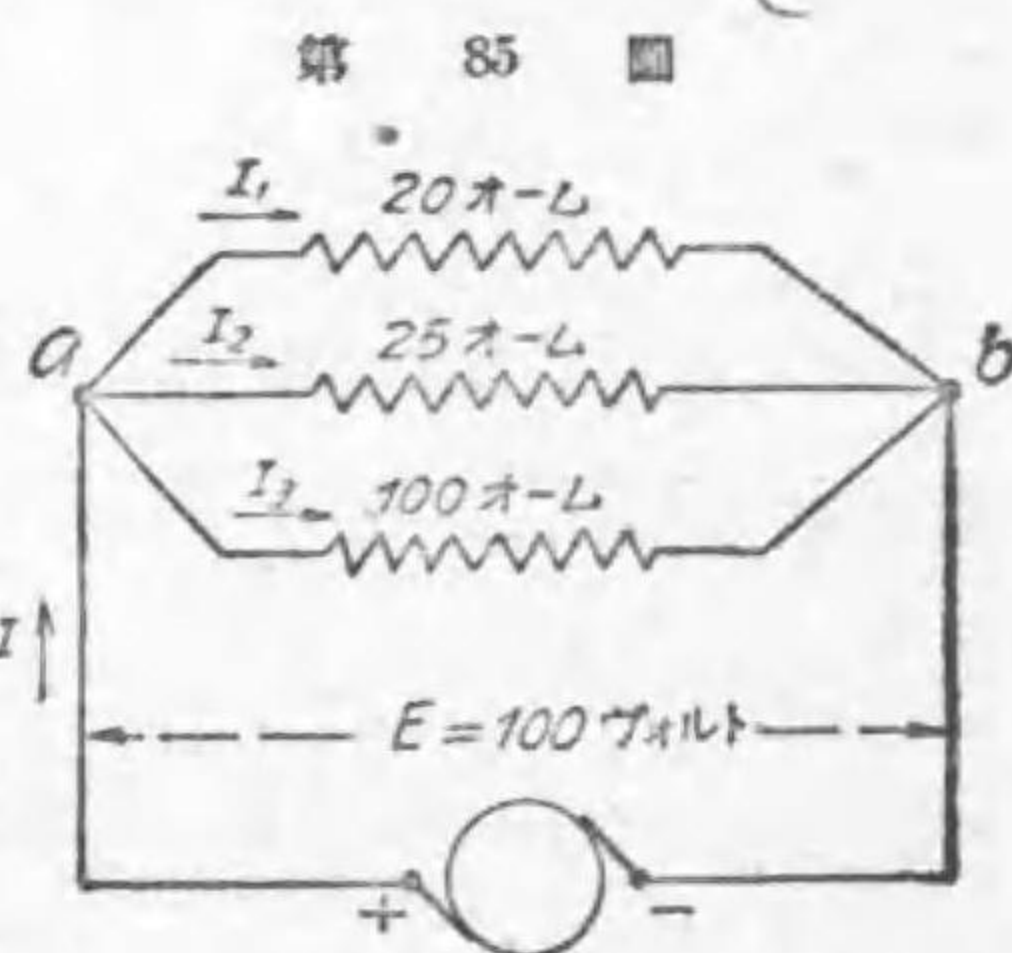
$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 5 + 4 + 1 = 10 \text{ ア}$$

ムペアである。或は又次の様に

之を算出してもよい。合成抵抗は R は前例で計算した様に $R = 10$ オームであるから, $I = \frac{E}{R} = \frac{100}{10} = 10$ アムペア。

例題 16. 多くの導體が並列に接続されてその両端に或電圧を與へた時各導體に通ずる電流の比は各導體の抵抗の逆数の比に等しい事を證明せよ。

解 第 82 圖に示す様に, R_1, R_2, R_3 オームの三個の抵抗の



並列接続の両端に E ヴォルトの電圧を與へた時, 各抵抗に通る電流を夫々 I_1, I_2, I_3 アムペアとせばオームの法則から, (イ)式で示した様に,

$$I_1 = \frac{E}{R_1}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2}, \quad I_3 = \frac{E}{R_3}.$$

$$\therefore I_1 : I_2 : I_3 = \frac{E}{R_1} : \frac{E}{R_2} : \frac{E}{R_3} = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

即ち並列接続の時は各抵抗に通ずる電流の比は各抵抗の逆数の比に等しい。

尙ほ全電流を I アムペアとし, 合成抵抗を R オームとせば(=)式から,

$$I = \frac{E}{R}$$

なる関係があるから, 前の(イ)式の関係と結び付けて次の関係が成立つ。

$$I_1 : I_2 : I_3 : I = \frac{E}{R_1} : \frac{E}{R_2} : \frac{E}{R_3} : \frac{E}{R}$$

$$= \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \frac{1}{R}$$

或は又(イ)式(=)式を變化して電圧 E を考へると, 次の関係も成立つ。

$$E = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = IR$$

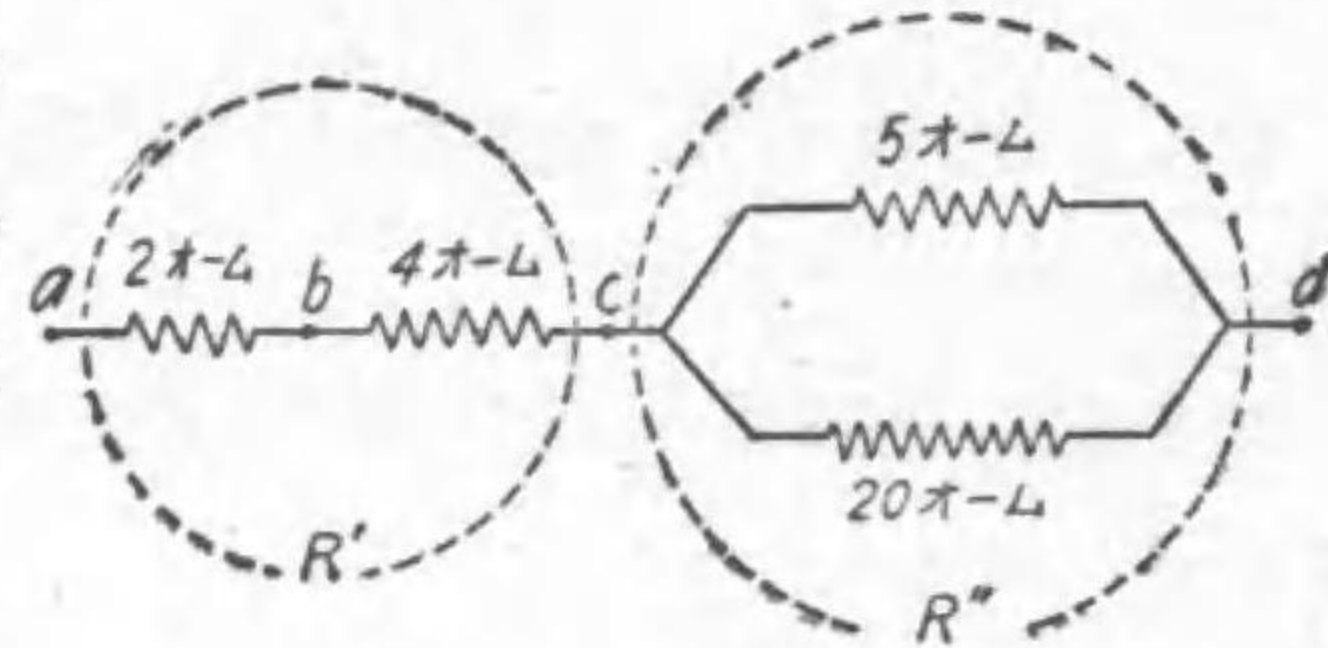
$$\therefore I_1 = \frac{IR}{R_1}, \quad I_2 = \frac{IR}{R_2}, \quad I_3 = \frac{IR}{R_3}.$$

63. 直列並列の混合せる接続の合成抵抗 直列

接続と並列接続との各に就いての合成抵抗の求め方は既に述べたから、茲には直列接続と並列接続との組合せから出来たものの合成抵抗を求める一例を述べよう。

例題 17. 第 86 圖に示す様に、2 オームと 4 オームとの直列接続に 5 オームと 20 オ

ームの並列接続を直列に接続したものの両端 ad 間の合成抵抗を求めよ。

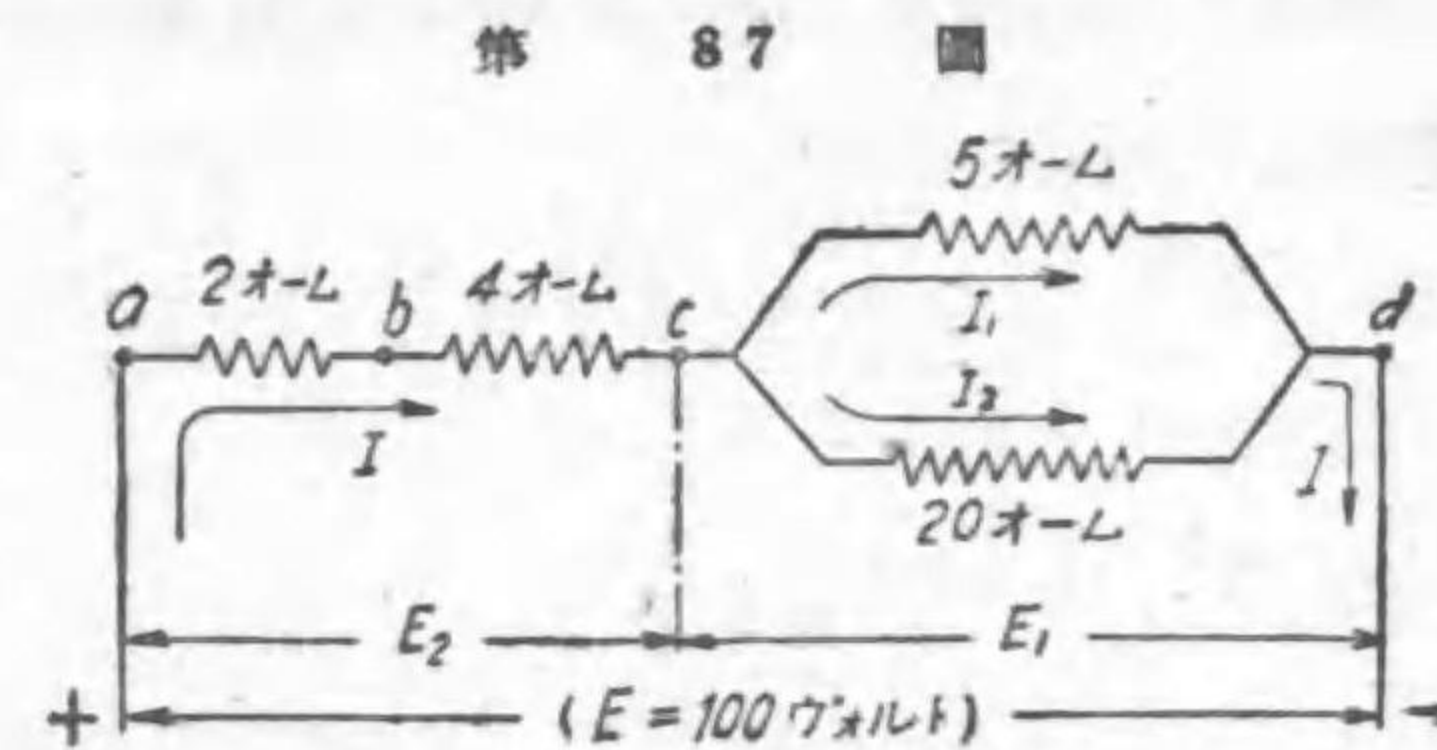


解 先づ 2 オームと 4 オームとの直列接続の合成抵抗即ち ac 間の抵抗を R' とせば、 $R' = 2 + 4 = 6$ オームである。次ぎに 5 オームと 20 オームとの並列接続の合成抵抗即ち cd 間の抵抗を R'' とせば、 $\frac{1}{R''} = \frac{1}{5} + \frac{1}{20} = \frac{5}{20} = \frac{1}{4}$ $\therefore R'' = 4$ オームである。此二つの R' と R'' とが直列に接続されて居る事になるから ad 間の全合成抵抗 R は $R = R' + R'' = 6 + 4 = 10$ オームである。

例題 18. 前例の接続で、 ad 間に 100 ヴォルトの電圧を與へた時、各導體に通ずる電流は夫々何アムペアか。

解 第 87 圖の様子に ad 間に電圧を與へると、電流は陽極から a, b, c と通じ c 點で 5 オームと 20 オームに分流し、 d で合流して陰極に向ふ。即ち直列に接続された 2 オーム、4 オームに

は同一の電流が流れる。之を I アムペアとしておく。そして此 I アムペアが分れて 5 オームに流れる電流



を I_1 アムペア、20 オームに流れる電流を I_2 アムペアとせば、勿論 $I = I_1 + I_2$ である。

然らばオームの法則から、電流 I は、全電圧 E を全合成抵抗 R で割つて、

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ アムペア}$$

今 cd 間の電圧を E_1 ヴォルトとせば、 cd 間の抵抗 R'' は前號で求めた通り $R'' = 4$ オームであるから、オームの法則から、

$$E_1 = IR'' = 10 \times 4 = 40 \text{ ヴォルト}$$

故に 5 オームに通ずる電流 I_1 はオームの法則から、

$$I_1 = \frac{E_1}{5} = \frac{40}{5} = 8 \text{ アムペア}$$

又 20 オームに通ずる電流 I_2 はオームの法則から、

$$I_2 = \frac{E_1}{20} = \frac{40}{20} = 2 \text{ アムペア}$$

並列接続の 5 オーム、20 オームの各に通ずる電流 I_1, I_2 を求めるには次の様に考へてもよい。即ち並列接続の場合の各に通ず

る電流及び全電流の比は各の抵抗の逆及び並列接続の合成抵抗の逆の比に等しいから、

$$I_1 : I_2 : I = \frac{1}{5} : \frac{1}{20} : \frac{1}{R''} = \frac{1}{5} : \frac{1}{20} : \frac{1}{4}$$

$$\therefore I_1 : I = \frac{1}{5} : \frac{1}{4}$$

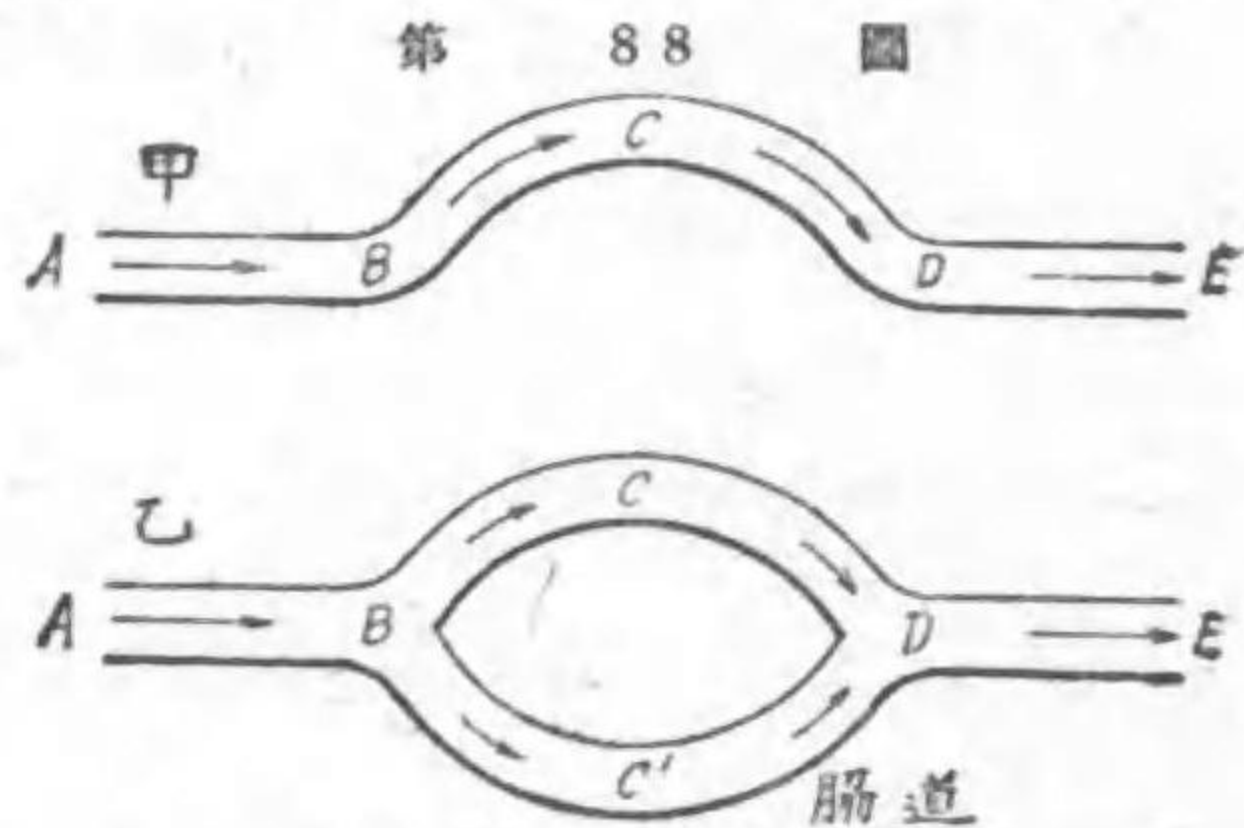
$$\therefore I_1 = I \times \frac{1}{5} \div \frac{1}{4} = 10 \times \frac{1}{5} \div \frac{1}{4} = 2 \times 4 = 8 \text{ アムペア}$$

又 $I_2 : I = \frac{1}{20} : \frac{1}{4}$

$$\therefore I_2 = I \times \frac{1}{20} \div \frac{1}{4} = 10 \times \frac{1}{20} \div \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \times 4 = 2 \text{ アムペア}$$

64. 分路を用ゐると、或る導體を通ずる電流を減少させる事が出来る。

第 88 圖甲に示す様に、鐵管が一本あつて其内を水が流れて居るとしよう。今管の一部分 BD 間を流れる水流を他の部分 AB 間又は DE 間を流れる水流に比べて少なくする必要が

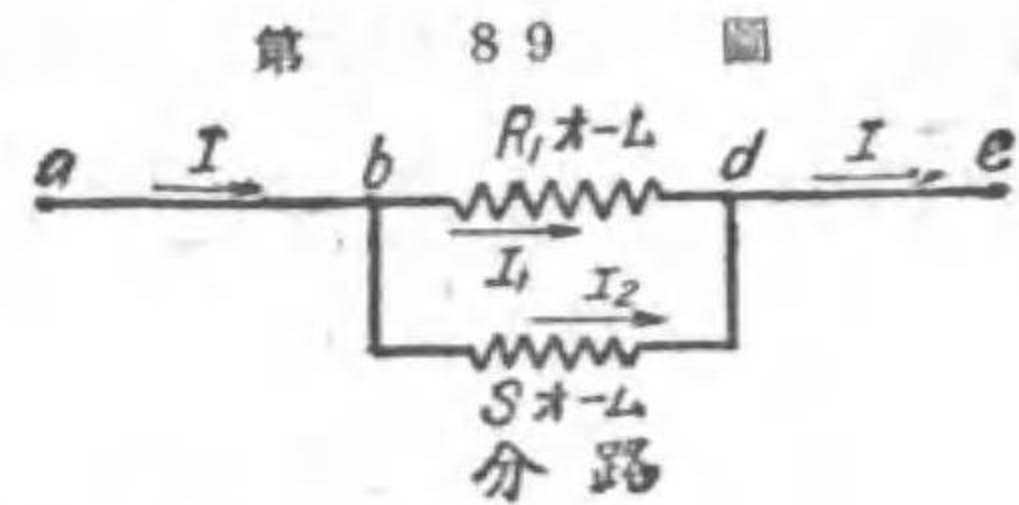


起きたと假定しよう。此時は同圖乙の様に BD 間に脇道を作つてやればよろしい。例へば、AB 間を流れる水流が一時間に 10 リットルの割合の時、BD 間の水流を一時間に 5 リットルの割合にするには、BCD と同じ大さの鐵管 BC'D で脇道を作つてやればよろし

い。若し BC'D 管を更に太い管とすれば、BCD に通ずる水流は AB に通ずる水流よりも餘程少なくなる譯である。即ち乙圖の様に、BCD 管に並列に BC'D 管を入れた爲めに、AB を流れる水は B で二つの管に分流するから、BCD 管には AB の水流よりも少ない水流が流れるのである。

之と同じ様に、第 89 圖に示す様に電氣回路中の或一部分 R_1 オームを通ずる電流を他の部分 ab に通ずる電流に比べて少なくするには、其 R_1 に並列に他の導體 (S オーム) で脇道を作つてやればよろしい。此脇道を分路と稱する。即ち圖に於て S オーム

は R_1 オームの分路である。つまり或抵抗の分路とはその抵抗に並列に接続された抵抗の事である。次に R_1 オームに通ずる電流と全電流との關係を調べよう。



今圖に示す様に、 R_1 オームに通ずる電流を I_1 アムペア、又分路 S オームに通ずる電流を I_2 アムペアとせば、全電流即ち b 點に流入する電流 I アムペアは勿論 I_1 と I_2 との和である。 bd 間の合成抵抗 (即ち R_1 オームと S オームとの並列の合成抵抗) を R とせば、

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{S} = \frac{S + R_1}{R_1 S}, \quad \therefore R = \frac{R_1 S}{R_1 + S}$$

然るに第 61 節の例 13 でも既に述べた通り、 bd 間の電壓を E ヲ

ポルトとせば、此場合はオームの法則から、

$$E = I_1 R_1 = I_2 S = IR$$

之から、 $I_1 R_1 = IR \quad \therefore I_1 = I \frac{R}{R_1}$

之に R の値を代入して、

$$I_1 = I \times \frac{\frac{R_1 S}{R_1 + S}}{R_1} = I \times \frac{S}{R_1 + S}$$

即ち R_1 に通ずる電流 I_1 は全電流 I の $(R_1 + S)$ 分の S に等しい。例へば、 $R_1 = 90$ オームで、その分路の抵抗 $S = 10$ オームの時は、

$$I_1 = I \times \frac{10}{90 + 10} = I \times \frac{10}{100} = I \times \frac{1}{10}$$

R_1 に通ずる電流は全電流の十分の一になるのである。

例題 19. 第 89 圖に於て、若し全電流 I が 20 アムペアで、 $R_1 = 90$ オーム、 $S = 10$ オームならば、 R_1 に通ずる電流 I_1 は何アムペアか。

解 $I_1 = I \times \frac{S}{R_1 + S} = 20 \times \frac{10}{90 + 10} = 20 \times \frac{10}{100} = 2$ アムペア

例題 20. 第 89 圖に於て、 $I = 20$ アムペア、 $I_1 = 4$ アムペア、 $R_1 = 100$ オームなる爲めには R_1 の分路 S の抵抗は何オームとすべきか。

解 分路の抵抗を S とすれば、 $I_1 = I \times \frac{S}{R_1 + S}$ に代入して、

$$4 = 20 \times \frac{S}{100 + S} \quad \therefore \frac{S}{100 + S} = \frac{4}{20} = \frac{1}{5}$$

分母を拂つて、 $5S = 100 + S$ 、之を移項して、

$$5S - S = 100, \quad \therefore (5 - 1)S = 100, \quad \therefore 4S = 100.$$

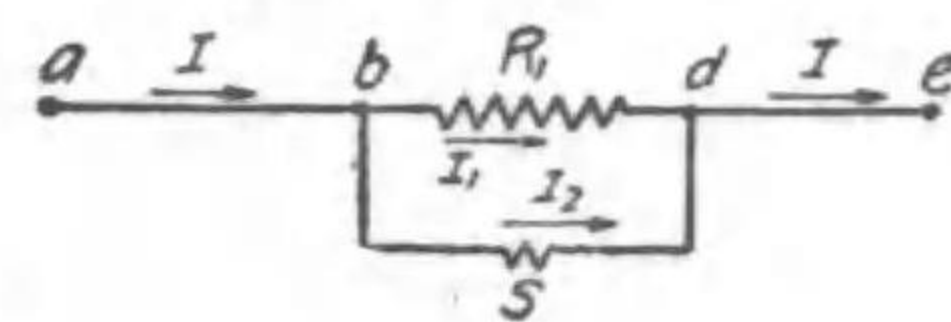
$$S = \frac{100}{4} = 25 \text{ オーム} \quad \text{答 } S = 25 \text{ オーム}$$

65. 或る二点を短絡するとは其の二點間を極めて抵抗の少ない導體で接続する事である。 前

節で述べた様に、 R_1 オームの抵抗に分路を作り（第 90 圖参照）、此分路 S の抵抗を小さくする

第 90 圖

程、 R_1 を通る電流 I_1 は小さくなり其代りに分路 S を通る電流 I_2 は大になつて来る譯けで



ある。従つて今分路 S の抵抗を非常に小さくして殆ど零にすると、電流は殆ど全部分路 S の方を通り、抵抗 R_1 の方を殆ど通らなくなる。此の様な場合に、抵抗 R_1 は短絡みんらくされたと稱する。一般に或二點間（例へば第 90 圖の場合の b, d 間）を短絡すると云ふのは、其二點間を極めて抵抗の少ない導體（圖の殆ど零オームの S ）で接続する意味である。例へば、圖に於て、 $R_1 = 100$ オームの兩端を、 $S = 0.00000001$ オームの導體で接続すると、 R_1 に通ずる電流 I_1 は、全電流が $I = 10$ アムペアの場合は、

$$I_1 = I \frac{S}{R_1 + S} = 10 \times \frac{0.00000001}{100 + 0.00000001} = 10 \times \frac{0.00000001}{100.00000001}$$

$$\approx 10 \times 0.0000000001 \approx 0.000000001 \text{ アムペア}$$

で殆ど零であり、 S に通ずる電流 I_2 が、

$$I_2 = I - I_1 \approx 10 - 0.000000001 = 9.999999999 \text{ アムペア}$$

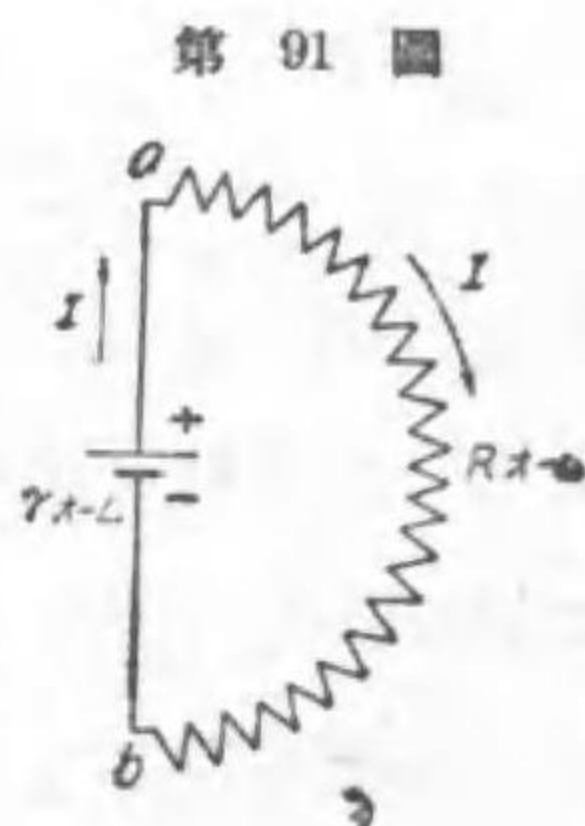
で殆ど 10 アムペア即ち全電流に近い。

此様に短絡された者 (第 90 圖の R_1) には殆ど電流が通らずに、短絡したもの (圖の零オームの S) に大なる全電流が通ずる譯である。

66. 電源の内部抵抗と起電力 今迄吾々は电路の定まつた部分の電圧、電流、抵抗の関係を調べて来たが、進んで电路全體即ち電源も含めて茲に考へて見よう。

第 91 圖に示す様に、電源の兩極 ab に R オームの抵抗を接続して电路を作ると、電流は陽極から R を經て陰極に向つて通ずる。此電流は又電源内を陰極から陽極に向つて通ずる。即ち電流は電源自身の内部をも通ずるから、此電源も電流に對して或る抵抗作用を生ずるのである。即ち電源には内部に抵抗がある譯である。此電源自身の抵抗を電源の内部抵抗と稱する。

斯様に電池とか又は發電機とか云ふ電源は凡て多少の内部抵抗を有するものである。此電源の内部抵抗に對して電源の兩極に接続された外部の抵抗 (例へば第 91 圖の R の如き抵抗) を外部抵抗と稱することがある。



今第 91 圖に於て、電源の内部抵抗を r オームとすれば、之に外部抵抗 R オームが直列に接続されて居るから、此电路全體の合成抵抗を R_0 オームとすれば、次の關係がある。

$$R_0 = r + R$$

故に此电路に I アムペアの電流が通じ居る時は、此电路に要する全電圧は、

$$\text{全電圧} = IR_0 = I(r + R) \text{ ヴォルト}$$

之れ丈の電圧が電源によつて發生されて居る譯である。即ち此電源は IR_0 ヴォルト丈の起電力を有するものでなければならぬ。従つて此電源の起電力を E_0 ヴォルトとすれば、

$$E_0 = IR_0 = I(r + R)$$

$$\therefore I = \frac{E_0}{R_0} = \frac{E_0}{r + R}$$

即ち、之を覚え易い様に表せば次の様になる。

$$\begin{aligned} \text{(电路の電流)} &= \frac{\text{(起電力)}}{\text{(全电路の合成抵抗)}} \\ &= \frac{\text{(起電力)}}{\text{(電源の内部抵抗)} + \text{(外部抵抗)}} \end{aligned}$$

例題 21. 起電力 2 ヴォルト、内部抵抗 0.5 オームの電池の兩極に 2 オームの抵抗を接続した時、此电路には何アムペアの電流通ずるか。

解
$$I = \frac{E_0}{r + R} = \frac{2}{0.5 + 2} = \frac{2}{2.5} = 0.8 \text{ アムペア}$$

例題 22. 起電力 1.5 ヴォルト、内部抵抗 0.5 オームの電池に、1, 2, 4 オームの四抵抗を第 92 圖の様に直列に接続した時、此電路に通ずる電流は何ア

ムベアか。又 ac 間の電圧、 cd 間の電圧、 db 間の電圧、 ab 間の電圧は夫々何ヴォルトなるか。

解 起電力は $E_0=1.5$

ヴォルト、内部抵抗は $r=0.5$ オームである。次に外部抵抗 R を考へて見ると、之れは圖から $acdb$ 即ち ab 間の合成抵抗である。故に $R=1+2+4=7$ オームである。故に公式に代入して、電路

$$\text{の電流 } I \text{ は, } I = \frac{E_0}{r+R} = \frac{1.5}{0.5+7} = \frac{1.5}{7.5} = 0.2 \text{ アムベア}$$

従つて、各部の電圧はオームの法則から次の通りになる。

$$ac \text{ 間の電圧} = (ac \text{ に通る電流}) \times (ac \text{ の抵抗}) = 0.2 \times 1 = 0.2 \text{ ヴォルト,}$$

$$cd \text{ 間の電圧} = (cd \text{ に通る電流}) \times (cd \text{ の抵抗}) = 0.2 \times 2 = 0.4 \text{ ヴォルト,}$$

$$db \text{ 間の電圧} = (db \text{ に通る電流}) \times (db \text{ の抵抗}) = 0.2 \times 4 = 0.8 \text{ ヴォルト,}$$

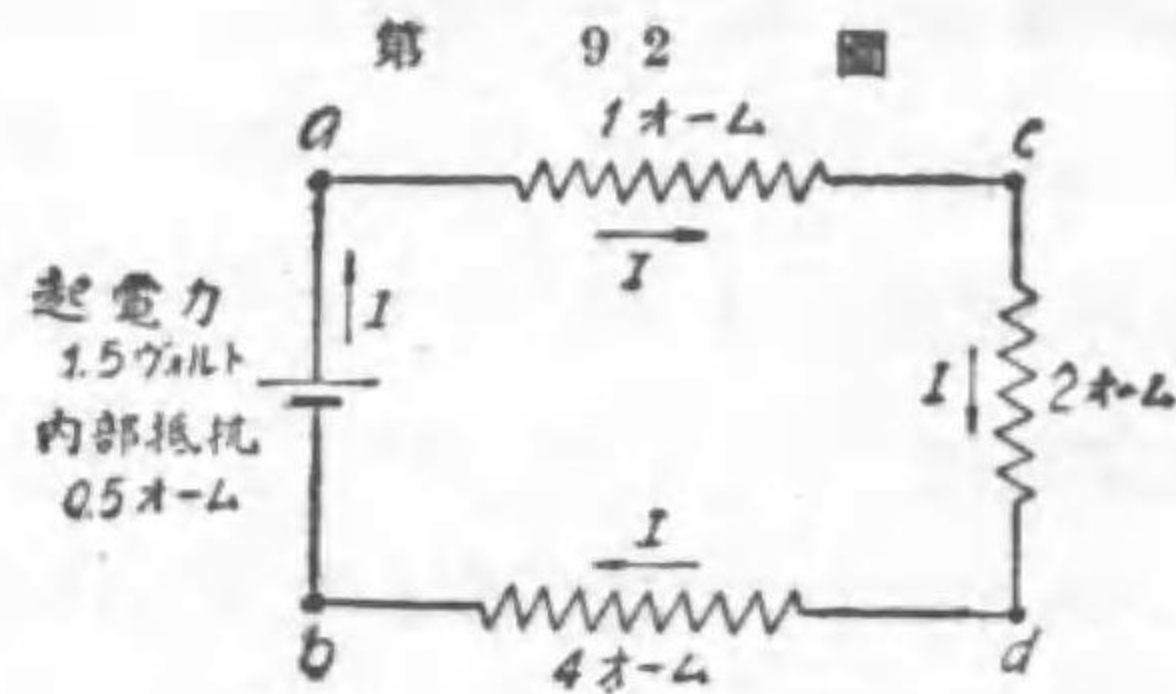
$$\therefore ab \text{ 間の電圧} = (ac \text{ 間の電圧}) + (cd \text{ 間の電圧}) + (db \text{ 間の電圧})$$

$$= 0.2 + 0.4 + 0.8 = 1.4 \text{ ヴォルト}$$

之は次の様に求めてもよい。

$$ab \text{ 間の電圧} = (acdb \text{ に通る電流}) \times (acdb \text{ の抵抗})$$

$$= IR = 0.2 \times 7 = 1.4 \text{ ヴォルト}$$



67. 端子電圧と電圧の内部降下

前節の第 91 圖に示す様に、起電力 E_0 ヴォルト、内部抵抗 r オームの電源の外部に R オームの抵抗を接続して、電路に I アムベアの電流が通じた場合を考へて見よう。此場合、外部抵抗 R の両端 ab 間の電圧はオームの法則から、 IR ヴォルトである。

然るに前節に述べた通り、 $E_0 = I(r+R)$

$$\therefore E_0 = Ir + IR$$

$$\therefore E_0 - Ir = IR = [R \text{ の両端の電圧}]$$

茲で R の両端即ち圖の a, b は電源の陽及

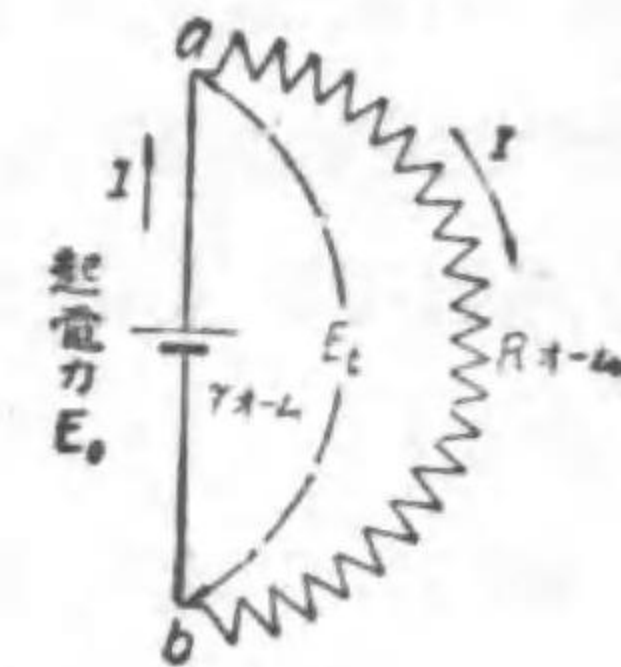
陰の両端子である。この a, b 両端子間の電圧を端子電圧たんしでんあつと稱する。故に上の式から、電源の端子電圧は $E_0 - Ir$ に等しい事が分かる。従つて端子電圧を E_t で表はせば、 $E_t = E_0 - Ir$

$$[\text{電源の端子電圧}] = [\text{起電力}] - [\text{電流}] \times [\text{内部抵抗}]$$

なる関係がある。即ち電源の両端子 a, b 間に現はるゝ電圧は電源の起電力よりも Ir ヴォルトだけ必ず低いものである。

然らば此 Ir ヴォルトは何かと考へると、之れは電源の内部抵抗オームに電流 I アムベアを通ずる爲めに Ir ヴォルト丈の電圧が費ひやされる譯けで、此 Ir ヴォルト丈を電源の發生する起電力 E_0 ヴォルトから差引いたもの即ち $E_0 - Ir$ が實際に、 a, b 両端子に現はれる電圧である。そして此内部抵抗の爲めに減少する電圧 Ir ヴォルトを電圧の内部降下ないぶあふかと稱する。

第 93 圖



例題 23. 起電力 2 ヴォルト、内部抵抗 0.5 オームの電池の兩極に 2 オームの抵抗を接続した時、電池の端子電圧は何ヴォルトになるか。

解 例題 21 で求めた様に、電流 $I = \frac{2}{0.5+2} = 0.8$ アムペアであるから、電圧の内部降下は $Ir = 0.8 \times 0.5 = 0.4$ ヴォルトである。故に端子電圧 E_t は、 $E_t = E_0 - Ir = 2 - 0.4 = 1.6$ ヴォルトである。

例題 24. 前節の例題 22 に於て電池の端子電圧は何ヴォルトなるか。

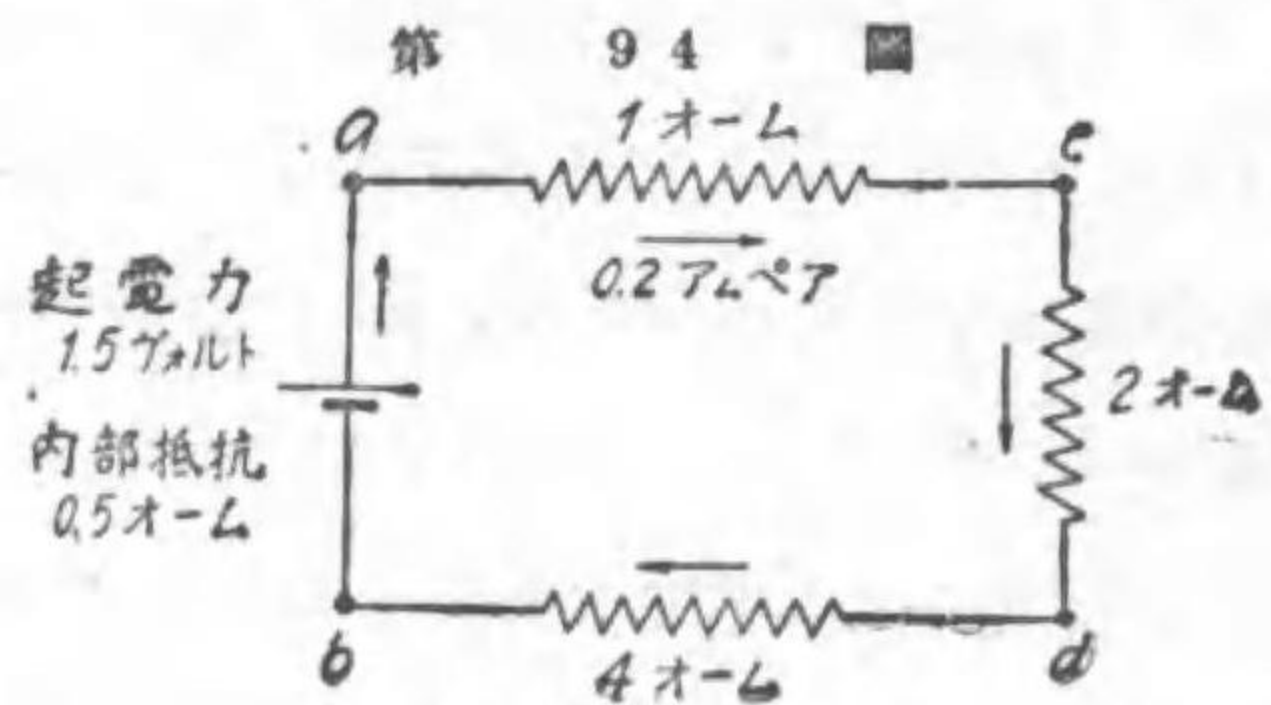
解 前節の解で既に求めた様に、端子電圧即ち第 92 圖の a, b 間の電圧は 1.4 ヴォルトである。

別解 又本節で述べた公式で求めて見よう。先づ電流 I は前節で求めた様に、 $I = \frac{1.5}{0.5+7} = 0.2$ アムペアであるから、電圧の内部降下は $Ir = 0.2 \times 0.5 = 0.1$ ヴォルトである。故に端子電圧 E_t は $E_t = E_0 - Ir = 1.5 - 0.1 = 1.4$ ヴォルトである。

68. 電路に電流が通ずると電圧は電路の抵抗に従つて降下する

第 66 節の例題 22 の場合に就いて今

一層詳しく考へて見よう。第 94 圖に示す電路に於ては、既に述べた様に、どの部分にも同一の電流 0.2 アムペア通ずる。今此電路の



a, c, d, b 各點の電位を考へて見ると、陽極端子の a 點の電位が最も高く、 c 點、 d 點に行くにつれて電位は次第に低くなり陰極端子 b 點の電位が最も低い。即ち電流の方向に従つて電路内を先へ進む程電位が次第に降下する。従つて陰極端子 b 點の電位を基準として、之に對する各 a, c, d 點の電位の差即ち ab 間の電圧、 cb 間の電圧、 db 間の電圧を考へて見よう。之等はオームの法則により、その部分の電流とその部分の抵抗とから、

$$\begin{aligned} ab \text{ 間の電圧} &= (acdb \text{ に通る電流}) \times (acdb \text{ の抵抗}) \\ &= 0.2 \times (1+2+4) = 0.2 \times 7 = 1.4 \text{ ヴォルト} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} cb \text{ 間の電圧} &= (cdb \text{ に通る電流}) \times (cdb \text{ の抵抗}) \\ &= 0.2 \times (2+4) = 0.2 \times 6 = 1.2 \text{ ヴォルト} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} db \text{ 間の電圧} &= (db \text{ に通る電流}) \times (db \text{ の抵抗}) \\ &= 0.2 \times 4 = 0.8 \text{ ヴォルト} \end{aligned}$$

である。

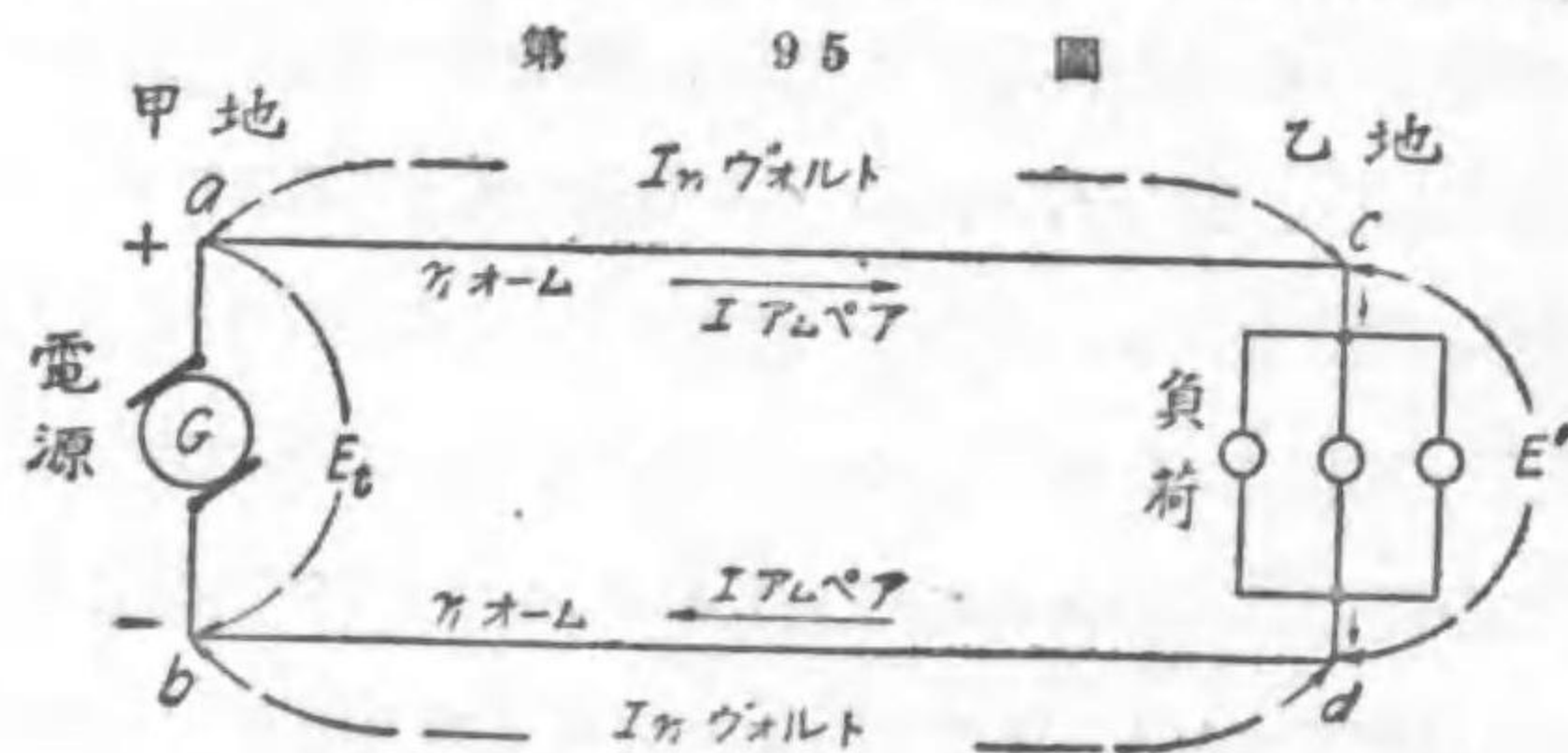
此様に電流が抵抗を通ると、起電力が費され、その爲め電圧が順次に減少して行く。此事を抵抗による電圧降下と稱する。さうして電圧降下の値は上に示した様に、其部分の抵抗に電流をかけたものに等しい。即ち上の例では外部抵抗全體 $R = 7$ オームの抵抗の電圧降下は 1.4 ヴォルト、 cb 即ち 6 オームには 1.2 ヴォルトの電圧降下、 db 即ち 4 オームには 0.8 ヴォルトの電圧降下がある。

さて上の例では、 $IR = 0.2 \times 7 = 1.4$ ヴォルトは外部抵抗 $R = 7$ オームの電圧降下であり、又例題 24 の別解で求めた様に、電源では

電圧の内部降下は $Ir=0.2 \times 0.5=0.1$ ヴォルトである。此二つを加へ合せば、 $IR+Ir=1.4+0.1=1.5$ ヴォルト即ち電源が発生する起電力 $E_0=1.5$ ヴォルトに等しい譯である。

69. 電線路の電圧降下 電氣の便利な點は、^{はつてんしよ}發電所と云ふ電源の在る所で發電機を^{うんてん}運轉して起電力を起し、遠くに在る電燈や其他^{てんどうき}電動機等〔之等を一般に^{ふか}負荷と稱する〕を此發電機と電線でつないで電流を送つてやる事である。故に電流を負荷に送るには長い電線が少くとも往復二線用ゐられる。そして電線は之れから外の物に電氣が漏れない様に絶縁して電柱上にかへられて遠方の負荷につながる。か様な目的に用ゐられる電線を電柱等も引くるめて^{てんせんろ}電線路と云ふ。此様に電線路が長くなると銅線の抵抗も相當にあるから、此抵抗の爲めに電線路の全抵抗と之に通る電流とをかけた丈の電圧降下がある譯である。之を電線路の電圧降下と稱する。

第 95 圖の様に、甲地の發電機から各 r_1 オームの電線 ac , bd 二本を用ひて乙地に在る電燈負荷に I アムペアの電流を送る電線



路を考へよう。するとオームの法則から、電線 ac の両端間には Ir_1 ヴォルトの電圧があり又電線 db の両端の間にも Ir_1 ヴォルトの電圧がある。今負荷即ち電燈の両端 cd 間の電圧を E' ヴォルトとすれば、發電機の端子電圧 E_i 即ち ab 間の電圧は、 ac 間の電圧、 cd 間の電圧及び db 間の電圧の和であるから、

$$E_i = Ir_1 + E' + Ir_1$$

$$\therefore E_i = E' + 2Ir_1$$

即ち、〔電源の端子電圧〕=〔負荷の受ける電圧〕

+〔電線路全体の電圧降下〕

此様に、電源の端子電圧 E_i は、負荷の受ける電圧 E' よりも必ず電線路の電圧降下 $2Ir_1$ 丈け高いのである。

例題 25. 甲地の電源から抵抗 0.08 オームの電線二本を用ひて乙地の負荷に電圧 100 ヴォルトで 50 アムペアの電流を送るには、電線路の電圧降下は何ヴォルトか、又甲地の電源の端子電圧は何ヴォルトなるを要するか。

解 $I=50$ アムペア、 $r_1=0.08$ オーム、 $E'=100$ ヴォルトであるから、電線路の電圧降下は $2Ir=2 \times 50 \times 0.08=8$ ヴォルト、電源の端子電圧は $E_i = E' + 2Ir = 100 + 8 = 108$ ヴォルト

例題 26. 抵抗 0.08 オームの電線二本を用ひて 60 アムペアを要求する乙地の負荷に電流を送る電線路あり、電源の端子電圧が 108 ヴォルトなりとすれば、電線路の電圧降下は何ヴォルトか、又此場合の負荷の受ける電圧は何ヴォルトか。

解 $r_1=0.08$ オーム, $I=60$ アムペア

電線路の電圧降下は $2Ir_1=2 \times 60 \times 0.08=9.6$ ヴォルト

又端子電圧は $E_t=108$ ヴォルトで、負荷の電圧を E' とすれば、

公式

$$E_t = E' + 2Ir_1 \text{ に代入して}$$

$$108 = E' + 9.6 \quad \therefore E' = 108 - 9.6 = 98.4 \text{ ヴォルト (答)}$$

70. 電流計, 電圧計の接続法 電流の強さアムペ

ア数を測る器具を電流計と稱する。

第 96 圖は電流計の寫真である。そ

の目盛盤にはアムペア数が記入され

てあつて、指針で示す所を読むので

ある。電流計は之を電流を測らうと

する部分に直列に接続して使用す

る。さうすると、その部分の電流が

電流計に通つて、電流計の指針が目

盛盤上にその電流のアムペア

数をさし示すのである。第 97

圖に於て A は電流計の略記

號であつて、此電流計 A で此

電路に通ずる電流 I アムペア

を読むのである。

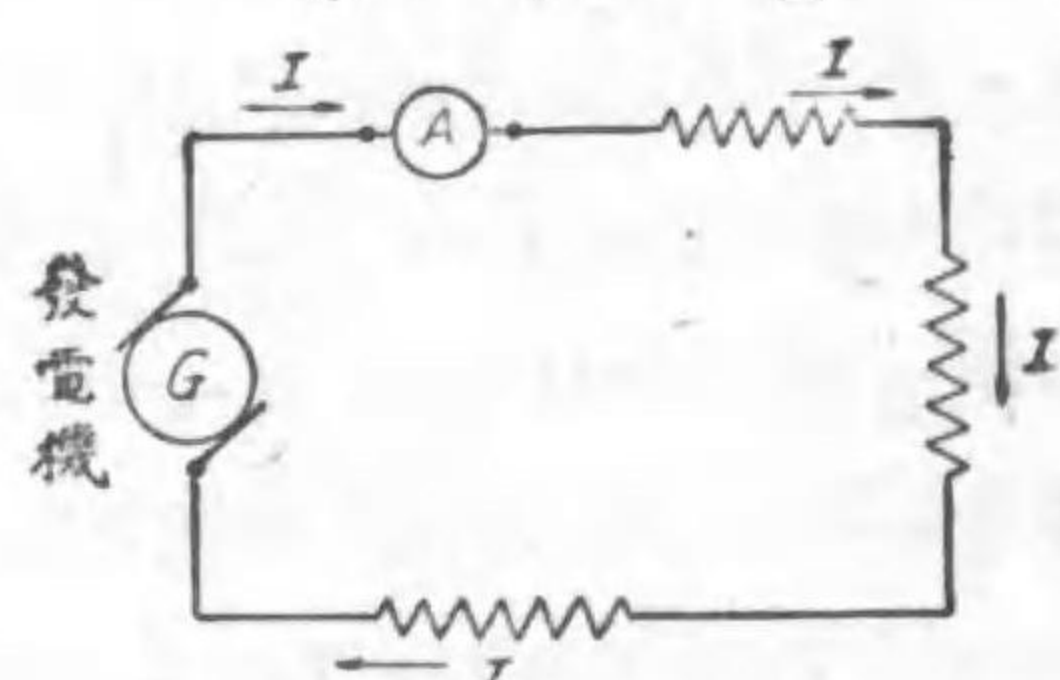
電路の二點間の電圧を測る

第 96 圖



電 流 計

第 97 圖



電流計の接続法

器具を電圧計と稱する。第 98 圖は電圧計の寫真である。目盛盤

にはヴォルト数が記入されてある。電圧計を以て或る二點間の電

圧を測らうとするには、之をその二點間に接続する。さうすると

指針がその電圧のヴォルト数を目盛盤上に示すのである。第 99 圖

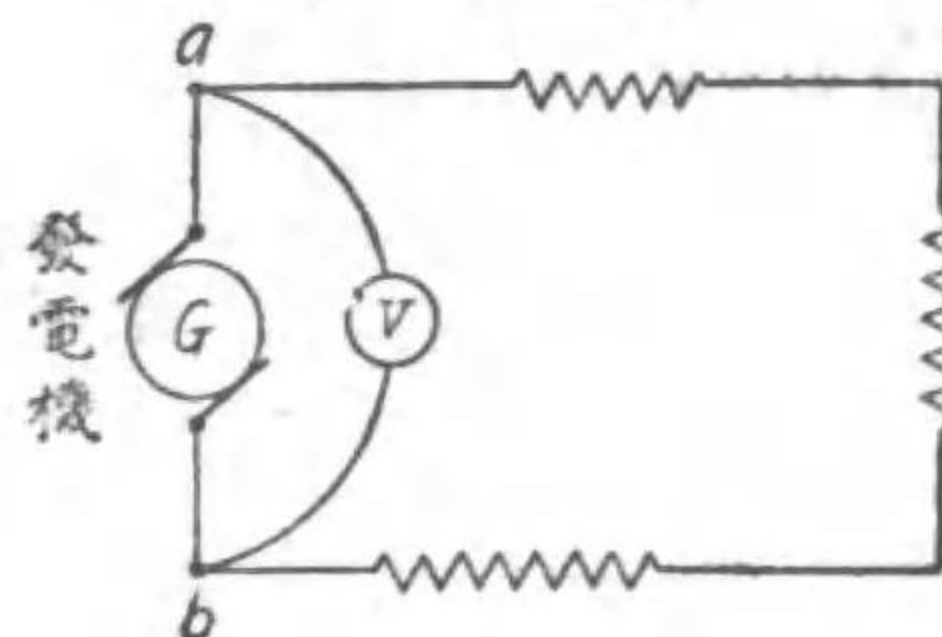
に於て V は電圧計の略記號で、此電圧計は a, b 二點間即ち發電

第 98 圖



電 圧 計

第 99 圖



電 圧 計 の 接 続 法

機の兩端子間に接続されて居るから、此 V は端子電圧を測つて

居る場合である。又第 100 圖に

於ては、電流計 A は外部抵抗

R に通ずる電流 I を測り、電

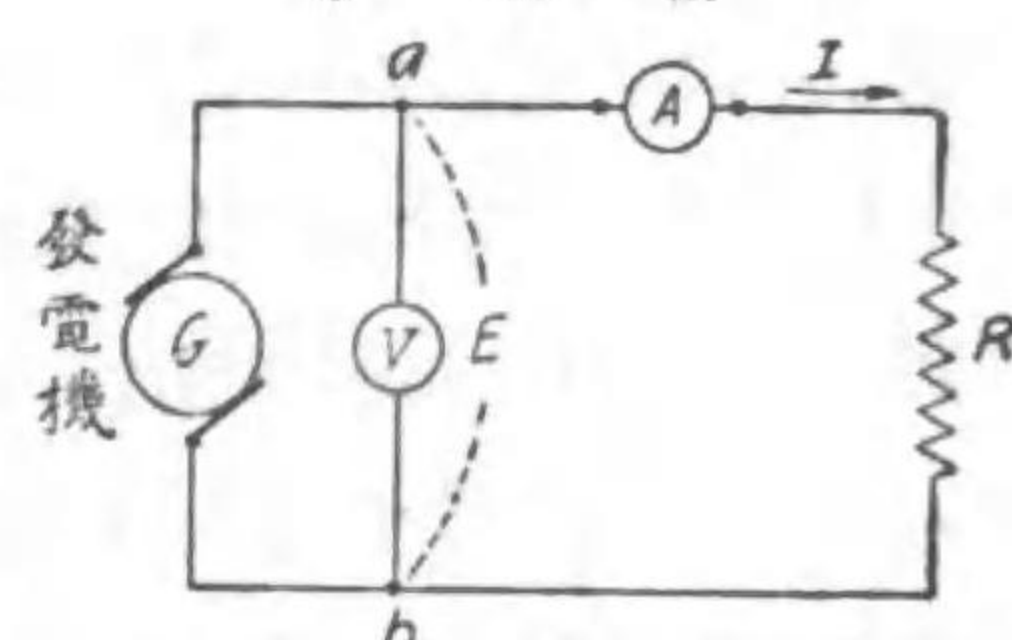
圧計 V は ab 二點間の電圧 E

を測つて居るのである。尚ほ電

圧計及び電流計の構造に就いて

は後章測定の方で述べる。

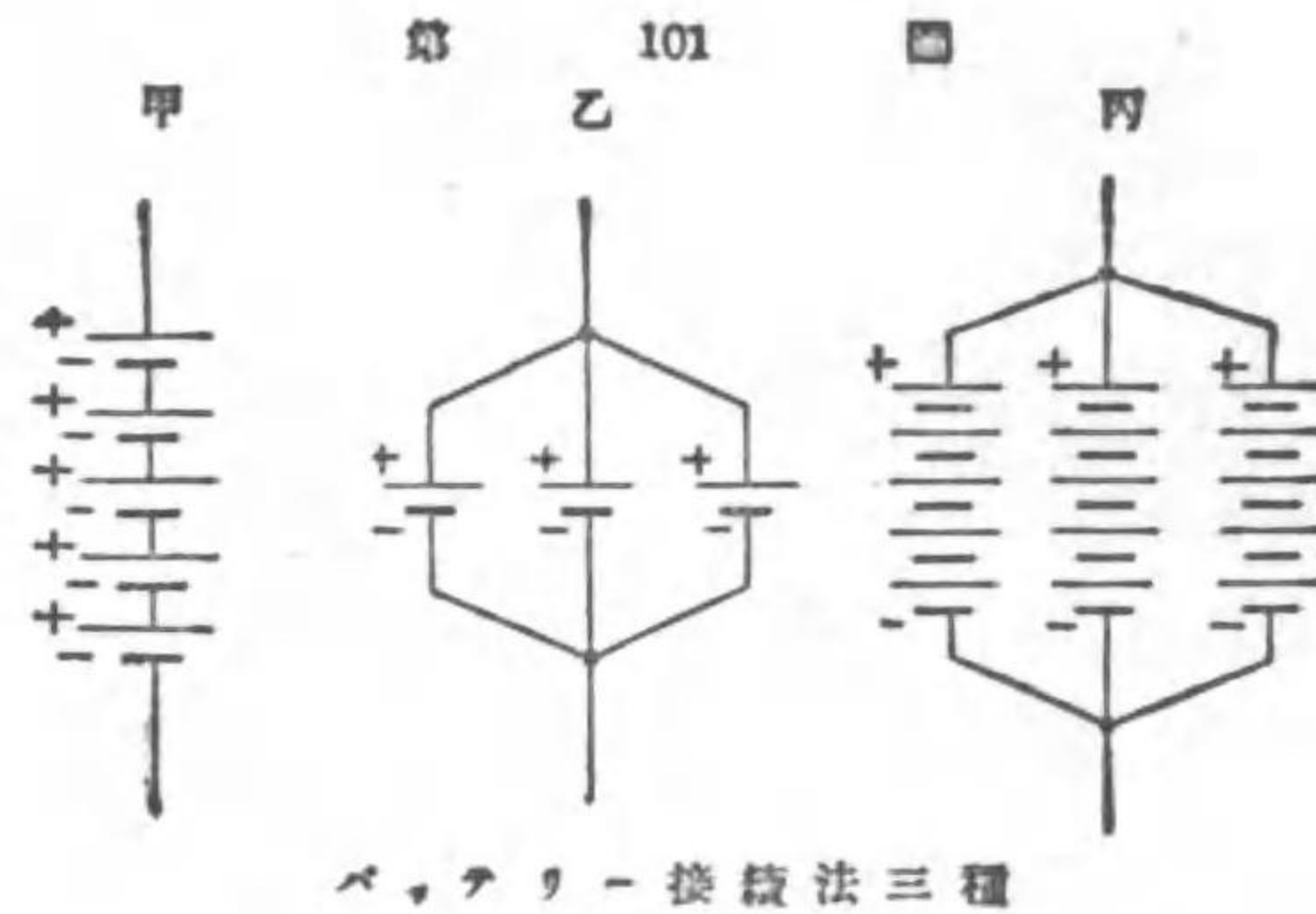
第 100 圖



電 圧 計 , 電 流 計 の 接 続 法 を 示 す

71. 電池の接続法 電池を電源として用ひる時に、電

池一個では起電力が不足であつたり、又は内部抵抗が多過ぎたりして適当な電流が得られぬ場合がある。此様な場合には起電力、内部抵抗の等しい數個の電池を互に接続して一組とし、之を電源に使用する。此様に數個の電池を接続して一組の電源としたものをバッテリー又は單に電池と稱する。數個の電池を接続して一組のバッテリーにする方法に直列接続、並列接続及び直並列接続の三通りある。



第 101 圖甲の様に一つの電池の陽極を次の電池の陰極へ、又其の電池の陽極を其次の電池の陰極へと云ふ風に順々に接続した方法が直列接続である。甲圖は五個の電池が直列に接続されて一組のバッテリーになつて居るものである。乙圖の様に、各電池の陽極及陰極を夫々互に接続したのが並列接続である。此乙圖は三個の電池が並列に接続されて一組のバッテリーになつて居る。又丙圖の様に電池を直列に接続したものを數組作り、各組の陽極及陰

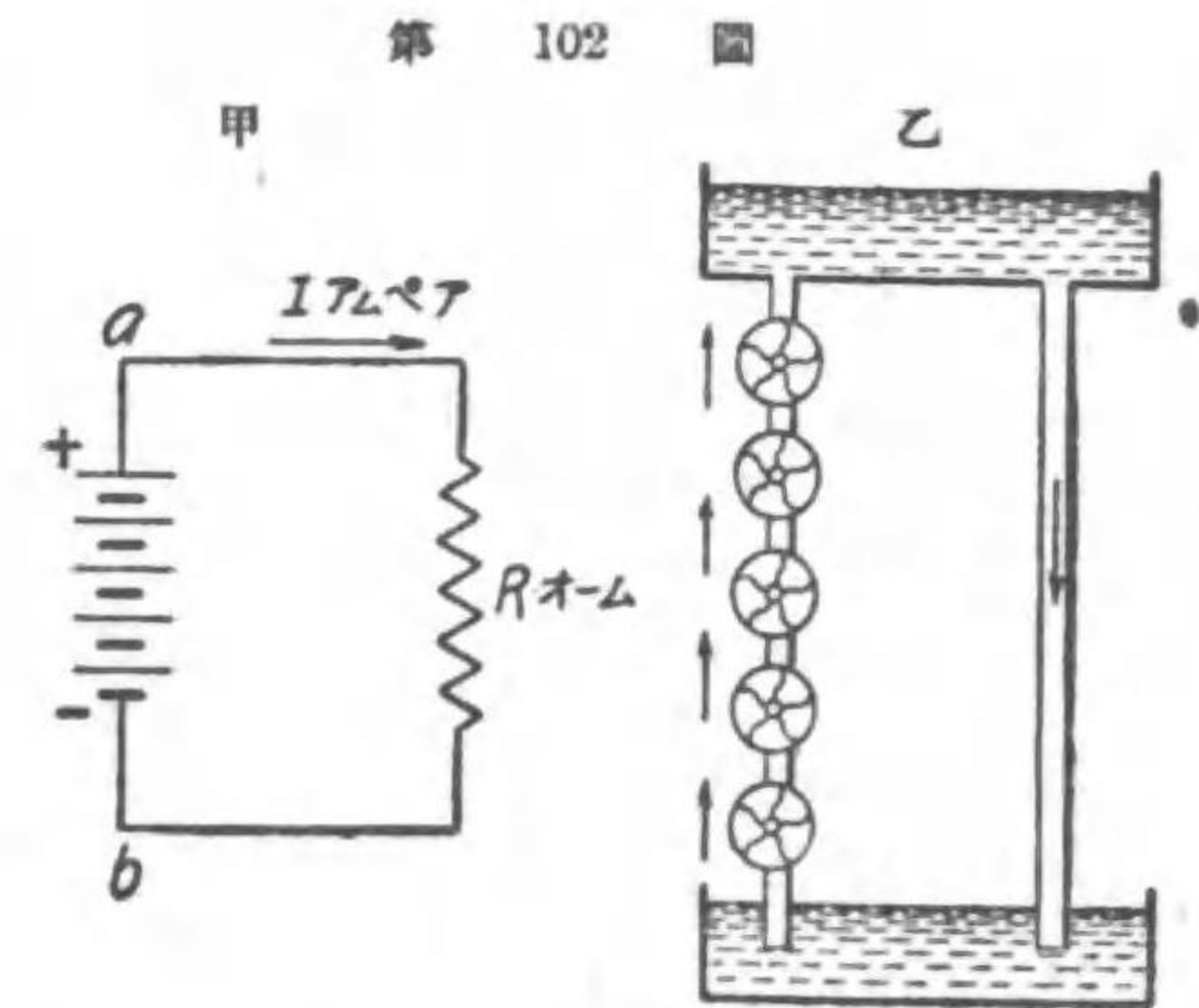
極を夫々互に接続して並列にしたものが直並列接続である。此丙圖では、5 個の直列から出來た三組のものが並列に接続されて一つのバッテリーをなして居るものである。此丙圖の場合に電池の總數は勿論 $5 \times 3 = 15$ 個である。

以下順を追うて、三通りのバッテリーを電源として用ひて之に外部抵抗を接続した時、此外部抵抗に通ずる電流を調べて見よう。

72. 直列接続のバッテリーを電源とした時の

外部抵抗に通る電流 第 102 圖の甲に示す様に、起電力

ϵ ヴォルト、内部抵抗 r オームの電池 5 個を直列に接続したバッテリーの陽及陰兩極 a, b 間に R オームの抵抗を接続した電路ありとしよう。之を乙圖の様にボンプの例に就いて考



へて見るとよく分かる様に、水を上げ得る高さはボンプ一個を使用した時よりも増すのである。何故なれば 5 個のボンプの壓力が次々に加はつて丁度一個のボンプの壓力の 5 倍の壓力を全體として有するからである。然し此場合に水流は何處でも同一である。

之と同様に甲圖の電路の場合でも、バッテリー即ち電源の起電

力を E_0 ヴォルトとすれば、此電源は起電力 e_1 ヴォルトのもの 5 個から出来て居るから、バッテリーの起電力は e_1 の 5 倍である。

即ち $E_0 = 5e_1$ ヴォルト

次に此電源の内部抵抗を r オームとすれば、之れは内部抵抗 r オームのもの 5 個が直列に接続された合成抵抗であるから、

$$r = 5r_1 \text{ オーム}$$

此回路は起電力が E_0 ヴォルトで内部抵抗が r オームの電源に R オームの外部抵抗を接続した場合であるから、電路に通る電流 I は、

$$I = \frac{E_0}{r + R}$$

然るに、 $E_0 = 5e_1$ 、 $r = 5r_1$ であるから上式に代入して、

$$I = \frac{5e_1}{5r_1 + R} \text{ アムペア}$$

一般に、起電力 e_1 ヴォルト、内部抵抗 r_1 オームの電池 n 個を全部直列にして一組のバッテリーとし、之に R オームの外部抵抗を接続した場合に、此電路に通る電流 I は次式で計算される。

$$I = \frac{ne_1}{nr_1 + R} \text{ アムペア}$$

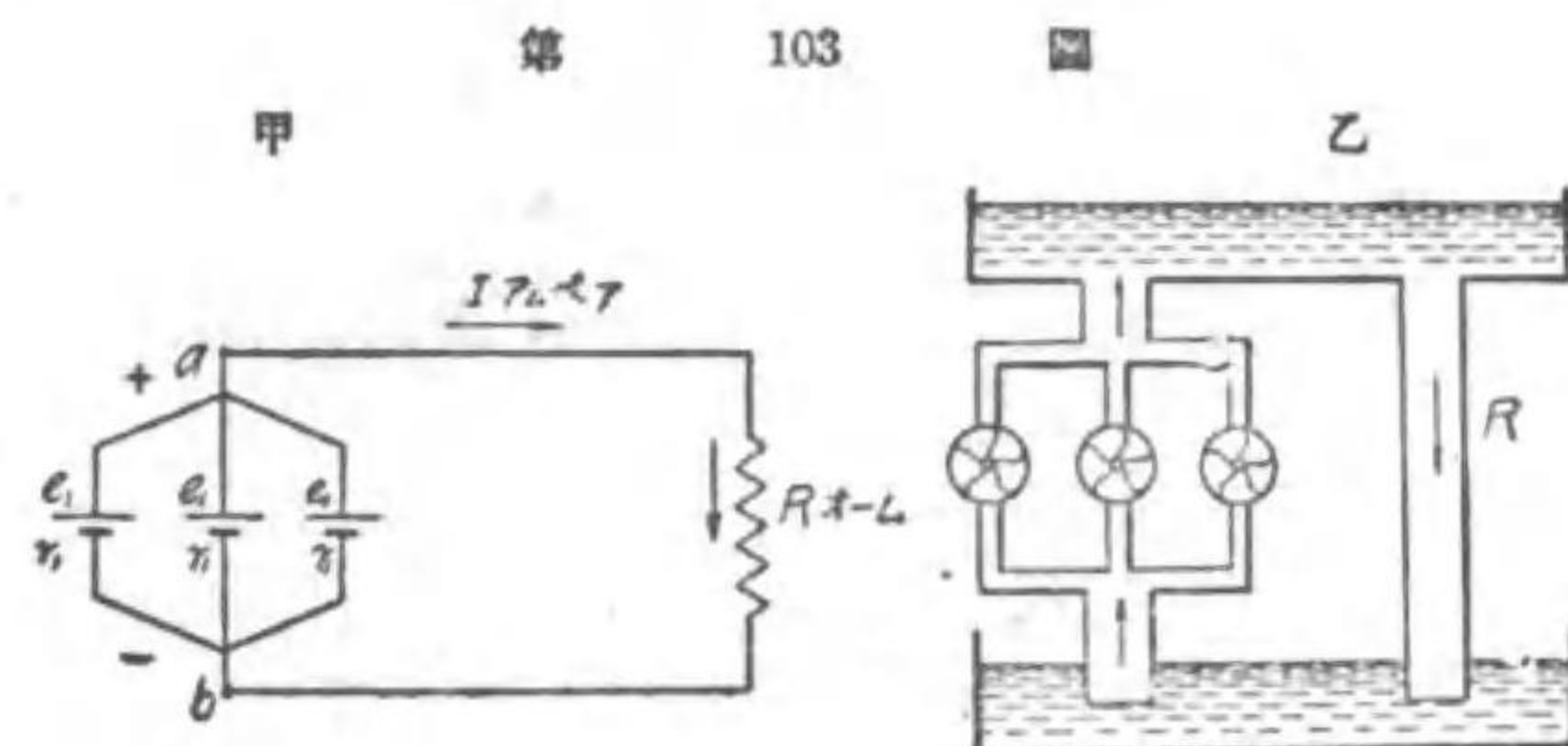
例題 27. 起電力 2 ヴォルト、内部抵抗 0.1 オームの電池 10 個を全部直列に接続したバッテリーの両極間に 9 オームの抵抗を接続したら、之には何アムペアの電流通ずるか。

解 $e_1 = 2$ ヴォルト、 $r_1 = 0.1$ オーム、 $n = 10$ 個、 $R = 9$ オームで

あるから、公式に代入して、

$$I = \frac{ne_1}{nr_1 + R} = \frac{10 \times 2}{10 \times 0.1 + 9} = \frac{20}{10} = 2 \text{ アムペア}$$

73. 並列接続のバッテリーを電源とした時の外部抵抗に通る電流 第 103 圖の甲に示す様に、起電力 e_1 ヴォルト、内部抵抗 r_1 オームの電池 3 個を取り、之を皆並列に接



続したバッテリーの陽及陰兩極 a, b 間に R オームの抵抗を接続した電路ありとしよう。之を乙圖の様に並列にしたボンプの例に就いて考へて見るとよく分かる様に、此場合は水を上げ得る高さはボンプ一個を使用した時と同じである。然し此時は各ボンプに通る水流は各等しくて鐵管 R を通る水流は之等三つのボンプを通る水流の和である。

之と同様に甲圖に示す電路の場合でも、バッテリー即ち電源の起電力を E_0 ヴォルトとすれば、之は電池一個の起電力 e_1 ヴォルトに等しいのである。

$$\therefore E_0 = e_1 \text{ ヴォルト}$$

次に此電源の内部抵抗を r オームとすれば、之れは抵抗 r_1 オームのものが3個並列に接続された合成抵抗であるから、

$$r = \frac{r_1}{3} \text{ オーム}$$

此の回路は起電力が E_0 ヴォルトで内部抵抗が r オームの電源に R オームの外部抵抗を接続した場合であるから、 R に通る電流 I は、

$$I = \frac{E_0}{r + R}$$

然るに、 $E_0 = e_1$ 、 $r = \frac{r_1}{3}$ であるから、上式に代入して、

$$I = \frac{e_1}{\left(\frac{r_1}{3}\right) + R}$$

一般に、起電力 e_1 ヴォルト、内部抵抗 r_1 オームの電池 m 個を全部並列に接続して一組のバッテリーとし、之に R オームの外部抵抗を接続した場合に、此外部抵抗に通る電流 I は次式で計算される。

$$I = \frac{e_1}{\frac{r_1}{m} + R} \text{ アムペア}$$

例題 28. 起電力 2 ヴォルト、内部抵抗 0.1 オームの電池 10 個を全部並列に接続したバッテリーの両極間に 9 オームの抵抗を接続したら、此 9 オームには何アムペアの電流通ずるか。

解 $e_1 = 2$ 、 $r_1 = 0.1$ 、 $m = 10$ 、 $R = 9$ であるから一般公式に代入して、 R に通る電流 I は、

$$I = \frac{e_1}{\frac{r_1}{m} + R} = \frac{2}{\frac{0.1}{10} + 9} = \frac{2}{9.01} \approx 0.22 \text{ アムペア}$$

74. 直並列接続のバッテリーを電源とした時之に接続された外部抵抗に通る電流 第 104 圖に示す

様に、起電力 e_1 ヴォルト内部抵抗 r_1 オームの電池 5 個を直列にしたもの三組を並列に接続したバッテリーの陽及陰両極 a, b 間に R オームの抵抗を接続した

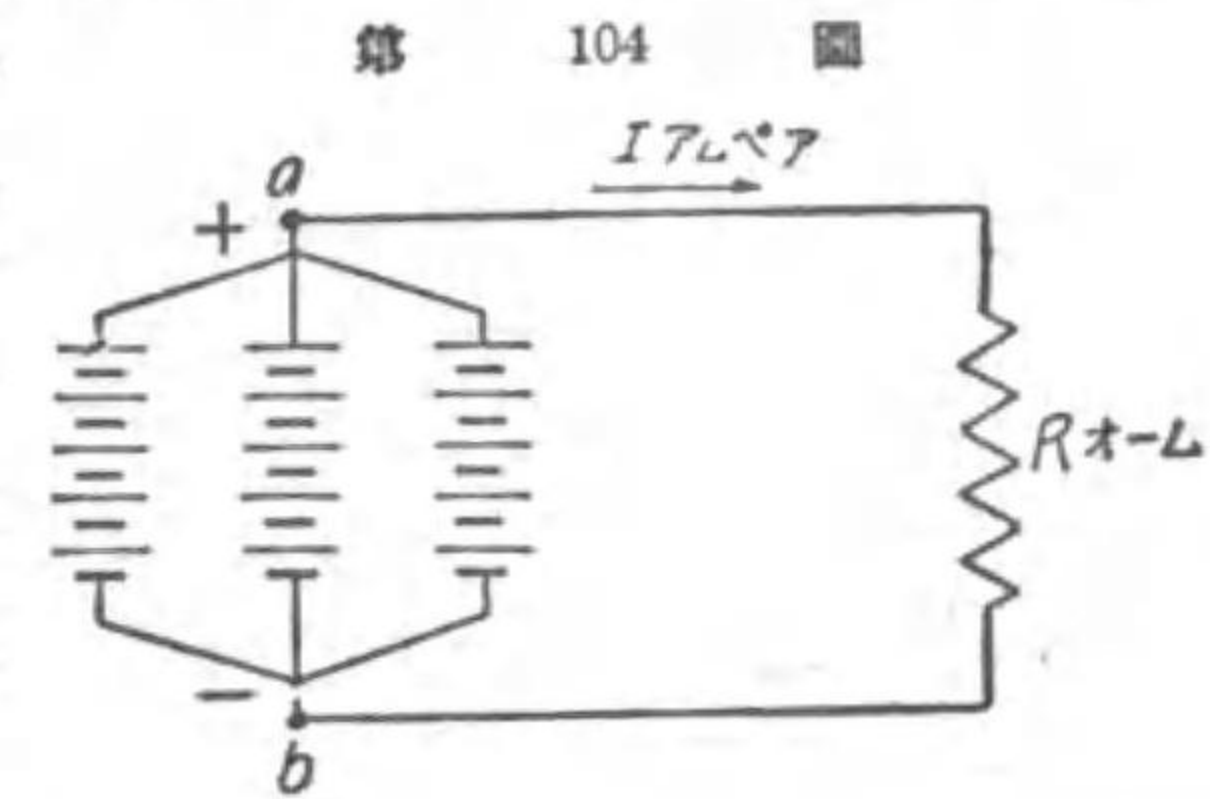
第 104 圖
第 104 圖
電路ありとしよう。今此電源の起電力 E_0 と内部抵抗 r を考へよう。此の場合のバッテリーの起電力 E_0 は $5e_1$ である。何故なれば、

e_1 の 5 個直列になつたものでは $5e_1$ で、 $5e_1$ ヴォルトの起電力が三組並列になつて居るから、並列の場合は前と同様にその一組の起電力に等しいからである。次ぎに、電源の内部抵抗は電源自身内に於ける陰陽両極 ba 間の合成抵抗である。之は r_1 オームのものが 5 個宛直列になつたもの即ち $5r_1$ オームのものが 3 組並列になつて居るから $\frac{(5r_1)}{3}$ オームである。即ち

$$\therefore E_0 = 5e_1 \text{ ヴォルト}$$

$$r = \frac{5r_1}{3} \text{ オーム}$$

然るに電源の起電力が E_0 、内部抵抗が r で之に R オームの



抵抗を接続した時 R に通る電流 I は、

$$I = \frac{E_0}{r + R}$$

之に、 $E_0 = 5e_1$ 、 $r = \frac{5r_1}{3}$ を代入して、

$$I = \frac{5e_1}{\frac{5r_1}{3} + R}$$

一般に、起電力 e_1 ヴォルト、内部抵抗 r_1 オームの電池 n 個を直列にしたもの m 組を並列に接続して一組の電源とし、之に R オームの外部抵抗を接続した時、 R オームに通る電流 I は次式で計算される。

$$I = \frac{ne_1}{\frac{nr_1}{m} + R} \quad \text{アムペア}$$

例題 29. 起電力 2 ヴォルト、内部抵抗 0.15 オームの電池 15 個あり、今 5 個を直列にしたもの 3 組を並列にして直並列接続のバッテリーとし、その両極に 0.25 オームの外部抵抗を接続したら、之に何アムペアの電流通ずるか。

解 $e_1 = 2$ 、 $r_1 = 0.15$ 、 $n = 5$ 、 $m = 3$ 、 $R = 0.25$ であるから公式に代入して、0.25 オームに通る電流 I は

$$I = \frac{ne_1}{\frac{nr_1}{m} + R} = \frac{5 \times 2}{\frac{5 \times 0.15}{3} + 0.25} = \frac{10}{0.5} = 20 \text{ アムペア}$$

例題 30. 起電力 2 ヴォルト、内部抵抗 0.15 オームの電池 15 個

あり、今 3 個を直列にしたもの 5 組を並列にして直並列接続のバッテリーとし、その両極に 0.25 オームの外部抵抗を接続したら、之に何アムペアの電流通ずるか。

解 $e_1 = 2$ 、 $r_1 = 0.15$ 、 $n = 3$ 、 $m = 5$ 、 $R = 0.25$ であるから公式に代入して、0.25 オームに通る電流 I は、

$$I = \frac{ne_1}{\frac{nr_1}{m} + R} = \frac{3 \times 2}{\frac{3 \times 0.15}{5} + 0.25} = \frac{6}{0.34} \approx 17.65 \text{ アムペア}$$

練習問題 VI

1. 2 オーム、5 オーム、10 オームの三つの抵抗線あり。(イ) 之等を全部直列に接続した時の合成抵抗、(ロ) 之等を全部並列に接続した時の合成抵抗各何オームなるか。

答 (イ) 17 オーム、(ロ) 1.25 オーム

2. 10 オームと $\frac{30}{7}$ オームとを並列にしたものに 5 オームを直列に接続したものの合成抵抗は何オームか。又此接続の両端に 100 ヴォルトの電圧を與へた時、5 オーム線、10 オーム線には各何アムペアの電流通ずるか。

答 合成抵抗 8 オーム、5 オーム線に 12.5 アムペア、10 オームに 3.75 アムペア

3. 100 オームと 25 オームとを並列にしたものに、更に 29.9 オームを直列に接続した合成抵抗は何オームか。又此接続の両端を起電力 100 ヴォルト内部抵抗 0.1 オームの発電機の両端子に接

積した場合、発電機に通る電流、100 オームに通る電流、25 オームに通る電流は何アンペアか。又此場合の発電機の端子電圧は何ヴォルトか。

答 合成抵抗 49.9 オーム、発電機に 2 アンペア、100 オームに 0.4 アンペア、25 オームに 1.6 アンペア、発電機の端子電圧は 99.8 ヴォルトなり

4. 起電力 2 ヴォルト、内部抵抗 0.005 オームの電池あり、その陰陽兩端子を互に接続した時(即ち此電池を短絡した時)何アンペアの電流が通ずるか。

解 電流 $= \frac{2}{0.005} = 400$ アンペア。此様に電源の兩端子を短絡すると非常に大きな電流(之を短絡電流と名付ける)が電源内を通じ其爲めにその電源が破損してしまう。故に電池又は発電機等の電源を使用する時は之を短絡しない様に注意すべきである。

5. 電池を短絡した場合の端子電圧は何ヴォルトになるか。

解 電池の起電力を E_0 ヴォルト、内部抵抗を r オームとすれば、之を短絡すると、電路の抵抗は内部抵抗 r だけであるから、短絡電流は、
$$I = \frac{E_0}{r} \text{ アンペア}$$
 故に此場合の端子電圧 E_t は、

$$E_t = E_0 - Ir = E_0 - \frac{E_0}{r} \times r = E_0 - E_0 = 0$$

即ち短絡された電源の端子電圧は零になる。

6. 電源の陰陽兩端子を導體で接続せず開き放しにした儘の陰陽兩端子間の電圧(即ち此場合の端子電圧)はその電源の起電力に

等しい事を證明せよ。

解 一般に電源の起電力を E_0 、内部抵抗を r 、端子電圧を E とし、電源に通ずる電流を I とせば、

$$E_t = E_0 - Ir$$

なる関係がある。然るに此問題で、電源の兩端子は開きばなしになつて居るから此電源には電流通じない即ち $I=0$ であるから、公式に代入して、
$$E_t = E_0 - 0 \times r = E_0$$

即ち兩端子開放された電源の端子電圧 E_t はその電源の起電力 E_0 に等しいのである。

7. 或電池の兩端子間に或抵抗を接続したる時、5 アンペアの電流通じ端子電圧 1.85 ヴォルトを示した。今此抵抗を電池より切り放した時端子電圧は 1.98 ヴォルトとなつたと云ふ。此電池の内部抵抗及び初めに使用した外部抵抗は何オームか。

答 内部抵抗 0.026 オーム

外部抵抗 0.37 オーム

8. 甲地の発電機から 0.1 オームの電線二本を以て乙地の負荷に 50 アンペアの電流を送つて居る。負荷の兩端の電圧は 97.5 ヴォルトであつたと云ふ。然らば此電線路の電圧降下は何ヴォルトか又発電機の端子電圧は何ヴォルトか。又此発電機の起電力は何ヴォルトか。但し此発電機の内部抵抗は 0.05 オームとする。

答 電線路の電圧降下 10 ヴォルト、発電機の端子電圧 107.5 ヴォルト、発電機の起電力は 110 ヴォルト。

9. 起電力2 ヴォルト内部抵抗0.1 オームの電池6個あり。之等を組合せてバッテリーを作りそれを電源として外部抵抗0.15 オームに電流を通ぜんとす。バッテリーを作るに次の四通りの場合につき外部抵抗には何アムペアの電流通ずるか。

(イ) 6個の電池全部を直列接続のバッテリーとした場合、(ロ) 6個の電池全部を並列接続のバッテリーとした時、(ハ) 2個直列にしたもの3組を並列にして一組のバッテリーとした時、(ニ) 3個直列にしたもの2組を並列にして一組のバッテリーとした時。

答 (イ) 16 アムペア、(ロ) 12 アムペア、(ハ) 約 18.5 アムペア、(ニ) 20 アムペア

10. 前題に於て、(イ)、(ロ)、(ハ)、(ニ)各の場合のバッテリーの端子電圧は何ヴォルトなるか。

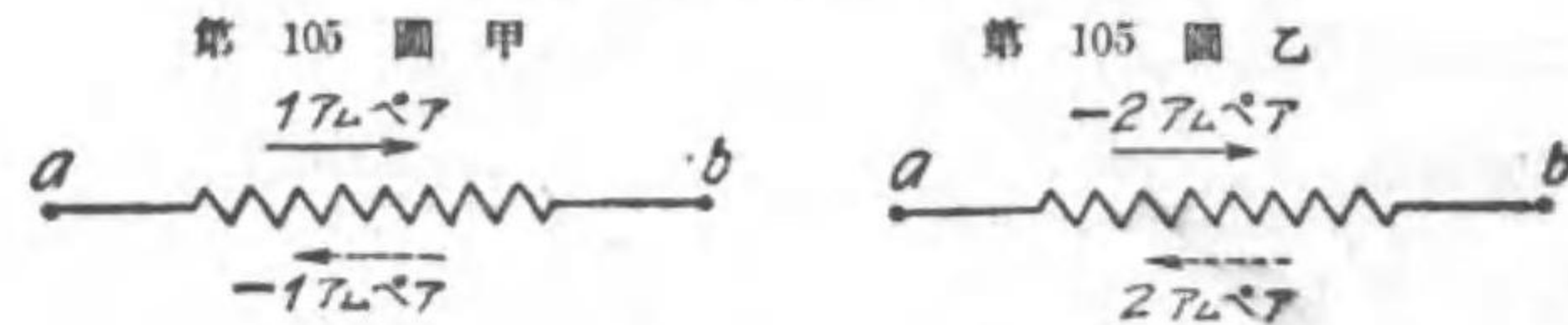
手引 外部抵抗の電圧降下を考へればよるしい。

答 (イ) 2.4 ヴォルト、(ロ) 1.8 ヴォルト、(ハ) 約 2.7 ヴォルト、(ニ) 3 ヴォルト

第七章 キルヒホッフの法則

75. 電流、電圧降下及起電力の正負 今迄は電流や電圧降下とか起電力等皆算術的に考へて來た。即ち之等のものの方向と同じ方向に之等電流、電圧降下等を考へて來た。さうしてオームの法則を基として電圧電流等を計算したのである。電路の問題が今までの様に簡単な場合はそれでよるしい。然し乍ら複雑した電路の電圧、電流等を見出すには今迄の方法では出來ない場合がある。さう云ふ場合には電流、電圧降下や起電力等を代數的に考へて、それ等の正及び負の値を考へると、次節に述べるキルヒホッフ氏の法則と云ふものを使つてどんな面倒な電路の電圧、電流等も算出することが出来るのである。勿論今までの問題も凡て此方法で解決がつく。之は丁度諸君が代數を習つてからは、算術で考へるよりも代數で考へると面倒な問題もよく解けることと似て居る。諸君は既に代數で正と負の意味がよく分つて居ることと思ふから、茲ではくだくだしく述べないで、直にその電氣への應用を述べよう。

今第105圖甲に示す様に、導體 ab に、 a から b に向ふ方向に1アムペアの電流が通じて居る場合は、之を逆の方向に考へて見ると、 b から a に向ふ方向には -1 アムペアの電流が流れて居ると考へることも出来る。又乙圖の様に、導體 ab に若し a か

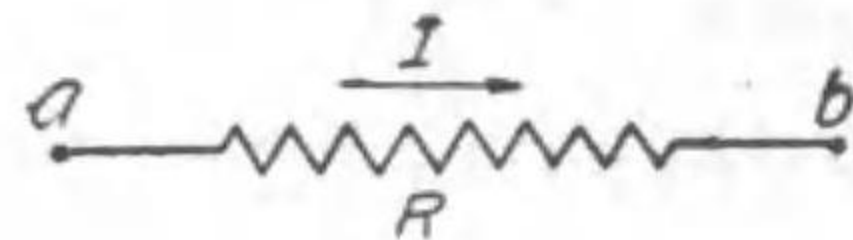


ら b に向ふ方向に -2 アムペアの電流が流れ居ると云ふ事があった場合は、之は b から a の方向に 2 アムペアの電流が通じて居る事を意味するのである。此様に電路に通る電流は吾々の考へる方向の選び方如何によつて、正又は負の量となり得るものである。

次に電圧降下の正負に就いて考へて見よう。第 106 圖に示す様

に、 R オームの抵抗内を I アムペアの電流が a から b に向つて通じ居るものとする。此場合此抵抗内を電流の方向に a から b に向

第 106 圖



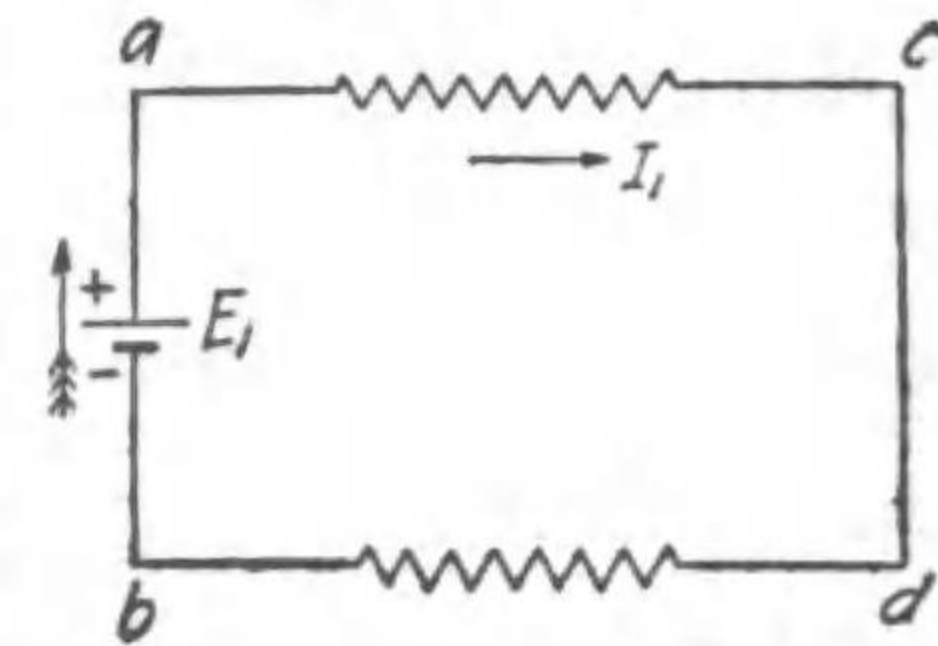
つて進むにつれて電位は降下し、 a から b に至る間には IR ヴォルトだけ電位が降下する。即ち b 點は a 點よりは IR ヴォルトだけ電位が低い。逆に a 點は b よりも IR ヴォルトだけ電位が高い。即ち電流の方向と反對に b から a に至る間には、 $+IR$ ヴォルトだけ電位が昇つて居るのを、常に電圧降下と云ふ言葉だけ使つて之を代數的に云ひ表はすと、電流の方向と反對には $-IR$ ヴォルトの電圧降下があると云ふことになる。つまり、同じ抵抗 R 内の電圧降下も、電流 I の方向と同じ方向に計算する場合は $+IR$ ヴォルトの電圧降下であるが、逆に電流 I の方向と反對方

向に計算する場合は $-IR$ ヴォルトの電圧降下としなければならぬ譯である。

最後に起電力の正負に就いて考へよう。第 107 圖に示す様に、

起電力 E_1 ヴォルトの電源に、外部抵抗を接続した電路ありとしよう。此電路で $acdba$ の方向（時計の針の廻る方向）に電流 I_1 を通すべき起電力は E_1 ヴォルトである事は今迄述べて来た通りであ

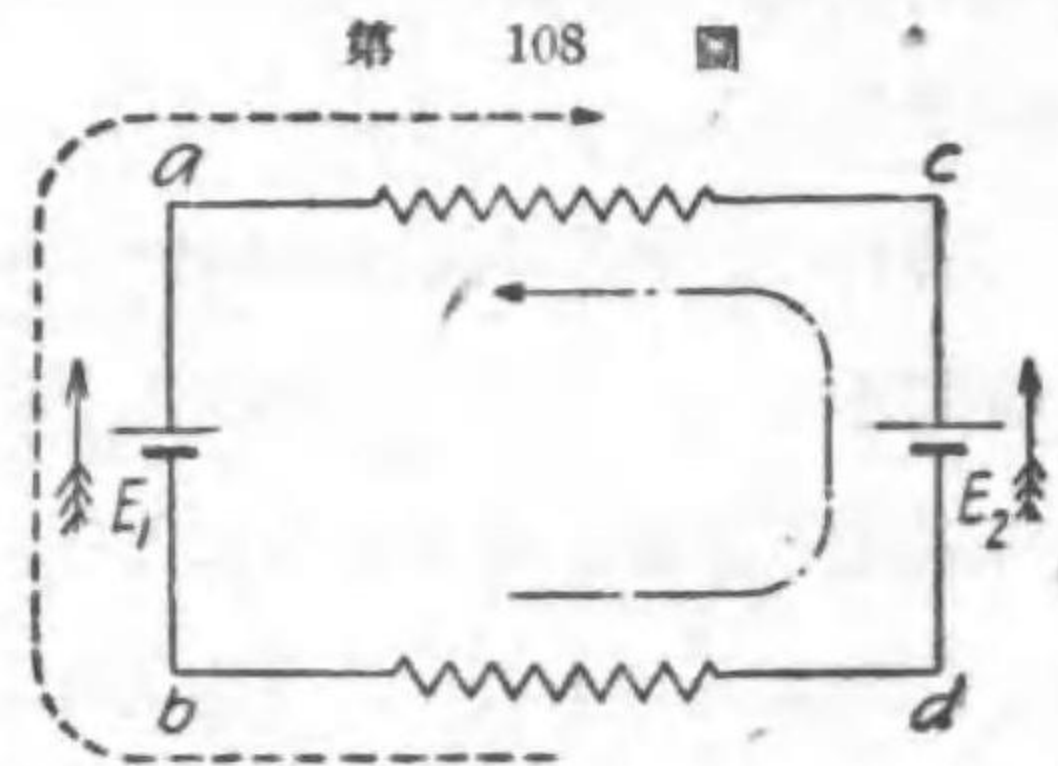
第 107 圖



る。然るに若し假りに前と反對に $abdca$ の方向（即ち時計の針の廻る方向と反對方向）に就いて此電路に在る起電力を考へる場合が起つたとすると、此場合即ち反時計式の方向には此電路には $-E_1$ ヴォルトの起電力がある譯である。勿論電流は反時計式の方向には $-I_1$ アムペア通ずる。此様に起電力を代數的に考へる場合には、吾々の選ぶ方向の如何によつて起電力も正又は負の値となるものであつて、若しその起電力の方向と一致した方向に考へた時は正の値で、若し又その起電力の方向と反對の方向に考へた時は負の値となる。尙ほ練習として次の第 108 圖に就いて考へて見よう。

第 108 圖に示す電路に於ては、左方の電源は時計式方向に電流を通さうとする起電力 E_1 ヴォルトを有し、右方の電源は反時計式方向に電流を通さうとする起電力 E_2 ヴォルトを有して、其方向は

互に反対になつて居る。此電路内に在る總起電力を代數的に考へて見よう。今吾々の考へる方向を時計式方向（即ち點線の方向） $acdba$ の方向に選ぶと、その方向に電流を通ずべき總起電力は如何程かと



云ふと、左方の起電力はその方向が時計式で吾々の選んだ方向と一致して居るから $+E_1$ ヴォルトであるが、右方の起電力は其方向が吾々の選んだ方向と反対であるから $-E_2$ ヴォルトである。従つて時計式の方角を選んで計算する場合の此電路の總起電力は $E_1 + (-E_2) = E_1 - E_2$ ヴォルトである。

逆に、此電路の總起電力を反時計式方向（即ち鎖線の方角） $cabdc$ の方向に選ぶと、此方向に電流を通ずべき總起電力は何程かと云ふと、右方の起電力はその方向が反時計式方向で之は選んだ方向と一致して居るから $+E_2$ ヴォルトであるが、左方の起電力はその方向が時計式方向で之は選んだ方向と反対方向であるから $-E_1$ ヴォルトである。従つて此場合の電路の總起電力は之等の代數和即ち $E_2 + (-E_1) = E_2 - E_1$ ヴォルトである。

一般に云へば、或電路の總起電力を計算する場合は、先づ何れの方角に起電力を計算するか（時計式か反時計式か）その方向を選んで、其選んだ方向と同方向の起電力は $+$ とし、又之と反対

方向の起電力は $-$ とし、之等の代數和を以てその電路の總起電力とするのである。

76. キルヒホッフ氏の法則 前節で電流や、電壓降下や又起電力等の代數的考へ方が分つたと思ふから、此考方を使つて之から電流、電壓等の計算をしよう。それにはキルヒホッフ氏の法則を應用すると便利であるから此法則を説明しよう。此法則は第一法則、第二法則の二つから成つて居る。そして電流に就いて述べたのが第一法則で、電壓に就いて述べたのが第二法則である。

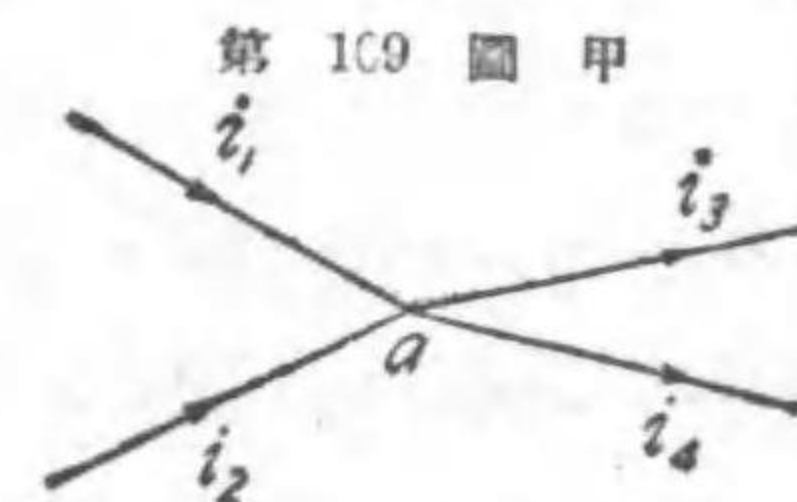
(イ) キルヒホッフの第一法則 電路が多數の分れ路を有つて居て多數の電線が一點に會合して居る時、其點に向つて各方面から流入する電流は直に他の途を取つて流出するから、次の様に一般に云ひ表はすことが出来る。即ち、

數多の分れ路が一點に會合せる場合、其點へ向つて流入する電流の算術和と、其點から他へ流出する電流の算術和とは互に等しい。

之をキルヒホッフの第一法則と稱する。例へば第 109 圖甲の様に、電路の一部に四本の電線が合する點 a

があつて、此點へ流入する電流は i_1, i_2 で又此點から流出する電流は i_3, i_4 であるとすれば、

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4$$



なる関係がある。今上の式を書きかへて、全部左邊に集めると、

$$i_1 + i_2 + (-i_3) + (-i_4) = 0 \quad \therefore i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0$$

即ち此圖に於て、 a に流入する電流を正と考へれば、 a から流出する電流は負（即ち一流入）と考へられるから、キルヒホッフの第一法則を代数的に云ひ表はせば次の様にも云へる。

電路中の任意一點に會合する電流の代数和は零である。

尙ほ一例として、第 109 圖乙の様に電路の一部に五本の電線が會する b 點があつて、此點へ流入する電

流が、 i_1, i_4 で又此點から流出する電流が i_2, i_3, i_5 であると、 b 點に會合する電流は、 $i_1, -i_2, -i_3, i_4, -i_5$ であるから、

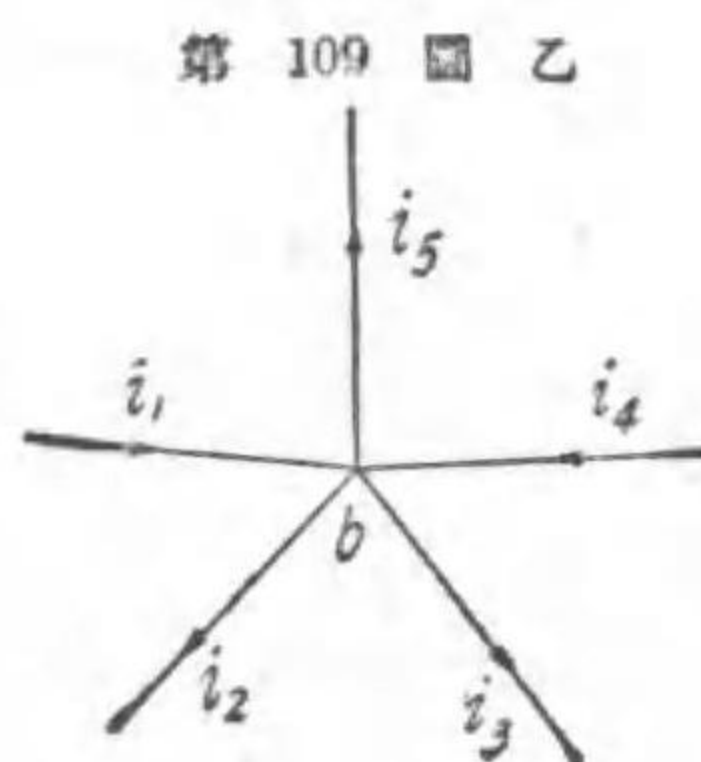
$$i_1 - i_2 - i_3 + i_4 - i_5 = 0$$

なる関係がある。

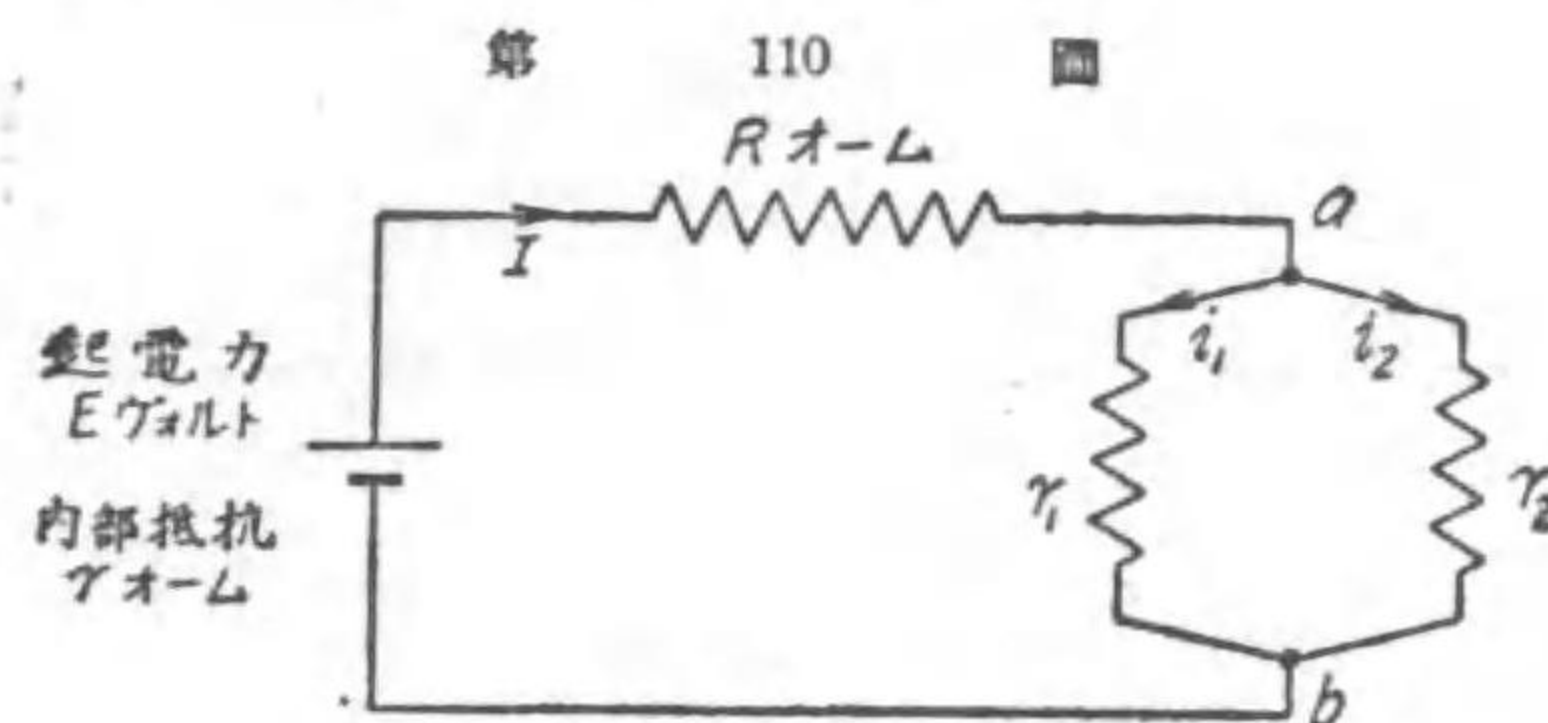
(ロ) キルヒホッフの第二法則 次に電

路の電壓に就いては次の法則がある。

電路中の任意の一電路を選んで見ると、一定の方向に計算した其電路内各部分の電壓降下の代数和と起電力の代数和とは相等しい。何故なれば、その電路中の或る一點から出發して一定方向に其電路を一周して元の出發點まで來るとすると、一周しつゝある間に電位は起電力によつては昇り又電壓降下によつては降つて遂に元の電位の處に來るから、その電路中の起電力の代数和と電壓降下の代数和とが相等しくならなければならないからである。



之をキルヒホッフ氏の第二法則と稱する。之はオームの法則を一般的に云ひ表はしたものである。例へば、第 110 圖の様な電路があると、 $rRar_1br$ の電路について、時計式の方にキルヒホッフの第二法則を應用すると次の関係がある。



$$Ir + IR + i_1 r_1 = E$$

又 $rRar_1br$ の電路について時計式の方にキルヒホッフの第二法則を應用すると、次の関係が得られる。

$$Ir + IR + i_2 r_2 = E$$

又 ar_2br_1a の電路（此電路内には起電力が無い故起電力は零である）に就いて時計式方向にキルヒホッフの第二法則を應用すれば、

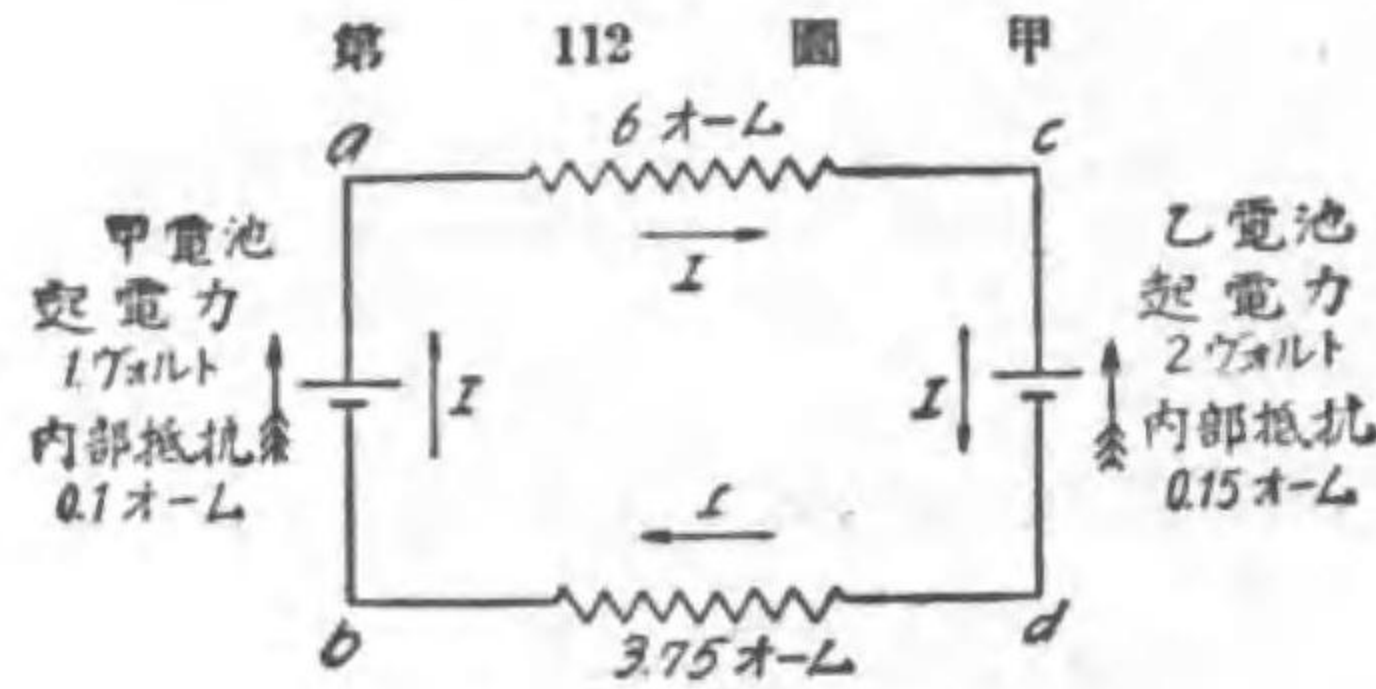
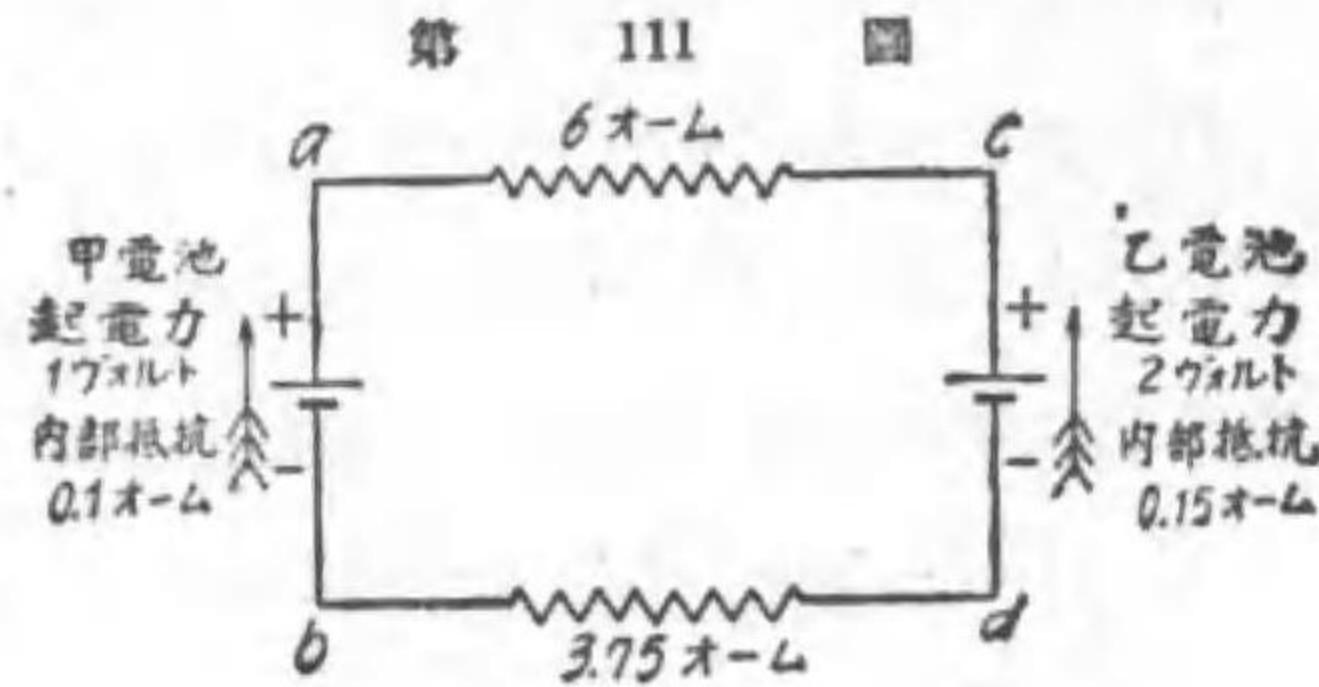
$$i_2 r_2 + (-i_1 r_1) = 0$$

$$\therefore i_2 r_2 - i_1 r_1 = 0$$

なる關係が得られる。

例題 31. 第 111 圖に示す様に、起電力の異なる甲、乙二つの電池を圖の様に接続した電路に於て、電流はどの方向に何アムペア通ずるか。

解 今求めやうとする電流を假りに第 112 圖甲に示す様に時計式方向に I アムペア通ずると假定する。さうするとキルヒホッフ第二法則を此電路に $acdba$ と時計式方向に應用すると、

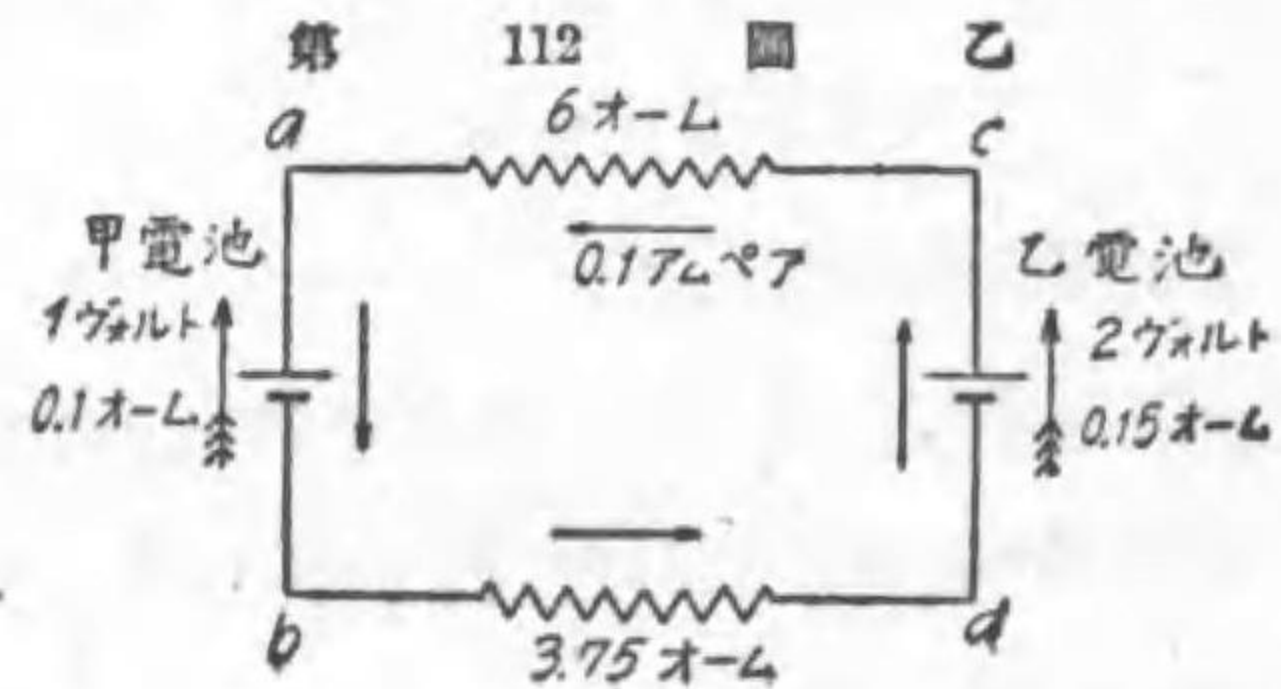


$$6I + 0.15I + 3.75I + 0.1I = -2 + 1 \text{ ヴォルト}$$

$$\therefore I \times (6 + 0.15 + 3.75 + 0.1) = -1, \quad \therefore I \times 10 = -1$$

$$\therefore I = \frac{-1}{10} = -0.1 \text{ アムペア}$$

即ち甲圖に示す方向に -0.1 アムペア通ずるから、實際はその反対方向即ち反時計式方向に 0.1 アムペア通ずる譯で、即ち乙圖に示

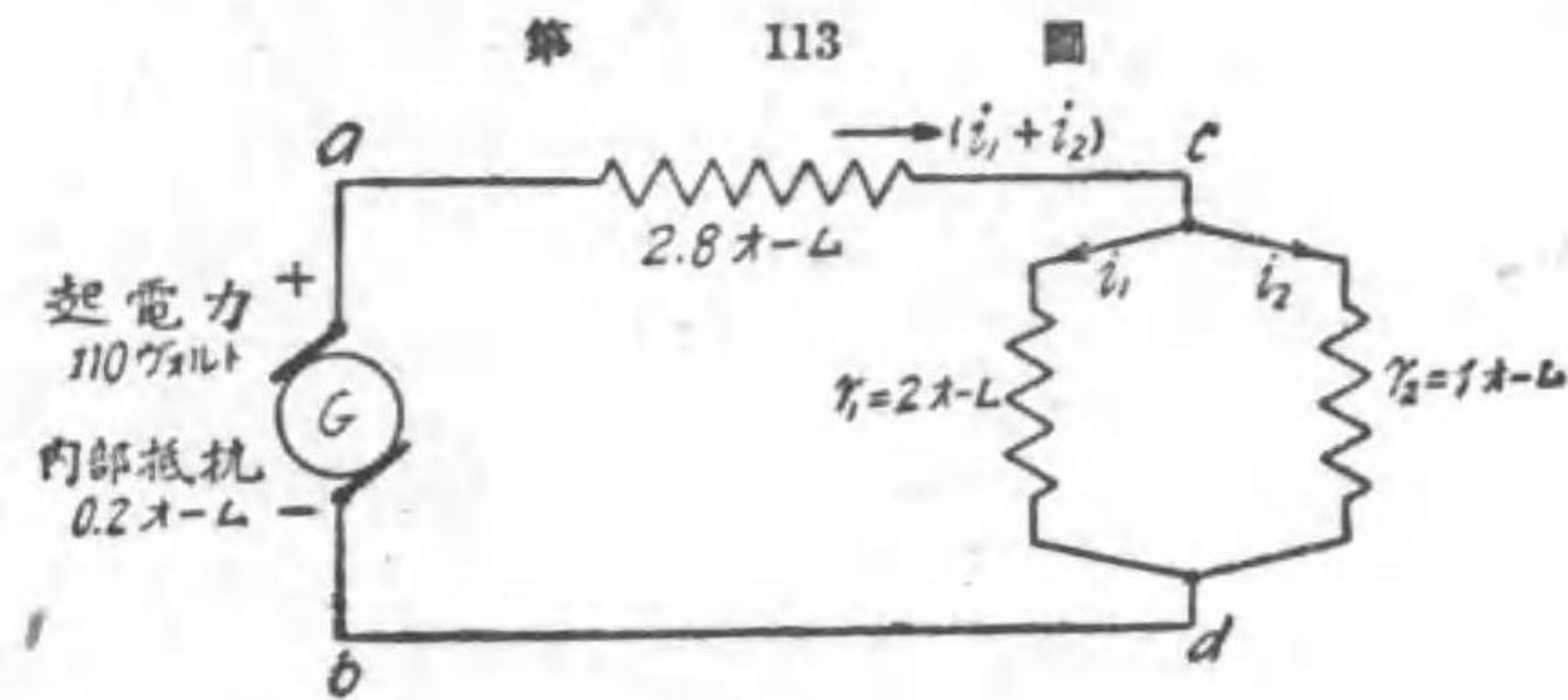


す様に通ずる。

若し此問題を解く始めに於て、求めようとする電流の方向を反時計式方向に假定して置いたら、反時計式方向に 0.1 アムペアを通ずると云ふ結果が得られる。試みに諸君計算して見給へ。

77. キルヒホッフ法則の應用例

例題 32. 起電力 110 ヴォルト、内部抵抗 0.2 オームの發電機に第 113 圖に示す様に 2.8 オーム、 2 オーム、 1 オームの抵抗



を接続した時、各部に通ずる電流を求めよ。

解 此問題はキルヒホッフ法則を應用せず第六章に述べた様な方法で簡単に解けるが、茲にキルヒホッフ法則を使つて考へて見よう。

先づ各部分に通る電流の方向を圖に示す様に假定する。 2 オーム及 1 オームに通ずる電流を夫々 i_1, i_2 とせば、キルヒホッフの第一法則を c 點又は d 點に應用して見ると、 2.8 オームに通ずる電流は、直に $i_1 + i_2$ なる事が分かる。次に時計式方向にキルヒホッフの第二法則を、

電路 ac_1dbGa に應用して,

$$2.8(i_1+i_2)+2i_1+0.2(i_1+i_2)=110 \quad (イ)$$

又電路 cr_2dr_1c に應用して, $i_2-2i_1=0 \quad (ロ)$

なる i_1, i_2 の聯立方程式が得られる。聯立方程式を解いて i_1, i_2 を求むればよい。

(イ) を書きかへて, $(2.8+2+0.2)i_1+(2.8+0.2)i_2=110$

$$\therefore 5i_1+3i_2=110 \quad \dots\dots\dots (ハ)$$

又 (ロ) を書きかへて, $i_2=2i_1 \quad \dots\dots\dots (ニ)$

(ニ) の i_2 の値を (ハ) に入れて,

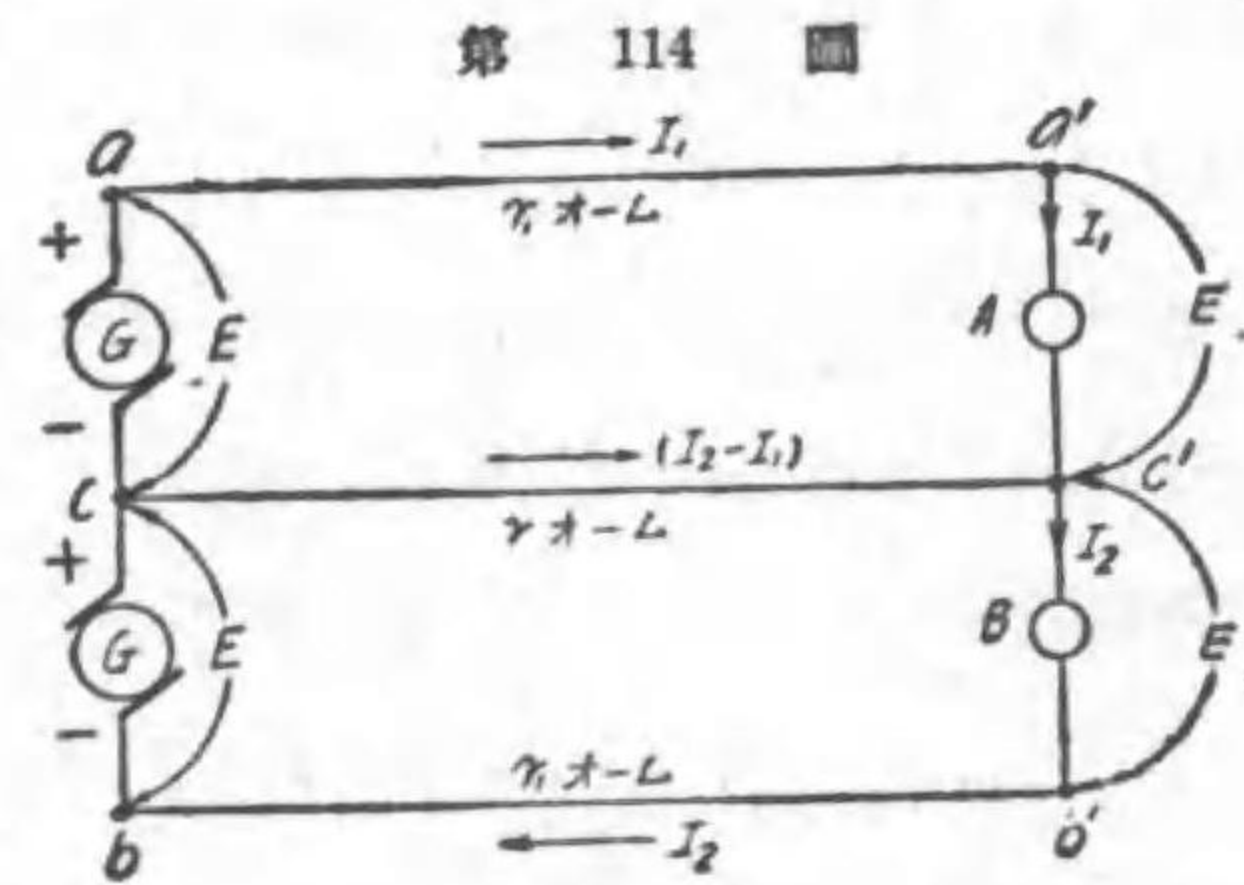
$$5i_1+3 \times 2i_1=110, \quad \therefore 11i_1=110$$

$$\therefore i_1 = \frac{110}{11} = 10 \text{ アムペア}$$

故に (ニ) に此値を入れて, $i_2=2 \times 10=20$ アムペア

従つて又 2.8 オームに通ずる電流即ち (i_1+i_2) は, $10+20=30$ アムペアである。

例題 33. 第 114 圖の様に, 二台の發電機を互に直列に接続し, 其兩端から電線 aa', bb' 及び兩發電機の正極と負極とを連結した c 點から電線 cc' [此電線を中性線と名



付ける] の三本の電線を引出し, 負荷 A を aa' 線と cc' 線の間, 負荷 B を cc' 線と bb' 線との間に接続する方法がある。之を三線式配電法と稱する。今 aa' 線, bb' 線の兩外線は各 r_1 オームの抵抗, 中性線 cc' は r オームの抵抗とし, 負荷 A には I_1 アムペア, 負荷 B には I_2 アムペア通じ居るとする。然らば, キルヒホッフの第一法則を c' 點又は c 點に應用すれば中性線には c から c' に向つて (I_2-I_1) アムペアの電流が通ずることが分かる。

各發電機の起電力は各 E ヴォルトで, さうして各の内部抵抗を零と假定する。すると各負荷の電壓降下即ち A 負荷の電壓降下 E_1 , B 負荷の電壓降下 E_2 は夫々何ヴォルトになるかを求めて見よう。

解 キルヒホッフの第二法則を時計式方向に應用して, $aa'c'ca$ 電路では, $I_1r_1+[a'c'$ 間の電壓降下即ち $E_1]-r(I_2-I_1)=E$ $cc'b'bc$ 電路では, $r(I_2-I_1)+[c'b'$ 間の電壓降下即ち $E_2]+I_2r_1=E$ なる二式を得る。各から變形して夫々 E_1, E_2 が得られる, 即ち

$$E_1 = E - I_1r_1 + r(I_2 - I_1) \text{ ヴォルト}$$

$$E_2 = E - I_2r_1 - r(I_2 - I_1) \text{ ヴォルト}$$

例へば, $r_1=0.1$ オーム, $r=0.2$ オーム, で $E=110$ ヴォルト, 又各負荷の電流が夫々 $I_1=60$ アムペア, $I_2=100$ アムペアなる時, 各負荷の電壓 E_1, E_2 は夫々次の様になる。

$$E_1 = 110 - 60 \times 0.1 + 0.2 \times (100 - 60) = 112 \text{ ヴォルト,}$$

$$E_2 = 110 - 100 \times 0.1 - 0.2 \times (100 - 60) = 92 \text{ ヴォルト}$$

茲に面白いことには、此場合電流の少い A 負荷の電圧は電源の電圧よりも高く、電流の多い B 負荷の電圧は電源の電圧よりも低くなつて居る。此様に三線式配電法では、中性線の兩側の負荷 A, B に通ずる電流に大差ある場合には上の様な事があるのである。

78. ホキートストーンブリッジの原理 第 115

圖の様な電路に於て、抵抗 G オームに通ずる電流が零なる特別の場合には、四つの抵抗 r_1, r_2, r_3, r_4 間にはどんな関係があるかを調べて見よう。

G オームに電流が通じない時には、電源から a に流入する電流は a から a₁c₁r₁b と a から

a₂r₂d₁b とに分流する。此各電流を夫々 i_1, i_2 とする。キルヒホッフの第二法則を時計式方向に應用すると

acda 電路からは, $i_1 r_1 + 0 \times G - i_2 r_3 = 0 \dots\dots\dots (イ)$

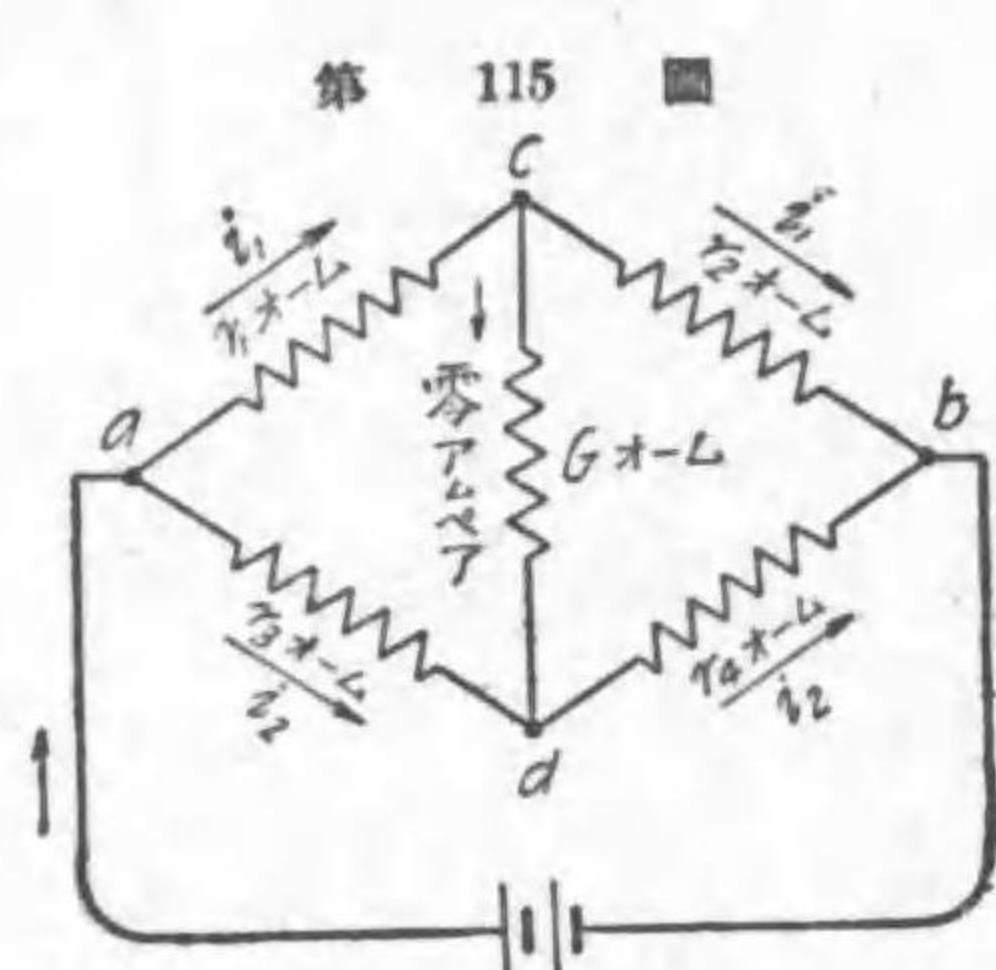
cbdc 電路からは, $i_1 r_2 - i_2 r_4 - 0 \times G = 0 \dots\dots\dots (ロ)$

なる関係が得られる。(イ), (ロ) を夫々書きかへると次の様になる。

$i_1 r_1 = i_2 r_3 \dots\dots\dots (イ')$

$i_1 r_2 = i_2 r_4 \dots\dots\dots (ロ')$

(イ') 式を (ロ') 式で邊々割れば $\frac{i_1 r_1}{i_1 r_2} = \frac{i_2 r_3}{i_2 r_4}$



$\therefore \frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$

又は, $r_1 r_4 = r_2 r_3 \dots\dots\dots (ハ)$

即ち、G に電流が通じない場合には、四つの抵抗 r_1, r_2, r_3, r_4 の内相対した抵抗 (即ち r_1 と r_4 と相対し、 r_2 と r_3 と相対して居る) の相乗積は相等しい関係がある。

此の原理を應用すると、 r_1, r_2, r_3, r_4 の四つの抵抗の内何れか三つの抵抗の値が知れて居る時は残りの一つの抵抗の値は上の (ハ) 式から計算することが出来る。例へば、第 115 圖で $r_1 = 10$ オーム、 $r_2 = 100$ オームの場合、 r_4 の抵抗の値が分かつて居ない場合、圖の様に接続して、 $r_3 = 52.1$ オームの時に G に電流が通らなかつたとすると、(ハ) 式 $r_1 r_4 = r_2 r_3$ から、

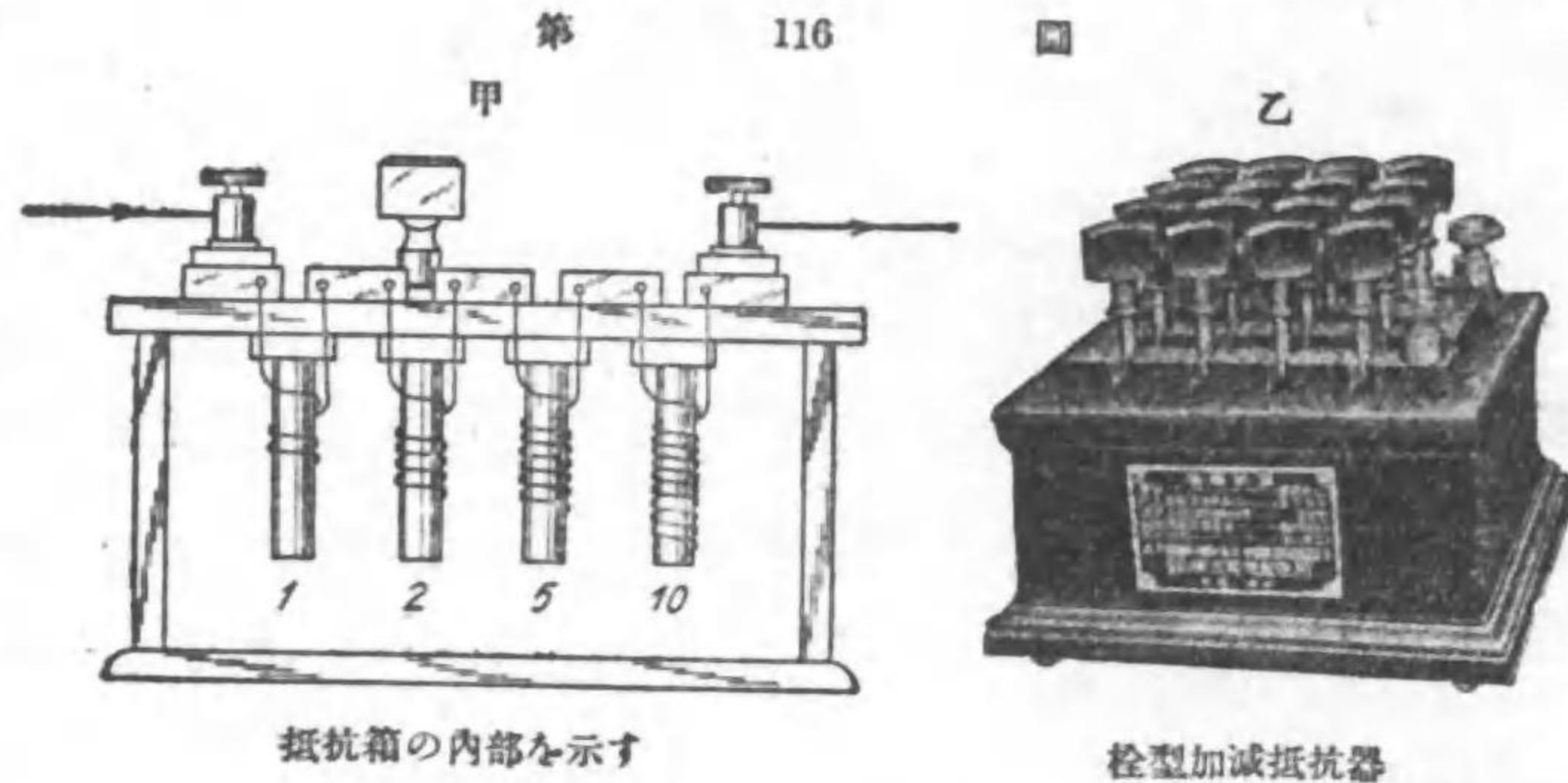
$r_4 = \frac{r_2 r_3}{r_1} = \frac{100 \times 52.1}{10} = 521$ オーム

なる事が知れる譯である。

上の原理をホキートストーンブリッジと稱し、數オームから數萬オーム程度の抵抗を測るに此ホキートストーンブリッジ法が用ひられる。又 G なる抵抗の位置には實は檢流計と稱する一種の電流計を使つて、其處に電流が通らないのを之で見届けるのである。

79. 抵抗箱及抵抗器 前節に述べた様な或未知抵抗を測定する場合には、外にオーム數が知れたもので又其オーム數

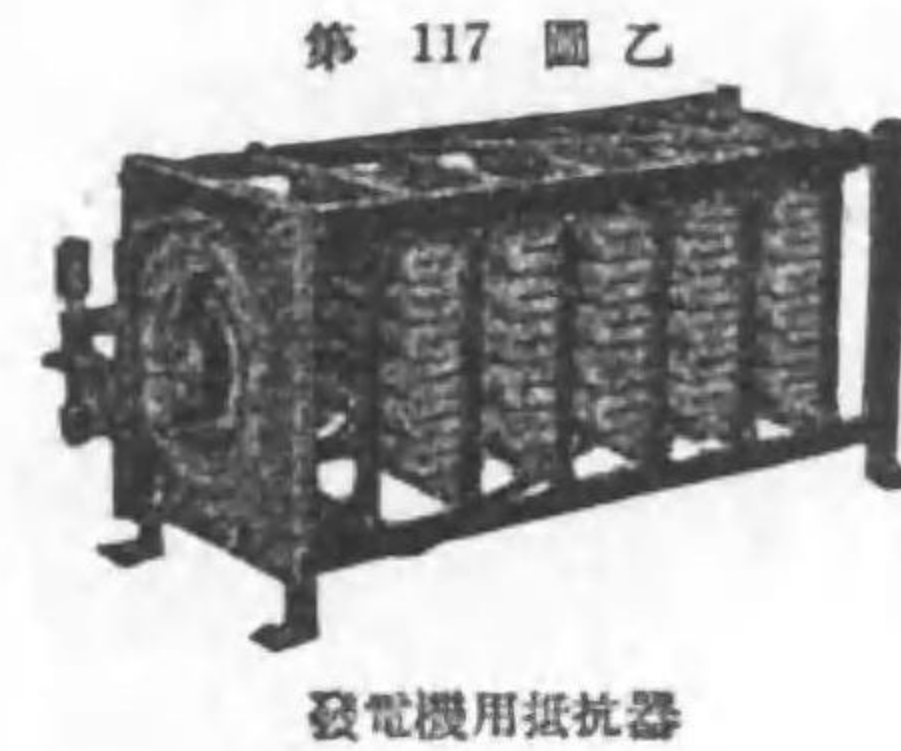
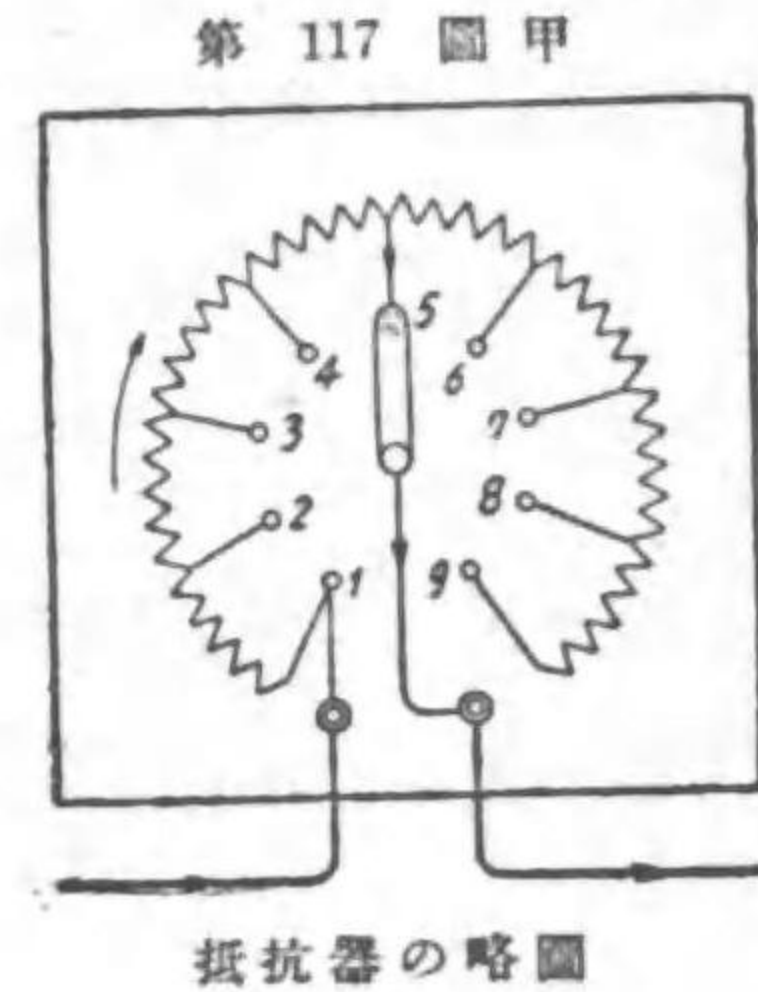
も色々増減する事の出来る様な抵抗が必要である。之を抵抗箱又は単に抵抗器と稱する。第 116 圖甲は栓型抵抗器と稱するもので、洋銀又はマンガニンの細い線を捲棒に捲いた大小數種の抵抗とし、(圖では、1 オーム、2 オーム、5 オーム、10 オームの 4 種) 圖の様に箱に入れ、上部で真鍮製の端子に各々接続されて皆直列になつて居る。さうして真鍮端子片の間に金屬製の栓を挿入する



と、其部分の抵抗は短絡されるから電路内で電流は此短絡された抵抗を通らない事になり栓の入れてない抵抗だけを通ずる事になる。此様にして、栓を抜いたり挿したりして抵抗を増減するのである。圖に於ては 2 オーム線が栓によつて短絡されて居るから 1 オームと 5 オームと 10 オームの合計 16 オームが使用されて居る。乙圖は此種の抵抗箱の外観を示すものである。

電路の電流を増減する必要がある時は、その電路に直列に抵抗を入れて置いて此抵抗を減じたり増したりすればよろしい。此様

な目的に使はれるものを抵抗器と稱する。第 117 圖甲は一種の抵抗器の略圖で、鐵又は洋銀等の抵抗線の途中から多くの電線を引出して金屬端子 1, 2, 3, 4, 5 等を備へ、之に對して中央の把手を廻はして刷子を接觸せしめる様に出て居る。即ち把手を廻はして抵抗を増減するのである。第 117 圖乙は發電機の抵抗器



發電機用抵抗器

を示すもの

で太い鐵片をうねりくねり曲げて箱の中に収めたものである。本節で述べた抵抗器は何れも抵抗の値が加減出来るものであるから總稱して加減

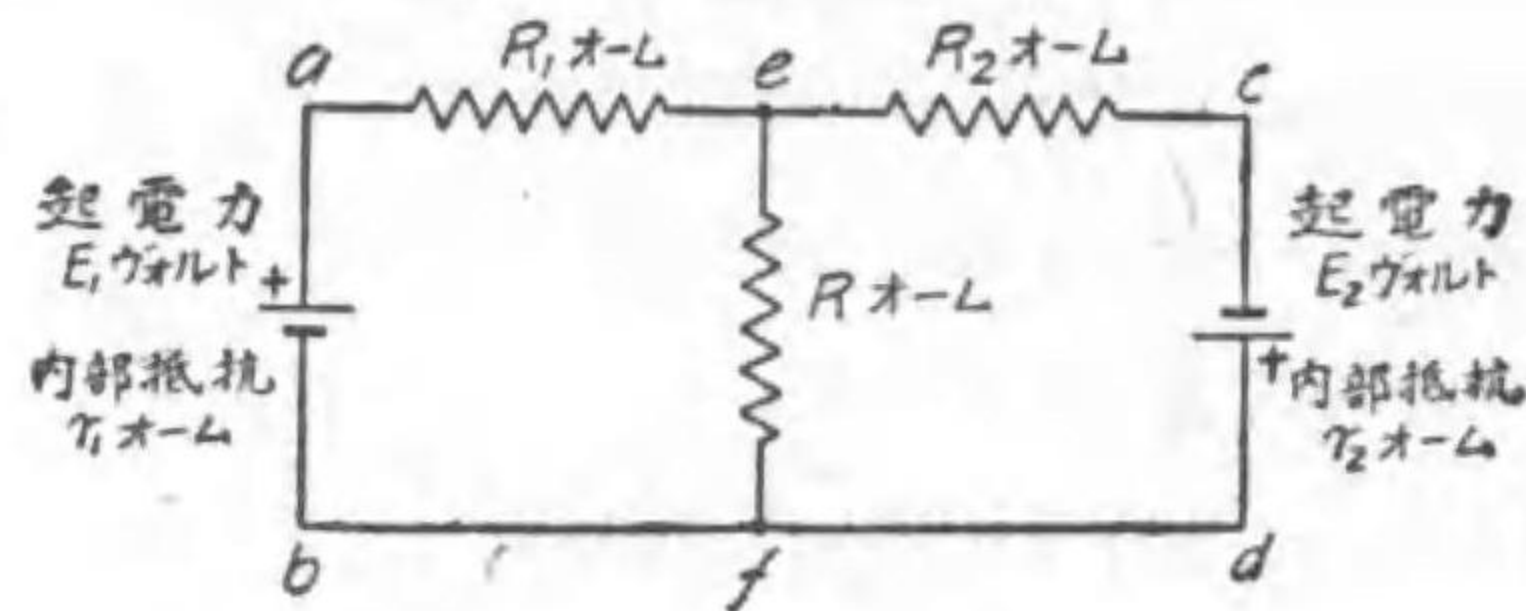
練習問題 VII

1. 第 118 圖に示す電路に於て、電路 $acfba$ 、電路 $ecdfe$ 、電路 $aecdfba$ の各に在る起電力はそれぞれ幾何か。但し考へる方向は何れも時計式方向に計算するものとす。

答 E_1 ヴォルト、 E_2 ヴォルト、 $E_1 + E_2$ ヴォルト。

2. 第 118 圖に示す電路に於て、 R オームに電流が通じなかつた場合には、 E_1 と E_2 との比は $R_1 + r_1$ と $R_2 + r_2$ との比に等し

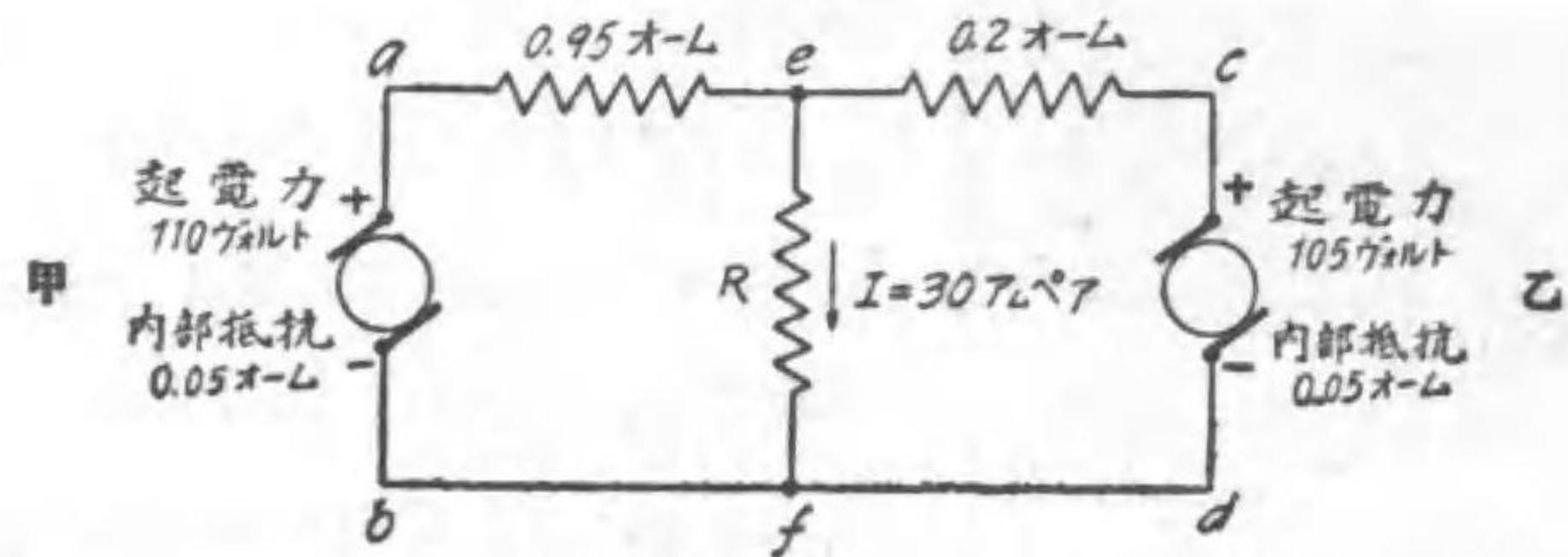
第 118 圖



い関係がある事を證明せよ。

3. 第 119 圖に示す電路に於て、 R オーム に 30 アムペアの電

第 119 圖



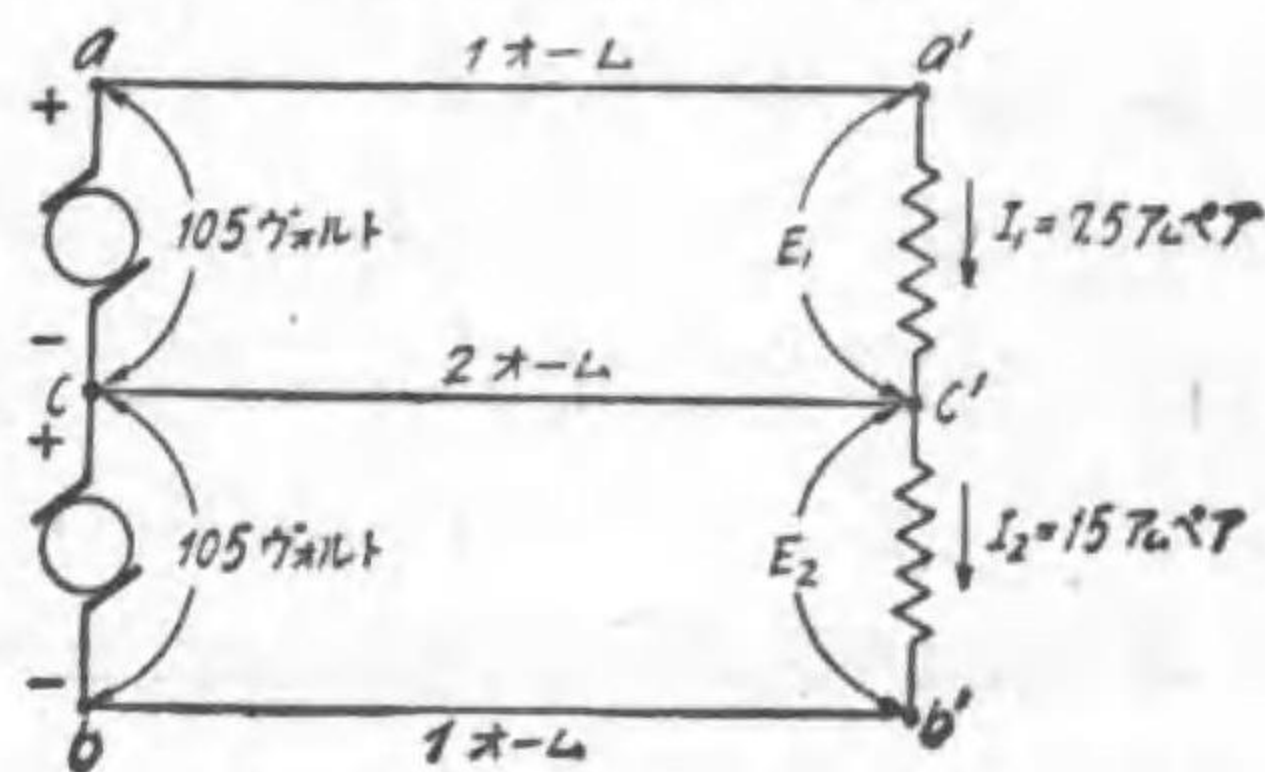
流通せる時、甲、乙各の發電機には何アムペアの電流通ずるか。

ef 間の電圧は何ヴォルトか。又 R は何オームのものか。

4. 第 120 圖に示す

三線式配電線路あり。電源の端子電圧は各常に 105 ヴォルトに保たれ居るものとす。外線 aa' , bb' の抵抗が夫々 1 オーム、中性線の抵

第 120 圖



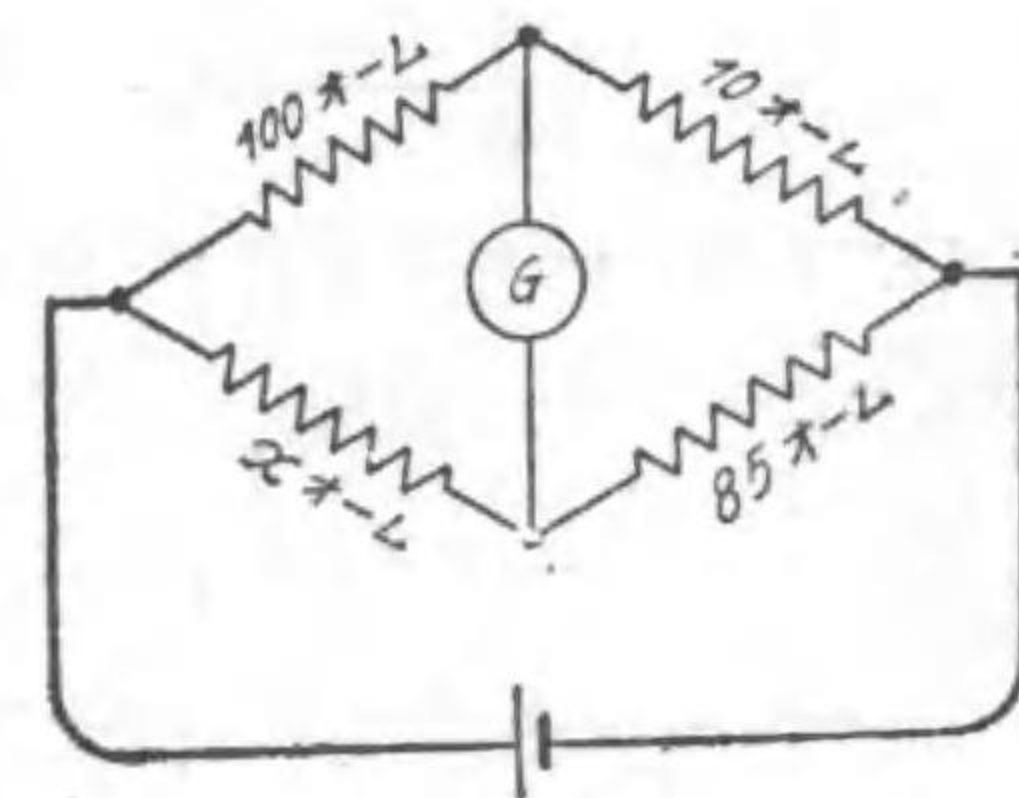
抗が 2 オームにして、中性線の両側の各負荷に通ずる電流 I_1 は 7.5 アムペア、 I_2 は 15 アムペアなりと云ふ。各負荷の電圧 E_1 , E_2 は幾何か。 答 $E_1=112.5$ ヴォルト, $E_2=75$ ヴォルト。

5. 第 121 圖に示すホキート

ストーン・ブリッジに於て、檢流計 G に電流が通らなかつたと云ふ。 x は何オームか。

答 $x=850$ オーム

第 121 圖



【難問解答】

2. R に電流通じない時は、

電流は $aecdfba$ にのみ通る、今之を第 122 圖 に示す様に I とすれば、キルヒホッフ第二

法則を應用して、

電路 $aefba$ から、

$$Ir_1 + IR_1 + 0 \times R = E_1$$

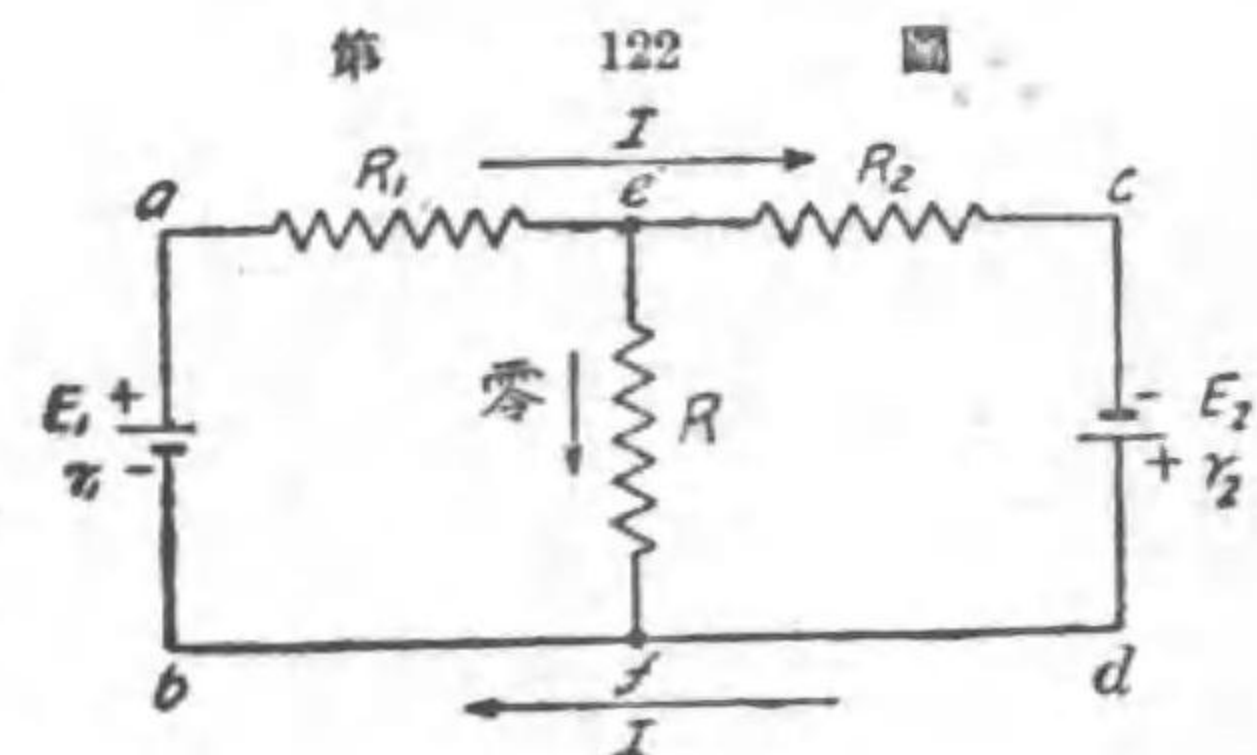
$$\therefore E_1 = I(R_1 + r_1), \quad (1)$$

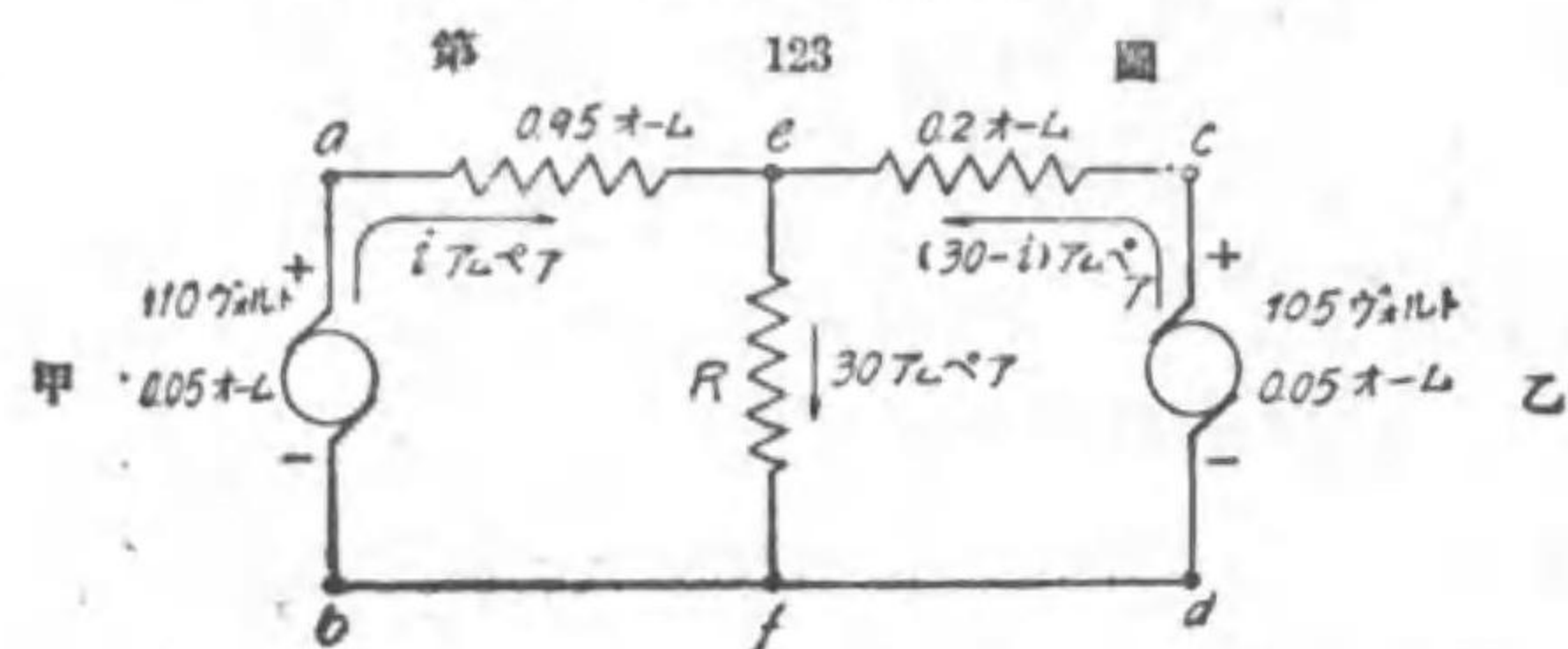
電路 $ecdfc$ から、

$$IR_2 + Ir_2 - 0 \times R = E_2, \quad \therefore E_2 = I(R_2 + r_2), \quad (2)$$

故に (1) を (2) で割つて $\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1 + r_1}{R_2 + r_2}$

3. 兩發電機に通ずる電流を第 123 圖に示す様な方向と假定し、甲發電機の電流を i アムペアとせば、キルヒホッフ第一法則を e 點





(又は f 點) に應用すると、乙發電機には圖に記入した方向に $(30-i)$ アムペア通ずる。

故にキルヒホッフの第二法則を電路 $baecdfb$ に應用して、

$$0.05i + 0.95i - 0.2 \times (30-i) - 0.05 \times (30-i) = 110 - 105$$

$$\therefore (0.05 + 0.95 + 0.2 + 0.05)i - 6 - 1.5 = 5$$

$$\therefore 1.25i = 5 + 6 + 1.5 = 12.5$$

$$\therefore i = \frac{12.5}{1.25} = 10 \text{ アムペア}$$

故に乙發電機の電流は $= 30 - i = 30 - 10 = 20$ アムペア

次に ef 間の電圧即ち R の電圧降下を E' とすれば、 $baefb$ 電路にキルヒホッフ第二法則を應用して

$$10 \times 0.05 + 10 \times 0.95 + E' = 110$$

$$\therefore E' = 110 - 10 \times (0.05 + 0.95) = 110 - 10 = 100 \text{ ヴォルト}$$

従つて、 R の値はオームの法則から、

$$R = \frac{100}{30} = \frac{10}{3} \text{ オーム。}$$

答 甲には 10 アムペア、乙には 20 アムペア。

ef 間の電圧 100 ヴォルト、 $R = \frac{10}{3}$ オーム。

第八章 電力量及び電力

80. 仕事をなし得る能力をエネルギーと云ふ。

走つて居る電車や汽車はレールに對して仕事をしながら人や貨物^(いもつ)を運んで行くから、之等は仕事をなす能力がある。其外流るゝ水とか、高温度の蒸汽とか又は風とか云ふ様なものも皆仕事をなす能力がある。又高い所に在る水とか石とかは現在仕事をなして居^{げんみ}ないでも、之等が落ちると其下に在る物體に突き當つて色々仕事をなし得る能力を有する譯である。

此様に物體が現在仕事をなしつゝあつても、又將來仕事をなし得る場合でも、すべて仕事をなし得る能力を有するものをエネルギーと稱し、其仕事をなし得る能力をエネルギーと名付ける。エネルギーを測るには其ものがなし得る仕事、又は其のものなした仕事で測る。即ちエネルギーの單位もジュール、kg-m、等を用ひる。

走つて居る電車の様に、物體が運動のために有するエネルギーを運動のエネルギー又は動エネルギーと稱し、高所にある水や石の様に静止して其位置に在るために有するエネルギーを位置のエネルギー又は静エネルギーと稱し、之等の動エネルギーと静エネルギーとの二つを總稱して機械的エネルギーと稱する。又高温度の蒸汽、磁石、發光體、發音體、火藥等の有するエネルギーを夫

々熱エネルギー、磁気エネルギー、光エネルギー、音エネルギー、化学エネルギーと稱する。又電氣を有する充電體も紙等を吸引するのであるから之もエネルギーを有する譯である。又電流もエネルギーを有するのである。何故なれば電流は之によつて電動機を廻はして電車を走らせたり或は電流を電燈に通じて光を生じたり、電熱器に通じて熱を生じたり色々な仕事をするからである。之等を稱して電氣エネルギーと稱する。

81. エネルギー不減の法則

エネルギーの種類は前節に述べた様に色々あるが、之等は何れも一種から他の種のものに變へることが出来る。例へば、高い所に落ちた雨は集まつて大きな水流となる。此水を鐵管で低い處に導いて水車に送り水車を廻はす。此水車で發電機を廻はさせると、機械的エネルギーが電氣エネルギーに變へる。發電機から電線で電燈、電熱器、電動機等の負荷に電流を通じて、電氣エネルギーを光エネルギー、熱エネルギー、機械的エネルギー等に變へることが出来るのである。又大昔地球上に茂つた植物は、太陽から光、熱のエネルギーを得て成長し、その體内に貯へて居たものが、地上の變化に遇つて地中に埋れ、之が化石して石炭となつて居る。その石炭をもやして其エネルギーを熱エネルギーに變へ、之を水に與へて蒸汽となし、そのエネルギーによつて蒸汽機械を廻はして機械的エネルギーにし、此蒸汽機械で發電機を廻はして、機械的エネルギーを電氣エネルギー

に變へることも出来る。此電氣エネルギーを前と同じ様に色々な負荷に與へると色々なエネルギーに變形するのである。

以上に述べた例の外、此大自然ではエネルギーは甲から乙へ、乙から丙へ、丙から丁へと絶えず轉々して其姿を變へて行くのである。然しながら、宇宙間に在るエネルギーの總量は一定不變で、決して其變形のために少しも増したり減つたりする様なことはないのである。之をエネルギー不減の法則と稱する。

物理や化学の様な學問はエネルギーの變化の有様を研究するものであると云ふことが出来る。而して種々のエネルギーを電氣のエネルギーに變へて置くと、電氣は電線によつて簡単に導き易いから、吾々の日常生活に必要な熱とか光とか其他機械的工作等とか任意に變形することが出来て非常に便利である。之が即ち電氣工學の目的である。即ち電氣工學とは電氣エネルギーの發生、分配、利用を最も有效になす様に研究する學問である。

82. ジュールの法則

電流が導體に通ると、導體の抵抗に逆つて電流が通ずるために仕事を費やすので、此仕事は全部熱エネルギーに變じてその導體を熱する。ジュールと云ふ人の研究によると、抵抗の爲めに費やさるゝ電流のエネルギーは、其電流の強さの自乗と、其抵抗と、電流の通じた時間との相乗積に比例する。之をジュールの法則と稱する。而して實驗の結果、第 124 圖の様に、 I アムペアの電流が R オームの抵抗に t 秒間通じた

場合の此電流のエネルギー W は次式で示す値になる。

$$W = I^2 R t \quad \text{ジュール} \dots (A)$$

此の W ジュールが全部熱エネルギーとなつて抵抗線を熱するのである。

普通熱エネルギーを表はすにカロリーと云ふ単位を用ひる。1 カロリーとは水 1 瓦を攝氏 1 度丈け温度を昇すに要する熱量である。而して 1 ジュールは約 0.24 カロリーに相當する。即ち

$$1 \text{ ジュール} \approx 0.24 \text{ カロリー}$$

故に、ジュールで表はした前の關係式 (A) は之をカロリーで表はすと次式 (B) の様になる。即ち I アムペアの電流が R オームに t 秒間通ずると、

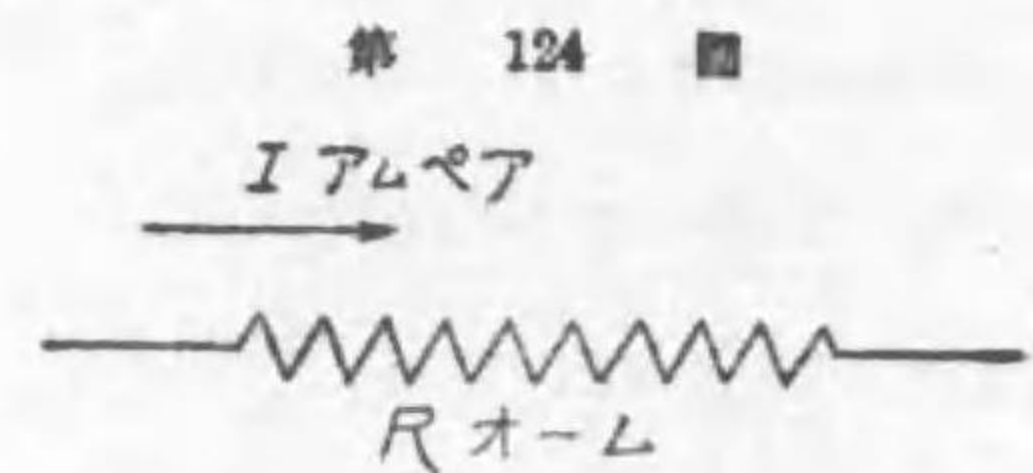
$$W \approx 0.24 I^2 R t \quad \text{カロリー} \dots (B)$$

の熱量を生ずる。

例題 34. 500 オームの抵抗に 0.2 アムペアの電流を 4 時間通ずると、熱量は幾ジュールになるか、又之をカロリーで表はせ。

$$\begin{aligned} \text{解 } W &= I^2 R t = (0.2)^2 \times 500 \times (4 \times 60 \times 60) = 288000 \text{ ジュール} \\ &\approx 0.24 \times 288000 \text{ カロリー} = 69120 \text{ カロリー} \end{aligned}$$

83. 電熱器, 白熱電燈, 及フューズ ジュールの法則から分かる様に、電流及び其通る時間を一定にして置けば、抵抗の大なる導體程多量の熱を生ずる。故に固有抵抗の大なる導線



第 125 圖



電氣暖爐

第 126 圖



電氣湯沸

で抵抗線を作り、種々の器具に之を備へ付けて、抵抗線に電氣を通じ多量の熱を生ぜしめて、電氣暖爐 (第 125 圖) とか、電氣湯沸 (第 126 圖) とか、電氣アイロン (第 127 圖) とか又は電氣七輪 (第 128 圖) 等が出来る。之等を總稱して電熱器と稱する。

第 127 圖



電氣アイロン

第 128 圖

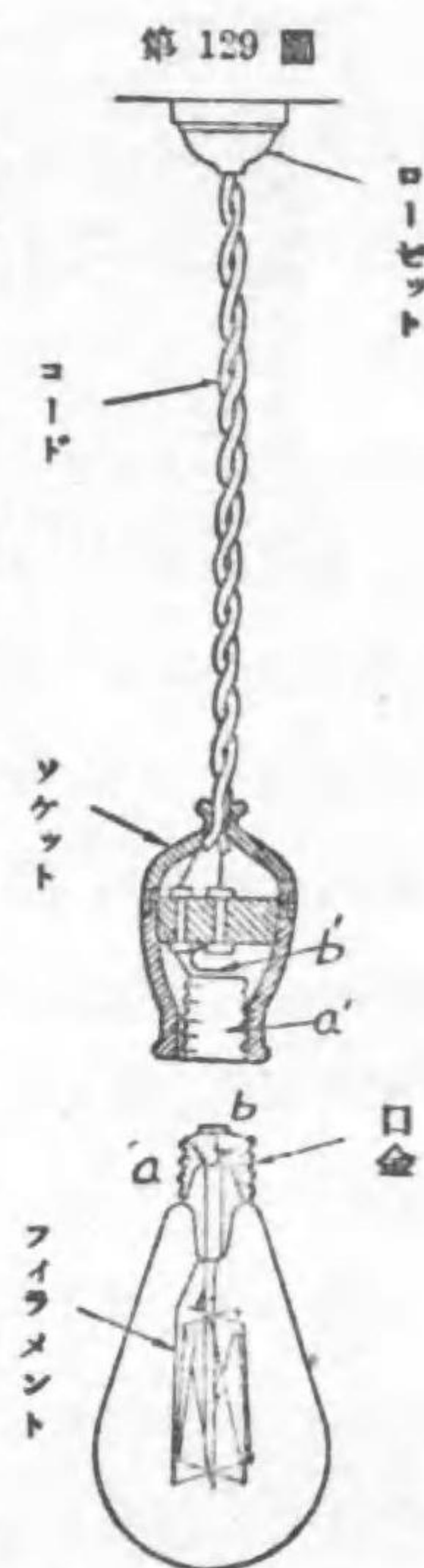


電氣七輪

又物を熱して次第に温度を高めて行くと、だんだん赤くなり、つひには光を發するのである。吾々の室内に點じて居る電燈は此原理を應用したものである。電球は第 129 圖の下部に示す様に、

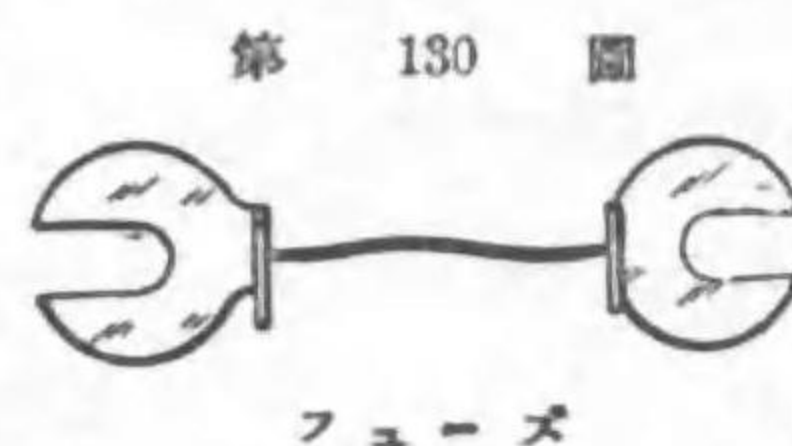
タンゲスタンと稱する金属を細くしたもの〔之をフィラメント又は**燈絲**と稱する〕を硝子球内に入れて、燃えない様にする爲めに中の空気を抜いて真空にして密閉してある。硝子球外の上には口金 a, b がつき、フィラメントの両端が夫々 a, b に接続されて居る。電球ソケット〔又は承口とも云ふ〕の内部は圖に示す様に、コード〔又は紐線とも云ふ〕の両端が夫々 a', b' の金物に接続されて居る。又コードはローゼット〔又は紐線吊とも云ふ〕の内部で天井裏の電線につながれ、その電線は屋外の電線を経て電源に接続されて居るから、 a', b' 間には一定の電圧が保たれて居る。従つて電球を承口に捻ぢ込むと a は a' に、又 b は b' に接してフィラメントの両端に此一定電圧が與へられ、フィラメントに電流が通じて發光する。此様にフィラメントを高温度にして光を發する様な電燈を一般に**白熱電燈**と稱する。

若鉛と鉛と錫の合金を熱すると低い温度で熔け易い性質がある。此合金を**フューズ**〔又は**可熔片**〕と稱する。フューズは其の線の太さに應じて一定値以下の電流には耐えるが、それ以上の値の電流が通ずると熔けて了ふ。依つて電路の要所要所に此フューズ



第 129 圖

を接続して置く。〔一例を挙げると、ローゼットの内部でコードと天井裏の電線との間に之を接続する〕。すると若し電路に故障が生じて電流が一定値以上になると、他の部分の温度が昇らない間にフューズが直に熔けて電路を開くから安全である。第 130 圖はフューズを示すもので、



両端の金物を夫々電線に捻子で締め付け直列に接続する。

例題 35. 500 オームの抵抗線を用いた電氣湯沸がある。之に 2 アンペアを 20 分間通じて湯が沸いたと云ふ。之に要した電流のエネルギーは何ジュールか。

$$\text{解 } W = I^2 R t = 2^2 \times 500 \times (60 \times 20) = 2400000 \text{ ジュール}$$

84. 弧光燈は電弧を應用したものである 諸

君が若し發電所等に遊びに行く機会があつたら、發電所の人が開閉器を開く時注意して見給へ。開閉器を開く時必ず開閉器に青白い焰が出るのを見られるだらう。公園や大通にあつて強い光を出す**弧光燈**と云ふのは此焰を應用したものである。

弧光燈には色々の種類のものがあるが、その原理は大體次の通りである。第 131 圖の様にな二本の炭素棒を上下から向ひ合せ、先づ此二本の炭素棒を接觸せしめて置いて電流を通じ、上の炭素棒を静かに引上げる。すると此二本の棒の間に青白い焰が續いて電流は此焰を傳つて上下の棒の間を通ずる。此焰を**電弧**と稱す

る。此焰は二本の炭素棒が離れる場合に火花を生じ、そのために炭素の蒸気が出来、その炭素の蒸気が半導體であるため之を傳つて電流が通じて弧状の焰となつたものである。此炭素蒸気の抵抗は大きいから多量の熱を生じ、炭素棒の先も高温度に熱せられて發光するのである。此場合炭素の粒は陽極から陰極の方に飛び、其幾分かはもえて幾分かは陰極に引着くから、圖に示す様に陽極はくぼんだ形になる。上下の炭素棒間の距離が或一定距離以上になると電弧も消える。實際用ゐられる弧光燈では、上方の炭素棒の上にもうまい仕掛があつて電流の通らない時は上下の炭素棒が接觸して居るが、電流が通ずると上の棒が自然に引き上げられ、丁度工合のよい處で止まる様になつて居る。尙ほ前に述べた白熱電燈や此弧光燈については電燈照明編に詳しく述べてある。

第 131 圖

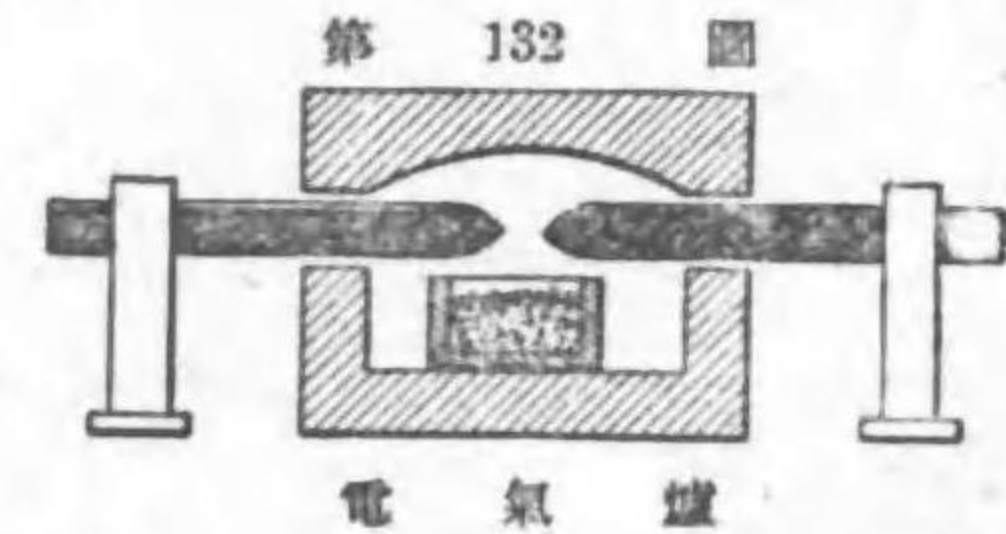


弧 光 燈

85. 電氣融接及び電氣爐 鐵や真鍮の様な金物が折れたり割れたりした時、その折れ目や割れ目の處の金物を少し融かして接ぎ合はす事が出来る。此事を融接すると云ふ。電氣を使つて融接するには普通電弧の熱を應用する。電弧は非常に高温度のものであるから、金物の折れた處をしつかり合せて置いて、此處へ二本の炭素棒の間に出来た電弧を吹き付けると、電弧の熱のために電弧の當つた大部分が融けて接ぎ合はされる。或は又一

方の炭素棒の代りに接ぎ合さうとする金物を用ひ、接ぎ目の處で其金物と他の方の炭素棒との間に電弧を生ぜしめると、其熱で金屬が融けて金物同士接合される。

電弧の熱を利用すると融け難い物體を融かし又高温度を要する化學變化を行はしむることが出来る。此様な装置を電氣爐と云ふ。電氣爐にも色々あるが一番簡単な電弧を利用した電氣爐は第 132 圖に示す様なものである。大理石で出来た爐に兩側から炭素棒を向ひ合せ、その下の方に熱すべきものを入れるのである。兩炭素棒間に電流を通ずると、電弧の熱によつて下部の物體が融ける。



86. 電力量と其單位ジュール、ワット時、キロワット時

電流はエネルギーを有することは既に述べた通りである。此電流のなす仕事の量を電力量と稱する。電力量はエネルギーであるから、其單位にはジュールを使ふ。尙ほ電力量の單位としてジュールの外に、ワット時とかキロワット時等が使用される。1ワット時とは1ジュールの3600倍に相當する。さうして1ワット時の1000倍を1キロワット時と稱する。即ち次の關係がある。

$$1 \text{ ワット時} = 3600 \text{ ジュール}$$

$$1 \text{ キロワット時} = 1000 \text{ ワット時} = 3600000 \text{ ジュール}$$

普通吾々の日常生活に要する電燈其他の負荷に要する電力量は之をキロワット時で表はすのである。諸君の家には第133圖に示す様な電燈線に接続されたメーターが備へ付けられてあるだらう。そのメーターは電力量を測る器具で、之を積算電力計せきさんでんりよくけいと名付ける。此積算電力計で毎月幾キロワット時電燈に使つたと電力量を測るのである。

第 133 圖



積算電力計

87. 電力量の種々の公式

既に述べた通り、 I アムペアの電流が R オームの抵抗に t 秒間通じた場合の電流のエネルギー即ち電力量はジュールの法則から次の様に表はされる。

$$W = I^2 R t \text{ ジュール} \quad (1)$$

之をかきかへると、

$$W = (IR) \times (It) \text{ ジュール} \quad (2)$$

然るに、 IR はオームの法則により R の両端の電圧に等しいから、その電圧を E ヴォルトとすれば、之を (2) に代入して次式が得られる。

$$W = E \times It \text{ ジュール} \quad (3)$$

即ち、 E ヴォルトの電圧が加へられて I アムペアの電流が t 秒間通じたものの電力量 W ジュールは、その電圧、電流、秒数の相

乗積である。

次に、 I アムペアの電流が t 秒通じた場合の電氣量を Q クーロムとすれば、既に第三章 49 節で述べた通り、 $I = \frac{Q}{t}$ アムペアであるから、 $It = Q$ クーロムである。之を (3) 式に代入すれば、

$$W = E \times Q \text{ ジュール} \quad (4)$$

即ち、 E ヴォルトの電圧で Q クーロムの電氣量が通過した時の電力量 W ジュールは、その電圧と電氣量との相乗積である。

例題 36. 或る 16 燭光の白熱電燈に 100 ヴォルトの電圧を與へると、0.2 アムペアの電流通ずる。此電燈を 100 ヴォルトの電圧で毎日 5 時間宛 30 日間點じた場合、30 日間には電力量は幾何になるか。

解 一日即ち 5 時間では電力量

$$= 100 \times 0.2 \times (5 \times 60 \times 60) = 360\,000 \text{ ジュール}$$

$$= \frac{360\,000}{3\,600} \text{ ワット時} = 100 \text{ ワット時}$$

故に 30 日間にはその 30 倍の電力量

$$= 100 \times 30 = 3\,000 \text{ ワット時}$$

$$= \frac{3\,000}{1\,000} \text{ キロワット時} = 3 \text{ キロワット時}$$

88. 電氣のパワーを電力と云ふ

時間に對する仕事の割合をパワーと稱する事は既に力學で習つただらう。電流も

仕事をするからそのパワー即ち時間に對する電力量の割合を電力と稱する。故に電力と電力量と時間との間には次の關係がある。

$$[\text{電力}] = \frac{[\text{電力量}]}{[\text{時間}]}$$

例へば、 t 秒間に電流がなした仕事を W ジュールとすれば、此時の電力 P は次式で表はされる。

$$P = \frac{W}{t} \text{ ワット}$$

次に、前節で述べた通り、 E ヴォルトの電壓を負荷に與へて之に I アムペアの電流が t 秒間通じた場合の電力量 W は、

$$W = EIt \text{ ジュール}$$

であるから、此負荷の電力 P は、

$$P = \frac{W}{t} = \frac{EIt}{t} = EI \text{ ワット}$$

即ち電力は電壓と電流との相乗積で表はされる。即ち

$$[\text{電力のワット数}] = [\text{電壓のヴォルト数}] \times [\text{電流のアムペア数}]$$

電力の単位にはワットの外に、キロワットと云ふ単位も使はれる。さうして1キロワットとは1000ワットの事である。大なる電力を測る場合には此キロワットなる単位を使ふ。

次に R オームの抵抗に I アムペア通じて居る場合は、毎秒につき $I^2 R \times 1 = I^2 R$ ジュールの仕事をなすから、此ものの電力は $I^2 R$ ワットである。

尙ほ機械のパワーの単位として従來使用されて居る馬力と云ふ

単位は746ワットに相當する。

例題 37. 或 16 燭光の電燈に 100 ヴォルトの電壓を與へると 0.2 アムペアの電流通ずる。此電燈の電力は何ワットか。

$$\text{解 } P = EI = 100 \times 0.2 = 20 \text{ ワット}$$

例題 38. 或る電熱器に 200 ヴォルトの電壓を與へるとき之には 15 アムペア通ずると云ふ。此電熱器の電力は何ワットか。

$$\text{解 } P = EI = 200 \times 15 = 3000 \text{ ワット} = 3 \text{ キロワット}$$

例題 39. 抵抗 $R = 500$ オームのものに電流 $I = 0.2$ アムペア通じた時の電力は何ワットか。

$$\text{解 } P = I^2 R = 0.2^2 \times 500 = 0.2 \times 0.2 \times 500 = 20 \text{ ワット}$$

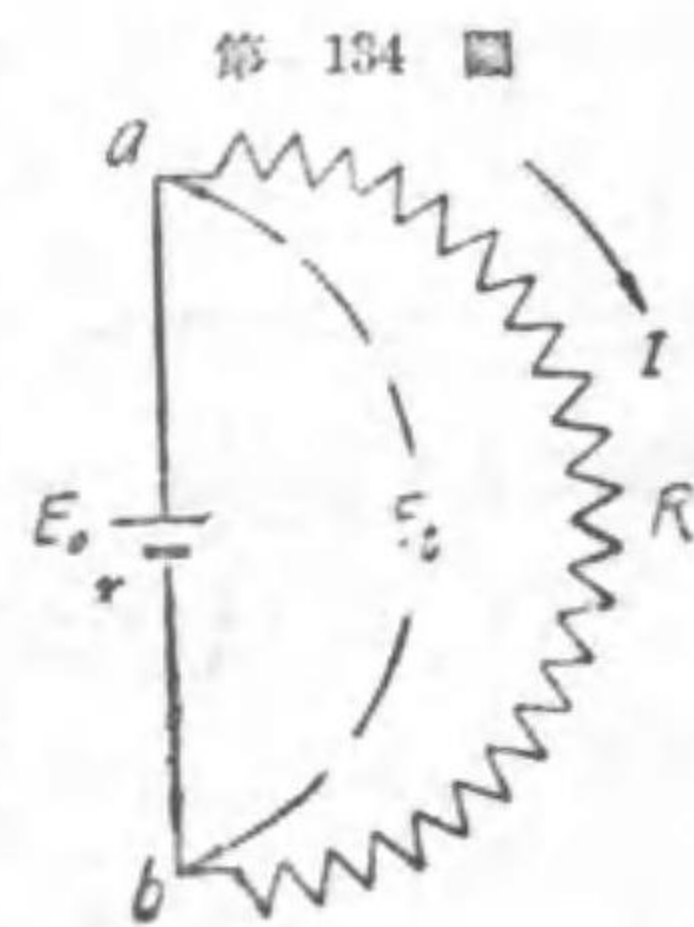
$$\text{別解 電壓 } E = IR = 0.2 \times 500 = 100 \text{ ヴォルト}$$

$$\therefore \text{電力 } P = EI = 100 \times 0.2 = 20 \text{ ワット}$$

89. 電源の發生電力と出力

第 134 圖に示す様に、

起電力 E_0 ヴォルト内部抵抗 r オームの電池の兩端子 a, b に R オームの外部抵抗を接続して、 I アムペアの電流通じ居る電路ありとしよう。此場合電源の發生電力と外部への供給電力とを考へて見よう。今 I アムペアの電流が t 秒間通じたとすると、此 t 秒間に R オームには $I^2 R t$ ジュール、又電池の内部抵抗 r オーム内には $I^2 r t$ ジュールの熱エネルギーが



費やされる。此二つのエネルギーを與へた基は勿論電源であるから、エネルギー不滅の法則により、電源で發生されたエネルギーを W_0 ジュールとすれば、之は上の二つのエネルギーの和である。即ち

$$W_0 = I^2 R t + I^2 r t \text{ ジュール}$$

故に電源内で發生される毎秒のジュール數即ち電力 P_0 は、

$$P_0 = \frac{W_0}{t} = \frac{I^2 R t + I^2 r t}{t} = I^2 R + I^2 r \text{ ワット} \quad (1)$$

即ち電源の發生電力 P_0 は、電源が外部へ供給する電力 $I^2 R$ ワットと電池の内部抵抗 r 内に費やさるゝ電力 $I^2 r$ ワットとの和である。

(1) 式を書きかへると、

$$P_0 = I \times (IR + Ir) \text{ ワット} \quad (2)$$

然るに圖から明かに、キルヒホッフの第二法則から、 $IR + Ir = E_0$ 故に之を (2) 式に代入すると、

$$P_0 = IE_0 \text{ ワット} \quad (3)$$

即ち電源の發生電力 P_0 はその電源の起電力 E_0 と之に通ずる電流 I との相乗積である。

次に、(1) 式の右邊第一項即ち外部への供給電力 $I^2 R$ ワットを書きかへると、

$$I^2 R = I \times IR \text{ ワット}$$

然るに圖から明かに IR は ab 間の電壓即ち電源の端子電壓 E_i で

ある。即ち、 $IR = E_i$ 之を上式に代入すると、

$$I^2 R = IE_i \text{ ワット}$$

即ち電源から外部へ供給する電力は電源の端子電壓 E_i と電流 I との相乗積に等しい。此電源から外部へ供給する電力を電源の出力と稱する。故に電源の出力とは電源の端子電壓と電流との相乗積である。

電源の出力を P_1 ワット、又電源の内部抵抗に費さるゝ電力を P_2 ワットとせば、(1) 式から明かに、

$$P_0 = P_1 + P_2$$

[發生電力] = [出力] + [電源の内部抵抗に費さるゝ電力]

斯様に電池の出力は必ず電池の發生電力よりその内部抵抗に費さるゝ電力丈け少いものである。而して此内部抵抗に費さるゝ電力 P_2 は電池を熱する無益の電力である。電源の出力 P_1 の發生電力 P_0 に対する比を電氣能率と稱する。即ち

$$\text{電氣能率} = \frac{\text{出力}}{\text{發生電力}} = \frac{P_1}{P_0}$$

此能率は1より小なる數で、普通之をパーセント(百分率)で表はす。

例題 40. 起電力 $E_0 = 1$ ヴォルト、内部抵抗 $r = 0.15$ オームの電池に $R = 1.85$ オームの抵抗を接続した時、電池の發生電力、出力及電氣能率を求めよ。

解 此時の電流 $I = \frac{E_0}{r + R} = \frac{1}{0.15 + 1.85} = \frac{1}{2} = 0.5$ アムペア

故に発生電力 $P_0 = E_0 I = 1 \times 0.5 = 0.5$ ワット

又端子電圧は

$$E_t = E_0 - Ir = 1 - 0.5 \times 0.15 = 1 - 0.075 = 0.925 \text{ ヴォルト}$$

故に出力 $P_1 = E_t I = 0.925 \times 0.5 = 0.4625$ ワット

$$\text{故に、電池の電気能率} = \frac{P_1}{P_0} = \frac{0.4625}{0.5} = 0.925 \text{ 之をパーセント}$$

で表はせば、 0.925×100 パーセント = 92.5 パーセント

90. 能率 前節に述べた電池では電気能率を以て其電池がどんなに有効に働いて居るかを見ることが出来る。然し発電機の様な電源だと、之は水車（又は蒸汽機械か）で運轉して発電する。即ち機械的エネルギーを発電機に與へて、発電機で電気エネルギーに變へて電線で之を外部の負荷に送る。今單位時間に付いてのエネルギー即ちパワーに就いて考へて見よう。水車から発電機に與へられたパワー〔之を発電機のと稱する〕の内幾分かは発電機の廻轉部分の摩擦とか空氣抵抗等に無益に費やされる。従つて発電機の内部抵抗による無益の電力が少くて電気能率が良い場合でも摩擦や空氣抵抗等による無益のパワーが多ければ、発電機が外部に供給する電力即ちその出力は可成り小さくなる。依つて発電機がどんなに有効に働いて居るか情けて居るかを表はすには、その入力に對する出力の比が大きいか小さいかで分かる。此入力に對する出力の比を発電機の能率と稱する。即ち、

$$\text{能率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \quad (\text{イ})$$

発電機運轉のために無益に費やされた全パワー即ち損をした全パワーを總損失せんしつと名付ける。従つてエネルギー不滅の法則から單位時間に付いて考へると、入力は出力と總損失との和である。即ち

$$\text{入力} = \text{出力} + \text{總損失} \quad (\text{ロ})$$

$$\text{出力} = \text{入力} - \text{總損失} \quad (\text{ハ})$$

故に(ロ)又は(ハ)を(イ)に代入して、発電機の能率は次の様にも表はされる。

$$\text{能率} = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{總損失}} \quad (\text{ニ})$$

$$\text{能率} = \frac{\text{入力} - \text{總損失}}{\text{入力}} \quad (\text{ホ})$$

発電機に限らず凡て機械の能率はその機械の入力に對する出力の比で表はす。従つて上の(イ)、(ニ)、(ホ)何れの式で表はしてもよい。

例題 41. 85 キロワットの出力で運轉せる発電機あり、此場合の總損失が9 キロワットなりと云ふ。此時の発電機の入力及び能率を求めよ。

解 入力 = 出力 + 總損失 = 85 + 9 = 94 キロワット

$$\text{能率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} = \frac{85}{94} = 0.904 \text{ 即ち } 90.4 \text{ パーセント}$$

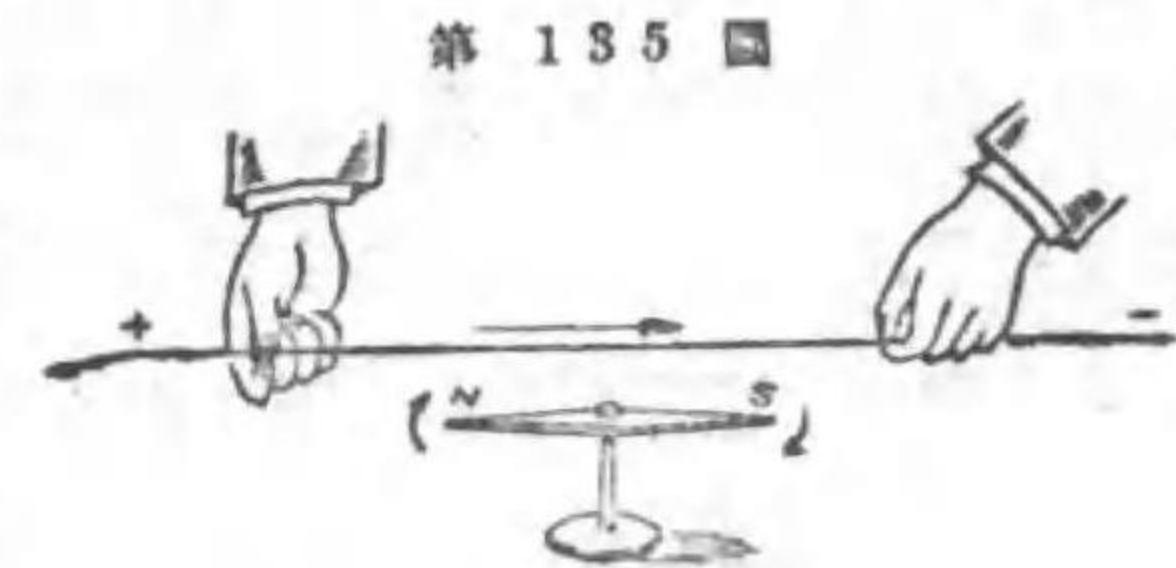
練 習 問 題 VIII

1. エネルギーとは何か。又エネルギー不滅の法則を述べよ。
2. ジュールの法則を述べよ。
3. 電力量と電力との區別を述べよ。又キロワット時とキロワットとは夫々何の単位か。
4. 機械の能率とは何を意味するか。
5. 20 オームの電線に 5 アムペアの電流が 10 時間通じた時のエネルギーは幾何か。又その電力は幾何か。

答 エネルギー=5 キロワット時, 電力=500 ワット

第 九 章 電流の磁気作用及鐵の磁化

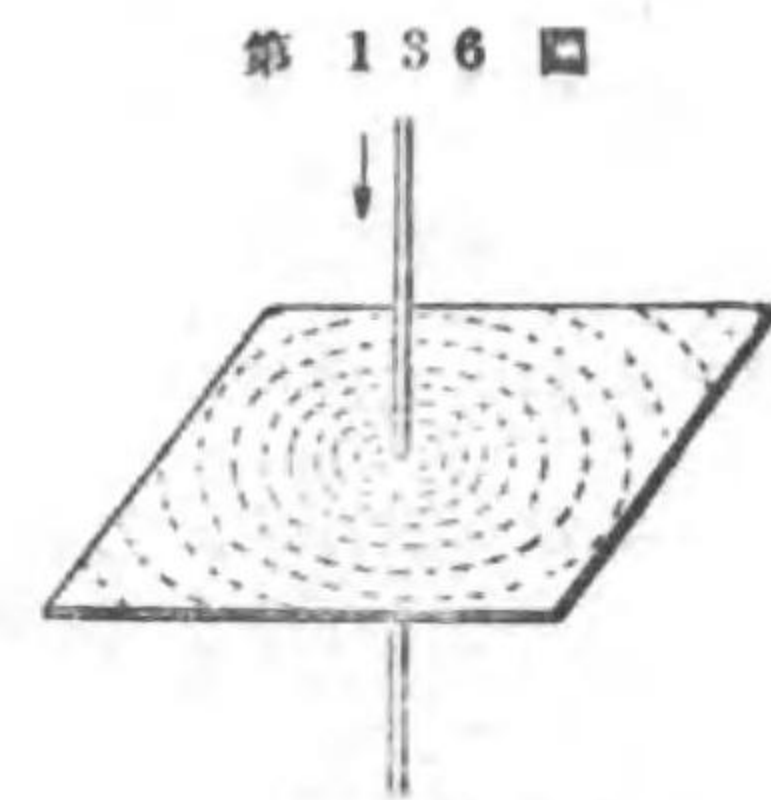
91. 電流が通ると其周圍に磁線が出来る 今磁針の上に之と平行に電流の通つて居る電線を持つて來ると、磁針は必ず第 135 圖に示してある矢の方向に動いて電線と十文字に傾く。若し電流を断つと磁針は元の南北の位置に戻る。〔之は西曆 1820 年に



エールステッドが発見した實驗である。〕此實驗から電流は磁気作用を有する事が分かる。

電流の磁気作用を示す
エールステッドの實驗

尙ほ板紙の中央に小さな穴とあけ其穴へ電線を真直に通し、此電線に電流を通じ置き、紙の面に鐵粉をまいて之を軽くたたくと、第 136 圖に示す様に、電線を中心として同心圓狀に鐵粉は排列する。これで電線に電流が通ずると其周圍は磁界となり磁線が出来る事が分かる。

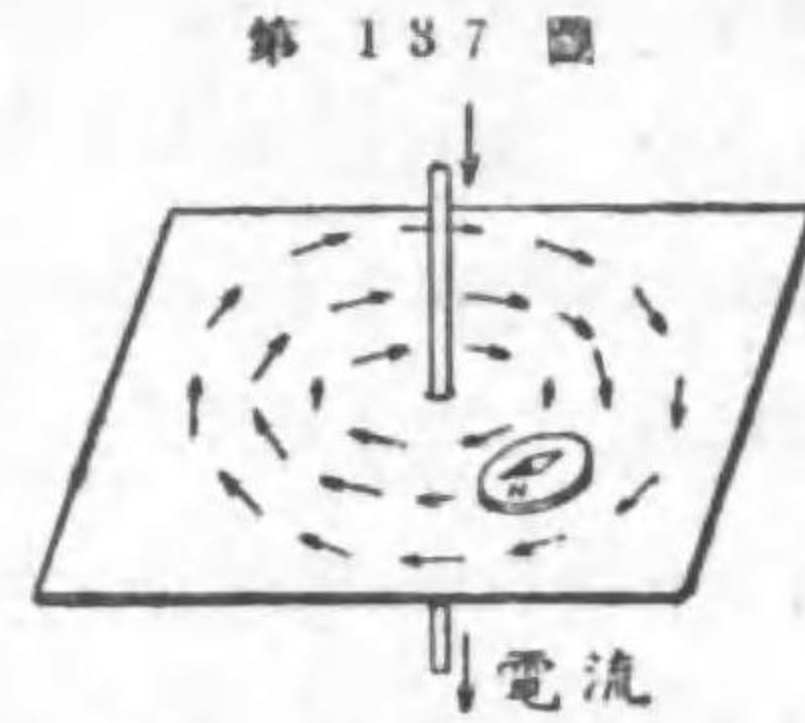


電流の磁気作用を示す實驗

92. 電流の方向と磁線の方向とは右螺子の進

む方向と之を廻はす方向とて表はされる 前節の

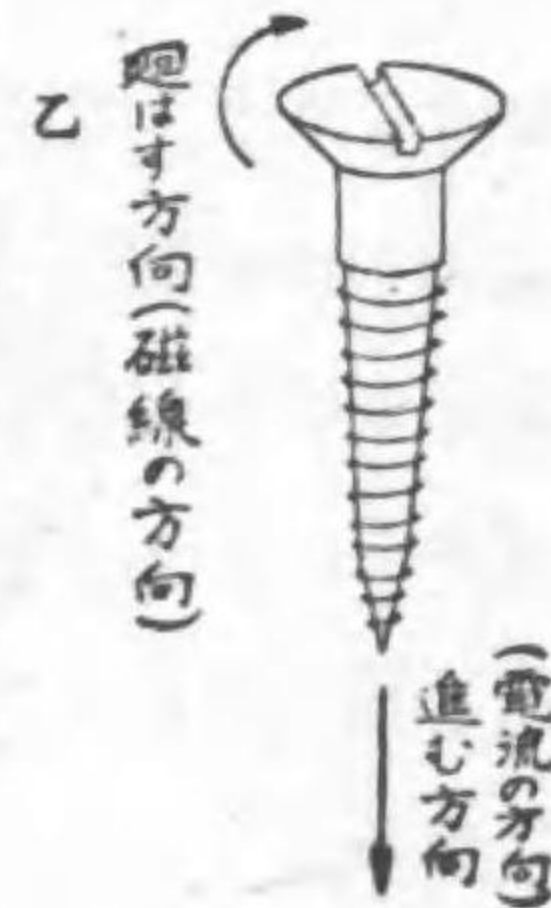
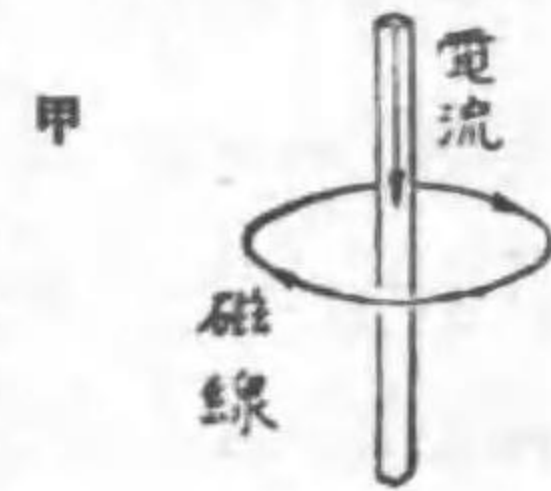
様に、電線に電流が通ると之によつて其圍に磁線が出来る、そんなら電流の方向と之によつて生ずる磁線の方向とはどんな関係があるか調べて見よう。前節に述べた電流の通つた電線と直角になつて居る板紙の上に一個の小磁針をのせて、之を紙面上の各點に持運んで見給へ、すると第137圖に示す様に、電流が上から下に向ふ方



第137圖 電流の方向と其の磁線の方向との関係を知る實驗

向に通つて居る場合には、磁針のN極は圖に示す様に各位置で小矢の方向に向く。之れが即ち磁線の方向である。即ち電流の方向と磁線の方向とは第138圖甲に示す様な関係がある。之は丁度第138圖乙に示す右螺子の進む方向と廻はす方向とて表はされる。〔右螺子とは之を板などにねぢ込む時、之を時計の針の廻はる方向に廻はして使ふものである。〕此様に真直な電線に通る電流が右螺子の進む方向を取ると、磁線は此螺子を捻込む時廻はす方向になる。之を右螺子の規則と云つて居る。

第138圖

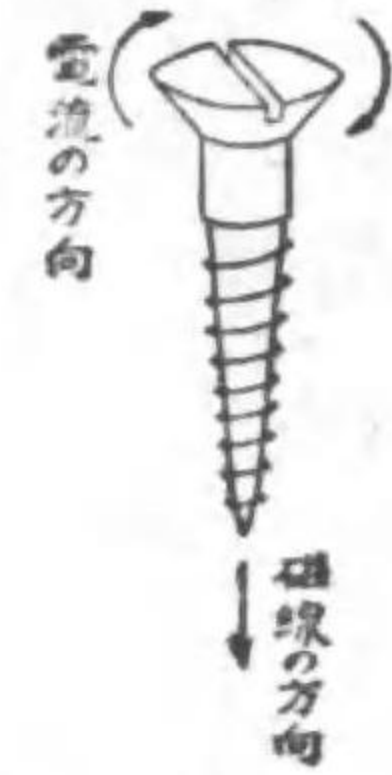
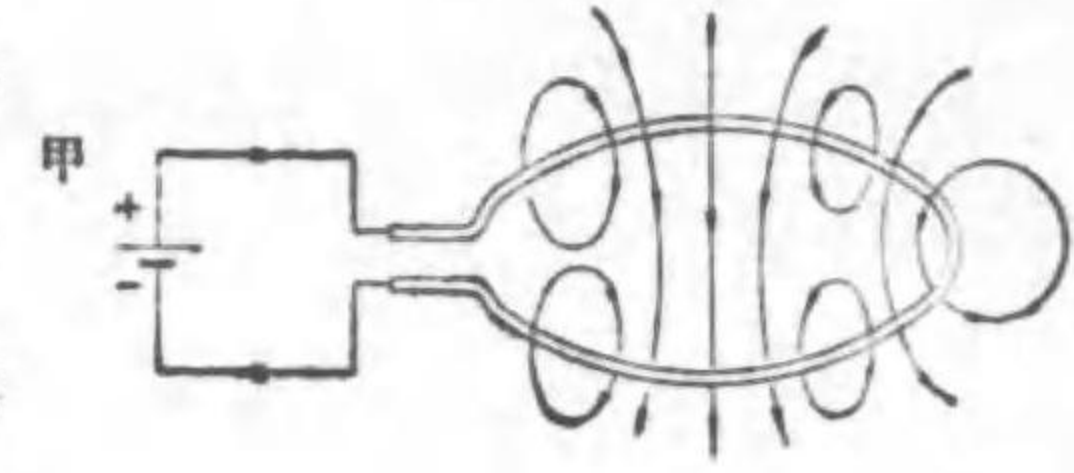


93. 線輪の電流による磁線の方向も右螺子の

規則で分かる 第139圖甲に示す様に、圓形の電線に電流

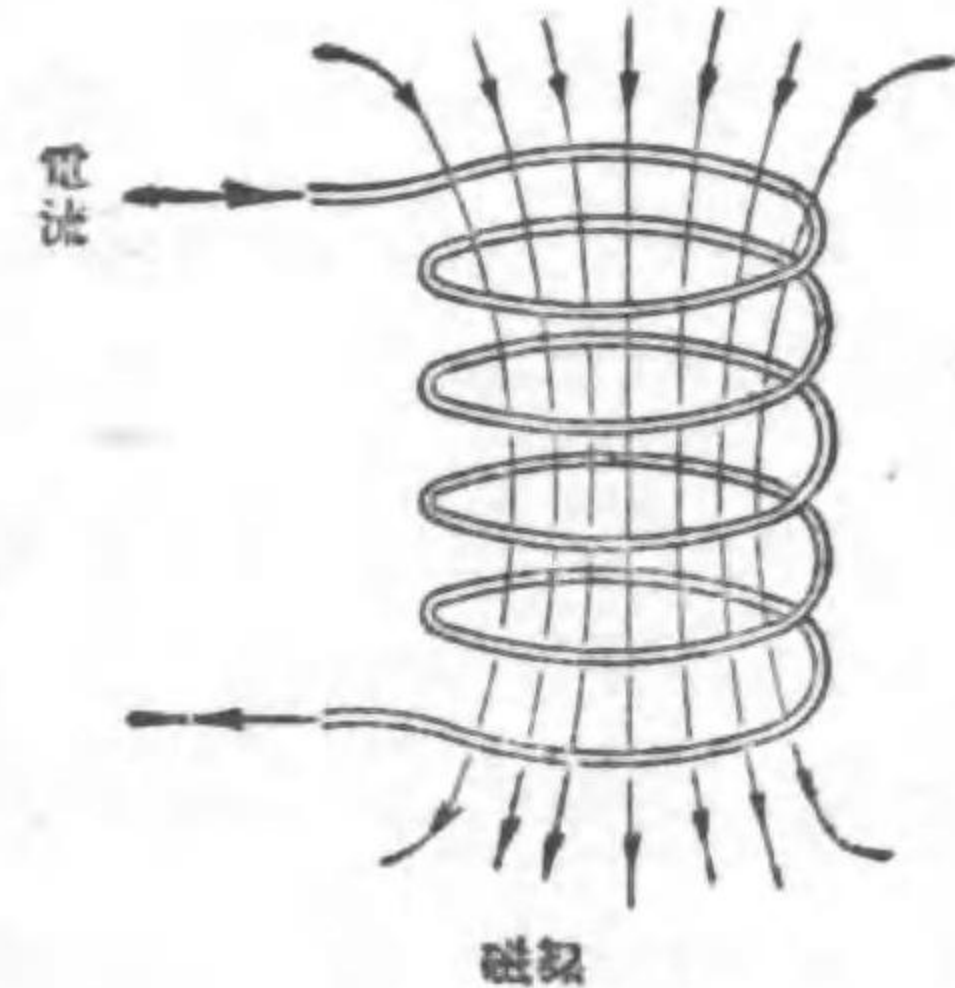
を通じた時矢張り磁線が出来る。此場合も電流の方向と磁線の方向とは右螺子の進む方向と之を廻はす方向とて表はされる。然し此場合には圓形の内側の磁線を考へる時は、電流は圓形にぐるりと廻はるから之を右螺子を廻はす方向とし、内側の磁線の方向を右螺子の進む方向とすると便利である。

第139圖



第140圖

第140圖に示す様に、電線を螺旋狀に捲いたものを線輪（又はコイル）と稱する。此線輪に圖に示す様に電流を通ずると線輪の内部に磁線を生ずる。此磁線の方向は前の圓形電線の場合と同様に、右螺子の規則で分かる。即ち電流の進む方向を右螺子を廻はす方向に取ると、磁線の方向は右螺子の進む方向に向ふのである。又此第140圖から明な様に、電流の通じて居る線輪は棒磁石にたとへる事も出来る。即ち第140圖では、磁線が線輪か



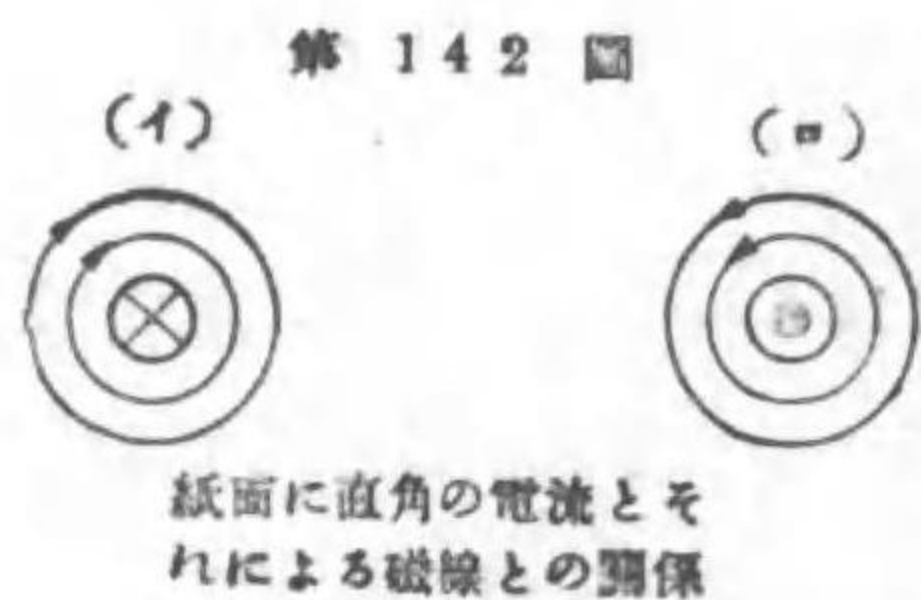
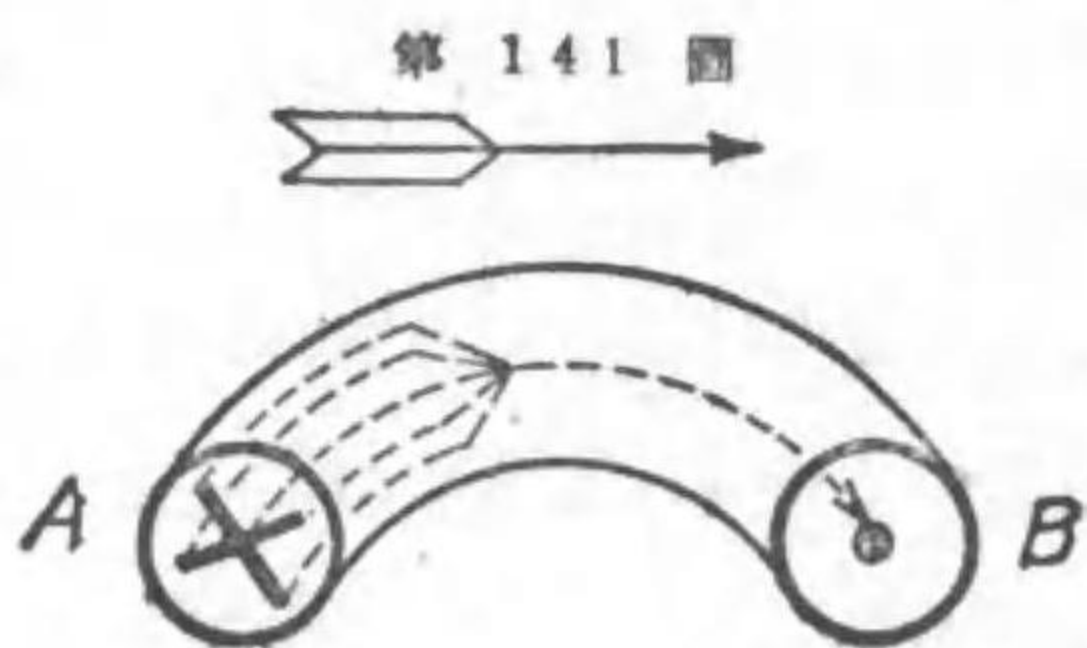
ら出る出口（即ち線輪の下部）が N 極で、磁線の入口（即ち線輪の上部）が S 極なる様な棒磁石と考へる事が出来るであらう。

〔附記〕 紙面に直角な方向の表はし方 電流は其方向を第 141 圖の様に矢印で示すとす

ると、電線内に此矢が在ると A の方から見れば矢の羽根が見え、又 B の方から見れば矢の先端が見える。故に x で

矢の羽根を表はし、• で矢の先を表はして、紙面に直角の場合の電流の方向を示すのである。即ち x は紙面の表から裏へ電流が向ふ符號で、• は電流が紙面の裏から表に向ふ符號として使用する。

例へば、紙面に直角なる電線に電流が通じた場合はその電流によつて生ずる磁線の方向は右螺子の規則によつて第 142 圖の様になる事が分るだらう。



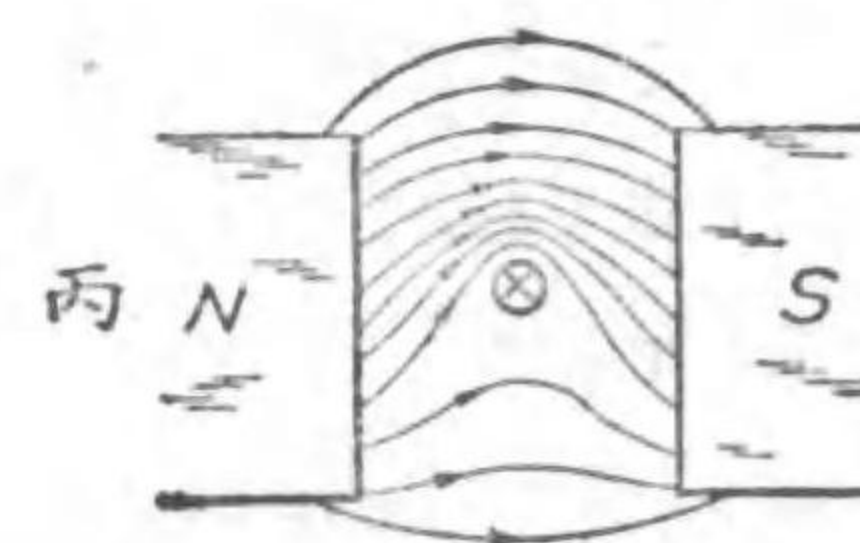
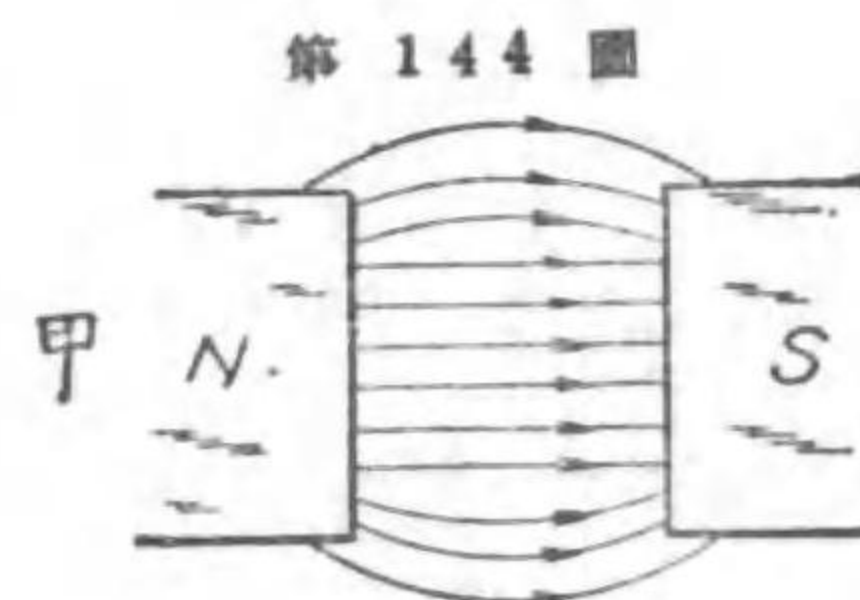
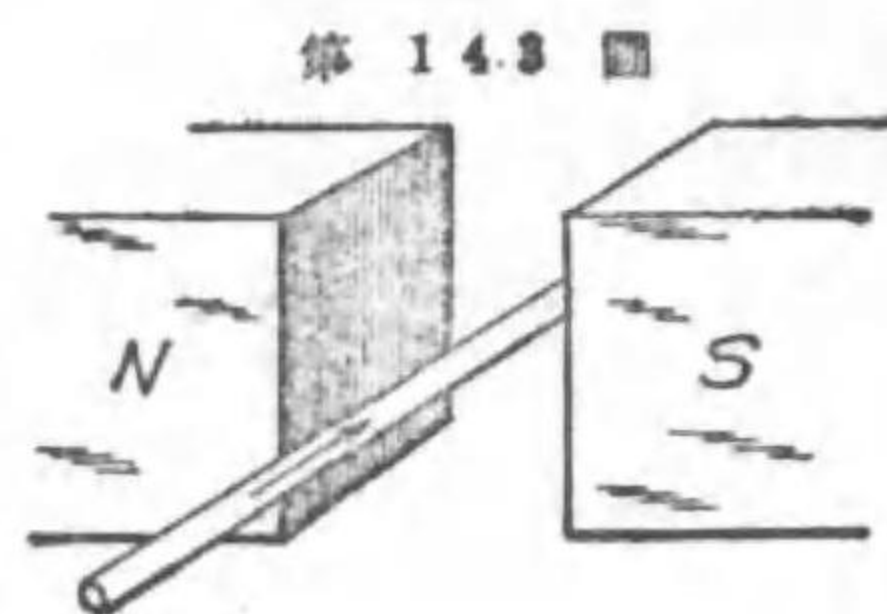
94. 磁線と電流との相互間に作用する力

第 143 圖の様に、磁石 N, S の兩極間に作られた磁界内に真直な電線を置き、之に圖に示す方向に電流を通ずると電線は下方に押しやられる事を實驗する事が出来る。其理由を考へて見よう。今 N, S のみ有る場合は、第 144 圖甲の様に N から S の方へ向ふ磁線

が生じて居る。又若し N, S は無くして電流の通じて居る電線のみが在る場合は、その電流によつて生ずる磁線は右螺子の規則によつて乙圖に示す方向に生ずる。依つて N, S の作る磁線の在る處即ち磁界内に、電流の通じて居る電線を置く

と（即ち第 143 圖の様な場合）、甲圖と乙圖の兩磁線が合成して、電線の上方は兩磁線が同方向の爲め密となり、電線の下方は兩磁線が反方向のため粗となり、結局丙圖に示す様になる。然るに磁線は收縮しようとする性質があるから、その收縮力のために電線は下方に押しやられる力が作用する譯である。此磁線と電流との相互間に作用する力を電磁力と稱し、磁

線と電流との作用を電磁作用と稱する。さうして、磁界の強さが大なる程、又電線の電流の強さが大なる程、又磁界内に在る電線部の長い程大なる電磁力を生ずるのである。従つて電磁力は磁界の強さと電流の強さと磁界内に在る電線部の長さとの相乗積に比



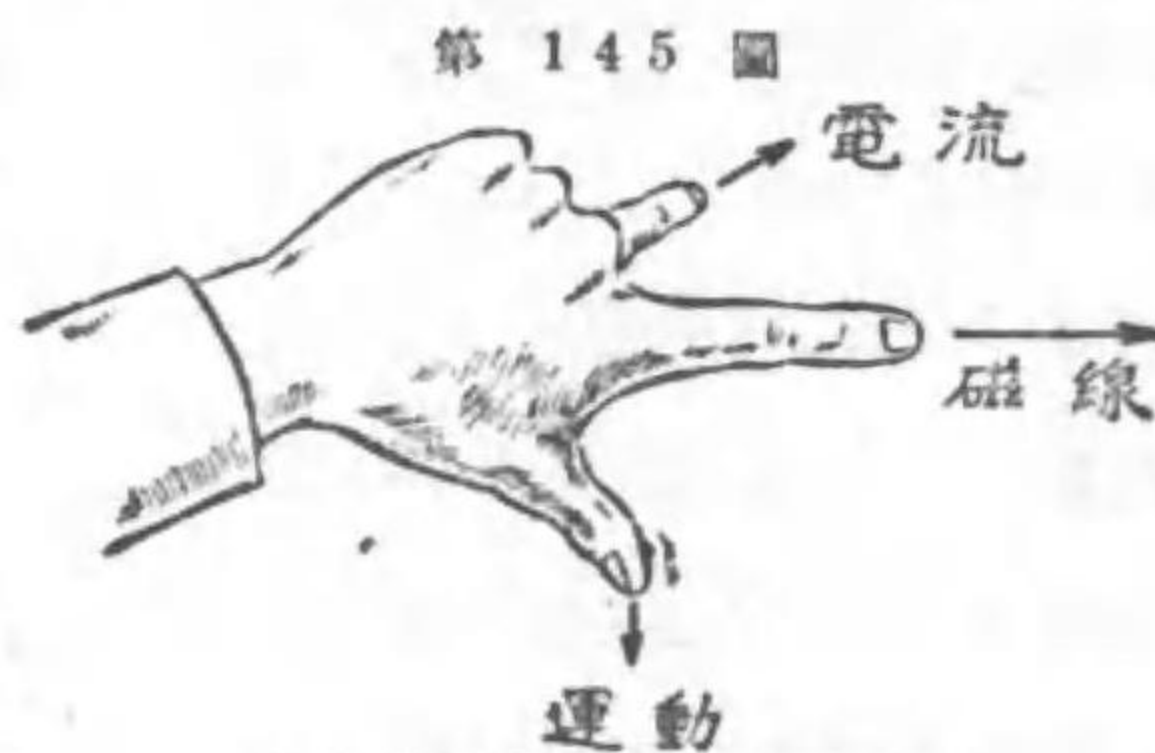
磁線と電流との相互作用の説明

例する。

95. フレーミングの左手三指の規則

前節で述べた通り、磁界内に在る電流は電磁力を受けて運動する。此場合磁線の方向、電流の方向及電線の運動の方向の三つの関係は前に述べた様に理論で考へてもよいが、之を簡単に知る方法がある。

第145圖に示す様に、左手を出しておやゆび 中指、ひとさしゆび 食指、ななゆび 中指の三指を互に直角になる様に開き、先づ食指を磁線磁線の方向に向け、中指を電流の方向に向けると、電線は中指の方向に運動する。之を



第145圖
磁線が電流の通ざる電線に及ぼす運動の方向を知る法 (フレーミングの左手三指の規則)

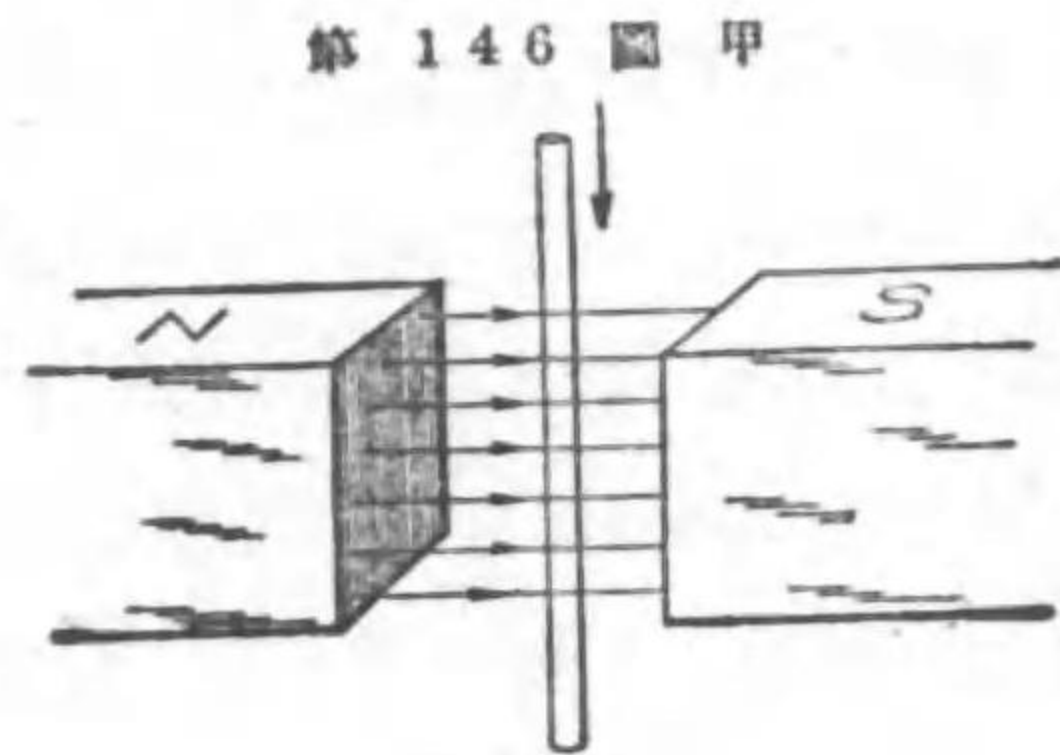
フレーミングの左手三指の規則と云ひ、電磁力の方向を知るに便利な方法である。第145圖は前節の第143圖の場合の左手の位置を示して居る。

第94節の電磁作用即ち磁線と電流とによつて力を生ずるから、此電磁作用を應用すると電氣エネルギーを機械的エネルギーに變へる事が出来る。従つて電磁作用を應用して電動機、其他電壓計、電流計檢流計等を作る事が出来るから、フレーミングの左手三指の規則をよく覚えておいて貰ひ度い。尙ほ電動機に就いては電氣機械の講義に詳しく述べる。又電壓計、電流計、檢流計等の構造

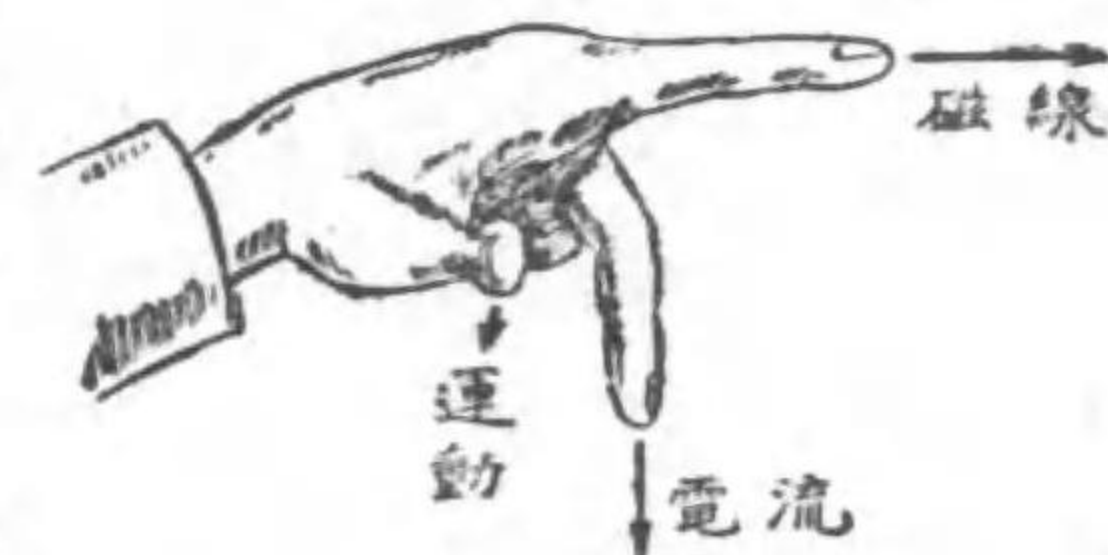
は電氣測定の章で述べる。

例題 42. 第146圖甲に示す様に、磁極 N, S 間に作られた磁界内に真直な電線が垂直に置かれ、之に上から下の方に電流を通ずる場合、此電線は如何なる方向に運動すべきか。

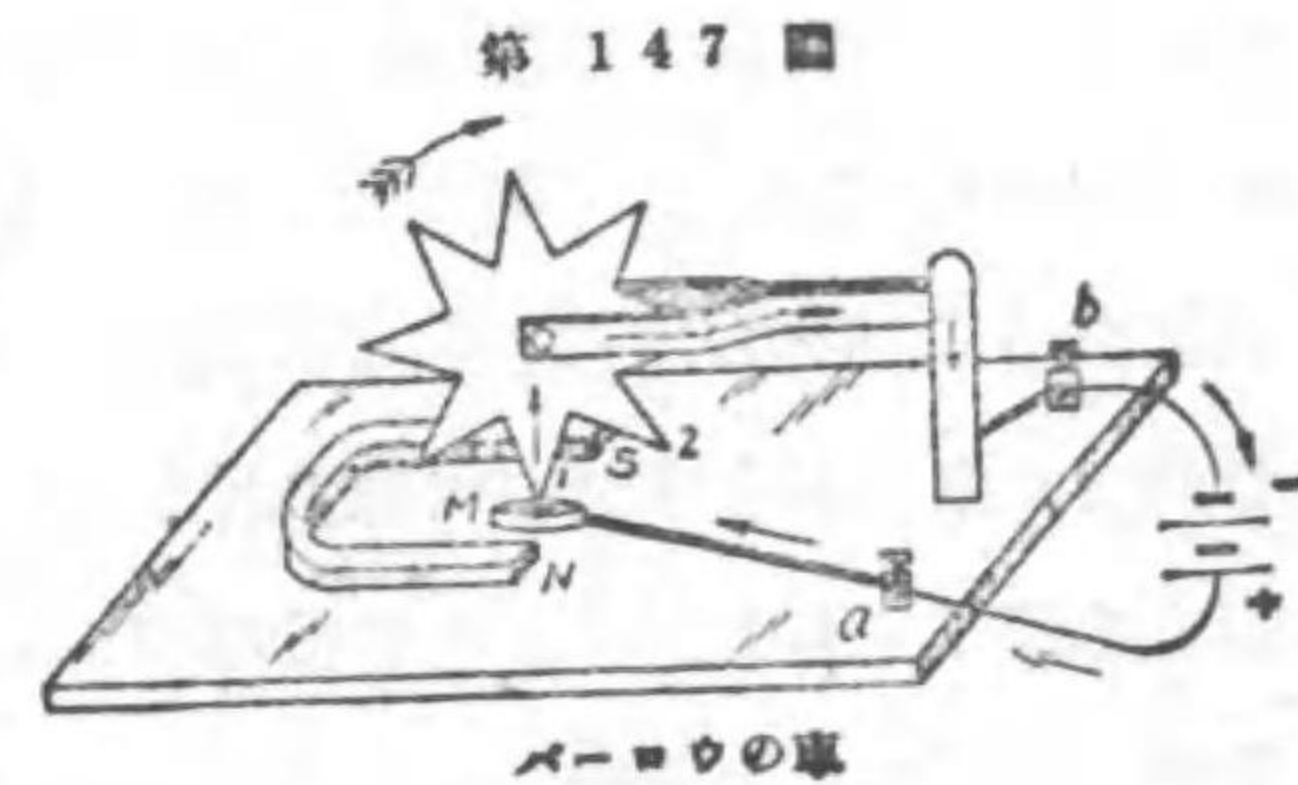
解 フレーミングの左手三指の規則を使つて見よう。磁線は N から S に通ずるから、左から右に向ふ。又電線の電流は上から下に向ふ。依つて先づ第146圖乙に示す様に、食指を磁線の方向に、又中指を電流の方向に向けると、拇指は圖に示す様に自分に向ふのである。此拇指の方向が即ち電線の運動の方向である。



第146圖乙



例題 43. 第147圖に示す様に、水平軸の圓に廻轉し得る星形の金屬車があり、其下部に水銀皿 M が在つて車の星形の一つの尖端が水銀に接する様になつて居る。さうして此圖に示す様に N, S な



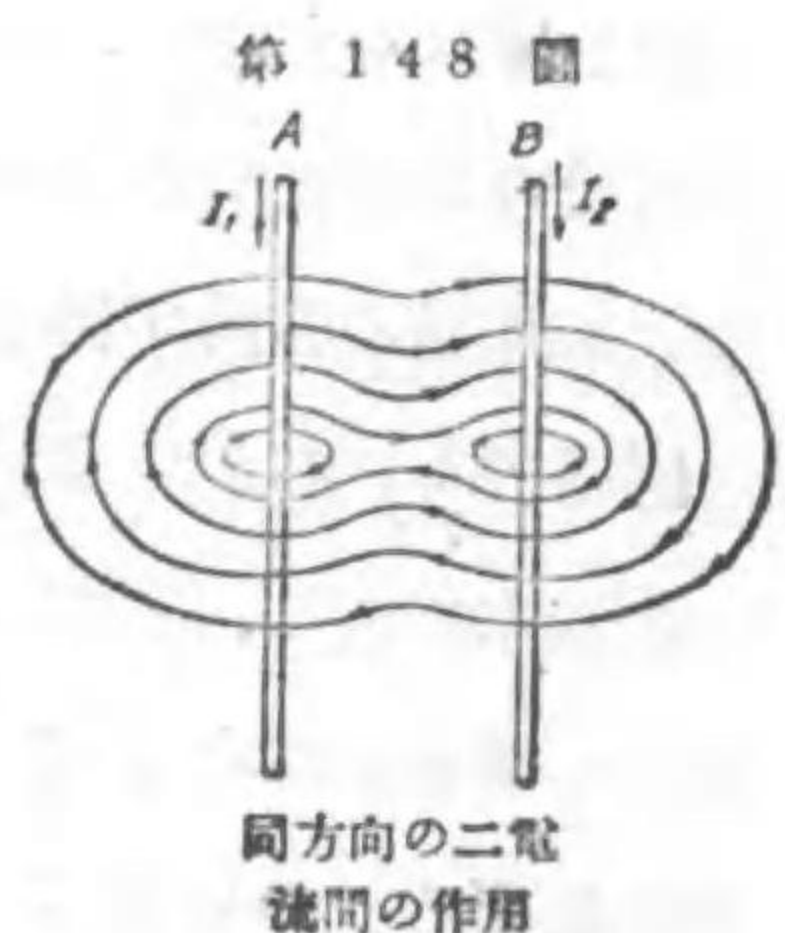
蹄形磁石がある。今電池より圖の様に電流を通ずると、車が廻る。その理由を説明せよ。〔此装置をパーロウ氏の車と云ふ。〕

解 N, S の作る磁界内で、電流が、水銀に接した車の尖端 1 から上の軸心に向つて通ずるから、フレミングの左手三指の規則によつて、車の歯 1 は左方に動く、従つて次の隣の歯 2 が又水銀と接し、之が又左に動く。故に電流を通じて居る間は車は時計式にぐるぐる廻る譯である。之は極く簡単な電動機だと云へる。

96. 電流と電流との間にも力が作用する 電

流は磁線を生ずる。然るに磁線と電流との間には力が作用するから、二つの電線に電流が通じて居る時は其の間に力が働く譯である。

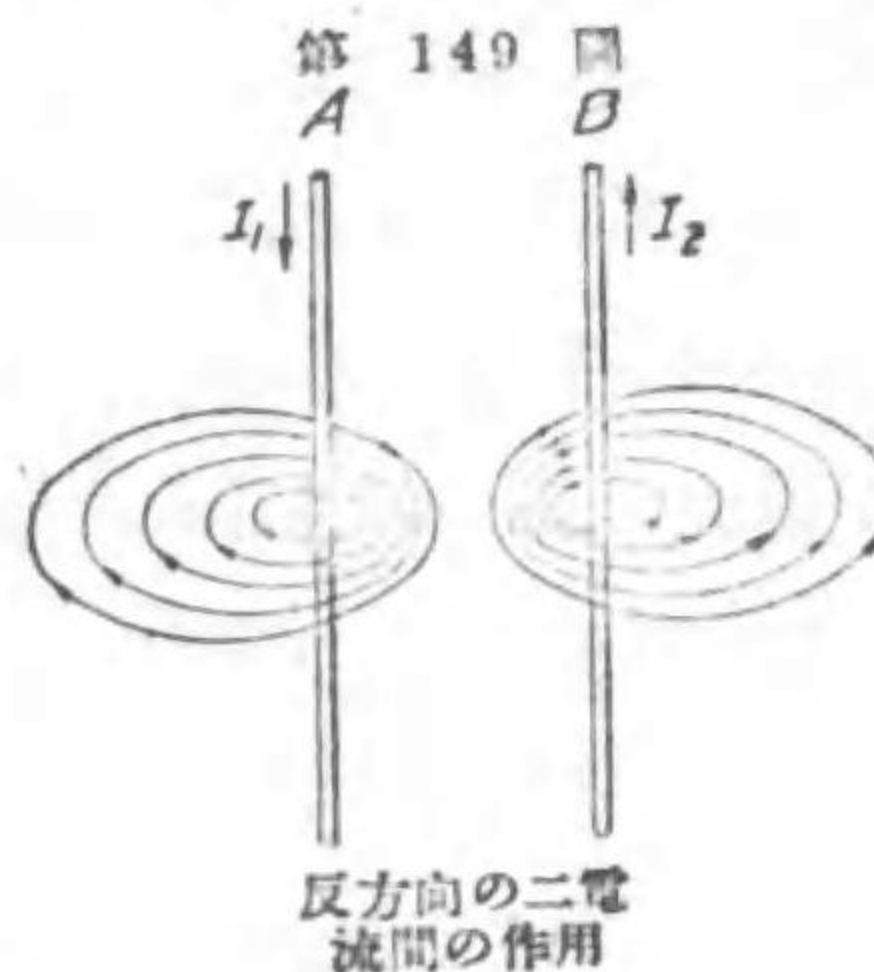
今第 148 圖に示す様に、 A, B 二つの平行せる電線に同方向に（即ち何れも上から下の方向に）電流が通じて居る場合は、 A, B 二つの電線には互に引力が働く事を實驗する事が出来る。之れは A の電流 I_1, B の電流 I_2 による磁線が出来、（其方向は右螺子の規則で



第 148 圖
同方向の二電
流間の作用

分かる）之等が合成されて圖の様な磁線となる。然るに磁線は収縮する性質があるから、その結果 A, B 二つの電線は相近づく即ち吸引力が働く譯である。

若し第 149 圖に示す様に A, B の電線に互に反対方向に電流が通ずる場合は A, B 二つの電線には互に反撥する力が働く事を實驗する事が出来る。その理由は次の通りである。 A, B 各の電流 I_1, I_2 による磁線が出来（その方向は夫々各電流により右螺子の規則で分かる）、その結果第 149 圖に示す様な磁線となる。然るに各磁線は互に隣りの磁線を横におしやる性質がある

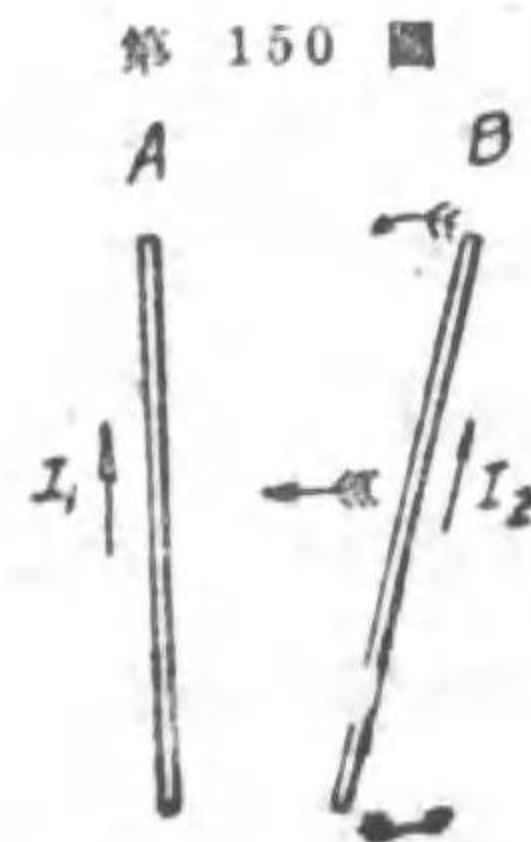


第 149 圖
反方向の二電
流間の作用

から、その結果 A, B 二つの電線は斥け合ふ、即ち互に反撥する力が生ずる譯である。

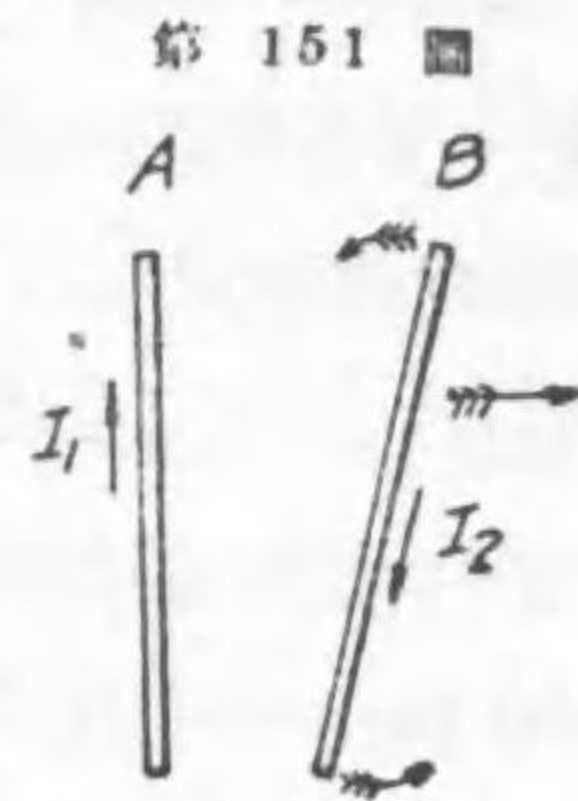
此様に、電流と電流との間には力が作用する。之を電流力作用と稱する。さうして此二電流間の電流力〔即ち二電流同方向の時の吸引力又は二電流反方向の時の反撥力〕は A, B 各の電流 I_1, I_2 の相乗積に比例し、相對する兩電線の長さに比例し、 A, B 二電線の距離に反比例するものである。

尙ほ一般に、 A, B 各電線が互に或傾きをなして居る場合でも、勿論各電流 I_1, I_2 間には電流力が作用する。即ち第 150 圖の様に I_1, I_2 が同方向の場合には、若し B が軽くて動き易いものなら、此 B は廻轉しながら A と平行になり A に吸引される。又第 151 圖



第 150 圖

の様に I_1, I_2 が反方向の場合には、若し B が軽くて動き易いものなら、此 B が廻轉しながら A と平行になり A から反撥される。さうして第 150 圖第 151 圖の様に二電線が互に或角をなして居る時の二電流間の電流力も各電流 I_1, I_2 の相乗積に比例するものである。

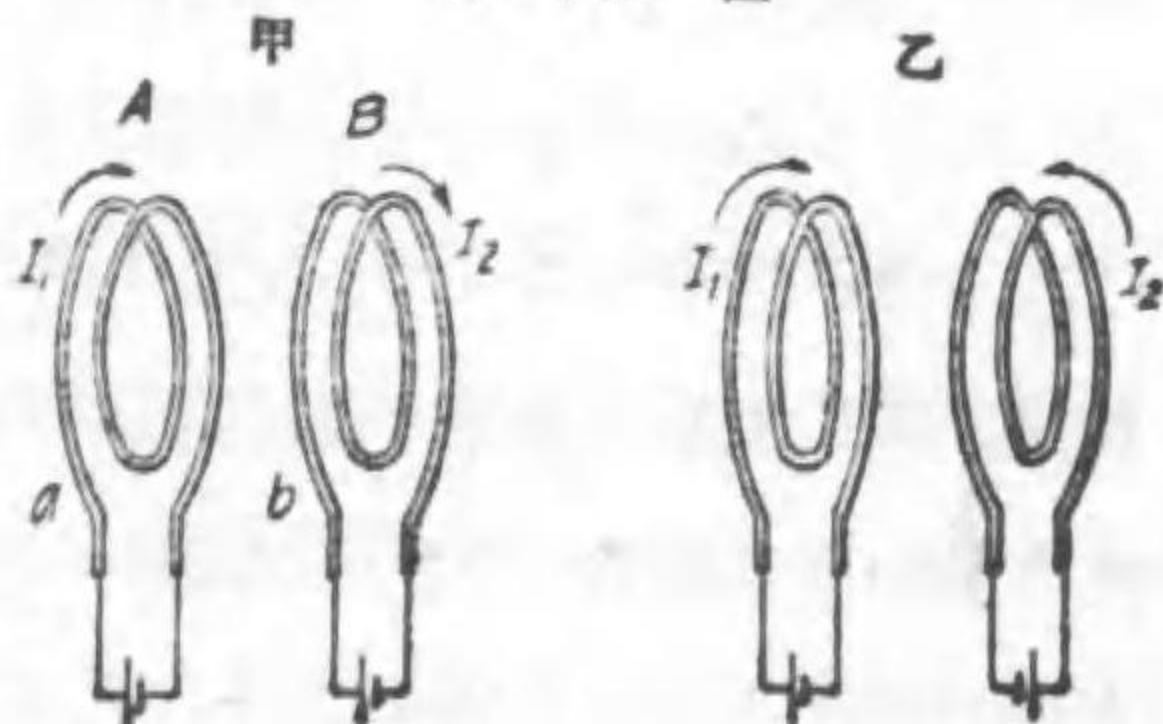


A の電流と B の電流との間の電流力作用は、 A の電流に依つて生ずる磁線と B の電流との相互作用と考へてもよいし、又 A の電流と、 B の電流によつて生ずる磁線との相互作用と考へてもよいから、電流力作用は電磁作用の特別の場合と考へることも出来る。従つて又電流力作用の場合もその力の方向はフレミングの左手三指の規則で考へてもよい譯である。諸君練習として考へて見給へ。

電流計や電壓計などは、此電流力作用を利用して、作る事が出来る。

例題 44. 第 152 圖甲に示す様に、相對する A, B 二つの線輪に同方向に電流通ずる時は

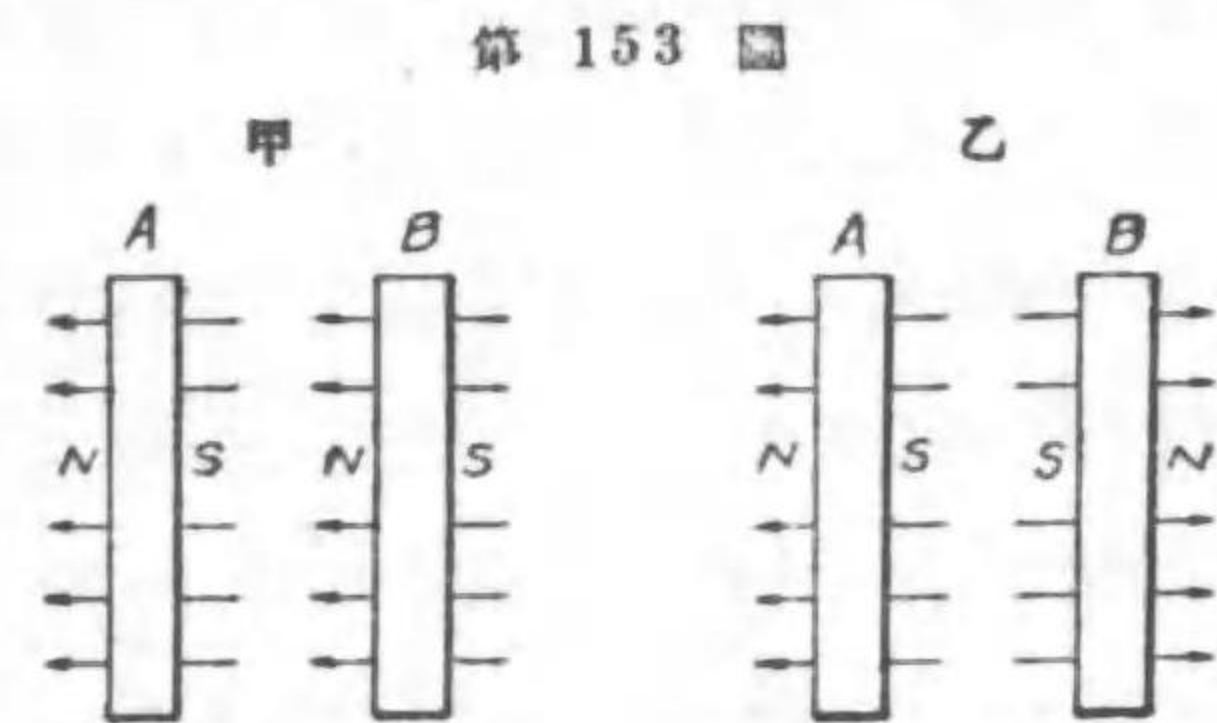
二つの線輪には如何なる力が作用するか。若し又乙圖に示す様に電流の方向を互に反對に通ずる時は如何なる力が作用するか。



第 152 圖

解 第 152 圖甲の様に各電流 I_1, I_2 が同方向に通ずる場合は、各 A, B 相對した近い極小部分〔例へば a 部と b 部と〕は同方向の電流なる故吸引し、従つて線輪全體としても結局 A と B とは吸引する。又之を次の様に考へてもよい。第 152 圖甲の様な電流の通ぜる A, B 各線輪は

其各によつて生ずる磁線から考へると、丁度第 153 圖甲に示す様な薄い圓板の形をした A, B の磁石にたとへられる。相



第 153 圖

對する N, S は互に吸引するから、第 152 圖甲の場合は A, B は互に吸引する。

若し又第 152 圖乙の様に各線輪の電流 I_1, I_2 が反方向に通ずる場合は、各 A, B 相對した近い部分は電流反方向なる故反撥し、線輪全體として反撥する、又之を各により生ずる磁線から考へると、第 153 圖乙に示す A, B の磁石にたとへる事が出来る。故に此場合には A, B 互に相反撥する。

97. 線輪の起磁力はアムペア回數で表はす。

線輪に電流を通ずると磁線が出来て丁度一本の棒磁石の様な働をする事は既に述べた通りである。さうして此場合線輪内の磁力の強さは線輪の捲數の多い程又それに通ずる電流の大なる程大で

ある、即ち磁力は線輪の捲數と電流との相乗積に比例する。此様に磁線を生じて磁力を起す原因を線輪の起磁力きじりきと稱する。従つて線輪の起磁力はその線輪の捲數と之に通ずる電流との相乗積に比例する。然るに線輪の電流はアムペアで表はし、線輪の捲數は何回くわいすうと同數で表はすから、電流と捲數との相乗積をアムペア回數くわいすうと稱する。故に起磁力は線輪のアムペア回數に比例する譯である。従つて線輪の起磁力は實用上アムペア回數を單位として表はす事が出来る。例へば、100 捲の線輪に 2 アムペアの電流が通ずる時は、その起磁力は $2 \times 100 = 200$ アムペア回數である。一般に n 捲の線輪に I アムペアの電流が通じた場合には、その起磁力は In アムペア回數である。

例題 45. 捲數が 50 回の線輪に 2 アムペアの電流通じたら、その起磁力は幾何か。又此同じ線輪に 3 アムペアの電流通じたらその時の起磁力は幾何か。

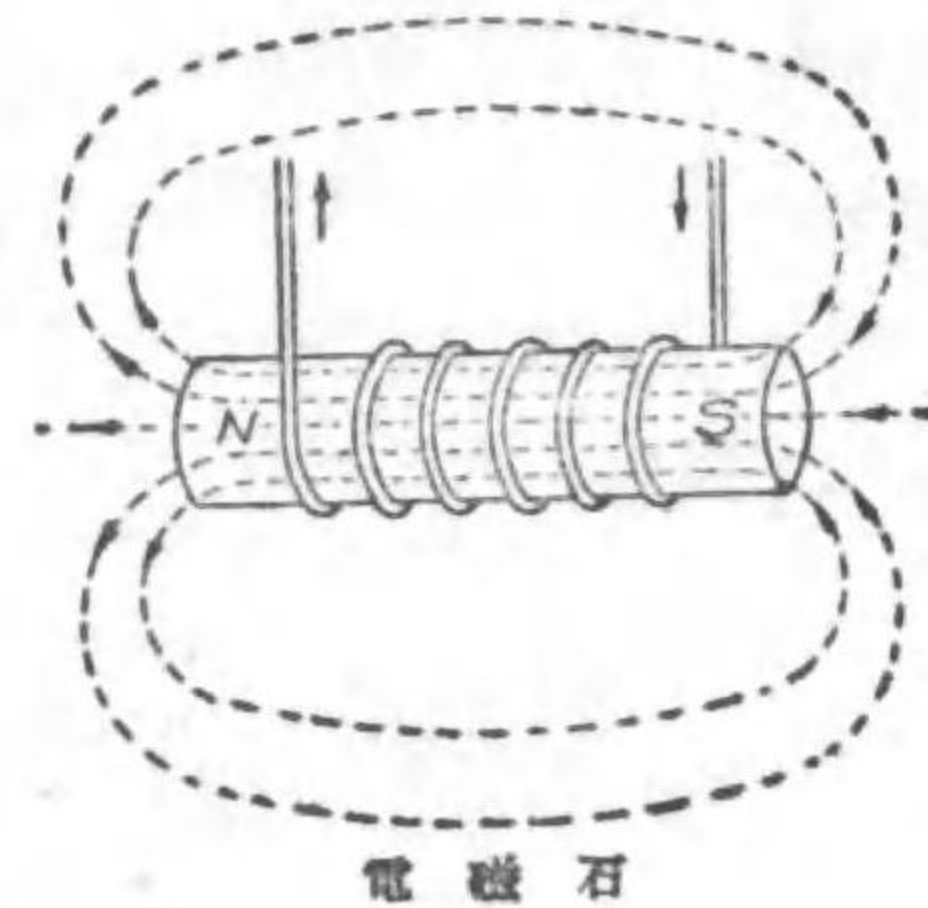
解 2 アムペア通じた時の起磁力 $= 2 \times 50 = 100$ アムペア回數、

3 アムペア通じた時の起磁力 $= 3 \times 50 = 150$ アムペア回數、

98. 電磁石 第 154 圖の様に、線輪内に軟鐵心を入れて、線輪に電流を通ずると、起磁力により線輪の内部従つて鐵心内に磁界が出来て〔その方向は勿論右螺子の規則で分かる〕鐵の磁氣分子は此の磁界の作用によつて磁界の方向に排列し、鐵心は磁化されて強い磁石となる。若し電流を斷つと鐵は受けた磁氣を

殆ど失ひ僅かの残留磁氣ばかりとなる。此様に軟鐵心と線輪とを用ひ、線輪に電流を通じて強い磁石とする者を電磁石でんじしと稱する。さうして此時線輪に電流を通じて鐵を磁化する事を勵磁れいじすると稱する。電磁石の應用は廣い。電鈴、電信、電話を始めとして其他色々の電氣

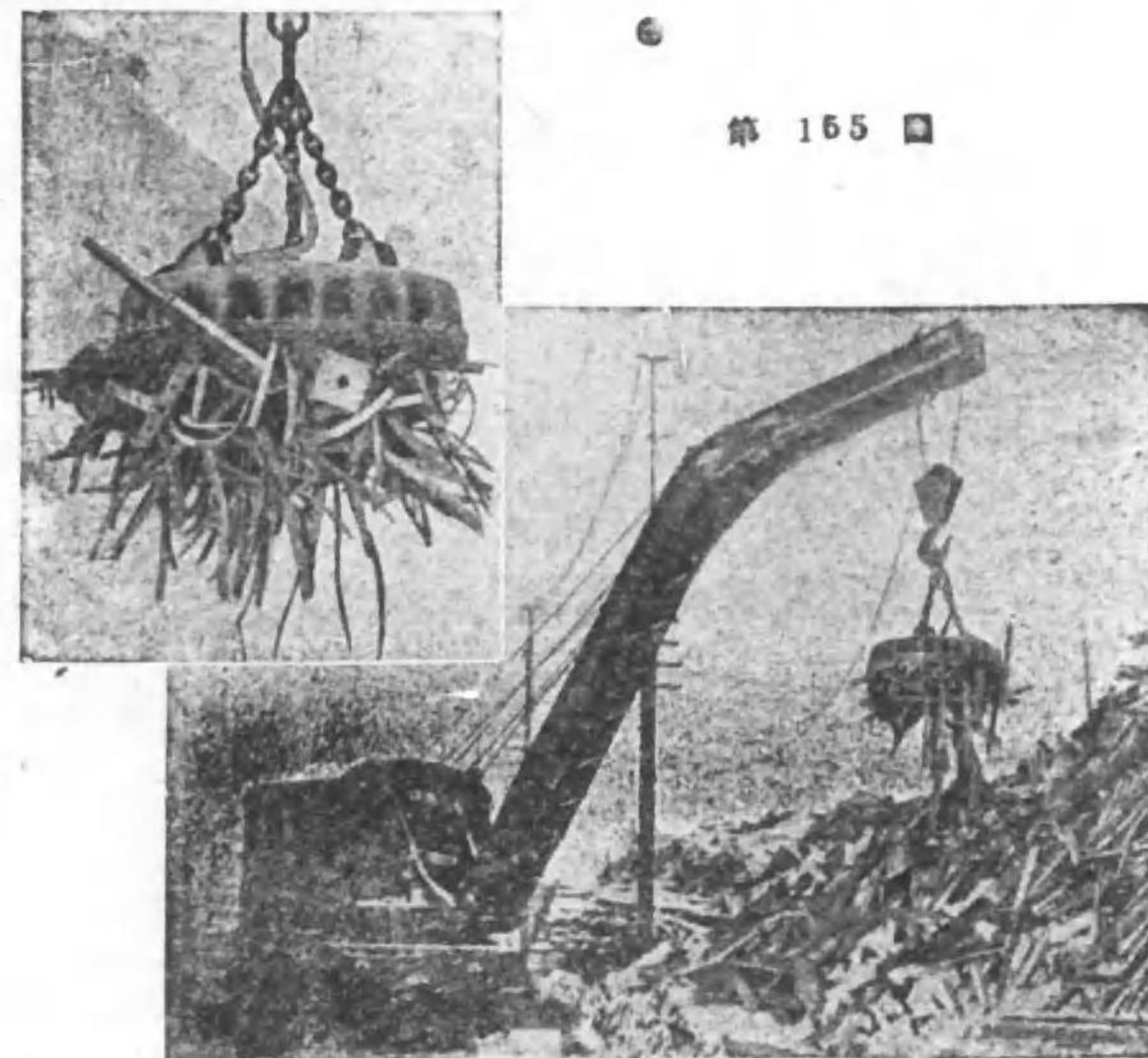
第 154 圖



電 磁 石

機械器具類に用ひられる。鐵材を取扱ふ大工場では此電磁石を扛重機かじゆうきに利用して鐵材の運搬うんぱんに用ひて居る。第 155 圖は扛重機を示

第 155 圖



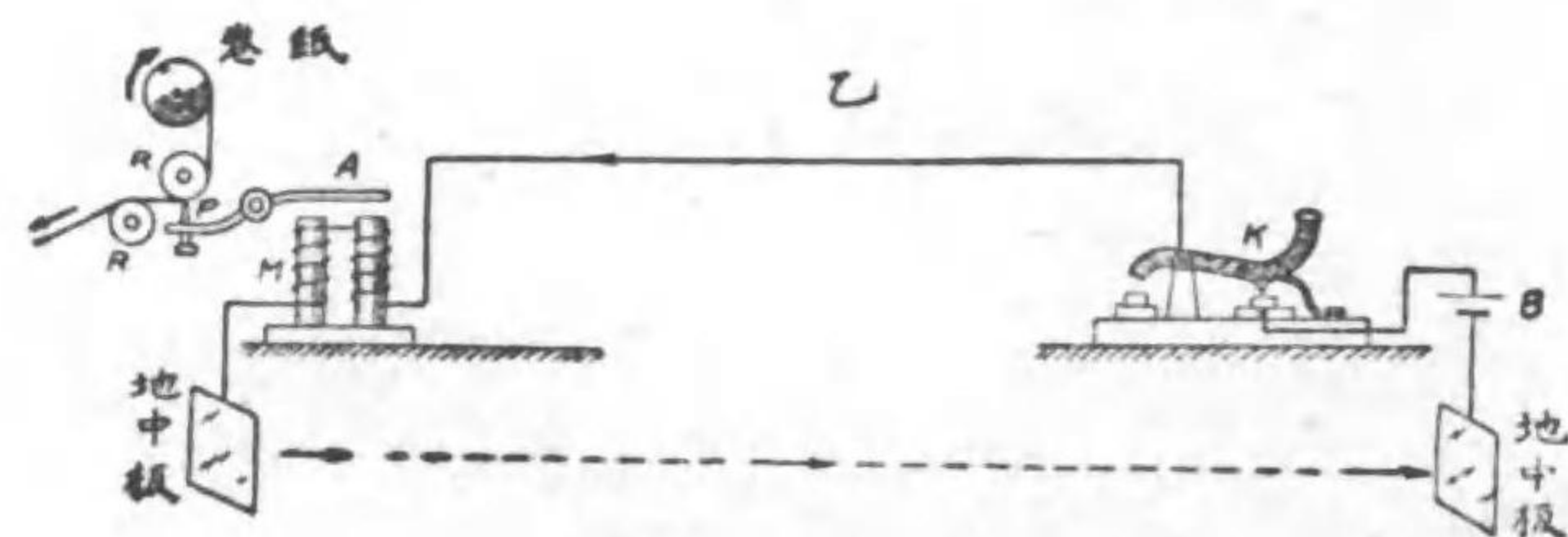
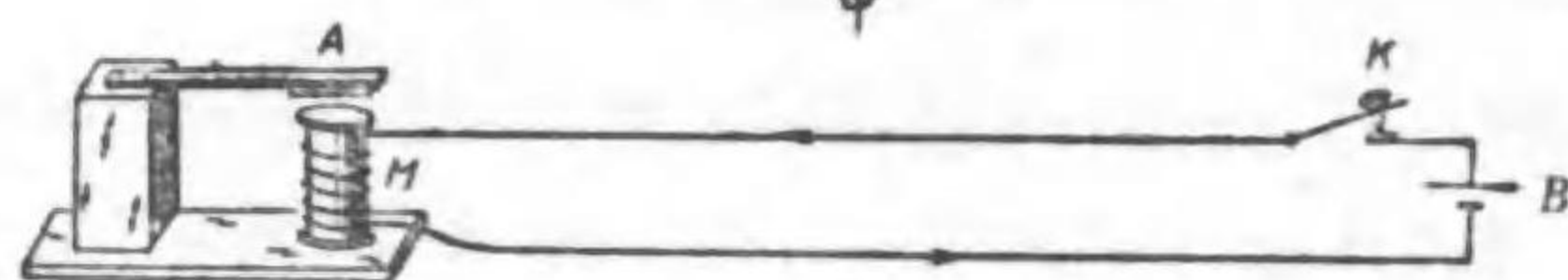
扛 重 機

す。

軟鐵の代りに鋼鐵を用ひて心とし、線輪に電流を通じて此鋼鐵を磁化すれば、線輪の電流を断つても鋼は保磁力が大であるから何時までも磁石となるから、強い耐久磁石を作るには鋼を電流によつて磁化するのである。

99. 電信機 第 156 圖甲に示す様に、電磁石 M に電池

第 156 圖 甲



電信機の原理

B を接続し、電磁石 M の前に軟鐵片 A を置き、押釦 K [之を電鍵と稱する] を押して此回路に電流を通ずる。 K を押して居る間は電流通ずる爲め電磁石 M は磁石となり軟鐵片 A を吸引し、 K を離すと電流は断たれるから M は其作用を失つて A は發條のために元の位置に戻る。故に K を押す時間の長いのと、短いのとによつて A が M に吸引されて居る時間が長かつたり短

かかつたりする。之が電信機の根本原理である。さうして B と K とを發信器、 M と A とを受信器と稱する。乙圖は電信機の原理を示すものである。受信器の軟鐵片 A の一端にインキの出るペン P を付け、 A が吸ひ付けられて居る間は P は巻紙に接觸する様になつて居り、巻紙は常に時計仕掛けで一定の速さで廻轉して居る。 R, R は巻紙を緊張するために取り付けた二個のローラー(廻はるもの)である。又電線を節約するために電路の歸路は大地を利用してある。今發信所の K を押へて居る間は受信所の M は A を吸引し、ペン P は巻紙に線を畫く。 K を押へて居る時間が長いと線も長く、 K を押へて直ぐ離すと、巻紙には點が畫かれる。電信では之等の線と點とを色々な組合せて色々な文字を表はすのである。例へば次の様な符號を用ひる。

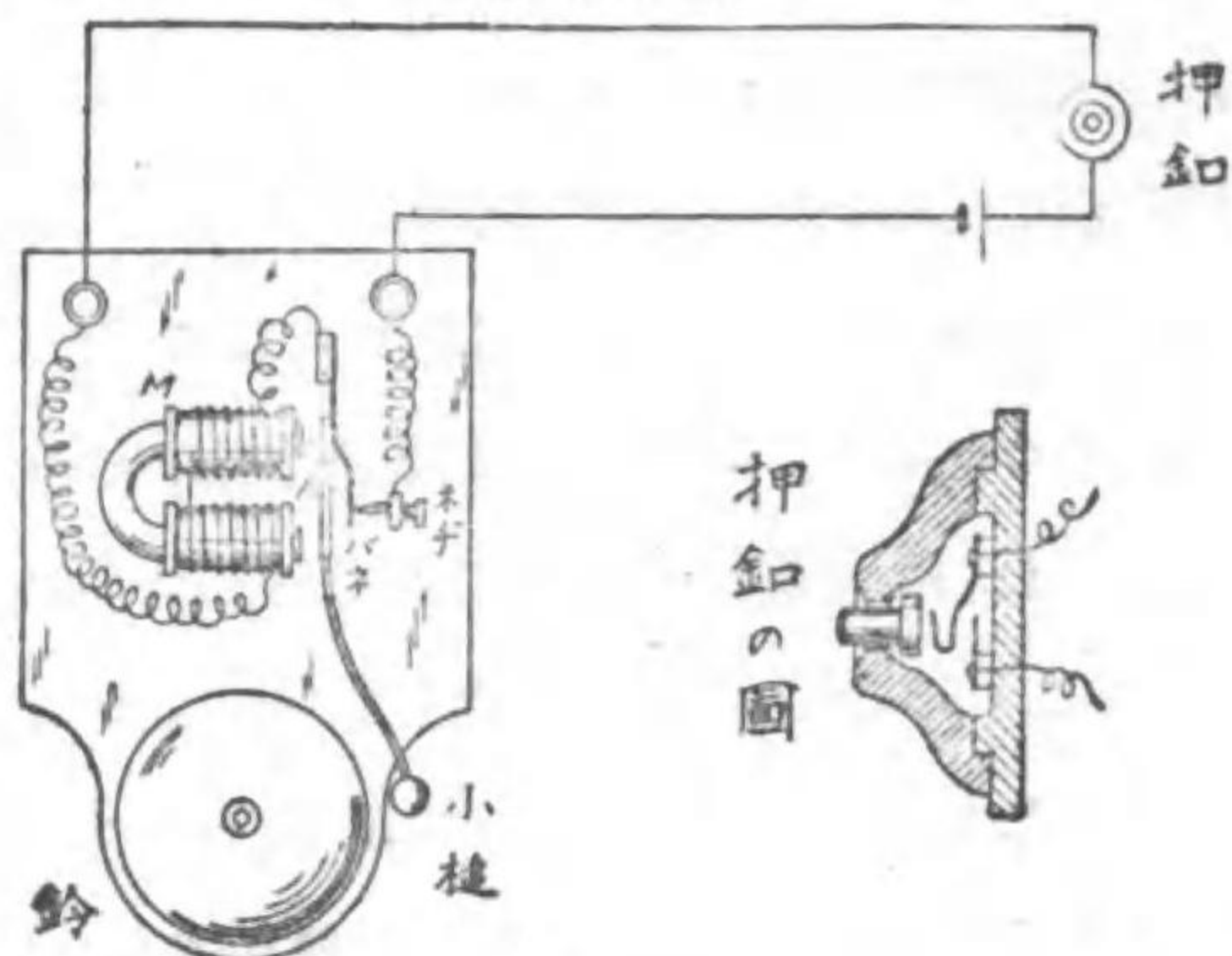
イ ロ ハ ニ
 ----- ----- ----- -----

100. 電鈴 電鈴は電磁石を應用した簡単な信號装置で

ある。第 157 圖に示す様に、電磁石 M の鐵心の端近く、小さい軟鐵片 A が發條でさへられて居て、その先に鈴を打つ小槌が附いてゐる。押釦を押すと、電池 B から電磁石に電流が通じ、 A が吸引されて、小槌は鈴を打つ。此時バネがネズからはなれて電流が断たれ、従つて鐵片 A はバネのために元の位置に戻りバネが又ネズと接する。従つて又 M は A を吸引して小槌は鈴を打

第 157 圖

つ。故に押釦を押して居る間は電流が通じたり断れたりする爲めに槌が振動して鈴が續いて鳴る。押釦を離すと鈴は鳴り止む。



101. 磁化力に対する鐵の磁束密度の比をその導磁率と稱する

線輪に電流を通ずると起磁力のために線輪内の空間は磁界となり、起磁力に比例する數丈けの磁線が生ずる。依つて此磁界内で磁線に直角に單位面積を考へると毎平方厘に付き何本かの磁線がある。此磁線の密度を H 本/平方厘 とすると、 H はその磁界の強さ即ち磁化力を表はすものとする事が出来る。従つて此場合磁化力即ち磁界の強さ H は線輪の起磁力に比例する譯である。

然るに今此線輪内即ち磁化力 H なる處に鐵を入れると、鐵は磁性體であるから、磁氣誘導により、鐵内では前の空氣の場合よりも非常に多くの磁線が生ずる。従つて此磁化された鐵内で磁線に直角に單位面積を考へ、その磁線の密度を B 本/平方厘 とすれ

ば、〔此鐵内の磁線の密度 B を^{じそくみつど}磁束密度と稱する〕、磁束密度 B の數値は磁化力 H の數値よりも遙に大である。

此様に線輪の或る一定起磁力に對して、線輪内の鐵の磁束密度 B はその線輪の作る磁界の強さ即ち磁化力 H に比して遙かに大で、此 B と H との比 $\frac{B}{H}$ を此鐵のその場合の^{どうじりつ}導磁率と稱する。即ち導磁率を μ の字で表はすと次の關係がある。

$$\mu = \frac{B}{H}, \quad [\text{導磁率}] = \frac{[\text{磁束密度}]}{[\text{磁界の強さ}]}$$

例へば、磁界の強さ $H=50$ なる磁界内に或鐵を置いた時、その鐵の磁束密度 $B=16000$ であつたとすると、此場合のその鐵の導磁率は $\mu = \frac{16000}{50} = 320$ である。

空氣や木等の様な無磁性體は磁化されないから、之等のものの磁束密度 B とその磁化力 H とは數値が等しい譯であるから、無磁性體の導磁率 μ の値は 1 である。

102. 鐵の B-H 曲線

第一章 14 節で既に述べた様に、鐵を磁化する場合、磁化力を次第に増して行くと遂には鐵は磁氣飽和に達する。線輪の電流によつて鐵を磁化する場合も之と同様である。即ち線輪の電流を零から次第に増して、その起磁力を増して行くと、線輪内の磁界の強さ即ち磁化力 H の値は起磁力に正比例して増して行く。然るに鐵の磁束密度 B は常に H に比例して増すと云ふ増し方ではない。實驗によると、磁化力 H

が或値以上になると磁束密度 B の増し方が次第に激しくなり、さうして H が或値に達すると鐵の分子磁石が殆ど全部磁界の方向に整列して、起磁力従つて磁化力 H を増しても鐵は磁氣飽和に達し、その爲めに B の値の増し方は次第に減じて来る。此場合鐵心内の磁束密度 B が磁化力 H の値によつてどんなに變化するかを實驗せる結果をグラフに表はして見ると大體第 158 圖の様になる。即ち H の値を横軸上

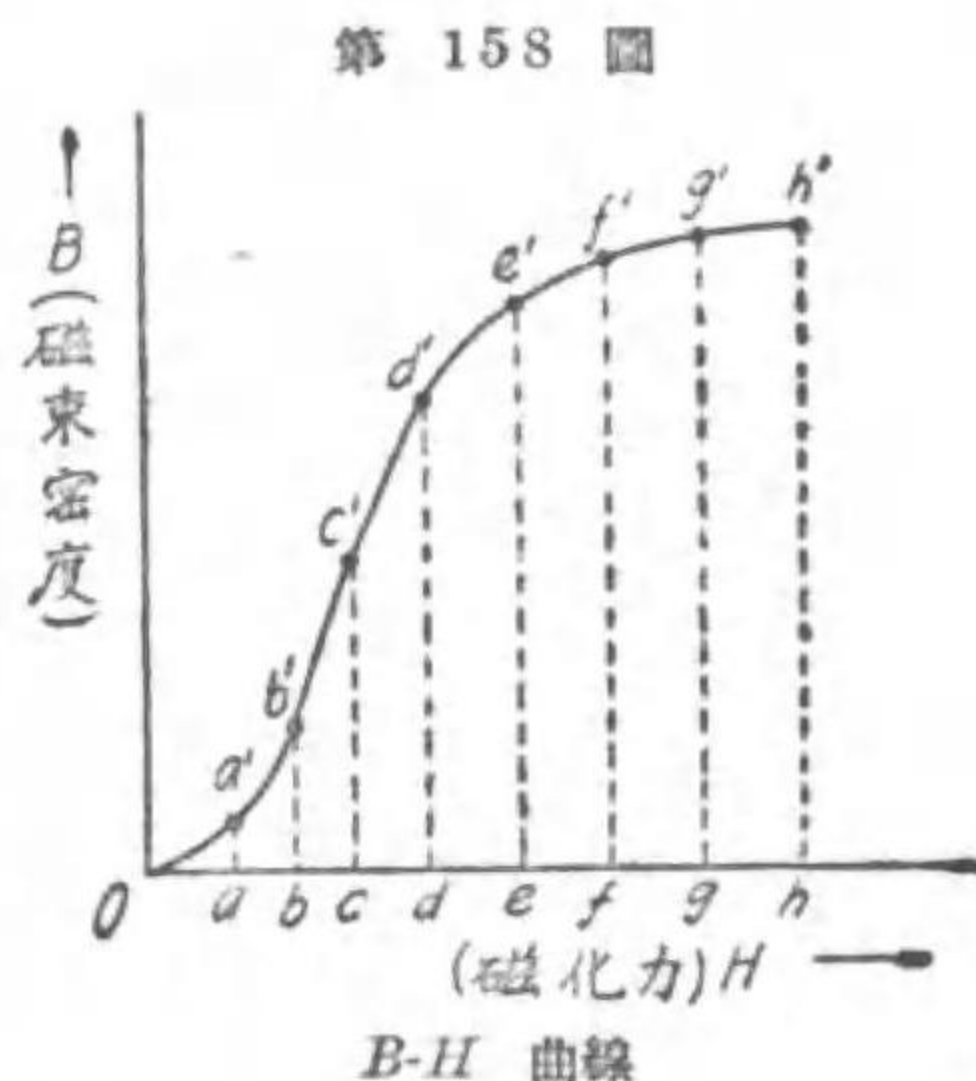
に取り、之に對する B の値を縦軸上にとると圖に示す様な曲線を得る。

此様にして得られた $0 a' b' c' d' e' f' g' h'$ なる曲線は此鐵の B と H との關係を示すものであるから、此曲線をその鐵

の $B-H$ 曲線と稱する。又之をその鐵の飽和曲線とも稱する。

鐵の $B-H$ 曲線はその鐵の品質によつて違ふが、何れも大體の形は第 158 圖の様な形の曲線となるものである。

此様に $B-H$ 曲線から分かる様に、同じ鐵でも磁化力 H の値が違ふと B と H との値の比も一定しない。即ち同一の鐵でもその時の H の値如何によつて鐵の導磁率 μ は違つた値になる譯である。例へば、前圖に於て、 H の値が $0a$ の時には導磁率は $\mu_1 = \frac{aa'}{0a}$ 、又 H の値が $0c$ の時は導磁率の値は $\mu_2 = \frac{cc'}{0c}$ 、又 H の



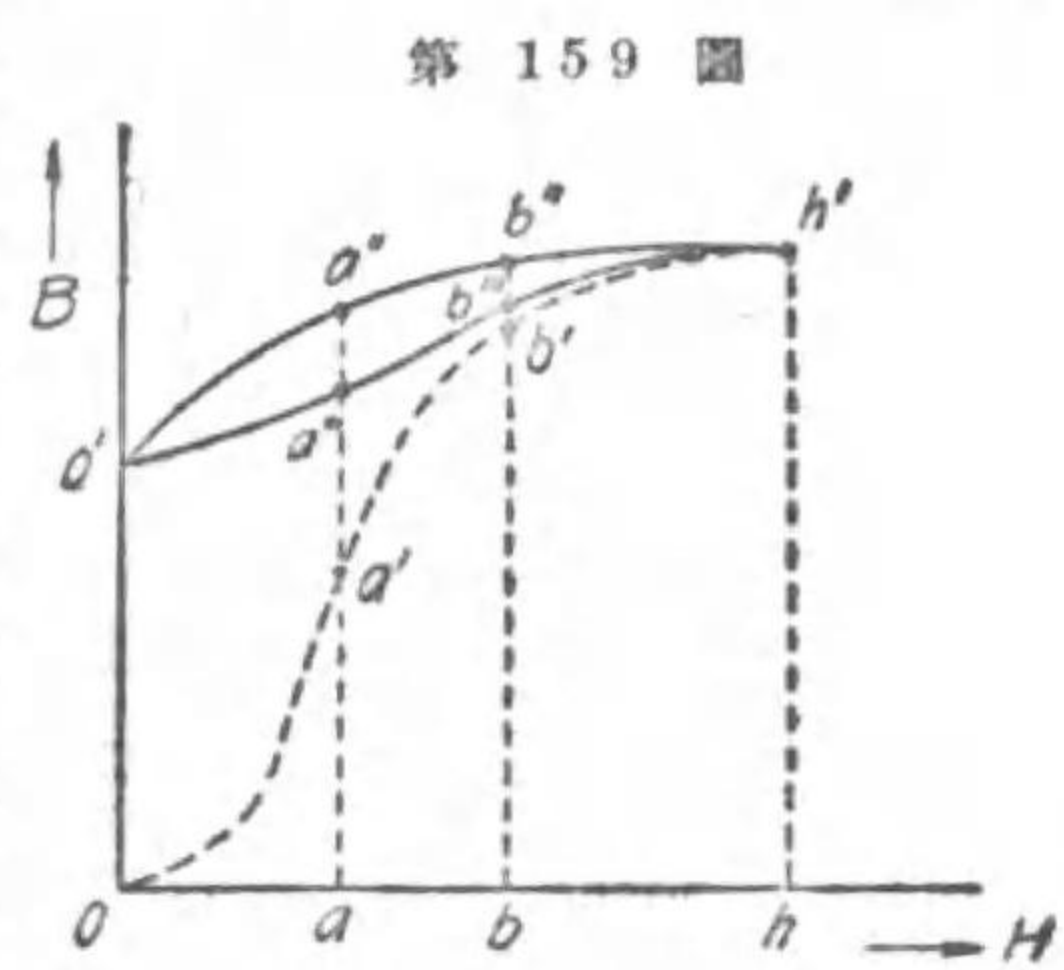
第 158 圖

値が $0h$ の時は導磁率の値は $\mu_3 = \frac{hh'}{0h}$ となり、 μ_1, μ_2, μ_3 等は等しくはないのである。

103. ヒステリシス 一度も未だ磁化された事のない鐵であると、之を磁化して磁化力 H が零から次第に増して行くとその $B-H$ 曲線は前節に述べた通り即ち第 159 圖の $0a' b' h'$ の様になる。然し此様に一旦磁化されて H の値が $0h$ になつて居る (従つて B の値は hh' になつて居る) のを、今度は H の値を次第に減じて行くと、實驗の結果 B の値も次第に減ずるが然し此場合は前の場合と違つた値になる。

H の値が $0h$ から減じて、 $0b$ になると B の値は bb'' となり、 H の値が $0a$ に減ずると B の値は aa'' となり、 H の値が零になると B の値は零でなくして $00'$ となる。即ち此場合磁化力 H が無くても鐵の磁束密度は $00'$ になつて居てそれだけ磁線が残り、即ち残留磁氣がある。而して此鐵を再び磁化すると、 H の値が $0a$ の時には B の値は aa''' 、 H の値が $0b$ の時は B の値は bb''' 、 H の値が $0h$ の時は B の値は hh' となる。

以上の實驗の結果によつて、初めて鐵が磁化される時と、一旦磁化されて後に又磁化される時とは、同一の値の H に対しても B の値が異なる事が分かる。即ち磁化力 H の値は $0b$ でも、その



第 159 圖

鐵を初めて磁化して H が零から次第に増して $0h$ になつた場合の磁束密度は bb' であるが、 H が $0h$ の値から減じて来て $0b$ になつた場合の B の値は bb'' で、又此様にして磁化されてからは、 H が零から増して $0b$ になつた場合の B の値は bb''' となる。即ち鐵はその磁氣的經歷の如何によつて同じ値の磁化力に對しても B の値は異なるものである。此現象を鐵の磁氣ヒステリシスと稱する。

磁束密度 B の變化は鐵内の整列する分子磁石の數の増したり減つたりするのに原因するから、 B が増減すると分子磁石相互間に摩擦を生じ、與へた H の變化は一部分必ず此摩擦のために費やされる譯である。故に H を零より次第に増す場合は B の増し方は割合に少くて、 H を大なる値から次第に減少すると B の減り方は割合に少いのである。

上圖に示す様に磁化力 H を零から $0h$ に増し又 $0h$ から零に減じ何度でも之を繰返へすと、その間に鐵の分子磁石相互間に摩擦があるために此鐵は熱せられて來る譯である。此ヒステリシスのために損するパワーをヒステリシス損失と稱する。又 H が $0h$ から減じて零に又零から増して $0h$ にと何邊も何邊もくりかへして、 H の値を變化させると、 B の値の變化は曲線 $O' a'' b'' h' b' a'' O'$ に従つて變化する。此環狀をなした曲線 $O' a''' b''' h' b'' a'' O'$ をヒステリシス環線と稱する。

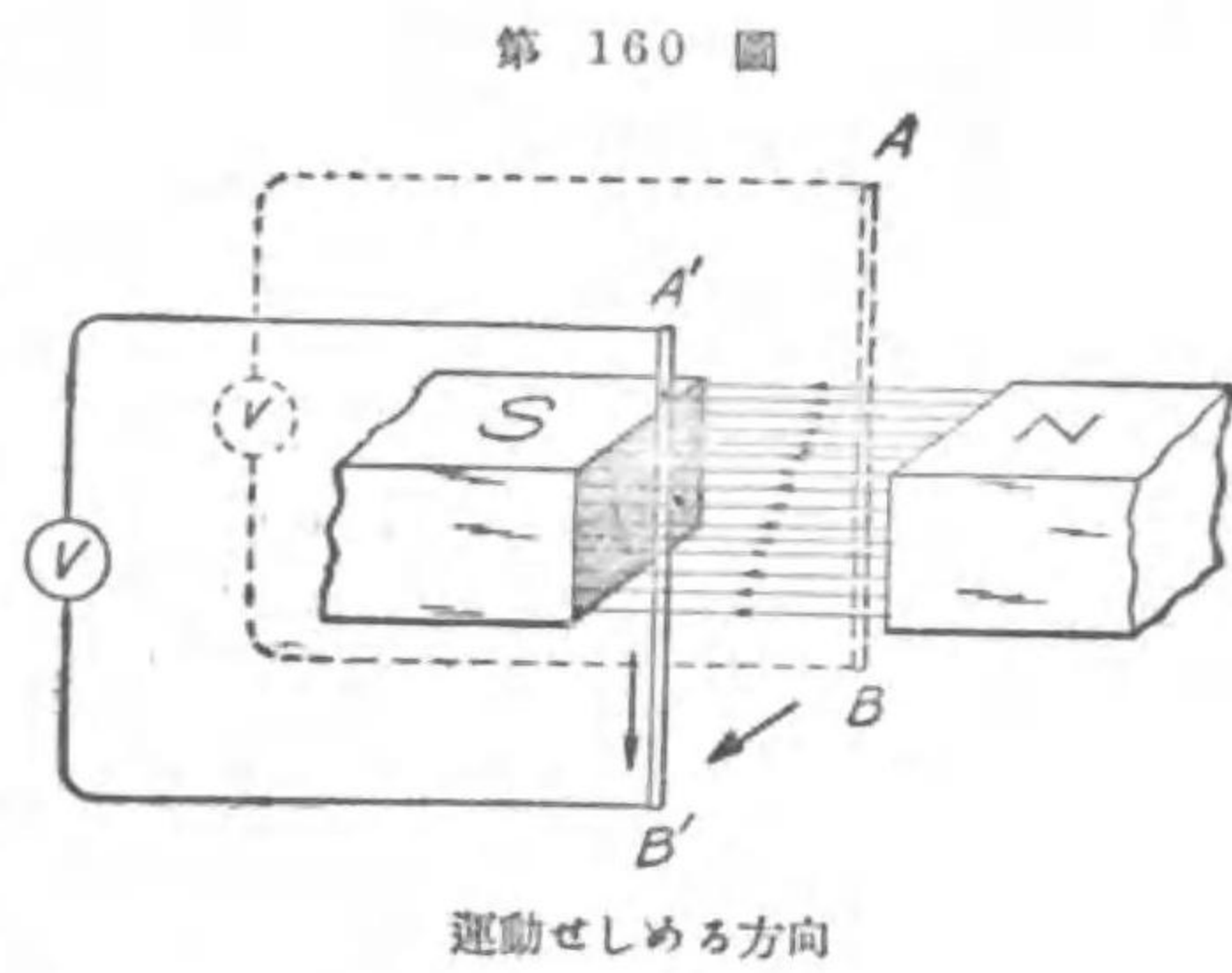
練習問題 IX

1. 電流の方向とその電流によつて生ずる磁線の方向とに就いての規則を述べよ。
2. 第135圖のエールステッドの實驗に於て、磁針の N 極が矢の方向に振れて止まる事を右螺子の規則で説明せよ。又若し電線に通ずる電流の方向を圖と反對に右から左に通ずる場合は、下方の磁針の N 極は圖と反對に振れて止まる事を説明せよ。
3. 電磁作用とはどんな現象か。
4. 電磁作用に於て、電磁力の方向を知るに便利なフレミングの左手三指の規則を述べよ。
5. 電流と電流とには如何なる作用があるか。
6. 線輪の起磁力とは何の意味か。又その起磁力の大きさは如何に表はすか。
7. 電磁石とはどんなものか。又電磁石を應用した例を挙げよ。
8. 鐵の導磁率とはどんな意味か。
9. 鐵の B - H 曲線とは何か。
10. 鐵のヒステリシスとは何か。

第 十 章 電 磁 誘 導 作 用

104. 磁線と導體と切り合ひつゝある間は導體に起電力を生ずる

第 160 圖の様に、磁極 N, S で作られた磁界内で一本の電線を圖の様に點線 AB の位置から實線 $A'B'$ の位置まで動かして磁線を此電線で切つて見る。すると電線が磁線を切りつゝある間は、電



線の両端に接続された電圧計 V (又は檢流計でもよい) の指針が動いて、電線に起電力が生じ従つて電流が電線に A' から B' の方向に通じた事が實驗される。此様に導體と磁線とが切り合ひつゝある間に導體に生ずる起電力を誘導起電力いどうきでんりょくと稱し、此時の電流を誘導電流いどうでんりゅうと稱する。さうして此作用を電磁誘導作用でんじいどうさようと稱する。電磁誘導作用は西曆 1831 年にファラデーが発見したので、ファラデーの研究の結果次の法則を得た。

導體が磁線を切りつゝある間は其導體に起電力が誘導され、その起電力の大きさは毎秒に切る磁線の數に比例する。

之を電磁誘導に関するファラデーの法則と稱する。發電機は此電磁誘導作用の原理を應用したものである。

105. フレーミングの右手三指の規則

前節で述べた様に導體が磁線と切り合ひつゝある間は起電力が誘導される。さうして此起電力の方向は、磁線の方向と導體を運動せしめる方向とによつて違ふ事が實驗される。例へば、前節の第 160 圖の様な場合には、誘導起電力従つて誘導電流の方向は電線には A' 端から B' 端に向ふ方向に生ずるのである。磁線の方向と電線を動かした方向とそれによつて生ずる起電力の方向の三つの關係に就いて、フレーミング氏は覚え易い方法として右手三指の規則なるものを考へた。それは、第 161 圖



に示す様に、右手の三本の指、即ち拇指、食指及び中指を直角になる様に充分に開き、先づ拇指を電線を運動せしめる方向に又食指を磁線の方向に向けると、中指の方向に起電力が誘導される。之をフレーミングの右手三

磁線を切つた時の起電力の方向を知る法 (フレーミングの右手三指の規則)

指の規則と云ひ、誘導起電力の方向を知るに便利な規則である。第 161 圖は第 160 圖の場合の右手三指の位置を示すものである。

【附記】 フレーミングの規則の覚え方 前章の電磁作用に於け

る左手三指の規則と、電磁誘導作用に於ける右手三指の規則とを混同しない様に注意すべきである。左手は磁線と電流とによつて力を生ずる場合に、又右手は磁線と力を與へられた電線の運動とによつて起電力を誘導する場合に使用するから、

ひたし リキ 右一力、 右一起電

と覚えて置く。又左右の指の向け方は、

食 指 (食事) — 磁線

拇 指 — 最も力強い指

と覚えて置けばよい。残りの中指は電流 (又は起電力) を表はす。

106. レンツの法則 導體が磁線を切りつゝある間は

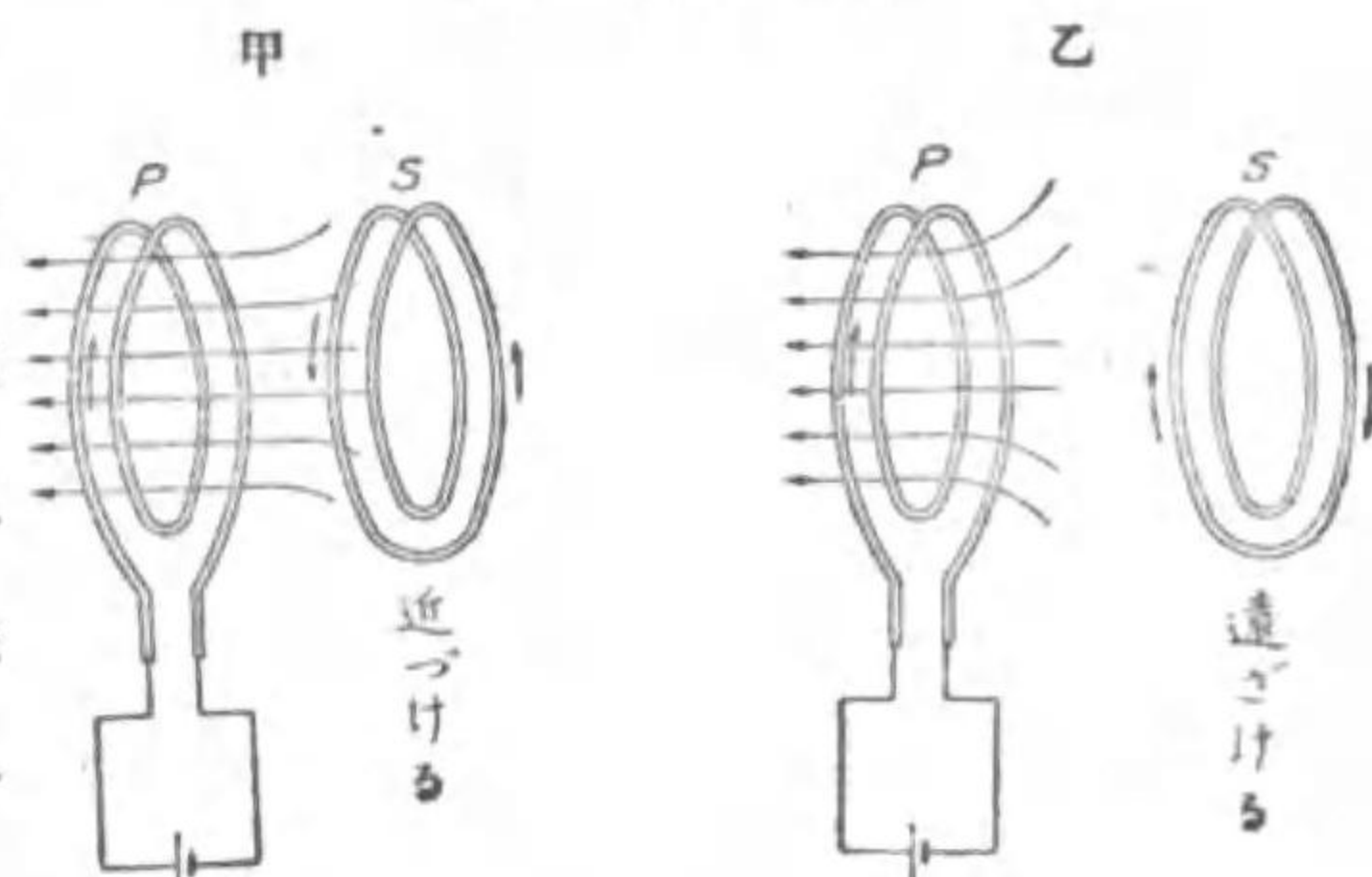
導體に誘導起電力を生じ誘導電流が流れる。此誘導電流のエネルギーの源は何であるかと云ふに、それは磁線を切るために導體を磁界内で動かした機械的エネルギーである。然るに作用があると必ず反作用がある (此事は力學で運動の第三定律として詳しく述べられる)。電磁誘導現象で起電力が誘導されるのも此反作用を生じようとする爲めの結果と考へられる。従つて誘導起電力の方向は次の様に考へてもよい。即ち、電磁誘導作用を生ずる爲めに外部から與へた作用を妨げようとする反作用を生ずる様な方向に誘導起電力は生ずると云ふ法則が云へる。之をレンツの法則と云ふ。例へば、104 節の第 160 圖の場合の誘導起電力の方向をレンツの法則で説明して見ると次の様に云へる。電線を AB の位置より

A'B' の位置へ動かすと云ふ作用の反作用は A'B' の位置より AB の位置へ運動せしめることである。然るに若し電線に A' から B' に向つて電流が通ずる場合には電線は A'B' の位置から AB の位置へ運動すべき事は既に前章の電磁作用の處で説明した通りである。依つて第 160 圖の場合には此反作用を生ずべき方向即ち A' より B' に向つて誘導電流を生ずべきである。此様に誘導起電力の方向はフレミングの右手三指の規則を使ふ代りに此レンツの法則を使つて考へてもよい。

例題 46 第 162 圖に示す様に、P 線輪に電流を通じ之により磁線を生じ置き、他

第 162 圖

の S 線輪を之に急に近づけると S には如何なる方向に起電力を誘導するか。又若し S 線輪を P 線輪から遠ざける場合は如何。



解 甲圖の様に S 線輪を P 線輪に近づける場合は、反作用として S 線輪を押しやろうとする、それには S 線輪には甲圖に示す様に P 線輪と反對の方向に電流生ずべきである。又若し乙圖の様に S 線輪を P 線輪から遠ざける場合は、反作用として S は P に近よらうとする、それには S 線輪には P 線輪と同方向

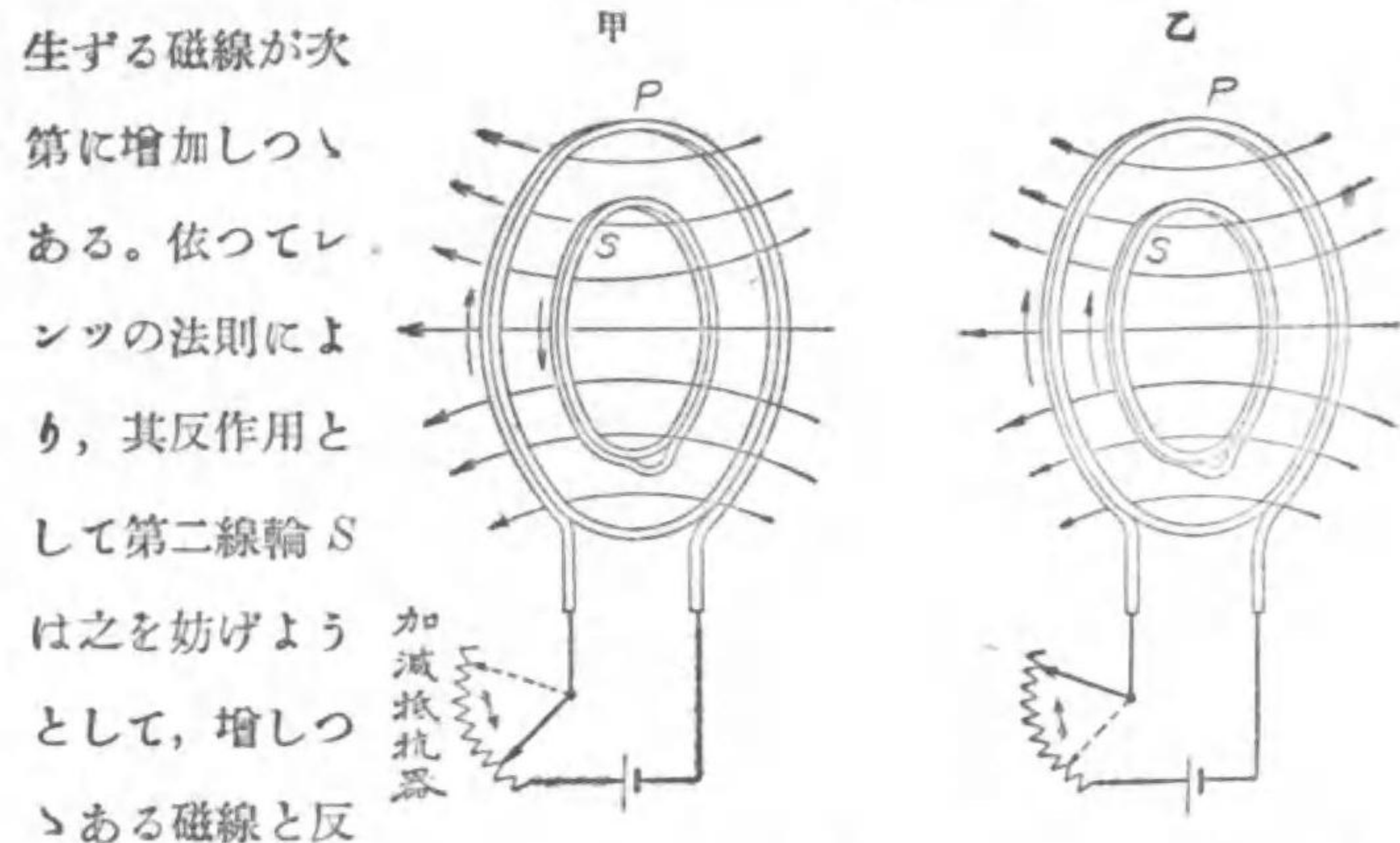
に電流通すべきである。即ち何れの場合でもレンツの法則により、與へる作用を妨げようとする方向に起電力が誘導される譯である。又は次の様に考へてもよい。P線輪の内部ではその電流によつて磁線が右から左方に通じて居る。依つてS線輪を遠方(即ち磁界の弱い所)からP線輪の近く(即ち磁界の強い所)に持つて來ると、その反作用としてS線輪は磁界の強さを弱めようとしてS線輪自身で左から右に向ふ磁線を生じようとする爲めにS線輪内には甲圖に示す方向に電流通すべきである。又乙圖の様にS線輪をP線輪より遠ざける場合には、P線輪によつて生じた磁界の弱い所へ行くから、その反作用としてS線輪によつて磁界を強めようとして、S線輪はP線輪と同方向の磁線を生じようとする、それにはS線輪にはP線輪と同方向の電流が通すべきである。

107. 相互誘導 電磁誘導作用は導體と磁線とが切り合ひさへすれば生ずるものであるから、二つの線輪の位置を變へずに、兩方とも固定して置いて、其代りに第一線輪の電流を増したり減じたりすれば、磁線が増したり減じたりするからその度毎に第二線輪と切り合ふ磁線がある譯で、従つて第二線輪に起電力が誘導される。

例へば、第163圖甲に示す様に、加減抵抗器の抵抗を次第に減じて第一線輪Pの電流が増しつゝあるとすると、線輪Pの電流

第 163 圖

に依つて内部に生ずる磁線が次第に増加しつゝある。依つてレンツの法則により、其反作用として第二線輪Sは之を妨げようとして、増しつゝある磁線と反對の方向に磁線を生じようとし、そのためにS線輪にはP線輪の電流と反方向の電流が生ずる譯である。又若し乙圖に示す様に加減抵抗器の抵抗を次第に増して第一線輪Pの電流が減じつゝある場合は、之に依つて生ずる磁線が減じつゝある。従つてレンツの法則により第二線輪Sは之を減じまいとして自身で第一線輪Pの磁線と同方向に磁線を生じようとし、その爲めにはS線輪にはP線輪の電流と同方向の電流が生ずるのである。



此様に第二線輪Sの誘導電流は第一線輪の電流の強さが變化する間丈け起り、その方向は第一線輪の電流が増す場合は之と反對の向きに、又第一線輪の電流が減ずる場合には之と同方向に向ふ。此様に線輪相互間に生ずる電磁誘導の現象を相互誘導作用と稱する。さうして電源の接続されて居る第一線輪Pを一次線輪

に依つて内部に生ずる磁線が次第に増加しつゝある。依つてレンツの法則により、其反作用として第二線輪Sは之を妨げようとして、増しつゝある磁線と反對の方向に磁線を生じようとし、そのためにS線輪にはP線輪の電流と反方向の電流が生ずる譯である。又若し乙圖に示す様に加減抵抗器の抵抗を次第に増して第一線輪Pの電流が減じつゝある場合は、之に依つて生ずる磁線が減じつゝある。従つてレンツの法則により第二線輪Sは之を減じまいとして自身で第一線輪Pの磁線と同方向に磁線を生じようとし、その爲めにはS線輪にはP線輪の電流と同方向の電流が生ずるのである。

と云ひ、誘導起電力の生ずる第二線輪 S を二次線輪と名付ける。相互誘導によつて二次線輪に生ずる誘導起電力の大きさは、一次線輪の毎秒に付いての電流變化の割合に比例するものである。故に今一次線輪の電流が t 秒に付き I アムペア宛の變化があると、二次線輪に生ずる誘導起電力の大きさを E' とすれば、 E' は $\frac{I}{t}$ に比例する。従つて比例定数を M で表はすと、二次線輪の誘導起電力の大きさは次式で表はされる。

$$E' = M \times \frac{I}{t} \quad \text{ヴォルト}$$

此 M は一次二次兩線輪の形、捲數、相互の位置、線輪内の磁性體の有無等によつて定まる定數で（兩線輪の捲數の相乘積には比例する）、之を兩線輪間の相互誘導係數又は相互インダクタンスと稱する。さうして此相互インダクタンス M の單位をヘンリーと名付ける。1 ヘンリーの相互インダクタンスとは、一次線輪の電流が毎秒 1 アムペア宛の電流變化ある時、二次線輪に誘導される起電力が 1 ヴォルトなる様な場合の一次、二次兩線輪間の相互インダクタンスである。

例題 47. 第 164 圖に示す様に、電線 AB に電池及電鍵 K を備へ、又 AB に平行な電線 CD の兩端には檢流計 G を接続して置き、電鍵 K を閉ぢる瞬間には電線 CD に D から C に向つて瞬時の電流が流れ、又電鍵 K を急に開く瞬間には電線 CD に C から D に向つて瞬時の電流が流れる事を檢流計によつて

知る事が出来る。此の實驗は天才ファラデーをして電磁誘導作用を發見せしめた最初の大切な實驗である。此實驗をレンツの法則で説明せよ。

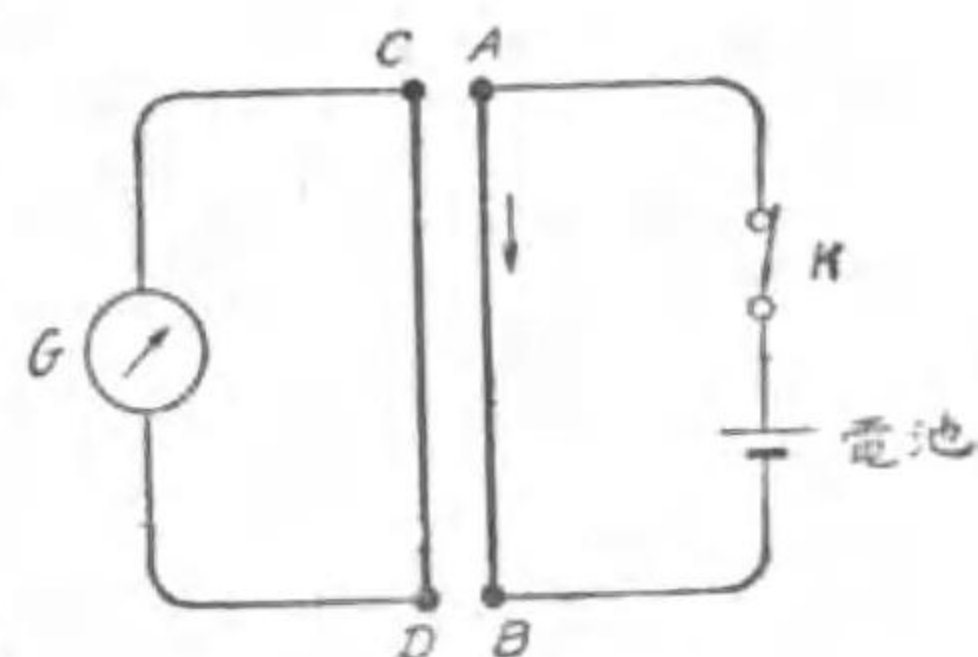
解 K を閉ぢる瞬間には、 AB には急に A から B に向つて電

流が通じ、それによつて磁線が急に出来る。従つてレンツの法則により、反作用として、急に出来る此磁線と反対方向の磁線を CD に依つて生ずべきで、その爲めには CD には AB の電流と反方向に瞬時の誘導電流が D から C に向つて生ずべきである。又 K を開く瞬間には、 AB に通じて居た電流によつて生じて居た磁線が急に無くなる。従つてレンツの法則により、その急に無くなる磁線無くさせまいとして此の磁線と同方向の磁線を CD によつて生ずべきで、その爲めには CD には AB の電流と同方向に瞬時の誘導電流が C から D に生ずべきである。

例題 48. 一次、二次兩線輪間の相互誘導係數が 0.12 ヘンリーで、一次線輪に 0.02 秒間に 10 アムペア宛の電流減少がある場合、二次線輪に誘導される起電力は何ヴォルトか、又其方向はどうか。

解 二次線輪に誘導される起電力の大きさは

第 164 圖



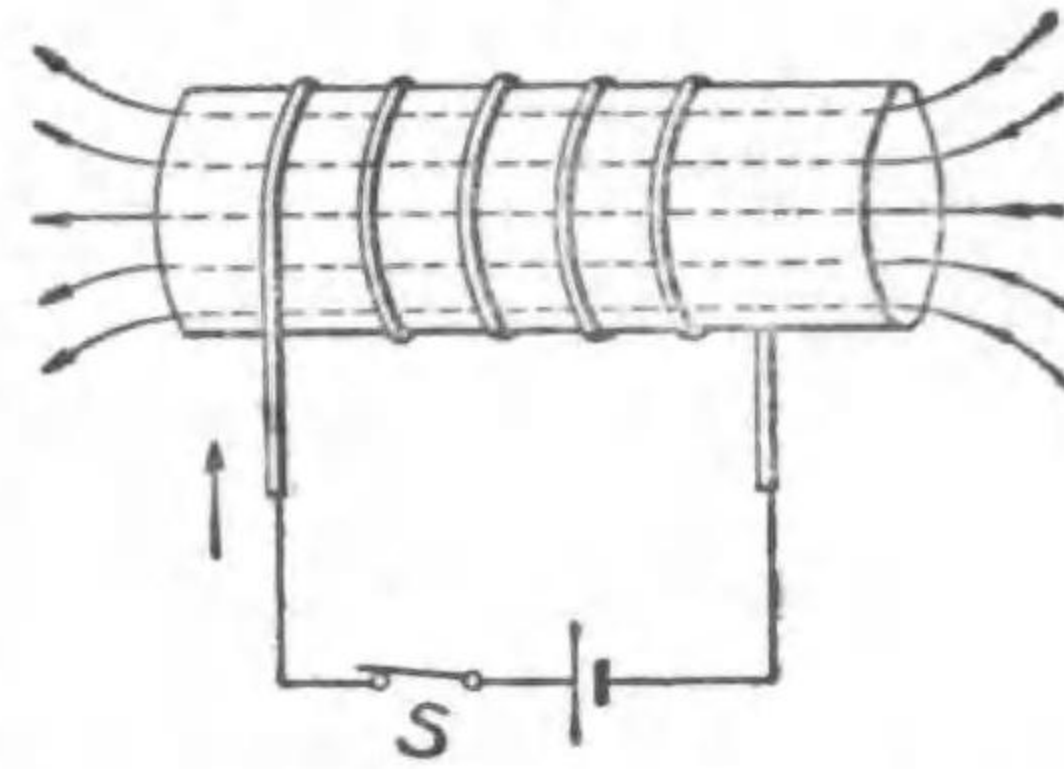
ファラデーの實驗

$$E' = M \frac{I}{t} = 0.12 \times \frac{10}{0.02} = 60 \text{ ヴォルト}$$

又其方向は、一次線輪の電流が減じつゝある場合であるから、一次線輪の電流と同方向である。

108. 自己誘導 第 165 圖甲に示す様に、一箇の線輪

があつて、之に電流を通じたり、斷つたりする瞬間を考へて見よう。線輪に電流が通じて居ない時は線輪内部には勿論磁線は無いが、電流が通じて居る時は線輪内部には磁線が出来て居る。従つて、今開

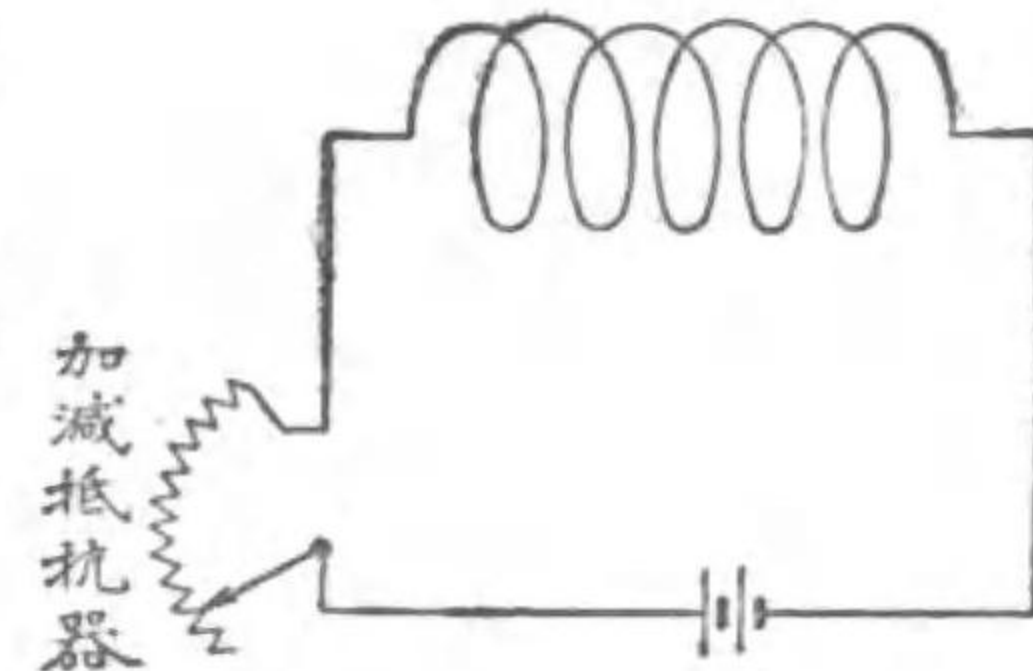


閉器 S を閉ぢた瞬間には、外部から線輪を切つて線輪内部に磁線が出来ると考へる事が出来る。故に此瞬間には磁線とその線輪とが切り合ふから、レンツの法則により、その磁線を妨げようとして（その磁線と反方向の磁線を生じようとし）、その爲めには線輪電流と反方向の電流従つて起電力がその線輪自身内に誘導される譯である。又線輪に電流通じて居たのを開閉器 S を急に開いた瞬間には、線輪内部に在つた磁線が線輪を切つて外に逃げて無くなると考へる事が出来る。故に此瞬間には磁線とその線輪とが又切り合ふから、レンツの法則により、無くならうとする磁線を

無くさせまいとして（その磁線と同方向の磁線を生じようとし）、その爲めにはその線輪の電流と同方向の電流従つて起電力がその線輪自身内に誘導される譯である。此様に線輪に電流を通ずる瞬間及び電流を斷つ瞬間には、磁線と線輪とが切り合ひ、電磁誘導作用によつてその線輪自身内に起電力が誘導される。此現象を自己誘導作用こいうばうまよと稱する。

自己誘導作用は電流を斷續する瞬間のみでなく、第 165 圖乙に示す様に、加減抵抗器の抵抗を増したり減じたりして、線輪に通ずる電流を減じたり増したりする場合にも起る。何故なれば電流を増減する度毎に磁線が増減し、線輪と切り合ふから電磁誘導作用を生すべきである。

第 165 圖
乙
線 輪



さうして此場合にも自己誘導の起電力の方向はレンツの法則に従つて、電流變化を妨げようとする方向に生ずる。即ち電流が増しつゝある間はその電流と反方向に、又電流が減じつゝある間はその電流と同方向に起電力がその線輪自身内に誘導される譯である。

自己誘導によつて生ずる起電力の大きさは、その線輪の毎秒の電流變化の割合に比例するものである。故に今 t 秒間に I アムペア宛の電流變化の割合があるとすれば、線輪の自己誘導の起電力