

# 自動車用日立カーボンパイル発電機について

久 米 平 助\*

## On the Hitachi Carbon Pile Type Dynamo for Motor Car

By Heisuke Kume

Taga Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The charging dynamo for motor car hitherto had unfavourable characteristics and default of contact points. The Hitachi Carbon Pile Type Dynamo is so-called non contact point type one, and has no demerits mentioned above.

By inserting the field current coil and load current coil into the magnet coil of carbon pile regulator, this type dynamo shows practically excellent characteristics especially under low speed and heavy load condition.

In this paper, theoretical and experimental research on this new type charging dynamo is described in detail.

### 〔I〕 緒 言

自動車用日立カーボンパイル発電機は、自動車に装備される蓄電池の充電と、点灯とを行うものである。自動車用発電機が充たさねばならぬ点は、車速の変動、冷熱の変化に対して略一定の出力を出し、蓄電池の充電特性に適応した性能を持ち、又点灯負荷の変動に対して即応する容量と特性とを持たねばならない。特に近時バス車の如く、点灯数の増加と明るい照明とを要求する車の出現により、この点が強く要求されるようになった。尙取扱いの簡便なことと、耐久性、信頼度の高いこととは、大衆的自動車部品の不可欠の要点である。従来この方面に使用されているチリル調整器付発電機、及び第三刷子式発電機は、共に欠点を持ち完全なものでなかつた。又先に発表した HC 充電発電機は、大きさと価格の点で自動車用としては不適當である。これらの欠点を除いた理想的自動車用発電機の出現に努力中であつたが、この目的に最も近い、日立カーボンパイル発電機と称する自動車用発電機を完成し得、既に業界の好評を博している。ここにこれの原理を概説し、本機の特性の試験結果について述べ、併せてこれらに対する考察を行つた。

### 〔II〕 自動車用発電機の必要條件

自動車用発電機として要求される事項は次の如くであ

\* 日立製作所 多賀工場

る。

(1) 自動車は航空機その他に比較して車速の変動が甚しく、従つて発電機回転数で低速 1,000 r. p. m. より高速 4,000 r. p. m. までの4倍の速度変化に対して、電圧一定であること。

(2) 自動車用蓄電池の充電特性に合致した合理的な特性であること。即ち、充電初期に於ては大電流を出し、充電の進行に伴い、電流が減少する充電特性を持ち、且つ、十分な容量であること。

(3) 保守及び、取扱いが簡単で、故障がなく、信頼度の高いこと。

(4) 小型軽量で、値段の安価なこと。

### 〔III〕 自動車用発電機の諸方式

(1) 自動車用発電機の従来方式 従来一般に広く使用されている方式は、次の二種類である。

(A) チリル調整器付発電機

(B) 第三刷子式発電機

チリル調整器付発電機は、その電気的特性が車の要求に合致する良好なものである。そのために本式は、従来より使用され、最近構造もやや強固なものとなつたが、調整器の取扱いが困難で、然も、接点の損傷が必然的に起り、高度の信頼性に乏しい欠点は解消されていない。

第三刷子式発電機は、構造、取扱い共に非常に簡単であるが、その電気的特性が車の要求に合致しない。即ち、

充電初期には充電電流が少なく、充電の進むにつれて、充電電流が却つて増加する特性で、車の要求とは相反している。従つて最近の如く、昼夜間の電気負荷の変動の甚しい車には、殆ど使用出来ない。現在では小型車の如く小容量で、取扱いの簡便なものと、値段の安いことを強く要求される方面に、限られるようになった。

この外、HC 発電機があるが、電気的特性、取扱い、信頼性の点で優れているが、大型で値段の高価なことが、自動車用としては欠点で、使用されていない。

(2) 自動車用発電機の新方式 新方式としての自動車用発電機は、日立カーボンパイル発電機で、カーボンパイルを使用した電圧調整器を附属させるものである。そのカーボンパイルは、化学的に安定なもので、チリル式の如く接点で、電流の断続をさせない所謂無接点式であるから、消耗部分なく、接点の融着も起らないので、耐久性に富み信頼度も高い。又電気的性能、価格の点は自動車の要求に充分合致するものである。

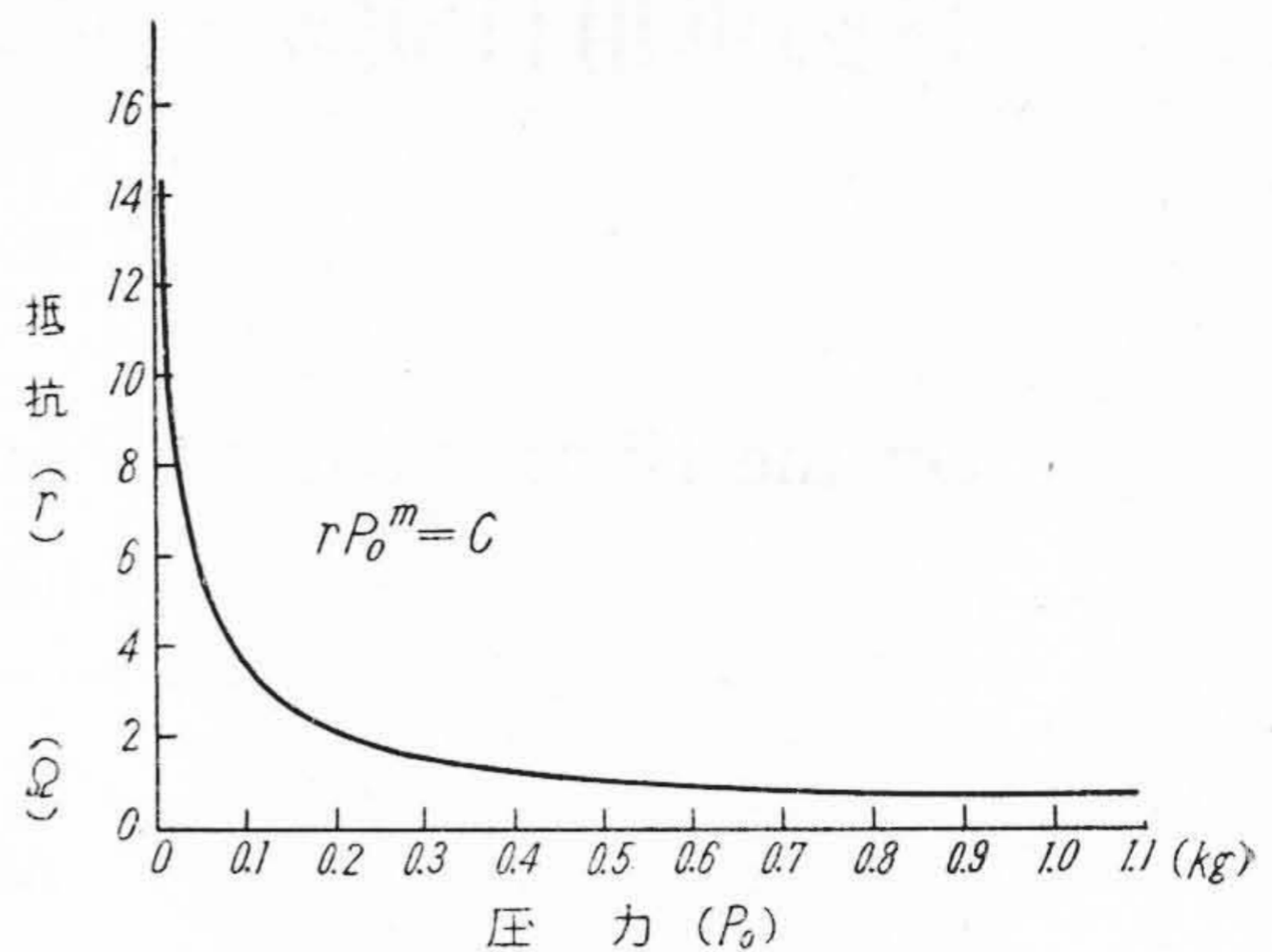
[IV] カーボンパイル発電機の原理

本機の原理は新しいものでなく、我が国に於ては、国鉄の列車点灯用に現在使用されているが、今回小型軽量で自動車用として、使用出来るものを完成した。

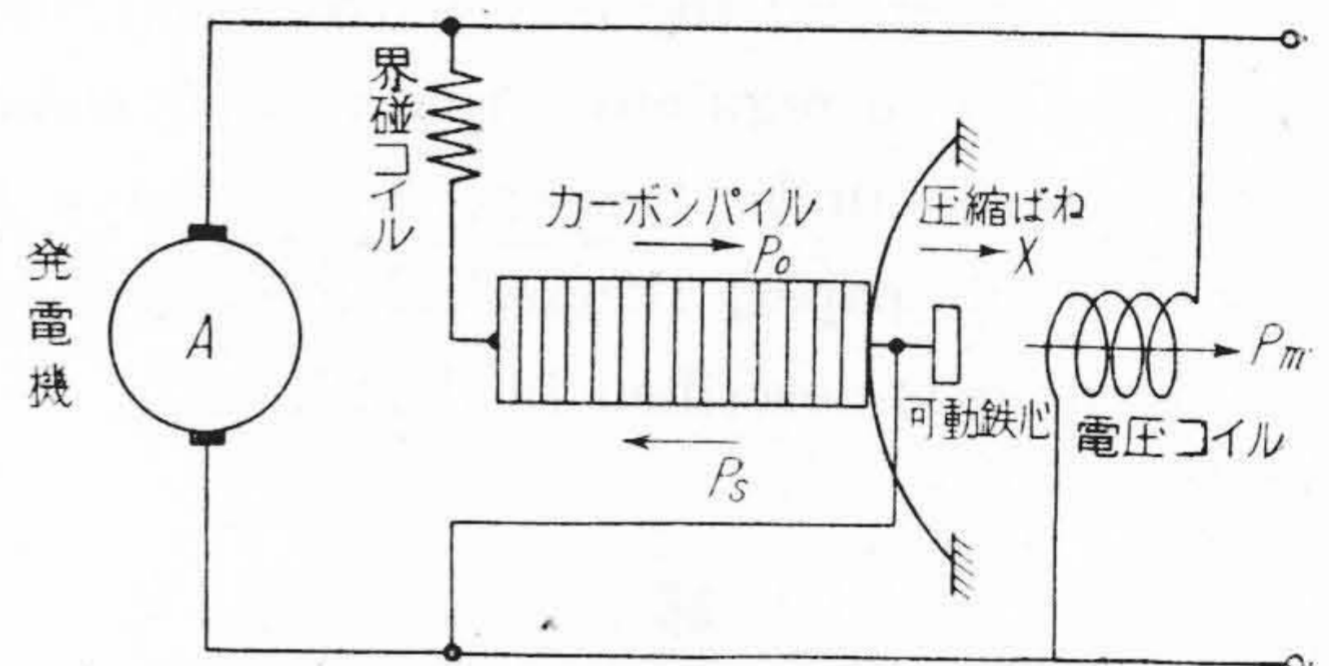
その原理の大要は、カーボンパイルの抵抗が、第1図に示す如く、加圧力によつて変化する性質、即ち、加圧力を大にすれば抵抗は小となり、逆に小にすれば、抵抗が大となる性能を応用したものである。カーボンパイル発電機は、第2図に示す如く、界磁コイルに直列にカーボンパイルを接続し、発電機電圧によつて制御される電圧コイルを設け、その磁気牽引力によつてパイルに加わる圧力を加減して、界磁抵抗を変化させ可変速度に於て、定電圧を発生させるものである。

次にこれの動作の大要について述べる。パイルに圧力を加える圧縮ばねの下部に可動鉄心があり、この鉄心を発電機電圧によつて動作される電圧コイルが引き付ける。発電機駆動速度が大になつて、電圧コイルの磁気牽引力が、圧縮ばねの強さより大になれば、可動鉄心は引き付けられ、パイルに加わる圧力は減じ抵抗は増す。従つてこのパイルを界磁コイルに直列に挿入すれば、界磁電流は小となり電圧も降下する。圧縮ばねの強さと、電圧コイルの牽引力、即ち電圧とが釣合つた所で、安定運転を続ける。更に発電機駆動速度が増大すれば、可動鉄心の移動も更に大となり、パイルの抵抗も大となつて、速度に関係なく殆ど一定電圧が発生せられ、安定運転が続けられる。

[V] カーボンパイル発電機の機能並びに構造の大要



第 1 図 カーボンパイルの圧力—抵抗曲線の一例  
Fig. 1. Example of Pressure-Resistance Curve of Carbon Pile



第 2 図 カーボンパイル発電機の原理図  
Fig. 2. Principle Diagram of Carbon Pile Type Dynamo

(1) 機能の大要 本機は発電機とカーボンパイル調整器との二つの独立部分より成り、発電機は、エンジンに取り付けられ、V ベルトによつてエンジン回転と或る一定関係比で駆動される。又カーボンパイル調整器は、発電機と分離されて、ダッシュボードに取り付けられている。

第3図は本機の結線図を示す。

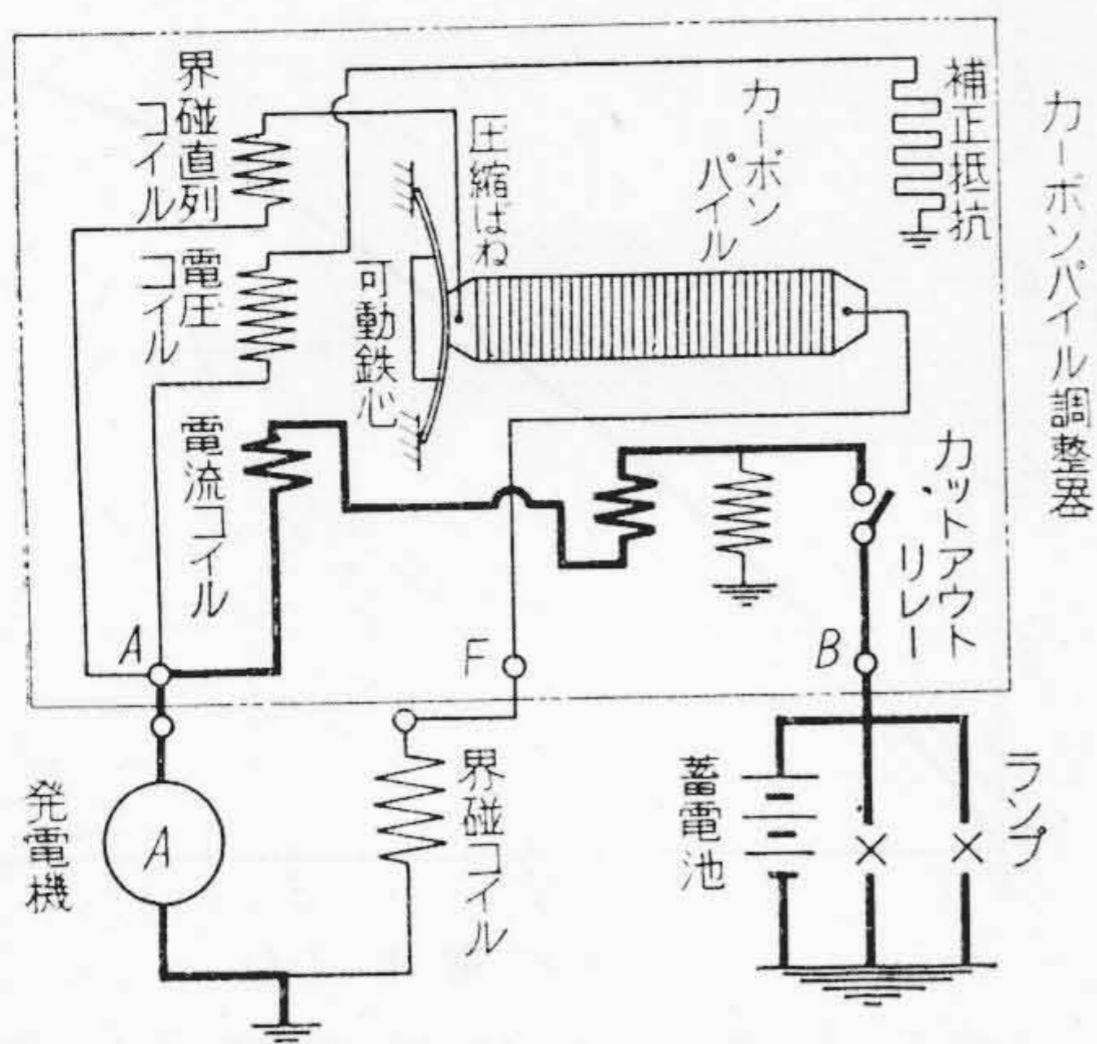
自動車用として特にその要求を充すために、従来使用されているカーボンパイル調整器に、次の如き種々な機能的改良が加えられている。

(A) 界磁直列コイルを設けて、低速時出力を増したこと。

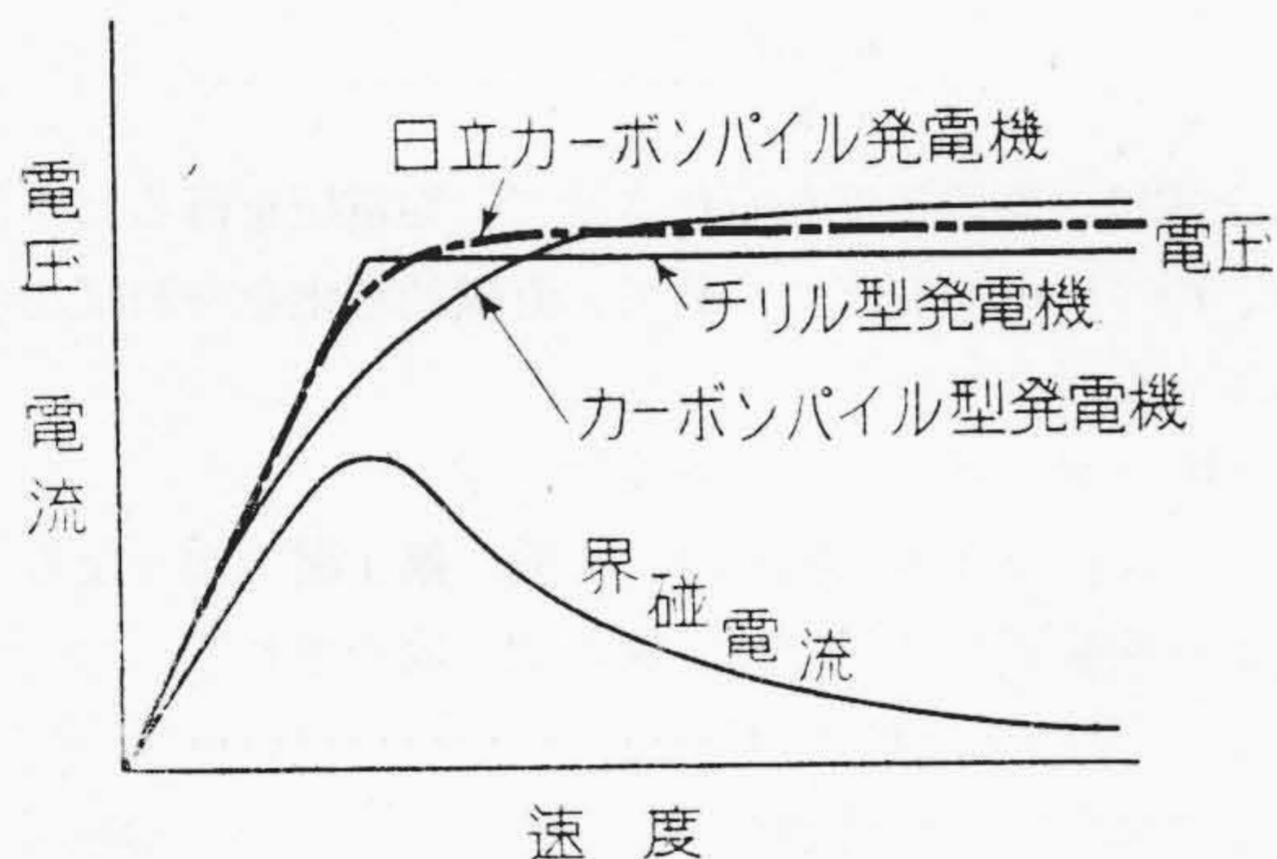
(B) 電圧コイルを設けて、負荷の増加と共に適度に電圧を降下させ蓄電池の充電を適度にし、又過負荷時には急激に電圧を降下させ、過電流を抑制して、限流リレーなしで安全運転が出来るようにしたこと。

(C) 小型軽量にし、且構造を簡潔にして、保守並びに取扱いを便にしたこと。

(A) 項は、定電圧発電機の界磁電流が速度により変化



第3図 日立カーボンパイル発電機の結線図  
Fig. 3. Connection Diagram of Hitachi Carbon Pile Type Dynamo

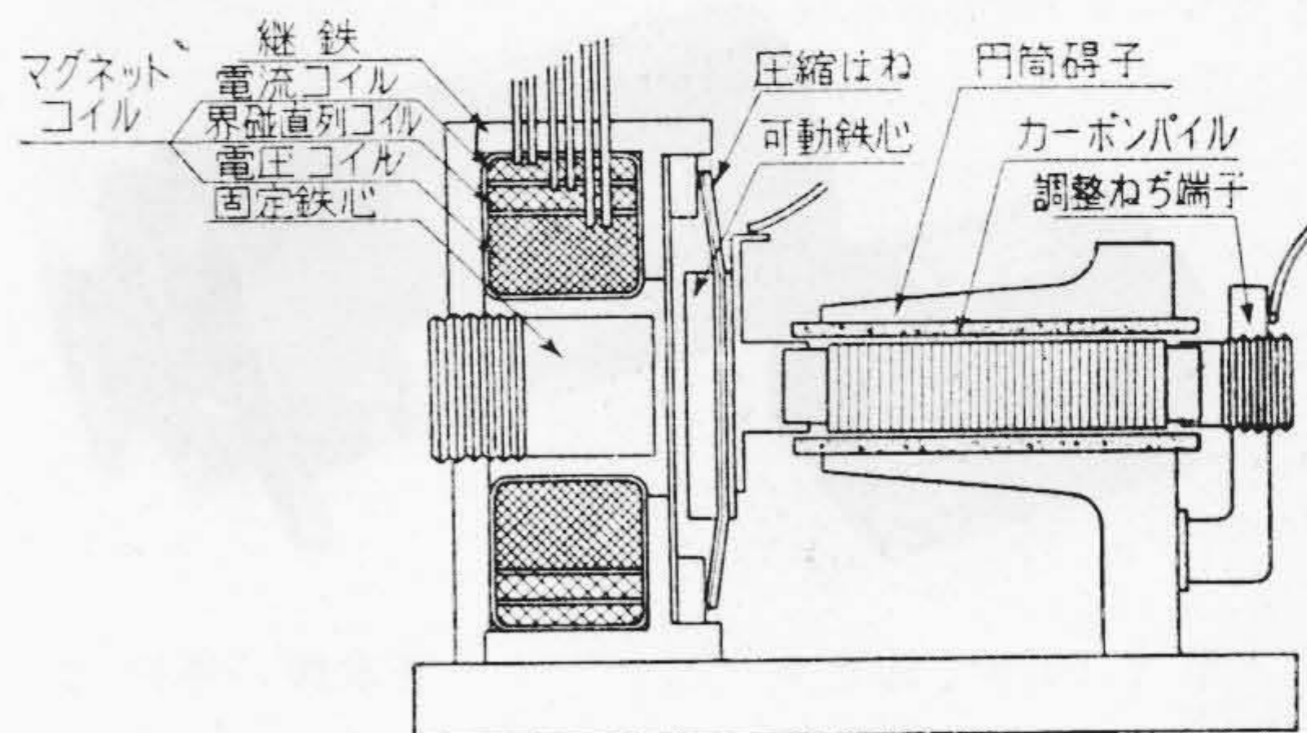


第4図 カーボンパイル型とチリル型発電機  
の速度特性  
Fig. 4. Speed Characteristic Curve of Carbon  
Pile and Tirril Type Dynamo

する性質を応用してその目的を達したものである。即ち界磁電流は低速時に於ては大であるが、速度の上昇と共に降下する。尙第4図に示す如く、一般にカーボンパイル発電機は、界磁コイルへの抵抗挿入が連続的であるため、チリル型の如く不連続的電圧変化でなく、曲線変化をするので低速時の電圧が低い傾向にある。従つてこれを補うため、界磁直列コイルに界磁電流を導入し、電圧コイルを減磁させ、低速時の電圧を上昇せしめ、チリル型と同一特性とした。尙高速時に於ける界磁電流は図に示す如く、非常に小さいので界磁直列コイルの減磁作用は、非常に小で影響はない。換言すれば界磁直列コイルの挿入により低速時特性が改善せられることとなる。

又カーボンパイル調整器では、チリル型の如く界磁電流の制限(1.5A以下)がなく、界磁電流を大に取り得るので、この方式は有効である。

(B)項は、過負荷電流を抑制するのに、一般的に使わ



第5図 カーボンパイル調整器の断面図  
Fig. 5. Sectional View of Carbon Pile Regulator

れている限流リレーを使用せずに、電流コイルを電圧コイルに和動的に動作させ、過負荷時の電圧を急降させ、限流リレーと同様に、発電機並びに蓄電池を保護している。即ち負荷電流が大になると、マグネットコイルは、電流コイルによつて強く増磁され、パイルの可動鉄心を強く吸引し、このためパイルの抵抗が大となり、電圧が降下し過電流を抑制する。又一般に負荷特性は垂下特性の方が、発電機自体の安全性、蓄電池の保護の上からも好ましい。

(C)項は、第5図に示す如く、構造を簡潔にし、パイル圧縮ばね、マグネットコイルを一直線上に配置し又パイルの特性を特殊なものとして、ダッシュポットを省略して、小型軽量、構造簡潔、取扱いの便を計つた。

(2) 構造の大要 第6図はこれの外観図を示す。

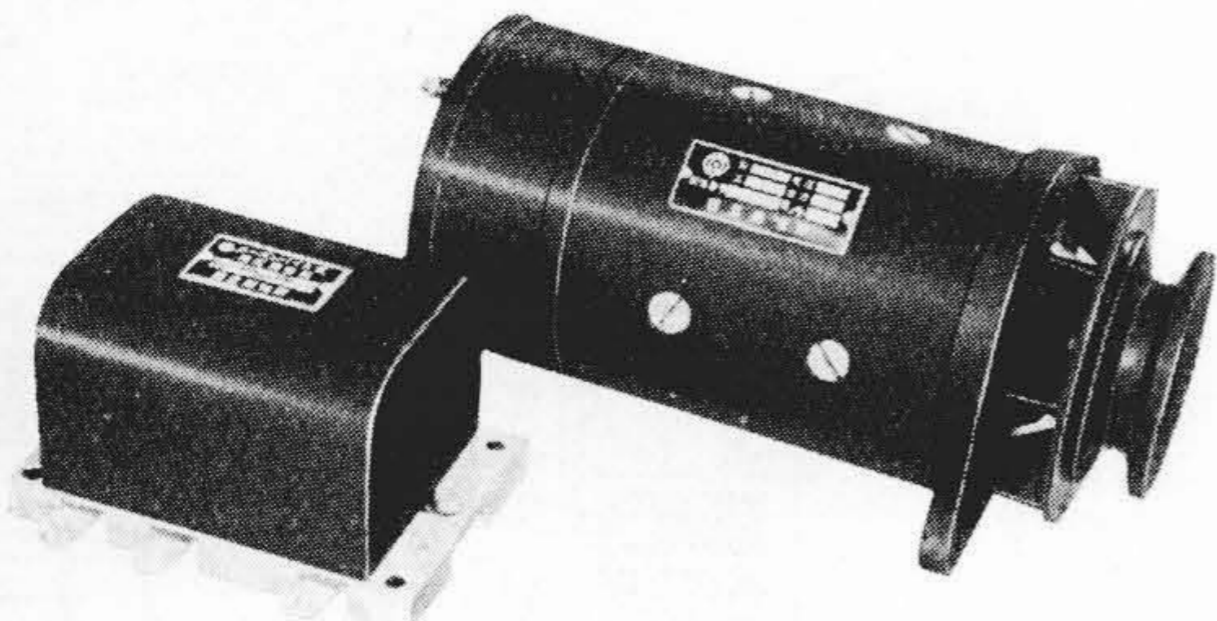
(A) 発電機 これは普通に分巻発電機で、発電機端子と界磁端子とが設けてある。

(B) カーボンパイル調整器 第5図に示す如く、円筒碍子の中に、カーボンパイルが数十枚積み重ねられ、その一端は調整ねじ端子で止められ、他端は可動鉄心を取り付けたパイル圧縮ばねで支えられている。又この可動鉄心を圧縮ばねに逆つて吸引するマグネットコイル部が設けられている。マグネットコイル部は、中央に固定鉄心、外部に継鉄があり、その中に発電機電圧で作用する電圧コイルと、界磁電流で作用し電圧コイルと反対極性を持つ界磁直列コイル、及び負荷電流を流し、電圧コイルと同極性を持つ電流コイルが内蔵されている。

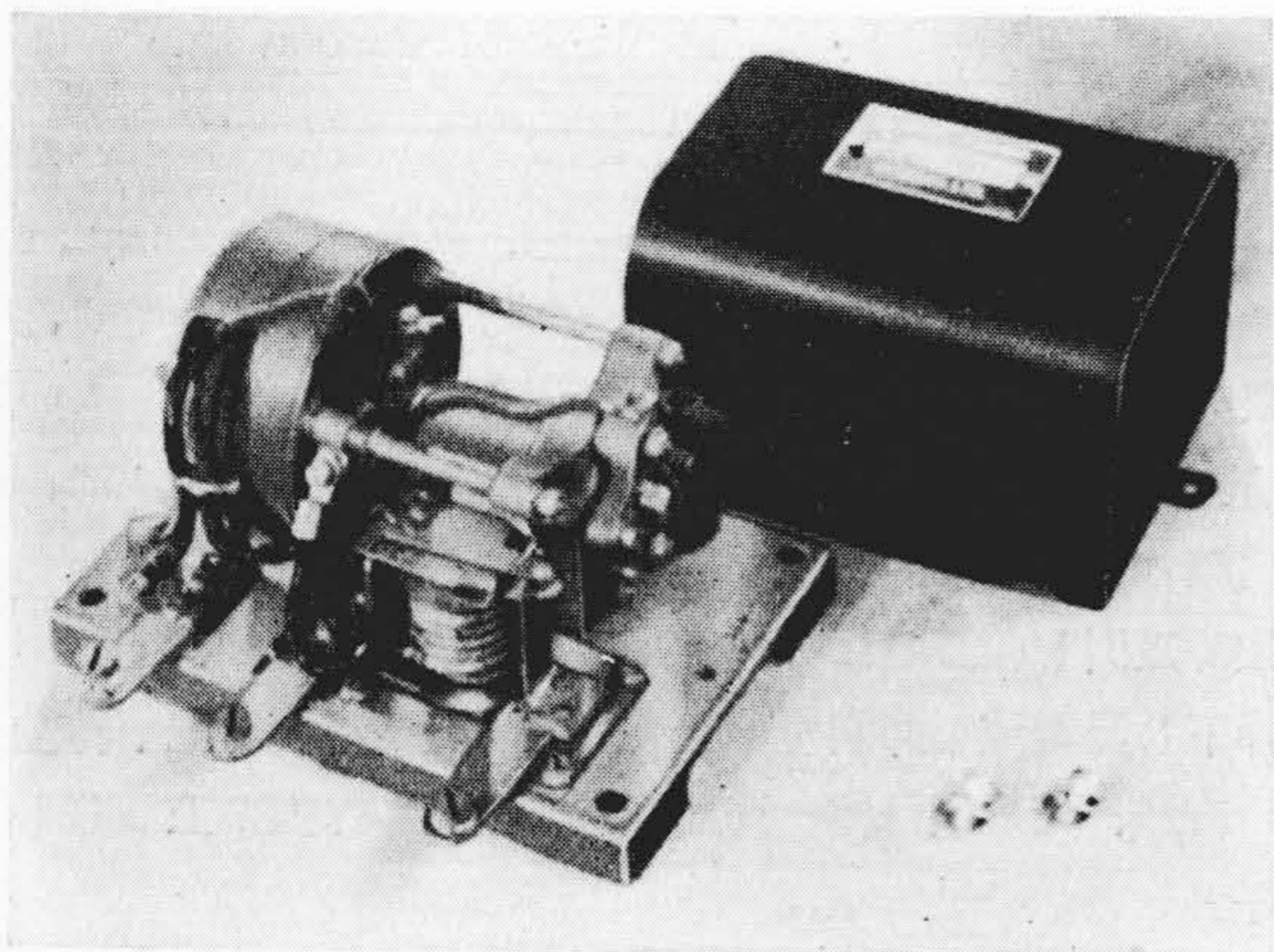
この外自動車用発電機に装備されているカットアウトリレーが取付けられ、これらを同じ台上にコンパクトに取付けられている。

#### [VI] カーボンパイル発電機の特性考察

(1) 基本的特性の考察 本機の基本的特性を検討するのに考えねばならぬ主要要素は、次の四部分に大別される。



第 6 図 a 日立カーボンパイル発電機の外観図  
Fig. 6-a. View of the Hitachi Carbon Pile Type Dynamo.



第 6 図 b 日立カーボンパイル調整器の外観図  
Fig. 6-b. View of the Hitachi Carbon Pile Regulator

- |              |              |
|--------------|--------------|
| 発電機部分        | (A) 発電機      |
| カーボンパイル調整器部分 | (B) カーボンパイル  |
|              | (C) マグネットコイル |
|              | (D) 圧縮ばね     |

これらの特性の組合せで、定電圧特性が得られる。先ずこれらの各々につき、基本的特性の考察を行う。

(A) 発電機特性

発電機誘起電圧は第 7 図に示す如くなる。これを実験式で表わせば次の如くなる。

$$E = \frac{i_f}{a + bi_f} n \dots\dots\dots (1)$$

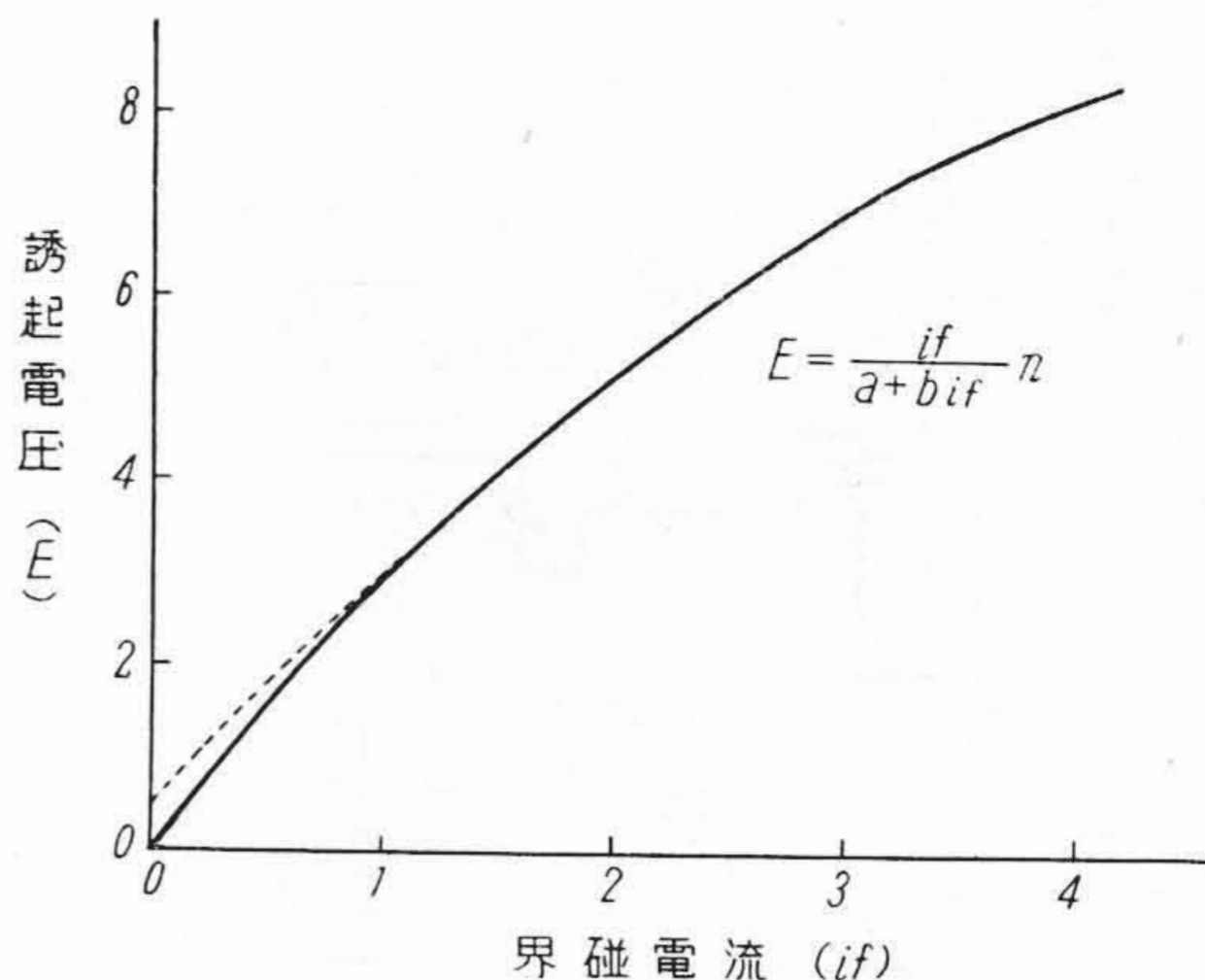
- ここに  $E$  = 発電機誘起電圧 (V)  
 $i_f$  = 界磁電流 (A)  
 $n$  = 回転数 (r. p. m.)  
 $a, b$  = 機械常数

但し、界磁電流の小さい場合には、(1) 式に示す発電機特性は、点線の如くなり実際と少々相異なるが、これに関する考察は、別稿で行うこととし、ここでは省略する。

又一般に、分巻発電機に於ては、次の式が成立つ。

$$E = i_f r_f \dots\dots\dots ; \dots\dots (2)$$

- ここに  $r_f$  = 界磁抵抗 (Ω)



第 7 図 無負荷特性曲線の一例  
Fig. 7. Example of No Load Saturation Curve of Dynamo

従つて、(1), (2) より次の式が成立する。

$$r_f = \frac{n - bE}{a} \dots\dots\dots (3)$$

上式は、駆動速度を変化させて、定電圧を得るためには、 $r_f$  は  $n$  の変化につれて、直線的变化をせねばならぬことを示している。

(B) カーボンパイルの特性

カーボンパイルの特性は、一般に第 1 図の如くなる。これを実験式にて示せば、次の如く表わされる。

$$r P_0^m = C \dots\dots\dots (4)$$

- ここに  $r$  = 抵抗 (Ω)  
 $P_0$  = 圧力 (kg)  
 $m, C$  = カーボンパイルの材質、形状、大きさ、及び枚数によつて決定される常数

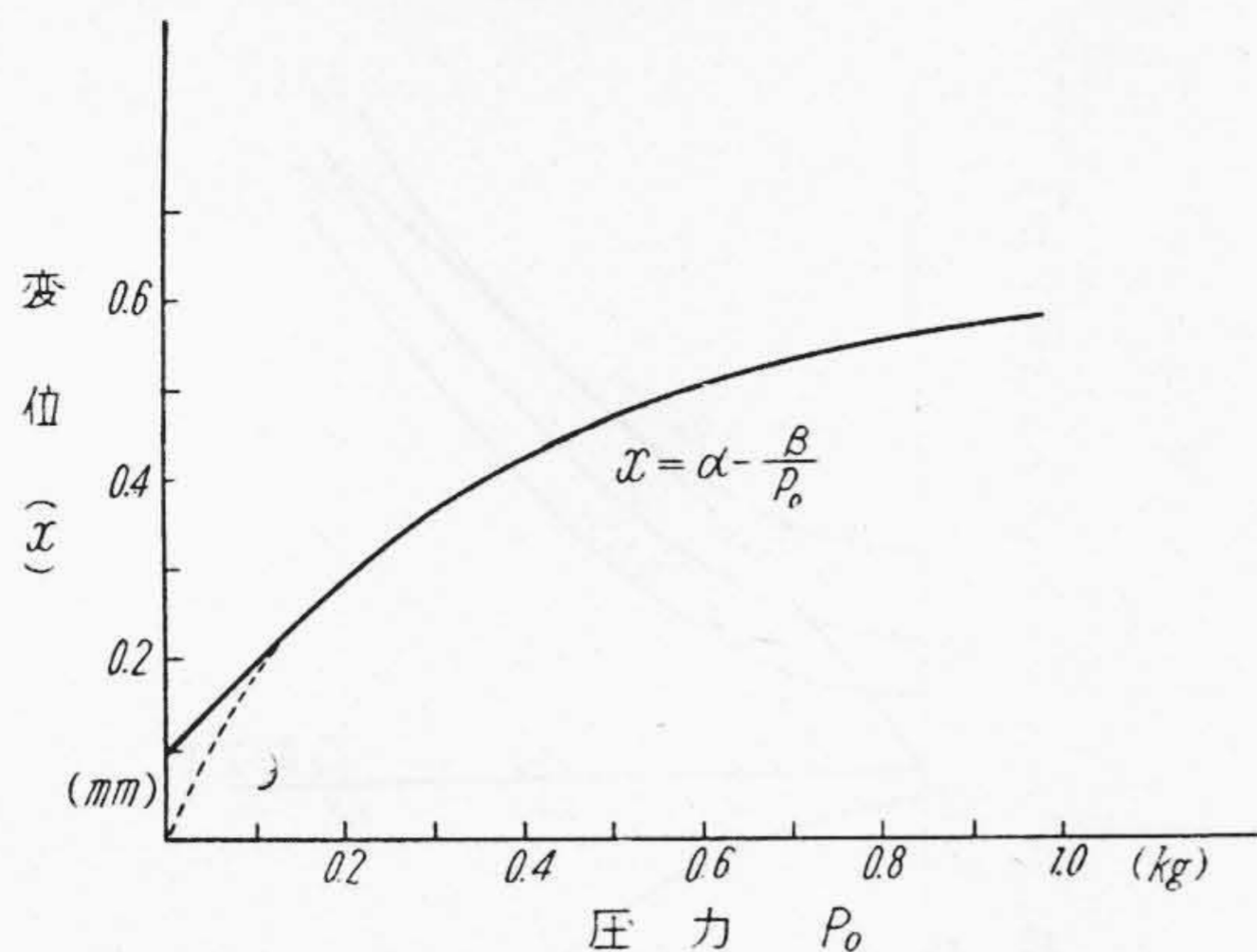
以上のような特性は、カーボンパイルに圧力を加えて圧縮し、即ちパイルを変位させて得られるものであるがその圧力と圧縮量、即ち、変位との関係は、第 8 図に示す如くなる。これを実験式にて示せば、次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} P_0 > 0.2 \text{ kg の場合 } x &= \alpha - \frac{\beta}{P_0} \\ P_0 < 0.2 \text{ kg の場合 } x &= \beta' P_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

- ここに  $x$  = 加圧力零のときを基準にとつた変位 (mm)  
 $P_0$  = 圧力 (kg)  
 $\alpha, \beta, \beta'$  = カーボンパイルの材質、形状、大きさ、枚数によつて決定される常数

従つて、(4), (5) より、変位と抵抗との関係が求められる。

$$\left. \begin{aligned} x &= \alpha - \beta \left( \frac{r}{C} \right)^{1/m} \\ \text{又は } x &= \beta' \left( \frac{C}{r} \right)^{1/m} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$



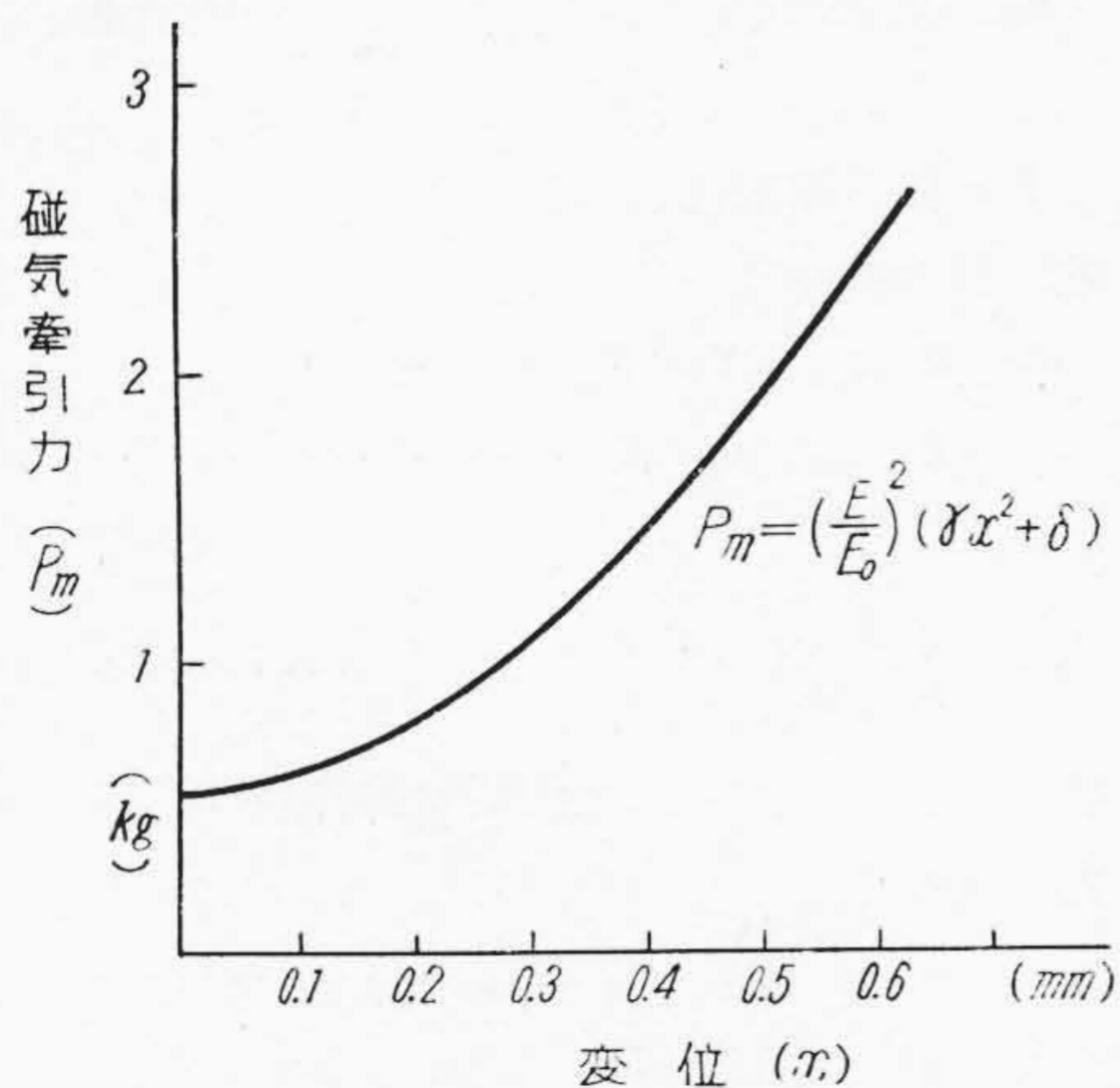
第 8 図 カーボンパイルの圧力—変位曲線の一例  
Fig. 8. Example of Pressure-Stroke Curve of Carbon Pile

以上よりカーボンパイルの抵抗は、その圧力に対し常に一定の関係を保ち、圧力を大にすれば抵抗は減少し、圧力を小にすれば抵抗は大となる。又圧力を大にすれば変位は大となり、抵抗は小となることが分る。

(C) マグネットコイルの特性

マグネットコイルは、電圧コイル、界磁直列コイル、及び電流コイルより成るが、ここでは、その主力をなす電圧コイルのみの場合の特性について考察する。その磁気牽引力は、ヨーク、空隙、可動鉄心の形状等により、色々の特性が得られるが、本機に使用される電圧コイル牽引力の特性は、第 9 図に示す如くである。実験式で示せば次の如くである。

$$P_m = \frac{(IN)^2}{(IN)_0^2} (\gamma'x^2 + \delta') = \left(\frac{E}{E_0}\right)^2 (\gamma x^2 + \delta) \dots\dots\dots (7)$$



第 9 図 マグネットコイル(電圧コイル)の磁気牽引力—変位曲線の一例  
Fig. 9. Example of Magnetic Pull-Stroke Curve of Magnetic Coil (Pressure-Coil)

ここに

- $E$  = 任意加電圧 (V)
- $E_0$  = 基準加電圧 (V)
- $P_m$  = 電圧コイルの磁気牽引力 (kg)
- $IN$  = 電圧コイルの任意アムペアタン (AT)
- $(IN)_0$  = 電圧コイルの基準アムペアタン (AT)
- $x$  = 可動鉄心の静止点よりの変位 (mm)

$\gamma\delta, \gamma', \delta'$  = 常数

一般にマグネットコイルの牽引力は、低飽和の場合には、マグネットコイルの AT, 電圧及び変位が増すに従い大となる。

(D) 圧縮ばねの特性

圧縮ばねの特性は一般に次の如く表われる。

$$P_s = kx_s$$

ここに

- $P_s$  = 圧縮ばねの強さ (kg)
- $x_s$  = 変位 (mm)
- $k$  = ばね常数

前述の如くマグネットコイルの牽引力は、変位の増すに従い急激に増加する。従つてこれと釣合い定電圧特性を得るために、板ばねを数枚組合せたものを使用する。この場合の圧縮ばねの強さは次の如く表わされる。

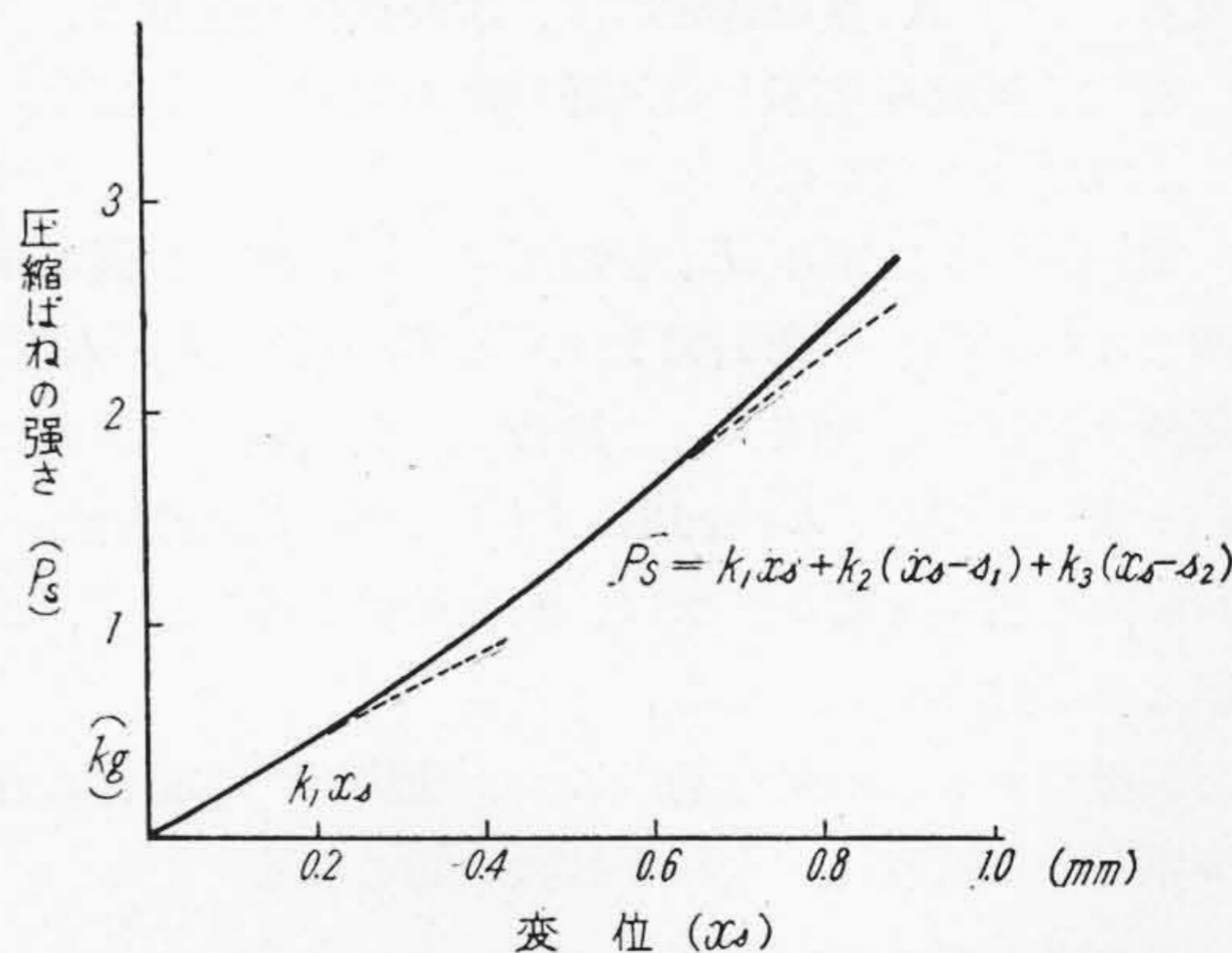
$$P_s = k_1x_s + k_2(x_s - s_1) + k_3(x_s - s_2) \dots\dots\dots (8)$$

ここに

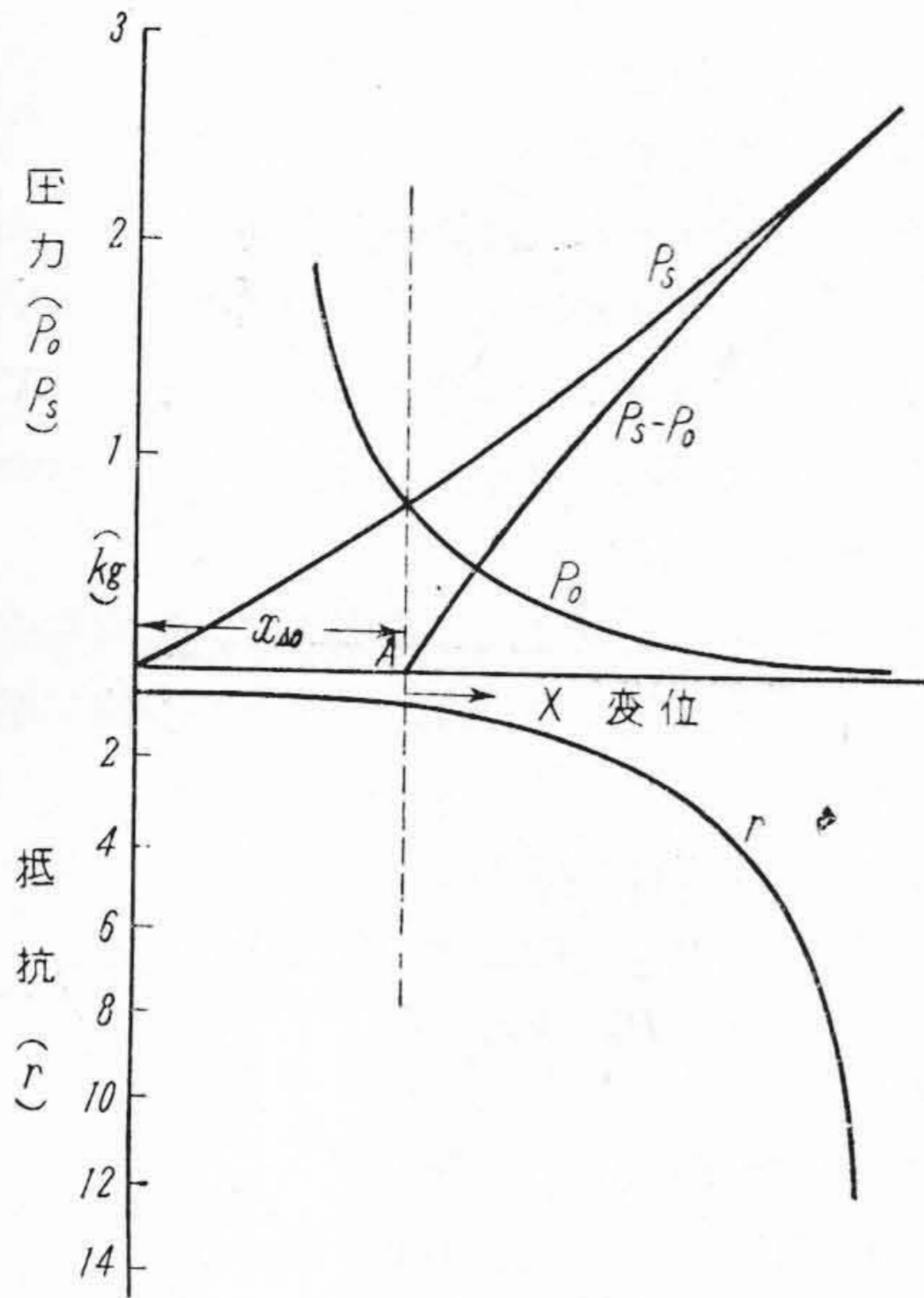
- $k_1, k_2, k_3$  = 個々の圧縮ばねのばね常数
- $s_1, s_2$  = 荷重零の位置より第 2, 第 3 圧縮ばねの動作し始める変位 (mm)

(8) 式は変位の進むに従い、圧縮ばねの強さが増し、上述の目的に合致することを示す。第 10 図はこれらの関係を示す特性曲線の一例である。

(2) カーボンパイル調整器の特性<sup>(1)</sup> 上述のカーボンパイル、マグネットコイル及び圧縮ばねの基本的特性よ



第 10 図 圧縮ばねの強さ—変位曲線の一例  
Fig. 10. Example of Spring Tension Stroke Curve of Compression Spring



第 11 図 カーボンパイル調整器の部分組合せ特性曲線  
Fig. 11. Partial Combined Characteristic Curves of Carbon Pile Regulator

り、調整器として動作する場合の総合特性について考察する。この場合、可動鉄心の変位を基準にとつて、圧力及び抵抗の変化を考える。第 11 図はこれらの組合せ特性を表わす。ここで注意することは、可動鉄心の移動方向を正にとるので、パイルの特性式、(5)、(6) の変位は負にとらねばならぬ。

電圧コイルが動作しない場合、可動鉄心に働く力は、 $P_s - P_0$  である。従つて  $P_s = P_0$  の点 A で釣合状態を保つ。この点が調整器としての動作の基点となる。従つて  $X = 0$  を A 点にとり考えればよい。これより変位が増すに従い、 $P_0$  は小となり、遂には  $P_s - P_0 = P_s$  となる。この A 点の選定には、所要抵抗変化量と、変位に対する抵抗変化率との良好な範囲を選定せねばならぬことは言うまでもない。

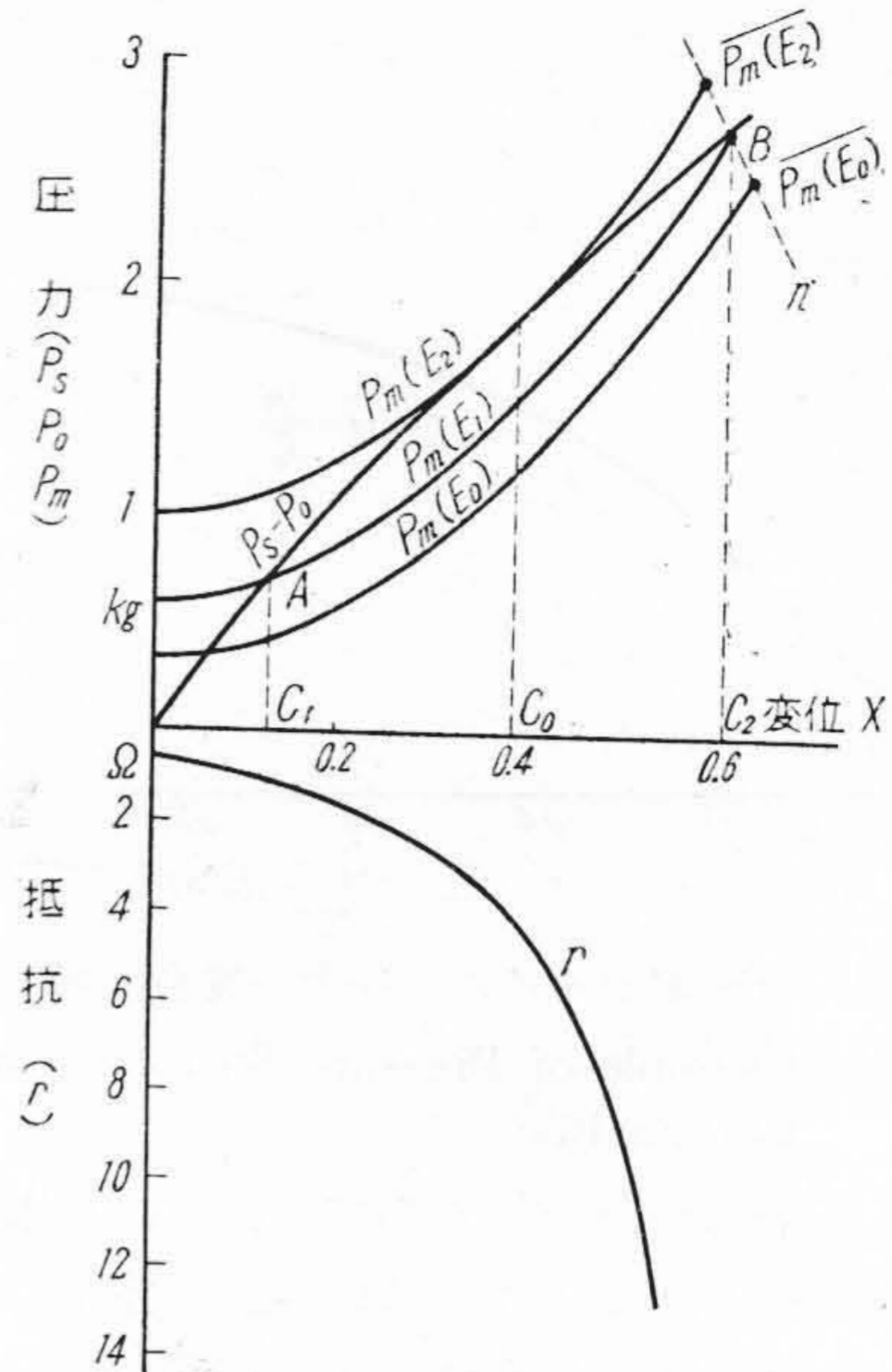
電圧コイルに電圧  $E_1$  を加圧すると、第 12 図に示す如く、 $P_m(E_1)$  の牽引力が生じ、 $P_s - P_0 = P_m(E_1)$  の関係を満足する変位  $C_1$  で釣合う。更に電圧コイルに加わる電圧を増し、 $E_2$  を加圧すれば、 $C_0$  点で釣合う。これ以上の電圧を加圧すれば、釣合条件が得られず、調整器として動作しなくなる。

調整器としての動作基点より、変位  $X$  の場合の各主要要素部分の特性は、それぞれ次の如くなる。

カーボンパイルの特性式

$$L - X = \alpha - \frac{\beta}{P_0} = \alpha - \beta \left( \frac{R}{C} \right)^{1/m} \quad \dots (9)$$

又は



第 12 図 カーボンパイル調整器の総合特性曲線  
Fig. 12. Combined Characteristic Curves of Carbon Pile Regulator

$$L - X = \beta' P_0 = \beta' \left( \frac{C}{R} \right)^{1/m}$$

ここに

$L = P_0$  が零より動作基点までの変位総量 (mm)  
マグネットコイル (電圧コイル) の特性式  
(7) 式に示した如く次の如くなる。

$$P_m = \left( \frac{E}{E_0} \right)^2 (\gamma X^2 + \delta)$$

ここに

$E_0$  = 基準加電圧 (基準はパイルの標準電圧を選定する)

$E$  = 任意加電圧

圧縮ばねの特性式

$$P_s = k_1(x_{s0} + X) + k_2(x_{s0} - s_1 + X) + k_3(x_{s0} - s_2 + X) \dots (10)$$

ここに

$$x_{s0} = \frac{1}{k_1 + k_2} \left( \frac{\beta}{\alpha - L} + k_2 s_1 \right) \dots (11)$$

一般にカーボンパイル調整器の動作点は、次の式によつて表わされる。

$$P_s - P_0 = P_m \dots (12)$$

従つて (12) 式に、(7)、(9)、(10) を代入して、 $E$  に対する釣合点  $X$  を求め、カーボンパイル調整器の特性式を計算することが出来る。

(3) カーボンパイル発電機の特性

(A) 一般特性式

(a) 無負荷特性 無負荷時に於ける、発電機と、カーボンパイル調整器との組合せ特性は、先ず発電機単独の電圧特性を求め、これを電源とするマグネットコイルの牽引力と、圧縮ばね及びカーボンパイルの圧縮力との釣合点を求めることによつて得られる。発電機電圧特性式は、次の如く表わされる。

$$E = \frac{n - a r_f}{b}$$

ここに

$$r_f = r_0 + R$$

$r_0$  = 界磁コイル抵抗

$R$  = カーボンパイル抵抗

又界磁抵抗を、可動鉄心の変位を導入した式で表わせば、(9)式より

$$\left. \begin{aligned} r_f &= r_0 + C \left\{ \frac{\alpha - (L - X)}{\beta} \right\}^m \quad (P_0 > 0.2 \text{ kg}) \\ \text{又は } r_f &= r_0 + C \left( \frac{\beta'}{L - X} \right)^m \quad (P_0 < 0.2 \text{ kg}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

となるが、考察を簡単にするために、カーボンパイルの特性式は、一応  $P_0 > 0.2 \text{ kg}$  の場合のみをとつて、進めることとする。但し本文に記したカーボンパイル発電機の計算特性実例には、 $P_0 < 0.2 \text{ kg}$  の場合も併せ考慮した。

発電機電圧は、次の如く表わされる。

$$E = \frac{n - a \left[ r_0 + C \left\{ \frac{\alpha - (L - X)}{\beta} \right\}^m \right]}{b} \dots\dots(14)$$

次に発電機と組合せた場合のマグネットコイル牽引力  $P_m$  の特性式は、(7)式によつて、次の如く表わされる。

$$P_m = \left( \frac{E}{E_0} \right)^2 (\gamma X^2 + \delta) \dots\dots\dots(15)$$

又圧縮ばねと、カーボンパイルの変位  $X$  に於ける圧力差  $P_s - P_0$  は、次の如くなる。

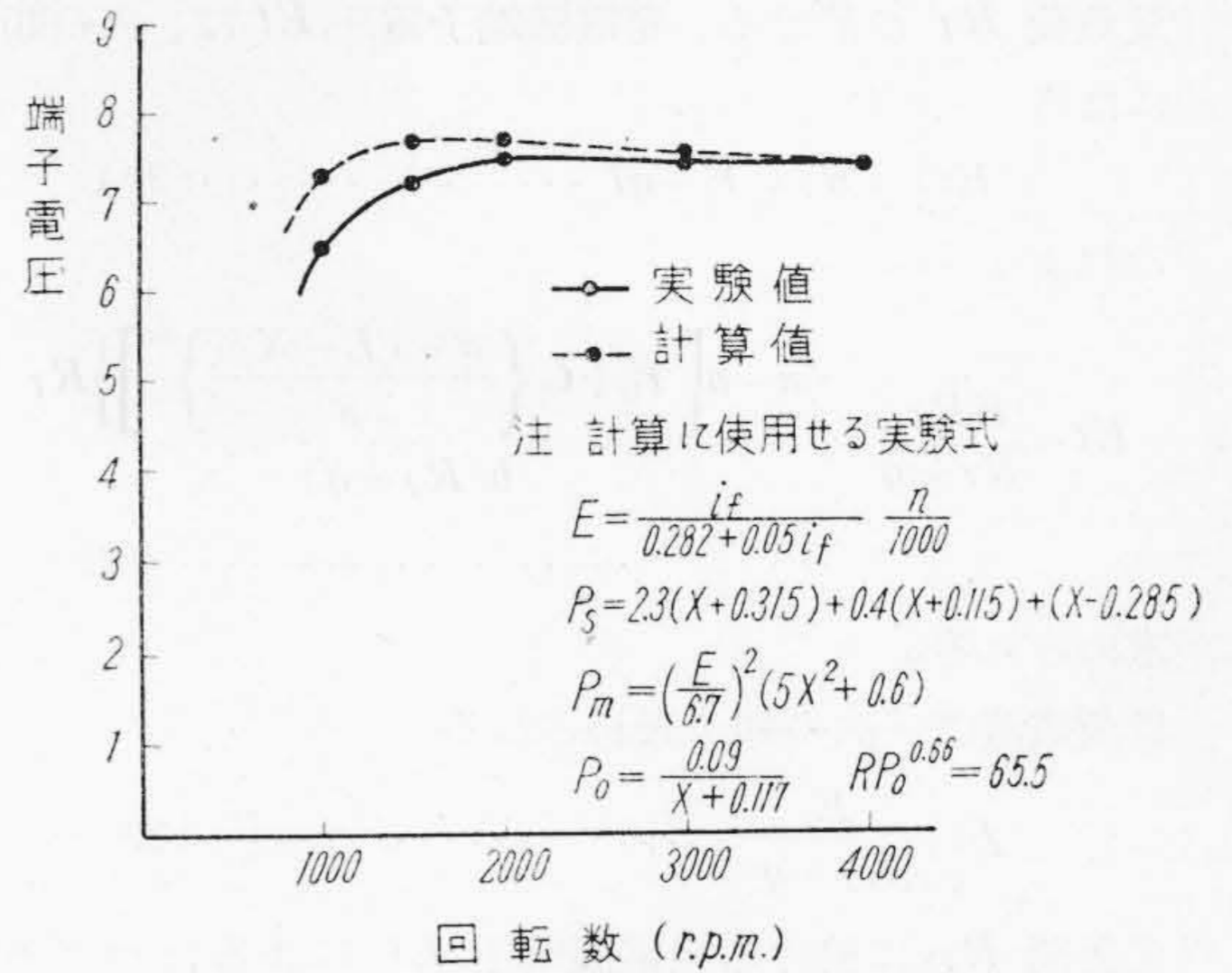
$$P_s - P_0 = k_1(x_{s0} + X) + k_2(x_{s0} - s_1 + X) + k_3(x_{s0} - s_2 + X) - \frac{\beta}{\alpha - (L - X)} \dots\dots(16)$$

又釣合条件より次の式が成立する。

$$P_m = P_s - P_0 \dots\dots\dots(17)$$

以上で、釣合条件の各要素が決定されたので、次に具体的に特性を求める方法について述べる。

先ず、任意の変位を決め、その変位に於ける  $P_s - P_0$  の値を(16)式より求める。次に釣合条件(17)式より  $P_m$  が求められる。 $P_m, X$  が決定されたので(15)式より  $E$  が求められ、この  $E$  を(14)式に代入して  $n$  を求める。更に変位を次々と変えて、上記の順序を繰返せば、無負荷時のカーボンパイル発電機の駆動回転数と発



第 13 図 6 V 250 W 発電機の無負荷速度特性  
Fig. 13. No Load Speed Characteristic of 6 V 250 W Dynamo

生電圧との関係が得られる。第 13 図はその一例を示す。

ここで注意を要することは、カーボンパイル調整器のみの特性を示す第 12 図に於ては、 $P_s - P_0$  と  $P_m(E_1)$  との釣合点 A は安定動作点で、他の釣合点 B は不安定動作点である。然し発電機と組合せた場合には、趣を異にし、回転数が一定の場合、B 点を通る動作曲線は、点線  $\overline{P_m(E_1) - P_m(E_0)}$  の如くなるので、B 点も安定動作点となる。従つてこのような  $P_m(E_1)$  曲線は、二つの異なった変位即ち、回転数の所に於て、同一電圧を発生する。

(b) 負荷特性 負荷時に於ける発電機と、カーボンパイル調整器との組合せ特性は、負荷時に於ける、発電機電圧による、マグネット牽引力  $P_m$  と、圧縮ばね及びカーボンパイルの圧力差  $P_s - P_0$  との釣合点を求め、無負荷時と略同様な方法で、発電機電圧と回転数との関係を求めることが出来る。但し、負荷時発電機特性式は発電機の無負荷特性式の外に、外部負荷特性式を導入して求める。発電機の外部負荷特性式は、一般に複雑な式であるが、次の如き概略特性式で、実用上差支えない。

回転数  $n$  に於ける外部負荷特性式は、次の如くなる。

$$Et = E - qI \dots\dots\dots(18)$$

ここに

$$Et = \text{端子電圧 (V)}$$

$$E = \frac{i_f}{a + bi_f} n = \text{発電機誘起電圧 (V)}$$

$$I = \text{負荷電流 (A)}$$

$q$  = 垂下特性常数

又界磁電流は次の如くなる。

$$i_f = \frac{Et}{r_f} \dots\dots\dots(19)$$

又負荷  $R_I$  に於ける、発電機端子電圧  $Et$  は、次の如くなる。

$$Et = IR_I = E - qI \dots\dots\dots(20)$$

これより

$$Et = \frac{ER_I}{R_I + q} = \frac{\left\{ n - a \left[ r_0 + C \left\{ \frac{\alpha - (L - X)}{\beta} \right\}^m \right] \right\} R_I}{b(R_I + q)} \dots\dots\dots(21)$$

が求められる。

負荷電流は、次の如く表わされる

$$I = \frac{E}{R_I + q} \dots\dots\dots(22)$$

又負荷  $R_I$  に於ける発電機電圧  $Et$  による、マグネットコイル牽引力  $P_m$  は、次の如く求められる。

$$P_m = \left( \frac{Et}{E_0} \right)^2 (\gamma X^2 + \delta) \dots\dots\dots(23)$$

又  $P_s - P_0$  の値は、(16) 式で表わされ、釣合条件も (17) 式と同様で、無負荷の場合と変化はない。

これより無負荷時の場合と同様に、任意の変位  $X$  を決め、釣合条件 (17) 式より  $P_m$  を求め、(23) 式より  $Et$  を求める。更に (21) より  $Et$  に対する  $n$  を求める。又負荷電流は (20) 式より求めることが出来る。かくして変位を順次に変え、同じ操作を繰返せば、負荷時に於けるカーボンパイル発電機の駆動回転数と端子電圧及び負荷電流が求められる。

この計算例は総合特性の項に譲りここでは省略する。

(B) 定電圧特性の考察、駆動回転数が変化する場合カーボンパイル発電機の定電圧特性について考察する。一般的に次の式が成立する。

$$\frac{dE}{dn} = \frac{\partial E}{\partial n} + \frac{\partial E}{\partial i_f} \frac{\partial i_f}{\partial r} \frac{dr}{dn} \dots\dots\dots(24)$$

ここに

- $E$  = 発電機誘起電圧
- $n$  = 駆動回転数
- $r$  = カーボンパイルを含む界磁抵抗
- $i_f$  = 界磁電流

又

$$\frac{dr}{dn} = \frac{dr}{dP_0} \frac{dP_0}{dn} = \frac{dr}{dP} \left( \frac{\partial P_0}{\partial x} \frac{dx}{dE} + \frac{\partial P_0}{\partial E} \right) \frac{dE}{dn} \dots\dots\dots(25)$$

ここに

- $P_0$  = カーボンパイルに加わる力
- $x$  = 可動鉄心の変位

(24), (25) より

$$\frac{dE}{dn} = \frac{\frac{\partial E}{\partial n}}{1 - \frac{\partial E}{\partial i_f} \frac{\partial i_f}{\partial r} \left( \frac{\partial P_0}{\partial x} \frac{dx}{dE} + \frac{\partial P_0}{\partial E} \right) \frac{dr}{dP_0}} \dots\dots\dots(26)$$

又次の関係が成立する

$$P_s(x) - P_0(x) = P_m(x, E) \dots\dots\dots(27)$$

ここに

$P_a(x)$  = 変位  $x$  に於ける圧縮ばねの強さ

$P_m(x, E)$  = 変位  $x$ , 電圧  $E$  に於けるマグネットコイルの強さ

(27) より

$$\frac{dx}{dE} = \frac{\frac{\partial P_m}{\partial E}}{\frac{d(P_s - P_0)}{dx} - \frac{\partial P_m}{\partial x}} \dots\dots\dots(28)$$

(26), (28) より

$$\frac{dE}{dn} = \frac{\frac{\partial E}{\partial n}}{1 - \frac{\partial E}{\partial i_f} \frac{\partial i_f}{\partial r} \frac{\partial P_m}{\partial E} \left\{ \frac{\frac{\partial P_0}{\partial x}}{\frac{d(P_s - P_0)}{dx} - \frac{\partial P_m}{\partial x}} + \frac{\partial P_0}{\partial E} \right\} \frac{dr}{dP_0}} \dots\dots\dots(29)$$

(29) 式の各項の符号は常に次の如くなる。

$$\frac{\partial E}{\partial n}, \frac{\partial E}{\partial i_f}, \frac{\partial P_m}{\partial E}, \frac{d(P_s - P_0)}{dx}, \frac{\partial P_m}{\partial x} > 0$$

$$\frac{\partial i_f}{\partial r}, \frac{dr}{dP_0}, \frac{\partial P_0}{\partial x}, \frac{\partial P_0}{\partial E} < 0$$

従つて実用範囲に於ける  $\frac{dE}{dn}$  の符号は、次式の符号により決定される。

$$\frac{d(P_s - P_0)}{dx} - \frac{\partial P_m}{\partial x} \equiv A \dots\dots\dots(30)$$

即ち

- (i)  $\frac{d(P_s - P_0)}{dx} > \frac{\partial P_m}{\partial x}$  のとき  $\frac{dE}{dn} > 0$
- (ii)  $\frac{d(P_s - P_0)}{dx} = \frac{\partial P_m}{\partial x}$  のとき  $\frac{dE}{dn} = 0$
- (iii)  $\frac{d(P_s - P_0)}{dx} < \frac{\partial P_m}{\partial x}$  のとき  $\frac{dE}{dn} < 0$

この物理的意味は次の如くである。

- (i)  $\frac{dE}{dn} > 0$  の場合は回転数の上昇と共に電圧は上昇する。
- (ii)  $\frac{dE}{dn} = 0$  の場合は回転数に関係なく一定である。
- (iii)  $\frac{dE}{dn} < 0$  の場合は回転数の上昇と共に電圧は降



下する。

以上のことから、理想的カーボンパイルを得るには、(ii) 及び第 12 図に示す如く、 $P_s - P_0$  曲線と  $P_m$  曲線とが一致せねばならぬという条件を満足することが必要である。この両者を一致させるためには、カム等を使用する必要があり、特に  $x$  の小さい範囲に於ては、 $P_s - P_0$  曲線の彎曲度が大きで、 $P_m$  曲線とは一致し難く、又自動車の如く、4 倍の広範囲速度変化に対して、全範囲定電圧を望むことは、困難となる。従つて (ii) を中心として、(i), (iii) の条件を取り入れたものとするのが適当と考える。即ち (i) の範囲は、界磁直列コイルを使用することにより、小にすることが出来 (iii) の範囲は、高速時整流の悪化の見地より、却つて電圧降下特性が適当であるので、日立カーボンパイル発電機は (i) ~ (iii) の範囲を採用することにした。

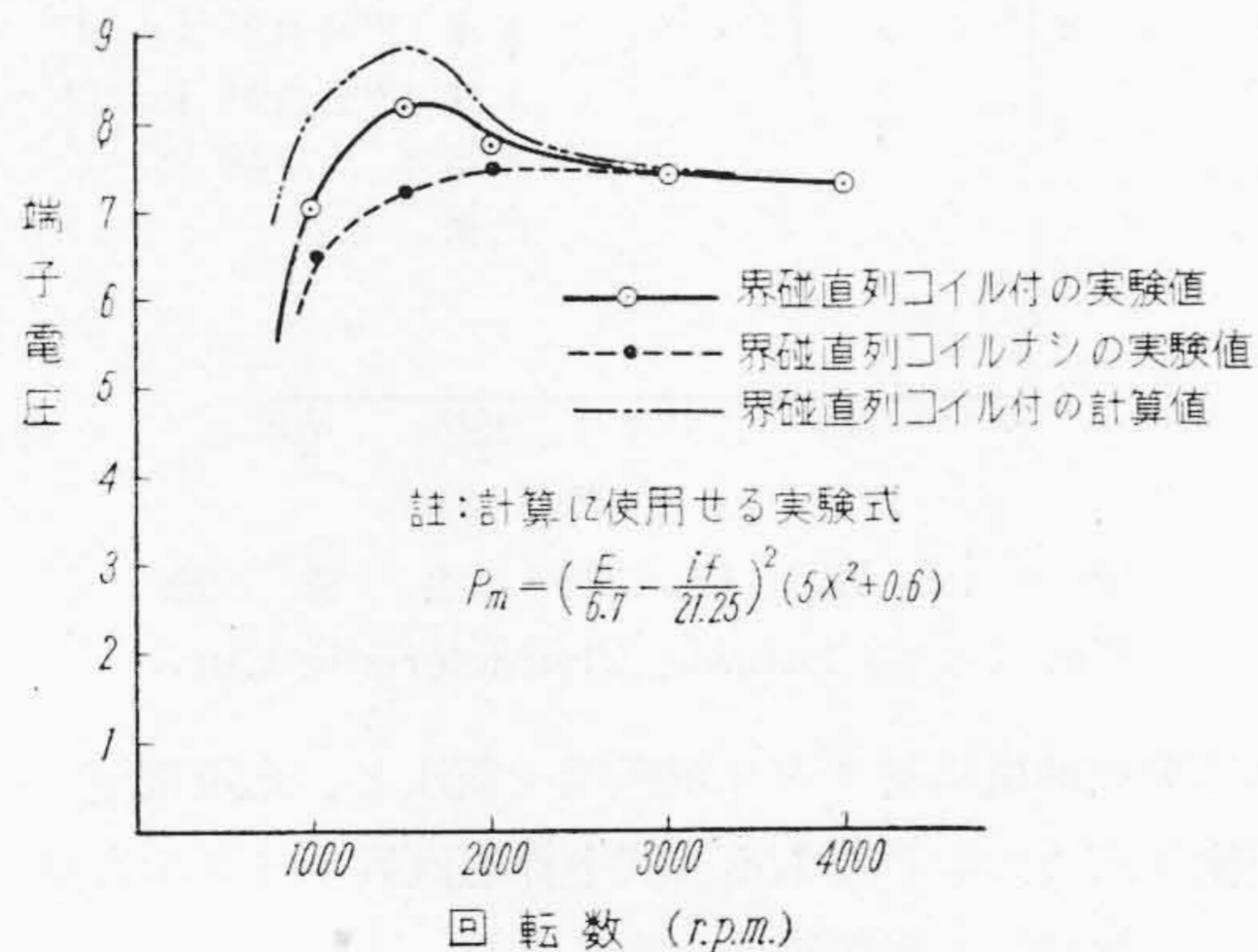
(C) 界磁直列コイル効果 低速特性を改善するために、界磁直列コイルを挿入した。これの動作を考える。界磁直列コイルを挿入した場合のマグネットコイル牽引力は、次の式で表わされる。

$$P_m = \left( \frac{E}{E_0} - \frac{i_f N_f}{i_0 N} \right)^2 (\gamma X^2 + \delta) \dots \dots (31)$$

ここに

- $i_f$  = 界磁電流
- $i_0$  = 電圧  $E_0$  に於ける電圧コイル電流
- $N_f$  = 界磁直列コイル巻数
- $N$  = 電圧コイル巻数

上式を (15) 式と比較して考察すれば明な如く、界磁直列コイル挿入により、同一の電圧  $E$  に於けるマグネットコイル牽引力は減少する。然し  $P_s - P_0$  曲線は、界



第 14 図 界磁直列コイル付カーボンパイル 6V 250W 発電機の無負荷速度特性

Fig. 14. No Load Speed Characteristic of 6V 250W Carbon Pile Dynamo with Field Current Coil

磁直列コイルの有無に関係しないので、 $P_m$  曲線と  $P_s - P_0$  曲線との交点は、変位の小さい方に移動する。換言すれば、抵抗の小さい方に移動するので、電圧は上昇する。この効果は、界磁電流の大きい程大である。第 14 図は、これらの関係を示す。又高速に於ては、界磁電流が小さいので、界磁直列コイルの影響は殆んどない。

(D) 電流コイル効果 過負荷電流を抑制するために電流コイルを挿入した。これの効果を考える。電流コイルを挿入した場合のマグネットコイル牽引力は、次の式で表わされる。

$$P_m = \left( \frac{E}{E_0} + \frac{I N_I}{i_0 N} \right)^2 (\gamma X^2 + \delta) \dots \dots (32)$$

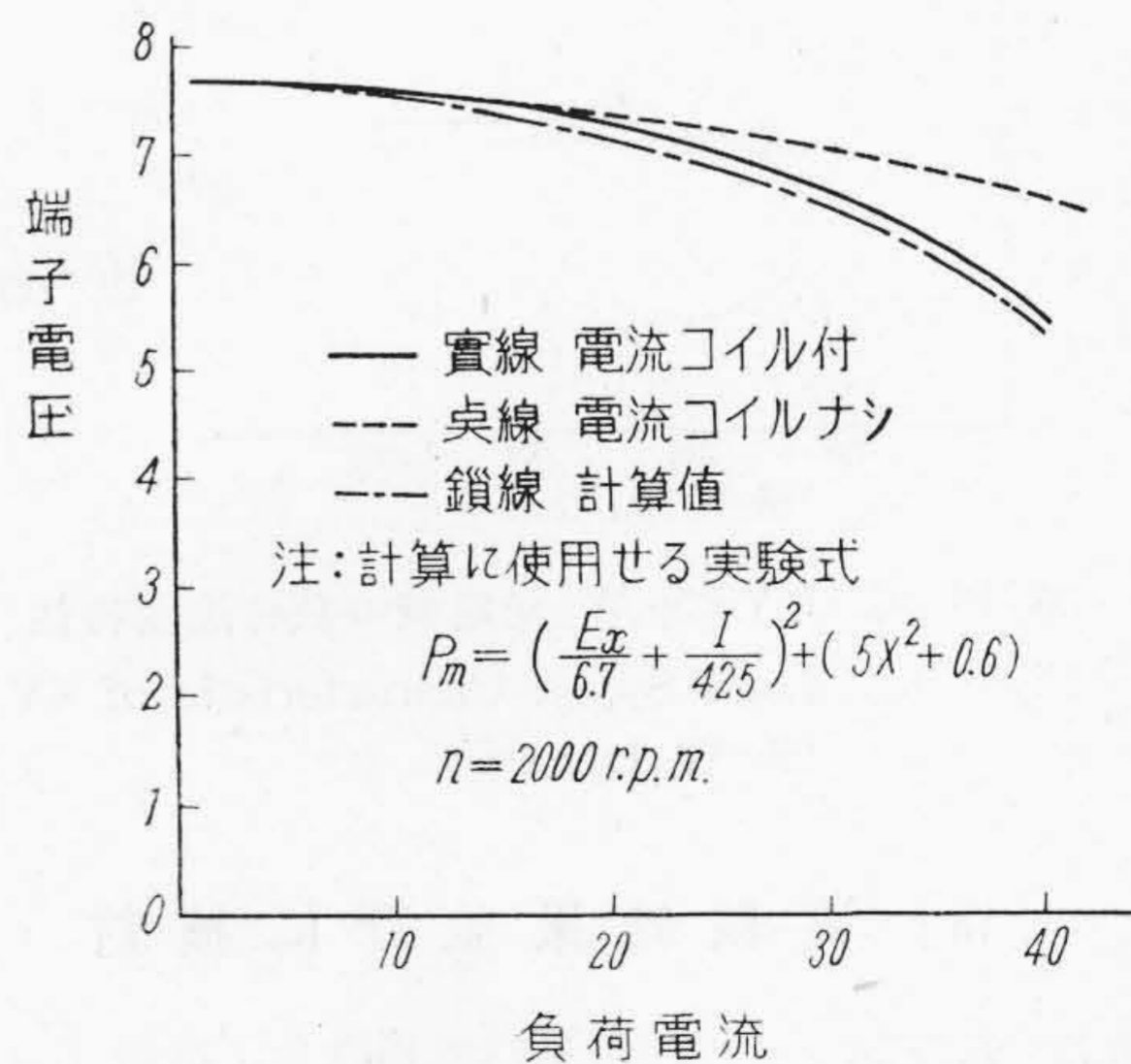
ここに

- $I$  = 負荷電流
- $N_I$  = 電流コイル巻数

上式より電流コイル挿入により、同一の電圧  $E$  に於けるマグネットコイル牽引力を増加させ、 $P_s - P_0$  曲線との交点を、変位の大きい方に移動させる。即ち、釣合点が抵抗の大きい方に移動させられ、電圧を降下せしめる。この効果は電流の大きい程大で、負荷電流と共に端子電圧も降下するので、両者相加わり効果を著しくする。

第 15 図は、これらの関係を表わす。

(E) 総合負荷特性 以上個々の場合の特性について考究したが、次に負荷時の総合特性を求める。これは、負荷時の発電機特性式と、カーボンパイル調整器に、界磁直列コイル及び電流コイルを含めた特性式とを、組合せて求められる。先ず発電機特性式は、(21)式と同様に次の如く表わされる。



第 15 図 電流コイル付 6V250W 発電機の外 部負荷特性

Fig. 15. External Characteristic Curves of 6V 250W Dynamo with Current Coil

$$Et = \frac{\left\{ n - a \left[ r_0 + C \left\{ \frac{\alpha - (L - X)}{\beta} \right\}^m \right] \right\} R_I}{b(R_I + q)} \dots \dots \dots (33)$$

又カーボンパイル調整器に於て、マグネットコイル牽引力  $P_m$  の特性式は、次の如くなる。

$$P_m = \left( \frac{Et}{E_0} - \frac{i_f N_f}{i_0 N} + \frac{I N_I}{i_0 N} \right)^2 (\gamma X^2 + \delta) \dots (34)$$

ここに  $i_f$  及び  $I$  は、それぞれ (13) 式 (19) 式及び (20) 式より、次の如く表わされる。

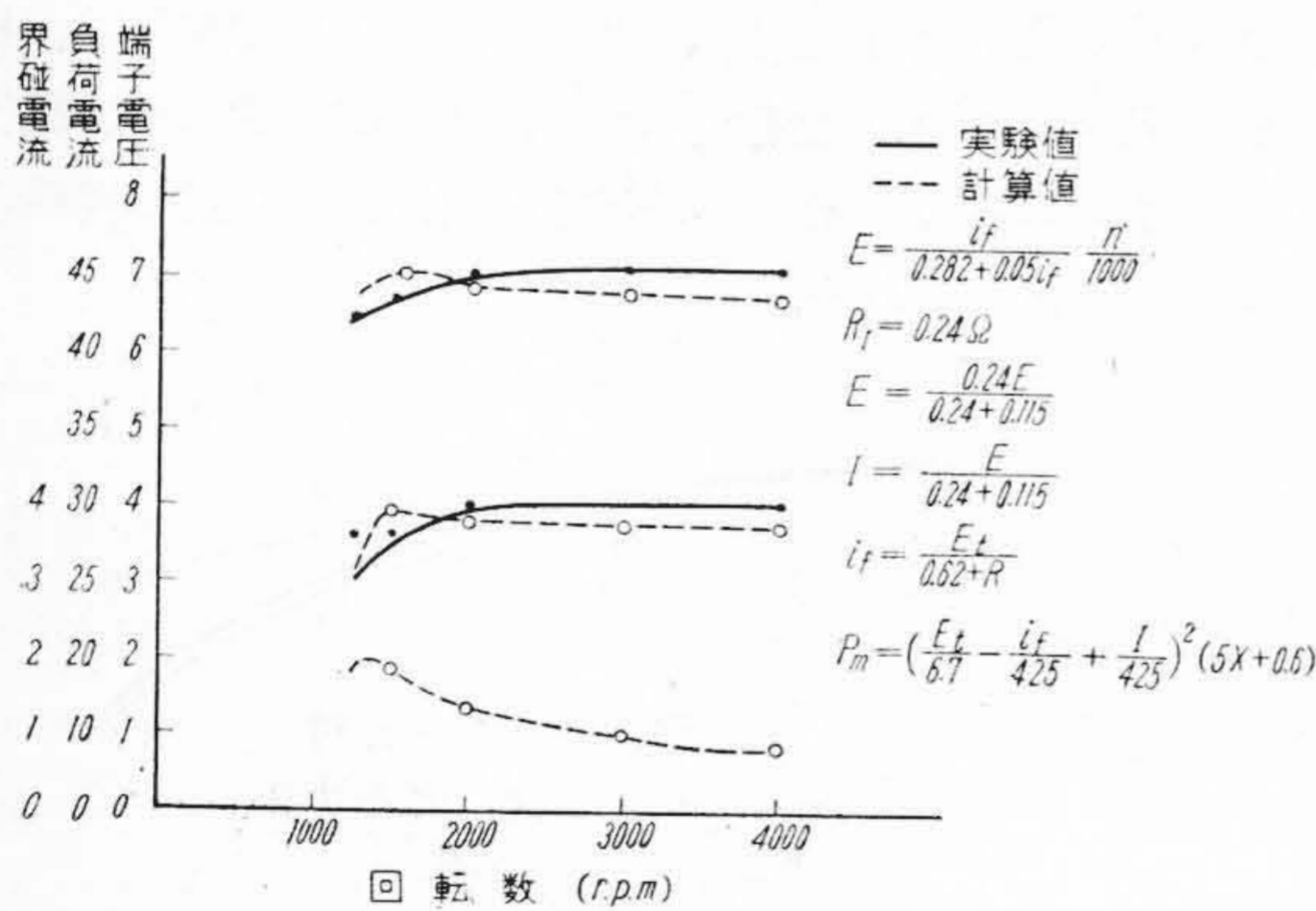
$$i_f = \frac{Et}{r_0 + C \left\{ \frac{\alpha - (L - X)}{\beta} \right\}^m} \dots \dots \dots (35)$$

$$I = \frac{Et}{R_I} \dots \dots \dots (36)$$

従つて  $P_m$  は次の如く表わされる

$$P_m = \left( \frac{Et}{E_0} - \frac{N_f}{i_0 N} \frac{Et}{r_0 + C \left\{ \frac{\alpha - (L - X)}{\beta} \right\}^m} + \frac{N_I}{i_0 N} \frac{Et}{R_I} \right)^2 (\gamma X^2 + \delta) \dots \dots (37)$$

上式は、未知数  $Et, X$  のみを含んでいる。従つて負荷時の  $P_m$  式と同様に処理することが出来る。負荷時総合特性は負荷時の項に述べたと全く同様な方法で求めることが出来る。第 16 図はこれの一例である。



第 16 図 6 V 250 W 発電機の負荷速度特性  
Fig. 16. Load Speed Characteristic of 6V 250 W Dynamo

[VII] 実験結果並びに検討

以上の特性並びにその計算の妥当性を、次の三つの特性について検討した。

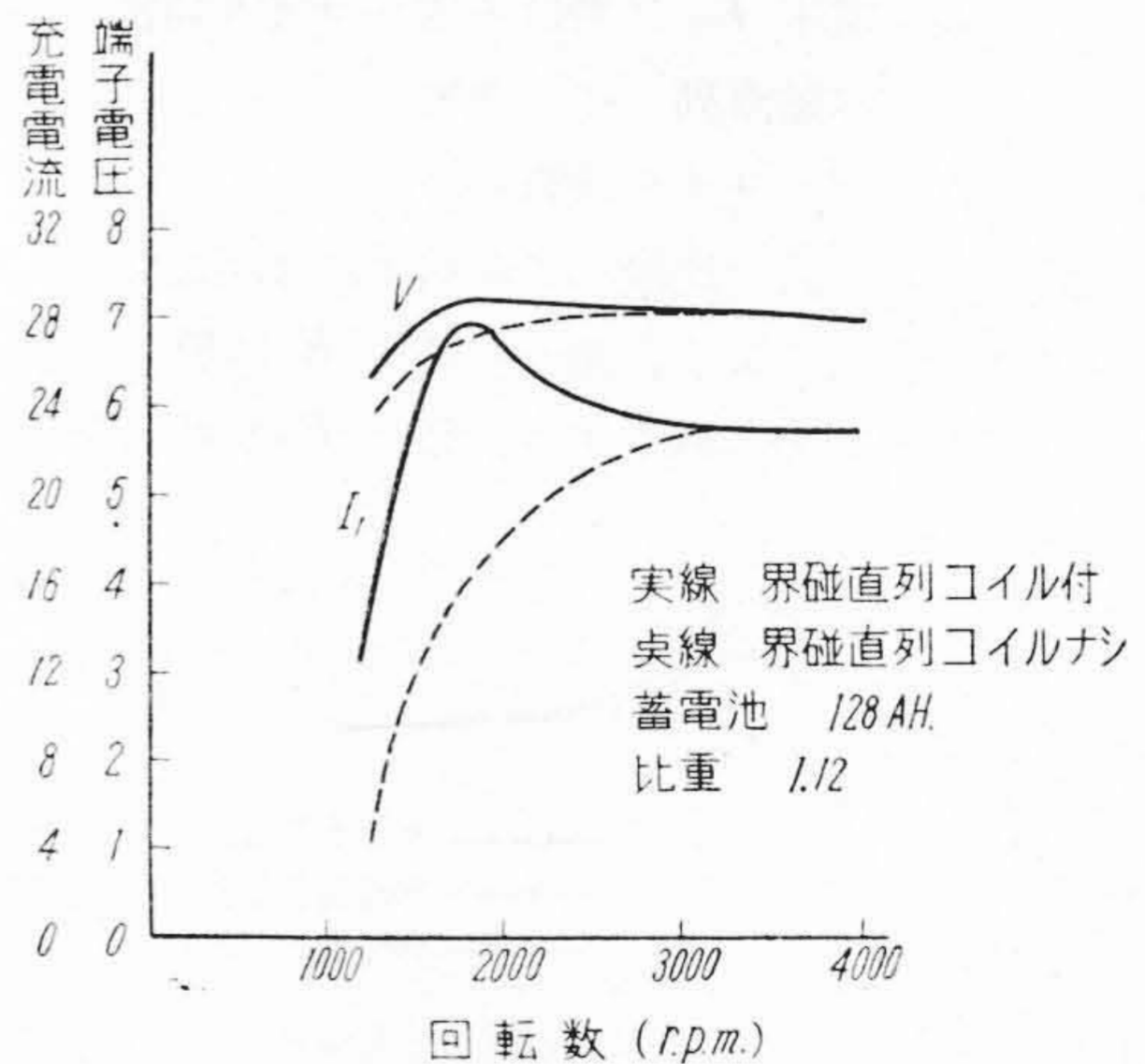
(1) 無負荷速度特性 第 13 図は界磁直列コイルのない場合の常温無負荷特性を表わす。計算値は実験値より低速時の電圧が大となつている。これは 6 V 級の如

き低電圧方式に於ては、無負荷時にも、界磁電流による刷子接触電圧降下が相当大で、補正を要するものと考えられる。又この特性は低速時に於て電圧小のため、自動車用発電機としては不適當である。

第 14 図は界磁直列コイルを挿入した場合で、低速時特性は、著しく改善され、1,000r. p. m. に於て、10%~20% の電圧上昇が得られる。但し過大のときは、低速時に於て、異常電圧を発生するので、適正值を選ばねばならぬ。尚 1,500 r. p. m. ~1,700r. p. m. に於て、電圧の最高値を示し、それ以上の回転数に於ては漸減の傾向を持つている。図中界磁直列コイルの有る場合の計算値と実験値との比較を示した。低速時の差異については、上述の理由と同様である。

(2) 外部負荷特性 第 15 図は常温時、2,000r. p. m. に於ける、外部負荷特性で、電流コイルの有無による特性変化を示す。又点線は計算値を示す。これは実験値と略一致している。尚危険電流 45 A に於ては、端子電圧 4.5V となり、カットアウトリレーの作用により必ず回路より遮断される。

(3) 負荷速度特性 第 16 図は、界磁直列コイル、電流コイルを持つ、カーボンパイル発電機の常温負荷速度特性を表わす。計算値と実験値と略一致している。又常温時に於ける蓄電池充電特性を第 17 図に示した。こ

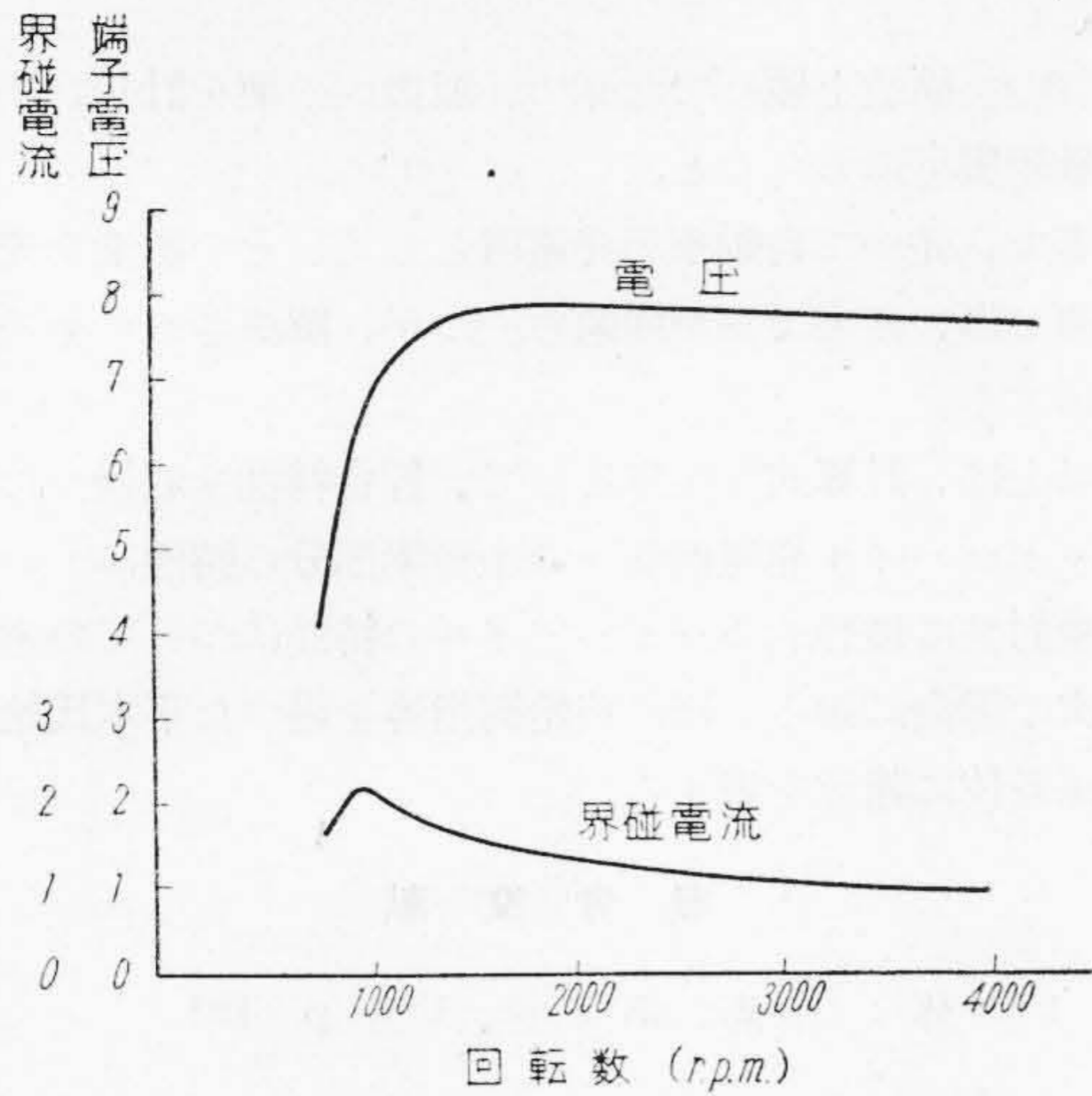


第 17 図 充 電 特 性 曲 線  
Fig. 17. Charging Characteristic Curve

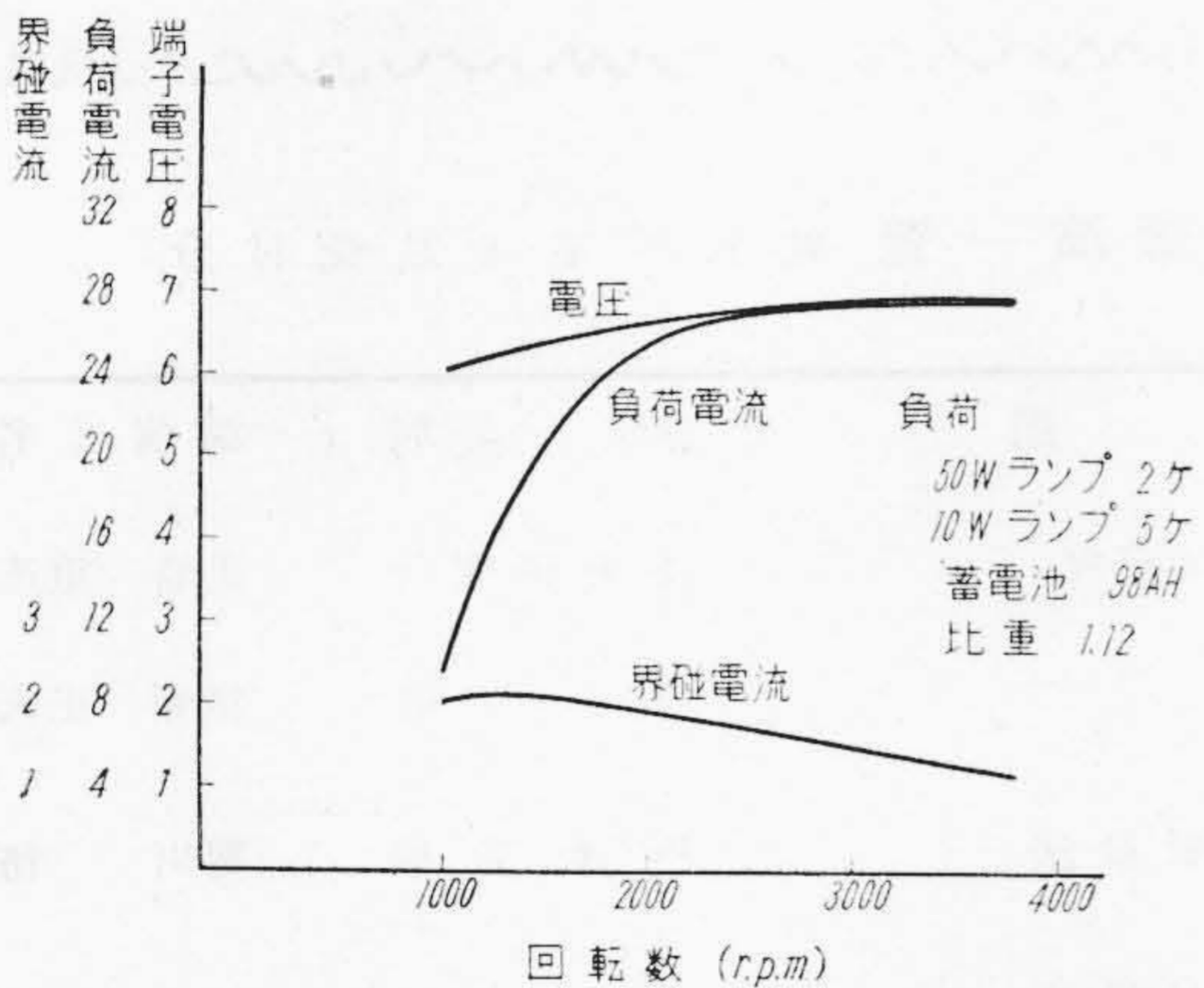
れは駆動速度に対する発電機端子電圧と、充電電流との変化を求めたものである。図中界磁直列コイルの有無について比較し、その効果を明にした。

[VIII] 標準品の特性

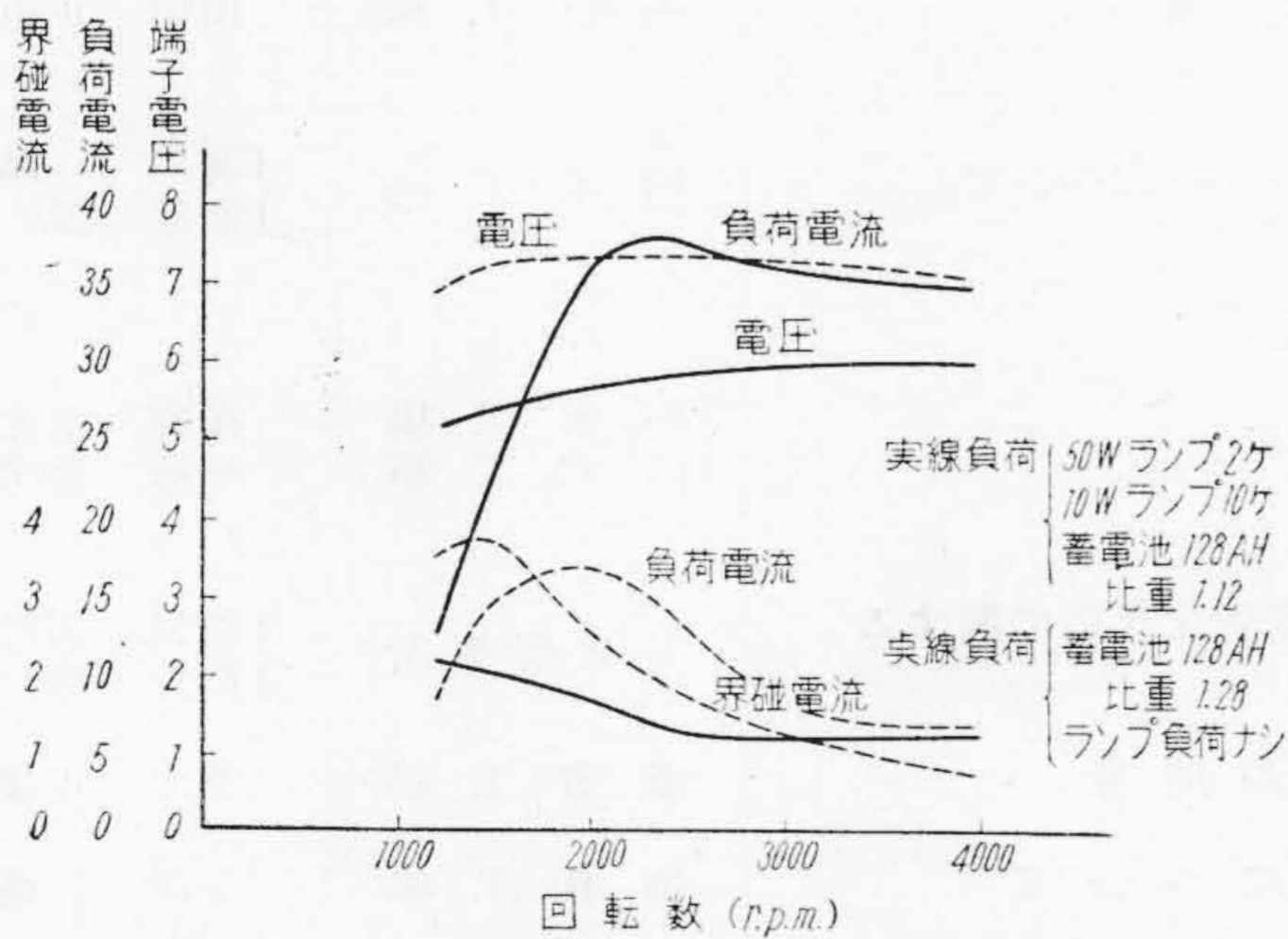
以上の考察を加えた標準品、6V 175W, 6V 250W, 24 V 350W 等の各種カーボンパイル発電機の特性について述べる。



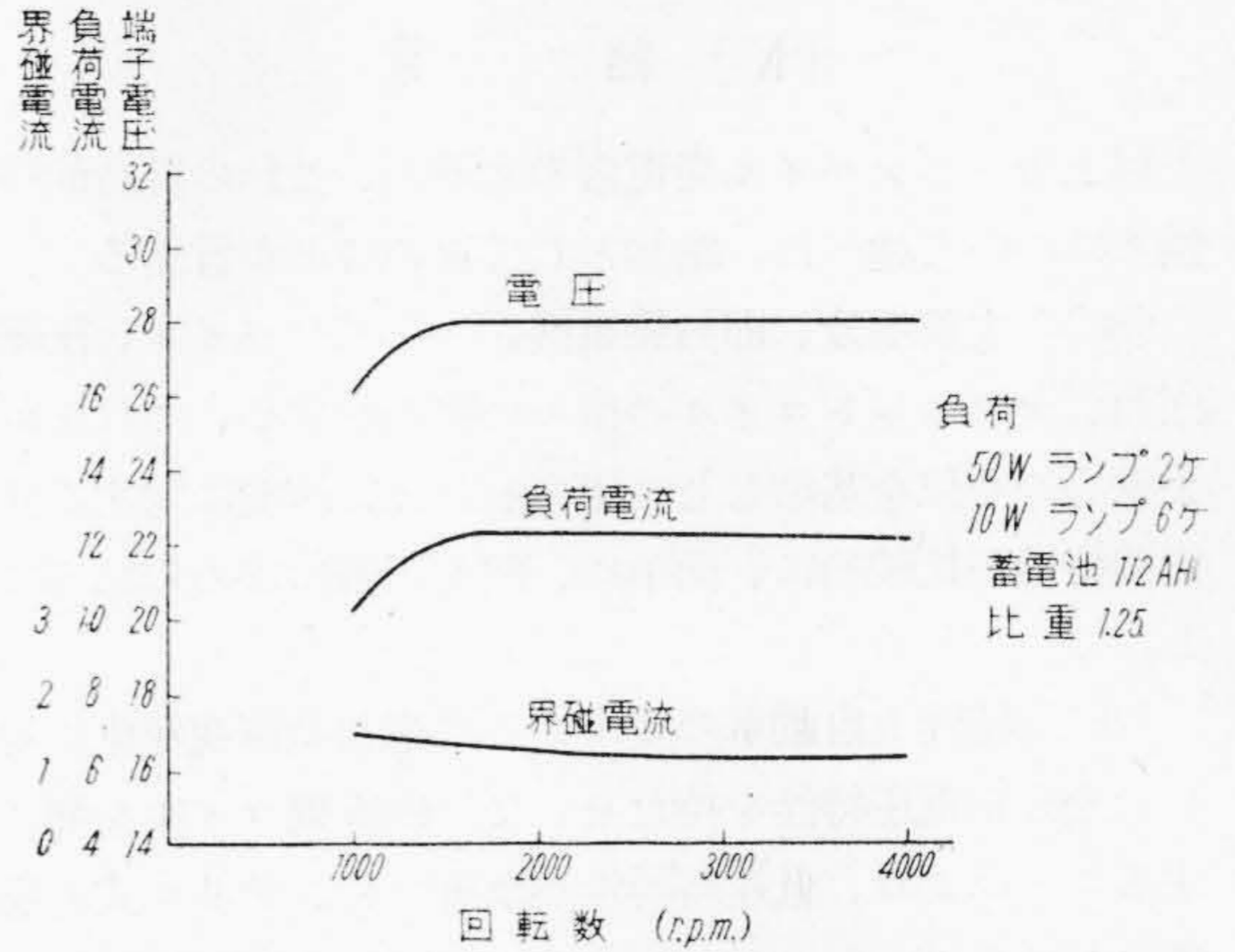
第 18 図 6V 175W 発電機の無負荷速度特性  
Fig. 18. No load Speed Characteristic of 6V 175W Dynamo



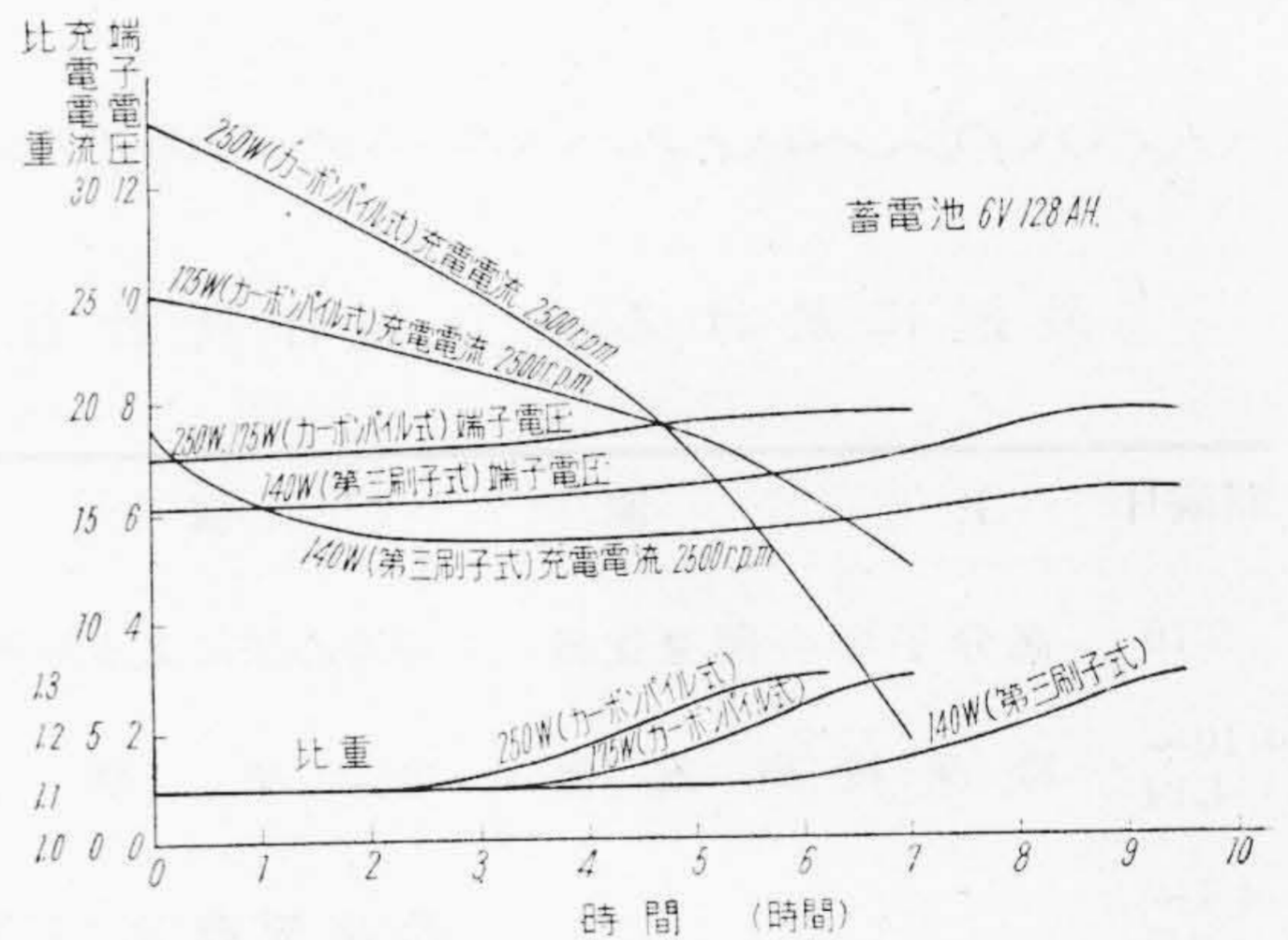
第 19 図 6V 175W 発電機の負荷速度特性  
Fig. 19. Load Speed Characteristic of 6V 175W Dynamo



第 20 図 6V 250W 発電機の負荷速度特性  
Fig. 20. Load Speed Characteristic of 6V 250W Dynamo



第 21 図 24V 350W 発電機の負荷速度特性  
Fig. 21. Load Speed Characteristic of 24V 350W Dynamo



第 22 図 充 電 特 性  
Fig. 22. Charging Characteristic

(1) 無負荷速度特性 第 18 図は、6V、175W 発電機の常温時無負荷速度特性を示す。チリル式と相異なることは、界磁電流を相当大にとつている点である。

(2) 負荷速度特性 第 19 図、第 20 図、第 21 図は、それぞれ、6V 175W、6V 250W、24V、350W の常温時負荷速度特性を表わし、第 20 図には負荷の変化による特性の変化を示した。即ち、負荷の大きい場合は、大電流を流し、負荷の小さい場合は、小電流を流し、負荷により適正な値を示し、車の要求に合致した特性であることを示す。

(3) 充電特性 第 22 図は、6V 175W、6V 250W カーボンパイル発電機と、従来使用せられていた、6V 140W、第三刷子式発電機との充電特性の比較結果で、カーボンパイル式の特性の良好なことがよく現われている。

〔K〕 結 言

以上カーボンパイル発電機の概要と、これの総合的特性について述べた。結論として次のことが言える。

(1) 主要部分、即ち発電機、カーボンパイル、圧縮ばね、マグネットコイルの個々の特性を求め、これを可動鉄心の変位を基準として組合せれば、速度に対する発電機特性が比較的、簡単に、然も正確に求められること。

(2) 特性上自動車の要求する広範囲の速度変化に対し、充分定電圧特性を持たせ、又界磁直列コイルを挿入することにより、低速時特性が改善され、チリル式と遜色のないものとなつたこと。及び電流コイルを挿入し、垂下特性を持たせ、異常電流に対する保護をなし、限流リレーを省略し、無接点式電圧調整器の完成を見たこと。

と。

(3) 構造上極めて簡潔で、取扱いの便を計り、小型軽量耐震型にしたこと。

等で、従つて自動車用発電機として、その機能を充分発揮し得、従来よりの問題の一つが、解決されたものと確信する。

以上は、計算式を主体として、総合特性を取扱つたがカーボンパイル発電機個々の主要素部分の特性についての検討並に理想的カーボンパイルの特性についての考究は次の機会に譲る。終に終始御指導を賜つた平木氏始め関係各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 林：炭素、第2巻、1号 p. 191

最近に於ける日立製作所社員社外講演一覽(昭和27年4月受付分)

講演日	主 催	演 題	所 属	講演者名
5/10	高分子学会関東支部	超遠心法による鎖状高分子の研究	中央研究所	黒崎 重彦
4/10~ 4/14	冷凍技術講習	冷 凍 原 理	本 店	猪瀬 正夫
4/4~ 4/7	"	冷凍原理及び冷凍機取扱法	栃木工場	関川 務
4/6~ 4/18	"	冷凍原理及び冷凍機取扱法	"	望月 四郎
4/18	東京産業安全協会	工場彩色調整について	亀戸工場	山津 幸夫
4/18	"	工場彩色の効果	亀戸工場	山田 正臣
4/12	{第539講演会 衛生工業協学会 日本機械協学会 日本冷凍協会	ウインドー型ルームクーラーについて	栃木工場	{関川 務 南部 誠一
4/12	{第539講演会 衛生工業協学会 日本機械協学会 日本冷凍協会	スケートリンクについて	{栃木工場 日立工事	須藤 清治 近藤 嘉考
5/23	{化 学 会 プラスチック協会	フリフリルアルコール樹脂化反応に関する 乳化現象	日立研究所	{鶴田 四郎 高野 憲三
5/23	電 気 協 会	新型制弧遮断器の開発	多賀工場	桑山 正俊
4/下	水道技術者講習	タービンポンプについて	亀有工場	寺田 進