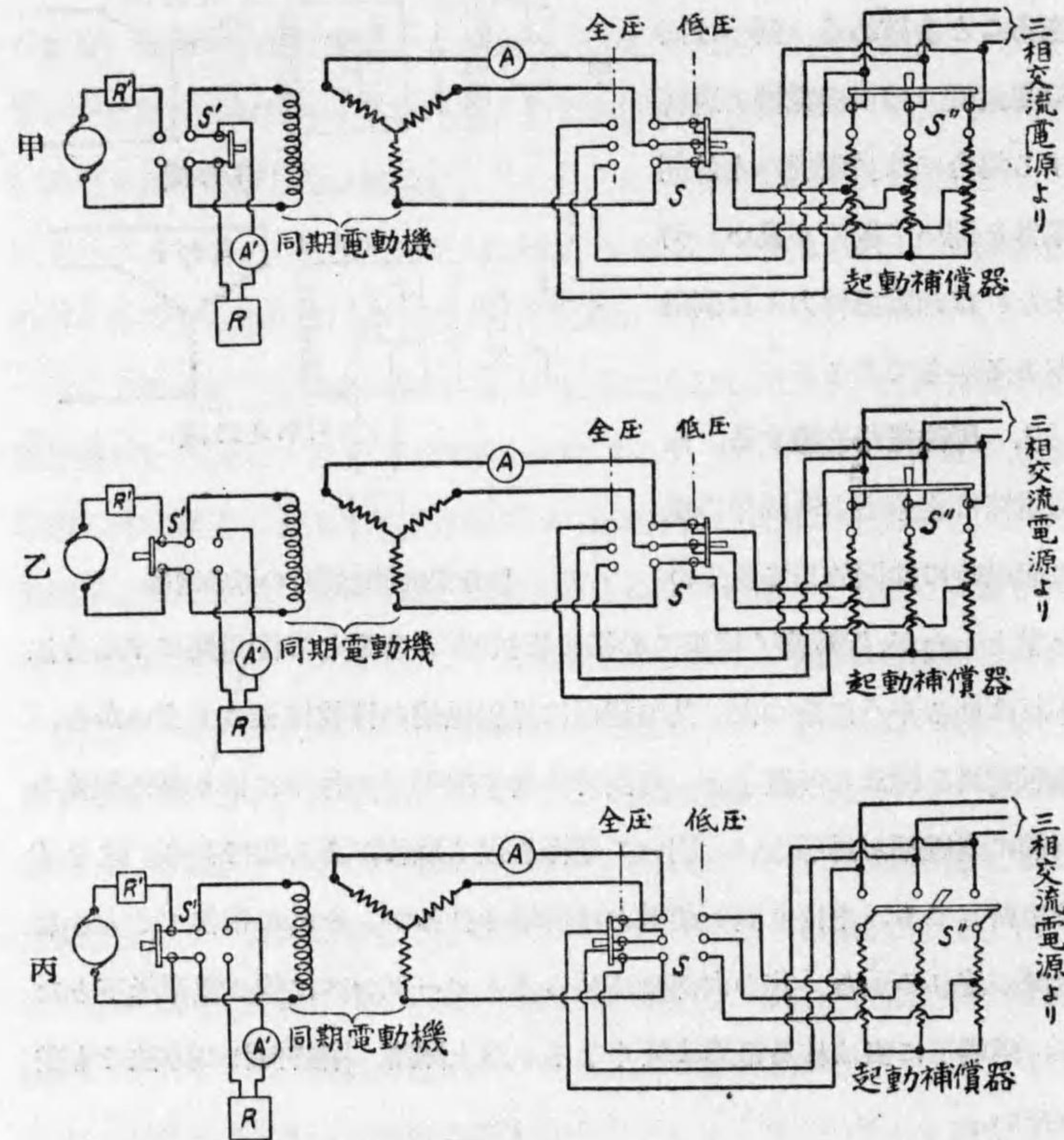


た起動補償器で、常用電圧の  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  等の低電圧を作り、第 181 圖甲の如く開閉器  $S$  を右に倒して之を電動機の端子に加へると、電動機は徐々に加速される。さうして十秒乃至一分位で殆んど同期速度に達するのが常である。

第 181 圖



同期電動機起動の順序

4. 勵磁電路に直流電圧を加へる。2 の手段で勵磁電路を開放して置いた場合には、電動子電流の讀みの著しい減少に依つて同期速度に近づいたのを知る事が出来る。そこで初めて開閉器  $S'$  を左に倒して界磁線輪に直流電圧を加へる。又 2 の手段で勵磁電路を閉電路にした場合には、電動子電流の生ずる磁束のため勵磁電路に起電力が誘導され、之に交流が通る。此の交流は起動の初めに其の値及周波数が大きく、廻轉子が同期に近づくに従ひ其の値及周波数が共に減少する。故に第 180 圖乙及第 181 圖の如く抵抗器  $R$  と直列に電流計  $A'$  を装置すると、 $A'$  の讀みが極めて小さくなつた時、殆んど同期に達した事が解る。そこで第 181 圖乙の如く開閉器  $S'$  を左に倒して、界磁線輪に直流電圧を加へる。以上兩方法とも界磁に直流を送つた瞬時から、本然の同期電動機として 廻轉力を生じ、第 137 節に述べた様に同期速度に引込まれるのである。(章末練習問題 2 を参照せよ。)

5. 交流常用電圧を加へる。最後に第 181 圖丙の様に開閉器  $S$  を左方に投じて交流全電圧を端子に加へる。同時に補償器用開閉器  $S''$  を開く。茲に於て初めて完全なる使用状態に於ける同期電動機となり、全廻轉力を生ずる。

6. 負荷を投ずる。先きに 1 に挙げた例では、此の同期電動機で廻はされる發電機の開閉器を閉ち、其の負荷を増加する。

7. 界磁抵抗器を調整する。前述の順序を経て電動機が全く同期速度で負荷を取る様になれば、勵磁電路の抵抗器  $R'$  又は勵磁機の界磁抵抗器を加減して力率最大、電流最小である様な點を見出す。(若し同じ回路に多数の小誘導電動機があるなら、寧ろ幾分進電流を取らせる方が良い。此の方

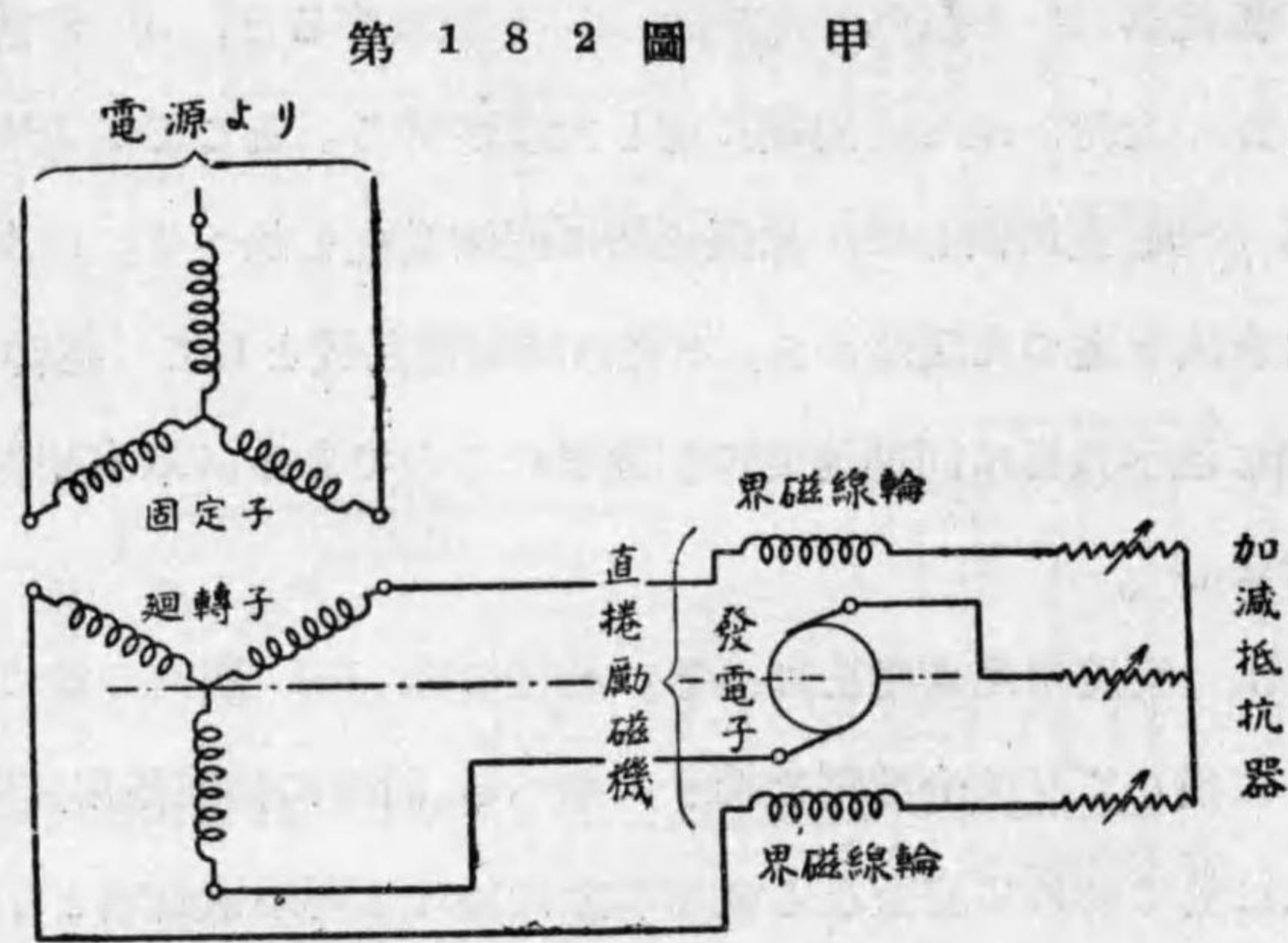
が同期電動機も安定である。)

第 180 圖以下、單に説明に必要なものばかりを掲げたが、此の外力率計、計器用變壓器、變流器等の附屬品が要るのである。

### 167. 誘導同期電動機

前節に述べた通り、同期電動機の起動には、可なり煩はしい手数を要するのみならず、起動廻轉力は極めて小さい。起動の簡単な誘導電動機が喜ばれるのも道理である。然し誘導電動機は如何

にも其の力率が低い。そこで起動特性は誘導電動機と同様の長所を有し、運轉特性は同期電動機と異ならないものを得た

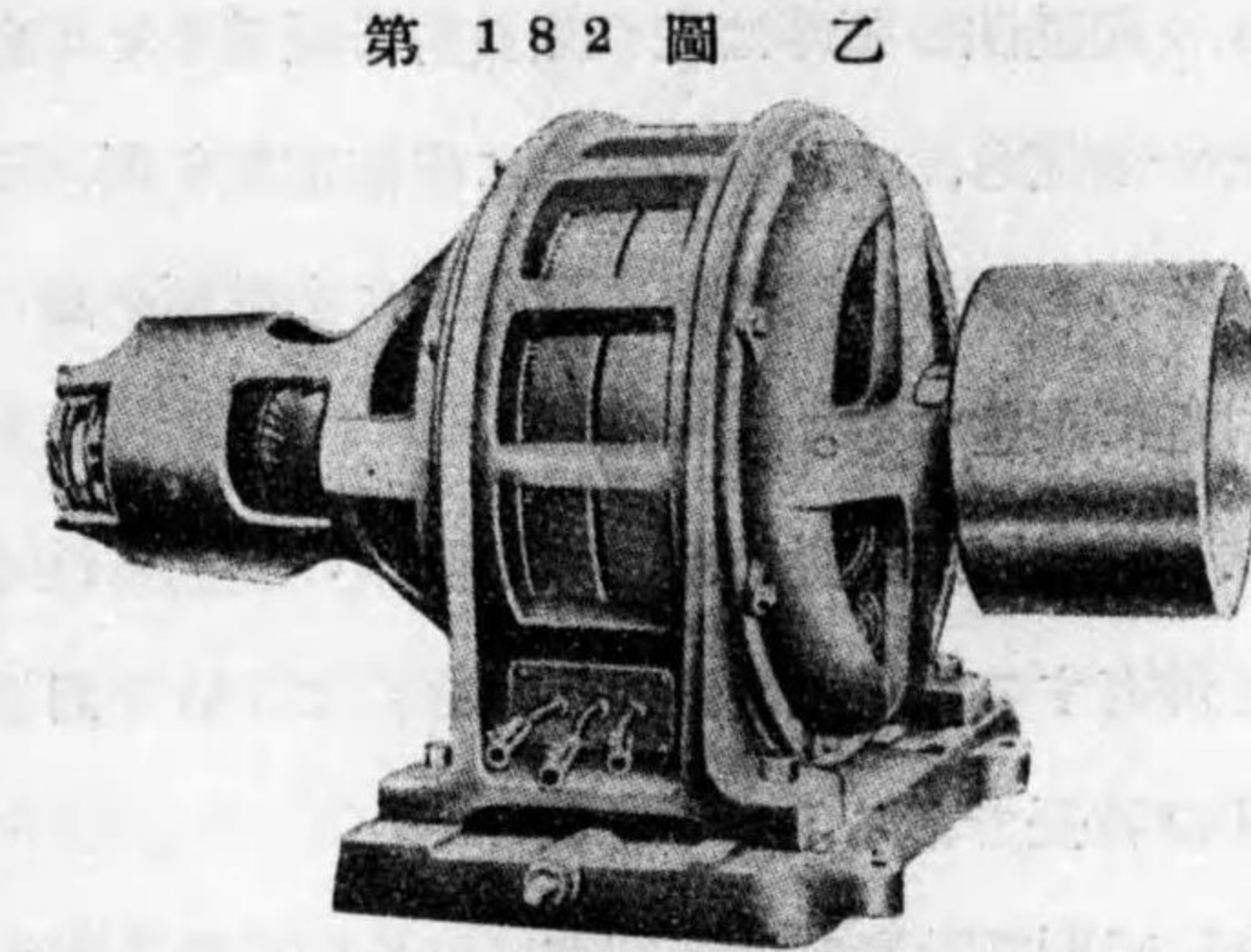


誘導同期電動機接続

いといふ希望が生ずる。斯様な目的を以つて案出されたものが誘導同期電動機 (induction synchronous motor) である。此の電動機は古く Danielson 氏等の研究もあつたが、大正十年以降我國の山本博士及川原田氏の共同研究に依つて大成されたもので、力率改善の高唱される今日、大に斯界の注目を引いて居る。次に其の概要だけ述べよう。

誘導同期電動機の一種の型を第 182 圖 甲、乙に示した。三相固定子に

電源から三相交流を供給すれば廻轉磁界を生ずる。故に捲線型誘導電動機として其の廻轉子が廻り出す。さうすると廻轉子電路には滑りの周波數で二次電流が流れる。此の二次電路には圖の如く軸に直結された直流發電子と其の界磁捲線とがつながれる。廻轉子が漸次加速するに従つて二次電路の周波數が小さくなる。さうすると廻轉子鐵心の各部は比較的長い間同じ極性で續くから、餘程同期電動機に近い特性を帯びて來る。一方直流直捲機では漸次一方向の電壓が漸昇作用 (building up) をなす。兩々相俟つて同期引込作用が頗る圓滑に行はれるのである。



誘導同期電動機の外觀

### 168. 速度制御

同期電動機は次の章に説く様に船舶推進用に供せられる。斯様な場合には、其の速度に變通性を有たぬことが大なる缺點である。尤も船舶の場合には、或る程度迄發電機の廻轉數を調節して同期電動機に供給される電壓の周波數を變へ、之に依つて電動機の変へることが出来る。

### 169. 摘要

此の一章では同期電動機の起動法を述べた。次に其の要點を掲げよう。

1. 同期電動機の起動法には他起動と自起動との二種がある。

2. 他起動では、起動用の小さい三相誘導電動機を其の軸に直結するのが普通である。此の誘導電動機の磁極数は成る可く主同期電動機より2だけ小さいものを選ぶが良い。
3. 自起動法としては、廻轉子籠形捲線を添加する方法が最も廣く行はれる。此の籠形捲線は制動子と兼用になる。
4. 起動法の順序は先づ無負荷で低電壓を電動子に與へて同期速度の附近まで加速し、次に界磁線輪に直流電壓を與へると、初めて同期に引き込まれるのである。然る後に電動子に全電壓を加へ、負荷を投じて力率を1の附近に調整する。
5. 誘導同期電動機は誘導電動機の起動特性と、同期電動機の運轉特性とを併有する。勵磁電路の切換を行はないうで圓滑に同期に引き込まれるのが其の特長である。
6. 同期電動機は速度制御は供給周波数を變へる外に道がない。

### 練習問題 XVII

1. 單相同期電動機の起動は何故に困難であるか。  
 解 單相捲線に單相交流が通つても、廻轉磁界は出来ない。従つて籠形捲線を用ひても、絶えず同じ方向に働く廻轉力は發生されない。故に單相同期電動機を用ひようとするれば、起動時だけは電動子を間に合はせの二相捲線にして、之に不完全な二相交流を送らなければならない。斯様に苦心しても起動廻轉力は甚だ貧弱である。
2. 多相同期電動機の起動時に於ける同期引込作用を説明せよ。(第166節 4 参照)

解 自起動の同期電動機が起動時に於て、誘導電動機として働いて居る間は幾分かの滑りを有する。然し籠形起動子の設計を巧にすれば、普通の籠形誘導電動機よりは遙に同期速度に近づく。加ふるに磁極片が凸極であるから、磁氣回路の磁氣抵抗を最小にしようとする廻轉力が働き直流勵磁を加へる前に、殆んど同期速度に達することがある。(第十四章問題 4 参照) 其の外第 165 節に述べた通り、磁極片に生ずる渦流とヒステリシスとの作用が廻轉子を同期速度にしようとする。是等が共力して同期に達せしめようとして居る處へ、丁度界磁極片が直流勵磁を受ける。そこで同期機としての本然の廻轉力が働き、嘗て第 166 節に述べた通り、比較的容易に同期引込 (pulling into step) が行はれるのである。同期引込作用の詳しい説明は省略するが、要するに無負荷に近い状態で起動すれば、餘り困難を感じずに眞の同期運轉に達し得るのである。

3. 多相同期電動機の起動時に於て界磁捲線が閉電路にされない時、高誘導起電力が界磁線輪の絶縁を破る心配はどうして防がれるか。

解 界磁線輪を數個に區分し、其の各區分に區分開閉器 (sectionalizing switch) を入れて、起動時には區分開閉器を開いて置くのである。斯うすれば、各區分の兩端電壓は餘程小さくすることが出来る。界磁が廻るのであるから、此の装置の構造は決して簡單でない。

4. 第 166 節の起動法に於て、直流勵磁を與へて後に交流常用電壓を加へるのは何故か。

解 直流電壓を與へる瞬時に、各磁極は既に電動子反作用の爲めに  $N$  又は  $S$  に勵磁されて居る。此の  $N$  又は  $S$  の極性が幸にして直流勵磁の生ずる極性と合致して居れば、平穩に行くが、不幸にして反對になつて居

れば、界磁開閉器を入れるや否や廻轉子は 180 電氣度だけ滑らなければならぬ。之を“slipping a pole”と稱する。斯様な場合には衝動 (shock) を生ずる。同じ衝動でも、成るべく交流電壓の低いうちの方が害が少いから、直流勵磁を與へた後に交流全電壓を加へるのである。尙ほ直流勵磁を加へる際に低い電壓から徐々に上げて行くと、殆んど衝動が無い。誘導同期電動機は斯様な點に於ても有利である。

## 第十八章 同期電動機應用の範圍

### 170. 同期電動機の得失

同期電動機は其の原理が比較的早くから知られて居たに拘らず、實際、工業上の用途に供せられることは誘導電動機に及ばない。電氣技術家の間に同期電動機の短所のみが過大視され、其の長所が閑却されて居た事が、其の最も有力な原因であらう。又自起動装置の工業的に完成された事が遅かつた（大正の初年）のも一の理由である。同期電動機の第一の短所は其の起動廻轉力が小さく、起動に手数を要することである。故に電車、昇降機の如き用途には勿論不適當である。同期電動機の第二の短所は勵磁の爲めに直流電源を必要とする事である。第三の短所は電壓や周波數の變化に對して敏感で、動もすれば同期運轉を續け得ぬ様になる事である。然し同期電動機は一面に此等の短所を償つて餘りある長所を有して居る。それは次の三點である。

- (1) 勵磁の調節に依り自機の力率を 1 にし得ること。
- (2) 空隙が廣いから、手荒な使用に堪へ且つ廻轉子を取出不事に修繕し得ること。
- (3) 交流回路の力率を改善し、受電々壓を調整し得ること。

此の三點は誘導電動機の到底企て及ばない所である。(1)に對しては誘導電動機でも方法が絶無ではないが、中々複雑になる。(2)は實際問題として初學者の到底想像し得ぬ程の大問題である。(3)に就いては改めて説明する。斯様な見地から近來同期電動機の使用範圍が漸く擴大されて來た。

節を改めて之を列挙しよう。

### 171. 同期電動機の用途

第一に誘導電動機でも、同期電動機でも差支へないが、同期電動機の方が適當と斷定すべき種類のものを挙げよう。

#### 1. 直流の發電機を廻轉すべき交流電動機

即ち直流電車の比較的小出力の變電所で、電動發電機を使用する場合、又は蓄電池充電用の發電機を運轉する場合等である。斯様な場合には屢々起動し屢々停止する必要がないのみならず、起動の際直流發電機の主幹閉閉器を開いて置けば、無負荷状態で電動機を起動することが出来る。故に同期電動機を利用して、前節(1)及(2)の長所を十分に發揮させることが出来る。第二に多少の困難を排しても、なるべく同期電動機の使用を薦むべき場合としては、次のものを挙げる事が出来る。

#### 2. 消費 $kVA$ 數を考慮に取つて電力料金を課せらるる電動機

近來同じ  $kW$  數に對しても、力率が低くて比較的電流を多く要求する需要家には、幾分多額の料金を課することが世界の輿論となりつゝある。これは誠に當然である。水力發電の場合には一層、さもあるべき事である。斯様な場合には前節にも述べた通り、誘導電動機でも力率を 1 に近くする方法はある。例へば進相機 (phase advancer) を二次回路に入れ、又は紙製蓄電器を使用し、又は補償誘導電動機を使用する等が夫れである。然し何れも複雑高價となる。第 168 節に述べた誘導同期電動機を使用するのも一策であるが、これは寧ろ同期電動機の一變態と見て良からう。各種工場 製紙工場、石切工場等に於て從來は低力率の制限がなかつたので、

多くは誘導電動機を用ひて來たが、近頃低力率を忌む風潮になつてから、漸く同期電動機が歡迎されるに至つたものが少なくない。ポンプを廻すのに、初め衝程を零にして無負荷状態で起動させる工風をした實例もある。又同期電動機を推薦して良い種類の中には、

#### 3. 船舶推進用

#### 4. 電氣機關車

を挙げる事が出来る。船舶推進には勿論當初誘導電動機のみが用ひられたが、大正十年頃から米國の軍艦や商船に同期電動機を使用する實例が現はれた。我國でも軍艦神威 (かもゐ、大正十一年建造) が同期電動機に依る電機推進艦である。後進の場合には可なり困難がある。電氣機關車の例はまだ稀であるが、大正十四年に米國の石炭産出地 Detroit, Ironton 間の電氣鐵道に於て同期電動機が使用された。此の實例に於ては電車線に於ける一萬  $V$  の三相特別高壓を機關車内の變壓器で降壓し、之を以つて同期電動機を廻す仕組になつて居る。同期電動機は毎朝起動したら、夜迄絶えず運轉する。之に依つて直流發電機を廻はし其の直流で牽引用電動機を廻すのである。即ち機關車の中に變電所を具へて居るのである。3, 4 の二例は力率良好の利點もあるが、それにも劣らず全重量の小さい事、空隙の廣い事及修繕の容易な事を喜んで同期電動機を使用する實例である。

#### 5. 周波數變換機 (frequency changer)

例へば 50 サイクルから 25 サイクルに變へる時に、交流電動機と交流發電機とを直結した周波數變換機を使用する。此の場合、周波數の比に應じた磁極數の同期電動機と同期發電機とを直結するのが、最も普通の方法である。

## 172. 同期電動機の獨壇場

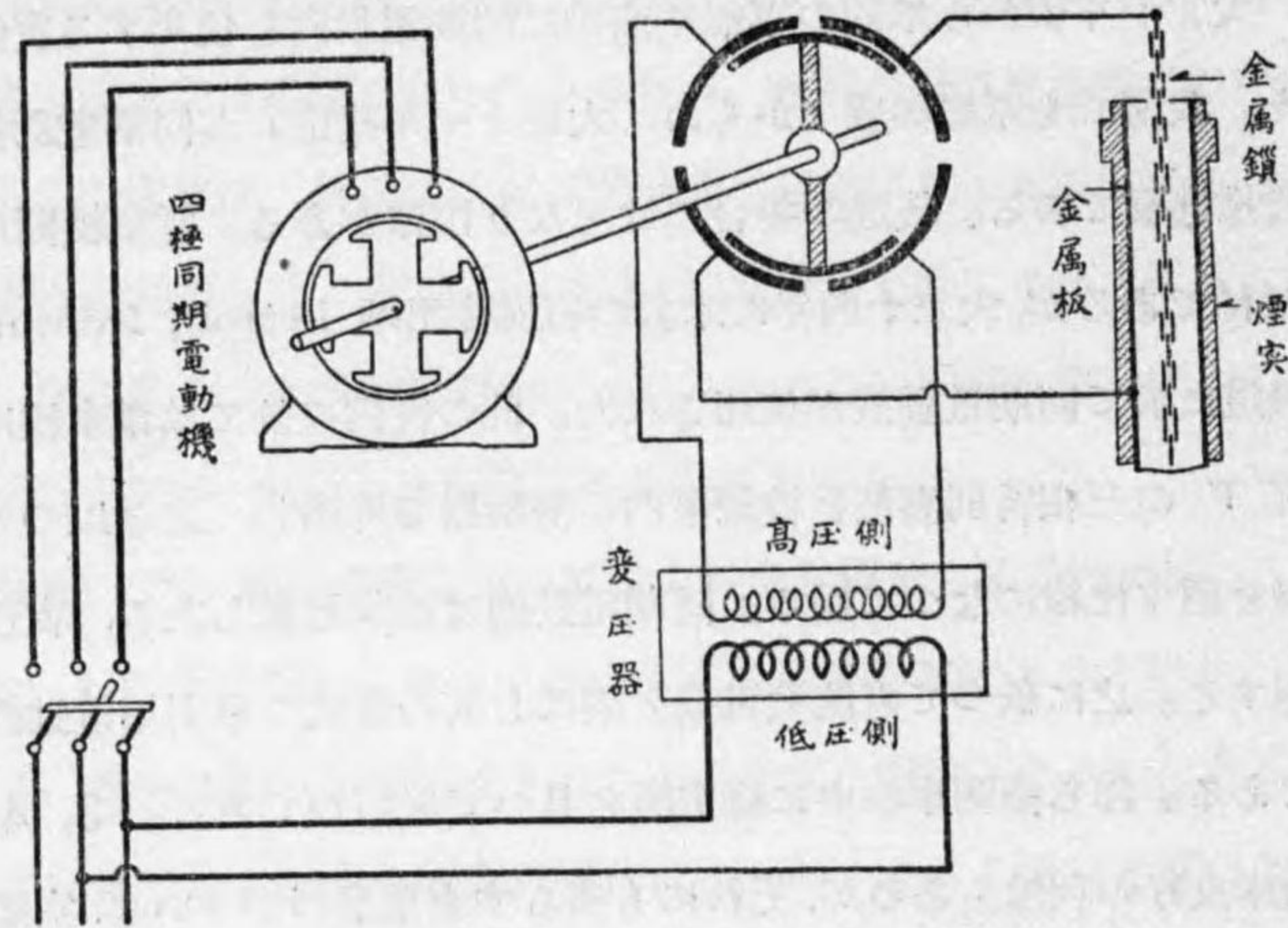
第三に同期電動機でな

ければ出来ぬ仕事がある。それにも自ら種類があるが、

## 6. 電気制動を欲する場合

之れは誘導電動機では出来ない。護謨工場等に於て非常の際、一瞬でも早く動力を止めないと工場員の安危に關する事がある。斯様な場合に動力用と

第 183 圖



機械的整流器に依る電気脱烟法

して同期電動機を使用し、非常の際電気制動(electric braking or dynamic braking)を行ひ、動力を瞬間に停めるのである。同期電動機を供給幹線から切り離し、其の端子を適当な抵抗で短絡するのが電気制動である。

## 7. 同期速度其物の必要な場合

之も亦第三の部類に屬する。誘導電動機の滑りの測定には、同期運轉を比

較の対象とする必要がある。オッシログラフの鏡を廻すには是非同期電動機を用ひなければならない。是等が其の實例である。斯様な場合、往々勵磁捲線を有せぬ型(第十四章,章末 問題 4 参照)を用ひる。又機械的整流器 (mechanical rectifier) も其の一例である。

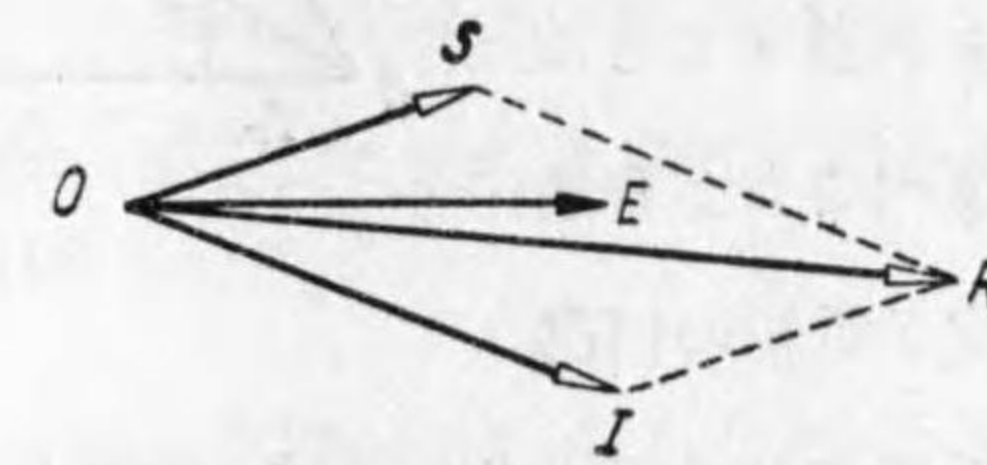
整流器とは一般に交流を直流に變へる装置であるが、第 183 圖の如くすれば簡単に整流の目的を達することが出来る。斯うして得られた直流電圧は電気脱烟法 (electric precipitation) 等に利用せられる。

## 173. 同期補償機

第四の用途として、第 170 節第(3)

に述べた力率制御と電壓調整とを説かう。これも勿論誘導電動機では出来ない事柄である。交流電路では一般に電流の相の遅れる場合が多い。電路に多数の軽負荷誘導電動機を含む場合には、殊に此の傾向が著しい。故に此の様な場合には、電路に同期電動機を使用し、其の勵磁を強くして、之に入る電流の相を進ませる時は、合成電流の相を進め、全電路の力率

第 184 圖



同期補償機ベクトル圖

を 1 に近づかせることが出来る。第 184 圖で  $\vec{OE}$  を電路の起電力を示すベクトルとし、 $\vec{OI}$  を誘導電動機のみを負荷とする場合の電流とする。此の際力率は  $\cos \angle EOI$  である。然るに此の誘導電動機と並列に同期電動機を運轉すると、其の勵磁を強くして、 $\vec{OS}$  の様な電流を取らせることが出来る。故に電路から供給する全電流は  $\vec{OI}$  と  $\vec{OS}$  とのベクトル和  $\vec{OR}$  となり、全電路の力率は  $\cos \angle EOR$  となる。 $\angle EOR$  は同期電動機

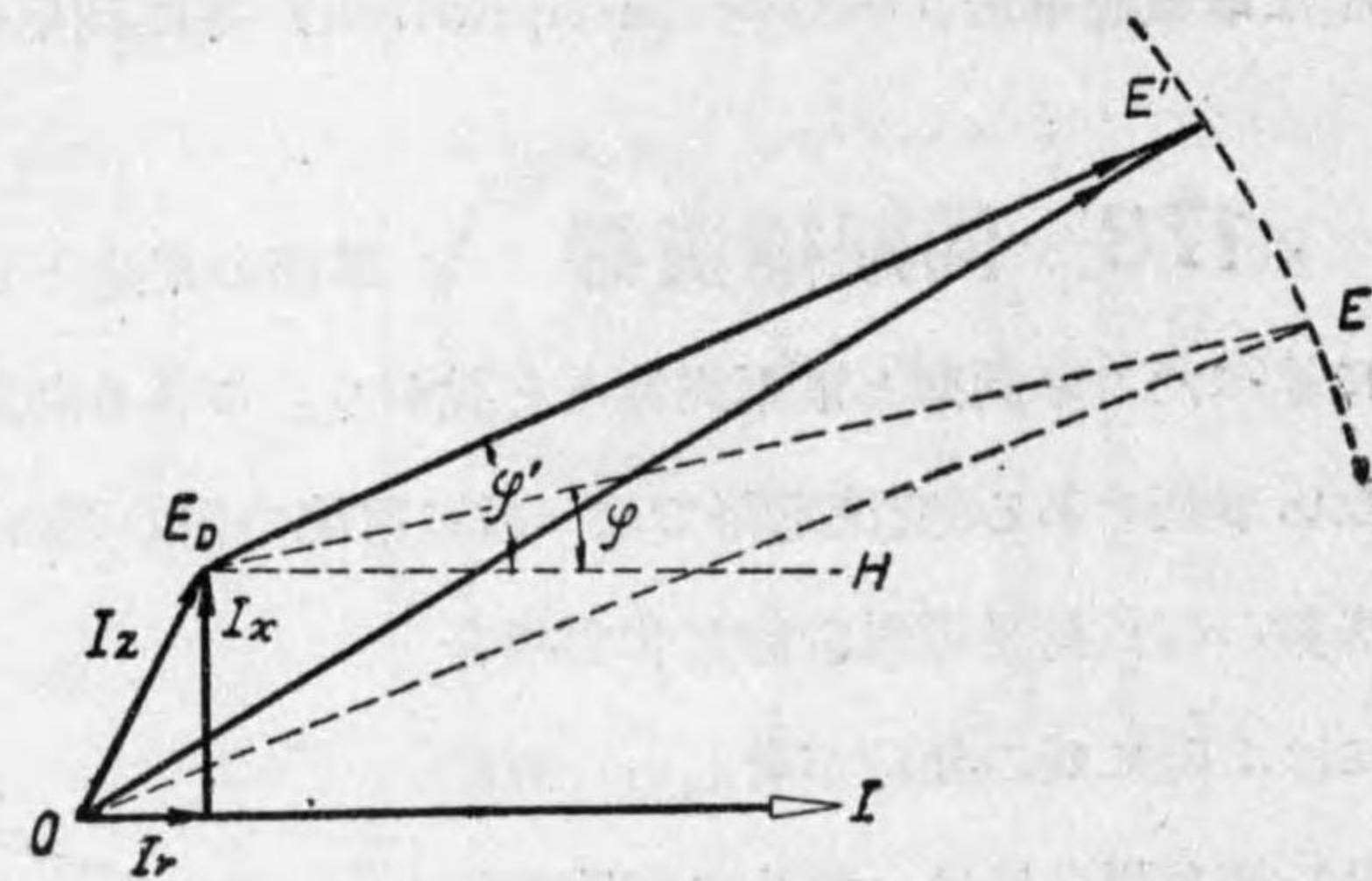
の勵磁を加減することに依り、或る程度迄は零に近づける事が出来る。普通、力率 95% となれば充分である。力率が 1 に近くなれば同じ  $kVA$  出力に對して  $kW$  數を増すことが出来る。此の様な目的に同期電動機を使用する時は之を同期補償機 (synchronous compensator, synchronous phase modifier, rotary condenser or dynamic condenser) と稱へる。

同期補償機として

第 185 圖

使用する同期電動機は普通軽い負荷を擔はせるのみで充分である。

次に同期補償機を以て受電端の電壓を調整する方法を述べよう。普通架空送電線の自己



同期補償機に依る電壓調整

誘導に依るリアクタンスは、抵抗に比し大であつて、電氣容量に依るリアクタンスは閑却して良い。故に送電線内の電壓降下は第 185 圖  $Iz$  の様になる。今又受電端に於ける負荷の力率を  $\cos\phi$  とすると、 $E_0H$  ( $OI$  に平行) と  $\phi$  の角をなす  $E_0E$  線は受電端の電壓の方向を示す。發電端の電壓  $\overline{OE}$  は不變の大きさだから、 $O$  を中心とし  $\overline{OE}$  を半径とし圓弧を描き、 $E_0E$  との交點を  $E$  とすると、 $\overrightarrow{OE}$  は即ち受電端電壓を示す。

そこで今假りに電流の大きさは不變であるが力率が更に減少したと想像しよう。さうすると、第 185 圖の  $\phi$  は増加して  $\phi'$  となり、受電端の電壓

は  $E_0E'$  に減少する。此の場合に受電端に同期補償機を使用し、其の勵磁を強くして、電壓より進む電流を生ぜしめると、力率を増進するのみならず受電端の電壓を不變に維持することが出来る。同様に負荷の力率が變つたり、又は力率並に電流の大きさに變化したりして、受電端の電壓を降下させる場合にも、同期補償機に依つて常に其の電壓降下を避けることが出来る。又受電端の電壓が上昇した場合には、同期補償機の勵磁を弱くし、電流の相を遅らせて受電端電壓の上昇を防ぐことも出来る。

斯様に受電端に同期電動機を使用し、之に依つて電壓を調整する方法は發電端で電壓を調整する方法より優れて居るといふ説が近時輿論となつた。我國でも長距離送電線の受電端に、數萬  $kVA$  の同期補償機が使用せられ、力率改善と電壓調整との二つの大役を司つて居る所が多い。

## 174. 摘要

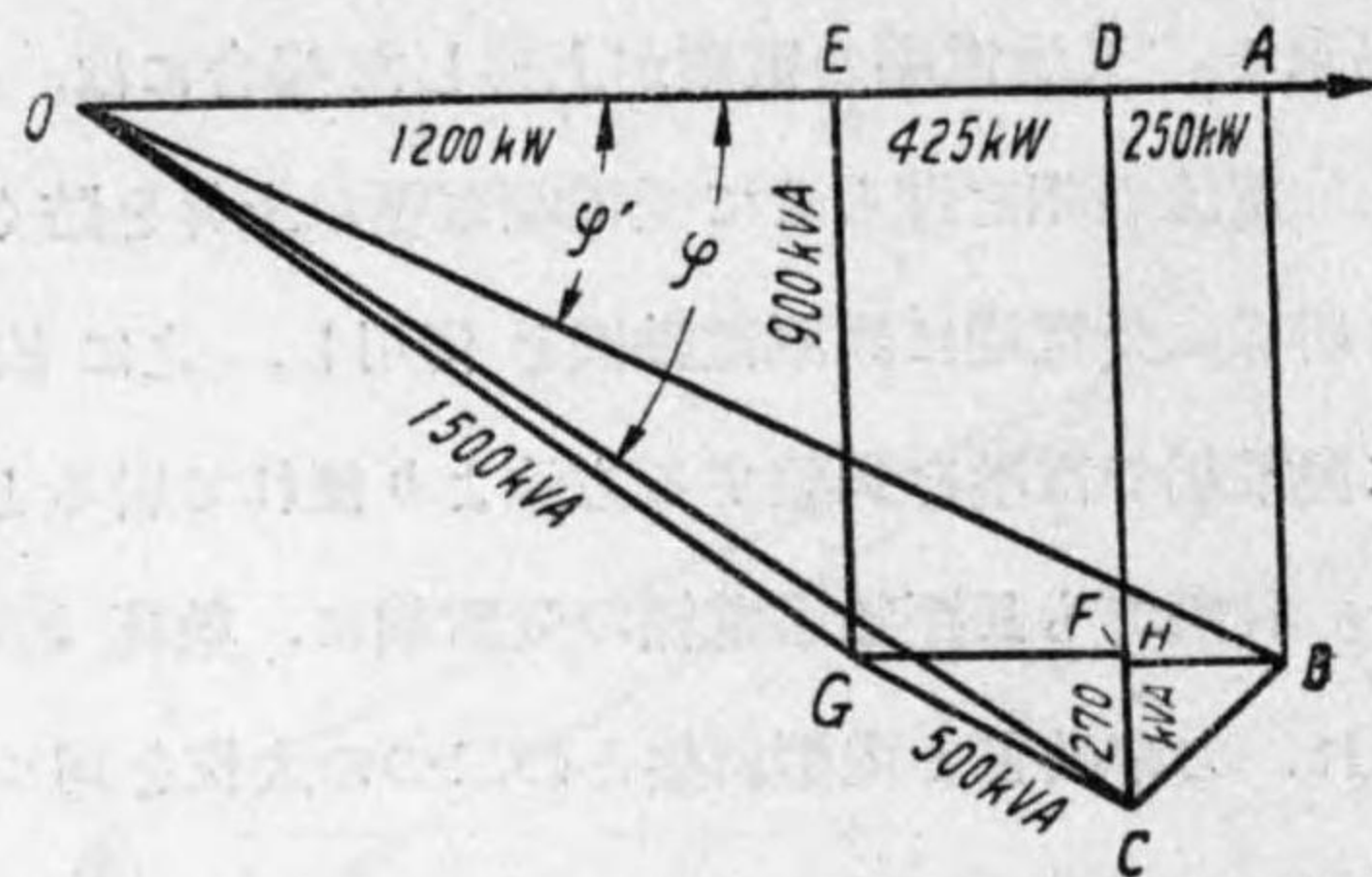
此の短い一章の要點は次の通りである。

1. 同期電動機の短所は、起動の弱點、不安定の恐れ及び直流勵磁の必要等である。
2. 之に反して、力率の制御が自在な事、空隙が廣く修繕が容易な事等は同期電動機の長所である。
3. 同期電動機の工業上の應用範圍は近時漸く廣まつた。就中主なる用途は電動發電機 (周波數變換機を含む)、高力率電動機、船舶推進用、電氣制動を要する場合、同期速度其物の必要な場合、力率制御又は受電端電壓調整用の同期補償機等である。

## 練習問題 XVIII

1. 力率 80% で、1200 kW 及び力率 85% で 425 kW の負荷がある。其處へ更に 250 kW の機械動力を要する様になつたので、之に同期補償機を使用し、力率を 90% に改善しようと思ふ。同期補償機の容量は何程にすべきか。

第 186 圖



同期補償機容量の計算

解 第 186 圖に於て、在來の負荷電力は

$$\overline{OD} = 1500 \times 0.8 + 500 \times 0.85 = 1625 \text{ kW}$$

であつて、其の皮相電力は略ぼ

$$1500 + 500 = 2000 \text{ kVA} \quad (\text{精密にはベクトル和})$$

である。故に其の力率は次の通りになる。

$$\cos \phi = \frac{1625}{2000} \times 100 = 81\%$$

従つて、之に 250 kW の負荷が加はつても、其の全部の力率  $\cos \phi'$  が 90% に改善せられる爲には、

$$\overline{OB} = (1625 + 250) \div 0.90 = 2083 \text{ kVA}$$

の發電機を準備すれば良い。故に其の電力は

$$\frac{250}{1625} \times 100 = 15.4\%$$

を増加したに拘らず、其の發電機の kVA 耐量は僅に 4.2% を増加すれば良い事になる。扱て之に使用する同期電動機の容量を求めるには、矢張り圖に依るのが便利である。即ち舊來の無効分は

$$\begin{aligned} \overline{CD} &= \overline{GE} + \overline{CF} = 1500 \times \sqrt{1 - (0.80)^2} + 500 \times \sqrt{1 - (0.85)^2} \\ &= 900 + 270 = 1170 \text{ kVA} \end{aligned}$$

改善後の無効分は

$$\overline{BA} = 2083 \times \sqrt{1 - (0.90)^2} = 908 \text{ kVA}$$

従つて差引  $\overline{CH} = 1170 - 908 = 262 \text{ kVA}$

の進み無効分を電力 250 kW に加へて、電動機に供給せねばならぬ。故に其の容量は  $\overline{CB} = \sqrt{250^2 + 262^2} = 360 \text{ kVA}$

2. 同期電動機の長所と短所とを列挙せよ。

手引 本文第 171 節冒頭参照。

3. 一線の抵抗 5.0 オーム、自己誘導リアクタンス 12.4 オームを有する三相交流三線式架空送電線路がある。電源の星形電圧 11000 V (一定) で 120 A を供給するものとする。今同期補償機に依り受電端の星形電圧を 10000 V にする爲めには、受電端の力率  $\cos \phi$  を幾何に調整するを要するか。

解 本文第 185 圖に於て

$$\begin{aligned} \vec{OI} &= 120 \text{ A}, & \vec{OE} &= 11000 \text{ V}, & E_D \vec{E} &= 10000 \text{ V}, & \vec{I}_r &= 600 \text{ V}, \\ \vec{I}_x &= 1488 \text{ V}, & \vec{I}_z &= 1604 \text{ V}. \end{aligned}$$



従つて同圖より次の式が得られる。(第一編第 46 式の應用)

$$\begin{aligned} (11\,000)^2 &= (10\,000 \times \cos\varphi + 120 \times 5.0)^2 + (10\,000 \times \sin\varphi + 120 \times 12.4)^2 \\ &= (10\,000)^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) + 12\,000\,000 \cos\varphi \\ &\quad + 29\,760\,000 \sin\varphi + (360\,000 + 2\,214\,000) \\ &= (10\,000)^2 + 12\,000\,000 \cos\varphi + 29\,760\,000 \sin\varphi + 2\,574\,000 \\ 18\,426\,000 &= 12\,000\,000 \cos\varphi + 29\,760\,000 \sin\varphi \end{aligned}$$

$$1.536 = \cos\varphi + 2.48 \sin\varphi = \sqrt{1^2 + 2.48^2} \sin(\varphi + \alpha)$$

但し  $\alpha = \arctan \frac{1}{2.48} = 22^\circ$

$$\frac{1.536}{2.674} = \sin(\varphi + 22^\circ) \quad \therefore \varphi + 22^\circ = 35^\circ.6'$$

$$\therefore \varphi = 13^\circ.6' \quad \therefore \text{力率 } \cos 13^\circ.6' = 0.974 \quad (\text{答})$$

従つて同圖より次の式が得られる。(第一編第 46 式の應用)

$$\begin{aligned}(11\ 000)^2 &= (10\ 000 \times \cos\varphi + 120 \times 5.0)^2 + (10\ 000 \times \sin\varphi + 120 \times 12.4)^2 \\ &= (10\ 000)^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) + 12\ 000\ 000 \cos\varphi \\ &\quad + 29\ 760\ 000 \sin\varphi + (360\ 000 + 2\ 214\ 000) \\ &= (10\ 000)^2 + 12\ 000\ 000 \cos\varphi + 29\ 760\ 000 \sin\varphi + 2\ 574\ 000 \\ 18\ 426\ 000 &= 12\ 000\ 000 \cos\varphi + 29\ 760\ 000 \sin\varphi\end{aligned}$$

$$1.536 = \cos\varphi + 2.48 \sin\varphi = \sqrt{1^2 + 2.48^2} \sin(\varphi + \alpha)$$

但し  $\alpha = \arctan \frac{1}{2.48} = 22^\circ$

$$\frac{1.536}{2.674} = \sin(\varphi + 22^\circ) \quad \therefore \varphi + 22^\circ = 35^\circ 6'$$

$$\therefore \varphi = 13^\circ 6' \quad \therefore \text{力率 } \cos 13^\circ 6' = 0.974 \quad (\text{答})$$

### 第三部 電氣の理論と應用

## 第三編 電氣鐵道

41 — 110 頁

標準校外生第十一卷第三部試験問題

第三篇 電氣鐵道の部

1. 直徑 10 米の車輪を有する電車が一時間 26 杆の速度で連轉しつゝあり、其の齒車齒數比 60 : 18 齒車能率を 95% とす。今車輪周に働く牽引力が 285 疋なりとせば電動機の廻轉力及廻轉數如何。
2. 次の場合に使用する聚電子の名稱を擧げ簡単に其の理由を述べよ。
  - イ 高電壓式の市間電車
  - ロ 曲線軌道頗る多き郊外電車
  - ハ 公道に於ける市街電車
  - ニ 第三軌條式電氣鐵道
3. 圓筒型制御器のする役目を列擧せよ。
4. 次の器具の用途を簡単に述べよ。
  - イ 片腕曲線吊子
  - ロ 饋電イーヤ
  - ハ フロッグ
  - ニ 垂吊子
5. 25 疋の軌條を使つた複線軌道 7 杆の抵抗如何。

第四章 電 動 機

29. 電動機の要件

電氣鐵道用電動機として、性能上

一般に重要な點は

- (1) 所定の加速度で重い電車を發車させるには大なる牽引力を要するから起動廻轉力の大である事
  - (2) 登り勾配等で、電車が大きな牽引力を要する場合にも、電力消費の著しい増加を要せずして足りる事
  - (3) 電車の速度を容易に加減し得る事
- 等である。

電動機の出カ  $P_a$ 、廻轉力  $\tau$  及毎分の廻轉數  $n$  が次の式で表はされる事は機械器具の講義に精しく説明してある。(直流機178—181 頁参照)

$$P_a = \omega \tau \times 10^{-7} = 2\pi \frac{n}{60} \tau \times 10^{-7} \text{ワット} \dots\dots\dots (1)$$

$$\tau = N_c'' \Phi I_a \dots\dots\dots (2)$$

$$n = \frac{1}{N_c'} \frac{E - I_a r_a}{\Phi} \dots\dots\dots (3)$$

是等の關係を考へて、如何なる種類の電動機が電氣鐵道に適當するかを知る事が出来る。但  $\Phi$  は界磁々束、 $I_a$  は電動子電流、 $E$  は電動機に加はる電壓、 $r_a$  は電動子の抵抗、 $N_c'$  や  $N_c''$  は一電動機に特有の定數である。此の中界磁々束は界磁電流に關係し、未飽和の場合では其電流に正比例するが、實際に於ては飽和の爲、幾分此の割合よりも少ないのが常である。

## 第四章 電 動 機

### 29. 電動機の要件

電氣鐵道用電動機として、性能上

一般に重要な點は

- (1) 所定の加速度で重い電車を發車させるには大なる牽引力を要するから起動廻轉力の大である事
- (2) 登り勾配等で、電車が大なる牽引力を要する場合にも、電力消費の著しい増加を要せずして足りる事
- (3) 電車の速度を容易に加減し得る事

等である。

電動機の出カ  $P_a$  廻轉力  $\tau$  及毎分の廻轉數  $n$  が次の式で表はされる事は機械器具の講義に精しく説明してある。(直流機178—181 頁参照)

$$P_a = \omega \tau \times 10^{-7} = 2\pi \frac{n}{60} \tau \times 10^{-7} \text{ワット} \dots\dots\dots(1)$$

$$\tau = N_c'' \Phi I_a \dots\dots\dots(2)$$

$$n = \frac{1}{N_c'} \frac{E - I_a r_a}{\Phi} \dots\dots\dots(3)$$

是等の關係を考へて、如何なる種類の電動機が電氣鐵道に適當するかを知る事が出来る。但  $\Phi$  は界磁々束,  $I_a$  は電動子電流,  $E$  は電動機に加はる電壓,  $r_a$  は電動子の抵抗,  $N_c'$  や  $N_c''$  は一電動機に特有の定數である。此の中界磁々束は界磁電流に關係し、未飽和の場合では其電流に正比例するが、實際に於ては飽和の爲、幾分此の割合よりも少ないのが常である。

### 30. 直流直捲電動機

直流直捲電動機では電動子及界磁捲線は直列に接続せられ、何れにも同じ電流が通するのであるから、前節の2式に依り廻轉力は未飽和の場合には電流の自乗に比例し、全飽和の場合には電流に比例する。依て電流が小であるときは廻轉力も極めて小であるが、 $\Phi$ も亦小である爲め3式より明かな様に其速度は大である。反對に電流大なる時は、廻轉力が大で速度は小である。斯の様に廻轉力と速度とは電流の値に依り常に反對に變化するから、此の種の電動機の電力消費には1式から解る様に餘り大なる變動はない。又起動廻轉力も $\Phi$ が一定である種類に比べては大であるし、速度制御も比較的容易である。

電氣鐵道用電動機に三種ある事は第一章に述べた通りであるが、直流直捲電動機が最も廣く使用されて居るのは、以上に示す様に其の性能が電氣鐵道としての要件に最も適合して居るからである。そして交流式は未だ我國では使用されないから、此處では本電動機に就てのみ述べる事とする。

### 31. 構 造

電車用電動機は他の用途に使用される電動機と使用場所著しく異なる爲、其構造も異なる所が多い。

(1) 電車用電動機は、電氣機關車の様に床上に上げる場合を除き、一般に車臺に取り付けるのであるから、塵埃、泥土、雨水のために害を被らない様に密閉する事が必要である。

(2) 従つて開放型の電動機よりも、形状及重量が大となる(温度上昇の関係から)のであるが、電動子軸に送風機を装置する等適當の換氣法を行へば、比較的小さくて大きな出力を有せしむる事が出来る。

(3) 電車用電動機では、刷子を移動する事が頗る困難だから、負荷が増減しても、廻轉方向が反對になつても、刷子を移動しなくても整流に差支ない様な設計にしなければならない。即ち、電動子反作用を十分に打ち消す事が必要であるから、現今では必ず補極電動機が用ゐられる。

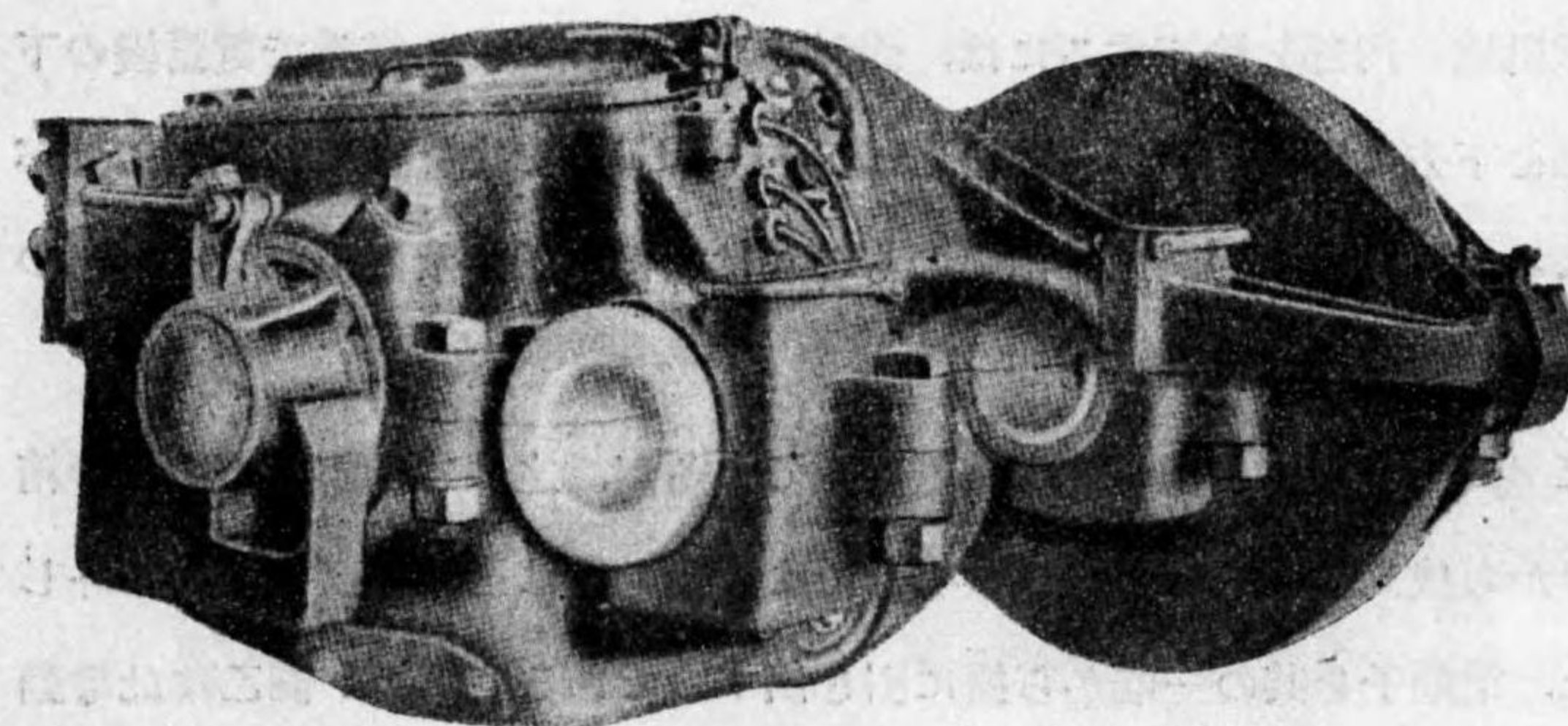
(4) 固定臺上に安置せられる場合とは異り、進行する電車の車軸に連結して車臺上に取り付けられるのであるから、斯うしても完全に動作し得る構造にせねばならない。

(5) 技術の素養乏しい運轉手によつて取り扱はれるのであるから、電氣的にも機械的にも特に堅牢な事を要する。

(6) 停車中適時點檢し、又車庫等にて故障箇所を修理するにも容易に實施し得る事も亦望ましい。

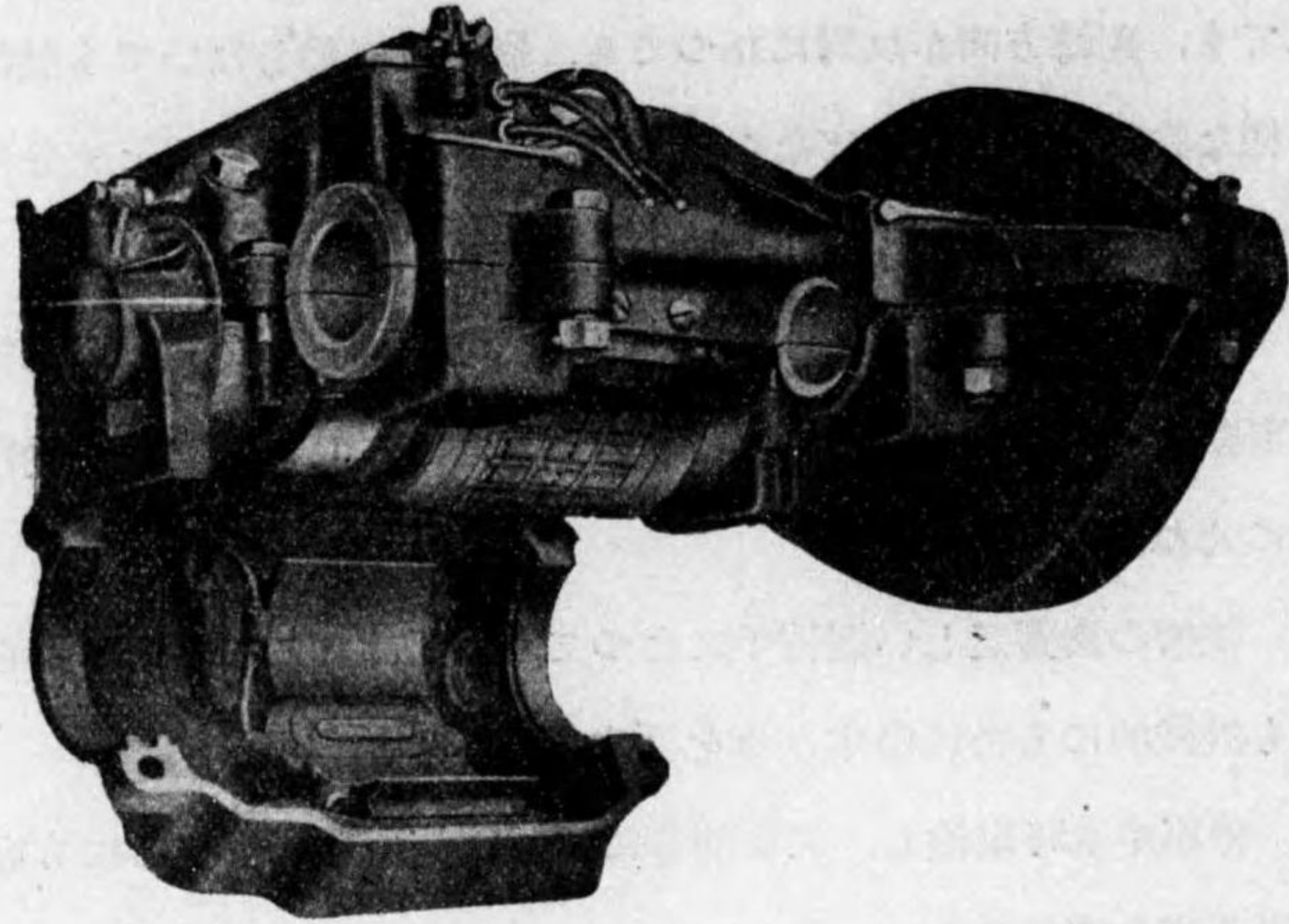
第 43 圖甲は、電車用直流直捲電動機の一例である。主要部は鑄鋼の外

第 43 圖 甲



函で密閉され、唯左方上部に點檢口があるが、之は適時其蓋を開いて、刷子及整流子面の狀況を檢視するためである。電動子軸承及車軸承の部にも

第 43 圖 乙



點檢口があつて、其注油状態等を檢視するのである。右方のギア、ケースは齒車装置の防護函である。

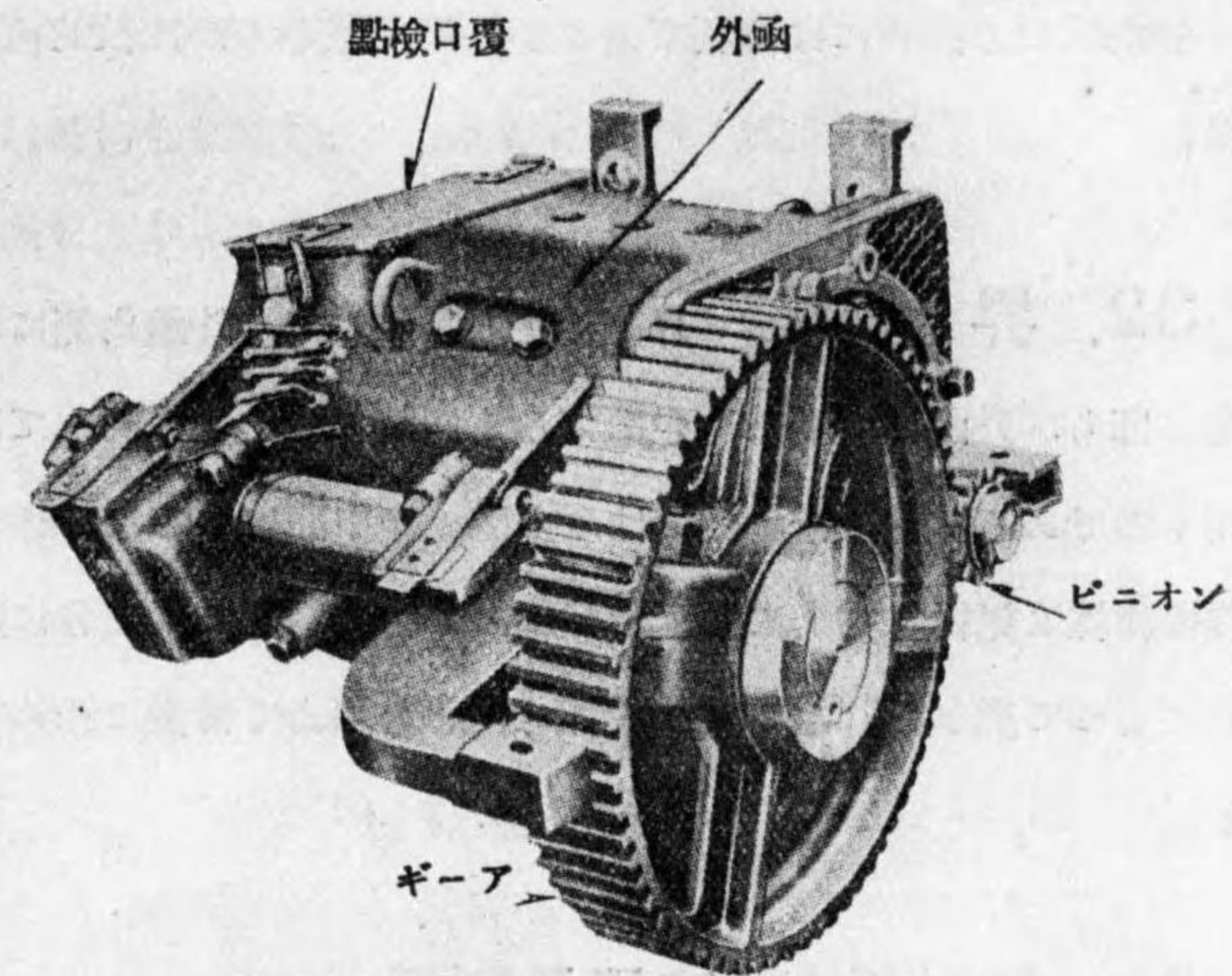
電動機の内部を検査するには、働軸と反対の側にある蝶番で電動機の下半部を下方に開き、車庫の修繕用ピット (pit) 内で之を懸垂して行ふ事が出来る(第 43 圖乙)。此の構造のものでは、電動子軸承は上部又は下部の外函に取り付けられる。

第 44 圖甲も電车用直流直捲電動機であるが、之は外函が全く 1 箇の箱形枠から成立つて居る。検査の場合には、電動機は全く車臺から取り外した上、電動子を其の一端から横に引き出すのである。第 44 圖乙は此電動機の内部を示すための分解圖である。

以上に示す通り、電動機外函は、第 43 圖に示した分割式 (split-frame

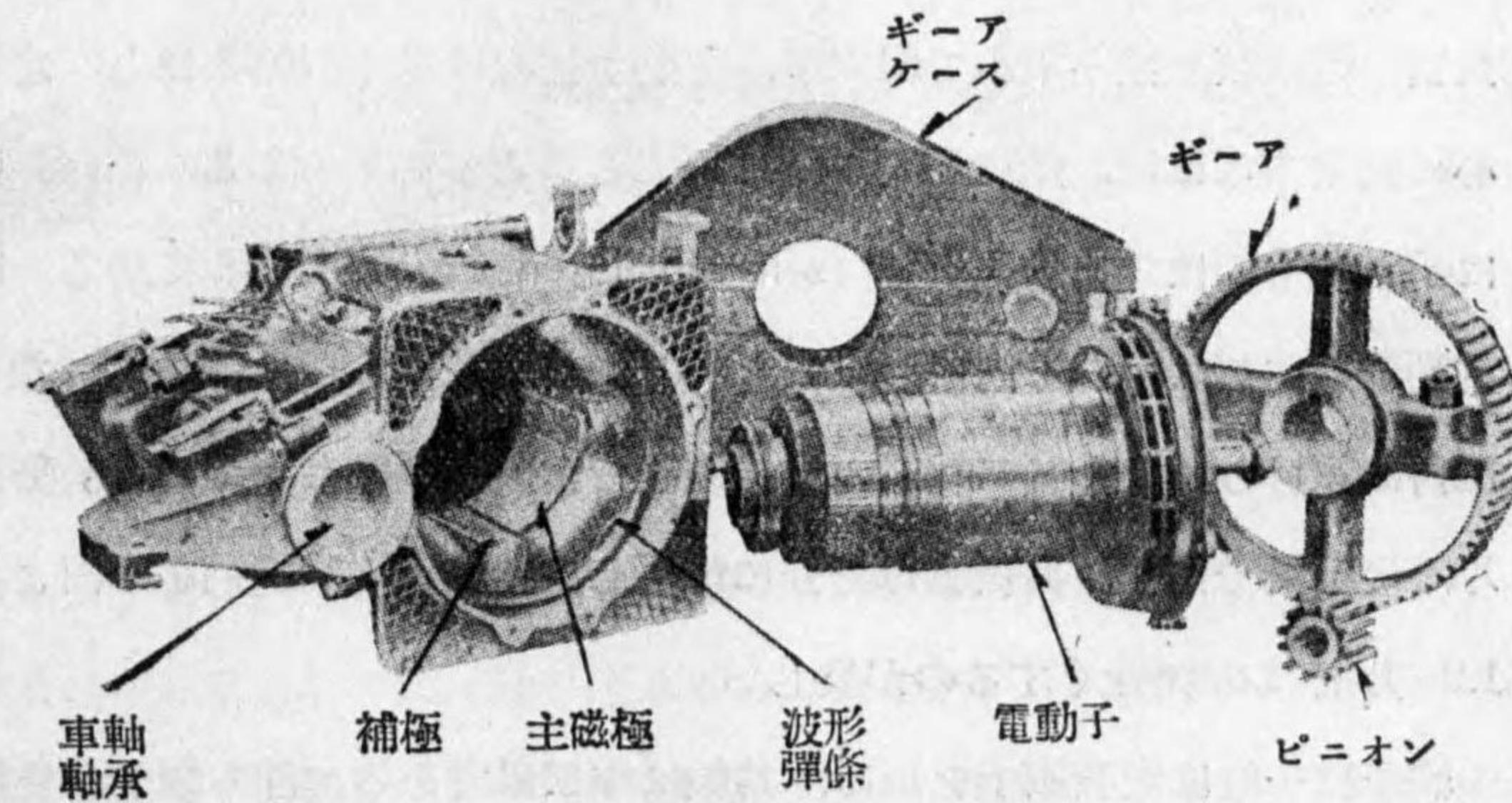
註 ピットは車庫内の諸軌道の間軌條間を一米掘り下げて造つた溝の事。

第 44 圖 甲



箱型枠電车用直流直捲電動機の外觀

第 44 圖 乙



上 圖 の 分 解 圖

type) のものと第 44 圖に示した箱型式 (box-frame type) のものがある。分割式の方検査には便利であるが、箱型式の方が比較的軽くて丈夫である。

### 32. 界 磁

界磁極は通常 4 個で、外函内側に取り付けられる。即ち、外函は主要部を包蔵すると同時に磁力線に対しては繼鐵の用をなすのである。補極電動機では、主磁極の中間に小さな補極を設ける。

磁極捲線は絶縁を完全にし、機械的の障害に対しても十分に防護し、又振動によつて動かされない様、波形弾條を用ゐて繼鐵に締め付けるのである。

### 33. 電動子, 整流子及刷子

電車用電動機の電動子は一般に直径を減じ長さを長くする。之に依つて急激な加速及制動を可能ならしめ、又同時に電動機と軌道との間の餘地を増す事が出来る。鐵心は良質の薄鐵板を積み重ねて組立て、電動子捲線は多く型捲となし、之を鐵心に固定するには、鋼鐵バンド線を用ふる必要がある。第 44 圖乙に示したものは、自己通風型 (self-ventilated type) になつて居る。即ち電動子の内部に軸の方向に通風穴を有し、整流子側から吸ひ込まれた風は反對に設けられてゐる二重辨の扇風装置で電動機の外に導かれる。整流子片は硬引銅で作り、高級雲母で互に絶縁し、其雲母部は整流子面よりも 1.2 乃至 1.6 耗低くするのが良い。

刷子は一般に炭素刷子を用ゐ、其數は唯二組である。即ち刷子が整流子の下側にある様にするると點檢や修理に不便であるから、電動子捲線は直列

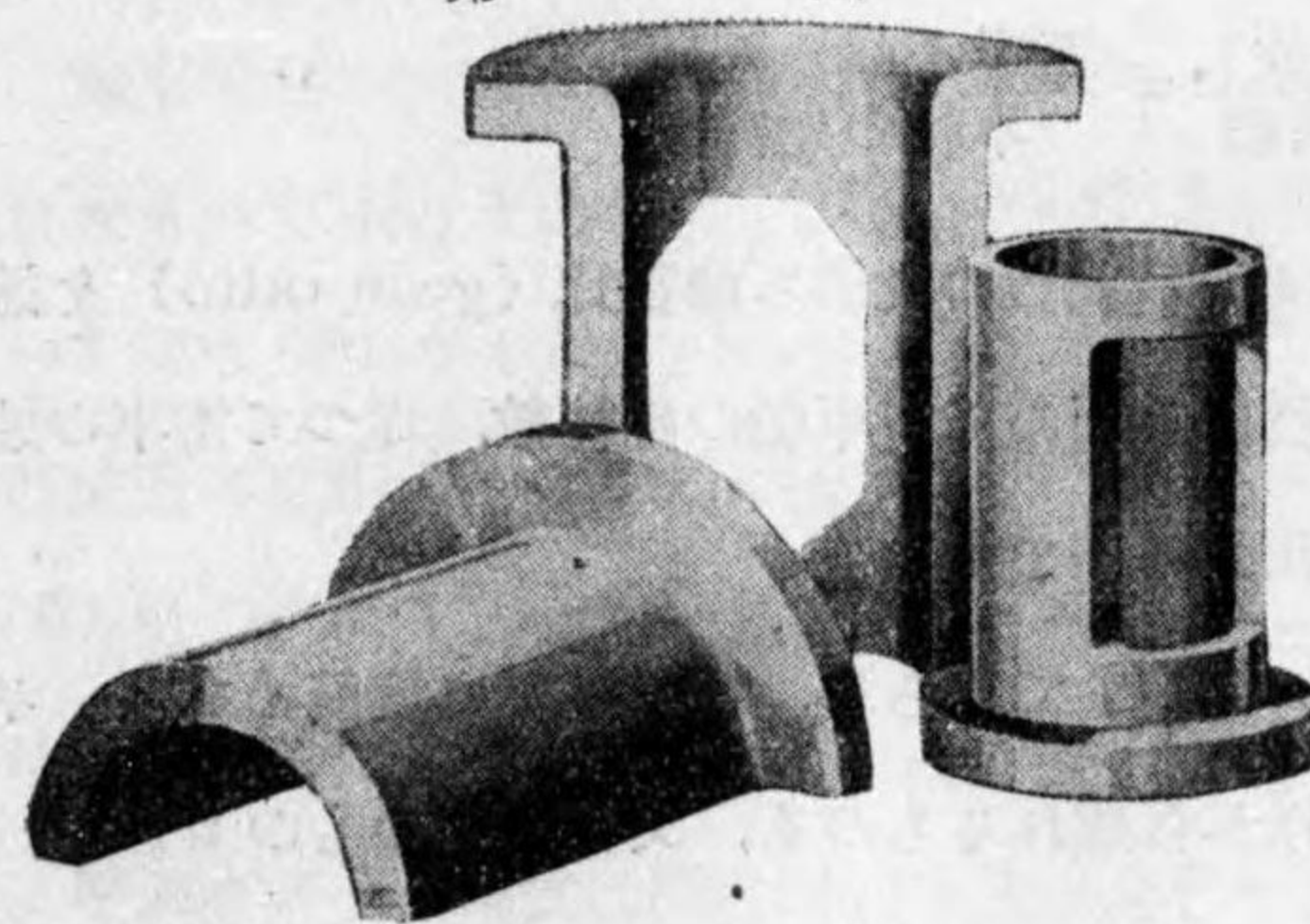
捲にし二組の刷子を用ゐて、第 45 圖に示す様に整流子の上側  $ab$  の位置に置き、且つ電動子が何れの方に廻轉しても差支へのない様に整流子面と直角に、即ち、中心に向けて装置し、刷子保持器によつて一定の位置に固定する。



### 34. 軸 承

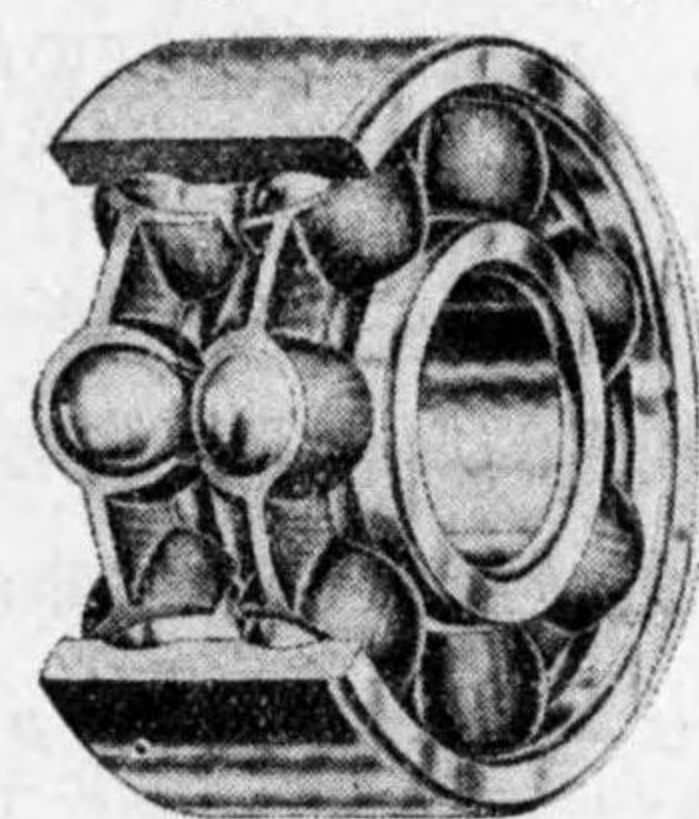
電動子軸承及車軸承は黃銅又は砲金で作り、其接觸面は摩擦を減ずるためにバビット、メタルを鑲着する。第 46 圖で圓筒型のは電動子軸承、割型のは車軸承である。

第 46 圖



軸承メタルの圖

第 47 圖



球入り軸承の圖

又電動子軸承には第 47 圖に示す様な球入軸承 (ball bearing) にしたのが有る。之は軸承のために費される場所が少くて済む。

軸承の注油物としては、油を用ふるのであるが、球入軸承にはグリースを用ゐる。長く運轉使用を繼續する時はグリースは變質するから、半年に一度位は軸承を掃除する事が必要である。

### 35. 齒車裝置

一般に實用的電動機の廻轉數は比轉的に高く、電動子を直接に車軸上に裝置すると、車軸の廻轉數が高くなる。多くの電車では斯の様な速度の大なるを要しない。車軸上に直接裝置するに適當な廻轉數の低い電動機を得ることは不可能ではないが、斯の様な電動機は容積大となり、價格も大となつて實用に適しない。車軸の廻轉數は電車の速度に応じて任意に定め、且つ實用的電動機を採用し得るためには、齒車裝置 (gearing) を用ふる事が必要である。普通に用ふる齒車裝置は、電動子軸の齒車即ちピニオン (pinion) と、車軸の齒車即ちギア (gear) とを用ふる (第 44 圖乙)。

$$\frac{\text{ギアの齒數}}{\text{ピニオンの齒數}} = \frac{\text{電動子軸の廻轉數}}{\text{車軸の廻轉數}}$$

となるから、ギアとピニオンの齒數の比即ち齒數比 (gear ratio) を適當にすれば、或廻轉數の電動機を用ゐて、車軸の廻轉數、従つて電車の速度は如何様にも變ずる事が出来るのである。

ピニオンはニッケル・クロム鋼等で作られ、電動子軸に焼筋めする。ギアは鑄鋼で全部一つの金物から成れるものも、又分割型のものもあり、車軸又は車輪の轂にボルトで締付けるか、楔で止めるか、若くは壓力を加へて押し込むのである。齒車の摩擦を防ぐためには油、グリース等を塗り又之を防護するために鐵板製のギアケース (gear case) にて掩ふのである。

### 36. 特性曲線

一般に電動機の特性曲線は、規定の電壓で

電流の種々の値に對する廻轉力

廻轉數、出力、能率等を表はすのであるが、電船用電動機では、電動機の廻轉力及廻轉數の代りに、電動機を所定の電車に取り付けた場合に、電車の進行に利用し得べき力即ち車輪周に於ける牽引力 (tractive effort or force) 及電車が一時間に走行する距離に換算して表はし、能率は、齒車裝置の能率をも計算に入れたもので表はすのである。

第 48 圖は 600 ヴォルト、35 馬力直巻電動機を、車輪の直徑 30 吋 (76.2 糎) の電車に取り

付け、ギアの齒數 70、ピニオンの齒數を 13 とした場合の特性曲線である。甲圖はメートル式乙圖は呎封度式で示してある。

齒車裝置を用ふる場合に、電動機廻轉力と車輪周に於ける牽引力との關係及廻轉數と電車速度との關係は、次の様にして見出す事が出来る。

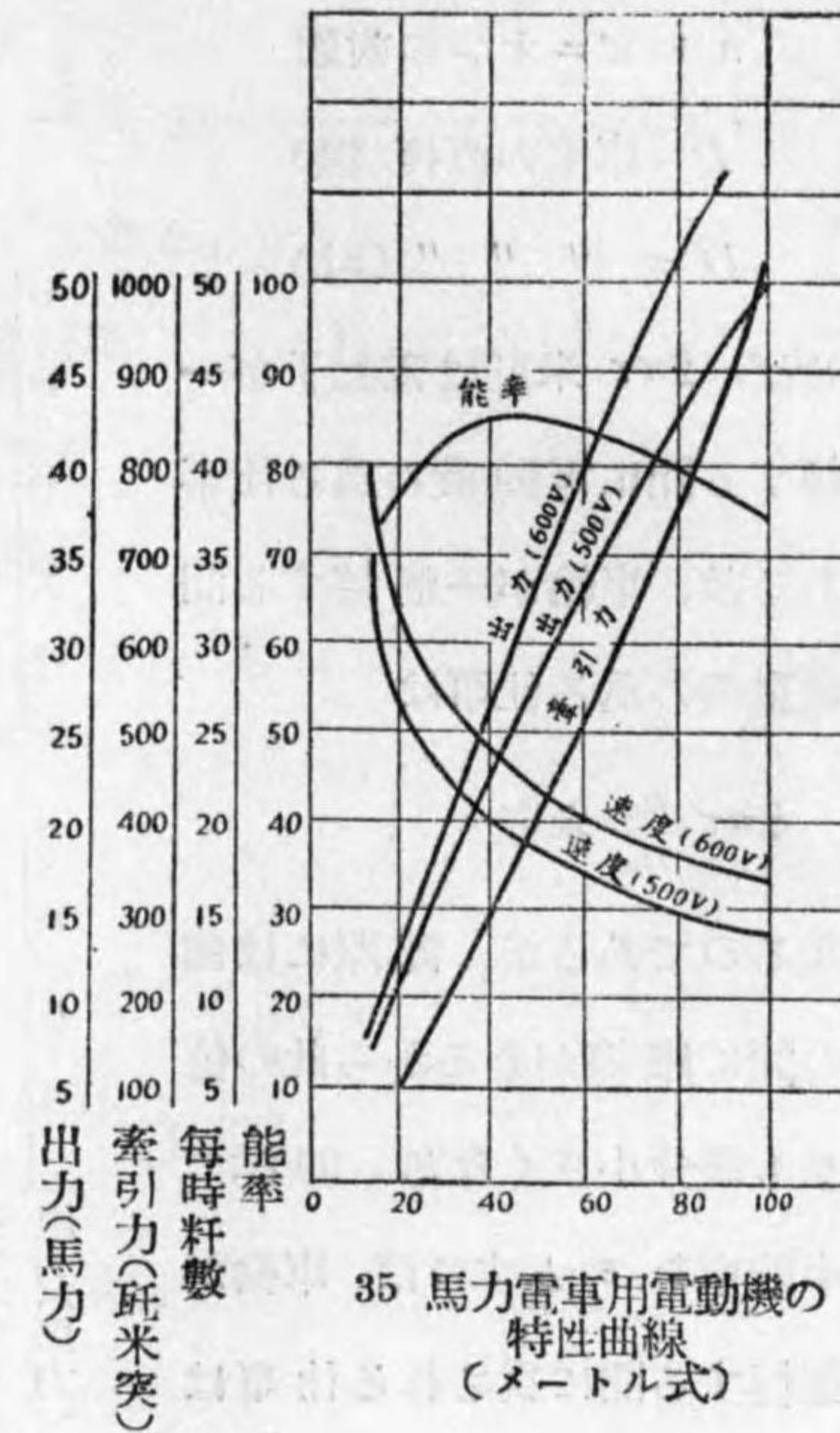
$$\tau = \text{電動機の廻轉力 (呎米)}$$

$$\tau' = \text{ " " " (封度呎)}$$

$$F = \text{車輪周に働く牽引力 (呎)}$$

$$F' = \text{ " " " (封度)}$$

第 48 圖 甲



35 馬力電船用電動機の特性曲線 (メートル式)



$n_g$  = ギアの歯数  
 $n_p$  = ピニオンの歯数  
 $D$  = 車輪の直径(呎)  
 $D'$  = " " " (吋)

とせば、 $2\pi\tau$  米呎は電動子が一廻轉する間に電動機の爲る仕事である故、車輪が一廻轉する間に電動機の爲る仕事は

$$2\pi\tau \frac{n_g}{n_p} \text{ 米呎}$$

となるのであるが、実際には齒車の中に摩擦があるから此の値よりも幾分小さくなる。即ち、齒車能率を  $\epsilon$  とすれば、車輪が一廻轉する間に爲される仕事は次の様である。

$$2\pi\tau \frac{n_g}{n_p} \cdot \epsilon \text{ 米呎}$$

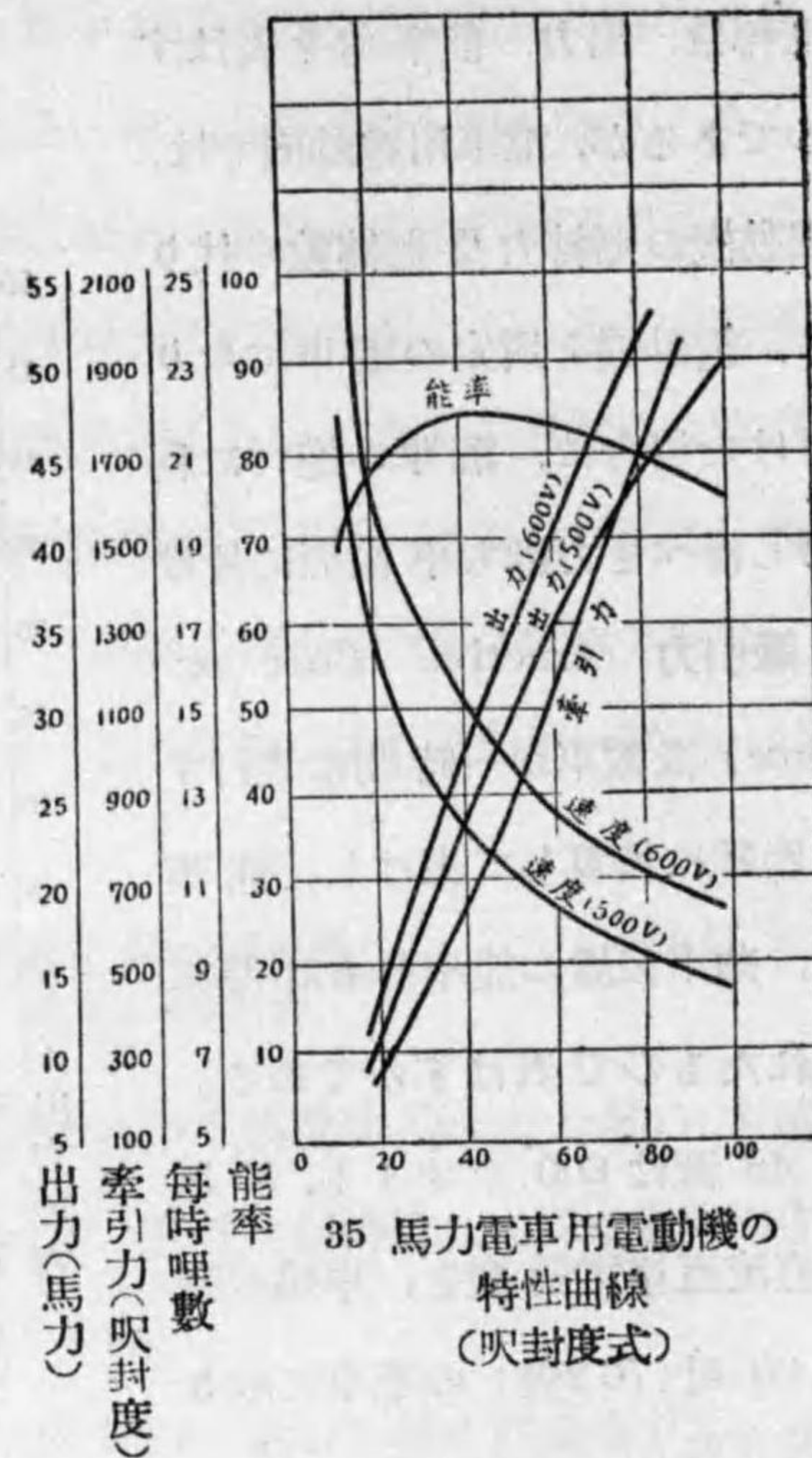
一方牽引力の方から考えると、車輪が一廻轉する間に爲る仕事は、

$$\frac{\pi D}{100} \cdot F \text{ 米呎}$$

であつて之が前のものと等しくなければならない。

$$\frac{\pi D}{100} \cdot F = 2\pi\tau \frac{n_g}{n_p} \cdot \epsilon$$

第 48 圖 乙



故に  $F = \frac{n_g}{n_p} \cdot \frac{200}{D} \cdot \epsilon\tau$  呎 ..... (4)

同様に  $F' = \frac{n_g}{n_p} \cdot \frac{27}{D'} \cdot \epsilon\tau'$  呎 ..... (4')

齒車能率  $\epsilon$  は通例 0.95 及至 0.97 である。

次に  $n$  = 電動機一分間の廻轉數  
 $S$  = 電車の速度 (呎/時)  
 $S'$  = " " (哩/時)

とすれば、車輪 1 時間の廻轉數は

$$n \frac{n_p}{n_g} \cdot 60$$

であるから、

$$S = \pi \frac{D}{100} n \frac{n_p}{n_g} \times 60 \times \frac{1}{1000} \doteq 0.0019 D \frac{n_p}{n_g} n \text{ 呎/時} \dots\dots\dots (5)$$

$$S' = \pi \frac{D'}{12} n \frac{n_p}{n_g} \times 60 \times \frac{1}{5280} \doteq 0.003 D' \frac{n_p}{n_g} n \text{ 哩/時} \dots\dots\dots (5')$$

例題 1. 電動機 2 箇を有する電車の車輪周に於ける牽引力合計 200 呎なる時、一時間 30 呎の速度で走行すると云ふ。此場合の各電動機の廻轉力、及其の一分間の廻轉數幾何なりや。但し車輪の直径 76.2 呎(30吋)、齒車齒數比  $n_p : n_g$  は 13 : 70 で、齒車能率は 1 と假定す。

解 電動機 1 箇に對して、 $F = \frac{200}{2} = 100$  呎

(4)式を書き直して

$$\begin{aligned}\tau &= F \div \left( \frac{n_g}{n_p} \frac{200}{D} \varepsilon \right) \\ &= 100 \times \frac{13}{70} \times \frac{76.2}{200} \times \frac{1}{1.00} = 7.1 \text{ 呎米}\end{aligned}$$

或は

$$\begin{aligned}\tau' &= F \times \frac{n_p}{n_g} \times \frac{D}{24} \times \frac{1}{\varepsilon} \frac{100}{0.454} \times \frac{13}{70} \times \frac{30}{24} \\ &\quad \times \frac{1}{1.00} = 51.1 \text{ 封度呎}\end{aligned}$$

又 (5)式より

$$n = S \times \frac{1}{0.0019D} \times \frac{n_g}{n_p} = \frac{30}{0.0019 \times 76.2} \cdot \frac{70}{13} = 1110 \text{ 毎分}$$

**例題 2.** 電動機 2 個を有する電車あり、各電動機が 8 呎米 ( $8 \times 2.2 \times 3.28 = 57.8$  封度呎) の廻轉力を出して 1000 廻轉毎分にて運轉され居るとすれば、此場合に電車の速度及車輪周に於ける牽引力を求む。

但し車輪の直徑は 76.2 吋(30吋)、齒車齒數比は 13:70 とし、齒車能率は 1 と假定す。

解 (4)式より

$$F = \frac{n_g}{n_p} \cdot \frac{200}{D} \varepsilon \tau = \frac{70}{13} \times \frac{200}{76.2} \times 1 \times 8 = 113 \text{ 呎}$$

或は(4')式より

$$F' = \frac{70}{13} \times \frac{24}{30} \times 57.8 = 250 \text{ 封度}$$

(5)式より

$$S = 0.0019 D \frac{n_p}{n_g} n = 0.0019 \times 76.2 \times \frac{13}{70} \times 1000 = 26.8 \text{ 呎/時}$$

或は(5')式より

$$S' = 0.003 \times 30 \times \frac{13}{70} \times 1000 = 16.7 \text{ 哩/時}$$

### 37. 一時間定格

電車用電動機にかかる負荷は著しく間歇的である。電車が停車する毎に電動機は運轉を休止するのみならず、進行中でも電動機は絶へず全力を擧げて活動する必要はないのである。電車發車後暫時の間(又は勾配を登る場合)のみ電動機は充分の活動を必要とするけれども、其後は活動の必要度を減じ、停車する前の處では電動機に通ずる電流を斷ち電車は惰力で進行するのである。

市街鐵道での様に、停車場間の距離小なる場合には、斯の様に電車用電動機の活動すべき正味の時間は、他の用途に使用される電動機に比べて著しく小であるから、此の活動に起因する各部の溫度上昇は比較的少ないのである。従つて同一負荷に對し、他の用途に使用される電動機と同程度の溫度上昇を生ぜしめるには、電車用電動機は比較的の小なるものを以てして足ることになる。換言すれば、電車用電動機には比較的の大きな負荷を課するも差支ない事となる。故に電車用電動機の容量を定むるには、他の用途に使用される一般機械の場合とは稍其趣を異にするのである。

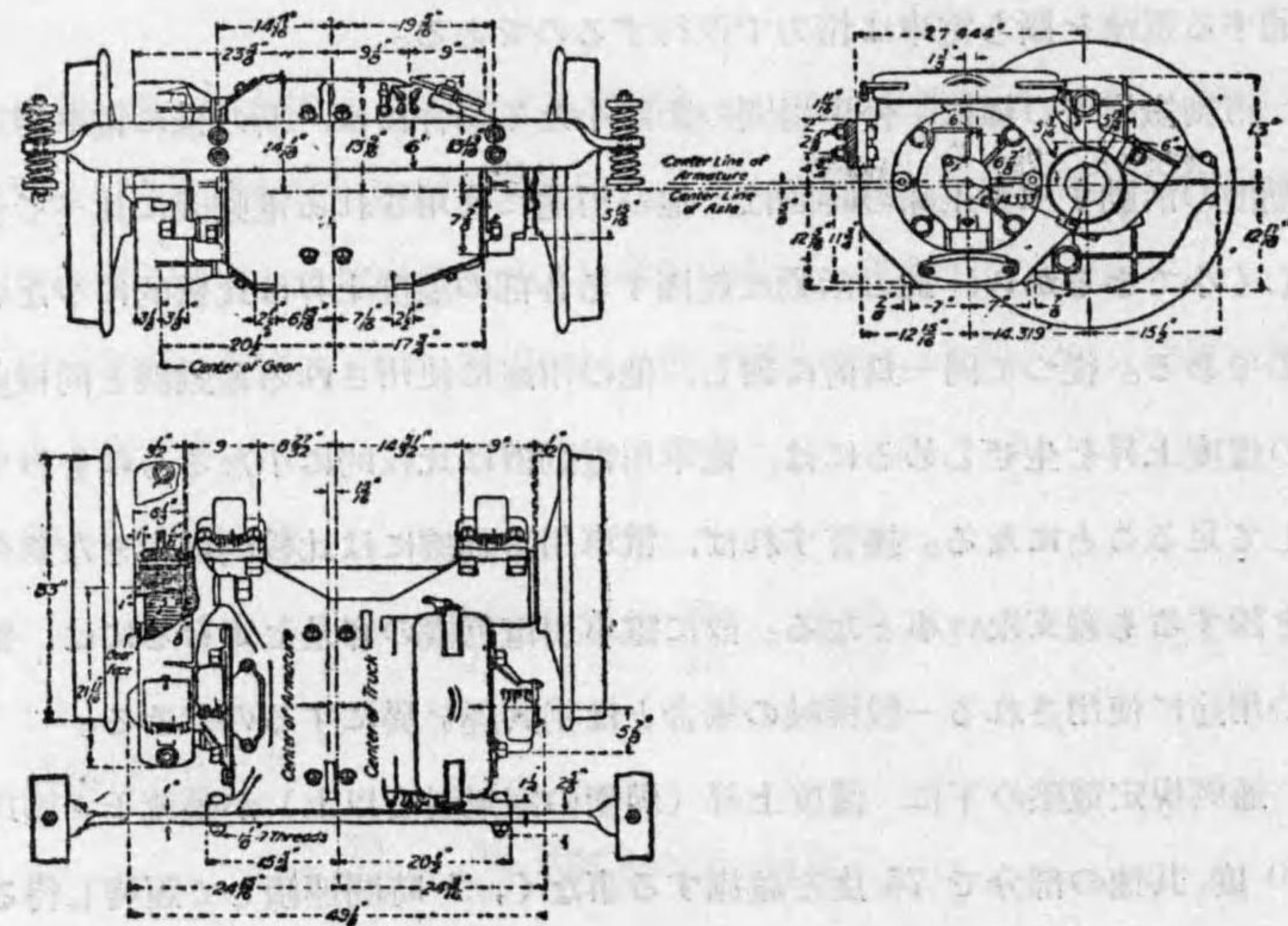
通例規定電壓の下に、溫度上昇(周圍の空氣溫度以上)が整流子で攝氏 90 度、其他の部分で 75 度を超過する事なく、1 時間連續して運轉し得る出力を以てし、之を **1 時間定格 (one-hour rating)** と稱する。

普通に何馬力と云ふのは此の定め方に依るものである。然しながら、幹線鐵道の場合の様に、負荷の變動が少なく、且つ長時間連続運轉するものでは、一般機械の場合と同様に長時間の連続運轉に依る容量をも定めて置く必要がある、即ち此場合には、一時間定格と共に連続定格をも共に指定すべきである。

### 38. 電動機を取付法

電車に電動機を取付ける方法は種々あるけれども、最も普通なのは**突起支持 (nose suspension)**と稱するもので、第 49 圖に示す様に、電動機的一方を前に述べた車軸承で働軸上に支持させ、之に電動機の全重量の約 6 割を掛け、電動機の方方は、車

第 49 圖



突起支持取付法説明圖

臺の側面枠に弾條で取り付けた電動機支持桿に支持させ、之に重量の約 4 割を掛けるのである。電動機の受ける激動は支持桿兩端の弾條で多少緩和される。

### 39. 電車に装置する電動機數

小さな電車には 2

個、大きな電車には 4 個の電動機を用ゐるのが普通である。斯く多數の電動機を用ゐるのは電動機の價額を増すけれども、

- (1) 車臺下に取付けるのに容積の餘り大きくないのが良い事。
- (2) 電車の各車軸に加はる重量を平均させ得る事。
- (3) 一電動機に故障を生ずる場合にも尙残りの電動機(又は其一部)で運轉を繼續し得る事。
- (4) 電車の進行に利用し得べき牽引力の發生限度を大ならしめ得る事。
- (5) 比較的に經濟的な速度制御法を利用し得る事。

等の理由に依るのである。(4 及 5 の理由は後節に於て詳しく説明する)

### 40. 摘 要

1 直流直捲電動機は、電氣鐵道用としての要件に最も適當して居るから、現今廣く用ゐられて居る。此電動機に於ては、起動廻轉力が大なる上廻轉力と速度とは電流に對し常に反對に變化するから、廻轉力と速度との積に比例する電力には、餘り大きな變動はない。

2 電氣鐵道用直流直捲電動機に於て最も必要な事柄は、整流の良好なるべきことである。此爲構造上種々の點に注意せられる外、一般に補極電

動機を使用する。又密閉された電動機が、比較的小さくて大きな出力を有する様にするには、適当な方法で換氣を充分ならしめる事が必要である。

3 電気鐵道用電動機の特性曲線は、電流の種々の値に對し之を取付けた電車の一時間に走行する距離、車輪周に働く牽引力、及能率を表はすものである。

4 齒車を用ふる場合に、電動機の廻轉力と車輪周に働く牽引力との關係、及電動機の廻轉數と電車の速度との關係は、大略次の二式に依て見出すことが出来る。

$$F = \frac{n_g}{n_p} \cdot \frac{200}{D} \varepsilon \tau \text{ 瓦}, \quad F' = \frac{n_g}{n_p} \cdot \frac{24}{D'} \varepsilon \tau' \text{ 封度}$$

$$S = 0.0019 D \frac{n_p}{n_g} n \text{ 呎/時}, \quad S' = 0.003 D' \frac{n_p}{n_g} n \text{ 哩/時}$$

5 電気鐵道用電動機の容量は、普通一時間定格で定めるのであるが、場合に依り其の連続定格に依るものも知る事が必要である。

6 電車に装置する電動機數は2個又は4個で、之を取付ける普通の方法は突起支持である。

7 電車には普通電動機を2臺か4臺使ふのは價格は高くなるが、車臺に取付の便宜の爲めや、故障の場合及速度制御に便利だからである。

### 練習問題 III

1 30馬力の電動機2臺を備へた20英噸の電車が毎時15哩の速度で或る坂を上方に走行する時、各電動機が車輪周に1000封度の牽引力を發生し得ると言ふ。今毎時3.75哩の速度では幾封度の牽引力を發生し得べ

きや。

$$\text{答} \quad 1000 \times \frac{15}{3.75} = 4000 \text{ 封度}$$

2 車輪周直徑34吋、齒車齒數比3.37:1なる電車が毎時25哩の速度で走行するとき車輪に働く牽引力は2160封度となるとすれば、其の電動機の廻轉數及總廻轉力如何、但し齒車能率を95%とす。

手引 公式5'及4'に數値を入れて計算すればよい。

$$\text{答} \quad \text{廻轉數} 833 \text{ 毎分} \quad \text{廻轉力} 958 \text{ 封度呎}$$

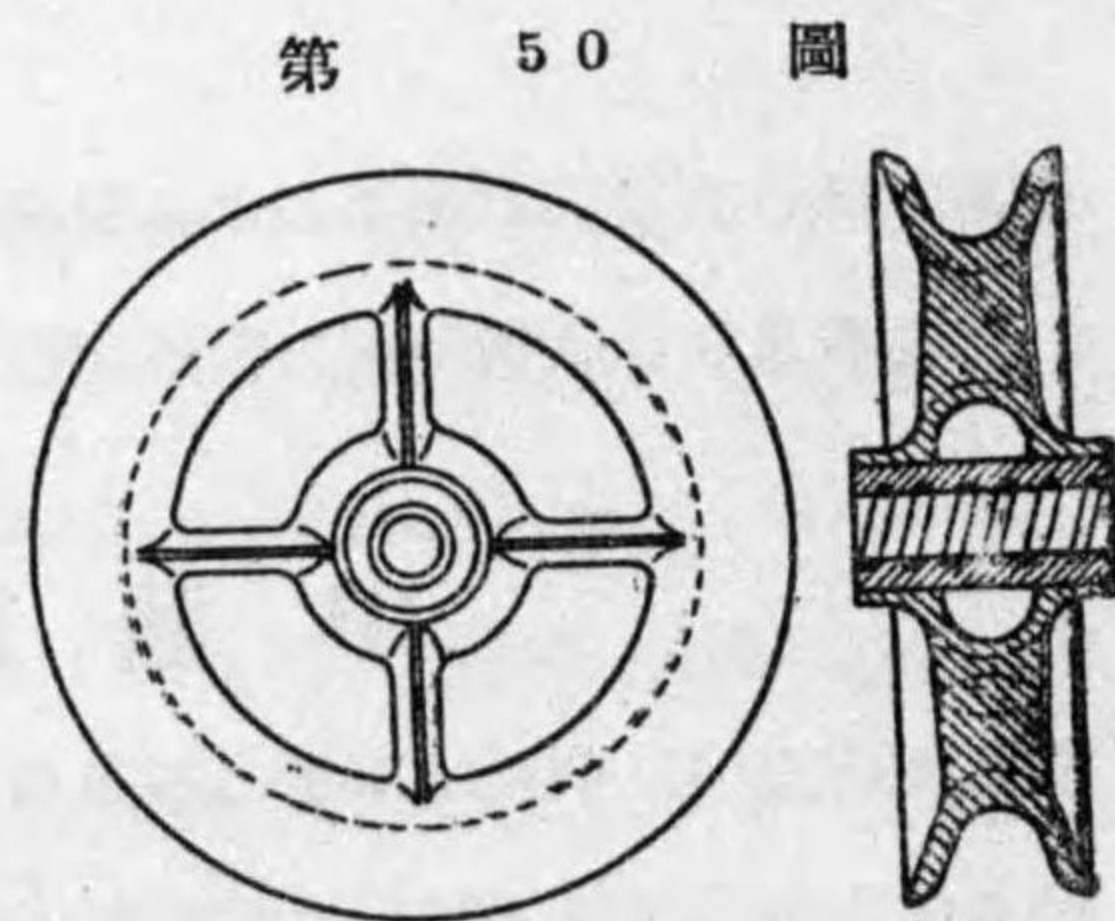
3 直徑33吋の車輪を有する電車が一時間25哩の速度で運轉しつゝあり、此際に於ける電動機の廻轉力は電動子軸で550封度呎である。今齒車齒數比60:26齒車の能率を97%とせば車輪上の牽引力及電動機の廻轉數幾何なりや。(選試大正7年3級)

$$\text{答} \quad \text{牽引力} 895 \text{ 封度} \quad \text{廻轉數} 588 \text{ 回毎分}$$

## 第五章 聚電装置

**41. 聚電子** 電車線又は第三軌條から電車へ電流を導入する装置を**聚電子** (current collector) と稱する。聚電子は電氣方式、電車速度、車輛の大きさ等により構造を異にするもので、其主なものは、**トロリー棒** (trolley pole)、**弓形聚電子** (bow collector)、**パンタグラフ** (pantagraph)、及**接觸靴** (collecting shoe) の四種とする。

**42. トロリー棒** トロリー棒は、最も普通に使用する聚電子で、**トロリー** (trolley wheel)、**トロリー承** (trolley harp)、**トロリー棒** (trolley pole) 及**トロリー臺** (trolley stand 又は base) の4部分から成立つて居る。トロリーは電車線に沿ふて廻轉し、電車線からの電流をトロリー承を経て、トロリー棒又は其内のケーブル線に傳へ電車内に導くのである。トロリーの直徑は  $2\frac{1}{2}$  吋(6.35種)乃至6吋(15.2種) 其重量は約1乃至2斤で、一般に砲金で造られる。トロリーは電車線の接續點、分岐點、交叉箇所等總べて支障なく通過し得る様、其溝の深さや角度は適當に設計しなければならない。トロリーの中



トロリーの圖

央軸承の滑劑としては、礦油、グリース、グラファイト等種々あるも、礦油が最も廣く使用されて居る。油はトロリーの轂にある貯藏穴に蓄へられ、トロリーが廻轉する時自働的に軸承面の通油溝に供給されるのである(第50圖)。

トロリーの聚電量は、電車速度及電車線との壓力に依つて異なるものであるが、普通市街電車の場合では、600ヴォルトの電壓で、**500乃至600アムペア**位のものである。然し加速の際に限り600アムペア位迄で許容する事にし、普通走行の場合には**250アムペア**位迄で制限するのが宜しい。

又電車線とトロリー間の電壓降下は、電車速度の増加と共に増加するものであるが、一例を示すと、100アムペアの一定電流に對して、24斤毎時(15時哩)の速度の際12乃至18ヴォルト位である。

トロリーは使用するに従ひ消耗するものであるから、屢々之を取り換へねばならない。之は機械的に摩損するばかりでなく又電弧の爲にも融解するのである。即ちトロリーの壽命は其材料及び大きさ、電車線第51圖の架設法、電車線への壓力、電車速度、聚電量等に関係するものであるが、一例を示すと市街電車の場合で3000及至10,000斤である。

トロリー承は、可鍛鐵製で、先端の軸でトロリーを支持し、軸の兩端の接觸片 *a* (第51圖) はトロリーの轂を壓する。トロリー承の下端は棒に差し込み、ピンで止め、リベット(ピンの頭を叩き潰す事)を施すのが普通である。

トロリー棒は根本の方が次第に多少太くなつて居る繼目

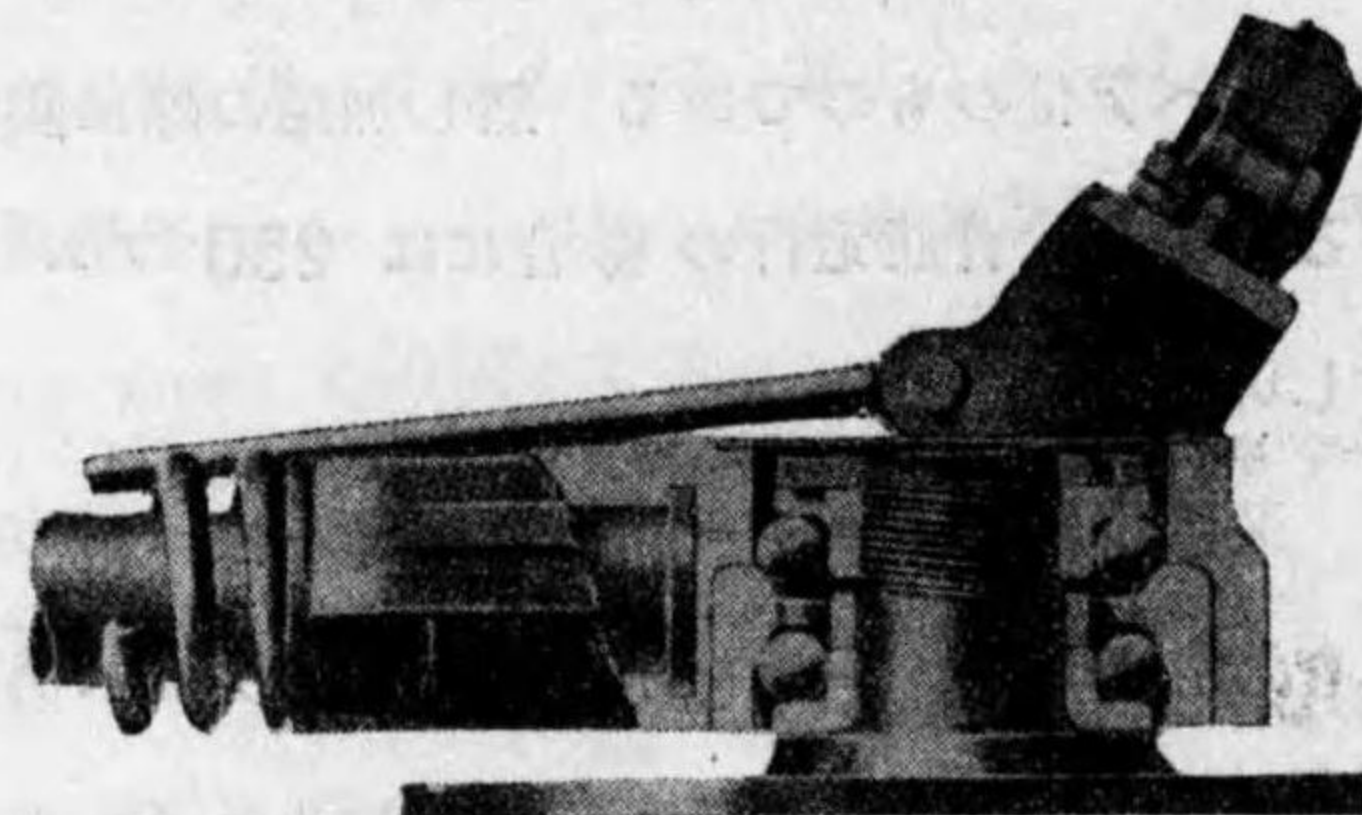


トロリー承

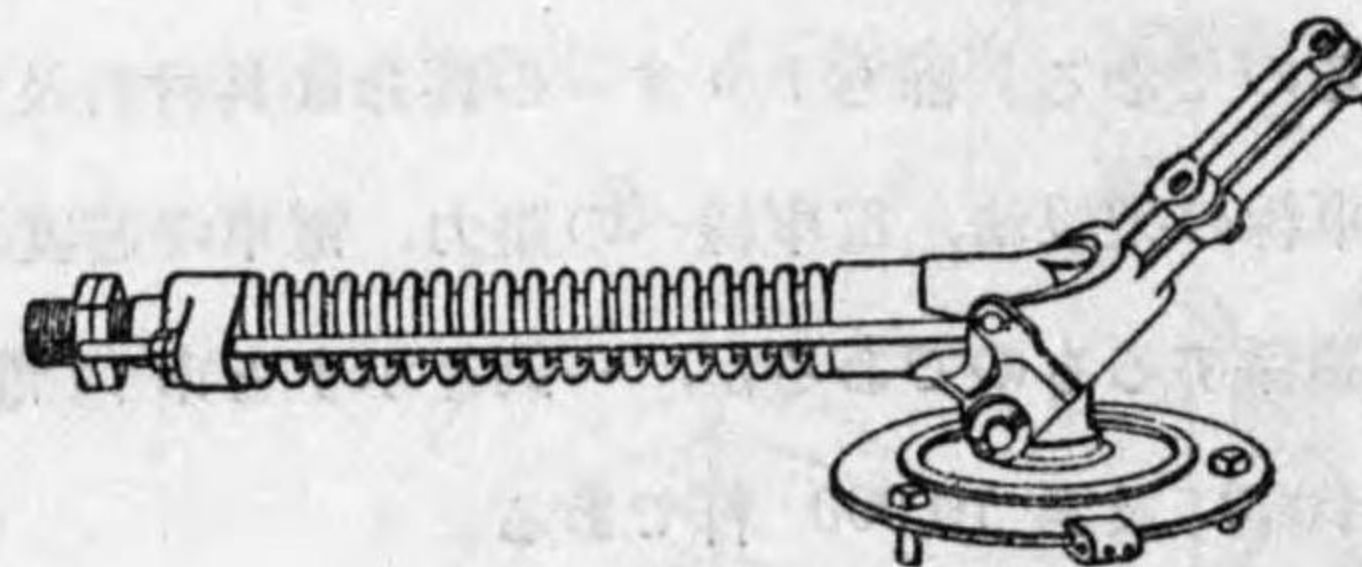
なき鋼鐵棒，又は重合せ融接鋼鐵棒を用ひ，其下部をトロリー臺に取り付ける。

トロリー棒の長さは，棒と電車線との爲す角を 35 度乃至 45 度位ならしめる程度が適當で，車體の長さ，電車線の高さ及軌道の状態等に依り 3 乃至 5 米のものが使用されて居る。

トロリー臺は電車の屋根上に装置され，トロリー棒を支持するものである。トロリー棒は上下，左右，何れの方角にも自由に廻轉し得る事が必要であつて，第 52 圖は球入軸承を用ゐた一例を示す。又トロリー臺には彈條を備へ，其の作用により適當な壓力でトロリーを電車線に接觸せしめる。第 53 圖甲



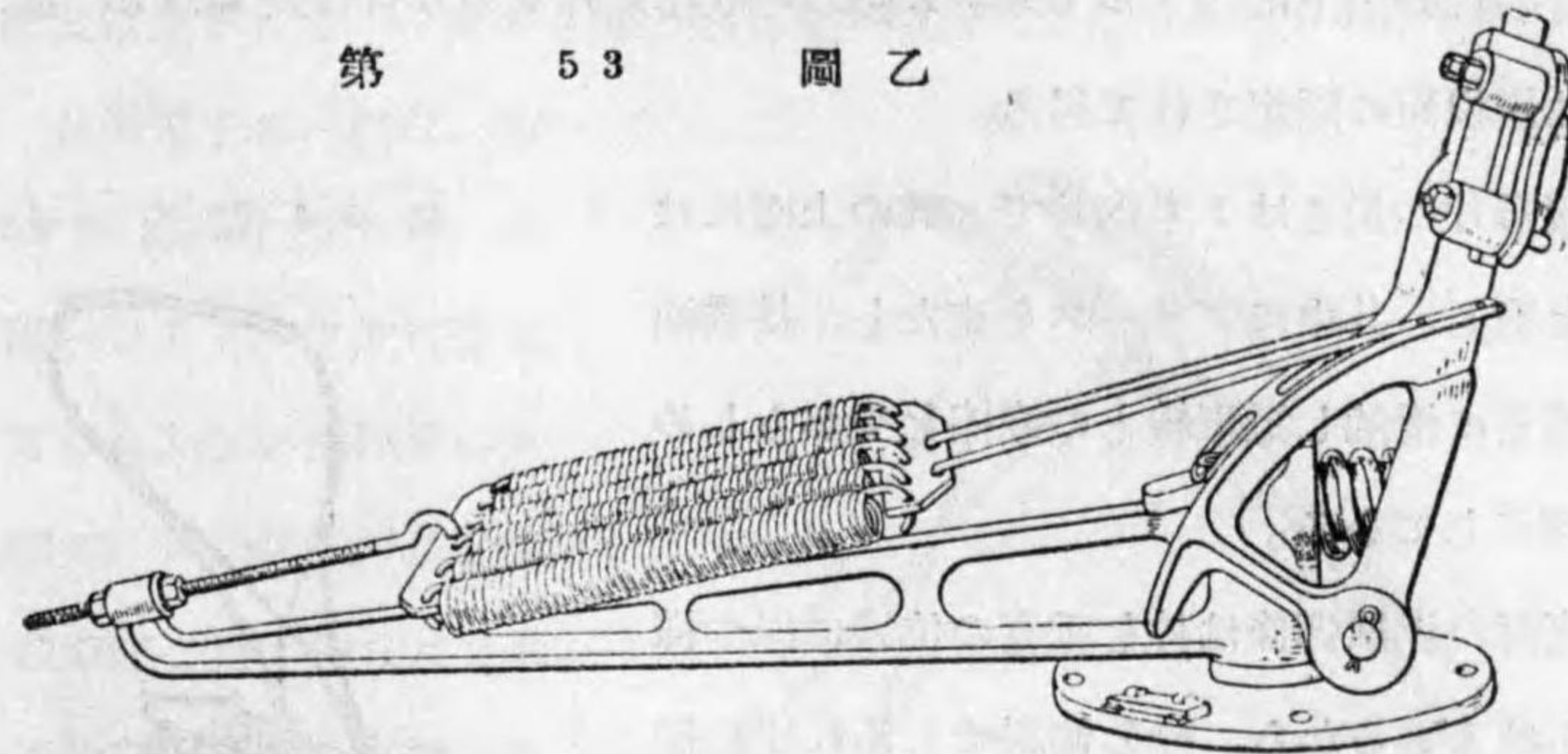
球入軸承附トロリー臺



壓縮彈條附トロリー臺

は壓縮彈條，同圖乙は伸張彈條の働きに依り棒を上方に突上げたものである。トロリーと電車線間の壓力は過大なれば，トロリーが電車線支持點に過度の衝擊を與へ，過小なればトロリーが電車線から外れ易く又接觸不完全となつて弧光を發し易い。此適當な値は電車速度及集電量に關するも

第 53 圖 乙



伸張彈條附トロリー臺

ので，市街電車では 7 呎乃至 11 呎を適當とし，市間電車では 15 呎内外を必要とする。

電車を車庫内に入れ置く時，其他トロリー棒を使用しない場合に，之を長く引き下げ置けば，トロリー臺の彈條は弱まる。又其他の原因に依つても壓力は或は強過ぎ，或は弱過ぎたりするから，其壓力は時々試験し，調整しなければならない。

トロリー棒は構造が比較的簡單であるが，後で述べる様に軌道の曲線の構造を整然たる曲線状をなす様張らねばならないし，又高速度の場合には其集電量を減少し，且つ外れ易い。又電車の進行方向を轉ずる毎に之を廻轉するか，又は車體長き電車では前後にトロリー棒を備へ置き交互に使用する様せねばならない。

### 43. 弓形集電子

之は，單線架空式の場合に用ゐられる集電子で，普通のもの第 54 圖に示す様に，底部に樞軸を有する軽い鋼

鐵管の枠の頂上に、アルミニウム製の弓状接觸片を取り付けたもので、底部は屋根面に固定されて居る。

接觸片の長さは1米内外で、其の上面上には溝を有し、其中にグリースを充たし、接觸面を適度に滑油し電車線との摩擦を少からしめる様にしてある。

底部の渦状彈條は枠を垂直の位置に保つ様捲かれてあるから、枠を傾斜せしめれば、接觸片は電車線を壓する。枠の傾斜は垂直面に對して30度位に保つを適當とし、電車線との接觸壓力は4.5疋内外を普通とする。

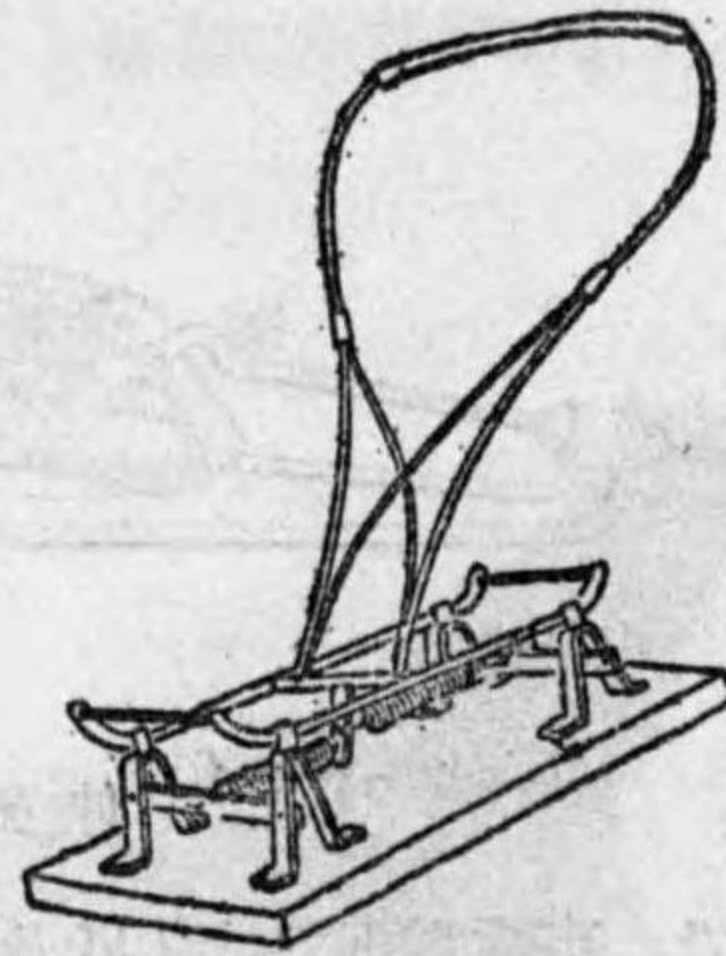
電車の運轉方向を轉ずると、聚電子は電車線を僅か上方に押し上げ、垂直面に對し他側で前と同様の位置を取るのである。其故トロリー棒の如く下げて廻轉する必要はない。尤も電車線の軌條面上からの高さに甚しい變化があつて此種のものを用ひ得ない場合には、聚電子の底部をトロリー棒の場合と同様廻轉し得る様とするのである。

弓形聚電子の聚電量は其構造及速度等に依つて異なるものであるが、50 軒毎時の速度で500乃至2000 アムペアである。

此聚電子は、摺動接觸であるから、トロリー棒の場合よりも、電車線及接觸片の摩耗が多いけれども、電車線から外れる虞のない事、曲線部での電車線の構造を著しく簡單ならしめる利益がある。

#### 44. パンタグラフ 之は單線架空式で、電車の速度、電

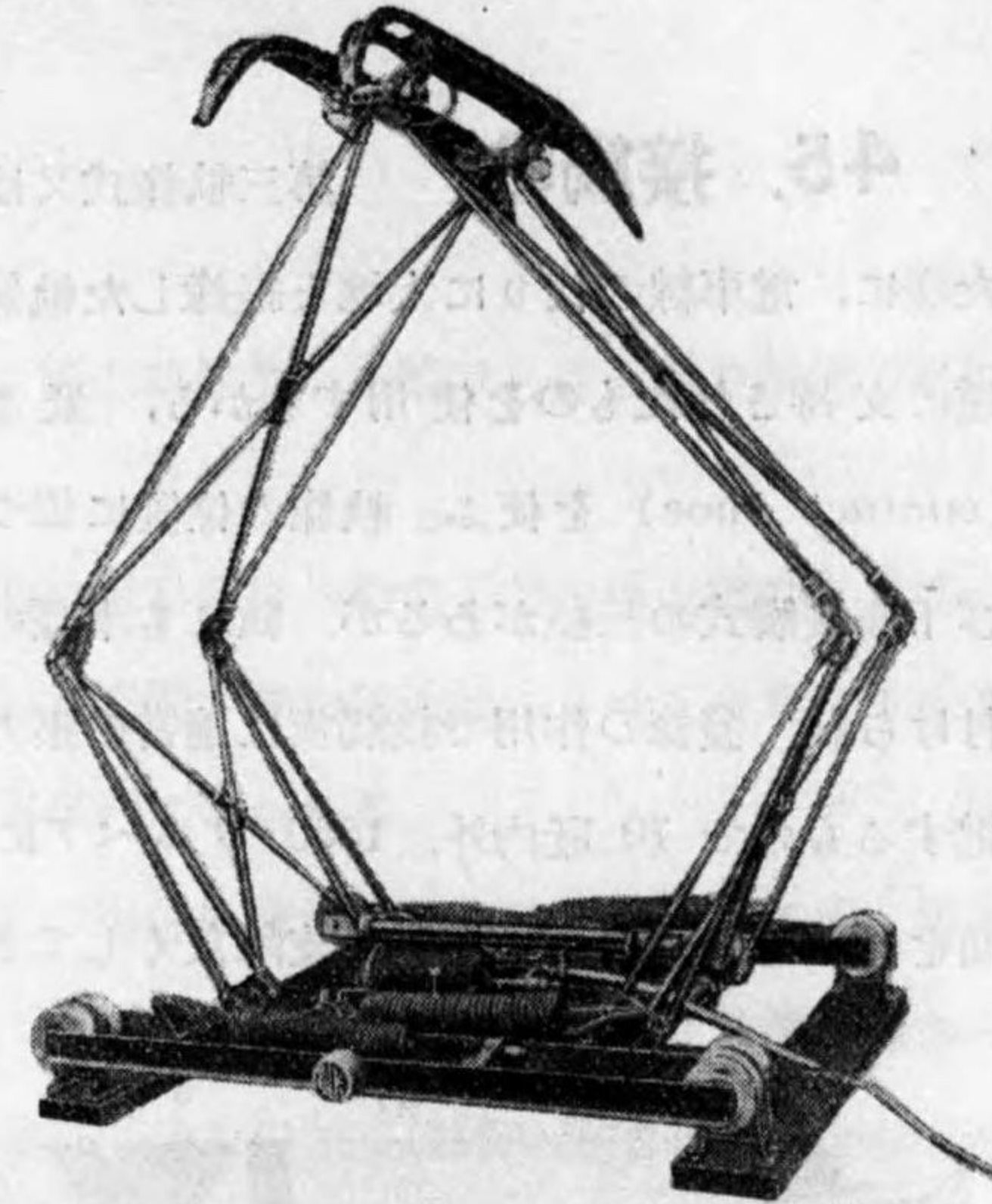
第 54 圖



弓状聚電子

壓及電流が大で、トロリー棒の適しない場合に用ゐられるものである。

此聚電子の一例は、第 55 圖に示す通りで、所謂パンタグラフ状に組立てられた軽い鋼鐵管の上部に、亜鉛鍍鐵の様なもので作つた1個又は2個接觸部を有するものである。接觸部には、別に銅アルミニウム、鋼鐵等の板狀接觸片を取り付けて、摩損したとき之を取り換へ得る様にし、接觸面に溝を作り、其中にグ



パンタグラフの圖

リースを入れ置いて滑油せしめる。鐵道省型、銅板接觸片の一例を示すと、長さ約70 軒、巾10 軒、厚さ3 軒である。

枠の下部は、臺枠に支へられた廻轉軸に固定されて居る。臺枠は角鐵で構成され、高壓碍子で屋根上に取り付けられる。廻轉軸には、渦状彈條及空氣筒が装置されて居て、枠を押し上げ電車線を壓せしめるには、渦状彈條の壓縮力に依り枠を下降せしめるには、空氣筒に供給される壓搾空氣の壓力に依る。

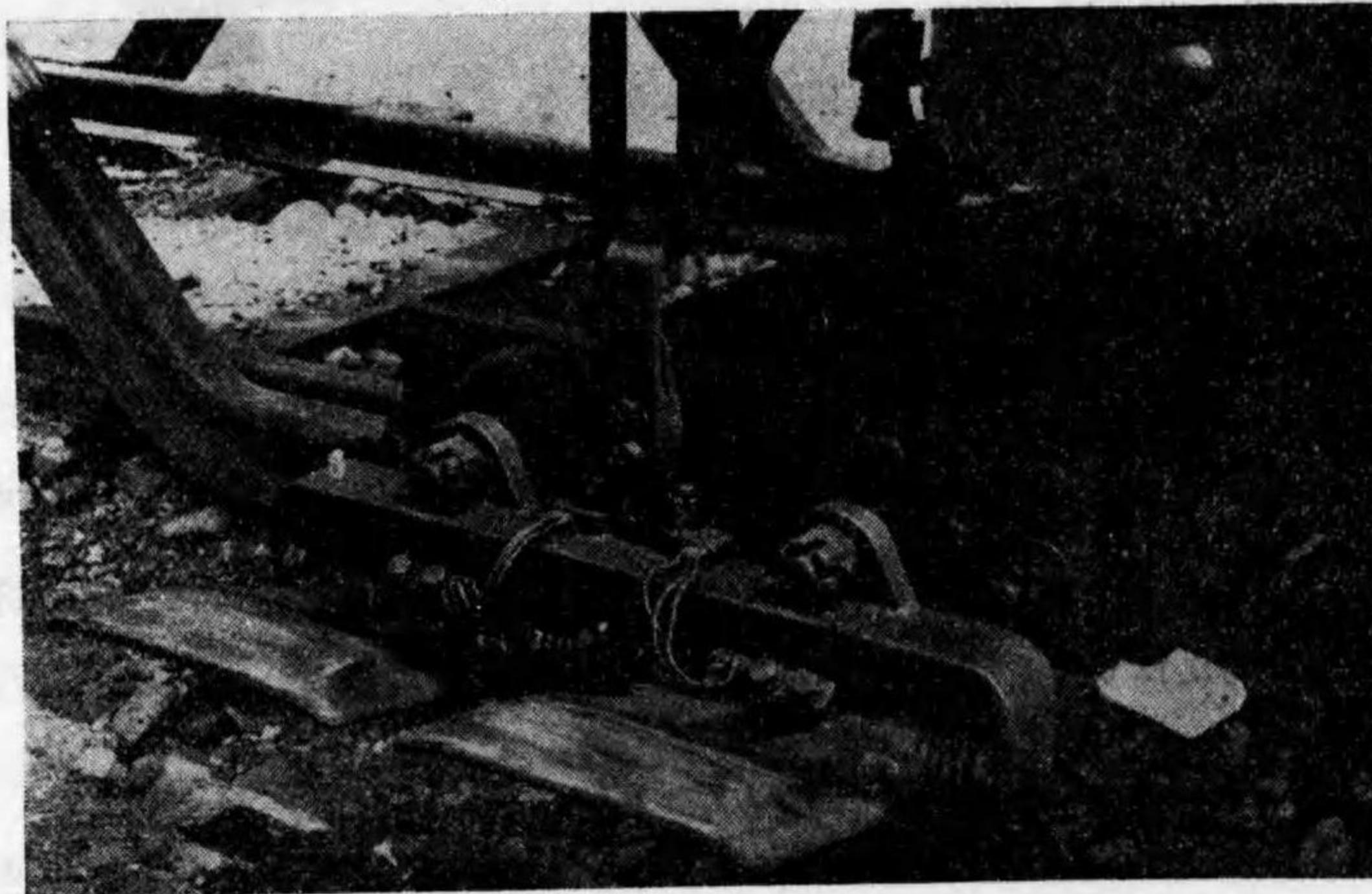
電車線との接觸壓力は4.5疋内外に保つを適當とし、最大聚電量は加速時に1200 アムペア内外である。

此聚電子を用ふる場合は、電車線の軌條面よりの高さ一様なるを要する故、電車線の構造も鏈線吊式(後説)と稱する方式が用ゐられる。

#### 45. 接觸靴

第三軌條式又は第四軌條式では第一章に述べた様に、電車線の代りに大地と絶縁した軌條を普通の状態若しくは横或は逆に支持されたものを使用するから、聚電装置も之と接觸する接觸靴(contact shoe)を使ふ。軌條の位置に依つて上面接觸式、側面接觸式及び下面接觸式の三種があるが、孰れも車臺の筐の突出部其他に絶縁して取付けられ、發條の作用で接觸板は適當の壓力(一例——500 アムペアを聚電するもので 10 疋内外、1500 アムペアにもなると 70 疋以上)で軌條面を壓すと同時に車の振動に支障なくしてある。別に接觸板は可燒電纜で

第 56 圖



接 觸 靴 の 圖

車内の電路に接続せられる。

第 56 圖は下面接觸式の接觸靴の一例で我が國碓氷峠の電化に使用せられたものである。

#### 46. 摘 要

- 1 電車には總べて電車線、第三軌條等から電流を採る爲の聚電子を要する。
- 2 トロリー棒は、最も普通に用ゐられる聚電子で、棒上部のトロリーが廻轉しながら電車線と接觸して採集された電流は、トロリー承及トロリー棒を経て、可撓電纜に依り電車内に導かれる。
- 3 弓形聚電子は單線架空式の場合に使用する事のある聚電子で、電車の運轉方向を變ずる場合でも、普通之を廻轉する必要なく、又電車線から外れる虞のない事、及線路の曲線部分での架空線路の構造を簡單ならしめる事等の利益がある。
- 4 パンタグラフ聚電子は、弓形聚電子を一層大仕掛にしたもので、高速度の運轉又は電車線電壓の高い場合等に使用される。又此聚電子を用ゐる場合には、一般に架空線路の構造も鏈線吊式が採用される。
- 5 第三軌條式に使はれる接觸靴には上面、側面及下面接觸式の三種がある。



## 第六章 速度制御及制動

### 47. 運轉手の任務

電車を起動、加速、停車せしめる等の任務は、運轉手の掌る所であるが、其の電車即ち電動機を起動して速度を種々に加減する事を速度制御 (speed control) と云ふ。尙電車を停車せしむるには、電動機の電流を切つただけでは餘り時間がかゝるし又下り坂等では反つて電車が加速する虞があるから、電車の運動に反對する力を與へて減速せしむるを要するもので、之を制動 (braking) と云ふ。電車の運轉を支配するには、この制御と制動と相俟つて始めて全きを得るものである。以下に直流電動機の夫れを述べる事とする。

### 48. 直流直捲電動機 の速度制御法 直流機(235

頁) で述べた様に直流直捲電動機 の速度を制御するには、

(a) 抵抗制御法 (rheostatic control)

(b) 直並列制御法 (series-parallel control)

(c) 界磁分路 (control by field shunt)

の三種の方法がある。

然し此の C 法は前二法を行つて更に其の速度を増す場合に使用するのだが、界磁を弱めると整流上の故障を生ずる上に同一廻轉力に對し多くの電流を要求する事になるから餘り使はれない。

### 49. 抵抗制御法

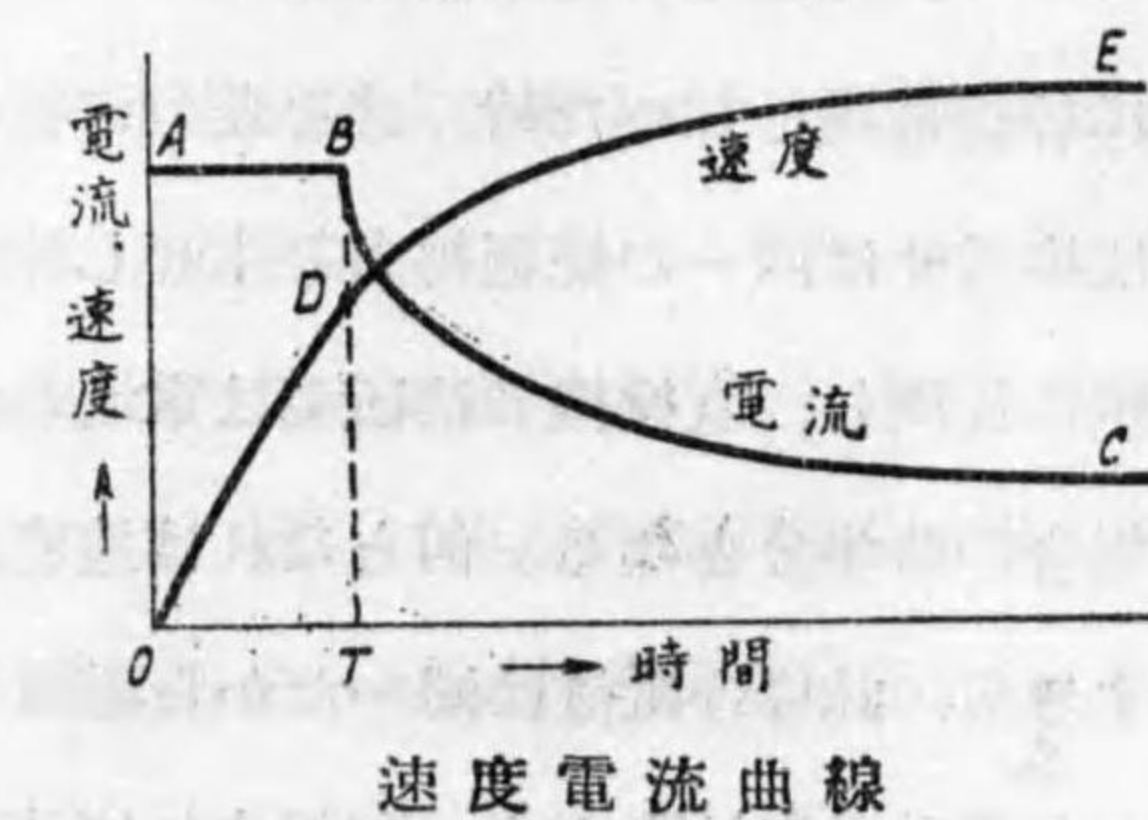
電動機を起動する時には勿論起動抵抗 (直流機 229 頁) を要するが、之が同時に速度制御として役に立つ。唯起動専用のもは短時間しか使用しない目的だから、速度制御に使用するには相當に長い間使用しても絶縁を害にする程の温度上昇を生じないものである事を要する。

扱電動機 の速度が増すに従ひ、其電動機と直列に挿入された可變抵抗の減じ方を適當にし、電動子に通ずる電流を略一定の値に保つ時は、廻轉力従つて車輪周に働く牽引力 (第 49 頁参照) も一定し、電車は次第に其速度を増加する。

可變抵抗が逐次減ぜられ終に全く回路から除外されるに到ると、速度の増加するに従ひ逆起電力は猶増大するに拘らず電動機の端子電圧は増す事が出来ないから、電流は漸次減少する。従つて電車の牽引力も漸次減少し遂に此力が電車の進行に對してあらはれる諸種の妨害力 (後章に説明す) と平衡するに到つて電車の速度は一定し、停車の爲め電流の供給が遮斷される迄は電車は其運動を繼續する。此場合の電流及速度の變化を圖示すれば第 57 圖の如くである。曲線

$ABC$  は電流の變化、曲線  $ODE$  は速度の變化を示し、 $T$  は制御用抵抗が全く除去された時刻である。

然し實際には、制御用抵抗を極めて僅かづゝ減少する事は不



可能であるから、唯數段に區分し、一段宛除いて行くのである。従つて實際には  $OT$  間の電流及速度の變化は平滑ではない。(直流機第 221 頁参照)

抵抗制御法は最も簡單であるが電力損失が大である。次に制御能率を調べて見やう。

第 57 圖  $ABC$  曲線の様に電流が供給され、供給電壓は一定とすると、電車に供給される電力は全く電流に正比例して變化するから、此曲線は同時に別の寸法で供給電力の變化を示すものと考へる事が出来る。即ち、第 57 圖で解る様に起動時から制御抵抗の全部が除去される迄の間は一定電壓で一定電流だから供給電力は一定だが、有効動力は牽引力と速度の積に比例するが、電流が一定だから牽引力は一定で速度が直線的に變化するから、其の平均は最大即ち制御抵抗が全部除去された時の値の半分である。従つて供給電力の半分が無駄になつた譯で制御能率は 50% に過ぎない。

又電車が規定より低い一定速度を保つ場合には、制御用抵抗の一部を回路内に存置せねばならないから多少の電力損失があるが装置が簡單な爲め電車には次の方法と組合せて廣く使用される。

## 50. 直並列制御法

今同一の電動機二臺を直列に結び之に幹線電壓を加へた時、之を並列に接続した場合と同一の電流を流すならば換言せば同一の總廻轉力を生ぜしめるならば(廻轉力は磁束と電流との積に比例し、直捲機では磁束は電流の函數である)電動機は並列の場合の略半分となる。何となれば速度は逆起電力に正比例し磁束に逆比例するが、此場合電流は同一だから磁束も亦同一で、供給電壓は半分であるから電動機抵抗降下さへ閉却すれば速度は並列の場合即ち全供給電壓が

加はる場合の丁度半分にならねばならぬ。(直流機 237 頁参照)

依つて電車が偶數個の電動機を有する場合には、直並列制御法で二つの經濟的速度が得られる。電動機 2 個の場合に就いて云へば、電車起動の際には電動機を相互に直列に接続して抵抗制御法で制御し、抵抗を全部除いて電動機が約半分の速度に達した時、電動機の接続を變更して並列となし、且つ之に再び直列に抵抗を挿入し置き、抵抗制御法に依つて順次此の抵抗を除くのである。

此の場合 1 個の電動機に通ずる電流は一定に保たれるのであるから、抵抗を通る電流は直列の場合には、並列の場合の約半分であるから、抵抗内の損失は大いに減少する、即ち有効の仕事は初めから抵抗法に依つた場合と同じく其の場合の供給電力の半分で、供給電力は夫れに比し半速度に達する迄は半分だから(一定電壓の下で電流が半分だから)即ち全體の  $\frac{1}{4}$  減る。依つて制御能率は  $\frac{1}{2} \div (1 - \frac{1}{4}) = \frac{2}{3}$  即ち 66.7% に増すのである。

直並列制御法は抵抗制御法に比し稍複雑であるが、斯く制御能率良好であるから一般に廣く採用される。一臺の電車に 2 個以上の電動機を設備する主なる理由の一つ(55 頁参照)は此制御法を用ゐたい爲めである。

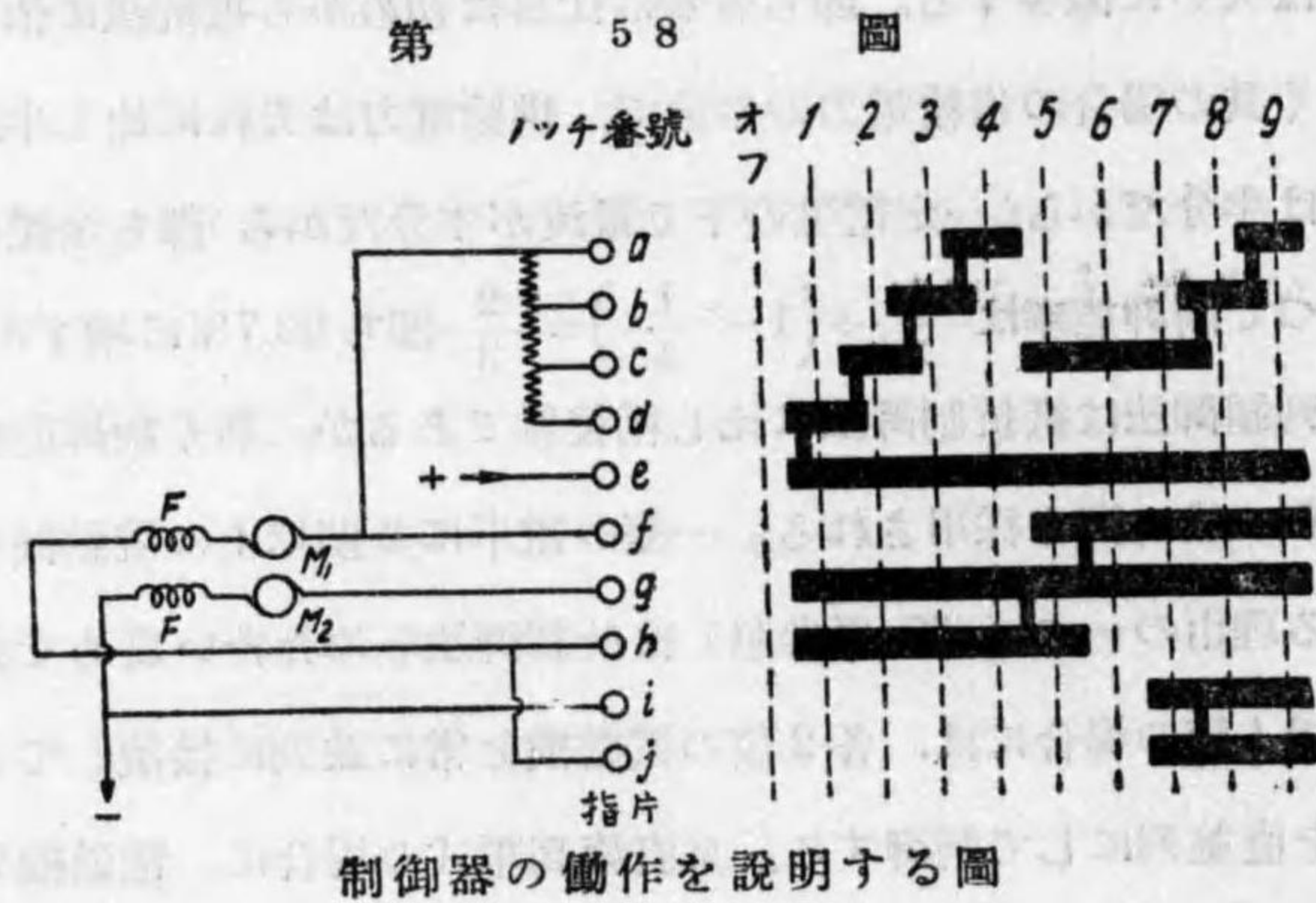
電動機 4 箇の場合には、各 2 箇の電動機を常に並列に接続して 1 組とし其 2 組を直並列にして制御する。又直流高壓式の場合に、電動機 2 箇を常に直列に接続して之を 1 組とすることがある。

勿論初め電動機全部を直列に接続し、次に 2 箇宛並列にしたものを直列に接続し、最後に全部を並列にすれば、更らに良好な制御能率が得られる譯であるが、制御器が餘り複雑になるから一般に此方法を用ゐない。

### 51. 圓筒形制御器

市街電車等の様に 50 馬力以下の小電動機に対しては、通常圓筒形制御器 (drum or cylinder type controller) を使用する。此制御器は第 5 巻口繪に示した様に把手で廻轉し得る圓筒上に適當な形状の多數の接觸片 (segment) を設け、之と相對して制御器指片 (controller finger) あり、兩者は圓筒を廻轉する事に依り、順次適當に相接觸するのである。故に指片を電動機及び抵抗器の電路中に適宜接続して置けば、上述の制御を行ふ事が出来る。

第 58 圖は抵抗制御器接続の一例で、指片は左方圖の各圓點で表はさ



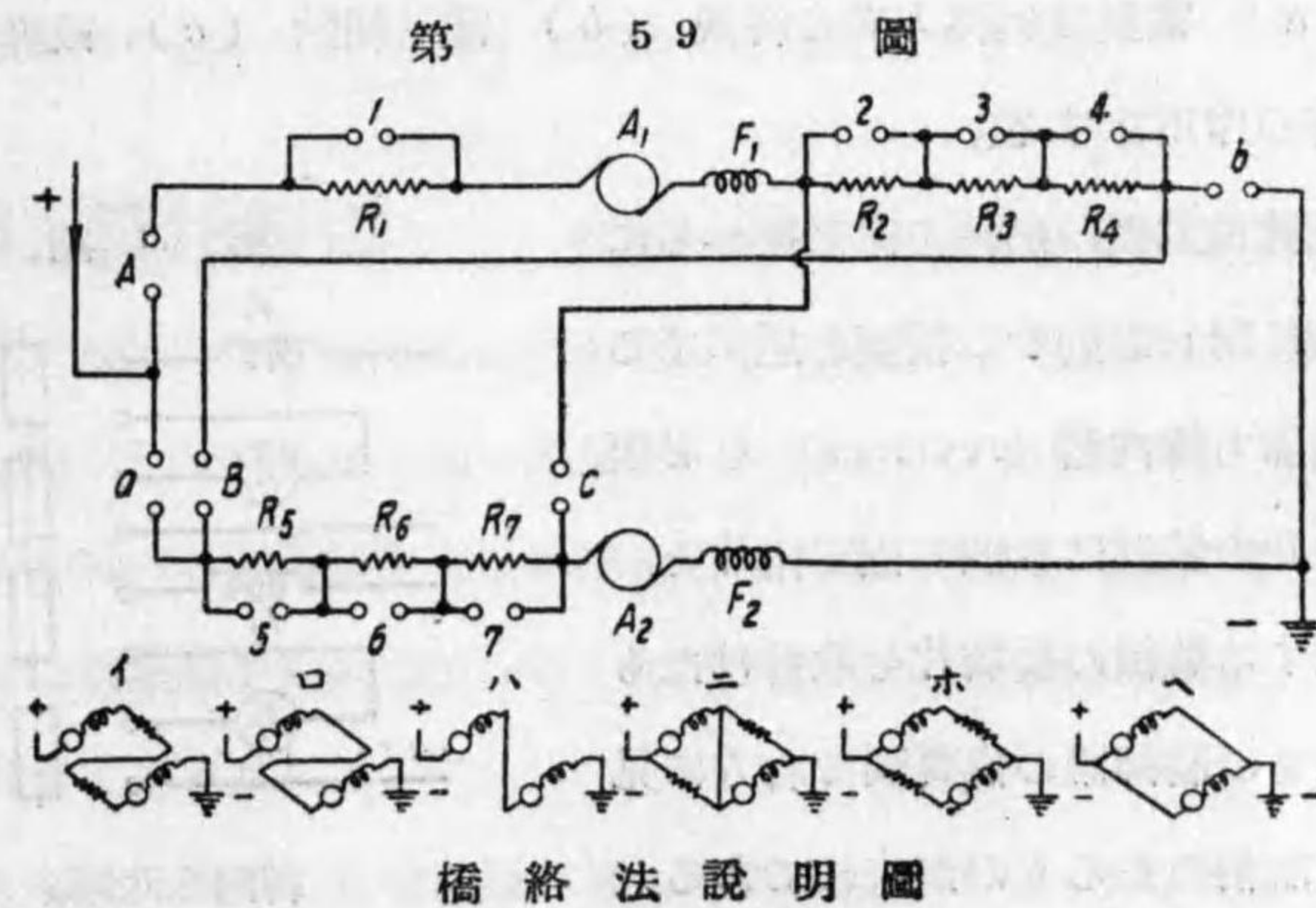
れ、又圓筒周圍の接觸片は其右方に展開して表はされて居る。今圓筒が廻轉する時は、點線で表はした圓筒上接觸片の各位置即ちノッチ (notch) は之と相對する指片と順次に相接觸するのである。先づ遮斷即ちオフ (off) の位置では、電動機に電流が通じない。次に第 1 ノッチ (1) では、2 組の 2 個の指片  $ed$  と  $gh$  とが、接觸片に依つて接続されるから、電流は (+) 極

から、抵抗全部を経て  $M_1$  電動機に通じ  $gh$  指片を経て  $M_2$  電動機に到り一極に返る。圓筒が順次廻轉するに従ひ、抵抗の各部は次第に除かれ、ノッチ 4 に至れば、指片  $e$  と  $f$  とが接觸片によりて直接接続される事になるから、抵抗は全部除かれ、電流は直接電動機に通ずるのである。

更らに柄を廻すとノッチ 5 で  $M_1$  電動機は短絡され、同時に抵抗の大部分を電路に入れて今一つの電動機に高電壓の加るのを防ぐ。そしてノッチ 6 で  $M_1$  電動機の一部は開放され、ノッチ 7 で再び電路に結ばれて  $M_1$   $M_2$  兩電動機は並列に結ばれた事になる。以下 8, 9 と抵抗が減ぜられる。

本方法ではノッチ 4 から 7 に移る際即ち兩電動機が直列から並列に移る際に電動機に衝撃を與へるから、容量の大なる電動機では橋絡法 (bridge method) と言ふ方法を使ふ。之は第 59 圖に示す様な接続とし  $ABCab$  及 1 乃至 7 の開閉器を開閉すると、同圖の下に示す様に接続が變る。即ち次の様になるのである。

イ 開閉器  $A$  と  $B$  とを閉じた時

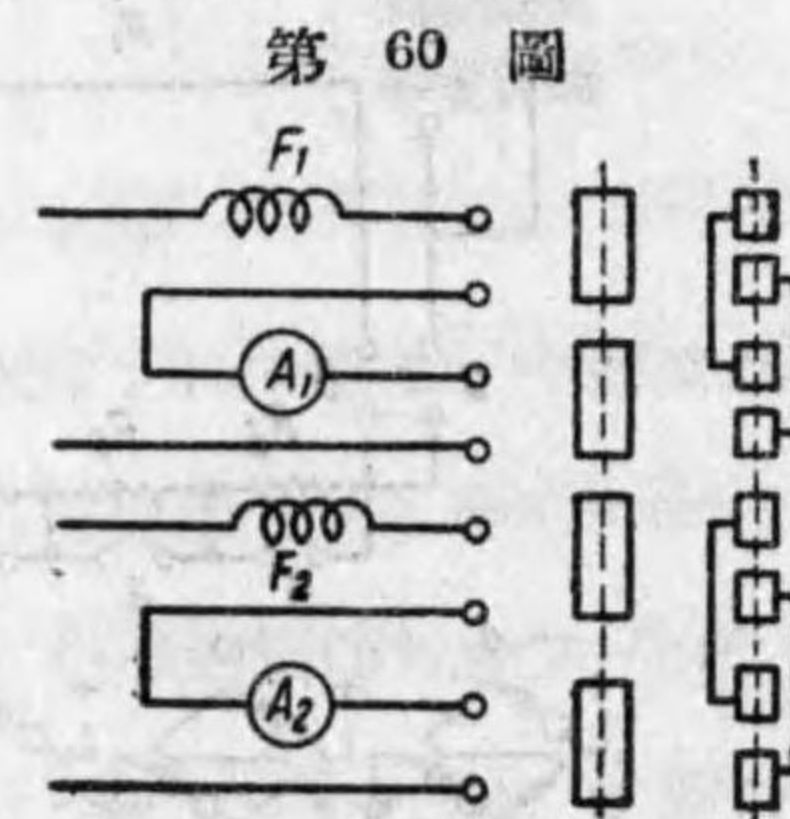


- ロ 順次に抵抗を除く即ち1乃至7の開閉器を順次に閉ち終つた時
  - ハ 開閉器 C を閉ちた後 B を開いた時(兩電動機直列)此の際2乃至7の開閉器も開いて置く。(此の場合此等の開閉器には電流は流れて居ない)
  - ニ 開閉器 a と b とを閉ちた時
  - ホ 開閉器 C を開いた時
  - ヘ 開閉器2乃至7を順次に閉ち終へた時(兩電動機並列)
- 斯の二の接続は丁度ホイートストーンブリッジの接続と同様だから、 $R_2, R_3, R_4$  の合計及び  $R_5, R_6, R_7$  の合計を適当な相等しい値に選んで開閉器 C には電流が流れぬ様に豫めしてある。故にヘに移る爲め開閉器 C を開いても電動機を通る電流は變らない。従つて直列から並列に移る際に電動機には少しも衝撃が加はらない。

## 52. 轉向圓筒

多くの制御器は電動機の世界制御をする外に (a) 電動機廻轉方向の轉換 (b) 電氣制動 (c) 故障電動機の開放等の作用をする。

直流直捲電動機の廻轉方向を換へるには、界磁に對し電動子の接続を逆にする切替装置即ち轉向器 (reverser) を必要とする。此の装置は數個の固定指片と、之に接觸する數組の接觸片を取付けたもので、先きの制御器の寫眞圖で右方に見へる小さな柄のあるものが夫れである。



轉向器説明圖

其の働作は全く主器と同じで、電動機二個を同時に變更するものの接続の一例は第 60 圖に示す通りである。

電氣制動については後節に述べる。

直並列制御器には電動機遮斷開閉器 (motor cut-out switch) を備へ、一電動機に故障を生じた場合には、此故障電動機への回路を斷ち、他の電動機のみを使用する。そして故障電動機の代りに短絡電線を入れ、制御圓筒の把手が直列の最後の位置から先には廻らぬ様に爲め、適當な機械的聯動装置で把手の運動を阻止するのである。尤も此の場合に並列の制御點のみを用ゐる様にしたものもある。

制御器は電動機に電流の通つて居る間に、制御圓筒を廻轉して接続を變ずるのであるから、指片と接觸片とが離れる時に生ずる電弧を吹消す爲に吹消線輪 (blow-out coil) を備へる。弧光は、電動機と同じ原理で此線輪の磁力線の方向と弧光電流の方向とに共に直角の方向に、吹き遠ざけられるので速かに消へる。而して此線輪を勵磁するには電動機に通ずる電流を用ひ制御圓筒を動かす時間以外は短絡する様にしてある。

## 53. 總括制御

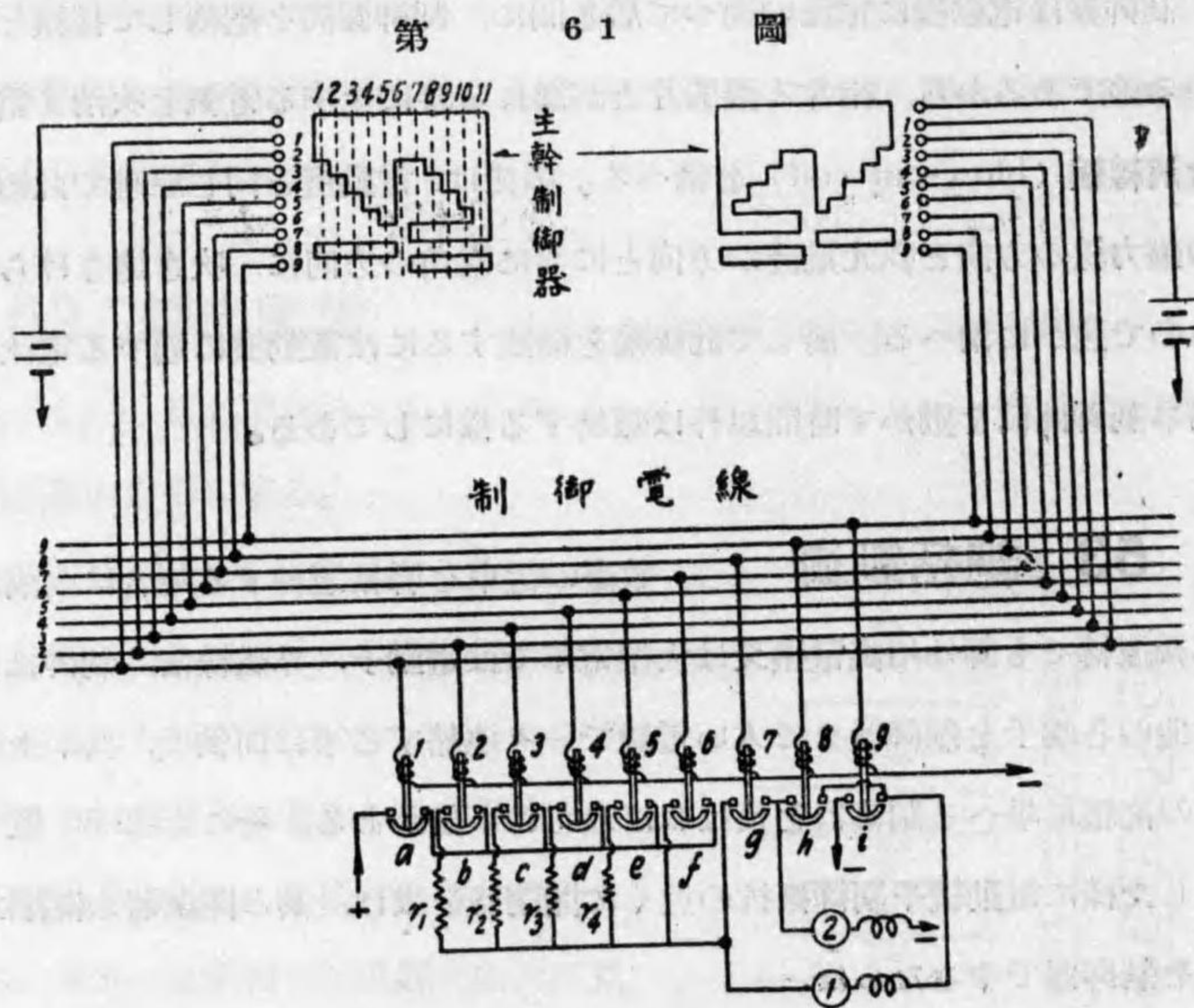
數臺の電車を聯結運轉する場合は勿論、單獨運轉でも郊外用高電壓又は大型電車では電動子、界磁線輪、制御抵抗其他の各端子を制御器まで太い電線で一々連絡する事は面倒で、其の上大型の高壓に堪へる制御器を使はねばならぬ不便がある。そこで第 59 圖で示した様に電動機や制御抵抗の近くに開閉器を設け、其の開閉器の開閉だけを制御器でやるならば、

1 電車線が高壓でも制御器が扱ふ電路は低壓で良いから危険でなく

□ 太い電線は短くて済み、別に細い線が要るのみだから電線が経済である上に

ハ 特に聯結運轉では各車の電動機を同時に制御出来る便利がある。斯の様なものを總括制御 (multiple unit control) と言ひ、其の開閉器を接觸器 (contactor) 其の制御器を主幹開閉器 (master controller) と呼ばれる。

第 61 圖は電動機二機を有し直並列制御をやる最も簡単な總括制御の電線接続圖で主幹開閉器は先きに述べた制御器を唯小型にしたもので制御電線 (train wire) の或るものに電流を流す役目をする。a と 1, b と 2, 等



總括制御説明圖

は接觸器即ち一種の遠方制御の開閉器で 1, 2 等の電磁石が勵磁されると a, b 等の開閉器を閉ちるのである。

今主幹開閉器がオフの位置からノッチ 1 に移ると接觸器 a と h とが閉ぢられるから電車線電流は凡べての抵抗を経て電動機 1 及 2 を直列に通る負極に返る其有様は第 58 圖でノッチ 1 に移した時と全く同一である。

以下主幹開閉器のノッチを進めるに従ひり以下の開閉器が動作して次第に抵抗を除去しノッチ 7 で兩電動機は並列に結ばれる。

電車數臺を聯結運轉する場合には各車の制御電線は多極の栓開閉器で互に接続されて居るから何處かの主幹制御器を動かせば各車共同一の作業を爲るのである。

制御回路の電源は蓄電池に依る事もあり、電車線電壓を發電機で降下したものを使ふ事もある。

電車の加速に際し運轉手の巧拙は電動機保守上及び運轉上重大な關係があるので、之を自動的にする事がある。之を總括自動制御と言はれる。之に二法ある。其の一つは主幹開閉器の柄と圓筒とを固定せずに發條で連結して置き、圓筒に電磁聯動器 (magnetic clutch) を設け、發動子電路に挿入した電路制限繼電器で圓筒の運動を支配させるので、他の一つは各電動機の抵抗用開閉器即ち接觸器の動作を其電動機の電流制限繼電器で各機別々に支配させる方法である。

### 54. 制動装置

今日最も廣く使用される制動法は次の 3

種である。

イ 手動制動 (hand brake)

□ 電氣制動 (electric brake)

ハ 空氣制動 (air brake)

此の外登山鐵道等では電磁制動 (electro-magnetic brake) と言つて電車電流又は上記の□に依つて生じた電流を軌道近くに設けた電磁石に送つて軌條に吸引させる方法もある。又山丘地方の電氣鐵道では下り坂では適當に接續を變更して電動機を發電機として働かせ之を主發電機と並行運轉させて、其のエネルギーを電路に返還する事に依り制動させる方法もある。之を同生制動 (regenerative brake) と言はれる。

55. 手働制動機

元來機械的の制動法は制動靴 (brake shoe) と稱へる軟鑄鐵製の金物で車輪周 (稀に軌條) を壓し、其の際生ずる摩擦で運動體の有するエネルギーを熱に變化して消耗させ減速せしめるものである。依つて若し此の制動靴に加へられる力が餘り大となると制動靴と車輪と一體となり軌條上を滑るから制動の目的を達する事が出来なくなる。

一體車輪が軌條上を滑らずに廻轉するのは車輪に加はる重量  $W$  と車輪と軌條間の附着率  $C_A$  (coefficient of adhesion) に關係するので、此の二者の積よりも大きな力が車輪周に働くと滑走を初めるのである。そして車輪周に働く制動力は元より制動靴が車輪周と直角に加へる力  $P$  と其の間の摩擦係數  $C_r$  を乗じたものだから、制動が行はれるには次の條件が成立たねばならぬ事は明かである。

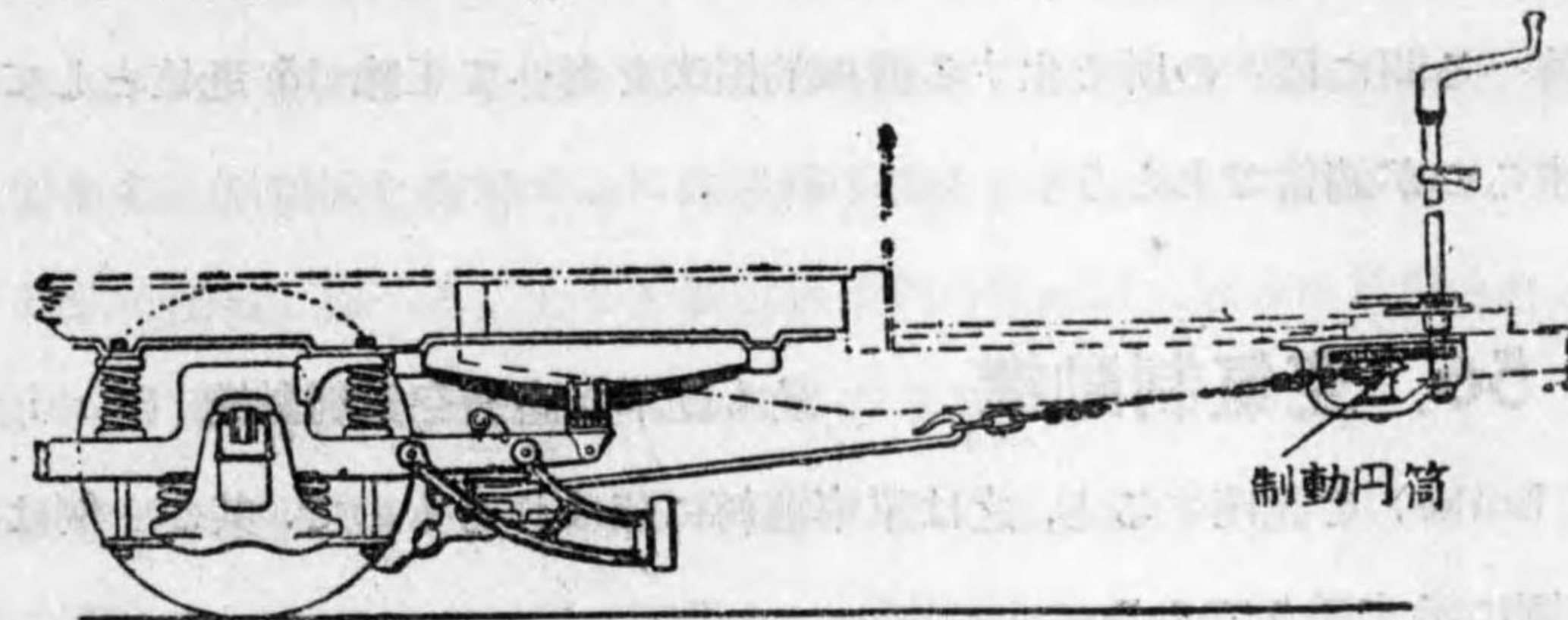
$C_r P < C_A W$ .....(6)

$C_r$  の値は 0.12 位から 0.22 位であるが大略 0.15 位に取れば良からう。

$C_A$  の値は軌條が普通の状態の時 0.30 濡れた時に 0.18、雪や氷に蔽はれると 0.10 位迄も下る。尤も後者の時に軌條に砂を撒くと夫々 0.23 か 0.15 位に増す事が出来る。

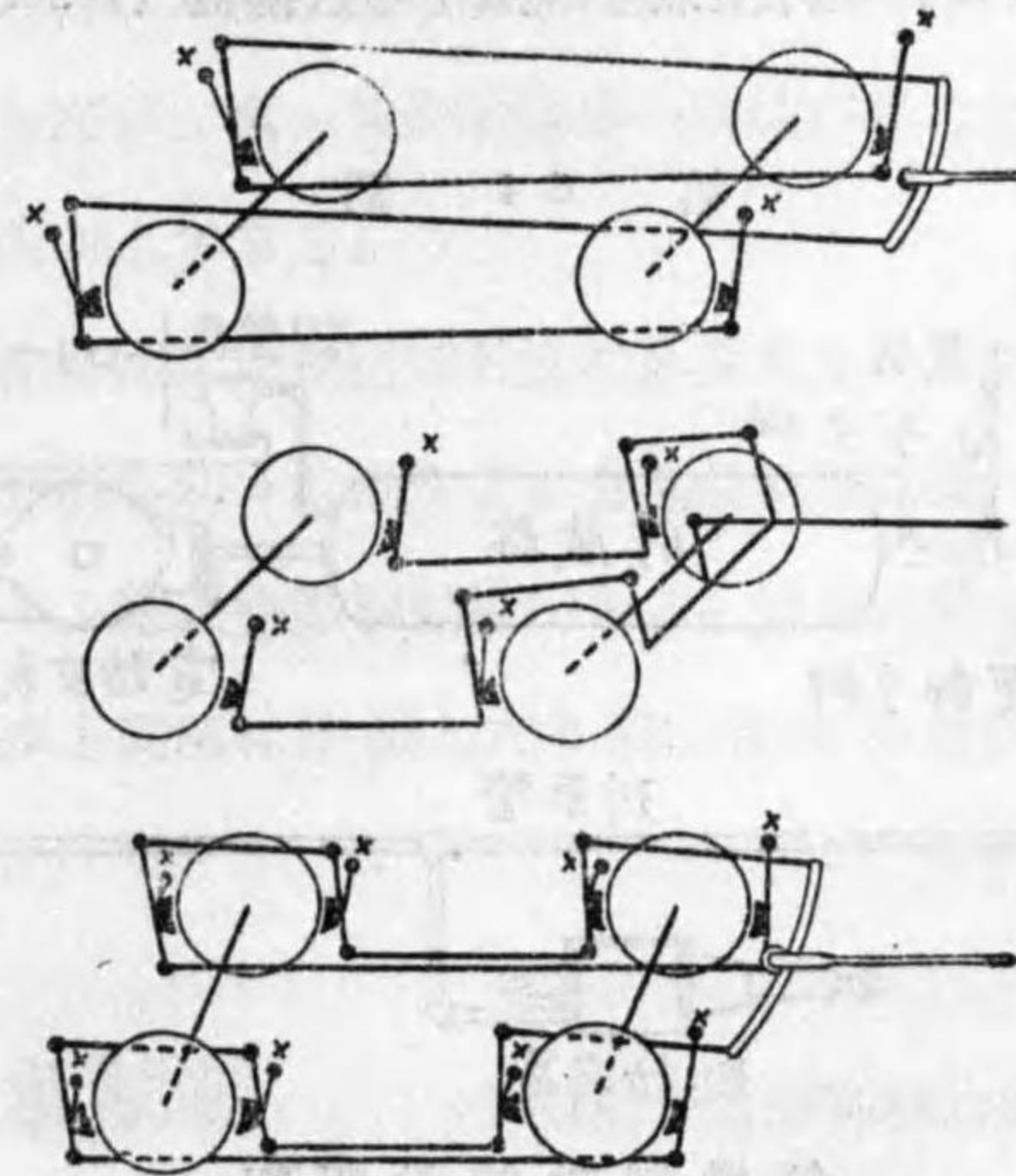
手働制動機は主として小型電車に使用されるのだが、制動機は必ず貳種

第 62 圖



手働制動機動作圖

第 63 圖



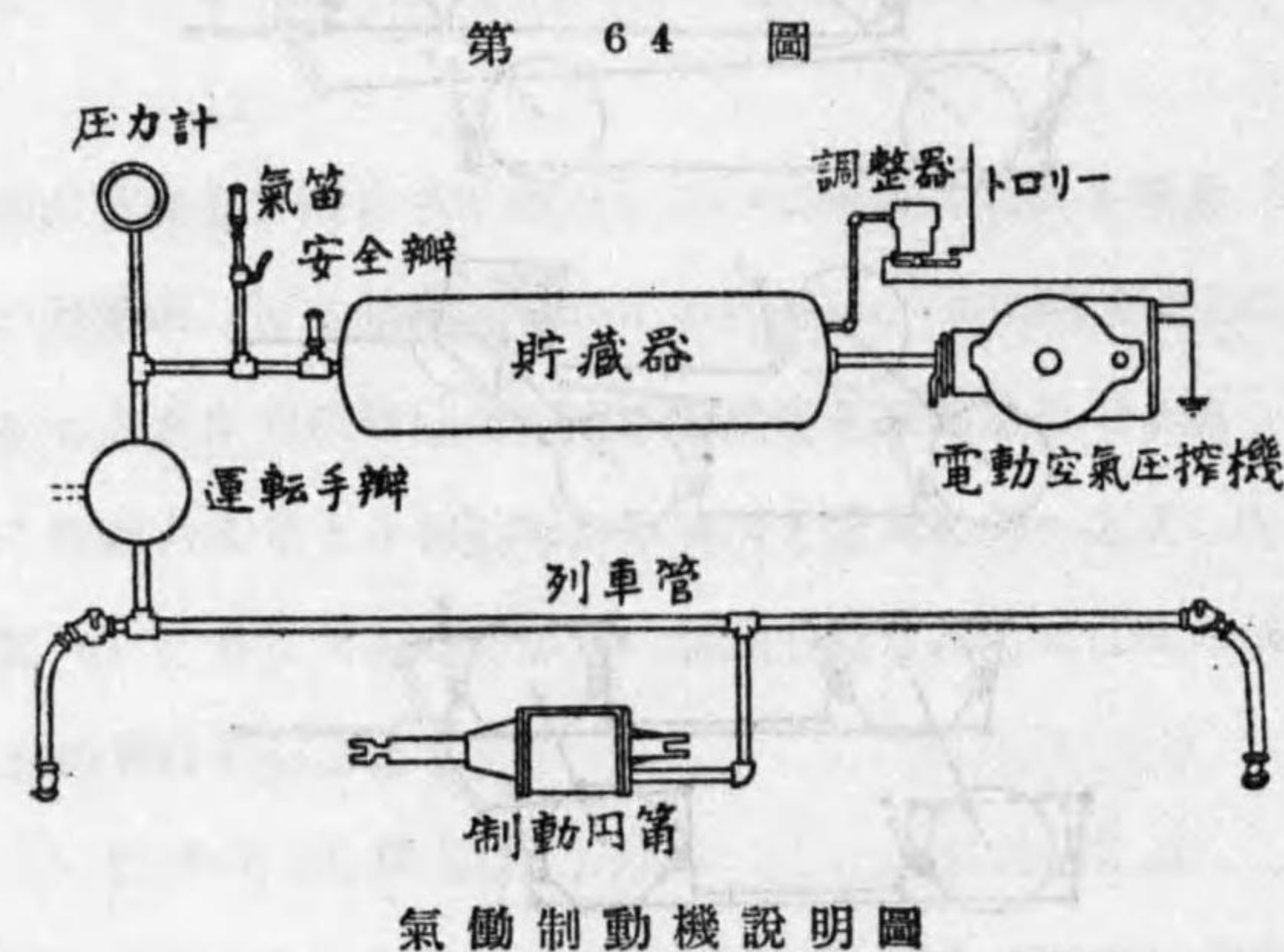
制動靴の車輪周の押し方説明圖

以上を備へる必要があるから、大型電車でも豫備に設けたものが多い。之は運轉臺に垂直軸があつて、第 62 圖に示す様な把手か或は丸い輪を廻すと齒車仕掛けで連鎖が巻かれる制動圓筒を廻すから、鎖の先きの引く力を聯桿に傳へ制動靴は車輪周を壓するのである。第 63 圖は連鎖の力を制動靴に傳へる聯桿の諸種の方式である。運轉手が把手に加へられる力は運動を傳へる間に種々の所で生ずる機械的損失を考へて正味 15 疋位として計算するのが適當であらう。

### 56. 空氣制動機

最も簡単な直通空氣制動機 (straight air brake) を説明すると、之は單車運轉に使はれるもので、其の一例は第 64 圖に示す通りである。

其の主要部分は (イ) 壓搾空氣を作る電動空氣壓搾機 (motor driven air compressor) (ロ) 壓搾空氣を貯藏する貯藏器 (reservoir) (ハ) 車の



前後にある運轉手用弁 (motorman's valve) (ニ) 聯桿に作用を及ぼす制動氣筒 (brake cylinder) と (ホ) 各部を連絡する氣管で、其他に壓力計 警笛 (whistle) 調整器 (governor) 等が附屬して居る。

今運轉手が運轉手辦の把手を適當な位置に轉すると、壓搾空氣は貯藏器から其の瓣を経て列車管 (train line or pipe) から制動氣筒内に入り、其のピストンを動かし、手働と同様な聯桿装置で制動靴を車輪周に押付けるのである。制動機を緩解するには運轉手辦の把手を他の位置に轉じ列車管を外氣に接続し換へる。そこで制動氣筒内の空氣は大氣中に放出され、ピストンは發條の力で元の位置に復するのである。

調整器は貯藏器の壓力が減ると發條の作用で空氣壓搾器に直結する電動機の電路を閉ぢ其の電動機を起動し、一定壓力となれば發條の力に打勝つて其の電路を開く役目をするものである。

二車位の聯結運轉には應急直通空氣制動機と言つて、其の働作は普通の直通のものと同じだが、萬一其の附隨車の聯結が絶たれると自働的に制動する様な装置が附加してある。

三車以上の聯結運轉には總括制御法に真似たもので列車管の壓力を制御すると各車の制動機が別々に動作する自働空氣制動機、列車管の代りに電磁石で働く瓣を使ふ電磁空氣制動機がある。電氣機關車などでは直通と自働とが組合せ列車と同時に制動したり或は機關車だけ制動し得る様にしたのが多い。

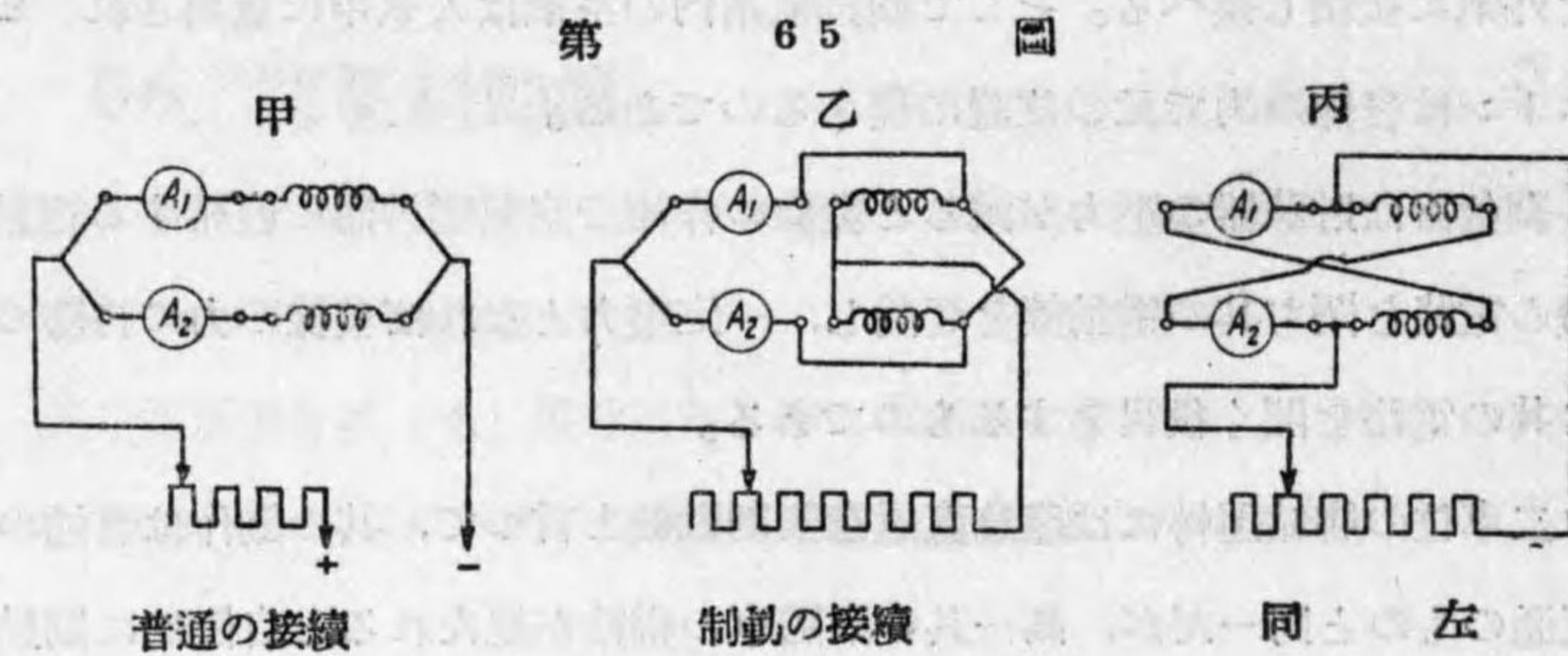
### 57. 電氣制動

手働若くは空氣制動機の豫備として小型電車に使用される方法で、運轉用電動機を自勵發電機とし直列抵抗を以つ

て短絡し、運動のエネルギーを電気的形を経て抵抗器内で熱に変えて消費させやうとする方法である。

従つて之を爲するには單に制御器の把手をオフの位置より逆に進めれば良いので、ノッチの進むに従ひ漸次短絡抵抗が減るから速度が減つても一定の減速度を得る事が出来る。

二個の電動機で電気制動を行ふ時の接続の一例を第 65 圖に示した。電動機の時と発電機の時とは其の極性が變るから、電機子と界磁との接続



電 氣 制 動 説 明 圖

を今迄とは反對（同圖甲乙を比較せよ）にする。其の上直捲發電機の並行運轉であるから同圖乙の様に均壓線を設けるか同圖丙の様に界磁を交換せねばならぬ。

### 58. 摘 要

本章は電車や電気機関車を運轉する上に最も

重要なる電動機の世界制御と制動とに就いて述べた。

- 1 運轉子の主な任務は速度制御と制動とである。
- 2 直捲電動機は普通偶數箇を使用し直並列により二つの經濟的速度を

得る。直列の場合は並列の場合の半分である。

3 其の間は電動子電路に加へた直列抵抗の加減に依る。

4 圓筒型制御器は電動機の直並列及抵抗制御をする外に方向轉向及び電気制動をする。これには單に電動機各部に接続された指片を接觸片で適宜に接続又は開放を行へば良いのである。

5 總括制御は聯結運動、高壓式に便利で且つ大型電車では電線が經濟である。

6 手動制動は小型電車に廣く使はれる。

7  $C_1 P < C_A W$

8 大型電車は空氣制動に限られる。

9 電気制動は簡單であるが少しく接続を變ぜねばならぬ。

### 練 習 問 題 IV

1 雨天の際制動靴に加へ得る最大制動力は該車輪に加はる重量の何倍なりや但し車輪周と制動靴との摩擦係数は 0.15 とす。 答 1.2 倍

2 直並列制御法に於て廻轉力を同一とするとき直列運轉の際は並列の際の略半分の速度にて運轉する事を證明せよ。

手引 廻轉力は磁束と電動子電流との積に比例し、直捲機では磁束は電動子電流に依り生ずるのだから、廻轉力が一定なる以上は電流も亦一定である。後は本文中にある。

3 1 時間 10 哩の速度で運轉して居る重量 8 噸の四輪電車がある。今滑りを起さざる程度で之を制動靴に依り停止させ様とする。制動を始めた位置から全く停止する位置までの最小距離及制動靴に與へる壓力如何。但



し  $C_A$  は  $\frac{1}{9}$ ,  $C_f$  は 0.15 とし, 電車の運轉による障害は無視するとする。  
(大正元年 3 級選試問題参照)

〔解〕 最大制動力 =  $\frac{1}{9} \times 8 \times 2240 = 1990$  封度

今此の制動力に變動を與へないとすれば制動し終る迄に此の力に依り爲された仕事は  $1990 \times L$  呎封度である, 但し  $L$  は求める最小距離だ。

又電車の直線運動エネルギーは  $\frac{1}{2} m V^2$  で, 別に廻轉體の有する廻轉エネルギーを其の 10% とすると消耗せらるべき全エネルギーは次の様である。

$$\frac{1}{2} \times \frac{8 \times 2240}{32.2} \times \left( \frac{5280 \times 10}{3600} \right)^2 \times 1.10 = 65800 \text{ 呎封度}$$

故に  $1990L = 65800$

$$L = 33.1 \text{ 呎}$$

又  $P = C_A W + C_f = 1990 + 0.15 = 13200$  封度

4. 毎時 30 軒の速度で走行しつゝある 10 噸 (1 噸は 1000 斤) の電車を空気制動機に依り 20 米以内で停止せしめる事は可能なりや。但し電車の運轉に依る障害は無視するものとす。

答 乾いた軌條なら可能, 雨天でも砂撒きすれば可能

手引 前問と同様にして  $\frac{1}{2} m V^2 \times 1.10$  より消耗せらるべき全エネルギーを米珎にて出し (メートル式では  $g$  は呎式 32.2 の代りに 9.80 米を使ふ) 夫れと停止する迄の距離 (20 米) とから最大制動力が求められる。之れと電車の重量 (珎) とから此の場合に滑らざる爲めの  $C_A$  の値が求められる。之が許し得る値であれば可能なのである。

## 第七章 電車線路

### 59. 單線式と複線式

架空電車線には單線式と複線式とある。之は軌道の單線複線とは違ひ, 各二本の軌條毎に一本を使ふのが單線式, 二本を使ふのが複線式である。即ち複線軌道に複線式を採用すれば四本の電車線が設けられる事になる。

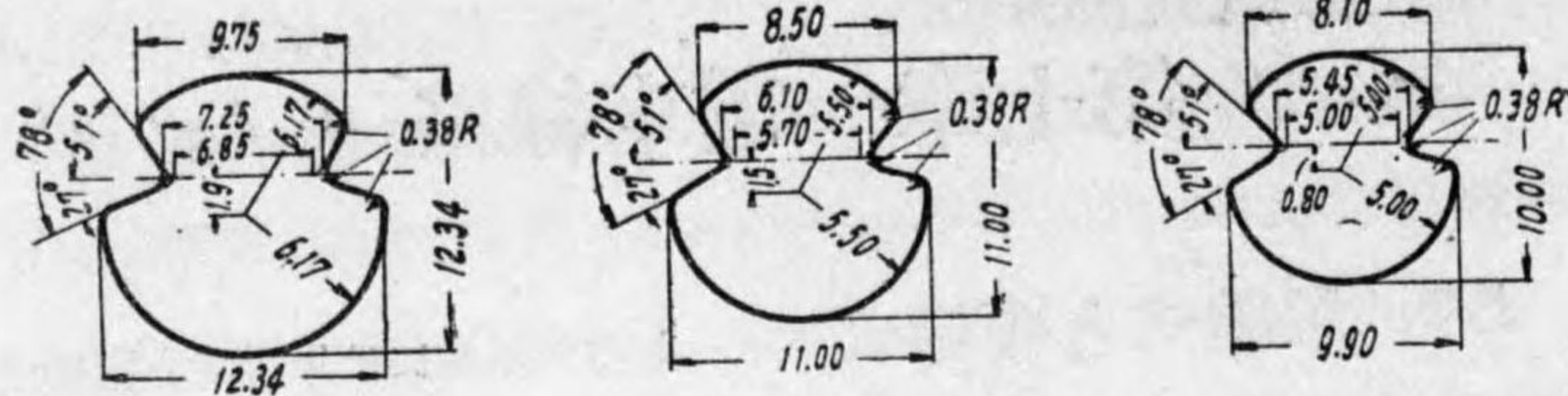
電車線のみから考へれば元より單線式が望ましい。單線式では電流の他の通路として軌條を使用するから, そして軌條を大地から絶縁する事は困難だから電流は幾分大地に漏洩する。そこで其附近に軌道と並行した鐵管列があれば, 大地に漏れた電流の一部は其の鐵管列を流れる。所が直流が鐵管列を出入する箇所 (特に出る所及電氣的に接續が不完全な継目) では電氣分解をなし, 之を腐蝕する。之が豫防に大なる費用が要るので, 地下に鐵管の多い市街地では複線式即ち軌條を回路の一部に使用しない方法を採用する事になるのである。

又架空電車線を吊架する方法に三種ある。張線式, 腕金式及び鏈線式が夫れである。孰れも聚電子が電車線の下を滑りながら進むのに支障のない様に電車線が支持せられて居る。

### 60. 電車線

電車線は元より裸線で電氣工作物規程に依ると高壓のものは直徑 10 耗以上, 低壓のものでも 8 耗以上の硬銅線又は之と同等以上の強さ及太さのものでなければならぬ。普通使はれるもの

第 66 圖



溝附電車線の寸法

に圓形と溝附とあるが、其の重量抵抗其他は下表の様で、溝附のもの寸法は第 66 圖に示す通りである。

圓形電車線の表

直 徑	切 斷 面 積 平方耗	一 杆 重 量 斤	一 杆 抵 抗 オーム	最 小 扯 斷 力 斤
12.00	113.00	1005.5	0.1563	4015
10.00	78.54	698.2	0.2251	2851
9.00	63.62	565.6	0.2779	2379
8.00	50.27	446.9	0.3518	1935

溝 附 電 車 線 の 表

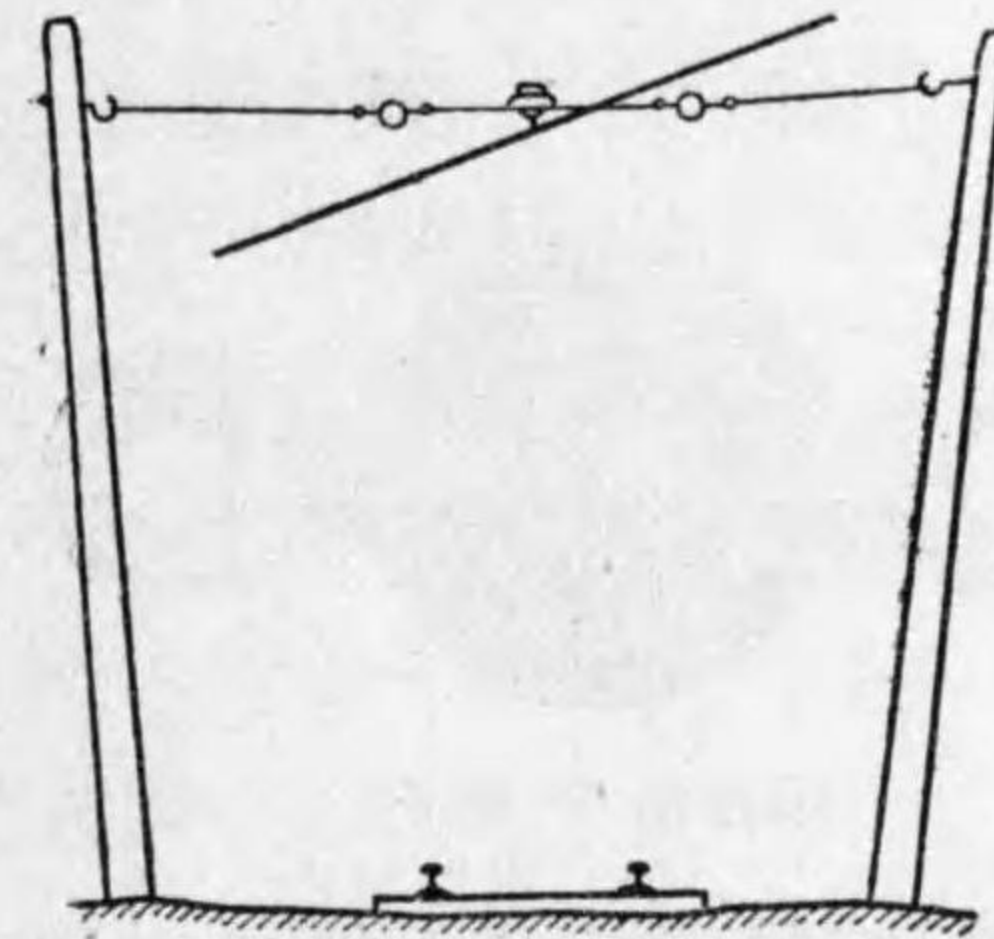
公稱切斷面積 平方耗	計算切斷面積 平方耗	一 杆 重 量 斤	一 杆 抵 抗 オーム	最 小 扯 斷 力 斤
110	111.1	987.7	0.1592	3889
85	87.09	774.2	0.2030	3092
70	70.29	624.9	0.2516	2516

電車線を接続するには後に示す接続イヤに依るが、夫れが近所がない場合には電車線接続管を使ふ。

61. 張線式吊架法

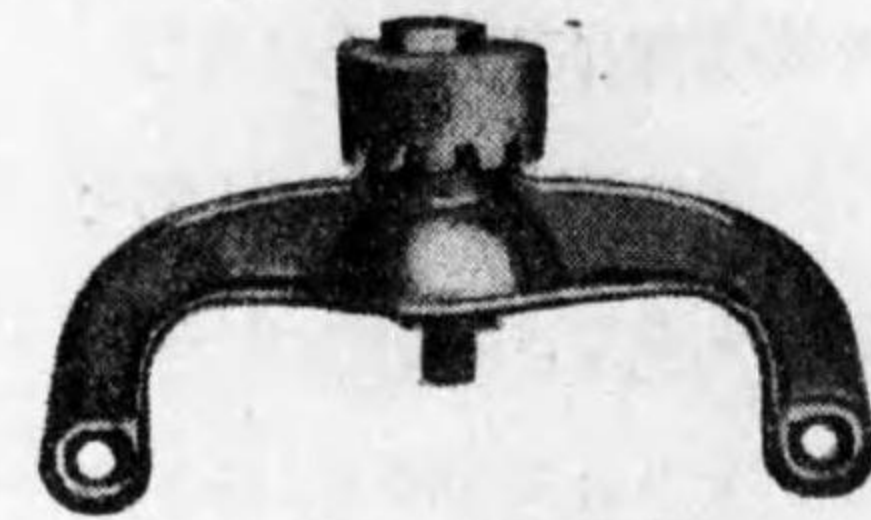
第 67 圖に示す様に軌道の兩側に木柱又は鐵柱を建て電車線を支持する吊子 (hanger) を張線で引張る方式である。

第 67 圖



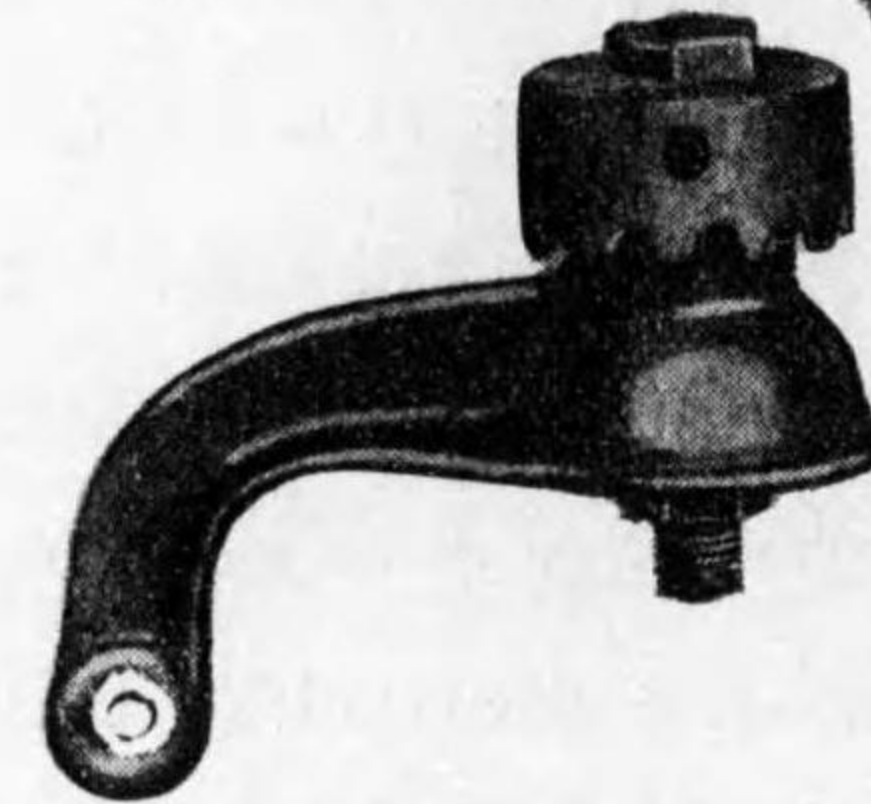
張線式電車線支持法

第 69 圖



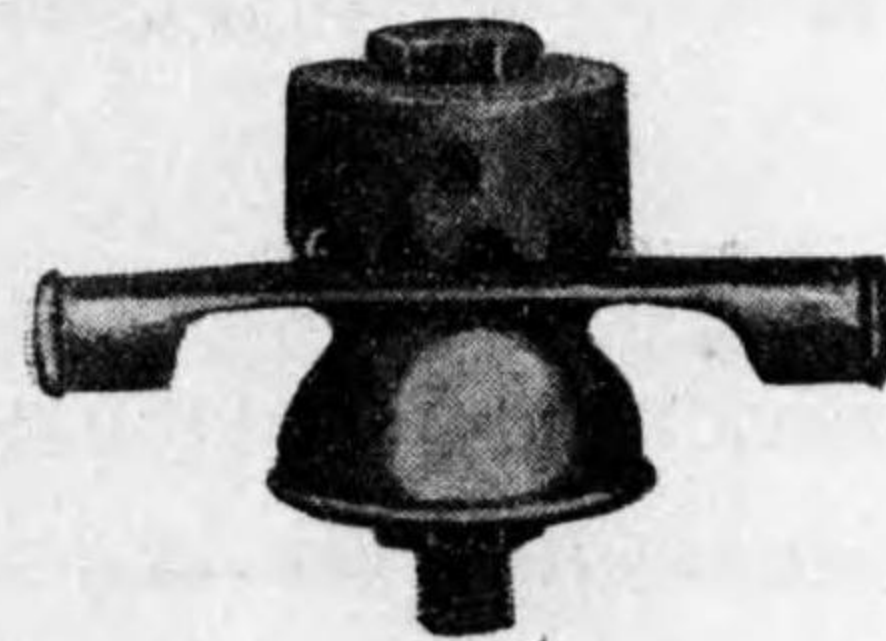
兩腕曲線吊子圖

第 70 圖



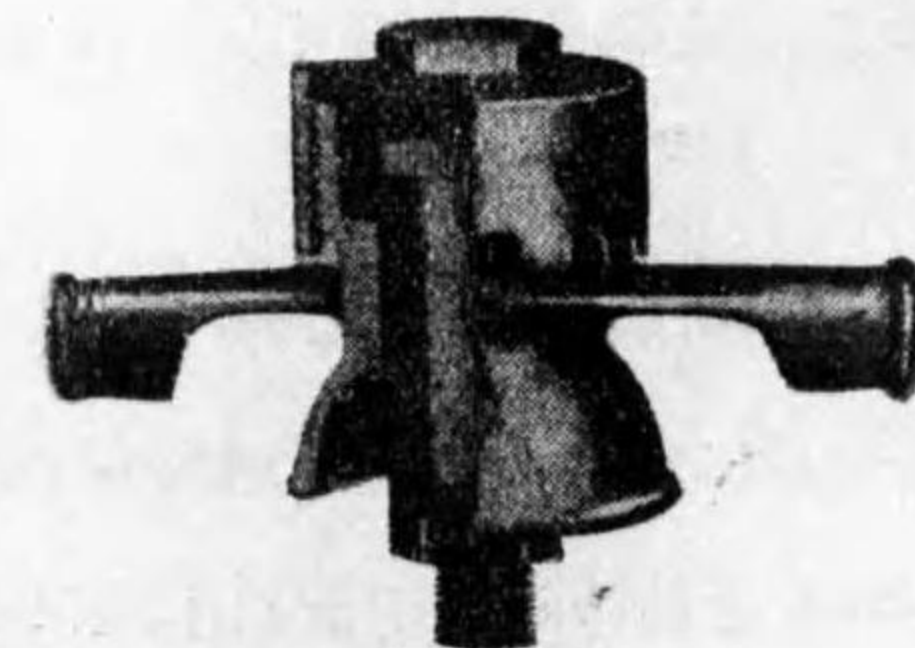
片腕曲線吊子圖

第 68 圖



直線吊子圖

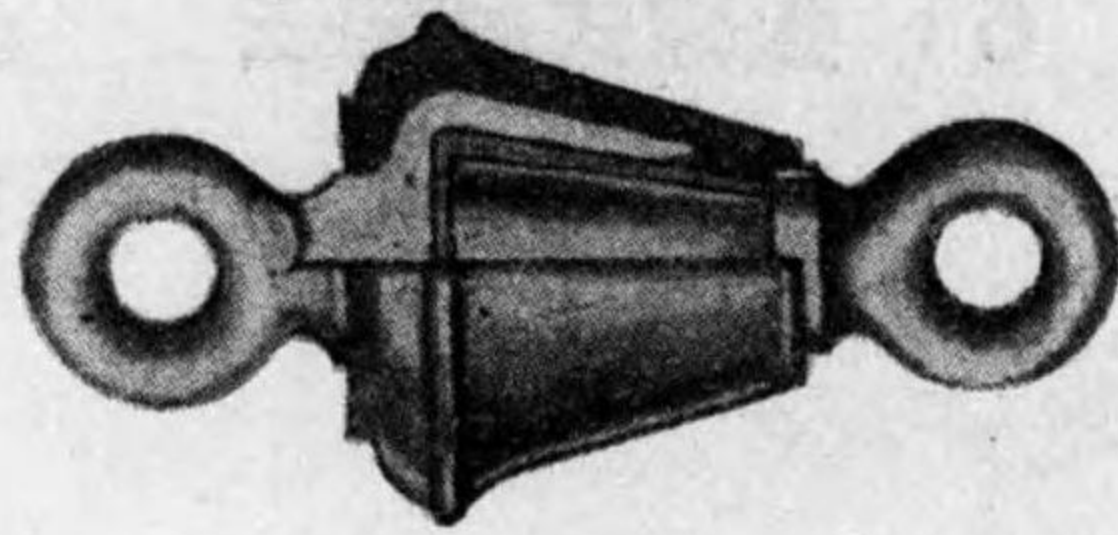
第 71 圖



直線吊子内部構造圖

吊子には色々の形があるが、第 68 圖は直線の所、第 69, 70 兩圖は曲線の所に使用するもので、直線吊子、兩腕及片腕曲線吊子の名がある。第 71 圖は第 68 圖の内部を示したもので、孰れも中央の鐵製ボルトと外部の鐵棒との間は絶縁物で充分に阻隔してある。

第 72 圖



圓錐狀耐張碍子

第 73 圖



球狀耐張碍子

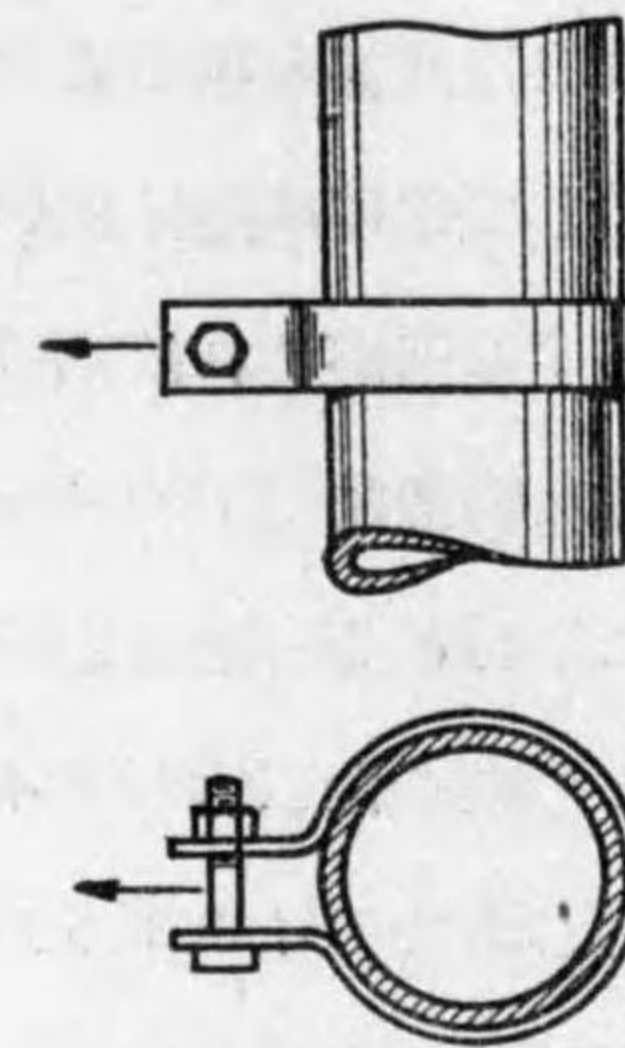
尙絶縁を充分にする爲めに第 72 及 73 圖に示すやうなものを使ふ。前者は圓錐狀耐張碍子、後者は球狀耐張碍子 (conical & spherical or globe strain insulator) と言はれる。圖で解る様に兩側の金屬は内部で絶縁物に依り充分に阻隔してあるが、萬一絶縁が破れても、兩金物は密着して電車線が落ちぬ様支持する様に出てゐる。

張線には 38, 30 若くは 22 平方耗 (直徑 2.60, 2.30, 2.00 耗七本撚) の亞鉛鍍鋼鐵線が多く使はれる。

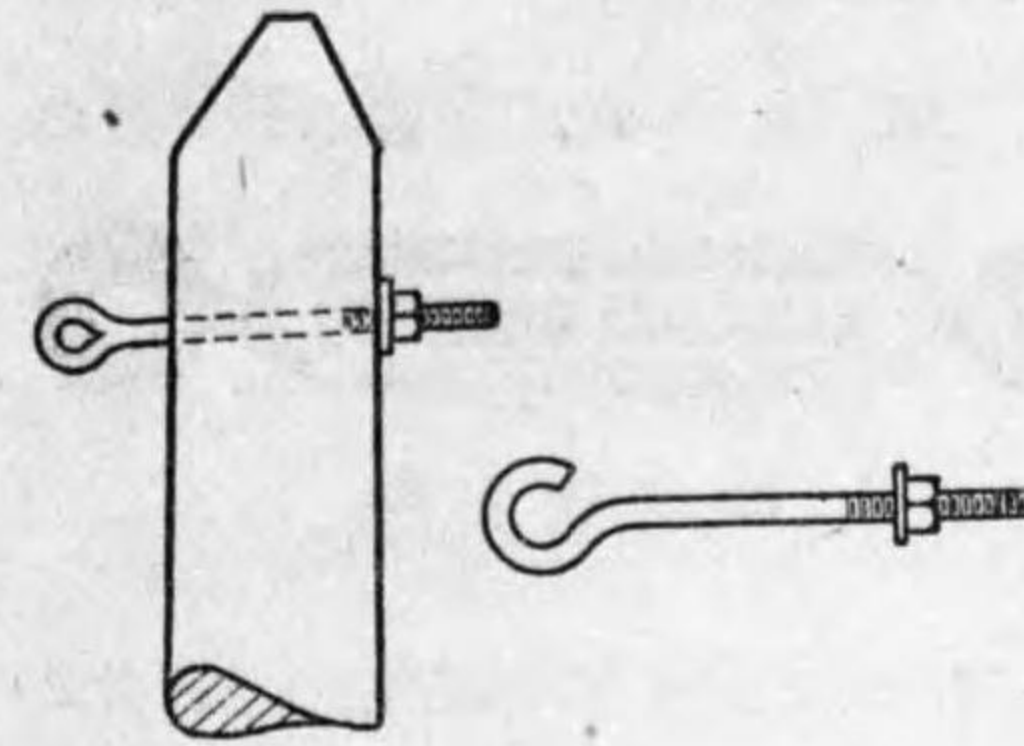
### 62. 張線支持法

張線を電柱に取付けるには木柱の場合には一端に穴のあるアイボルト (eye bolt) 又は鈎のあるフックボルト (hook bolt) を第 74 圖の様に木柱に貫通して、其の孔又は鈎に張線を結び付ける。又鐵柱なら電柱帶 (pole band) と稱へる鐵帶の輪で柱を捲かせ、ボ

第 75 圖



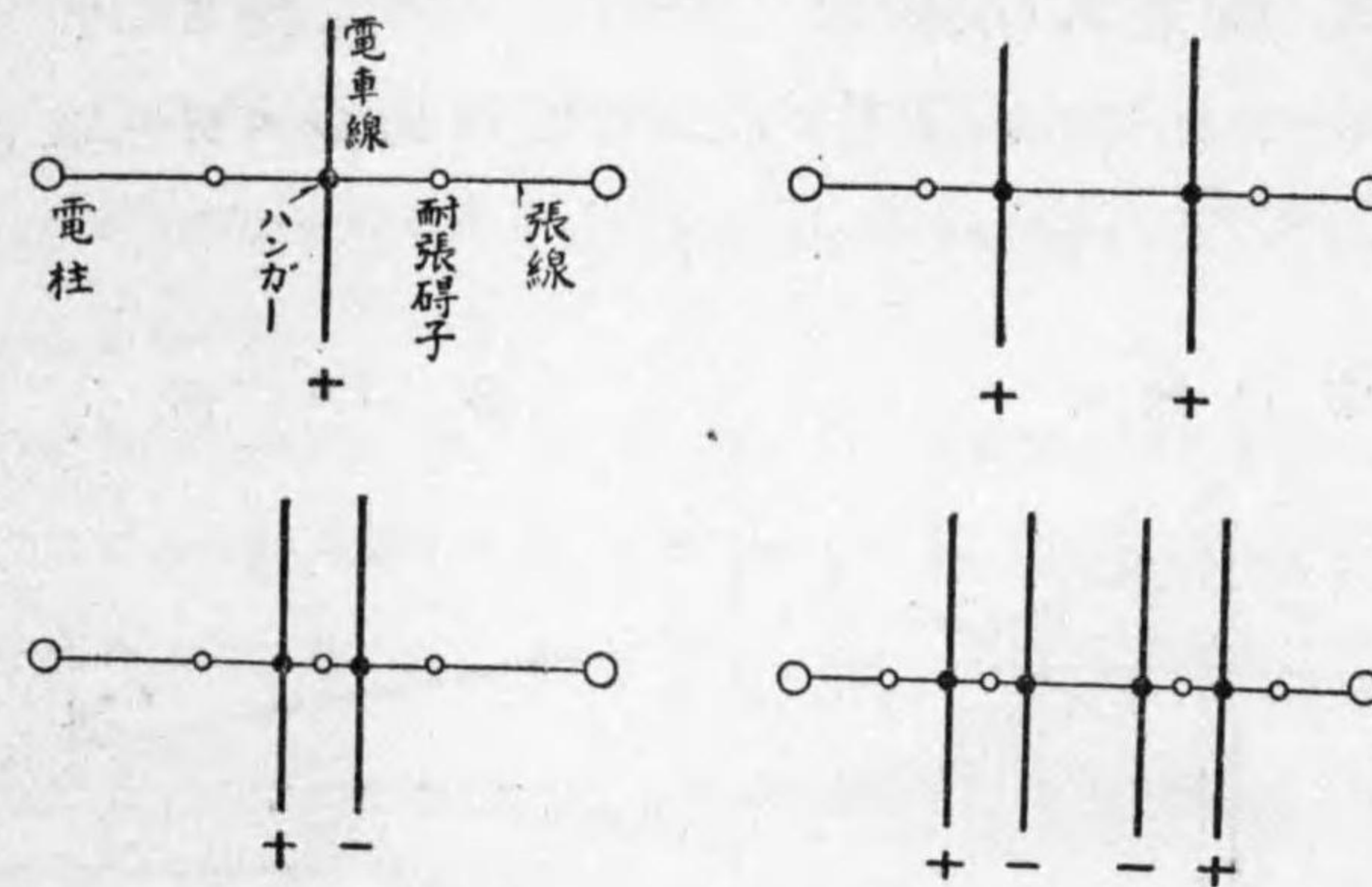
第 74 圖



張線木柱取付法

張線鐵柱取付法

第 76 圖



直線線路張線支持法

ルトで之を締め、其のボルトに張線を結付けるものである。(第 75 圖)

張線の張り方は直線の場合には第 76 圖の様にする。電車線間のものは別だが、市街地で電信電話線が附近にある時は耐張碍子と電車線との距離

は 60 種以内で、其の外側の張線は接地して置かねばならない。

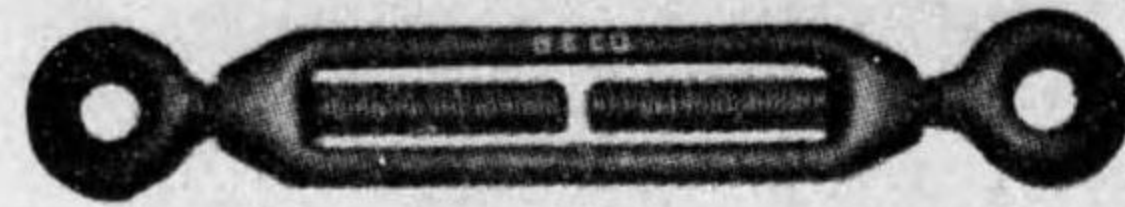
張線は取付後弛む事があるから、之を張る爲めに豫めアイボルトの螺旋部を長くして置けば幾分良いが、

度々加減する處があれば第 77 圖に示す様な締金物 (turn-buckle)

を張線に取付ける。之は右螺旋と

左螺旋とを切つた二本のアイボルトが一個の枠に通してあるもので、之の鐵枠の廻し方でアイボルトの穴の距離が加減出来るのである。尙此の締金物に耐張碍子をも兼ねさせたものがある。

第 77 圖



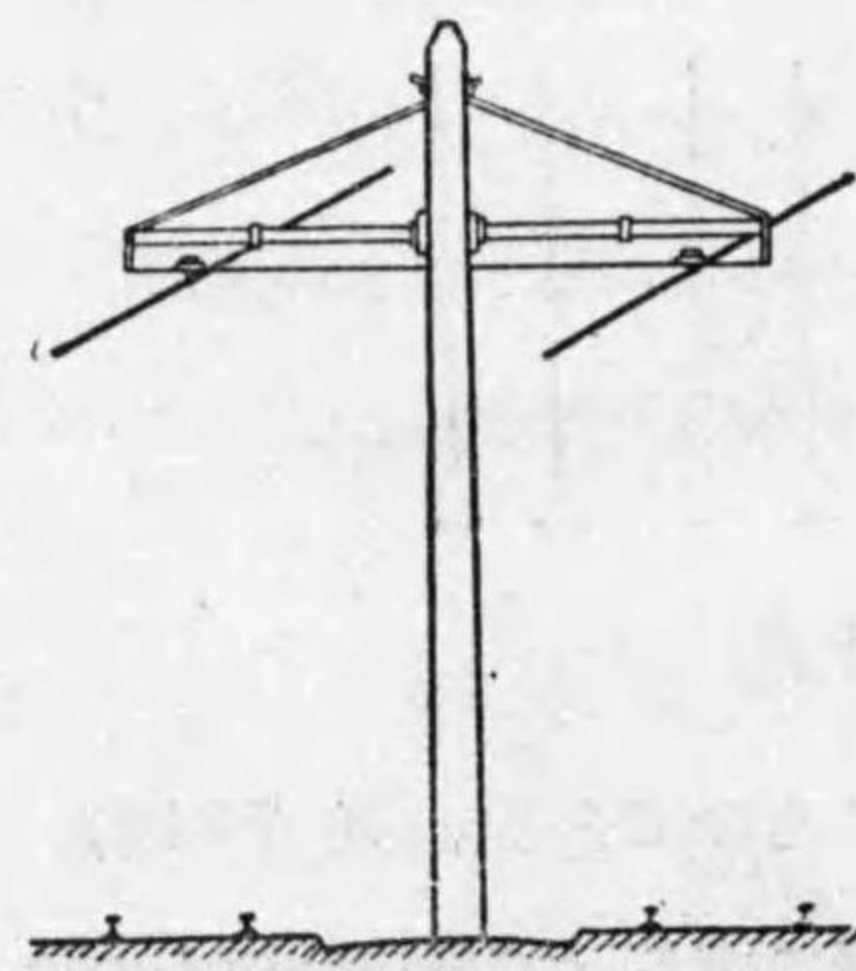
締金物の圖

### 63. 腕金式吊架法

公道で幅が廣過ぎる場所、或は電

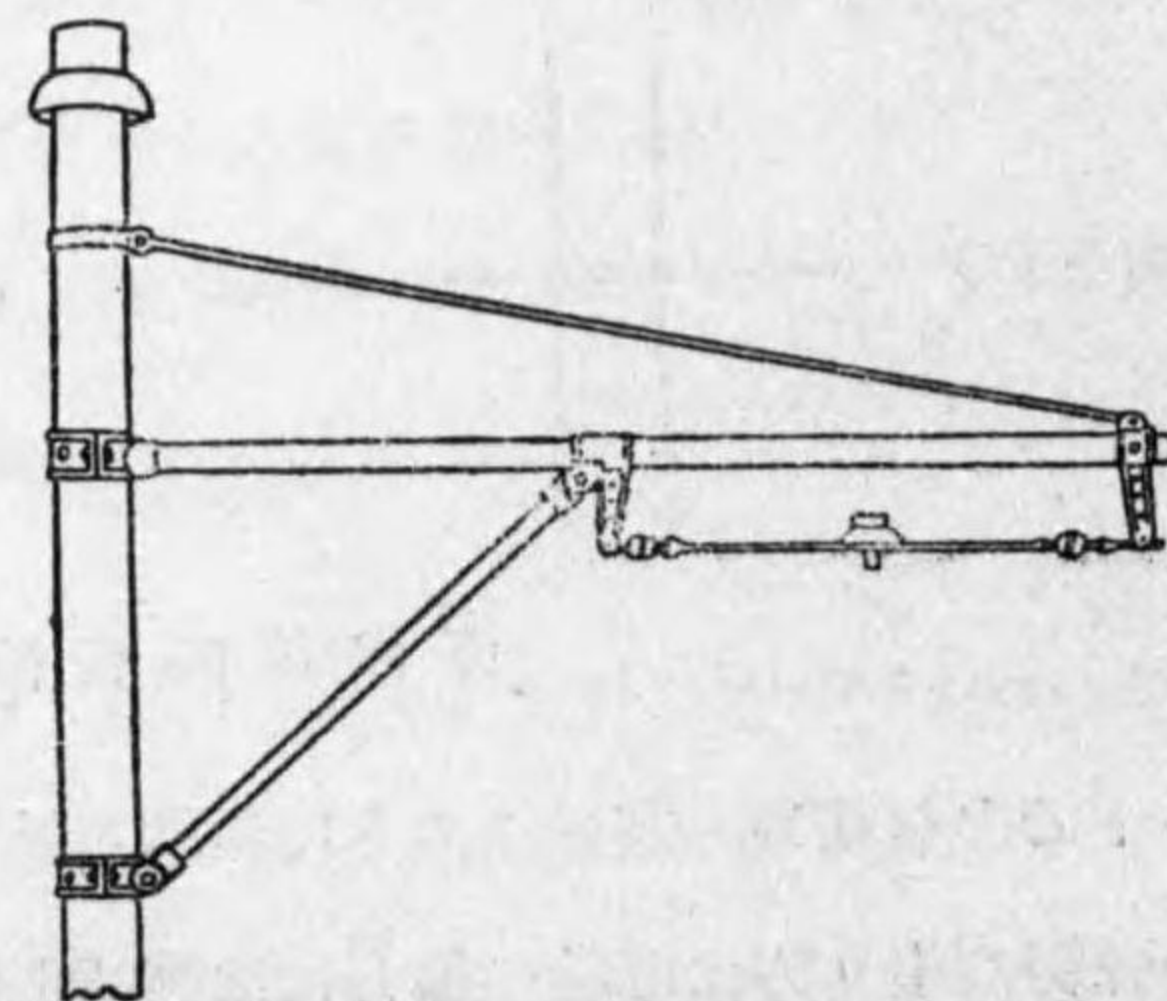
柱の高價なる場合等土地の状況によつては第 78 圖に示す腕金式を使ふ事がある。

第 78 圖 甲



腕金式電車線吊架法

第 78 圖 乙



抗張桿及支桿を使用した片腕金式

電柱から腕金を一方又は兩方に出して、之に短かい張線を張り、吊子で電車線を支持するものであるが、此の腕金には通例 5 種(厚さ凡そ 4 耗)位の鐵管又は丁狀鐵(5×5×0.8種)を使ひ、是等を電柱に支持するには上方に引張る抗張桿又は下方より支へる支桿を使ふ。第 78 圖乙は鐵柱に此の兩方を使つた一例である。

電柱間の距離は張線式でも同じであるが公道上では 40 米以下と規定してあるが、普通 30 米内外である。尤も曲線箇所では之を短縮する、例へば曲線半径 12 米位の時は  $\frac{1}{3}$ , 20 米で  $\frac{1}{2}$ , 50 米で  $\frac{3}{4}$  位にする。それでも充分でないので腕金式でも曲線部だけは張線式とする事もある。

### 64. イーヤ

電車線を吊子で支持するのにイーヤ (ear) を

使ふ。之は通例砲金か青銅で製り、其の上部中央に吊子のボルトの捻込むため牝螺旋の切つた穴があり、其の下部は兩側に延長して電車線を挟む様に適當な方法が講じてある。

半圓形の溝を設け、其の溝の中に錫が引いてあつて線を鑢着するに容易になつて居るのが鑢着イーヤ (soldered ear 第 79 圖) で、半圓形の溝の

兩端を叩き曲げて電

車線を堅く把持させ

る様になつて居るの

が、鉸イーヤ (clinch

ear 第 80 圖) で圓

形電車線に使はれ

る。溝附電車線には

第 79 圖



鑢着イーヤ圖

第 80 圖



鉸イーヤ圖

イーヤの下部は二つに別れて居て、其端で溝を銜へ捻子で締付ける捻止イーヤ (mechanical ear or clamp) もある。第 81 圖に示したのは其の一例だ。

特殊の場所には特殊のイーヤがある、其主なものを述べやう。

**曲線イーヤ** (curve ear) は曲線の箇所に使ふので鑑付及鉸イーヤは長さは長く幾分曲線に添つて曲げてあるのみだが、捻止イーヤは第 82 圖に示す様に下部の一方の側は短かい二片に分けて別々に他の一半に捻子止めされて居る。

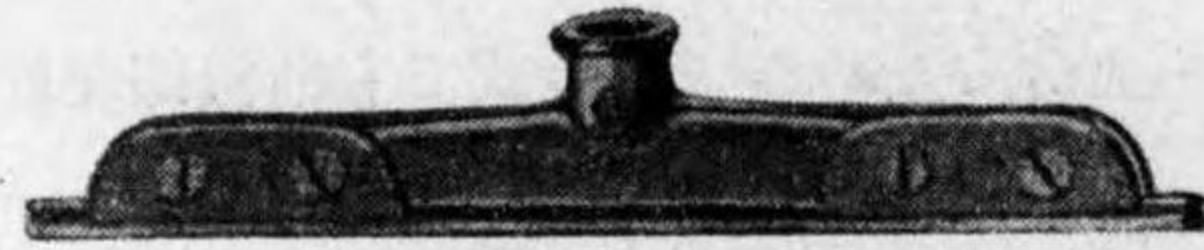
**引留イーヤ** (anchor ear) は電車線を前後何れかに引張る爲め上部に一の孔を明けてある。吊子を使はぬから其の

第 81 圖



捻止イーヤ圖

第 82 圖



曲線用捻止イーヤ圖

第 83 圖



引留イーヤ圖

第 84 圖



饋電イーヤ圖

第 85 圖



接續イーヤ圖

穴はない、第 83 圖は其の一例である。

**饋電イーヤ** (feeder ear) は饋電線から電車線へ電流を送るため饋電枝線を接續する端子のあるもので第 84 圖は其の一例である。

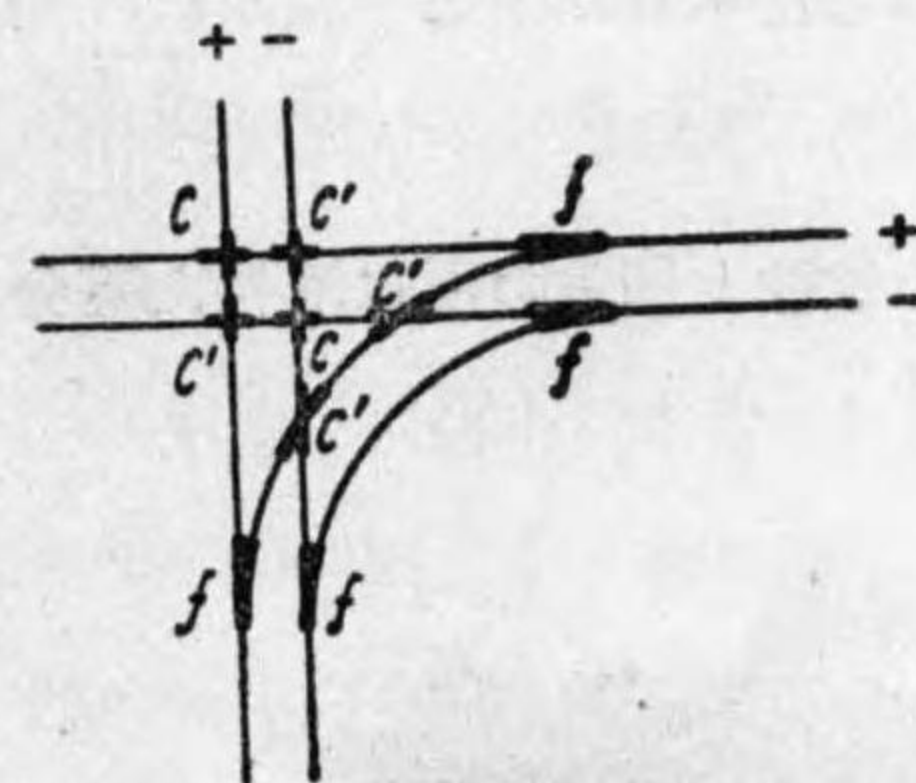
**接續イーヤ** (splicing ear) は電車線を接續する役目をも兼ねたもので第 85 圖に示す様に兩電車線の端が兩側に別々に捻子留される。

### 65. フロッグ及交叉子

軌道の分岐又は交叉する處は轉轍器又は轍叉の様な特殊軌條を使ふと同様に、是等の場所に架設する電車線の分岐點又は交叉點には特別の装置を用ひてトロリー等の通過に差支ない様にしなければならない。そして電車線の分岐した箇所に使ふものを**フロッグ** (frog) と稱へ、交叉する箇所に使ふのが**交叉子** (crossing) と稱へる。第 86 圖に示したのは互り線を有する單線軌道の交叉箇所の複線式電車線の圖で  $f$  がフロッグ  $cc'$  共に交叉子である。

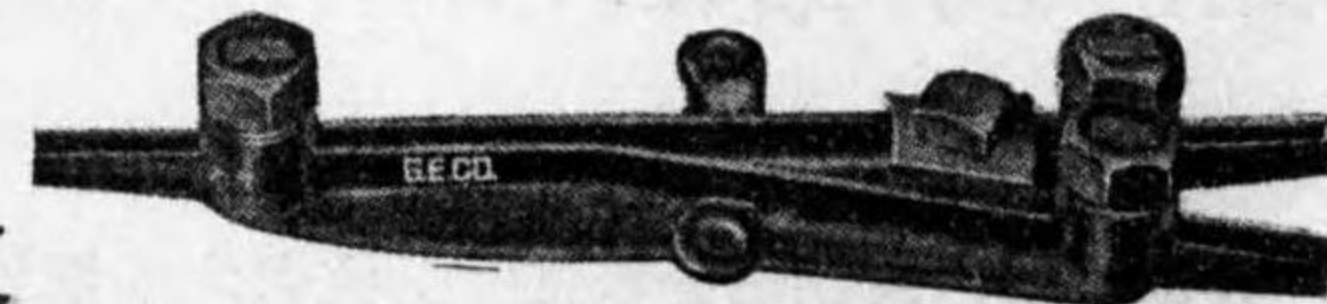
フロッグは黄銅や砲金で作り、大體の構造は第 87 圖に示す様である。

第 86 圖



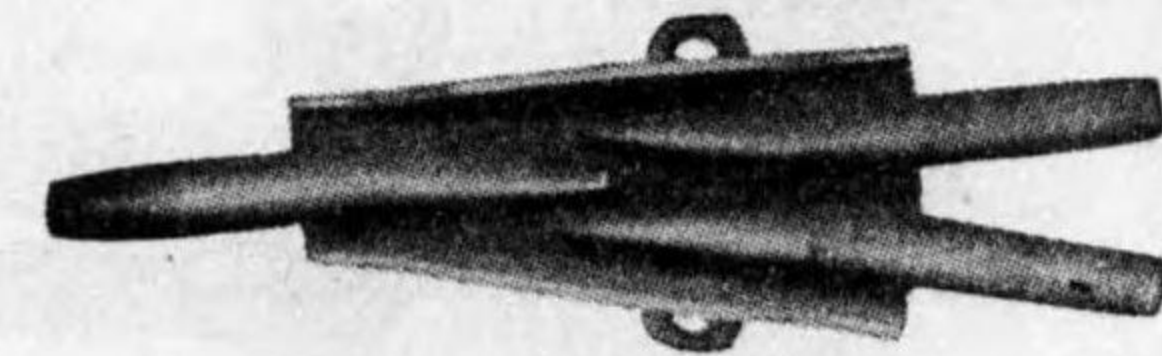
フロッグ及交叉子の位置説明圖

第 87 圖 甲



フロッグの上面

第 87 圖 乙

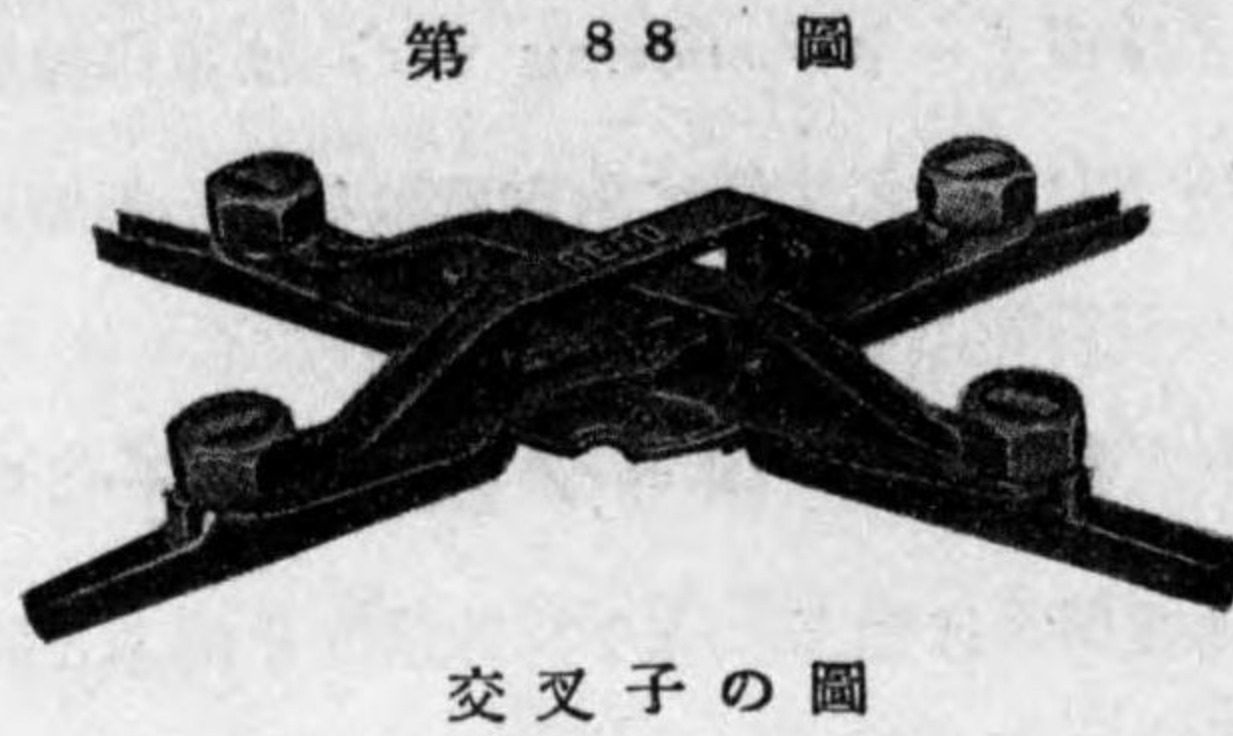


上圖を裏面より見た圖

甲圖は上部から見た所、乙圖はトロリーの通る下部から見た所で、右曲り左曲り及兩方曲る V 状のものとある。突出た穴に張線が結ばれ適當の位置に保持される。

交叉子も亦同様の合金で製られるが、復線式で極性が違つて居る場合には其の一部をファイバーの様な絶縁物を使ふ事がある。其の大體の構造は第 88 圖に示す様である。

第 86 圖の c' には絶縁交叉子を使はねばならない。



第 88 圖

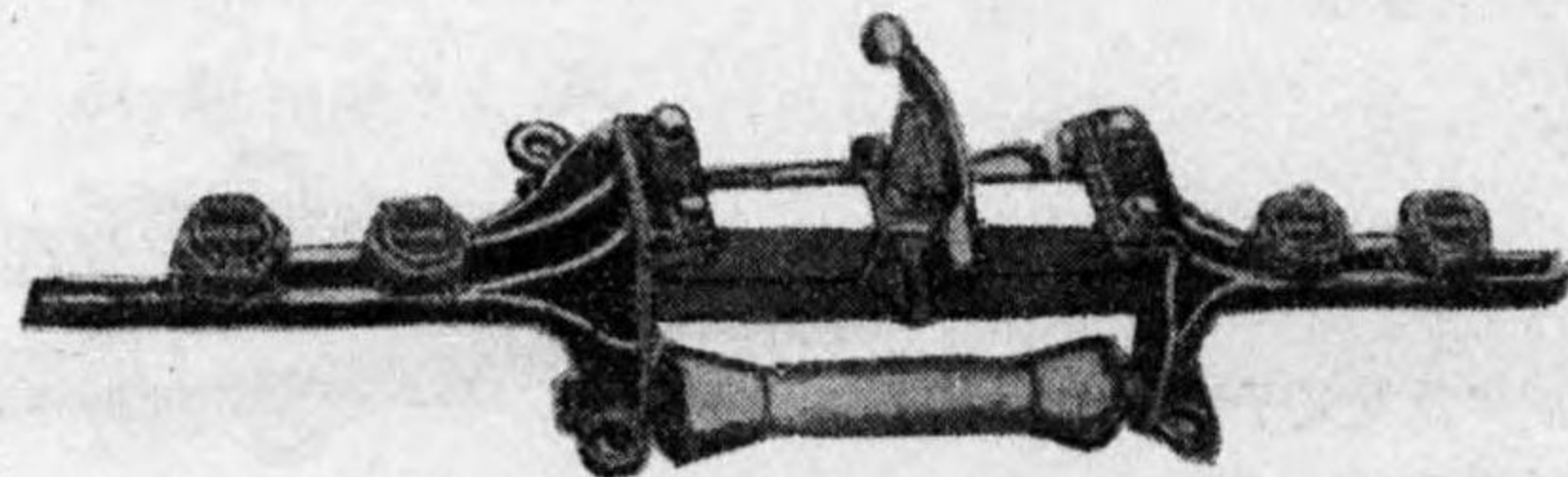
交叉子の圖

### 66. 區分碍子

市街地又は公道上では一部の故障を他部に及ぼさない爲め電車線は一杆以内毎に他の部から遮斷し得る様にする規定がある。之の爲めに電車線の境界には區分碍子(section insulator)を使ふ。第 89 圖は其の一例で、兩端の黄銅製の金物を二本の耐張碍子で締め合はせてある。之を吊すため中央上部に絶縁した木片がある。電車線は兩端金物の溝を通り螺旋で締付けられる。

各電車線の區劃部分の送電を支配する爲め電柱上適當の所に取付た區分

第 89 圖



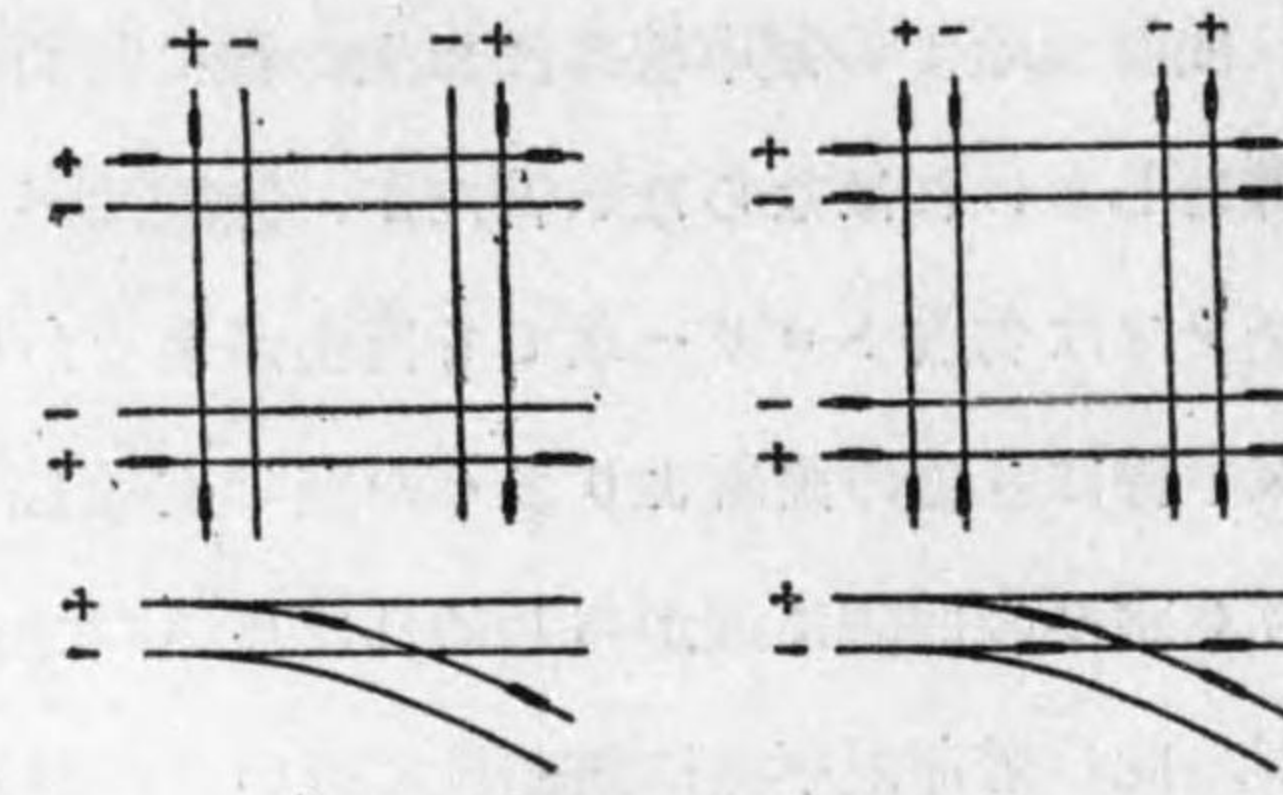
區分碍子

開閉器 (section switch) がある。多く双形速切開閉器を使ふ。

複線式の交叉點で絶縁した交叉子を使ふと、トロリーが脱れた時にトロリー棒で短絡を起す事が

あるので、電車線遮斷子 (trolley breaker) と稱へるファイバー等で作つた一種の區分碍子を第 90 圖に示す様に交叉子の手前に設ける事がある。斯うすれば交叉子は絶縁せずすむが其の部分は電流が流れぬか

第 90 圖



遮斷子  
電車線遮斷子の配置圖

ら、電車は隋力で通過せねばならぬし、夜は車内の電燈も一時消へる。

電車線も他の架空線と同様に適當な距離に避雷器を設けると大いに電動機其他の故障を減少する事が出来る。

### 67. 電車線の位置

電車線の軌條面よりの高さは電氣工作物規程では 5 米以上、橋梁其他で 3.5 米以上と規定してあるが、市街鐵道では特許命令で 5.5 米以上と規定される事が多い。

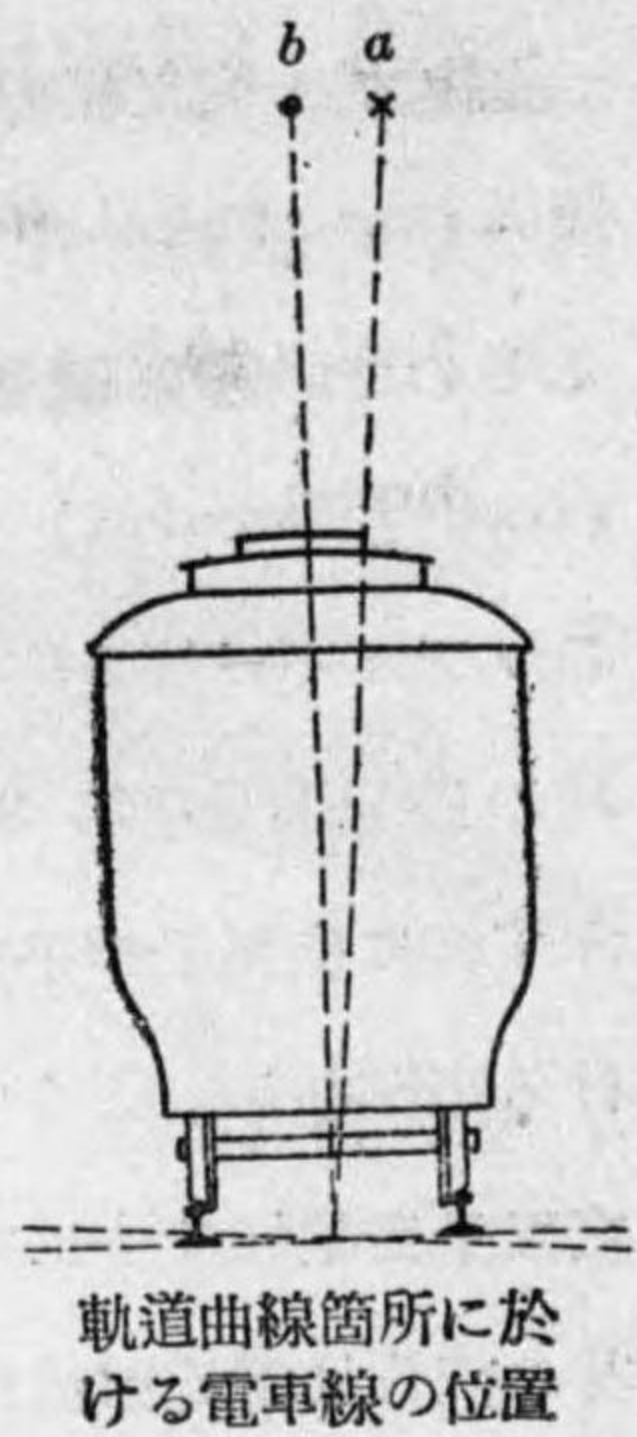
又聚電子は電車の中央に取付てあるから、電車線も軌道の中央に設けらるべき事勿論だが、曲線軌道で高度が付してある所 (16 頁参照) では電車線は軌道の中心線から少し内側に張らるべき事は第 91 圖を見れば明瞭であらう。a は軌道の中心線上の點 b は此の場合のトロリーの位置すべき點である。尤も高速度のものではトロリーは遠心力で外方に向ふし、長い

トロリー棒が電車の端に附してある場合にも曲線の入口では電車線は反つて外側に張られねばならない。

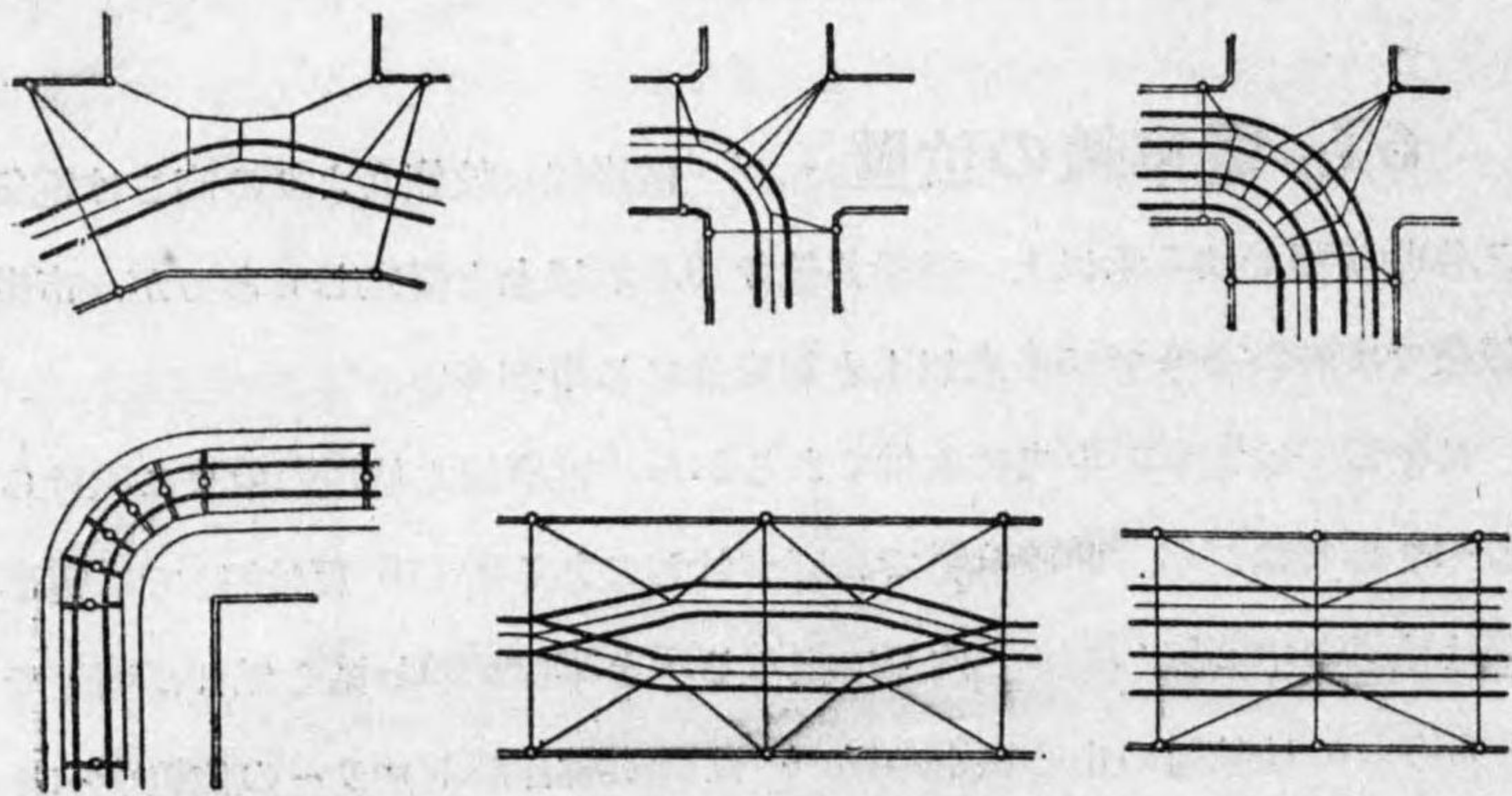
曲線軌道での電車線には以上の様に特別の曲線をしなければならない筈だが、實際はパンタグラフは勿論トロリー承でも自由がきくから、電車線は直線の箇所より多くの點で支持し、成可く望みの曲線に近からしめれば良いのであるが、此の場合電車線は該曲線に近い多角形をするので、其支持點間の距離は曲線が急な程多くすべき事勿論である。

斯くして架設された電車線の状況は第 92 圖に示す様である。

第 91 圖



第 92 圖



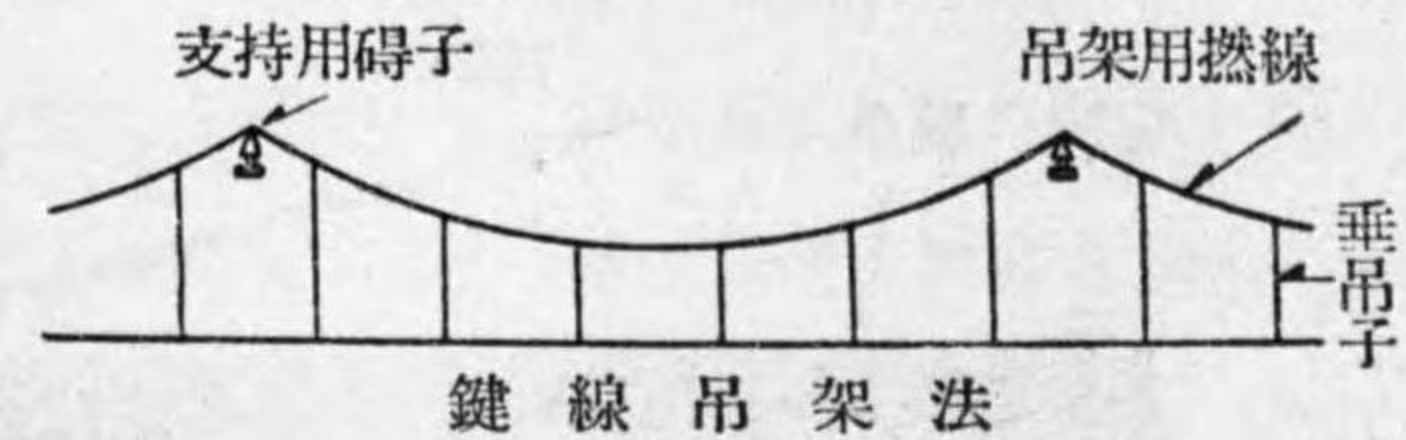
電 車 線 架 線 例

### 68. 鏈線吊架式

以上に述べた吊架法では電車線は所謂

鏈線をして居るから、軌道上の高さは一様でない。高速度電車では聚電子と電車線とは常に同じ壓力で接觸する事の要求特に大であるから、電車線は出来るだけ一様な高さになりたい。そこで第 93 圖に示す様に吊架用撚線 (messenger cable) を設け、これから違つた長さの垂吊子 (dropper) と言ふもので電車線を懸垂して、軌道上略一定の高さに保持するのである。之を鏈線吊架式 (catenary suspension system) と言ふのである。

第 93 圖



斯うすると柱間距離を長くしても尙其の目的を達する事が出来、高壓直流を使用する場合にも吊架用線を普通の高壓用碍子で絶縁出来るから、絶縁を完全にし得る利益

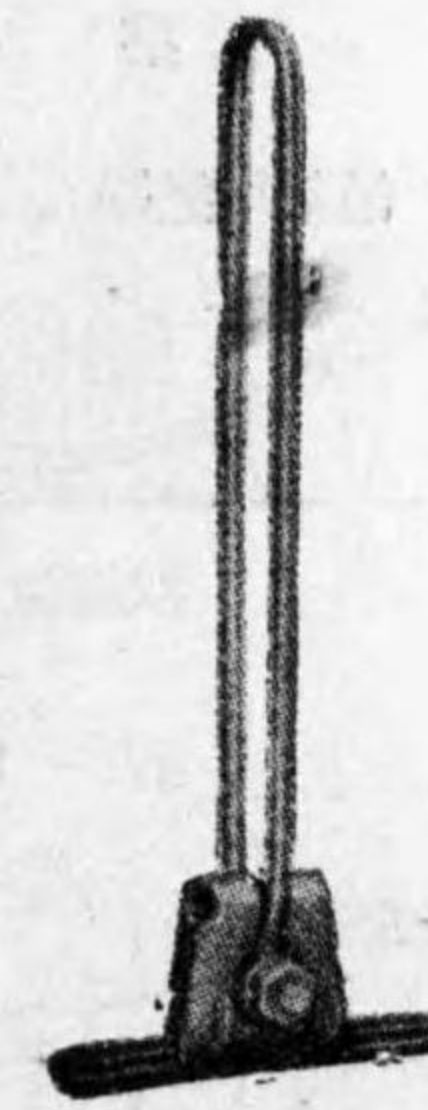
もある。

吊架用撚線には外径 12 耗位の七本撚亞鉛鍍鋼鐵線が使はれる。

垂吊子にも色々あるが其の一例を第 94 圖及第 95 圖に示す。

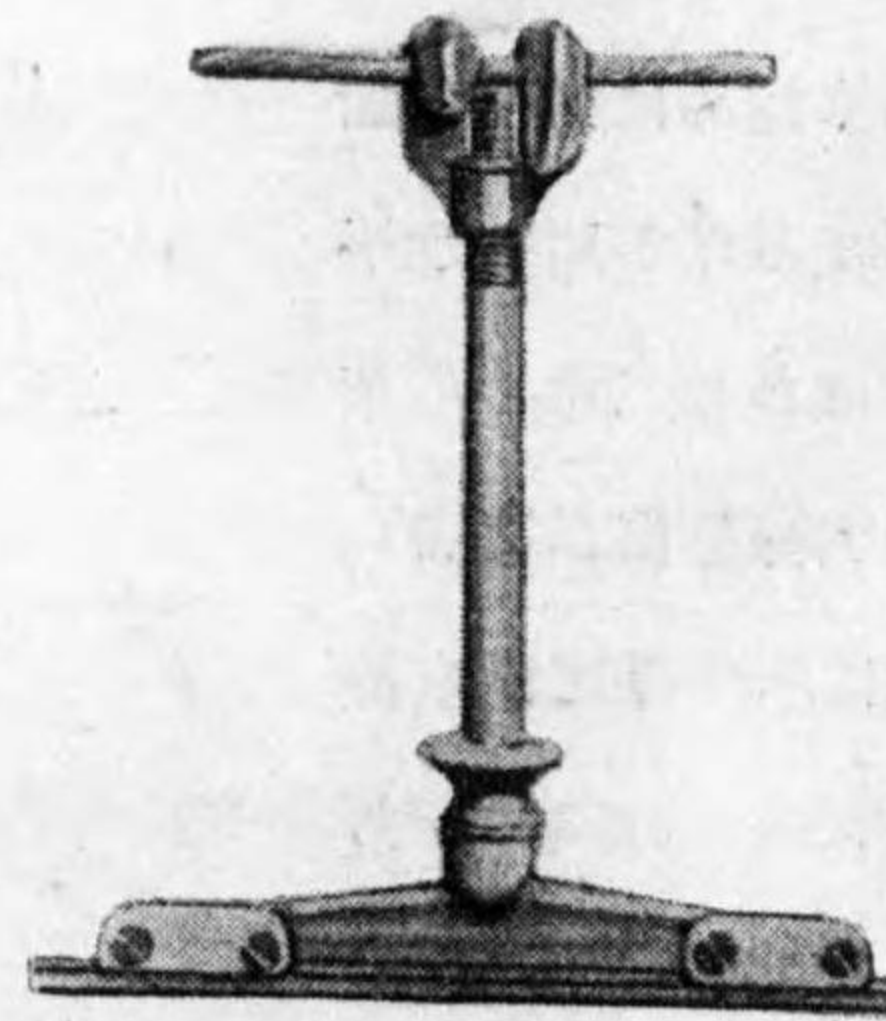
電車線は何處も固定されないから横振れを

第 94 圖



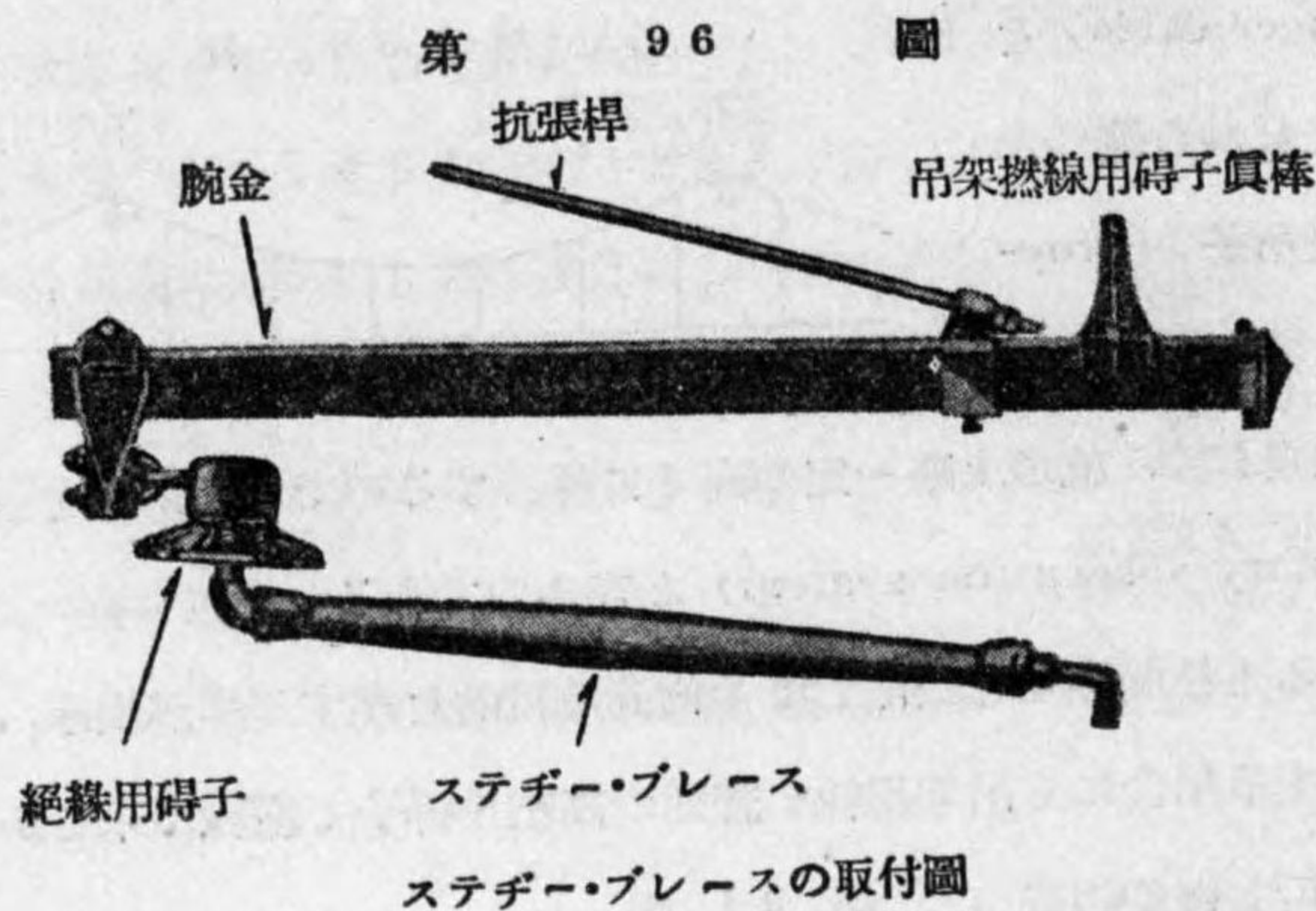
垂吊子の一種

第 95 圖

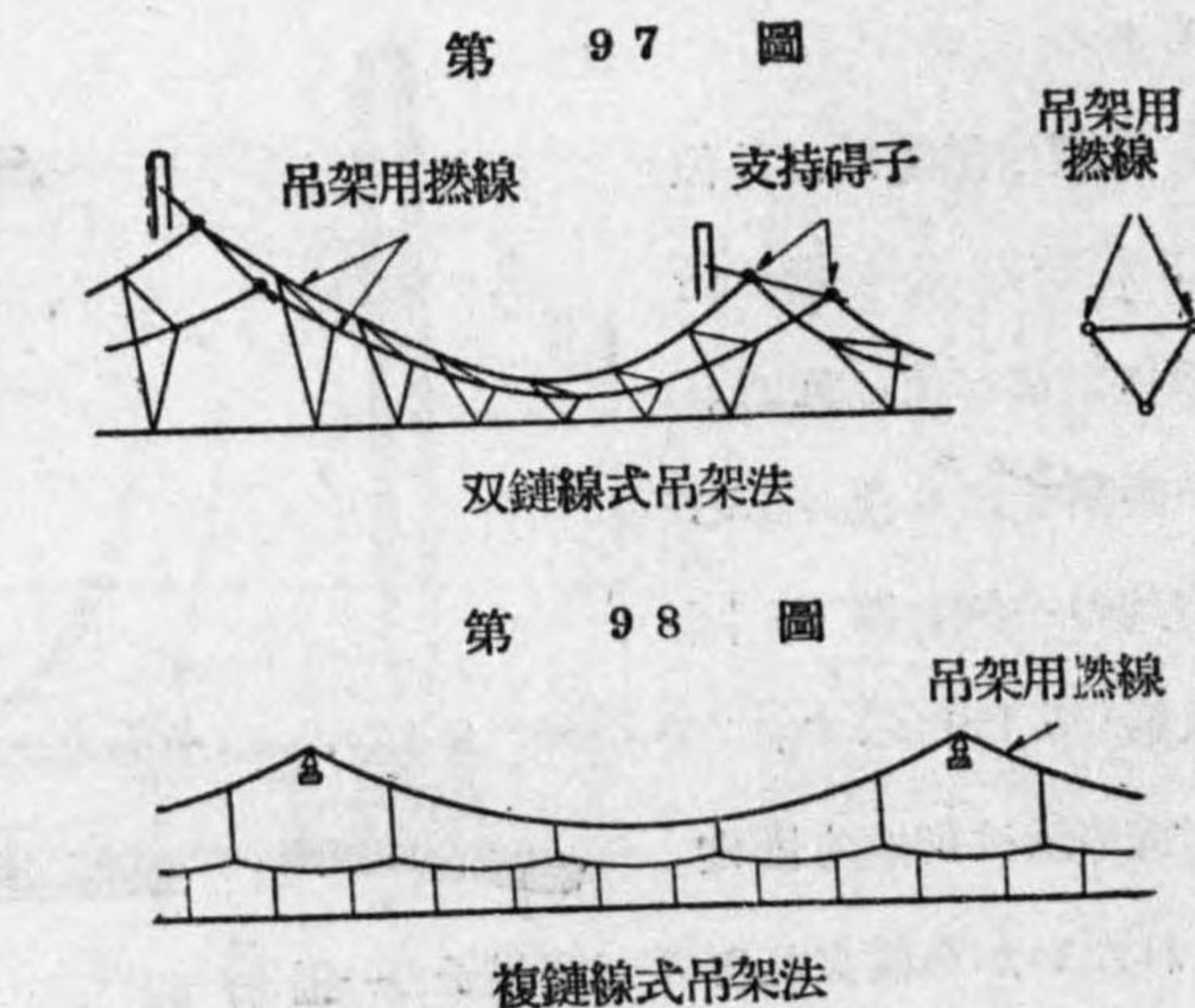


垂吊子の一種

する。之を防ぐ爲めに又時には曲線の形をつける爲めに金属製又は木製の棒の一端を適當の絶縁物を経て腕金に取付け、他端に付けたクランプで電車線を把持させる事がある。之をステヂー・ブレース (steady brace) と言はれる。第 96 圖は其の一例で、クランプも吊架燃線を載せる碍子も書いてない。



此の横振を更らに防ぐ爲めに稀に各對應する點が同一水平面にある二本の吊架用燃線を使い第 97 圖に示す様に電車線を保持する事がある。之を双鏈線式 (double catenary)

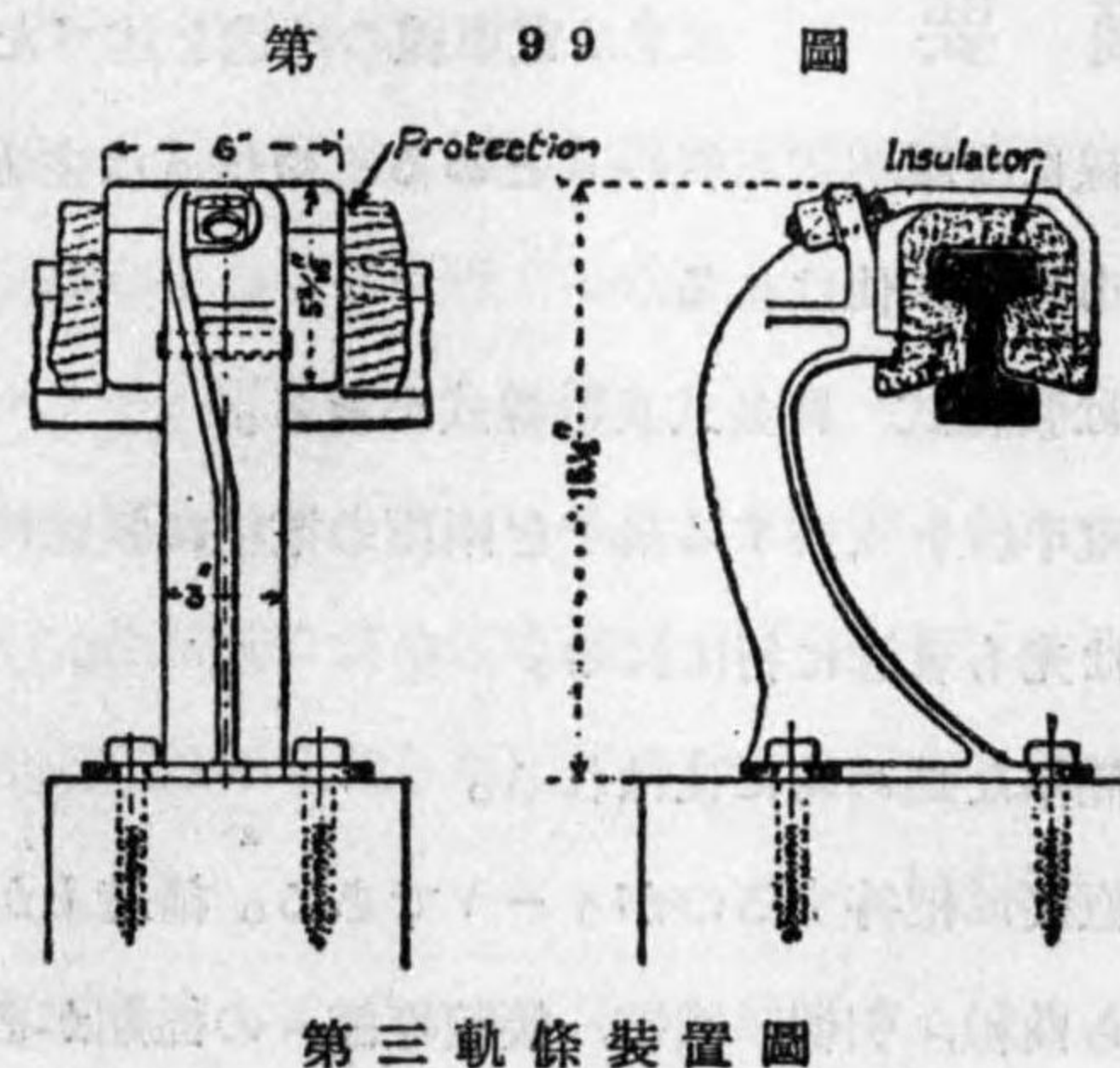


と云ひ、之に對して一本の吊架用燃線を使ふものを單鏈線式 (single catenary) と云ふ事がある。又單線式では各垂吊子支持點の間は鏈線をするから、同一垂直面に二本の吊架用線を使用する事第 89 圖の如きがある。之れが複鏈線式 (compound catenary) である。

### 99. 第三軌條式

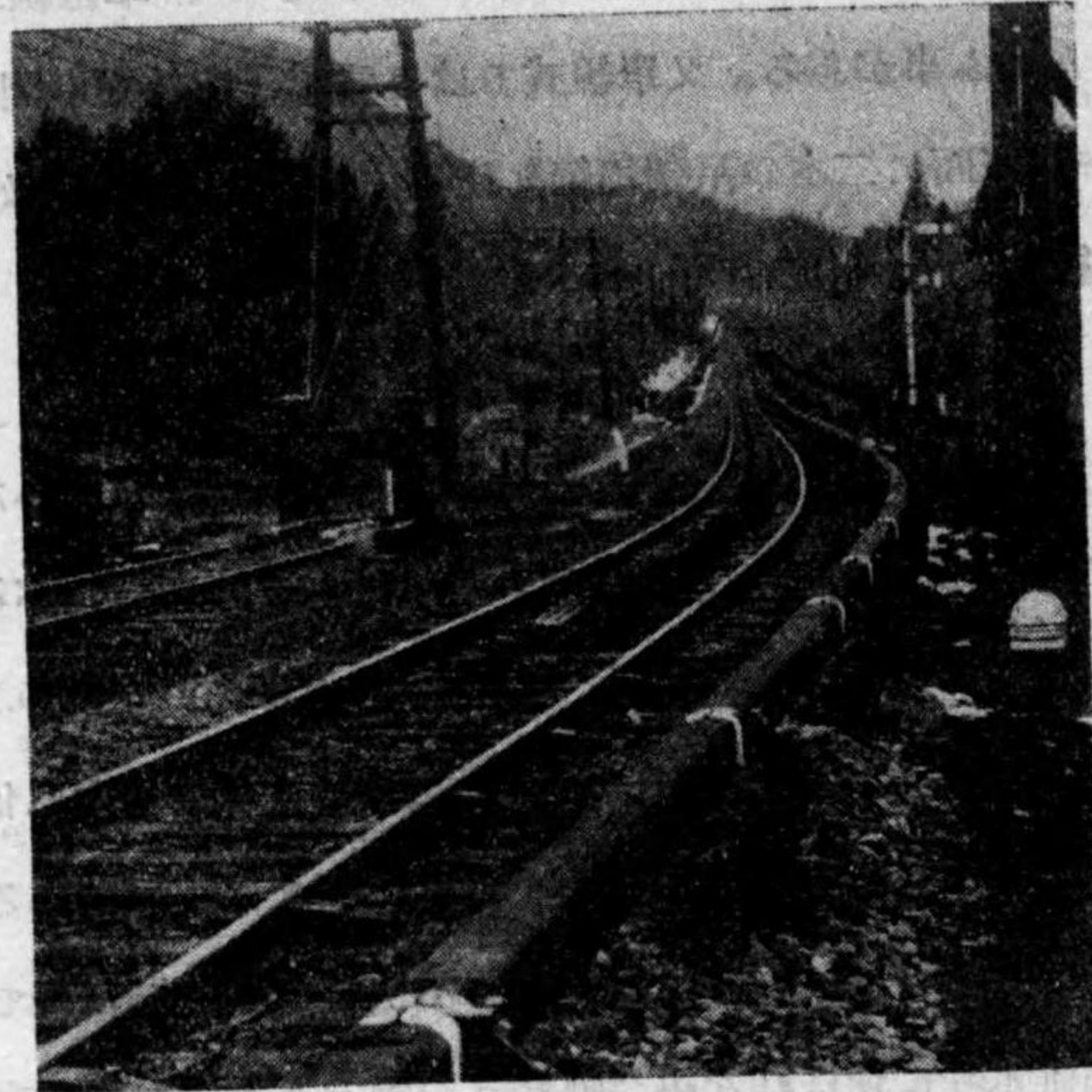
導軌條は車輛の重量を支へないから、硬度は普通の軌條より劣つても支障ないが、導電率は高いのが望ましいので、違つた成分の鋼鐵 (例へば炭素 0.12%, 磷 0.05%, 硫黄 0.10%, マンガン 0.4% 何れも以下) を使ふ。其の抵抗は大凡銅の七八倍である。

之を支持するには接觸靴との接觸が上面、側面又は下面であるかに依り元より違ふが、其の下面接觸式の一例を示すと第 99 圖の様である。第 100 圖は我國碓氷峠に使はれた第三軌條式の圖である。右方に高く支へたのが第三軌條で、下面を除くの外蔽ふてある。電化以前に使用したアプト式のラツクの初めが軌道の中央に見える。





第 100 圖



碓氷峠横川附近に於ける第三軌條布設圖

### 100. 摘要

本章は電車線の構造を述べた。

- 1 架空電車線には単線式と複線式とある。複線式は主として地下に鐵管埋設物の多い市街地に使はれる。
- 2 吊架法には張線式、腕金式及鏈線式がある。
- 3 張線式は電車線を支持する吊子を兩側の電柱に張線にて引張る方法で市街地などには尤も普通に行はれる。
- 4 腕金式は簡単な爲め時に使はれる。
- 5 電車線を直接に把持するのがイヤである。構造上から鑑着、鉸、捻止等、用途から曲線、引留、饋電、接續等種々の種類がある。

- 6 分岐點又は交叉點にはフロッグ及交叉子が使はれる。
- 7 區分碍子、區分開閉器、電車線遮斷子等も適宜使はれる。
- 8 曲線に於ける電車線の位置は特に注意する必要がある。
- 9 高速度、高電壓には鏈線吊架式が使はれる。之は電車線を違つた長さの垂吊子で吊架用撚線から垂下げ、軌條面上の高さを一樣にしたものである。撚線を普通碍子で支へれば絶縁は完全に出来る。
- 10 第三軌條式の導軌條は普通の軌條より硬度が劣るが、導電率の良いもの（銅の $\frac{1}{8}$ 位）が使はれる。

### 練習問題 V

- 1 架空電車線の切斷する原因を列舉せよ。（選試大正 11 年 2 種）

解 イ 電車線の摩滅せるため。

ロ 聚電子の壓力不同なるため。

ハ 電車線の弛みが繼目の接續管又は區分碍子まで聚電子に押されて來たため。

ニ 弛みの甚しい箇所を電車が高速度で走行するため。

ホ 電車線の張力強きに過ぐるため。

ヘ トロリーが電車線から脱離し、トロリー棒が電車線を打撃するか、若くは接觸不完全のため烈しい弧光を生じ焼き切れるか又は脱離するには到らぬが不完全接觸の爲め電車線が不同の力を受けるため。

- 2 電車線の吊架法の種類を擧げ其の相互の得失を記せ。

（選試大正 5 年 3 級）

- 3 電車の聚電子としてパンタグラフを使用せる場合架線上特に注意す

べき要点を列記せよ。 (選試大正 10 年 2 種)

4 電車運轉中トロリー棒の電車線より離脱する原因を記せ。

(選試大正 8 年 3 級, 大正 12 年再及大正 14 年 2 種)

解 電車線路については

- 1 電車線の高さ一様ならず高低甚だしき事。
- 2 電車線と軌道との関係位置正しからざる事特に曲線部にて然り。
- 3 電車線が急なる角をなす事。
- 4 交叉子及フロッグの取付位置適當ならざる事。

トロリー臺に就ては

- 1 撥條壓力適當ならざる事特に弱きに過ぎる事。
- 2 軸承の働作不良なる事。

トロリーに就ては

- 1 溝の深さ適當ならざる事。
- 2 溝の角度適當ならざる事。

5 電車電流を 600 アムペアとするとき 80 平方耗の溝附電車線 400 米に於ける電壓降下如何。 答 48.7 V

6 工作物規程に依る電車線太さの最小限如何。

## 第八章 歸 線

### 101. 歸線

架空電車線路で複線式を採用した場合を除くと、其の電流の一方の通路として軌條を使ふのだが、其の場合には之が發電機の陰極に接続せられる爲め歸線と言われる。

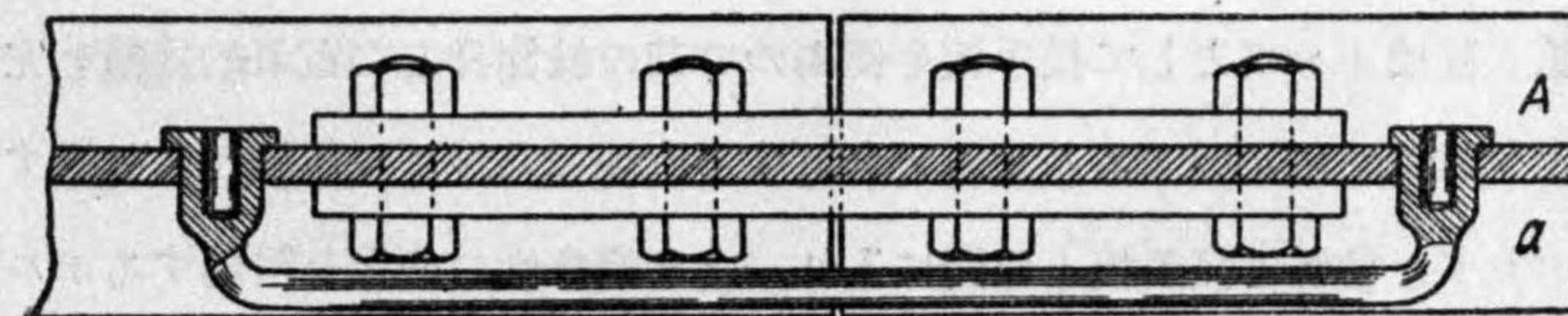
軌條の抵抗は大約銅の 10 倍内外であるが、軌條は太いから其の抵抗は餘り大きなものではない。唯軌條の接手は融接法を施したものを除けば、接手板を使つて機械的には丈夫でも電氣的接続としては不充分だから、之を充分にする目的に使用されるものが軌條ボンド (rail bond) である。

### 102. ボンドの種類

ボンドは太い軟銅撚線か銅の板を軌條端に近く接続したものであるが、其の軌條との接続法により大略三色に分かれる。即ち (1) 壓端ボンド, (2) 鑷着又は融接する方法及び (3) 合金を使用する方法が夫れである。

尤も普通に使はれたものは第 101 圖に示すシカゴボンド (Chicago bond) と云はれ、壓端ボンド (compressed terminal bond) の一種であ

第 101 圖



シカゴボンド取付圖

る。圖に示す様に端子が管形をして居り之を軌條身の孔に無理に押込んだ上、反對側から端子の穴にピンを打込んで押し擴げ、全く端子外周と軌條とを密着させる。唯之れでは軌條兩側に充分の餘地がないと困るので、ボンドを壓込んだ側か

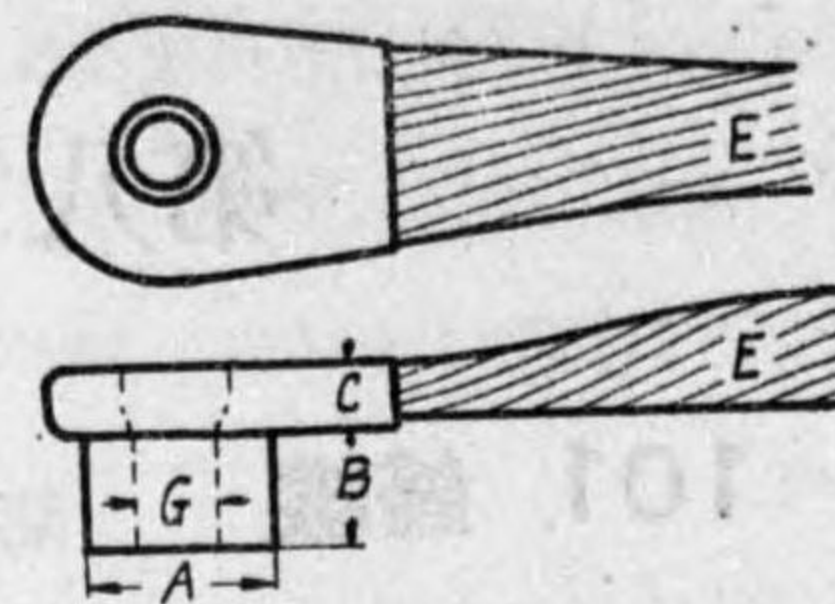
らピンが打込める様に其の端子を改良したものがある。クラウン・ボンド (crown bond) は其の一例で第 102 圖に示す。

第二種は薄銅板を重ねてリボン型とし、其の兩端を鍛合して端子とし、之を軌條頭の側面又は軌條縁に鑢付或は融接するのである。

ボンドを外側に出して置くと機械的の障害を被り、盜難の虞もあるので接手板の内側又は軌條底に取付ける事がある。第 103 圖は軌條底に取付けた鑢付ボンドの一例である。

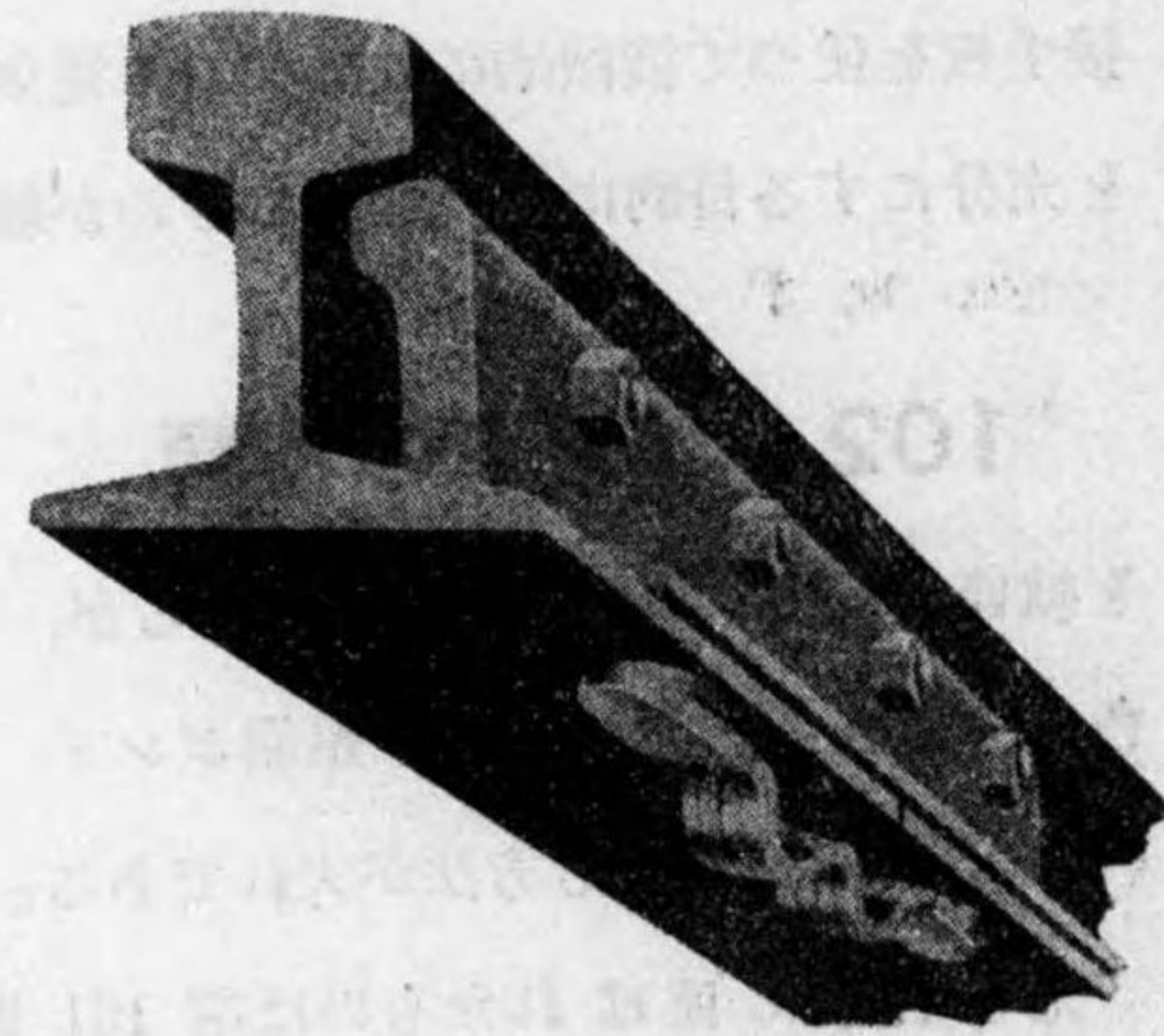
第三種はボンドとして接手板を使ふので其の軌條身との電氣的接續を完全にする爲めに柔いアムルガムを含有する直徑 2.5 厘程の螺旋バネを有するボンドを軌條と接手板との間に入れ、之を撥條性の座金を附屬するボルトで締付けるものである。之を軟着ボンド (plastic bond 或は amalgam

第 102 圖



クラウンボンドの端子

第 103 圖



ボンドを軌條底に取付た圖

bond) と言ふ。取付簡単であるが、高價で抵抗も幾分高い。

ボンドを取付けるには孰れも軌條の接觸部を良く磨き金屬の肌を表はさせ、油氣、濕氣及酸氣を全く拭ひ去らなければならない。さうでないとな錆を生じ抵抗を大とする。尙ボンド取付後は其の附近に防錆劑を塗るべきである。

### 103. 軌道の抵抗

普通に使用する軌條の抵抗は大略次の式で計算する事が出来る。

$$\text{軌條一杆の抵抗} = \frac{1.35}{\text{軌條一米の重量(貳)}} \text{ オーム} \dots (7)$$

$$\text{又は軌條一哩の抵抗} = \frac{4.4}{\text{軌條一碼の重量(封度)}} \text{ オーム} \dots (7')$$

然しボンドの抵抗は軌條の 0.5 米乃至 1.0 米位の抵抗と等しく撰ぶのが普通であるから幾分増加する。そしてボンドと軌條との接續は時を経るに従ひ悪くなるので、歸線の電壓降下などの計算には以上の式の 1 割内外を増すが安全である。即ち次の式で計算するが良からう。

$$\text{單線軌道一杆の抵抗} = \frac{0.75}{\text{軌條一米の重量(貳)}} \text{ オーム} \dots (8)$$

$$\text{又は 單線軌道一哩の抵抗} = \frac{2.5}{\text{軌條一碼の重量(封度)}} \text{ オーム} \dots (8')$$

例題 3 40 貳の軌條を使つた複線軌道 4 杆の抵抗如何。

解 40 貳とは一米の重量である。複線軌道の抵抗は單線の半分だから

$$\frac{0.75}{40} \times 4 \times \frac{1}{2} = 0.0375 \text{ オーム}$$

### 104. ボンドの試験法

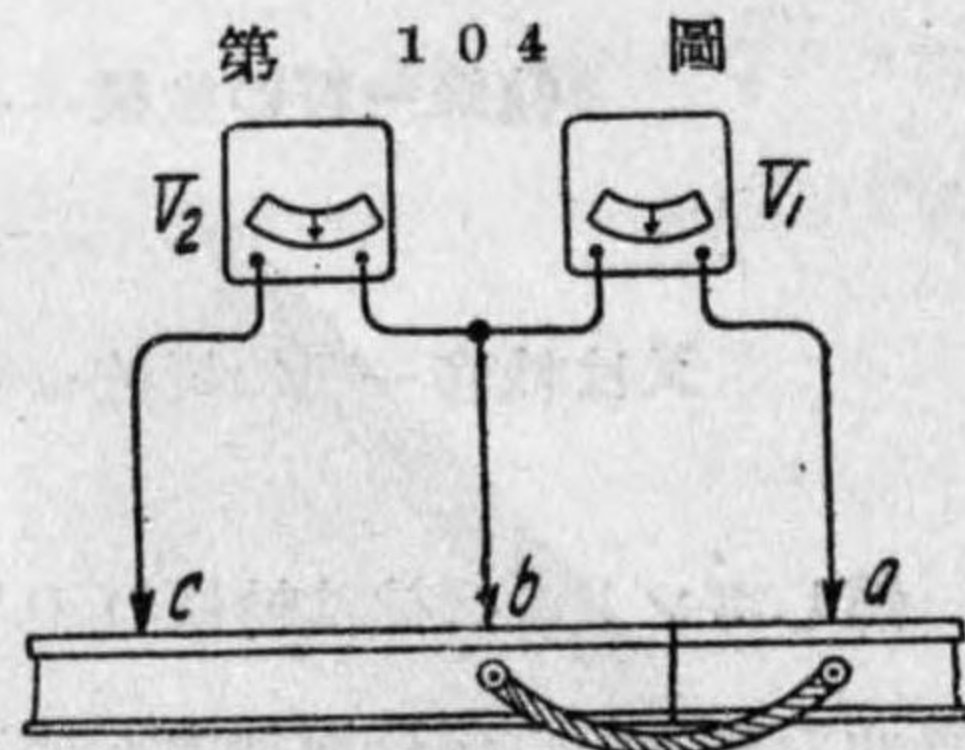
ボンドの抵抗即ちボンドを附

した軌條端間の抵抗は時を経るに従ひ種々な原因から不良となるから、附近(1 軒以内)に地中管のある場合には六ヶ月毎に一度試験せねばならぬ事になつて居る。

ボンドの抵抗は使用軌條に比較した値を知れば充分であるから普通軌條の長さで表はされる。そして其の測定には軌條に流れる電流を使ふ。

**ミリヴォルト計を使ふ法** ボンドを取付けた箇所の眞上に近く接觸點 *ab*

を設け之を第一ミリヴォルト計の端子に結ぶ。第二ミリヴォルト計の一端子は *b* 接觸點に連絡し他の端子は軌條上を摺動する接觸子 *c* に結ばれる。兩計の指示は軌條電流の變化に従ひ絶へず變化するが、*c* を加減して同同時に兩計が同一指示をする



第 104 圖  
ミリヴォルト計にてボンド抵抗測定接続圖

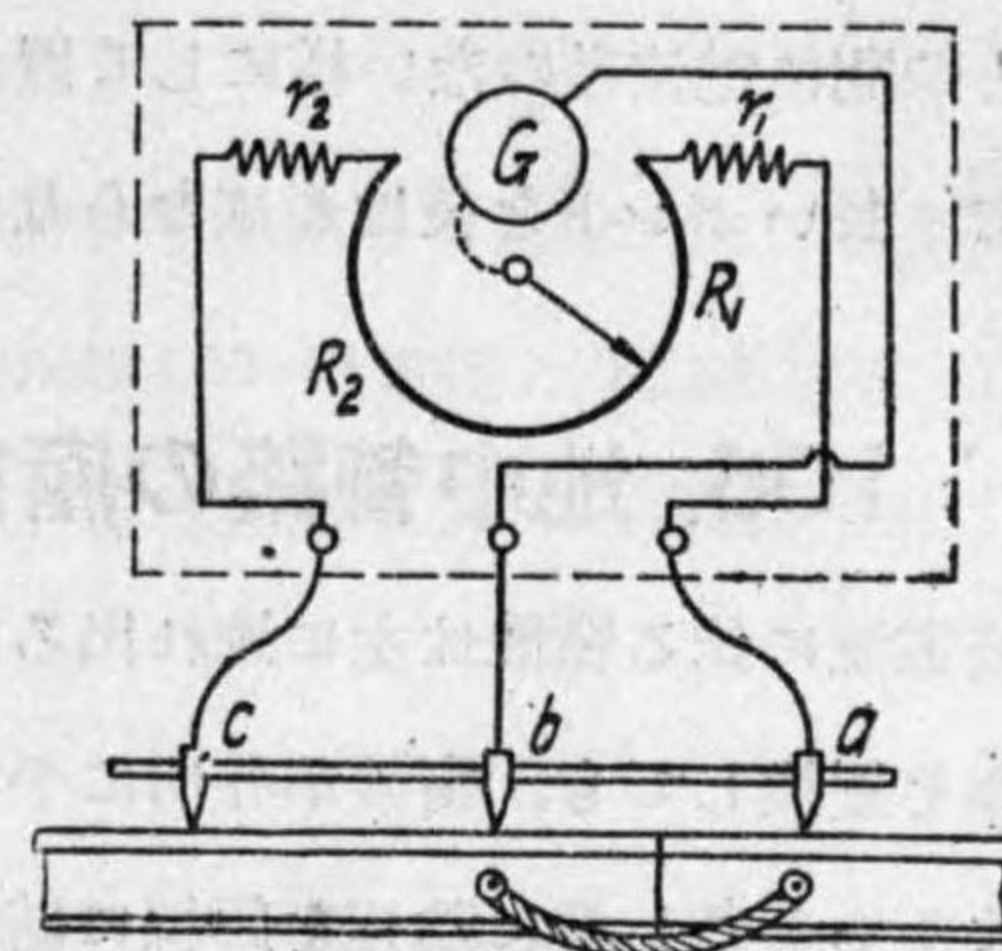
點を求める。さうすれば *bc* の長さが求める長さである。何故と言ふに此の場合電流は同一だから、其の抵抗は全く其の電壓降下に比例する譯である。軌條電流の變化が餘り無ければ一個のミリヴォルト計を切換へて使ふ事も出来る。

之に反して軌條電流の變化が劇しい所では兩計指示の變化が劇しいから、同一指示の點を定めるに困る。その際は差働ミリヴォルト計を使へば便利だ。之は要するに 2 個のミリヴォルト計を同一指針軸に働かせ、然かも其の作用が反對する様に装置してあるから、同一變化は打消され常に其

の差だけを指示する。依つて其の三端子に *abc* を結び、指示が零を示す *c* 點を求めれば良いのである。

第 105 圖

**ボンド試験器を使用する法** 之は一種のホイートストーンブリッジであつて軌條への 3 接觸點は固定してある。そして試験器の 3 端子に夫々該接觸點に結び、指針の柄を廻して附屬の檢流計が零を示す指示を読めばボンドの抵抗に等しい抵抗の軌條の長さが解る。



ボンド試験器接続圖

ボンドの抵抗に等しい抵抗の軌條長さ

$$= \frac{r_1 + R_1}{r_2 + R_2} \times (bc \text{ 間の軌條の長さ}) \dots \dots \dots (9)$$

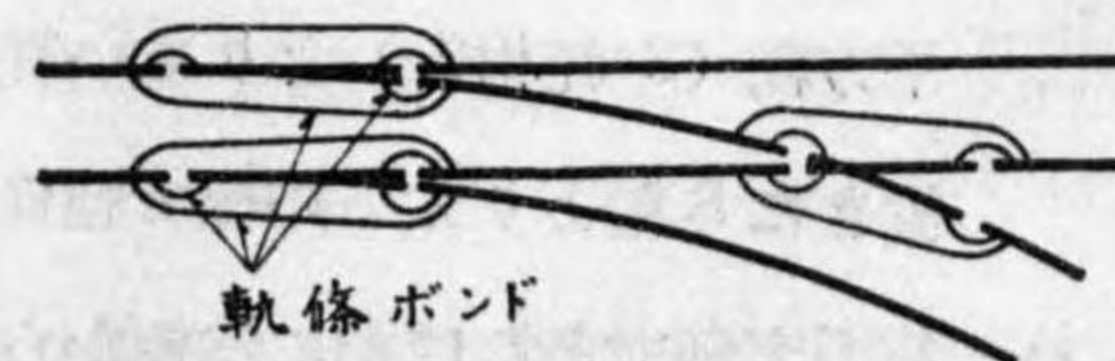
であるから試験器は豫め之を計算して指示に目盛つてある。

### 105. 特殊の軌條でのボンド

轉轍器や轍又の様

な特殊の軌條箇所では、第 106 圖に示した様に先づ短いボンドで轉轍器や轍又と之に接する軌條とを電氣的に接続し、別に長いボンドで轉轍器や轍又を跨いで、其の兩側の軌條を接続するのである。

第 106 圖



軌條ボンド

軌道分岐箇所のボンド取付圖

之は特殊の軌條は修理其の他の爲め取去られる事が多いから、其の場合でも歸線が遮斷されない爲であ

る。此の種の長いボンドは特に太さを太くして置くが良い。

車馬の通行する踏切では其處の軌條を他の軌條から絶縁し、軌條と大地との間に電位差のない様にして置かねばならないので、其の軌條を除外して、長いボンドを使はねばならない。

### 106. 地中管路の腐蝕を防ぐ方法 地中管路の漏

洩電流に依る腐蝕は主に流れ出る箇所を生ずるのだから發電機の接地する極を變換しても、腐蝕が各所に平均するだけで總計の腐蝕量にはまあ變りはない。若し常に陰極を歸線に結べば鐵管の腐蝕は主に其の接地點附近に極限されるから、豫防も割合に樂である。之れが陰極が多く歸線に結ばれる理由である。

漏洩電流は要するに大地と軌道及び之れと接続する不絶縁部分の大地に對する電位差が高くなるから生ずるのだから、そして接地點の電位は元より大地と同一だから、漏洩電流を少なくするに最も有効な方法はつまり歸線内の電壓降下を少なくする事である。其の方法は

- イ 融接軌條を使ふか、ボンドの抵抗を少なくする事即ち軌條の接続を電氣的に完全にする事。
- ロ 軌條に沿ふて（外側から 30 種以内に設ける）補助歸線として 50 平方耗（8 耗相當）より太い裸撚線を設け、之を少くとも軌條一本置きに 8 耗より太い銅線で軌條に接続する事。
- ハ 尙不充分であれば別に陰極から饋電線を出して電柱上其他大地と絶縁して架渉し適當な場所で之を軌條又は補助歸線に接続する事。
- ニ それでもいけねば該絶縁陰極饋電線内に減壓機を設ける事。

漏洩電流を鐵管路を通さぬ目的で、鐵管の継目を電氣的に絶縁したり、鐵管の表面に絶縁性塗料を施したり、或は逆に變電所附近で鐵管を陰極と導線で接続したりする方法もある。

尙軌條や補助歸線を厚さ 30 種以上の砂利や枕木等で充分大地と離隔し且つ軌條五本目以内毎に 8.0 耗より太い銅線（50 平方耗より太き撚線）で兩側軌條を接続すると大いに効果がある。後者を横ボンド（cross bond）と言はれる。

### 107. 變電所 陰極饋電線（negative feeder）を説明する

のであるが、傳手に配電方式を一通り述べやう。

極めて小規模で他に電源がなければ發電所で直流發電機を原動機で運轉する事もあるが、多くは變電所で發電所から交流の送電を受け、之を直流に變換して電車線に供給するのである。

交流を直流に變換するには次の如き機械に依る。

- イ 電動發電機
- ロ 廻轉變流機
- ハ 縦續變流機
- ニ 水銀整流機

現今尤も多く使はれるのはロとニである。詳細は電氣機械に譲る。

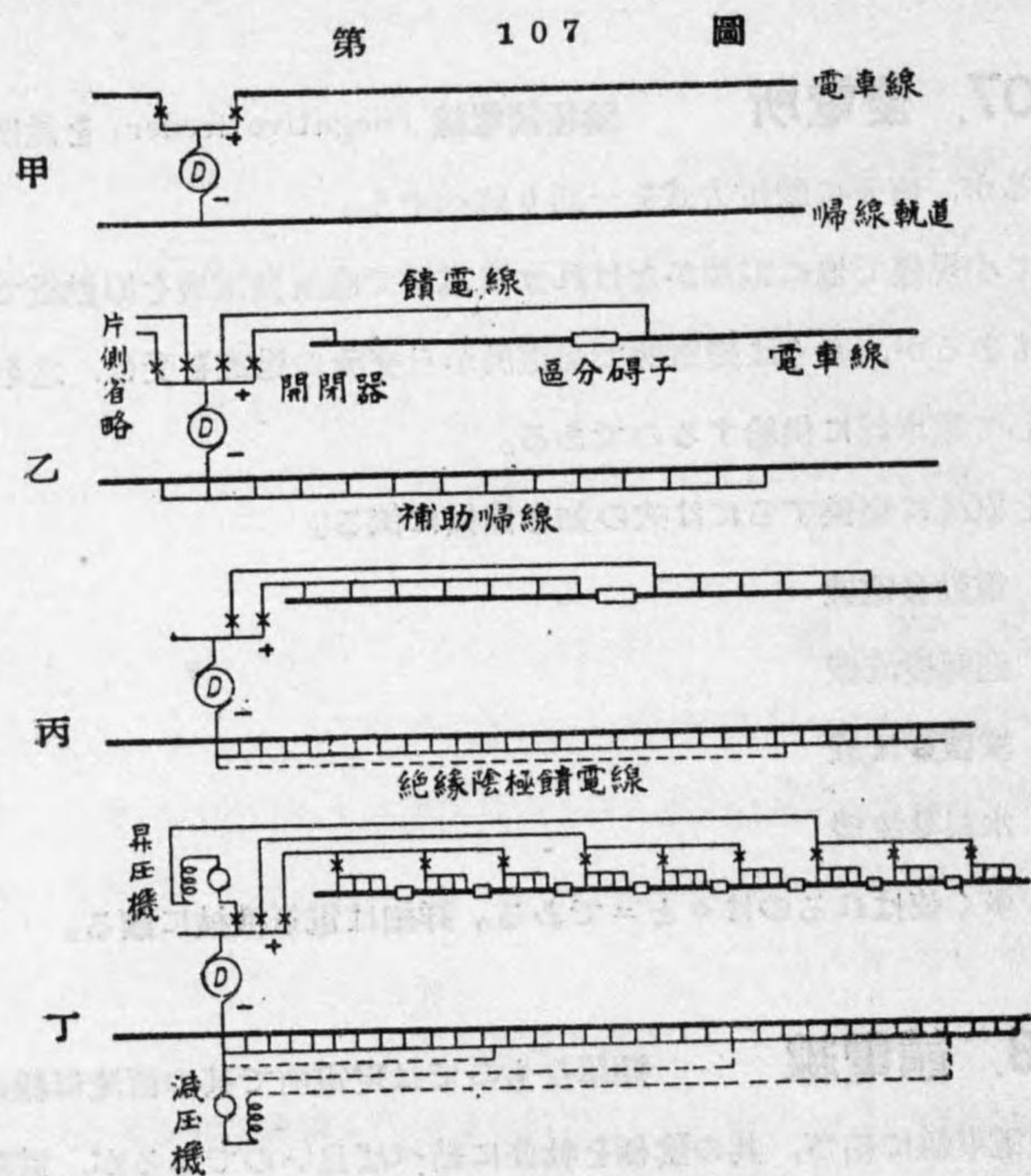
### 108. 饋電線 簡單なものでは變電所で其の直流母線の陽

極を直接電車線に結び、其の陰極を軌條に結べば良いのであるが、電車線が、長くなれば電壓降下の爲め満足な運轉も出来ないし、其の上市街地で

は1軒以内毎に電車線を区分する必要があるので饋電線(feeder)が必要になつて来る。饋電線とは變電所母線から直接電車線に到る電線路である。

饋電線や陰極饋電線の様子は第107圖に其の一例を示した。電車線が延びるに従ひ饋電線や陰極饋電線が必要になつて来る有様が解るであらう。

饋電線は多く電車線支持柱に架渉され、適當の所で直接又は區分開閉器を経て饋電ローヤに接続される。其の接続點は一箇所の事(同圖乙)もあり數箇所の事(同圖丙以下)もある。



尙變電所が數箇所あれば、其饋電線を適當に結んで、變電所の並行運轉を行はす事も珍らしくない。斯うすると饋電線の太さが小ですむ。

饋電線の太さは多くの場合所定の負荷で其の最大電壓降下を與へて計算するのである。其の最大電壓降下は大に取つても支障がないので電燈電力で10%以上が許されないに反し、郊外又は市間電車では40%にも取る事がある。陰極饋電線でも其の方法は同一であるが、専用軌道以外では地中鐵管路が1軒以内にあれば一ケ年間の平均電流が流れたとき、其の電壓降下が2.0ヴォルトを超過してはならぬ規定もある。

若し以上の計算では餘り電線が太くなり過ぎる様であれば、變電所を増設するか或は饋電線に昇壓機(booster)、陰極饋電線には減壓機(negative booster)を設備する。昇壓機と減壓機とは一つの直捲發電機の用途上の名前で、常に一定速度で廻轉せられ、電路と直列に結ばれて居る。従つて負荷に應じた或る電壓を誘導して饋電線内の電壓降下を補償したり、進んで電車線の電壓降下をと補償するものもある。

### 109. 摘 要

電流の通路として軌條を使つた時、之を歸線と言はれる。主として陰極に結ばれるからである。

- 1 軌條の接続を電氣的に完全にする爲めにボンドが使はれる。
- 2 ボンドには壓端ボンドが尤も使はれる。シカゴボンドやクラウンボンドは其の一例である。
- 3 蠟付ボンドや軟着ボンドも時に使はれる。
- 4 歸線の抵抗はボンドを含んで軌條の抵抗の1割増に取るが良い、即ち次の略算式を覺へると大いに便利である。

軌道一杆の抵抗 =  $0.75 \div$  軌條一米の重量(珎)

- 5 ボンドを試験するには差働ミリヴォルト計を使ふ法と、ボンド試験器を使ふ法が廣く使用される。孰れも軌條電流を利用する。
- 6 轉轍器附近や踏切では特殊のボンドを使ふ。
- 7 地中管路の腐蝕を防ぐには歸線内の電壓降下を小に保つのが一番有効である。その爲めボンドの箇所念を入れるのは勿論補助歸線を設けたり、陰極饋電線が使はれる。
- 8 電車に使ふ直流は變電所で交流から變換される。それには廻轉變流機、電動發電機や水銀整流機が使はれる。
- 9 饋電線や陰極饋電線は適當の太さのもので、電車線や歸線の最大電壓降下を最も少くする様な點で之等に結ばれる。

### 練習問題 V

- 1 50 珎の軌條を使つた複線軌道 6 杆の抵抗如何  
答 0.045 オーム
- 2 現今最も廣く實用せらるゝ各種軌條ボンドの種類を列記し、且つ其の得失を比較せよ。(遞試大正 2 年 3 級)
- 3 軌條ボンドの抵抗試験法を説明せよ。(遞試大正 2 年 2 級)
- 4 單線式電氣鐵道に於て地中漏洩電流を減少せしむるために用ひらるゝ方法を列舉せよ。(遞試大正 3 年 3 級)

## 第三部 電氣の理論と應用

### 第四編 電 燈 電 熱

軌道一杆の抵抗=0.75÷軌條一米の重量(延)

5 ボンドを試験するには差働ミリヴォルト計を使ふ法と、ボンド試験器を使ふ法が廣く使用される。孰れも軌條電流を利用する。

6 轉轍器附近や踏切では特殊のボンドを使ふ。

7 地中管路の腐蝕を防ぐには歸線内の電壓降下を小に保つのが一番有効である。その爲めボンドの箇所に念を入れるのは勿論補助歸線を設けたり、陰極電線が使はれる。

8 電車に使ふ直流は變電所で交流から變換される。それには廻轉變流機、電動發電機や水銀整流機が使はれる。

9 饋電線や陰極電線は適當の太さのもので、電車線や歸線の最大電壓降下を最も少くする様な點で之等に結ばれる。

### 練習問題 V

1 50 延の軌條を使つた複線軌道 6 杆の抵抗如何

答 0.045 オーム

2 現今最も廣く實用せらるゝ各種軌條ボンドの種類を列記し、且つ其の得失を比較せよ。 (遞試大正2年3級)

3 軌條ボンドの抵抗試験法を説明せよ。 (遞試大正2年2級)

4 單線式電氣鐵道に於て地中漏洩電流を減少せしむるために用ひらるゝ方法を列挙せよ。 (遞試大正3年3級)

## 第三部 電氣の理論と應用

### 第四編 電 燈 電 熱

45 — 80 頁



標準校外生第拾壹卷第三部試験問題

第四編 電燈照明之部

1. 我が國光度の單位を示せ。
2. 次の語の意義を述べよ。  
平均球面燭光, 不完全擴散反射, 配光曲線, ルーメン。
3. 外球として使ふ時乳白硝子と艶消硝子とに透光上相違ありや。
4. 20 燭光源より 3 米離れた所の照明と, 50 燭光源から 5 米離れた所の照明と孰れが大なるか。
5. 衣服の色が夜間と晝間と異なる事あるのは何故か。

## 電燈照明

### 第一章 光と色

1. 光の本性 遠い昔に、光は發光體から其の微粒子と稱する極めて小さい物質が飛び出し、之れが直線的に進行して吾々の眼に入つて光を感じしめ、又物體の表面に當つて反射し眼に入ると其の物體を認めさせると古人は考へ、此の微粒子の經路を光線と名づけた。之れが光の微塵說 (corpuscular theory) である。

然るに十七世紀の末に至り、音が空氣を媒體とする波動現象なるが如くに、光も亦波動に基くと考へ光波を傳へるに必要な媒質を假想してエーテルと名づけた。所謂エーテル波動說 (ether-wave theory) は之れである。

其の後十九世紀になつて電氣磁氣學の發達と共に光の研究も亦著しく進歩した。即ち電磁誘導に於て一つの電路から他の電路に相互作用でエネルギーの授受が行はれる現象を説明するのに電磁的媒質を假想することが必要になつた。尙ほ電路から出る電磁波の速度は光の速度と一致することが數理上から知られ、光は電磁波の一種であると言ふ電磁波說 (electromagnetic wave theory) が信ぜられるやうになつた。

標準校外生第拾壹卷第三部試験問題

第四編 電燈照明部

1. 我が國光度の單位を示せ。

2. 次の語の意義を述べよ。

平均球面燭光, 不完全擴散反射, 配光曲線, ルーメン。

3. 外球として使ふ時乳白硝子と艶消硝子とに透光上相違ありや。

4. 20 燭光源より 3 米離れた所の照明と、50 燭光源から 5 米離れた所の照明と孰れが大なるか。

5. 衣服の色が夜間と晝間と異なる事あるのは何故か。

# 電燈照明

## 第一章 光と色

### 1. 光の本性

遠い昔に、光は發光體から其の微粒子と稱する極めて小さい物質が飛び出し、之れが直線的に進行して吾々の眼に入つて光を感じしめ、又物體の表面に當つて反射し眼に入ると其の物體を認めさせると古人は考へ、此の微粒子の經路を光線と名づけた。之れが光の微塵說 (corpuscular theory) である。

然るに十七世紀の末に至り、音が空氣を媒體とする波動現象なるが如くに、光も亦波動に基くと考へ光波を傳へるに必要な媒質を假想してエーテルと名づけた。所謂エーテル波動說 (ether-wave theory) は之れである。

其の後十九世紀になつて電氣磁氣學の發達と共に光の研究も亦著しく進歩した。即ち電磁誘導に於て一つの電路から他の電路に相互作用でエネルギーの授受が行はれる現象を説明するのに電磁的媒質を假想することが必要になつた。尙ほ電路から出る電磁波の速度は光の速度と一致することが數理上から知られ、光は電磁波の一種であると言ふ電磁波說 (electromagnetic wave theory) が信ぜられるやうになつた。

越えて二十世紀となり電子論の發展に伴ひ現時は光のエネルギー量子説 (energy quantum theory) が行はれて居る。此の學説の根柢は發光體の分子を構成する電子が過剰の動的エネルギーを放出して、其の周圍の電磁的媒質に振動性を與へるに際し發光すると考へるのであるから、光の電磁波説を擴張せるに過ぎないと認むべきである。

## 2. 光の輻射

前述の如く或るエネルギーが特殊の媒質によつて他の所に傳へられる波動現象を一般に輻射 (radiation) と稱し、其の内で肉眼に視える大部分を光輻射 (light radiation) と云ふ。熱波と呼ぶ熱輻射 (heat radiation) や無線通信用の電波も亦光と共にエネルギーの移動に伴ふ電磁波動の一形式で、其の概略の波長と性質とは第1表に示すが如くである。但し表中の  $1 \mu$  (micron, ミクロン) は  $0.001$  耗である。

第 1 表 電 磁 波		
輻射の種類	大氣中に於ける波長	輻射の性質
無線用電波	25 耗 - 0.2 耗	檢波器に感ずる
赤 外 線	0.3 耗 - 0.78 $\mu$	輻射計に感ずる
可 視 線	赤 0.78 $\mu$ - 0.63 $\mu$	視覺に作用する
	橙 0.63 $\mu$ - 0.59 $\mu$	
	黄 0.59 $\mu$ - 0.55 $\mu$	
	緑 0.55 $\mu$ - 0.49 $\mu$	
	青 0.49 $\mu$ - 0.45 $\mu$	
堇 0.45 $\mu$ - 0.38 $\mu$		
堇 外 線	0.38 $\mu$ - 0.032 $\mu$	寫眞乾板に感ず 空気を導體とし
X 線 及 $\gamma$ 線	0.0012 $\mu$ - 0.000007 $\mu$	反射及屈折せず

斯く光輻射は物理的エネルギーの一種であるが、如何に其の量が多くとも、肉眼を刺戟して視覺を生ずる生理的効果は必ずしも大きいとは限らない。日光を分光器に当てると多数の色光に分散して色帯を生じ、其の分光 (spectrum) 中には視覺作用ある可視線 (visible ray) の外に眼に視えない部分がある。即ち赤色光の外側に熱作用ある赤外線 (infra-red ray) と堇色光の外側に化學作用ある堇外線 (ultra-violet ray) とが含まれる。共に可視線と一緒にして光の輻射線と稱する。

## 3. 發光作用の分類

發光作用を其の原理によつて次の

二種類に大別することが出来る。

1. 温度輻射 高温度に耐へ得る物體に熱エネルギーを與へて次第に其の温度を高むると、其の物體から之れに接する他の物體に熱の傳はる傳導其の周圍流體の移動に伴ふ對流、電磁的媒質による輻射の三経路を辿つて熱エネルギーは外界に逃げ去る。

此の際に物體の温度が低いと輻射は赤外線を含む熱輻射のみであるが、温度が昇ると光輻射を伴ひ約  $600^{\circ}C$  に於て赤色光を放ち、 $1000^{\circ}C$  に達すれば黄色光を伴ひ、更に温度の昇るに従ひ順次に赤橙黄緑青藍堇の色光が加はり、漸次に灼熱せられ約  $1600^{\circ}C$  以上に於ては此等の混合色が白色に近づくから白熱 (incandescence) の状態と稱し、約  $5000-6000^{\circ}C$  に至れば所謂晝光 (day light) 色の如くなる。

斯くして現はれた分光は連続せる色帯をなすから之れを連続スペクトル (continuous spectrum) と稱し、固體及び熔融體に起る現象である。

之れを電子論で説明すれば、温度の上昇と共に電子の振動が益々迅速と

なり、次第に電磁的媒質の波動周波数が多くなり、従つて波長が小となるから、波長の長短に応じて光色に差異を生じ、分光の色帯中に之れが悉く現れるのである。

一般に物體が温度と密接なる関係の下に熱エネルギーを以て發光する現象を温度輻射 (temperature radiation) と稱し、其の分光は連続性で輻射は赤外線、可視線及び莖外線の三種を含む。

**II. ルミネセンス** 温度輻射に依らない發光作用をルミネセンス (luminescence) と總稱する。多くは白熱状態の温度より遙に低きも其の温度に殆んど無關係にて發光する。灼熱せる金屬蒸氣や真空放電管内に於ける氣體の發光は此の種に屬し、其の分光は暗黒なる色帯内に輝線を生じ、其の位置は氣體の種類で定まる。此の種の分光を輝線スペクトル (bright line spectrum) と云ひ、其の輝線の集合と認めらるゝ時は輝帯スペクトル (bright band spectrum) と呼ぶ。

白熱状態に於て温度輻射と同時に起こる場合もある。若し連続スペクトルを與へる光が、途中で輝線スペクトルを生ずる氣體又は蒸氣を通過すると、其の氣體又は蒸氣が自ら發する光を吸収するから、此の吸収光の波長に応じて連続スペクトル中に黒線又は黒帯を生ずる。斯かる分光を吸収スペクトル (absorption spectrum) と云ひ、日光スペクトルは其の一例である。蓋し太陽は各高温度の固體及び熔融體で其の周圍を氣體及び蒸氣が蔽ふものと考へられるからである。

ルミネセンスは起因によつて多種多様に分類されるが、其の主なるものを二三だけ次に述べて置かう。

水銀蒸氣内に於ける放電に伴ふ發光を電氣的ルミネセンス (electri-

cal luminescence) と稱し、酸化の如き化學作用によるものを化學的ルミネセンス (chemical luminescence) と云ふ。

或る波長の輻射を受けて違つた波長の光を放つ現象をフォト・ルミネセンス (photo-luminescence) と稱し、短波が長波に變はるのが普通である。其の原輻射を遮ると消えるものを螢光 (fluorescence) と云ひ、其の吸収したエネルギーで發光を續けるものを燐光 (phosphorescence) と稱へる。青化白金バリウムやウラニウム鹽は短波の莖外線を變じて長波の可視線を含む螢光を放ち、硫化カルシウムや、硫化ストロンシウムは燐光を發し、ラヂウムを含む夜光塗料は其の  $\alpha$  線によつて螢光を出す。但し螢の光は其の分泌物の酸化作用によると認められるから學術上の意義に於ける螢光ではない。

#### 4. 光源の種類

太陽や月は天然の發光體と稱へ、電燈や瓦斯燈を人工の發光體と云ひ、太陽や電燈の如き直接發光するものを一次光源と呼び、月や青空の如き反射面及び電球を包んだ厚い乳白硝子の外球 (globe) 面の如く間接の光源と考へ得るものを二次光源と名づける。

日光の不足を補ふため人工發光體を燈火 (lamp) と云ひ、其の種類は本邦に於ける變遷の順序で挙げると、松火、蠟燭、行燈、石油燈、瓦斯燈、電燈等である。就中電燈の理想的燈火なることは勿論である。

凡そ燈火として具備すべき條件は、有害な瓦斯や煤煙を生ぜず、衛生的で適當な明るさと色合ひにより快感を與へ眼に疲勞損傷を生ぜず、發熱量が少くて光を多く出し費用が低廉で光を多く利用し得るもの、無臭無音にして明暗の變化なく點滅自在で風により動搖消滅せず、移動携帯に便利

で容易に破損せず、又爆發の虞なく火災に安全なる事など一々枚舉に違なき程もある。此等の條件を比較的多く電燈が満足すると言ふに過ぎない。

現時の電燈を發光の種類で分けると次の三種になる。

I. 白熱電燈 温度輻射の理に基き織條 (filament) と稱する細い導電體に電流を通じ強熱して發光せしむるもので、織條にはタングステンの如き金屬線が多く用ひられ、炭素の如き非金屬線の用ひられたこともある。白熱燈 (incandescent lamp) は白熱織條を硝子球内に収めた燈火で、其の附屬品を含む装置一式をも呼ぶことがあるから、此等を區別するため前者を電球とも云ふ。

II. 弧光電燈 二導體を接して電流を通じ後に離して電極とし其の組成材料の蒸氣を導體として電流を繼續させ弧光を生ぜしむるものを弧光燈 (arc lamp) と稱し、全くルミネセンスによるものと温度輻射にルミネセンスの加はるものとある。水銀蒸氣弧光燈は前者に屬し、炭素弧光燈の如きは後者の一例である。

III. 放電管燈 二電極間の瓦斯體に高電壓を加へ放電の火花を利用するものを放電管燈 (discharge-tube lamp) と云ひ、ムーア (Moore) 管やネオン (neon) 管は之れに屬する。

5. 光度の單位 一つの點光源から或る方向に出る光の強さを其の光度 (luminous intensity) と云ひ、之れを測る單位を燭と稱し測つた光度を燭光 (candle power) と呼ぶ。若し光源に相當の大きさならば、光點と見做し得る程度の距離 (光源の最大寸法の 10 倍以上) で其の光度を測り、之れを皮相燭光 (apparent candle power) と名づける。

點光源は學術上の假想發光體で實用上のは皆相當の大きさがあるから、皮相燭光と認め難い時は測定距離を明かにすべきである。

此の單位燭光は國々で其の大きさが違ひ、本邦では法令で定めてある。

電燈の光力を表示するには燭光を以て單位とす。又 1 燭光は氣壓 760 耗の時、1 立方メートルに付 8 立の水蒸氣を含有する空氣中に於て燃焼するハーコート (Harcourt) 氏 10 燭光ペンテーン (pentane) 燈の光力の 10 分の 1 とす。

(電氣事業法施行規則第六章第五十二條)

日英米佛の諸國は協議の上で之れを共通單位に採用し、光度を萬國燭光 (international candle power) で表はす。又獨逸諸國では氣壓 760 耗の時 1 立方メートルに付 8.8 立の水蒸氣を含む空氣中で燃焼するヘフネル (Hefner) 氏燈の火焰の高さ 4 種の時の水平光度を標準單位とし、之れをヘフネル燭 (Hefner kerze) と呼ぶ。

萬國燭光 (c.p.) とヘフネル燭光 (H.K.) との大きさの関係は次の如くである。

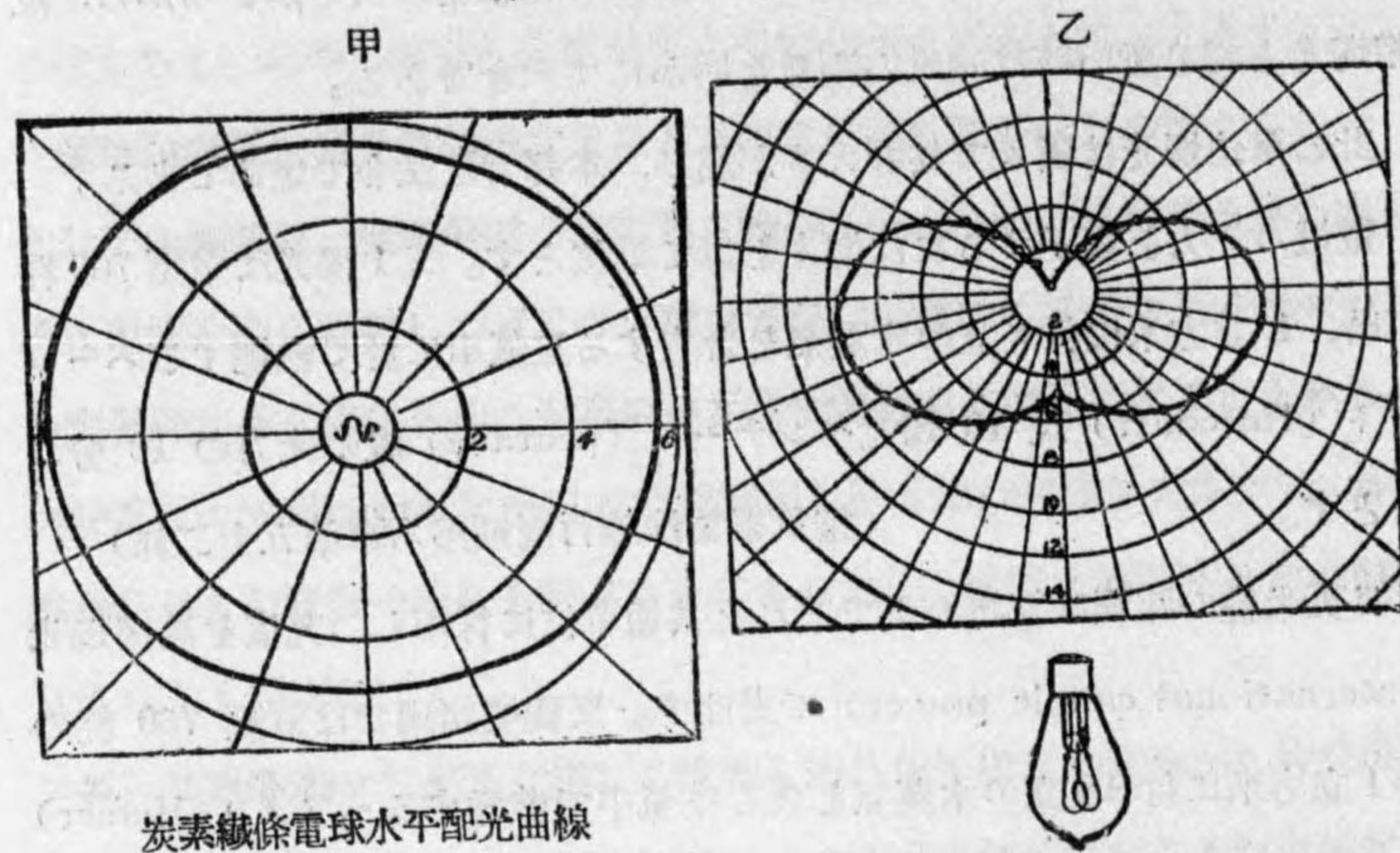
$$1 \text{ c.p.} = 1.11 \text{ H.K.} \quad 1 \text{ H.K.} = 0.9 \text{ c.p.}$$

光度標準器に就ては章を更め光度量測定と題して詳説しよう。

6. 平均燭光 發光體の光度は何れの方向にも一樣とは限らない。光度の分布即ち配光は發光體の形狀と附屬品及び四圍の状況で違ふ。一平面に於ける配光を圖示するものを配光曲線 (light distribution curve) と稱へる。第 1 圖に示すは其の一例である。

之れは發光體の中心を通る任意の平面上に、此の中心を原點として總べての方向の光度を極座曲線 (polar curve) で表はしたもので、普通に此の

## 第 1 圖



炭素繊維電球水平配光曲線

炭素繊維電球垂直配光曲線

平面を水平又は垂直に選ぶ。其の水平面上のを水平配光曲線 (horizontal distribution curve) と稱し、其の平均燭光を平均水平燭光 (mean horizontal candle power 略して *m.h.c.p.*) と呼ぶ。

光源の中心を通る垂直面は無数にあるが、若し配光が垂直軸の周りに對稱ならば任意の垂直面上の配光曲線が凡べての垂直面上のを代表する。故に光源を中心とする球面上の各球體 (spherical zone) を通る總べての方向の光度の平均値を垂直面上に表はし、之れを垂直配光曲線 (vertical distribution curve) と呼ぶ。

一般に實用上の發光體は其の水平配光曲線が圓に近く、單に配光曲線と云へば多く垂直配光曲線を意味し、垂直配光の平均を示すのである。

光源軸の周りに非對稱な立體的の配光を平面上に圖示するには、同時に水平角と垂直角とを表す等燭圖 (isocandle) が考案されて居るが、特殊圖

形で難解の虞れがあり未だ通俗化されないから煩を避けて爰には説かない。

配光を立體的に考へ總べての方向に於ける燭光の平均値を平均球面燭光 (mean spherical candle power 略して *m.s.c.p.*) と稱へる。例へば林檎の實の如き配光ありて其の核の位置に電球があり、核の中心から皮に至る肉の厚さが其の方向の光度を燭光にて表せば、肉の厚さの全平均が平均球面燭光を示すものである。さうして光源の中心を通る水平面より下方の平均値を平均下半球面燭光 (mean lower hemi-spherical candle power 略して *m.l.h.s.c.p.*) と云ふ。

一定の形狀を有する發光體では其の平均球面燭光と平均水平燭光との比は殆んど不變で、此の比を其の電球の球面換算率 (spherical reduction factor) と稱へる。

## 7. 光束と光度

輻射はエネルギーの移動に基くから單位時間に移動する割合で其の大小を表すと便利である。夫れには媒質内に於けるエネルギーの流れを假想して、恰も磁界の有様を明かにするため磁束を用ひるが如く、輻射束 (radiant flux) を用ひ、其の單位をワットとする。其の内で視覺に作用する部分を光束 (luminous flux) と呼び、單位をルーメン (lumen) と名づけ、其の多寡や密度によつて光の大小や強弱を比較すると好都合である。

1 ルーメンとは1燭光の光點から出て、之れを中心とする半径1呎の球面上の1平方呎を通る光束である。此の球面の全面積は  $4\pi$  平方呎で、1燭光の光點より光束は周圍に一樣に出るから全光束は  $4\pi$  ルーメンとな

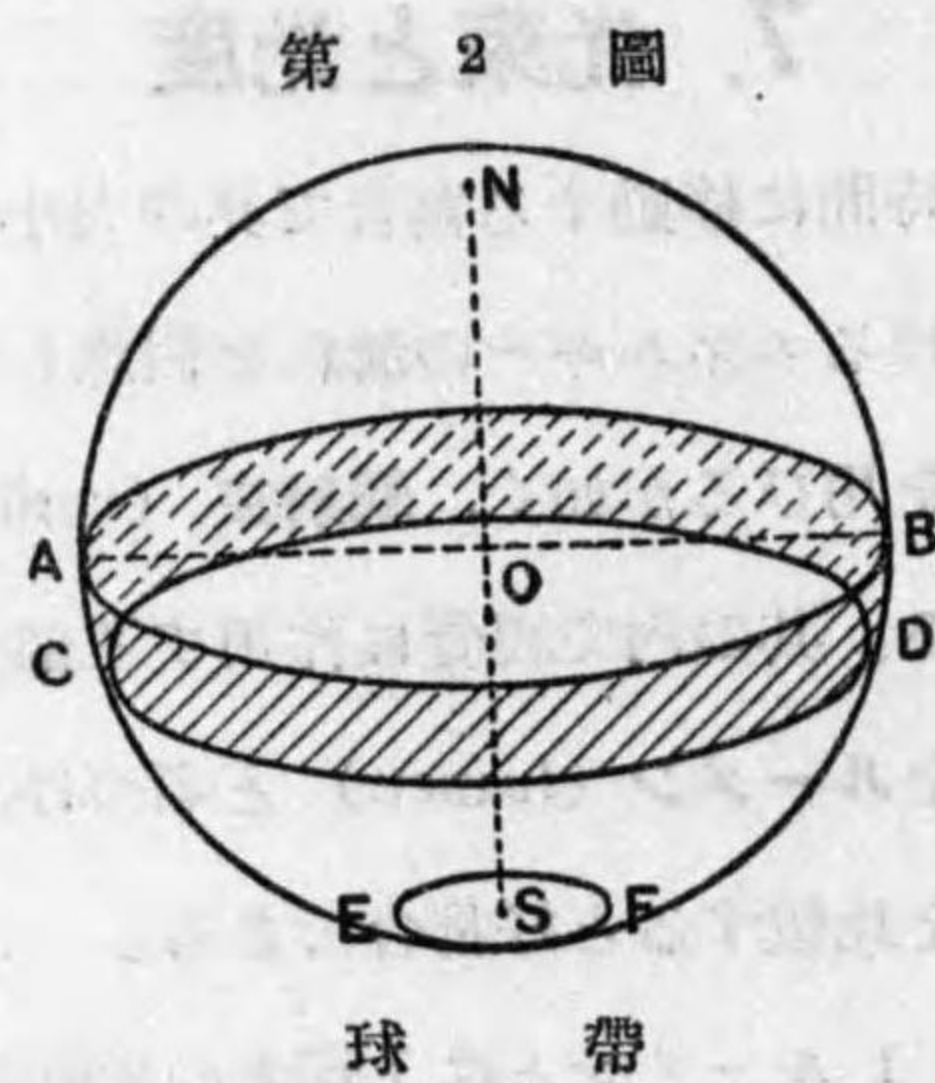
る。

同理により平均球面燭光  $I_s$  の光源から出る全光束は  $F=4\pi I_s$  ルーメンで、従つて全光束  $F$  ルーメンを出す發光體の平均球面燭光は  $I_s = \frac{F}{4\pi}$  となる。然るに光源を中心とする單位半徑の球面の全面積が  $4\pi$  なる故、此の球面上の光束密度が其の發光體の平均球面燭光を表すと見做される。

或る單位半徑の球面上の圓形單位面積が中心に於て張る圓錐形の角を單位立體角 (unit solid angle, 單位名 steradian) と稱するから、1 ルーメンは1燭光の光點から單位立體角内に出る光束で、従つて光度は光束の立體角密度で言ひ表される。

凡べての方向に於ける光束の分布が一樣でない場合でも光源を頂點とする微小立體角  $\Delta\omega$  内の光束  $\Delta F$  が一樣に分布すと考へ得れば、此の立體角内の方向に於ける光度は  $I = \frac{\Delta F}{\Delta\omega}$  なりと稱する。若し一樣の分布でなければ之れを其の立體角内に於ける平均光度と云ふ。

街路照明に屢平均下半球面燭光が用ひられ、其の値は下半球面内に於ける光束を  $2\pi$  で割つたものであるが、水平より下方に或る角度(約 20 度)だけ傾いた側方に向ふ最大燭光(maximum candle power) の必要な時がある。斯かる場合には或る球帯内に於ける平均燭光を平均球帯燭光 (mean zonal candle power) と稱し、其の球帯内を通る光束を球帯の立體角で割つて求めることが出来る。



## 8. 光束と陰影

純水晶の如く可視線を多く透過 (transmission) するものを透明體 (transparent body) と稱し、エポナイトの如く之れを多く吸収 (absorption) するものを不透明體 (opaque body) と呼ぶ。

又熱の傳導程度により熱導體、熱不導體に分けると同様、エポナイトや水晶或は乾燥氣體の如く赤外線を多く透過するものを透熱體 (diathermanous body) と稱へ、硝子や水蒸氣の如く之れを多く吸収するものを不透熱體 (athermanous body) と名づける。

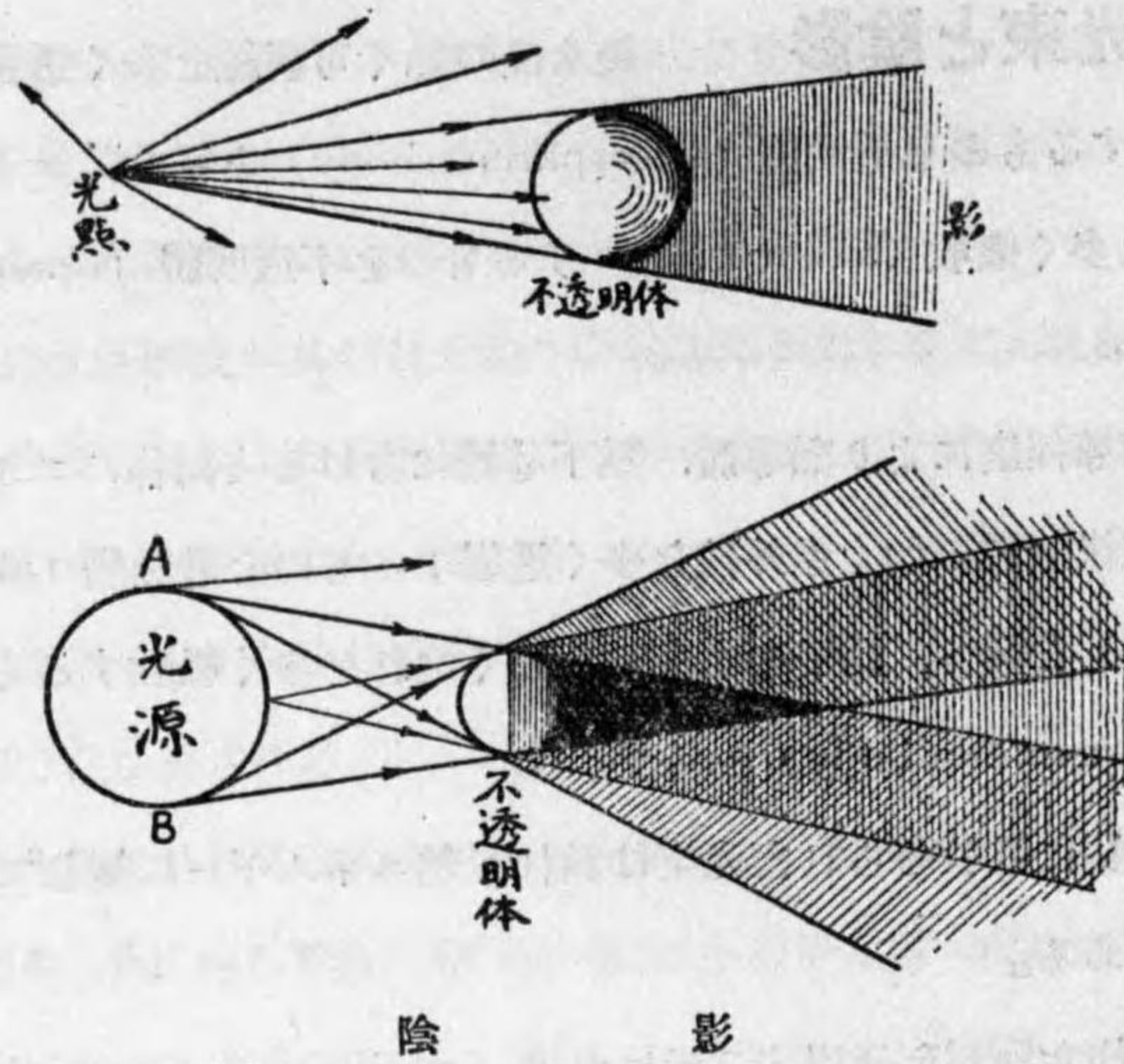
凡べて物質に吸収せられた光束は孰れも熱エネルギーに變じて其の物質の溫度を昂める。

組織の一樣な物質を透過する光は直進 (rectilinear propagation) するが、違つた物質に當れば反射 (reflection) や屈折 (refraction) 等の現象を生ずる。故に光が透明體に投ずると一部は反射し、他は屈折し透過すると同時に其の一部が吸収せられる。

光の通路に不透明體を置くと之れに投じた光の一部は反射し、他は吸収せられて其の物體の背後に影 (shadow) を生じ、受光面は明るく又受光せざる面は暗く物體面に陰 (shade) を生ずる。斯く陰影を生ずるは光が方向性を有し明暗の差が出来ることなのである。

若し光線が一點と見做される場合には完全不透明體の影は全く暗黒で其の周圍との境界が判然する。然し光源が相當に大きく近いと其の背後に全く暗黒な本影 (umbra) と光源の一部から光を受ける半影 (penumbra) が出来て陰影は小さい。同理により光源が多數に散在すると明暗の差が

第 3 圖



少い。

物體の形狀、高低、輪廓を明瞭に認識するには陰影が必要ではあるが、適當な程度を超えて明暗の差が甚しいのも眼の衛生上に良くない。故に光の方向と陰影とは照明上では深甚の考慮を要する事項となつて居る。

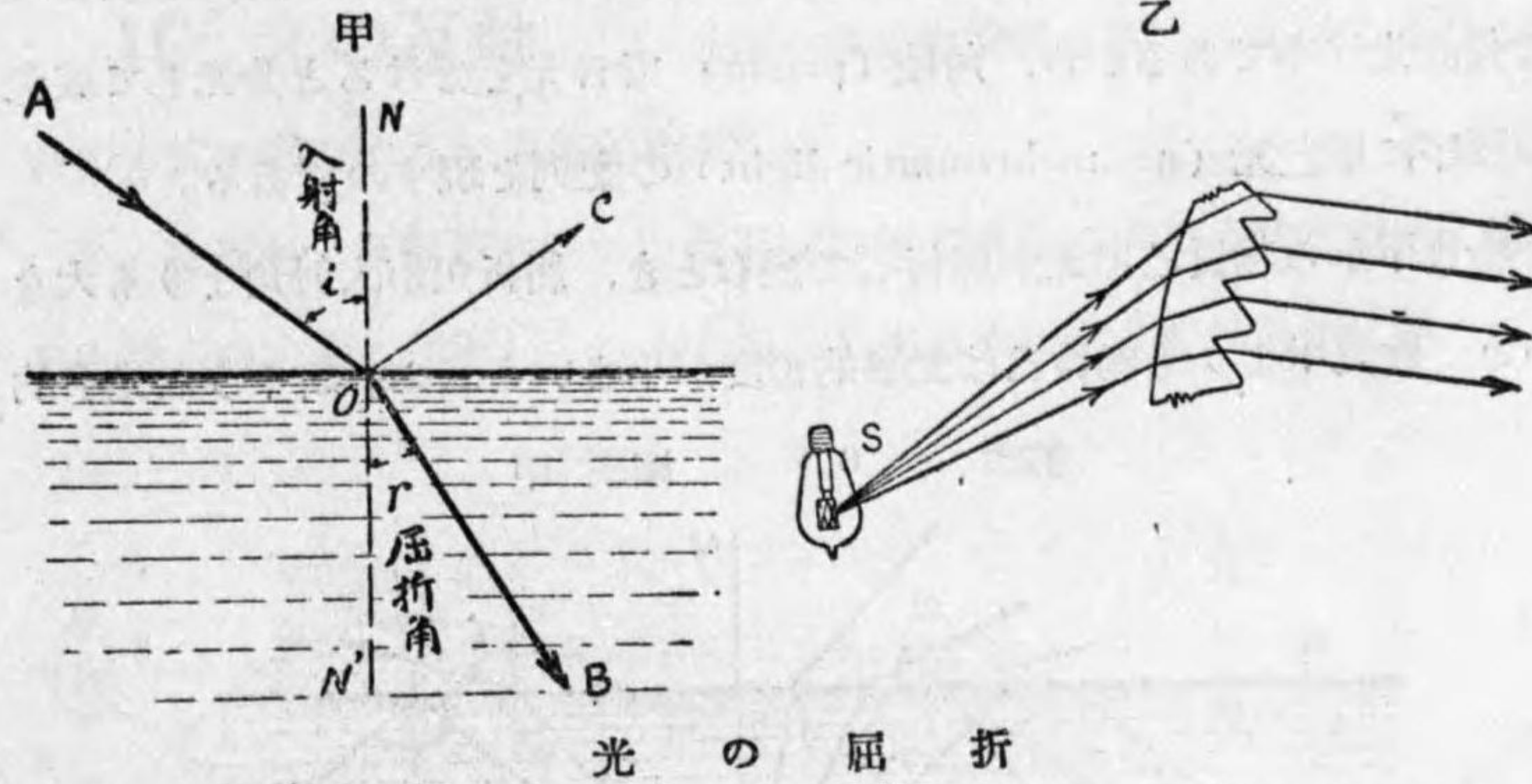
### 9. 屈折と全反射

光が透過する違つた二物質の境界面に達すると、其の一部は反射し残部は一般に方向を變じて次の物質内に入

入し屈折を現す。透明體は屈折光の大部分を透過し、不透明體は之れを吸収する。

屈折光と入射光とは投光點の垂線を含む平面内で垂線の兩側に在り逆行することが出来る。此の垂線となす入射角の正弦と屈折角の正弦との比を

第 4 圖



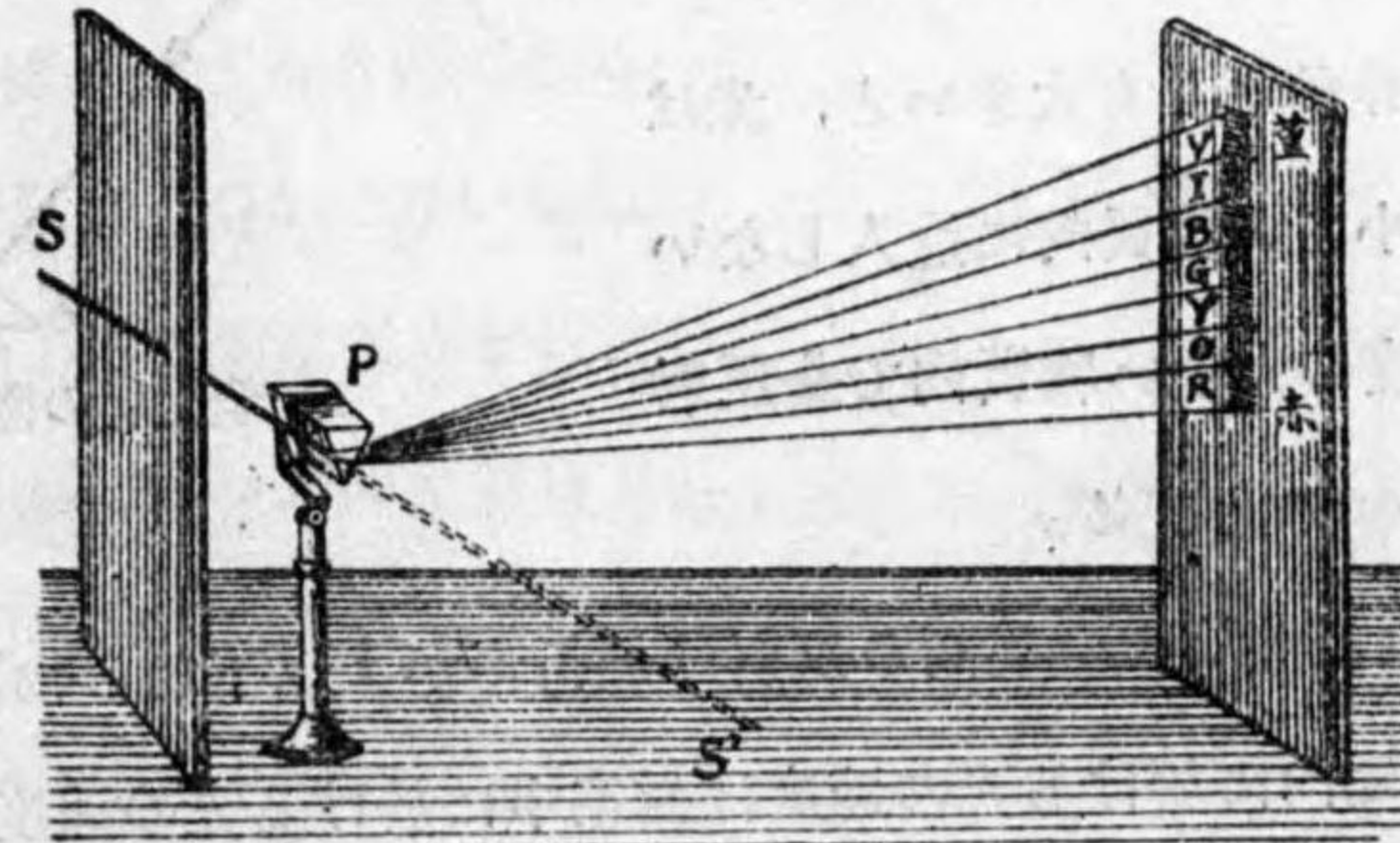
光 の 屈 折

兩物質間の屈折率 (refraction index) と云ひ、入射角の大きさに無關係で二物質間に特有な係數である。さうして物質甲の物質乙に對する屈折率は乙の甲に對する値の逆數である。

然し便宜上、空氣中から或る物質内に光が進入する場合の入射角と屈折角との正弦比を唯單に其の物質の屈折率と呼び、其の値は光の色で違ふ。

透光性物質内に於ける光波の振動數は物質の如何に拘らず一定で、其の

第 5 圖



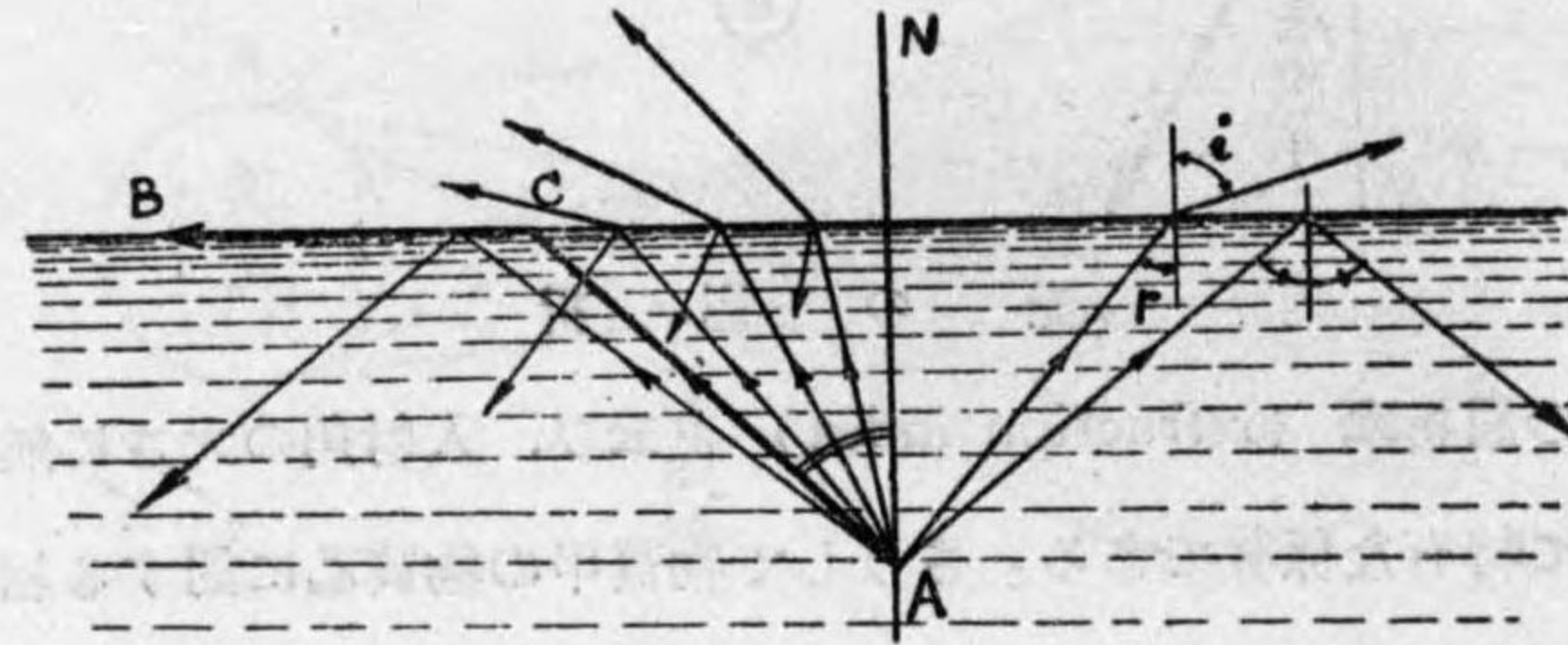
光 の 分 散



波長従つて光の速度は物質の屈折率に逆比例する。故に短波光は屈折が大で長波光は小であるから、角稜 (prism) で日光を分けると分光して波長の順序に単色光 (monochromatic light) の配列を現すのである。

物質甲から物質乙に光が屈折して進むとき、屈折角が入射角よりも大きいと、物質甲よりも物質乙は光學的密度が小さいと云ふ。斯やうな光學的

第 6 圖 甲



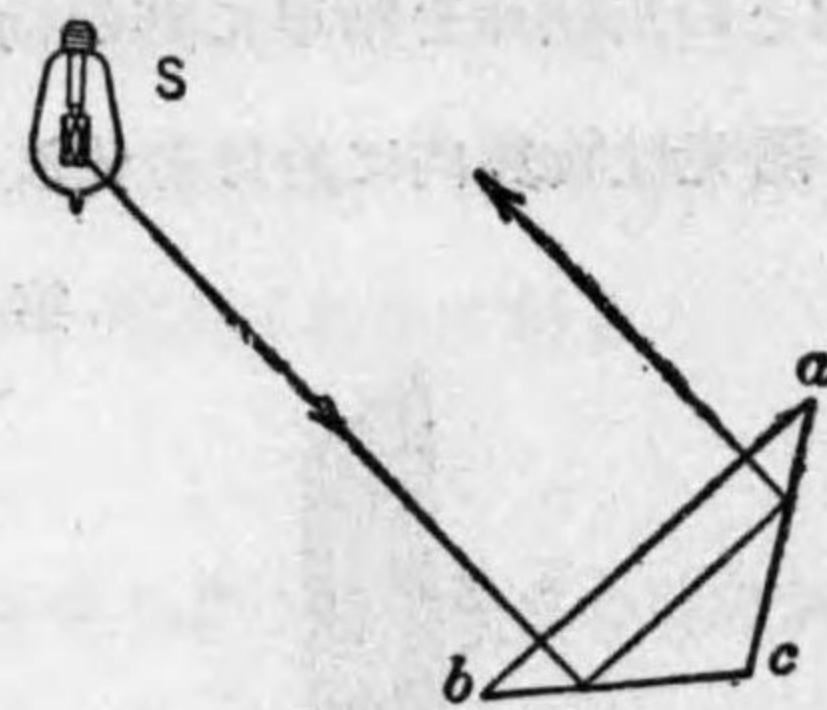
光の全反射

密度の大きい物質から光學的密度の小さい物質に光が進入するとき、屈折角が直角となる如き入射角を臨界角 (critical angle) と稱へる。

入射角が臨界角よりも大きいと、光は光學的密度の小さい物質内に進入しないで、光學的密度の大きい物質内で全反射 (total reflection) をする。

此の理によれば磨いた金属面の反射は屈折率が1以下なる物質面に於ける全反射で、金属内に於ける光の速度は真空中に於ける光の速度 (299 860 千/秒) よりも速いと推定せられる。

第 6 圖 乙



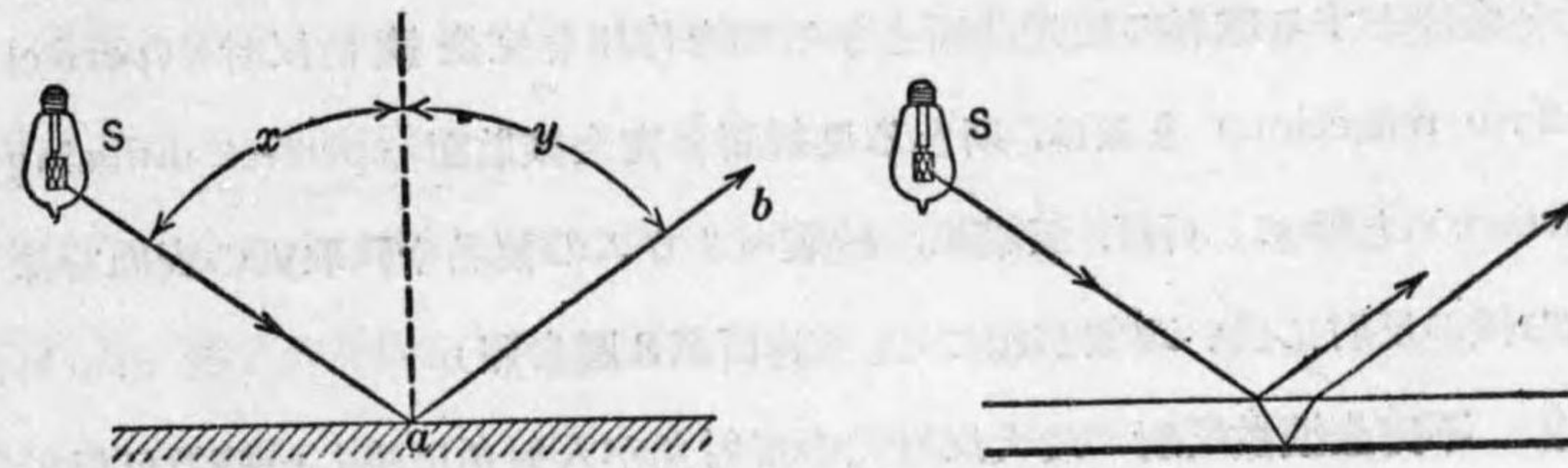
全反射の應用

### 10. 光の反射

光束の投じた物體の表面の性質によつて反射の方式に次のやうな相違がある。

I 整反射 反射鏡や磨いた金属面の如き平面に或る方向の光束を投ずると唯一の方向に反射し、恰も光點から出る光束が其の反射面に對して光

第 7 圖



整 反 射

點に對稱な定點即ち像 (image) より出るやうに感ぜられると、此の現象を整反射 (regular reflection) と稱し、之れを生ずる面を整反射面 (redirecting surface) と云ひ、入射光束と反射光束とは投光點に引いた垂線を含む平面内に於て其の兩側に在り、入射角と反射角とは等しく、光束を逆に投ずれば逆行するものである。

II 不整反射 滑かでない無数の小さい凹凸ある表面に光束を投ずると反射光束が一定の方向を取らずに多くの方向に擴がつて放射される時之れを不整反射 (irregular reflection) と云ふ。其の擴がつた光を散

第 8 圖



完全擴散反射

光 (diffused light) と呼び、散光を生ずる現象を**擴散** (diffusion) と稱へ、斯く散光を反射するものを**擴散反射** (diffused reflection) とも云ふ。

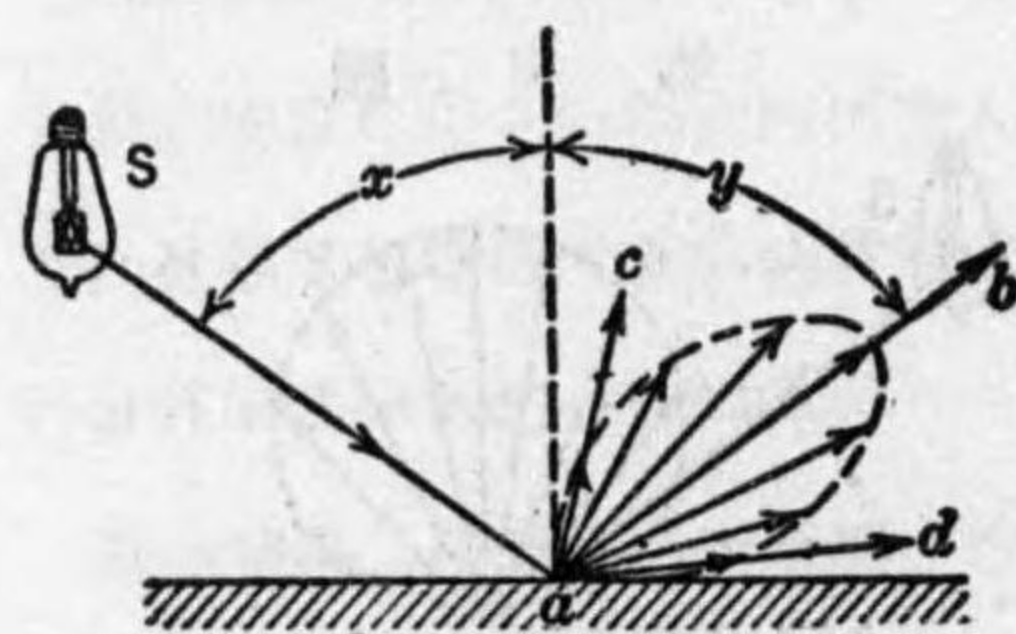
擴散の方式によつて之れを更に次の二種類に細別することが出来る。

**1 完全擴散反射** 如何なる方向から光束を投じても常に入射角に無關係に、反射面の投光點に立てた垂線の方向に最大反射をなし、他の方向には垂線となす角の餘弦に比例して擴散反射し、其の立體的配光が最大反射光を直徑とする球形の配光曲面となる如き作用を**完全擴散反射** (perfect diffuse reflection) と云ひ、斯かる反射面を**完全擴散面** (perfect diffusing surface) と呼ぶ。石膏、亞鉛華、硫酸バリウムの製品や吸取紙の表面では此の種の反射に近い現象が起こる。(前頁第8圖參照)

**2 不完全擴散反射** 最大反射光の反射角が入射角に等しい擴散反射で其の立體的配光が橢圓體曲面をなす時、之れを**不完全擴散反射** (spread reflection) 又は**指向不整反射** (directive irregular reflection) と稱へる。普通の光澤なき反射面に於ては殆んど皆此の種の反射をなす。

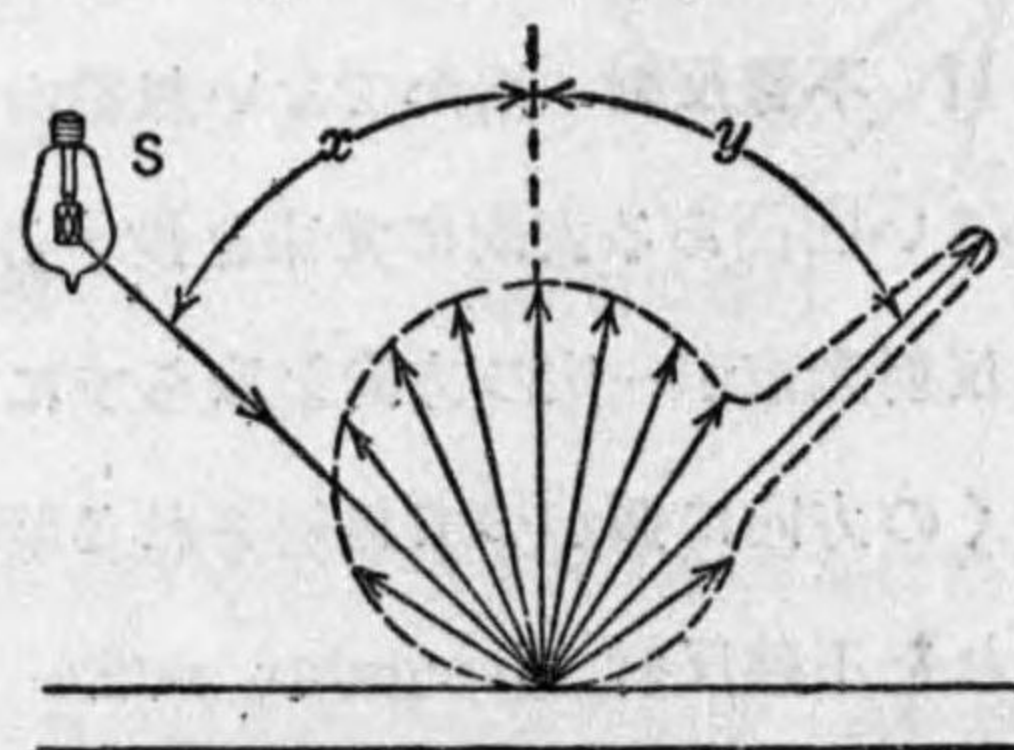
此の外、前記三種の組合せ、即ち整反射と完全擴散反射との組合せ、整反射と不完全擴散反射との組合せ、以上で都合五種の反射方式がある。

第 9 圖



指向不整反射

第 10 圖



亂 反 射

乳白硝子、磁器性瑯瑯仕上げ、光澤紙、假漆等の光澤ある反射面に於ては是等の組合せ反射をなすものである。

整反射及び完全擴散反射を除き他を**亂反射** (scatter reflection) と總稱し、其の反射面を**亂反射面** (scattering surface) と稱することがある。

反射光束と入射光束との比を**反射率** (reflecting power, reflection index) とも**反射係數** (reflection factor, coefficient of reflection) とも云ふ。

空氣と硝子との如き二種の透明體の境界面に於ける反射率は入射角と屈折角とで其の値が違ひ、光束が反射面に直角に當れば約 4 % 反射され、吸収の極めて少い板硝子では表裏の境界面から約 8 % の反射ありと考へられる。硝子の片面を摺つて艶消にしたり又は波狀にすると、角稜の全反射の如き作用によつて、其の加工面を光源に向けた方が逆にした時よりも、反射率が低くて光束を多く透過する利益がある。

又磨いた金屬面は長波長の輻射に對して反射率が大きいから電燈器具としてよりも電熱反射器として有効である。

整反射面では入射角が大となれば反射率も増すが、擴散反射面では餘り變らない。従つて整反射と擴散反射との組合せ反射をなすものは、入射角が大となれば整反射の量が増し、艶消硝子面でも横から見ると殆んど鏡面のやうに見えることがある。

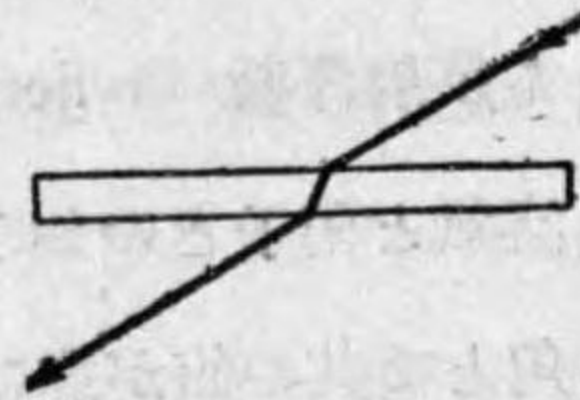
故に或る入射角に對して整反射した光束と投射した光束との比を、其の**整反射率** (regular reflection factor) と稱し、擴散反射した光束と投射した光束との比を**擴散反射率** (diffuse reflection factor) と呼び、其の性質を別々に表すことがある。

### 11. 透過と吸収

透明體や半透明體の透過光も反射と同様に透過の方式から次の如き相違がある。

I **整透過** 透明な板硝子の如き両面の平滑な透明體に於ては屈折を伴ひ入射光と透過光との方向は一定し光を逆行させることが出来る。此の現象を整透過 (regular transmission) と稱し、其の物體を整透過體 (re-directing body) と云ふ。

第 11 圖

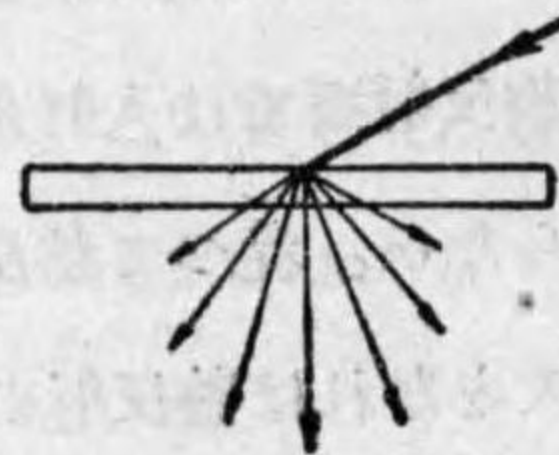


整 透 器

II **不整透過** 艶消にした磨硝子や乳白硝子の透過光は擴散するから此の作用を擴散透過 (diffuse transmission) 又は不整透過 (irregular transmission) と云ひ、擴散の方式によつて次の如く細別される。

1 **完全擴散透過** 厚い乳白硝子に於ける如く透過點の垂線の方に最大光度を有する球形配光曲面で表されるものを完全擴散透過 (perfect diffuse transmission) と云ひ、斯やうな性質ある物體を完全散光體 (perfectly diffusing body) と呼ぶ。

第 12 圖 甲

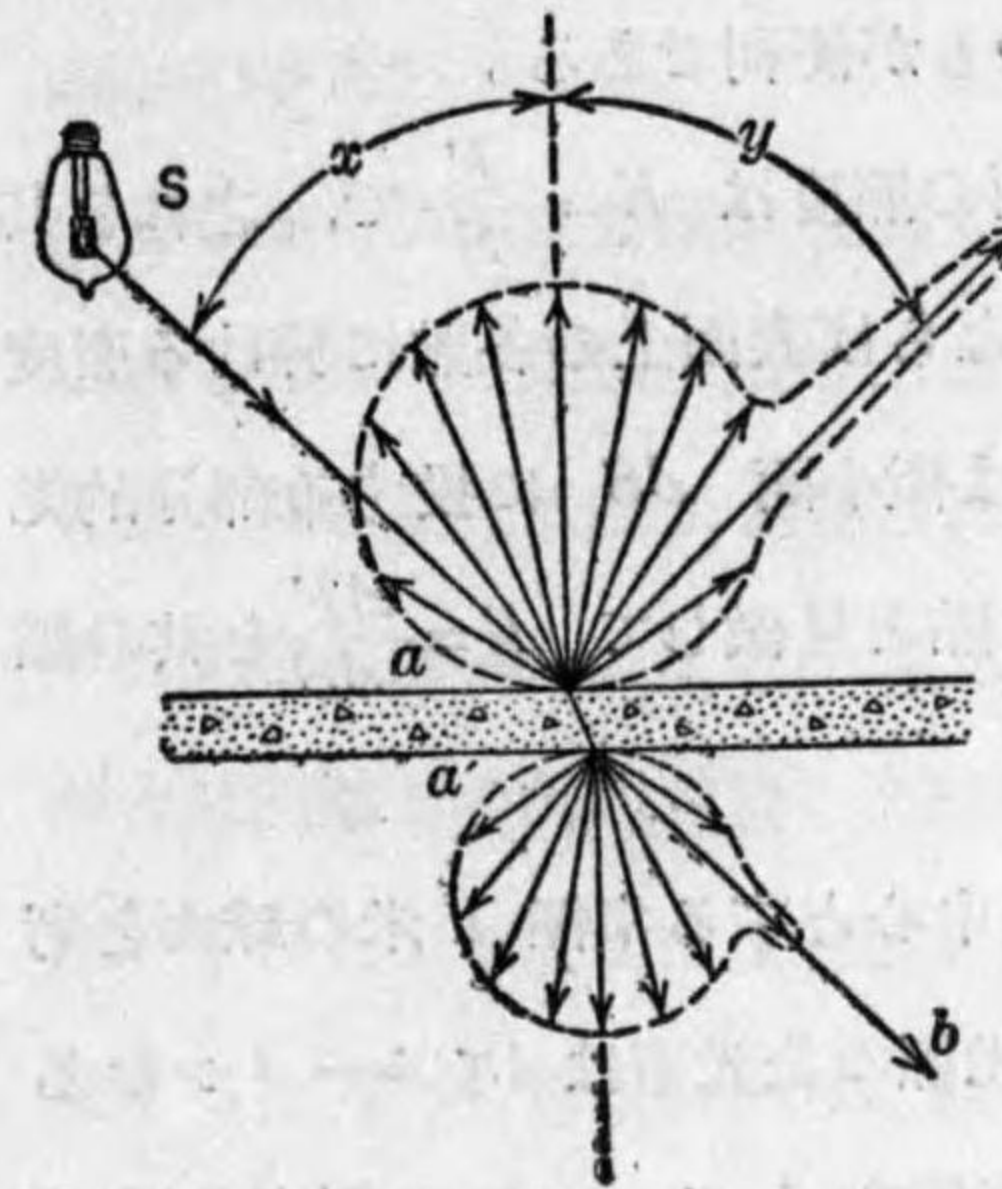


完全擴散透過

薄い乳白硝子の透過光は整透過光と完全擴散透過光との組合せと見做される。

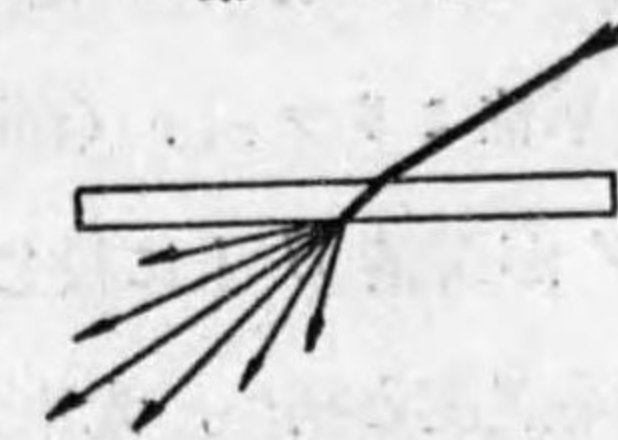
2 **不完全擴散透過** 艶消硝子の透過光は整透過光の方向に最大光度を有する楕圓體曲面の擴散配光をなす。斯やうな作用を不完全擴散透過 (spread transmission) 又は指向不整透過 (directive irregular transmission) 或は廻折 (diffraction) と稱へる。

第 12 圖 乙



乳白硝子の反射と透過

第 13 圖



指向不整透過

透過光束と入射光束との比を透過率 (transmission factor) と云ひ、吸収された光束と入射光束との比を吸収率 (absorption factor) と稱へ、反射率  $\rho$  と透過率  $\tau$  と吸収率  $\alpha$  との間には  $\rho + \tau + \alpha = 1$  の關係がある。

透光性物質が厚くなると吸収作用のため光の組成が變り、入射光と透過光とは色を異にし、透過率と吸収率とは透光體の厚さで相違するから、斯やうな選擇性あるものは單色光に就いて考へねばならない。

### 12. 照度と光束

或る表面が光源に依つて照らされる時の明るさ即ち照明の程度を照度 (intensity of illumination) 又は單に照明 (illumination) と云ひ、單位面積に投ずる光束數即ち入射光束密度で表し、其の單位をラックス (lux) と呼び、補助單位としてフォト (phot) を用ひる。

1 ラックスは 1 平方メートルに付 1 ルーメンの割合の照度にして、1 フォトは 1 平方呎に付 1 ルーメンの照度であるが、實用上には 1 平方呎に付 1

ルーメンの1000分の1なる1ミリルーメン (milli-lumen) の光束密度を有する単位ミリフォト (milliphot) の方が便利である。

光束  $F$  が面積  $S$  上に投じた時の表面の照度は  $E = \frac{F}{S}$  で、これを其の面の平均照度と稱へ、光束分布が一樣ならば表面上の各點に於ける照度とする。光束の分布が一樣でない場合には微小面  $\Delta S$  に投ずる部分的光束  $\Delta F$  を平等分布と考へ、此の微小面を點と見做して  $E = \frac{\Delta F}{\Delta S}$  を其の點の照度と稱する。

何れの方向にも1燭光を有する光點を中心とする半径1米の球面を考へると、中空球の内面積は  $4\pi$  平方米で光源の全光束は  $4\pi$  ルーメンなる故、1平方米に付1ルーメンの光束密度即ち1ラックスの照度を有する。斯やうに1ラックスは1燭光の光點から1米を距てた點の照度であるから、之れを1燭米 (meter-candle) と云ひ、又1フォトを1蠟燭とも呼ぶ。

之れに對して1燭光の光點から1呎離れた點の照度を1燭呎 (foot-candle) と稱し、1平方呎に付1ルーメンの光束密度を有する。

### 13. 照度と光度—逆二乗の法則

半径  $r$  米の球面の面積は  $4\pi r^2$  平方米で、其の中心に凡べての方向の燭光  $I$  の光源を置けば、全光束は  $4\pi I$  ルーメンなる故、球面上の一點に於ける照度  $E$  は

$$E = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2} \text{ 燭米}$$

即ち被照點に向ふ光源の光度  $I$  燭光で光源から  $r$  米の距離に在る點の照度米燭は光度に正比例し距離の二乗に逆比例する。之れを逆二乘法則

(inverse square law) と稱す 第 14 圖 甲

然し此の法則は光源が極めて

小さく光束が一點から出ると認め得る時の散光に限り適用され

平行光束には成立しない。又光

源と被照點との周圍が黒くて反射の影響を受けず、兩點間の途中で吸収がないものとする。尙ほ反射器を用ひた時に距離が近いと光束は光源から擴散すると考へられないから、此の法則を適用することは出来ない。

光束の分布が一樣でなく微小立體角  $\Delta\omega$  内に平等光束  $\Delta F$  が通り、此の方向の光度  $I$  なる時は、光度と光束との關係式から

$$I = \frac{\Delta F}{\Delta\omega} \quad \therefore \quad \Delta F = I \cdot \Delta\omega$$

又  $\Delta\omega$  内に含まれる受光面上の微小面積  $\Delta S$  が光源から  $r$  の距離で入射角  $\theta$  の光束を受けると、此の點を通る球面上の  $\Delta\omega$  に含まれる微小面積が  $r^2 \cdot \Delta\omega$  なる故、受光面上の微小面積は

$$\Delta S = \frac{r^2 \cdot \Delta\omega}{\cos \theta}$$

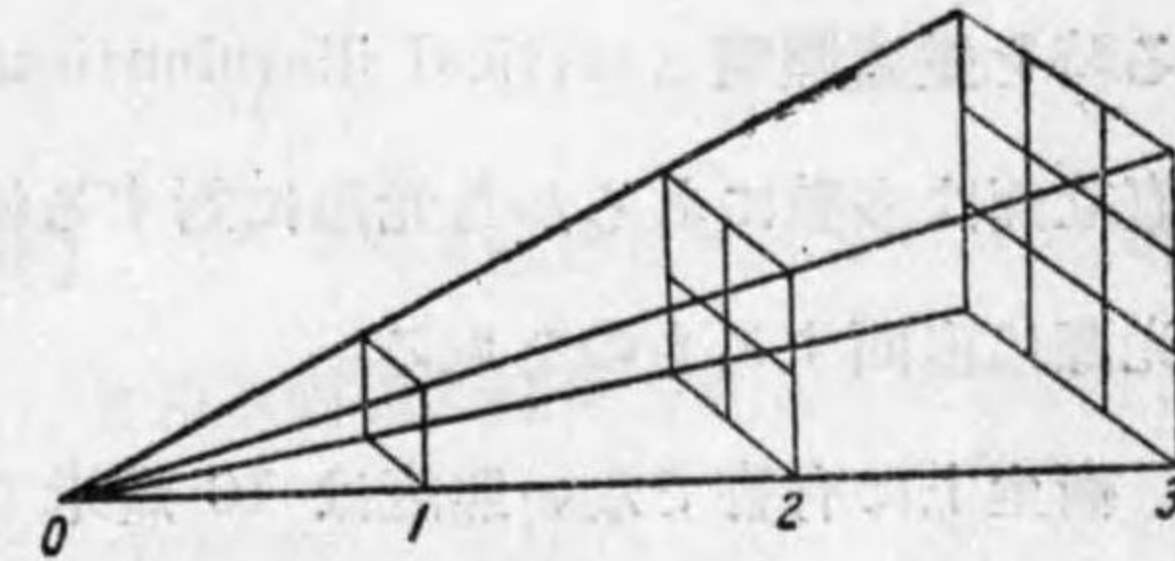
故に  $\Delta S$  に於ける照度  $E$  は定義により

$$E = \frac{\Delta F}{\Delta S} = \frac{I \cdot \Delta\omega \cdot \cos \theta}{r^2 \cdot \Delta\omega} = \frac{I \cos \theta}{r^2}$$

受光面が入射光束に垂直なる時の照度を

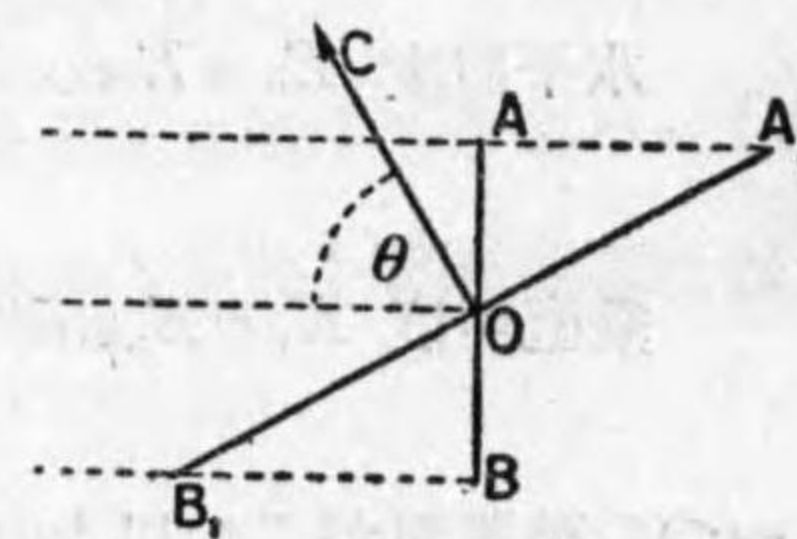
全照明 (total illumination) 又は法線照

明 (normal illumination)  $E_n$  と云ひ、光束に無關係に受光面が水平なる



逆二乘法則

第 14 圖 乙



照度の餘弦比例

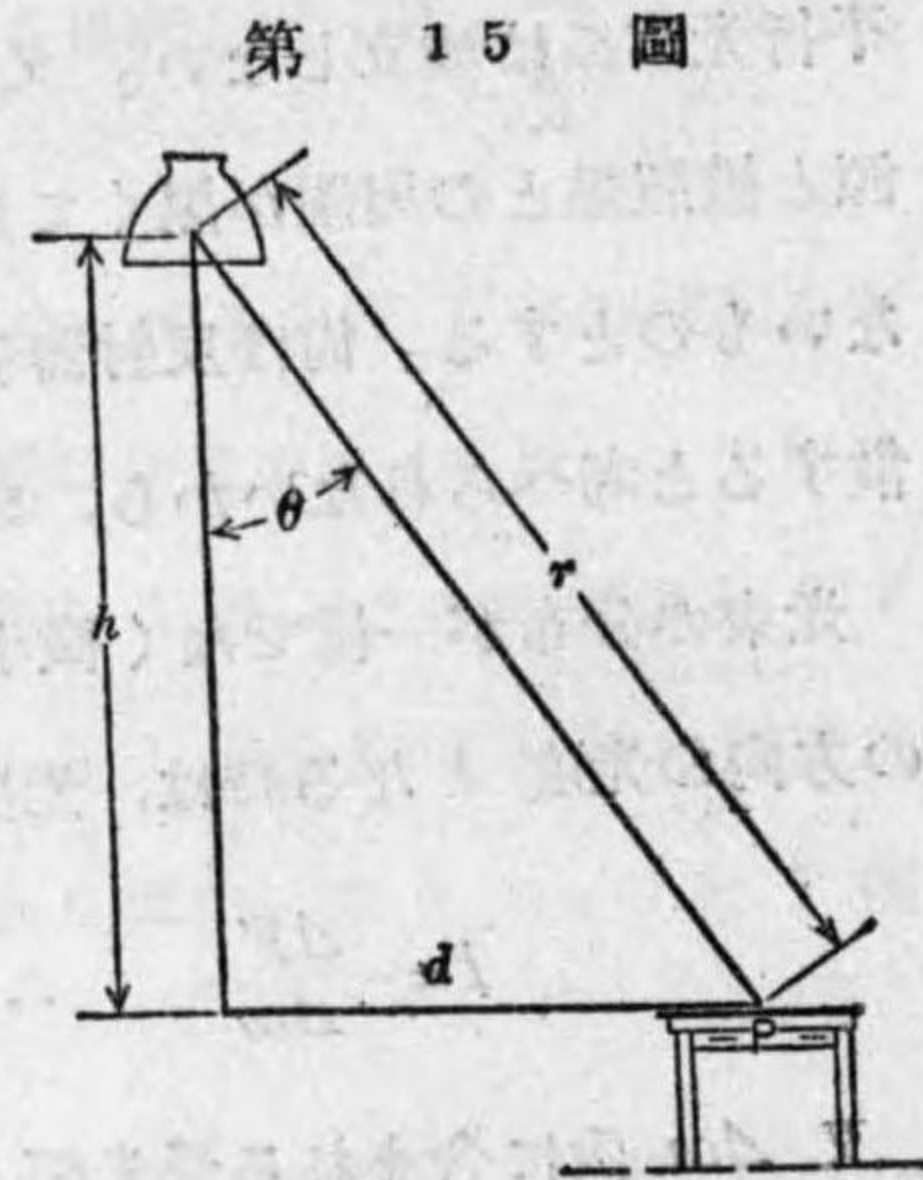
場合は之れを水平照明 (horizontal illumination)  $E_h$  と呼び、直立面なる時を垂直照明 (vertical illumination)  $E_v$  と稱へる。但し一點を通る直立面は多数にあるから光源に対する位置を明示すべきであるが、普通に光源に直面するものを取る。

衛生上に有害でない照度は 10 燭米で、水平机上の読書面の如きは水平照度で表し、壁畫の如きは垂直照度を以て示す。

光源から水平面に下した垂線の長さ即ち光源の水平面上の高さを  $h$  とし垂線の足から受光点までの距離を  $d$  とせば  $r^2 = h^2 + d^2$  にして

$$\sin \theta = \frac{d}{r} = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

$$\cos \theta = \frac{h}{r} = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$



第 15 圖 照度計算

$$\text{法線照度 } E_n = \frac{I}{r^2} = \frac{I}{h^2} \cos^2 \theta = \frac{I}{d^2} \sin^2 \theta$$

$$\text{水平照度 } E_h = E_n \cos \theta = \frac{I}{r^2} \cos \theta = \frac{I}{h^2} \cos^3 \theta = \frac{I}{d^2} \sin^2 \theta \cos \theta$$

$$\text{垂直照度 } E_v = E_n \sin \theta = \frac{I}{r^2} \sin \theta = \frac{I}{h^2} \sin \theta \cos^2 \theta = \frac{I}{d^2} \sin^3 \theta$$

一つの被照面が二つ以上の光源から照らされる場合には、各光源に就いて單獨に前記の計算を行ひ、後に之れ等を加算すればよい。

然し實際問題としては屋外照明を除き一般に周囲の反射や吸収によつて

相當の影響を受け、遺憾ながら斯やうに至極簡単に片付けて了へない。

## 14. 輝度と餘弦法則

一次光源の發光面や二次光源の反射面又は透過面の或る方向に於ける投射面積の毎平方糎當り燭光數を此の方向の燭光輝度 (candle-power brightness) と稱へる。

光源の表面に直角なる方向から見た時の輝きを法線輝度 (normal brightness) と云ひ、表面積  $S$  より垂直に  $I_0$  燭光を出す光源の法線輝度  $b_0$  は  $b_0 = \frac{I_0}{S}$  にして  $S$  なる面の平均法線輝度を表す。

光度の分布が一樣でなく、其の微小面積  $\Delta S$  から出る光度  $\Delta I$  を平等と見做し得ると、此の微小面の垂線と視線とのなす角が  $\theta$  ならば、視線の方向に於ける  $\Delta S$  の投射面積は  $\Delta S \cdot \cos \theta$  なる故、其の點に於ける輝度  $b$  は

$$b = \frac{\Delta I}{\Delta S \cos \theta}$$

$$\therefore \Delta I = b \Delta S \cos \theta = \Delta I_0 \cos \theta \quad [\Delta I_0 = b \Delta S]$$

故に完全擴散面に於けるが如く光源の表面から垂直に出る光度  $I_0$  の時には、垂線と角  $\theta$  をなす方向の光度は  $I_0 \cos \theta$  にして、其の配光は  $I_0$  を直径とする球形面なることを知る。之れを發光に関するラムバート氏餘弦法則 (Lambert's cosine law) と稱し、斯やうな面を餘弦法則に従ふ面と云ふ。

表面の輝きを單位面積當りの光束で表せば、毎平方糎に 1 ルーメンを出す完全擴散面を標準とし、其實用單位をラムバート (lambert) と名づけるが、實際上には其の 1000 分の 1 なるミリラムバート (milli-lambert)

が便利である。斯く光束で表した輝きを固有幅射 (specific radiation) 又はルーメン輝度 (lumen brightness) と云ふ。

餘弦法則に従ふ完全散光性の表面  $\Delta S$  から出る光束  $\Delta F'$  の時のルーメン輝度  $l$  にして、面の反射率を  $\rho$ 、入射光束  $\Delta F$  に対する照度  $E$  とせば

$$l = \frac{\Delta F'}{\Delta S} \quad \Delta F' = \rho \Delta F \quad E = \frac{\Delta F}{\Delta S}$$

$$\therefore l = \frac{\rho \Delta F}{\Delta S} = \rho E$$

照度は受光面の入射光束密度で光源の光度と被照面の距離とに關係し、輝度は擴散光束の密度であるから、反射面では照度と反射率とに比例し反射の方式によつて違ふ。故に完全擴散性で吸収及び透過なき  $\rho=1$  の反射面では輝きは其の照度に等しい。

## 15. 光の量と質

光度や照度、輝度は光束数や光束密度で表はし得る量であるから、斯かる量を光度量 (photometric quantity) と稱へ、此の外に尙ほ次の如きものがある。

光輻射エネルギーの移動する時間割合、即ち光束と其の流れを保つ時間との相乗積は、光輻射エネルギーの量を表すもので、之れを光量 (luminous quantity) と稱へ、1 時間 1 ルーメンを通ずる光輻射エネルギーをルーメン時 (lumen hour) と云ふ。光束の代りに光束の燭光を用いた單位を燭時 (candle hour) と稱へる。

又同様に照度と時間との相乗積を露出 (exposure) と云ひ、其の單位にフォト秒 (photo-second) が用ひられる。

凡べての光度量は光度標準器を用ひ直接又は逆二乗の法則に従ふ照度を比較して測定することが出来る。例へば光度を測定するに標準燈と供試燈との光度が  $I$  と  $J$  で、各々から  $r$  と  $s$  との距離に在る面の照度を等しくすれば、逆二乗の法則によつて

$$\frac{I}{r^2} = \frac{J}{s^2} \quad \therefore J = I \left( \frac{s}{r} \right)^2$$

此の關係式より容易に光度を算出し得る。斯うして光度を測定する計器を光度計 (photometer) と云ひ、他の光度量測定にも夫々の計器がある。其の詳細は光度量測定と題する章に譲る。

光度量に對して光の色合ひの如きは光束の性質に關するもの故、之れを光質 (luminous quality) と稱し、スペクトル分布の有様によつて定まる。

光束の性質を表す色合ひには色相 (hue)、飽和度 (saturation) 及び輝度の三要素がある。色相は色の種類で光波の波長と略ぼ一定の關係を有するが、輝度で左右せられる。例へば輝度が普通で橙黄色のが高い輝度では黄色に又低いと茶褐色になる。

飽和度は純粋度 (purity) とも稱し白色を混ずる程度によるもので、單色スペクトル光 100 % の飽和度とし、白色を加へ色の冴えが降つて遂に原色を失ふ時の飽和度を零とする。故に白色は色相を含まず、飽和度の零なる極限の色と考へる。

凡べての色光はスペクトルの色相を原色として混成せられ、混成の割合が變はると異なつた色光を表す。二色を混じて白色となれば二色を互に補色 (complementary colour) と云ひ、共に單光色とは限らない。例へば日

光は種々の波長の色相が集つて生じた白色光だが、赤色光を取去ると他の種々の波長を含む青緑色を呈する。

光色を完全に研究するにはスペクトル分析により各波長毎に其の輝度を測るを至當とするが非常に煩に堪へない。然るに凡べての光色は三原色例へば青緑赤を適當に混ざると最も近似なものが得られるから、種々の光源を比較するのに、比較する色と同等になるやう三原色例へば青緑赤の各輝度を此等三種の濾光板 (colour filter) を通して来る光だけに就いて測り、其の百分率で光色を決定する方法が用ひられる。

## 16. 光の色と物体の色

光の色はスペクトルを基準

とするが物体の色は本来固有のものでない。次に之れを説かう。

I 発光体の色 既に述べた如く白熱作用による場合は発光体の温度によつて異なり、瓦斯體を通じて放電するルミネセンスの場合は瓦斯體の種類で違ふ。何れも輻射される光波の波長によつて限定される。

現今の人工的燈火は多少の色を有する直接光を放つ光源で、晝と夜とで受光する物体が違つて見えるのは日光と燈火光とが其の質を異にするからで、此の缺點を除くには日光と同質の燈火光を用ひるがよい。蓋し受光体の色は次に説くが其の透過光又は反射光によつて定まるためである。

II 反射面の色 受光体の表面が或る色光を割合に多く反射すると其の物体は此の過剰反射光の色を呈する。入射する日光の組成の割合を變へずに反射すると、其の物体は白色、灰色乃至黒色を帯びる。此の白灰黒の別は反射光の入射光に對する比によつて程度を異にし、反射光が多く此の比が大きいと白く、此の比が減ると灰色の濃さを増し、反射光を缺けば黒

色となる。但し入射光を全く反射する絶對白色又は全く吸収する絶對黒色の物体は實在しないのである。

III 透光体の色 着色硝子の色の如きは割合に多く透過する光の色を意味するが、透過に伴ふ吸収のため反射光とが組成を異にし、反射側で見た色と透過側で見た色とが違ふものがある。

一般に日光を標準として物体の反射光又は透過光の色を其の物体固有の色と思ふが、着色體を有色光で照らすと其の物体の性質と入射光の組成とによつて違つた色を現す。

然し物体の色は或る色のみを選択して反射又は透過するのでなく即ち單光色と限らず、他の光も幾分か混じて居るのは、或る單一波長の光波をのみ物体が選擇するのでなく、或る範圍の波長を有する光波を反射又は透過するからである。然し透過光は吸収によつて厚い物ほど單光色に近づく。

以上の理を應用し光の色は混成して加減することが出来るし、物体の色は色彩光により變化させられる。故に色彩照明を適當にすれば物体と其の周圍との色の差を或は大に或は小に改めることが出来る。

色光を混合して混成色光を作ること色彩混合の加法 (additive process) と稱し、混成色光によつて受光体の色を變成することを色彩照明の減殺法 (subtractive process) と云ふ。

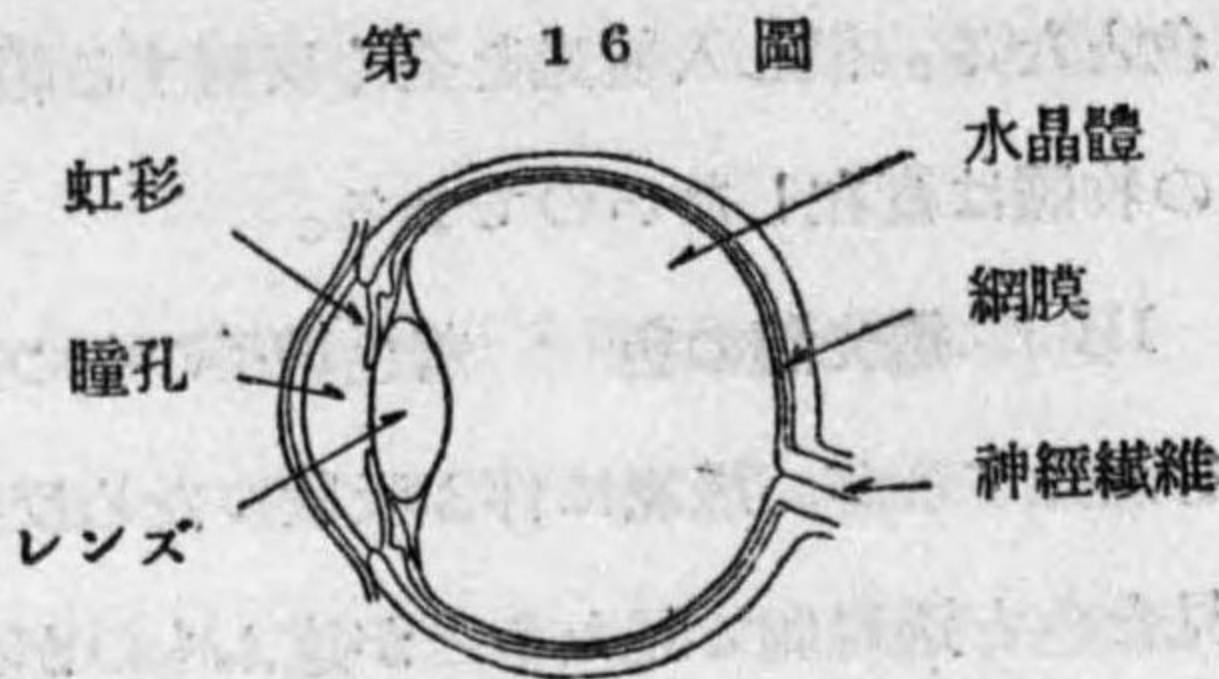
## 17. 光の生理作用

肉眼は照明の根本で光度の大小、

照明の強弱、色彩の識別等は其の生理作用 (physiological effect) に基く。

I 視覚作用 眼は寫眞暗函 (camera) に似て眼球の前方にレンズの働きをなす水晶體があり、視神經の末端は眼底の全面に分布して網膜とな

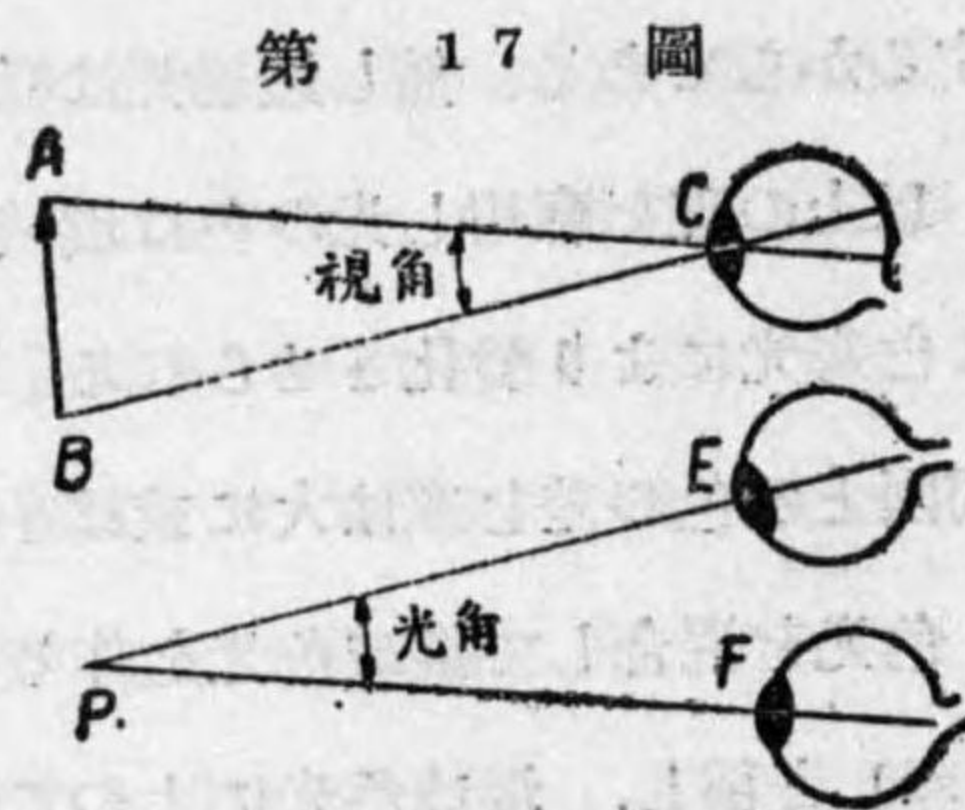
る。故に物體を見れば網膜上に其の倒立像を生じて視神経を刺戟し、其の神経興奮は神経纖維を経て神経細胞の密集する視覚中樞に傳へられて視覚を感じしめる。



第 16 圖 肉 眼 の 構 造

網膜上の光の感覺は光の去りたる後も少時間持續し殘像を認めしめる。故に扇形の開口を有する高速度廻轉板で光の流れを切ると、元の光度の幾分か光を遮らず照らしたやうに見える。これをタルボー氏效果 (Talbot effect) と云ふ。

眼に見える物體の見掛の大きさは像の大きさ、従つて物體が眼に於て含む角即ち視角 (visual angle) によつて定まる。遠近の二物體が同一の視角を有するとき其の眞の大きさを誤らしめないのは、注視する點を兩眼に結ぶ二線の含む角即ち光角 (optical angle) の大小により、距離の相違を判定し得るからである。又遠近の物體を明視し得る



第 17 圖 視 角 と 光 角

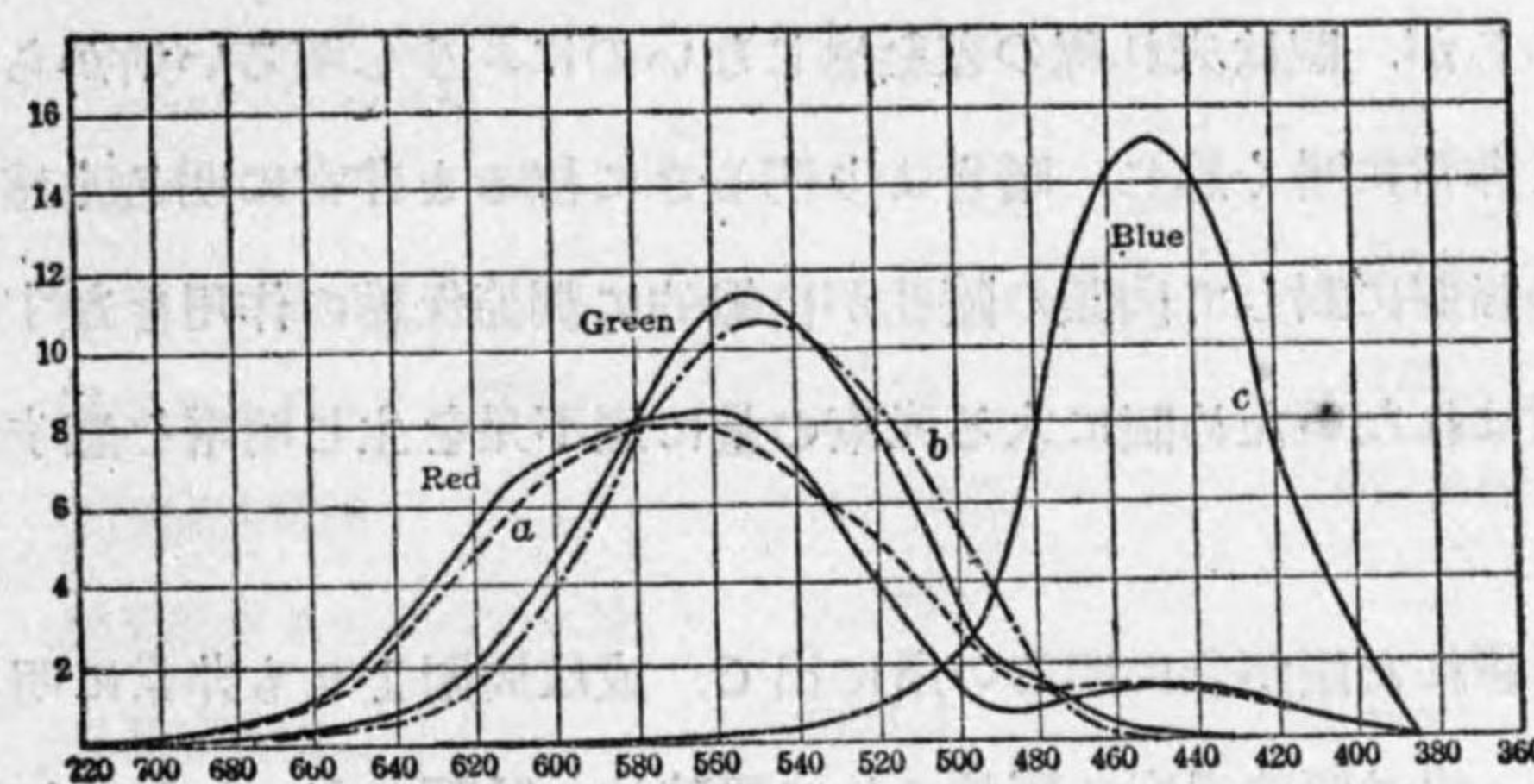
のは、其の像を網膜上に結ぶやう眼は生理的に水晶體の彎曲度を變じ、其の焦點距離を調整するからである。

眼球は瞳孔の收縮擴大によつて進入する光束の量を自動的に調整する。然し眼瞼の構造は下方よりの光には充分に働かし得ないから注意を要する。視神経は強い照明では疲勞して痴鈍となり、弱い照明に對し休息して

鋭敏となる。

II 肉眼の感度 異色光の強弱を比較するのに各人の感度は同一でない。故に多人數の感度を平均した値を有する平均眼 (average eye) を假

第 18 圖



比 較 感 度

想して測定の基とする。此の平均眼は普通の照度では黄綠色光に對して鋭敏であるが、高い照度では長波長の方に移り黄色光の感度が大きくなり、低照明では短波長の方に移り青味を帶ぶ綠色光に對し最大感度を有する。此の現象をパーキンジェ效果 (Purkinje effect) と云ふ。

光の眼に感ずる割合は照度によつて對數的に變化する。最小感度を標準とし之れに對する照度を  $E_0$  とし、或る照度  $E$  に對する感度を  $L$  とせば

$$L = A \log \frac{E}{E_0} \quad \text{但し } A \text{ は常數とする。}$$

之れをフェヒナー氏の法則 (Fechner law) と云ふ。依つて照明の變化は眼の感度に大した影響がない。例へば照度が 1 から 1000 に變つた場合は照度が 1 から 2 に變つた時の 1000 倍であるが、感度は  $\log 1000$



$=3$  と  $\log 2=0.3$  との比で僅に 10 倍の變化に過ぎない。故に眼は廣い範圍の照度に應じ得るのである。

III 明暗の對比 明るい物と暗い物とを列べて比較すると照度の差は僅でも眼は之れを能く感ずる。例へば白晝の照度は満月に依る値の百萬倍程もあるが、眼は夫れ程の差を感じないのに、少し明るい所から暗い所に行くと非常に暗く感じ、暗きより明るきに移ると非常に明るく感ずる。之れ光の強弱に對して肉眼の瞳孔が自動的に調節保護の作用をなすも、瞬時的に行はれないため眼に入る光束の量に過不足を生じ明暗を感ずるのである。

暗きに馴れた眼が急に明るい所に出で、或は周圍よりも非常に明るい物を見ると、視神経は過度に刺戟されて瞬時的に眩輝 (glare) を感じ鋭敏を缺くやうになる。

鋭い陰影は著しい明暗の對比で、不快を感ぜしめるから、一室内の明暗の差が少い照明がよく、一つの物體と其の周圍との輝度の比を 100 以下とする。然し絶対に陰影のないのは眼の衛生上から次項の理由により面白くない、宜しく中庸を得た穩かな照明を選ぶべきである。

IV 眼の疲勞 可なり強い照明を相當の時間受けると刺戟によつて眼は徐々に疲勞する。若し長い時間眼を休息させないと極端に疲勞して幻視又は不快を感ぜしめる。故に比較的暗い所に眼を轉じて少時間眼を休息させ疲勞を回復させる必要がある。従つて不必要な所迄も強い平等照明とするのは衛生上のみならず經濟上からも面白くない。

電球の織條が白熱すると太く見えるのは映像が網膜上に生ずる部分の外圍までも神経末梢を刺戟するため起る錯覺である。即ち輝度が高いと皮相

第 2 表

光 源	輝 度 燭光/平方耗	固有消費量 ワット/燭光
太 陽	1240	—
最新探照燈	620	—
開放弧光燈火坑	94—170	0.5
タングステン弧光燈 (point-to-hite)	18.6	—
瓦斯入タングステン球	7.7—8.2	0.58—0.67
發 焰 弧 光	7.75	0.34
真空タングステン電球	1.55	1.25
炭素織條電球	0.46—0.75	3.1—4.0
艶消真空タングステン球	0.0155	—
月及び青空	0.00:1	—

$$1 \text{ cp}/\square'' = 0.00155 \text{ cp}/\text{耗}^2$$

面積は投射面積より大となる。斯やうに輝度の高い光源は眼を甚しく刺戟するから短時間でも直視すると眼を傷める。肉眼で正規して差支ない程度は 1 平方耗に付 0.3—0.5 燭光で、高くても 0.8 燭光を越えては良くない。然らずんば光源を直接視界に入れぬやう高く吊るか、適當な反射笠又は外球を付け、又は間接照明法を施すべきである。

## 18. 光の心理作用

感神経の生理的活動を感覺と稱へ、之れに伴ふ心理作用 (psychological effect) を感應と名づけると、色彩は感覺を與へ感應を伴ふ。其の程度は色相、輝度及飽和度に從つて變化す。

I 色相に伴ふ心理作用 主なる色相に固有なるもの下の如し。

色相	感 覺	感 應
1 赤色	興奮性	勢力 熱情 輕躁 喜悅
2 黄色	稍興奮性	暖味 喜樂 平和 向上 高貴
3 青色	沈 靜	冷味 陰鬱 平和 深遠
4 綠色	青と黄の間	平穩な喜樂 平和 健全
5 堇色	赤と青の間	不完 優麗 高貴
II 輝度に伴ふ心理作用 白灰黒の三色は色相でなく輝度を表す。		
1	白色は快活, 喜樂, 神聖, 潔白, 靜淨, 素朴	
2	黑色は眞面目, 嚴肅, 莊重, 寂寞, 悲哀	
3	灰色は白色と黑色との中間に位し, 其の濃淡で何れかに偏する。	
III 飽和度に伴ふ心理作用 主なる色相に白灰を混ずるとする。		
1	赤色に白色を混ずれば興奮的喜樂, 黑色を混ずれば嚴肅な勢力	
2	黄色に白色を混ずれば平穩な快活, 灰色によつて興奮性を減じ, 黑色を混ずると中性無興奮となる。	
3	青色に白色を混ずれば平穩な喜樂, 黑色を混ずれば嚴肅な平穩	
4	綠色に白色を混ずれば興奮性, 黑色を混ずれば嚴肅	
5	堇色に白色を混ずると快活性に近づき, 黑色を混ずれば陰鬱性となる。	
又二色の配合により快不快の念を生ずる組合せがある。		
佳良	赤と青 朱と青 橙と青 黄と紫 綠黄と赤紫	
不可	赤と紫 赤と黄 黄と綠 綠と朱 朱と紫	
以上は物體の色彩に就いても色彩光に於ても同様である。		
斯く色彩は吾人の心理状態に變化を與へるから, 照明の目的用途に應じ		

て適當な電燈及び燈具を選択しなければならない。

## 19. 摘 要

本章で説いた事項は講義の基礎で其の要點は次の如くである。

1. 光は波動の現象から物理的に見る主觀的觀察と, 光として眼に感ずる生理的又は心理的效果から見る客觀的觀察との二通りの見方がある。さうして電燈として發光の方と照明として受光の方とから研究すべきである。
2. 電氣發光の方法に溫度輻射とルミネセンスとの二法がある。溫度輻射は電氣エネルギーを熱エネルギーに變じ, 光輻射エネルギーを發せしめるもので, ルミネセンスは電氣エネルギーを直ちに光輻射エネルギーに變へるものである。
3. 光度量を表示すると次の如くである。

光度量	記號及定義	單位名稱
光 度	$I = \frac{\Delta F'}{\Delta \omega}$	燭
光 束	$F'$	ルーメン
照 度	$E = \frac{\Delta F'}{\Delta S} = \frac{I}{r^2}$	ルーメン/平方呎, 燭米, フォト
輝 度	$b = \frac{\Delta I}{\Delta S \cos \theta}$ 又は $\frac{\Delta F'}{\Delta S}$	燭光/平方呎, ルーメン/平方呎 又はラムバート
光 量	$Ft$	ルーメン時又は燭時
露 出	$Et$	フォト秒, 燭米時

$$(\text{平均水平燭光}) \times (\text{球面換算率}) = (\text{平均球面燭光})$$

$$(\text{全光束ルーメン}) = 4\pi \times (\text{平均球面燭光})$$

4. 反射には整反射, 完全擴散反射, 指向不整反射及び其の組合せがあ

る。透過も反射と同様に分類される。透過に伴ふ屈折により全反射の作用を生ずることがある。反射及び屈折を適當地利用すれば配光を變ずることが出来る。反射器、外球、投射器等は此等を應用せるものである。

5. 光質を表すには色相、飽和度及び輝度を用ひる。何れも視覚作用と心理作用とを異にす。故に照明を施すには其の目的に應じて此等を適當に選擇すべきである。

### 問 題 1

1. 電燈の發光現象を物理的に二大別し例を擧げて説明せよ。

(遞試大正 13 年 2 種)

2. 我國に於ける光力の單位を記述せよ。(遞試大正 13 年 3 種)

3. 平均水平燭光及平均球面燭光の意義を説明すべし。白熱電燈球に於て普通使用する燭光は前項の何れによりて表示せらるゝや。

(遞試明治 44 年 5 級)

4. 光の反射を三種に區別し其各に關する法則を説明せよ。

(遞試大正 9 年 1 級)

5. 下記の術語に就き其の意義を説明せよ。

- |                |                                    |
|----------------|------------------------------------|
| (イ) 配光曲線       | (遞試大正 11 年 3 種, 大正 5 年 5 級)        |
| (ロ) 光 度        | (遞試大正 1 年 3 級)                     |
| (ハ) 光 束        | (遞試大正 13 年 2 種, 9 年 3 級, 14 年 3 級) |
| (ニ) ルーメン       | (遞試大正 9 年 3 級, 大正 1 年 3 級)         |
| (ホ) 照 明        | (遞試大正 5 年 5 級, 大正 1 年 3 級)         |
| (ヘ) 全 照 明      | (遞試大正 6 年 4 級)                     |
| (ト) 水平照明, 垂直照明 | (遞試大正 13 年 3 種, 9 年 5 級, 2 年 4 級)  |

- |                      |                                   |
|----------------------|-----------------------------------|
| (チ) 燭呷 (foot candle) | (遞試大正 11 年 3 種, 大正 5 年 5 級)       |
| (リ) 輝き (輝度)          | (遞試大正 13 年 2 種, 9 年 3 級, 1 年 3 級) |
| (ヌ) 擴散反射             | (遞試大正 6 年 4 級)                    |
| (ル) ラムバート            | (遞試大正 9 年 3 級)                    |
| (ヲ) 固有輻射             | (遞試大正 13 年 2 種)                   |
| (ワ) 眩 輝              | (遞試大正 13 年 2 種)                   |

6. 視覚上最も高き能率を有する光の色を下記の場合に就き記載せよ。

(イ) 高度照明 (ロ) 普通程度照明 (ハ) 低度照明

(遞試大正 5 年 3 級)

7. 10 燭光白熱電燈より 10 尺の距離に於ける照明は 16 燭光白熱電燈より 20 尺の距離に於ける照明の何倍に相當するや。

答 2.5 倍 (遞試大正 1 年 5 級)

8.  $L_1, L_2$  なる電燈を下圖の如く配置 第 19 圖

し  $P$  なる面を兩側より垂直に照らさし

めたるに  $D_1=80$  種,  $D_2=160$  種のと

き同一照明を與へたりと云ふ。 $L_1$  の光

力を 8 燭光とせば  $L_2$  の光力は何燭光なりや。

答 32 燭光 (遞試大正 7 年 5 級)

9.  $L_1=10$  燭光及  $L_2=40$  燭光の兩電球を前圖の如く配置し  $P$  なる面を兩側より垂直に照し同一照明を與へたるに  $D_1=2$  尺なりと云ふ。 $D_2$  は幾尺なりや。

答 4 尺 (遞試大正 11 年 3 種)

10. 50 燭光の電燈より直下に 4 尺を距つる點の水平照明を求む。

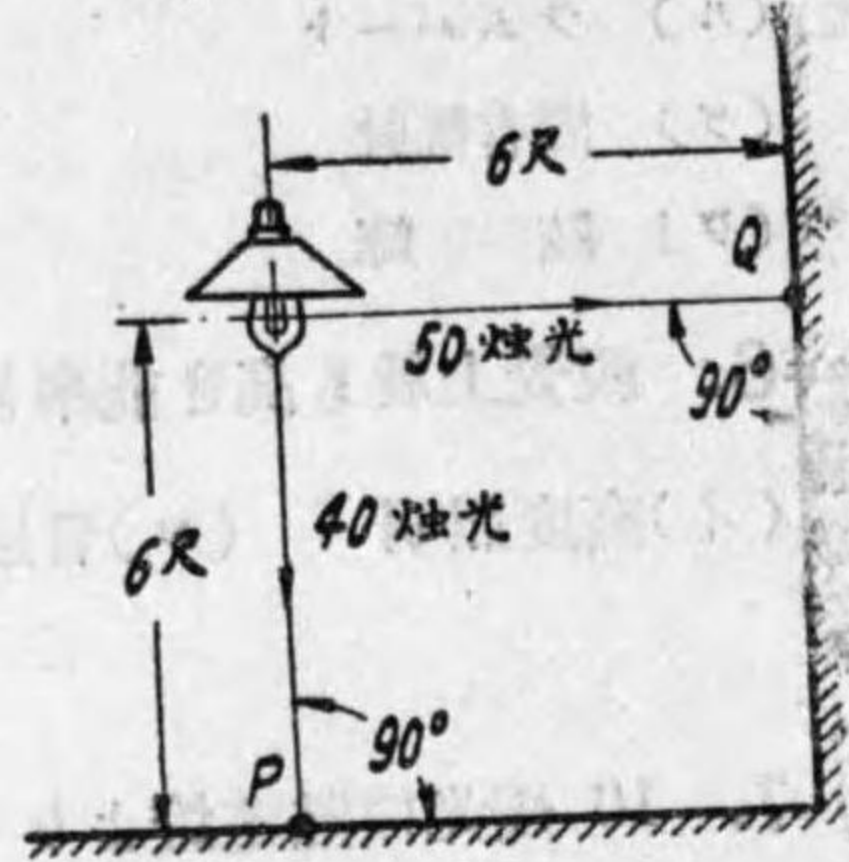
答 3.13 燭尺 (遞試大正 8 年 5 級)

11. 50 燭光笠付タングステン電球を机上 6 呎の高さに點せるあり。

直下に於ける机上の照明は 1.5 燭呎なりと云ふ。其の方向に於ける燭光幾何なるか。  
 答 54 燭光 (遞試大正 14 年 3 種)

12. 下圖の場合に於ける P 點及 Q 點の各に於ける水平及垂直照明を算出せよ。但し壁及床等よりの反射は之を無視するものとす。

第 20 圖



答 P 點の  $E_h=1.11$  燭尺,  $E_v=0$   
 Q 點の  $E_h=0$ ,  $E_v=1.39$  燭尺

(遞試大正 9 年 5 級)

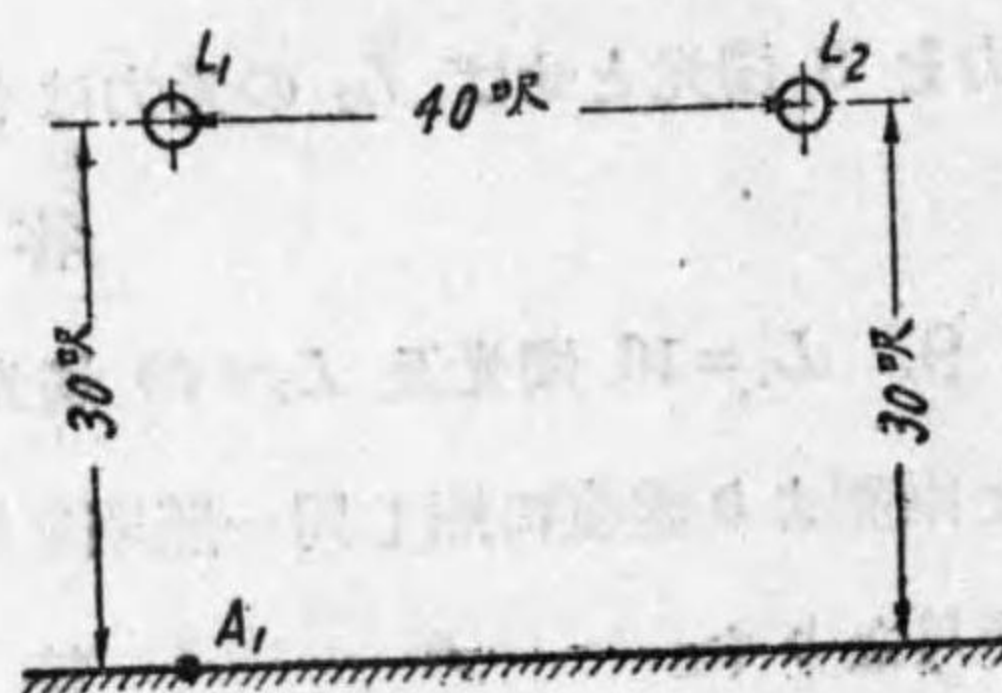
13. 地表上 15 尺の高さに F 熱電燈を裝置し街路照明をなす場合に電燈の直下より 20 尺の位置に於ける P 點の全照明, 水平照明及垂直照明を算出せよ。但し電燈の P 點に向ふ方向の光力は 50 燭光とす。

答  $E=0.08$  燭尺,  $E_h=0.43$  燭尺,  $E_v=0.064$  燭尺

(遞試大正 5 年 4 級)

14. 圖の如き屋外照明あり。電燈  $L_1$  及  $L_2$  は各方向に 500 燭光の光度を與ふものとす。  $L_1$  の直下點  $A_1$  に於ける水平照明を算出せよ。

第 21 圖



答 0.676 燭呎

(遞試大正 12 年 3 種)

# 電機學校出版書籍正價表

著者	書名	正價	郵 税		表 裝
			内地	外洋	
東京電力會社工務次長 FC工業株式會社 取締役兼技師長	工學士村尾 栗 齋藤正平 電機學校 嶺岸久治	電氣通論 3.60 電氣用絶縁材料 5.50 電氣用英語(前編) 1.30 同上(後編) 2.70	26	26	クロス
芝浦製作所技師	工學士清水莊一郎 電機學校 松瀬勇雄	電氣機械(前編) 3.20 同上(後編) 4.20 汽力發電所 3.50	24	24	同
スチングハウス 社技師	工學士高津 清 信技師	電氣磁氣測定及測定器 4.60 電氣鐵道 3.20	27	30	同
スチングハウス 社技師	工學士米澤政治郎 工學士松瀬勇雄	瓦斯力發電所 1.00 電氣電話學 2.20	16	16	同
北電氣製作所 技師	工學士若目田利助 電機學校 福田 昭	蓄電池 1.30 水力發電所(前編) 3.30 同上(後編) 5.20	18	18	同
東邦電力株式會社 技師	工學士同 電機學校 同	交流理論 1.30 電氣技術高等學大意 2.50	18	18	同
早稻田大學教授 遞信技師	工學士坪内信太郎 荒川大太郎 電機學校 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上	無線電の理論と應用 1.70 電氣用製圖學(前編) 1.00 電氣用算術 1.80 電氣用代數學 2.50 電氣用幾何學 1.50 電氣用三角法 2.00 電氣用化學 2.20 電氣用物理學 2.40 初等電氣通論 1.40 計算尺使用法 0.15 電氣技術者資格檢定 試驗問題並に解答	18	18	同
		明治四十四年度臨時 大正一年度 0.50 大正二年度 0.40 大正三年度以降各年度分冊 0.50	4	4	同
	電機學校 同上	電機學校一覽 1.20 三角函數並諸對數表 0.20	8	8	同
鐵道技師 東電川水力電氣 株式會社技師	工學士米澤政治郎 工學士上司東一郎	高等科{電氣鐵道 汽力發電所 1.35	4	4	紙同

發行所 電機學校 東京市神田區錦町電話神田(25)局代1121(4)番  
 三丁目十七、八番地 振替口座東京 13184 番  
 特約 (オーム社 神田錦町三丁目一八 オーム社大阪事務所 大阪北區堂ヱル内  
 電氣之友社 京橋新橋際 電氣之友社支社 大阪北區堂島中二丁目  
 販賣所 六合館 日本橋數寄屋町九電界社 大阪北區若松町二六



不許  
複製

昭和二年五月十七日印刷

昭和二年五月二十日發行

編輯兼發行者 電機學校

代表者 加藤靜夫

東京市神田區錦町二丁目二番地

印刷者 浪岡具雄

東京市神田區錦町三丁目十八番地

印刷所 株式會社才一社印刷部

東京市神田區錦町三丁目十八番地

發行所 電機學校

東京市神田區錦町二丁目二番地

終