

カーボンパイル式電圧調整器の温度補償について

Temperature Compensation for Carbon Pile System Voltage Regulator

森 岡 健*
Takeshi Morioka

内 容 梗 概

一般に自動車用電圧調整器は、周囲温度の変動、機器の発熱状態によって、その制御電圧は変動し、温度上昇とともに、電圧は上昇の傾向をとる。この電圧変動は、機器の寿命、蓄電池、点灯状態などを考慮した場合には、一定値以内におさえるべきで、ここに温度補償の必要性が生ずる。普通、温度補償には、バイメタルの温度による変位を利用した方法と、整磁鋼の導磁率の変化を利用した方法が採用されている。

本報告はカーボンパイル式電圧調整器の温度による電圧変動の解析、温度補償の具体的な方法、温度補償を行つた場合の各種の実験結果を記述したものである。

1. 緒 言

自動車用充電発電機は、車に装備されている蓄電池、ランプ、そのほかの電気負荷へ電力を供給するものである。したがつて出力ならびに発生電圧は、車速、温度に関し一定であることが望ましいばかりでなく、点灯負荷の変動に対しても、即応する容量と性能とをもたねばならない。このため、充電発電機は、低出力のものを除いて、ほとんど電圧調整器と組合せ使用されているのが通例である。一般にこの電圧調整器には、接点式電圧調整器とカーボンパイル式電圧調整器が使用されている。カーボンパイル式電圧調整器は、カーボンシートが加圧力により、接触抵抗が変化することを利用したもので、分巻発電機の界磁線輪に直列にカーボンシートを挿入し、その接触抵抗の変化により界磁電流を連続的に変化し、出力と電圧を車速に対し一定ならしめている。

しかし、この電圧はカーボンシート、マグネットコイル、発電機の冷熱による抵抗変化によつて温度に関し一定であり得ず、通常全負荷の温度上昇試験を実施せしめると、制御電圧は上昇する。

この温度による電圧変動は、蓄電池の充電、点灯状態より一定値以内に納めるべきで、ここに温度補償の必要性が生ずる。この温度補償の状態は、電圧調整器が車に装架されている場合を考慮すると、車速の変動、外部振動などに対し影響されてならないことは当然である。

通常一般機器の温度補償方法は、温度係数が負なる抵抗体、バイメタル、整磁鋼などが利用されているが、現在カーボンパイル式電圧調整器に実用化されている温度補償方法は、バイメタル、整磁鋼を使用する方法である。

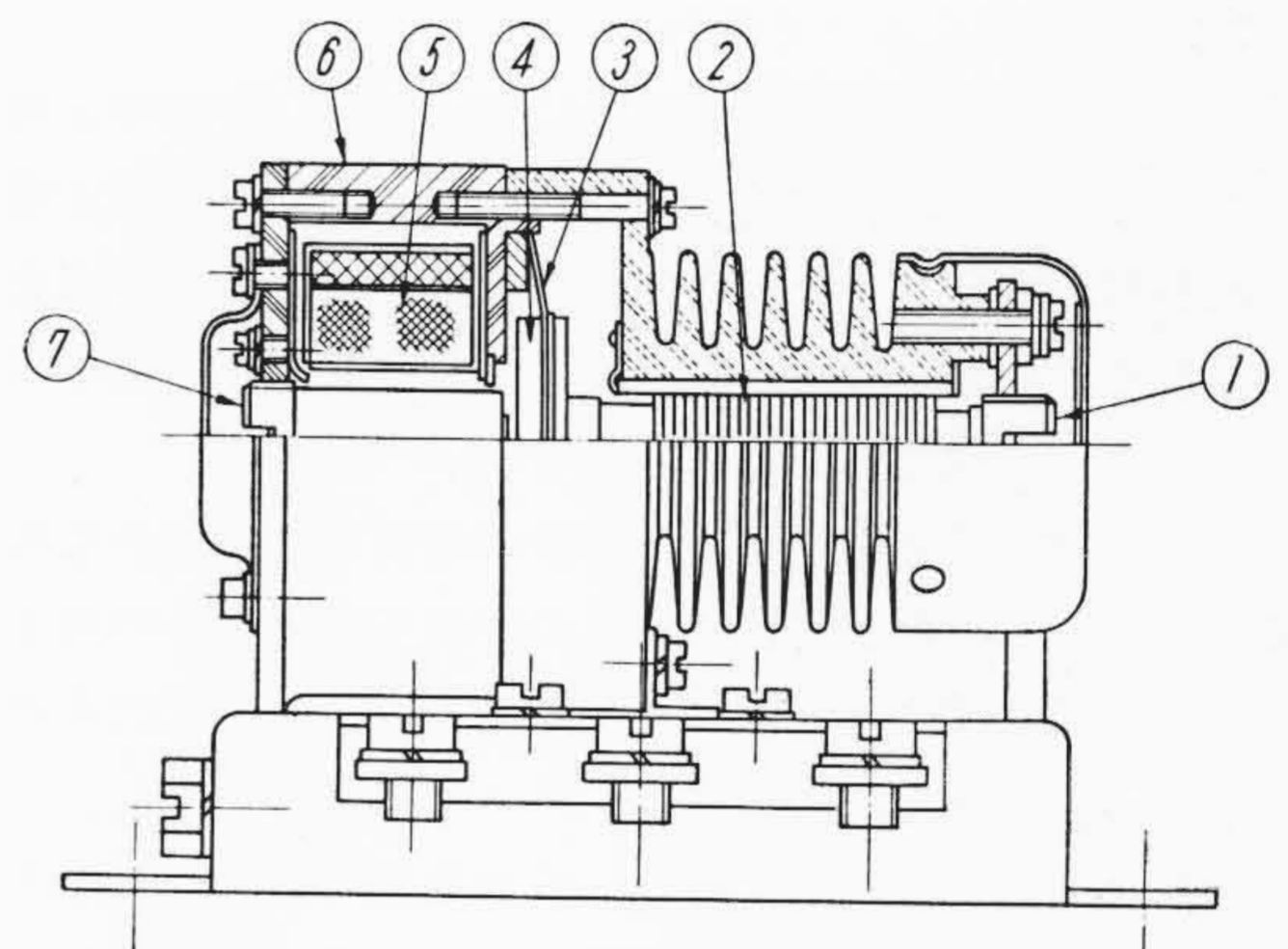
以下その大要を述べる。

2. カーボンパイル式電圧調整器の構造と動作

2.1 構 造⁽¹⁾

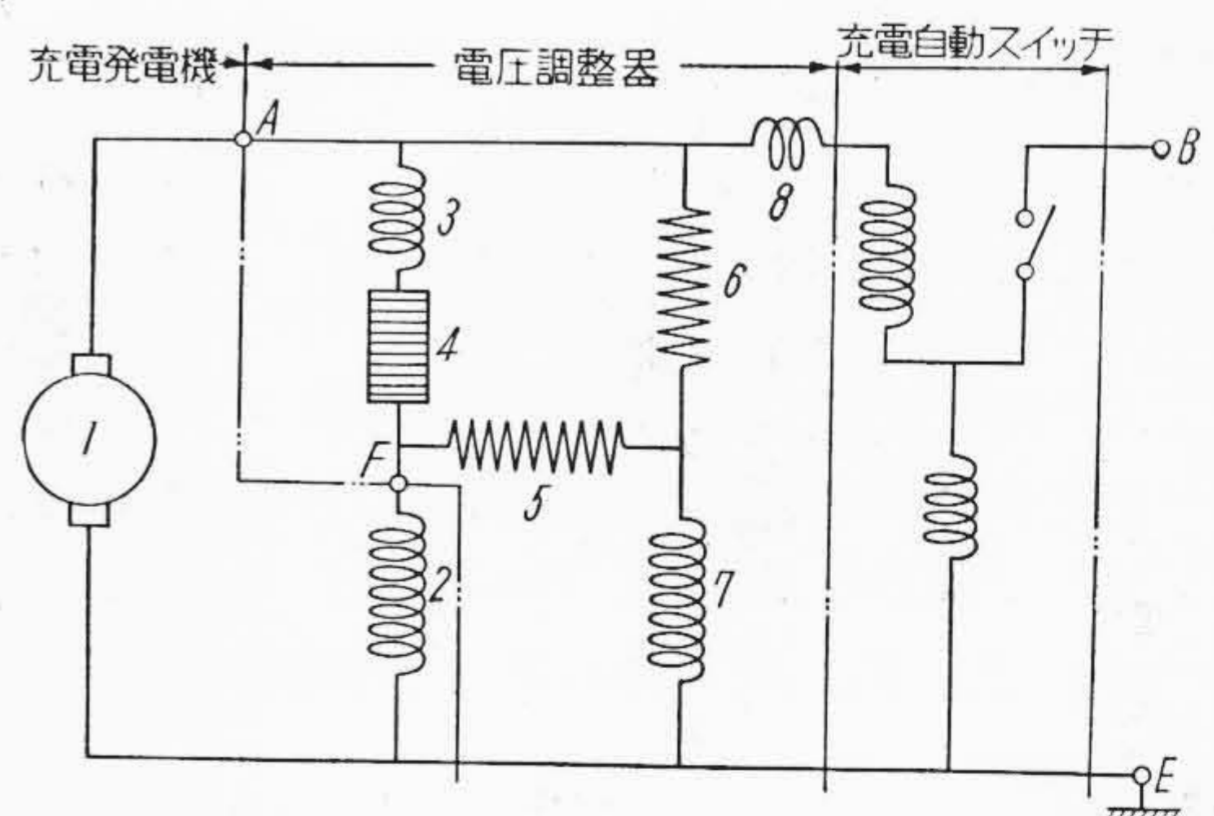
カーボンパイル式電圧調整器は、第1図のように大別

* 日立製作所多賀工場



① 加圧ネジ (Pネジ) ② カーボンシート ③ 圧縮バネ
④ 可動鉄心 ⑤ マグネットコイル ⑥ 継鉄
⑦ 磁束調整ネジ (Fネジ)

第1図 構 造 図



1: 電機子 2: 界磁線輪 3: 界磁直列線輪
4: カーボンシート 5: 安定抵抗 6: 直列抵抗
7: 電圧線輪 8: 電流線輪

第2図 回 路 図

してカーボンシート、圧縮バネ、マグネットコイルの三つの部分よりなり、その動作特性はこれらの三者の組合せたものとなる。

カーボンシートは通常数十枚の円形カーボン板を堆積したものであり、一端は加圧ネジにより保持され、他端は可動鉄心をもつた圧縮バネにより加圧されている。この可動鉄心は継鉄とともに磁路を形成し、マグネットコイルの励磁により圧縮バネにさからつて吸引され、カーボンシートの加圧力を変化せしめる。

マグネットコイルの簡単なものは、電圧線輪のみであるが、複雑なものは電圧線輪のほか、界磁直列線輪、電流線輪の三種の線輪よりなる。電圧、電流、両線輪は和動に巻線されそれぞれ電圧、電流の制御を目的とするが、界磁直列線輪は、これらと差動に巻かれ充電開始回転数および低速時の出力改善に使用される。第 2 図はこの回路図を示すものである。

2.2 常温時における特性

カーボンパイル式充電発電機においては、常温時と熱時における出力、蓄電池の充電状態などは、発電機と電圧調整器が規定された場合、無負荷電圧の値によつて左右される。したがつて、温度補償は無負荷電圧を基準にとつて考案を進めていくことにする。

カーボンパイル電圧調整器の動作解析は、過渡的な現象を除いては、図式解法によるのが便である。その骨子はすでに論文⁽²⁾にも発表されているので、ここではその要点のみ記述することにする。

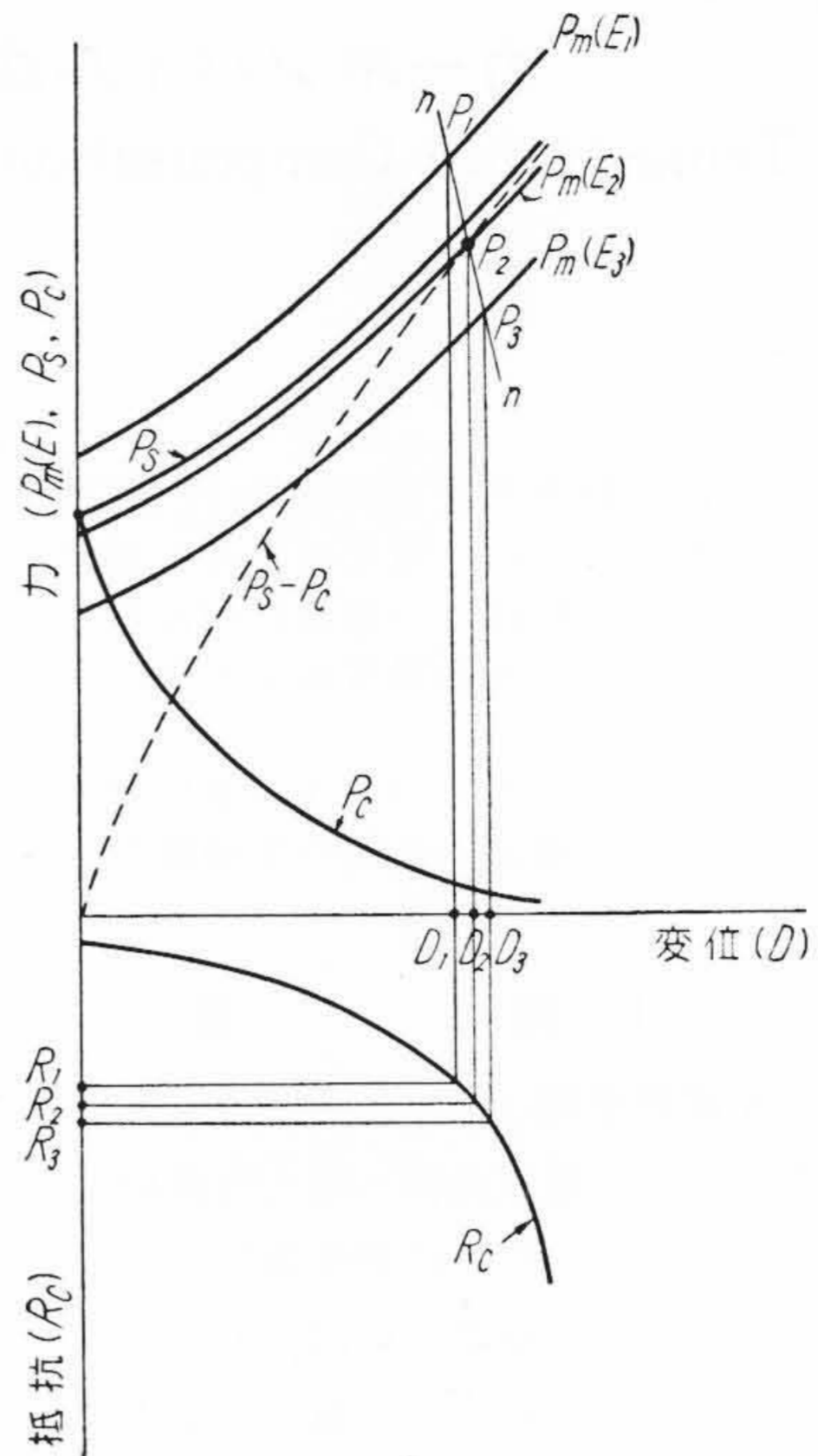
電圧調整器に電圧を加えない時の空隙の状態を基準とし、横軸に基準値よりの可動鉄心の変位量、換言すれば空隙の変化量を取り、縦軸に力を取つて電圧調整器の三つの要素を次のように図示する。

カーボンシート： 基準値よりカーボンシートの荷重—変位、抵抗—変位の関係は第 3 図 P_c, R_c のごとくなる。

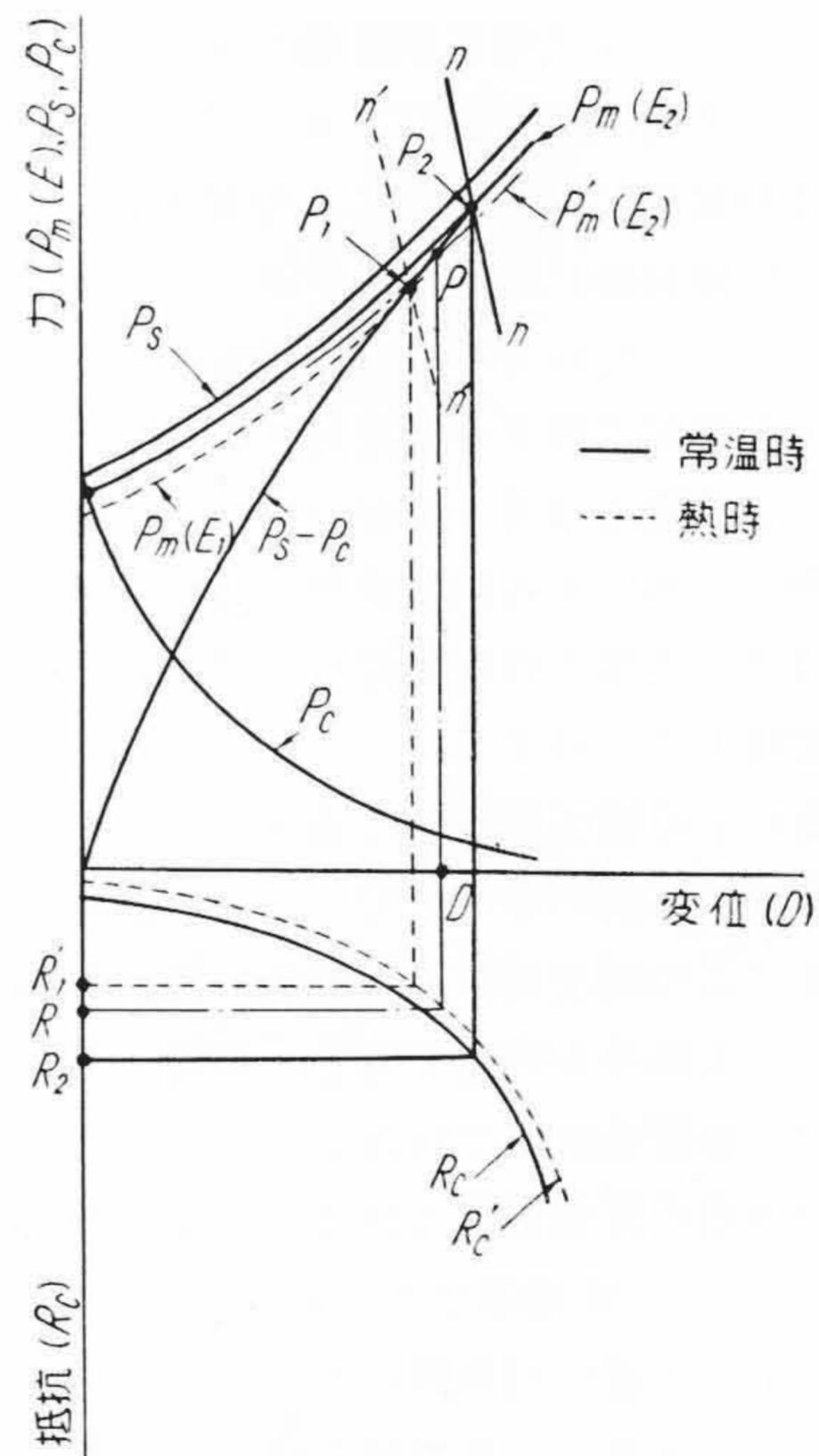
圧縮バネ： 圧縮バネ特性 P_s は空隙の変化に対し第 3 図のように図示される。

マグネットコイル： マグネットコイルの吸引力特性は印加電圧の函数として示す。すなわち第 2 図の A E 間に加えられる電圧を一定に保つて、空隙を変化せしめた場合の吸引力特性 $P_m(E)$ で示す。図中 $P_m(E_1), P_m(E_2), P_m(E_3)$ は、それぞれ印加電圧 E_1, E_2, E_3 の時の吸引力特性を示すものである。

マグネットコイルの吸引力特性は、界磁直列線輪を有する場合には、その効果を含めて図示する必要がある。界磁直列線輪の効果は、界磁電流の算出によつて決定される。これには各変位におけるカーボンシートの抵抗 (R_1, R_2, R_3) を第 3 図より求め、第 2 図の回路において、発電機端子電圧 (E_1, E_2, E_3) を与えた場合の界磁電流を算出することによつて、各変位、各電圧における界磁電流の効果を吸引力特性上に示しうる。



第 3 図 動作 図



第 4 図 熱 時 に お け る 動 作 図

いま、発電機がある回転数 N において電圧 E_1 を発生するために必要な界磁挿入抵抗を R_1 とすると、第 3 図より、変位量 D_1 が定まる。 D_1 と $P_m(E_1)$ の交点を P_1 とすると、この点は発電機が回転数 N において、電圧 E_1 を

出すために必要な吸引力と変位の関係を示すことになる。かかる点 $P_2, P_3 \dots$ を電圧 $E_2, E_3 \dots$ について求めることによつて曲線 $n-n$ が求められる。

電圧調整器が電圧 E で平衡状態を保つているためには

$$P_s - P_c = P_m(E) \dots \dots \dots (1)$$

なる関係が成立する。したがつて $P_s - P_c$ を第3図の点線で示した場合、 $P_s - P_c$ と $n-n$ との交点 P_2 で平衡状態が保たれ、発電機は回転数 N において P_2 を通る吸引力 $P_m(E_2)$ に相当する電圧 E_2 を示すことになる。

電圧調整器の各回転数における無負荷電圧は、 $n-n$ を種々の回転数に関し求め、 $P_s - P_c$ との交点を決定することによつて求められる。

2.3 熱時における特性と温度補償

以上の方法は、熱時の無負荷電圧を求める場合にも同様に利用され得る。ただこの場合、各要素はそれぞれ熱時の状態を考慮して図示する必要がある。

第4図は第3図の常温時の状態を基準として、熱時の状態を示したもので、回転数 N における平衡状態の点 P_2 は、熱時 P_1 に移動し電圧は E_1 になることを示している。図中 $n'-n'$ は常温時の $n-n$ に相当するものである。

一般に熱時は、マグネットコイルの吸引力の減少、カーボンシートの抵抗減少により、制御電圧は常温時に比し増大し $E_1 > E_2$ となる。

いま常温時の状態を基準として温度補償によつて、常温時と熱時の電圧差をなくし、熱時制御電圧を E_2 におさえるためには、次の条件を満足せしめることが必要である。

- (1) 熱時、回転数 N において、発電機が E_2 を出すために必要な抵抗を R 、 R を出すために必要な変位量を D とすると、温度補償を行つた場合の圧縮バネは、 D で示される位置にこなければならぬ。
- (2) D と $P_s - P_c$ の交点を P とすれば、 P 点を通る吸引力は、熱時の回路状態において電圧 E_2 によつて生ずる $P_m'(E_2)$ でなければならぬ。

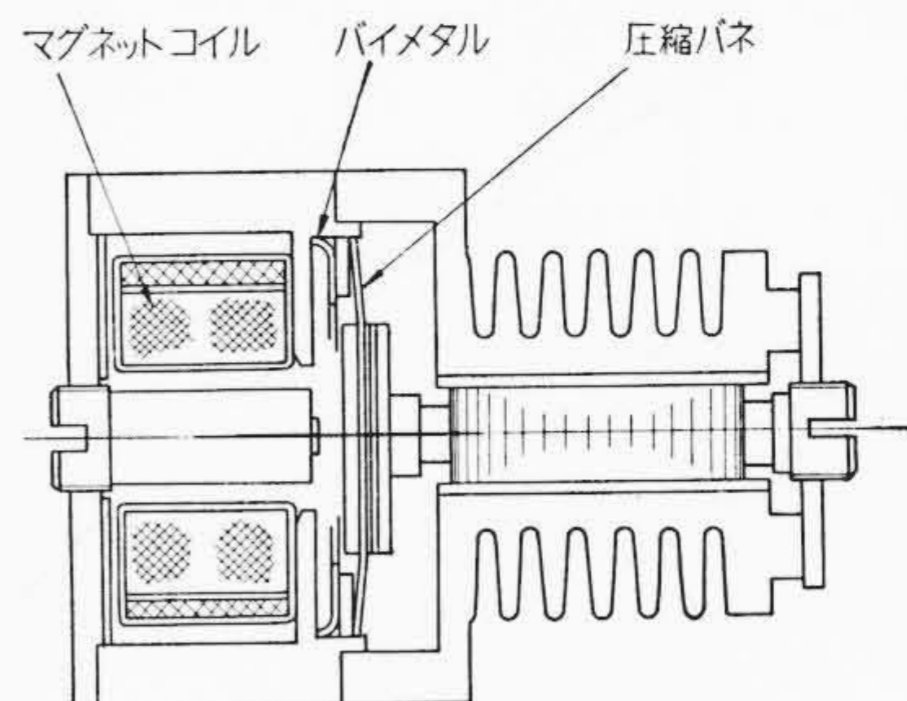
すなわち、カーボンパイル式電圧調整器の温度補償を行う場合には、常温時と熱時の起磁力、加圧バネの変位、吸引力の間には一連の関係があり、この三者が同時に条件を満足せしめなければ完全な温度補償は望めない。

3. 各種の温度補償の方法

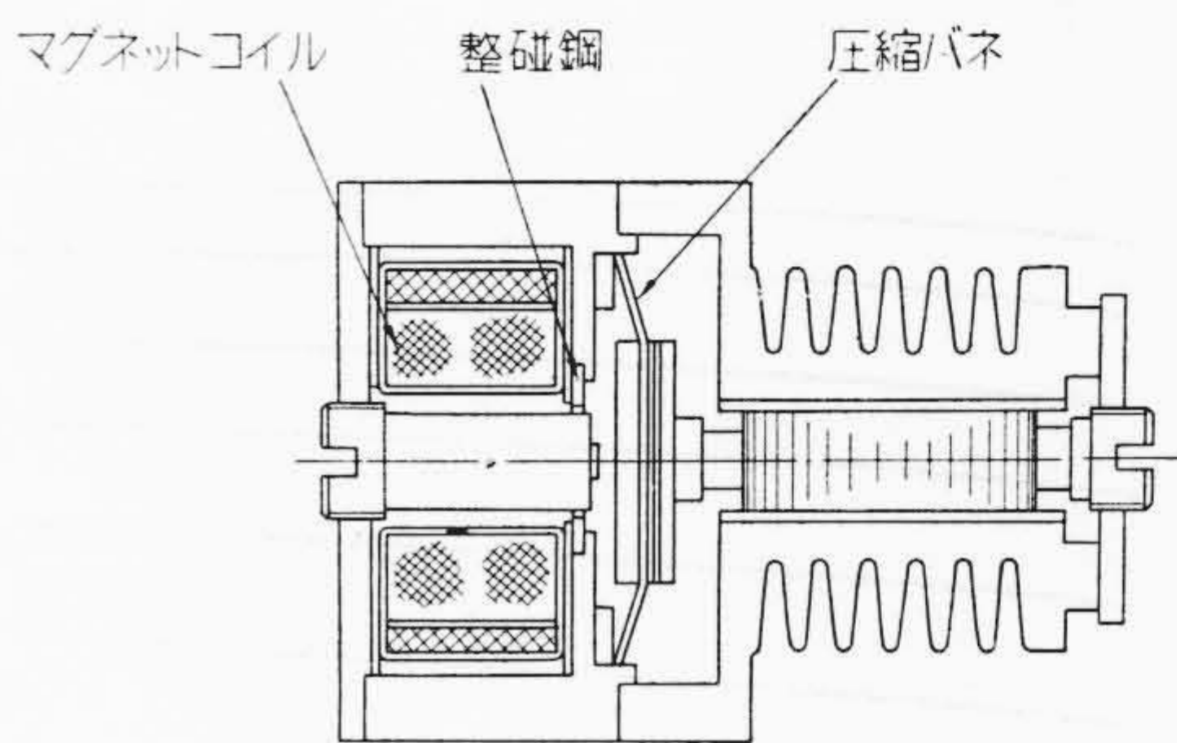
カーボンパイル式電圧調整器に応用され得ると考えられる温度補償方法を列挙すれば、下記のとおりである。

3.1 直列抵抗を利用する方法

カーボンパイル式電圧調整器には、直列抵抗に抵抗温度係数の小さい抵抗を使用し、電圧線輪の見掛上の抵抗温度係数を小さくしているが、温度補償は不十分で、熱



第5図 バイメタルによる温度補償方法



第6図 整磁鋼による温度補償方法

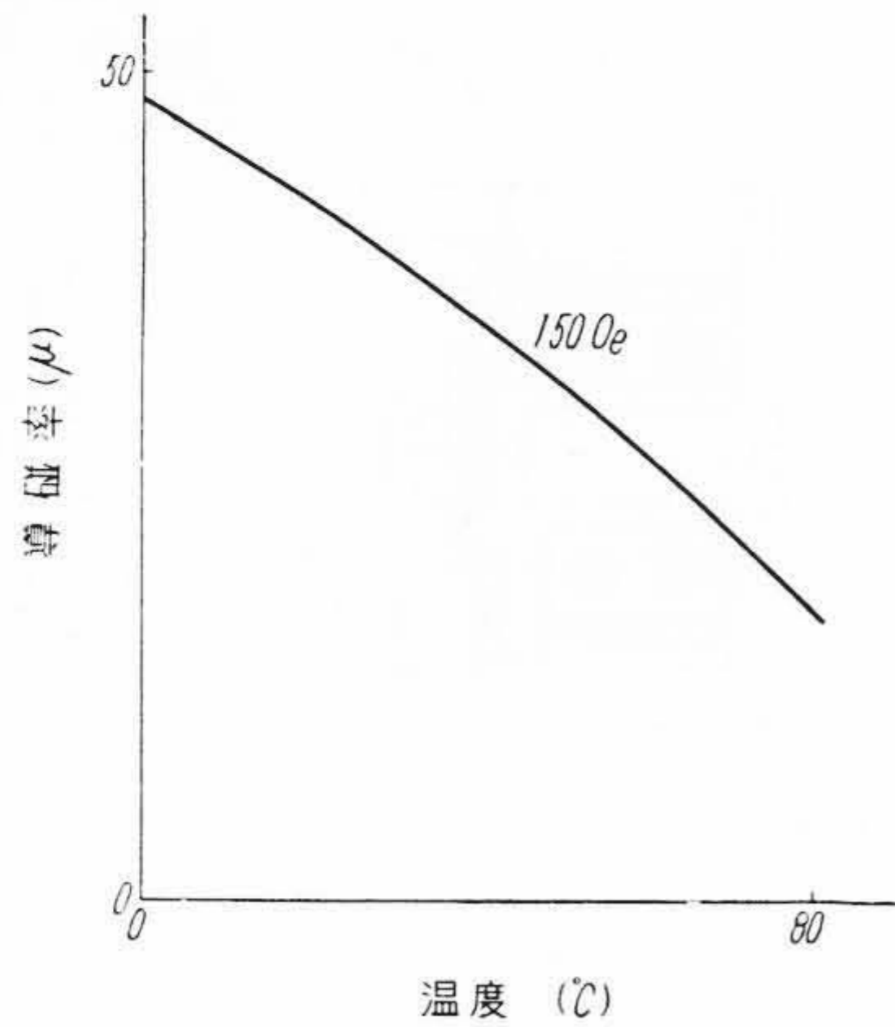
時電圧は上昇する。したがつて、この抵抗体に温度係数の負の抵抗体を使用し所要の条件を満足せしめるようにすれば、一応温度補償は可能と考えられる。しかしながらこれのみに頼る方法は回路常数に制限をうけるので実用上困難である。

3.2 バイメタルによる方法

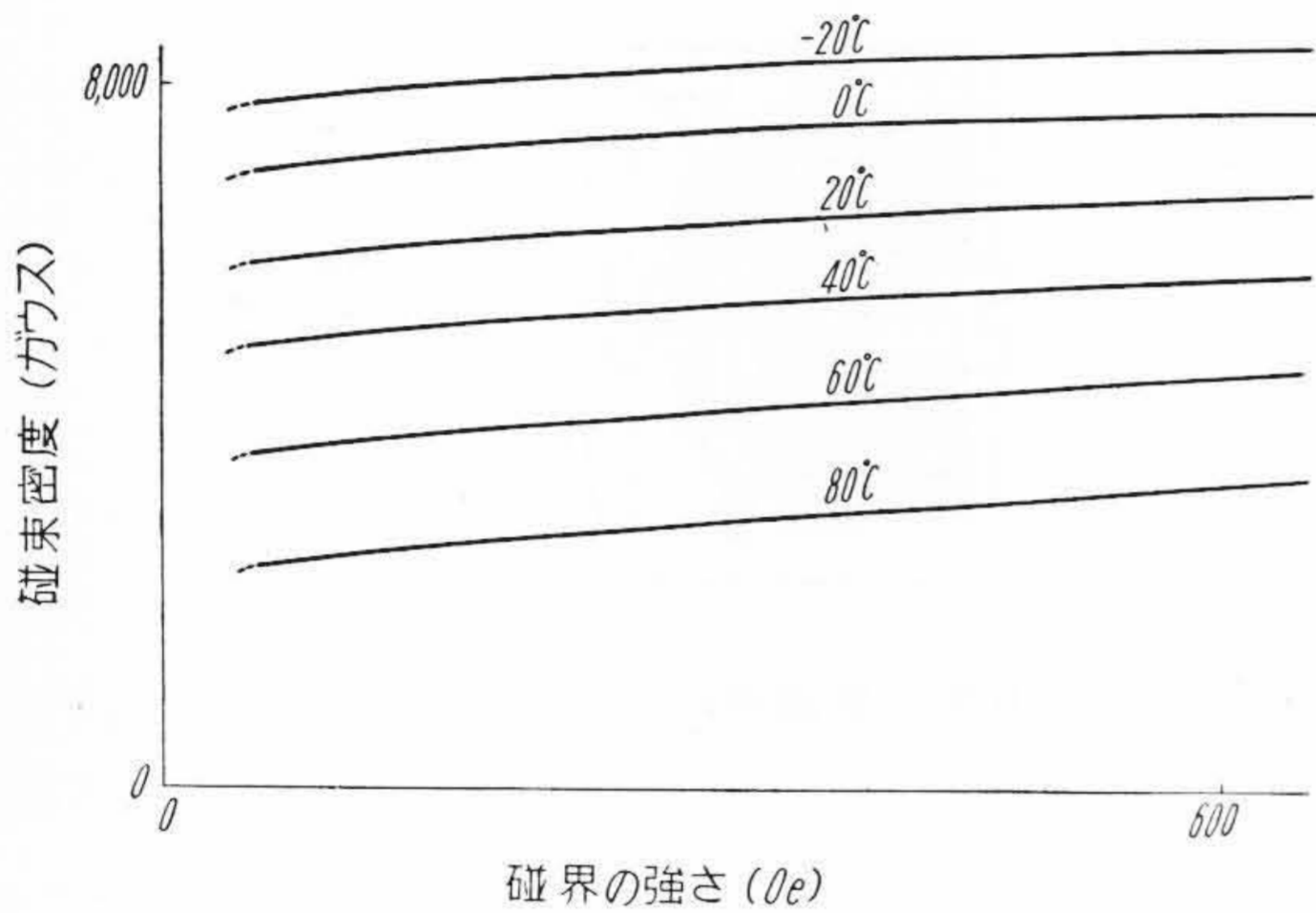
第5図のように、圧縮バネの下に腕型のバイメタルを挿入し、温度によるバイメタルの変形を利用して空隙を変化せしめ、温度補償に必要な諸条件を満足せしめるようにしたものである。この方法は、バイメタルの形状、材質の均一性に関し問題があり、必要な変位を与えるバイメタルの製作が困難であるが、その温度補償の状態は良好である。

3.3 整磁鋼を利用する方法

整磁鋼の温度による導磁率の変化を利用し、温度補償を行わしめる方法である。すなわち、第6図のように、漏洩回路に整磁鋼を入れ、温度に対し漏洩磁束量を変化し、温度補償を行わしめるようにしたものである。温度補償部の構造が簡単で、温度補償の状態も性能的に良好である。したがつてカーボンパイル式電圧調整器の温度補償は、現在この方法が採用されている。



第 7 図 温度と導磁率の関係



第 8 図 磁界の強さと磁束密度の関係

4. 整磁鋼による温度補償

4.1 整磁鋼の特性⁽³⁾⁽⁴⁾

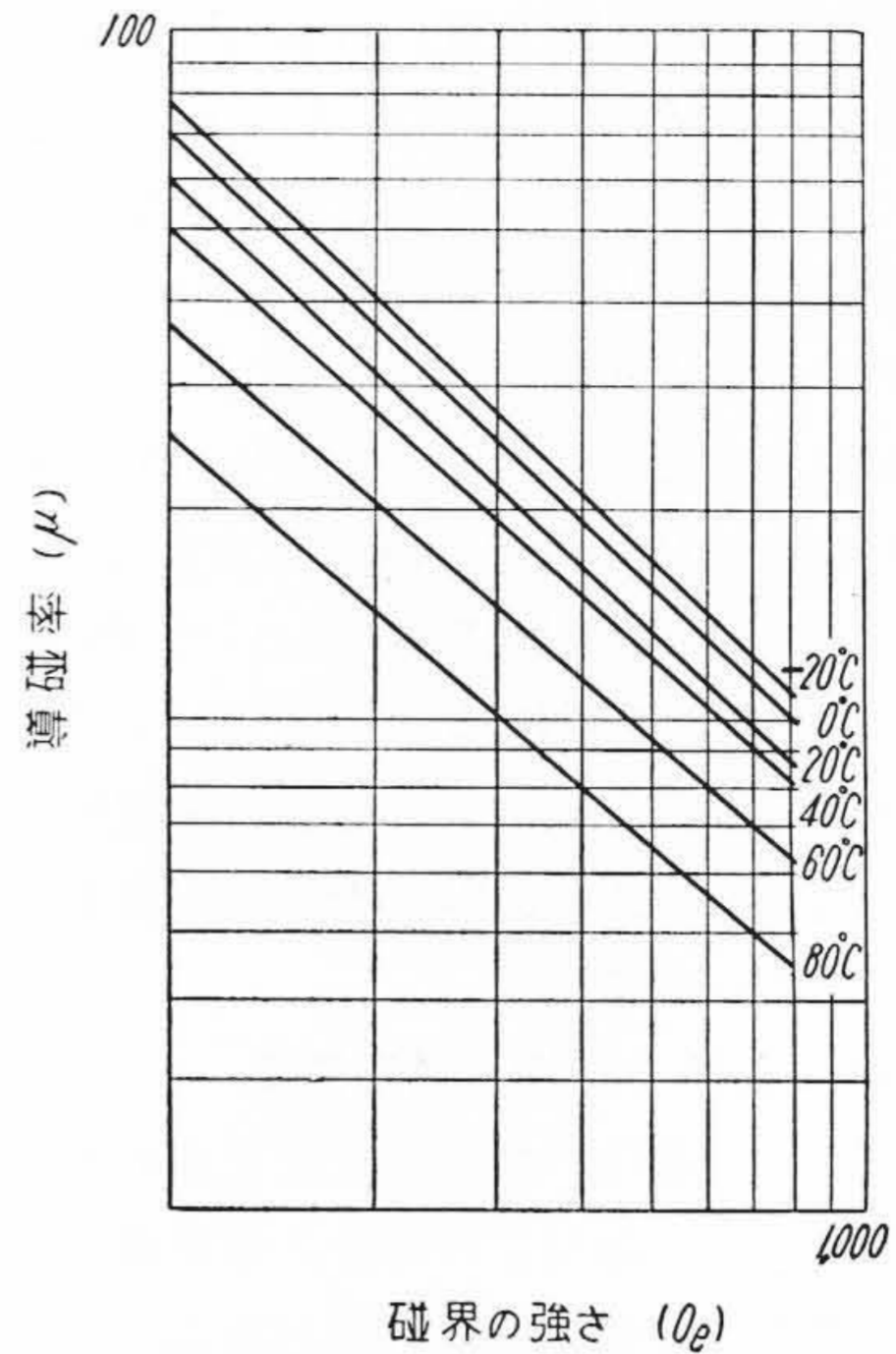
整磁鋼は GE 社の CALMALLOY のように、Cu と Ni の合金の場合もあるが、通常わが国で使用されているものは Fe と Ni の合金である。その温度特性は第 7 図のごとく、温度の上昇とともに導磁率 μ が減少する。この温度と μ の関係は、磁気変態が起らないかぎり可逆的である。

整磁鋼の B-H 曲線は、約 100 Oe より飽和の状態を呈し、この時の飽和磁束密度は第 8 図のように温度上昇とともに低下する。また第 8 図より温度を変数として、磁界の強さと導磁率の関係を示すと、第 9 図のように対数グラフ上に直線的に示しうる。

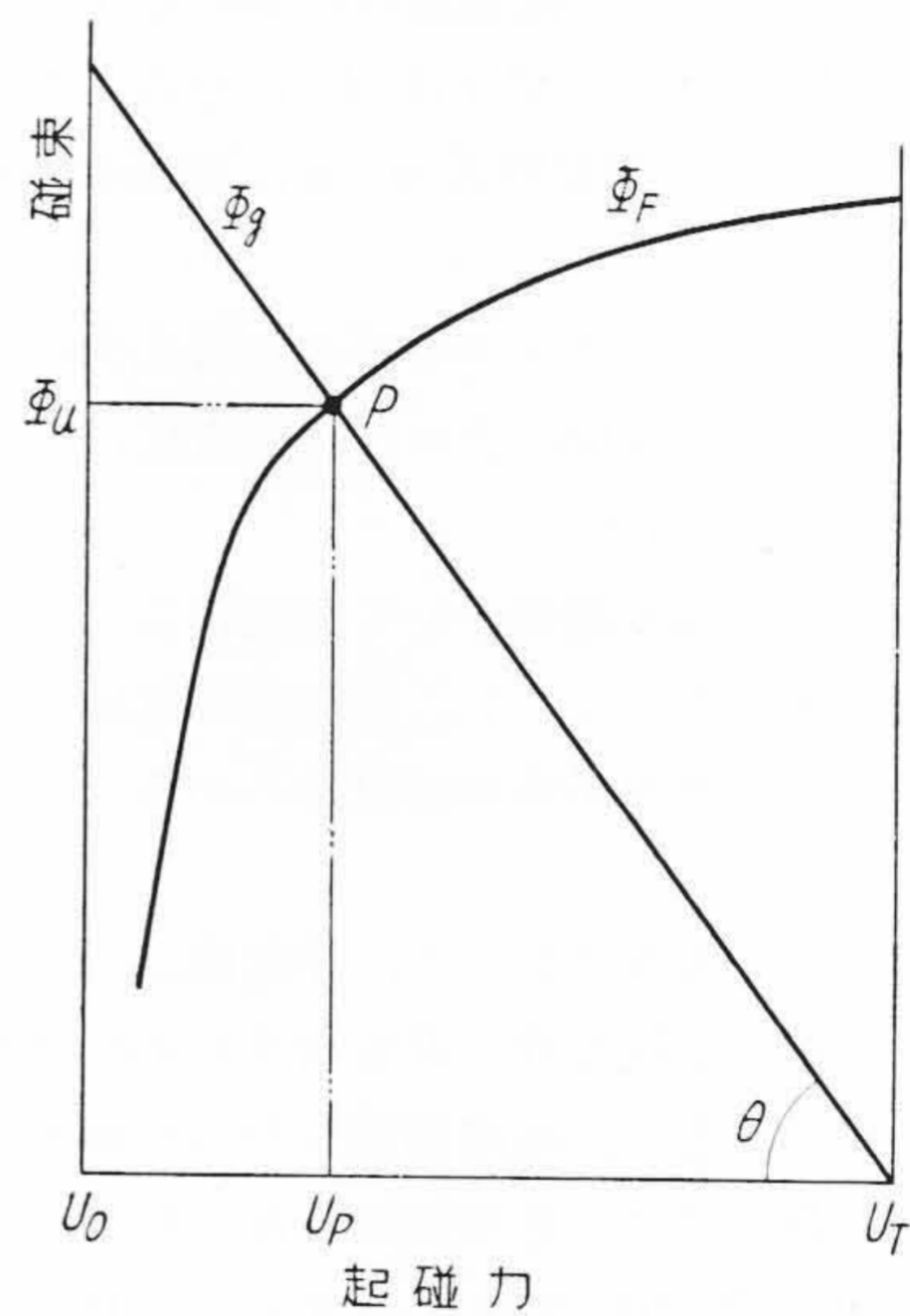
4.2 整磁鋼挿入時の考察⁽⁵⁾

第 7 図の温度特性より判明するように、整磁鋼で温度補償を行わしむるためには、主磁束回路に挿入することはできず、第 6 図のごとく漏洩回路に入れ、漏洩磁束量を変化せしめるようにしなければならない。

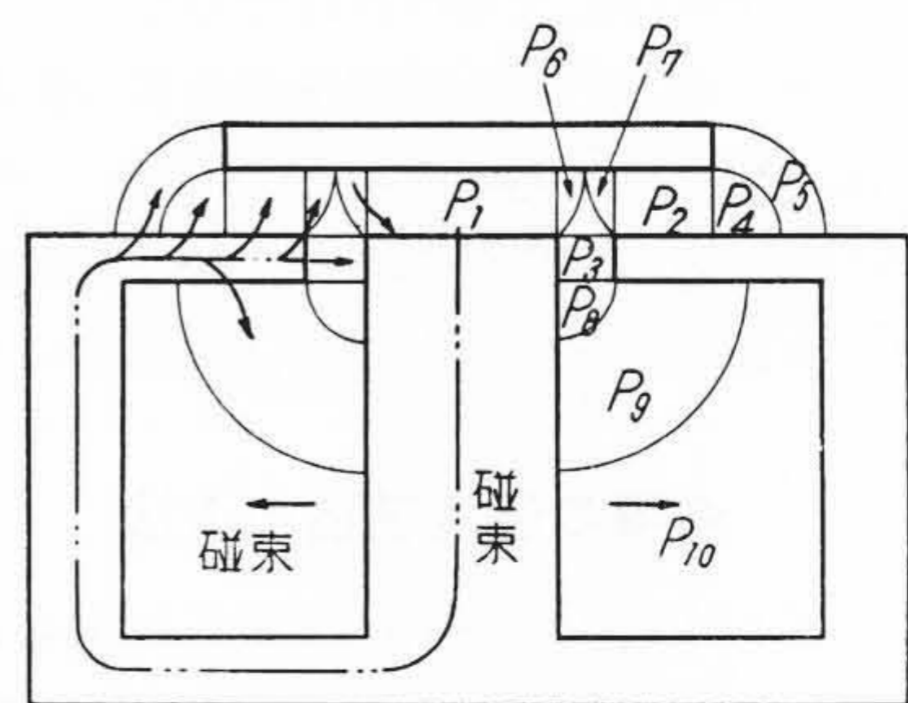
第 6 図において、与えられた起磁力により、必要な吸引



第 9 図 磁界の強さと導磁率の関係



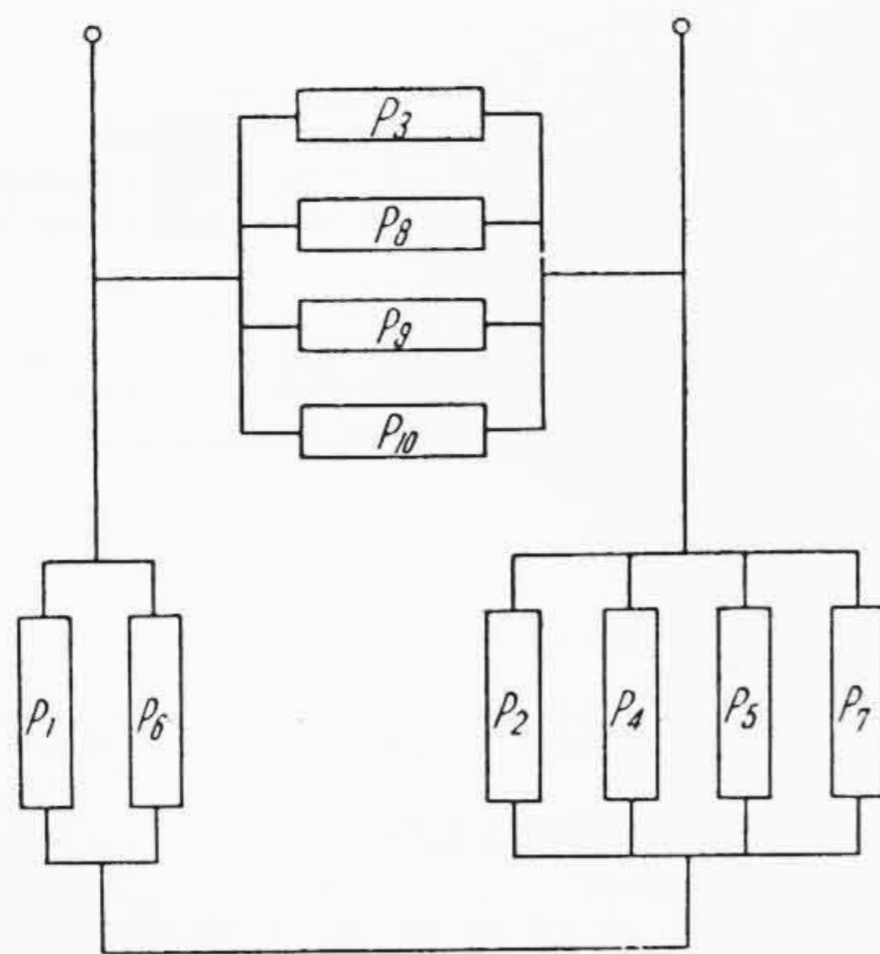
第 10 図 電磁石の動作点



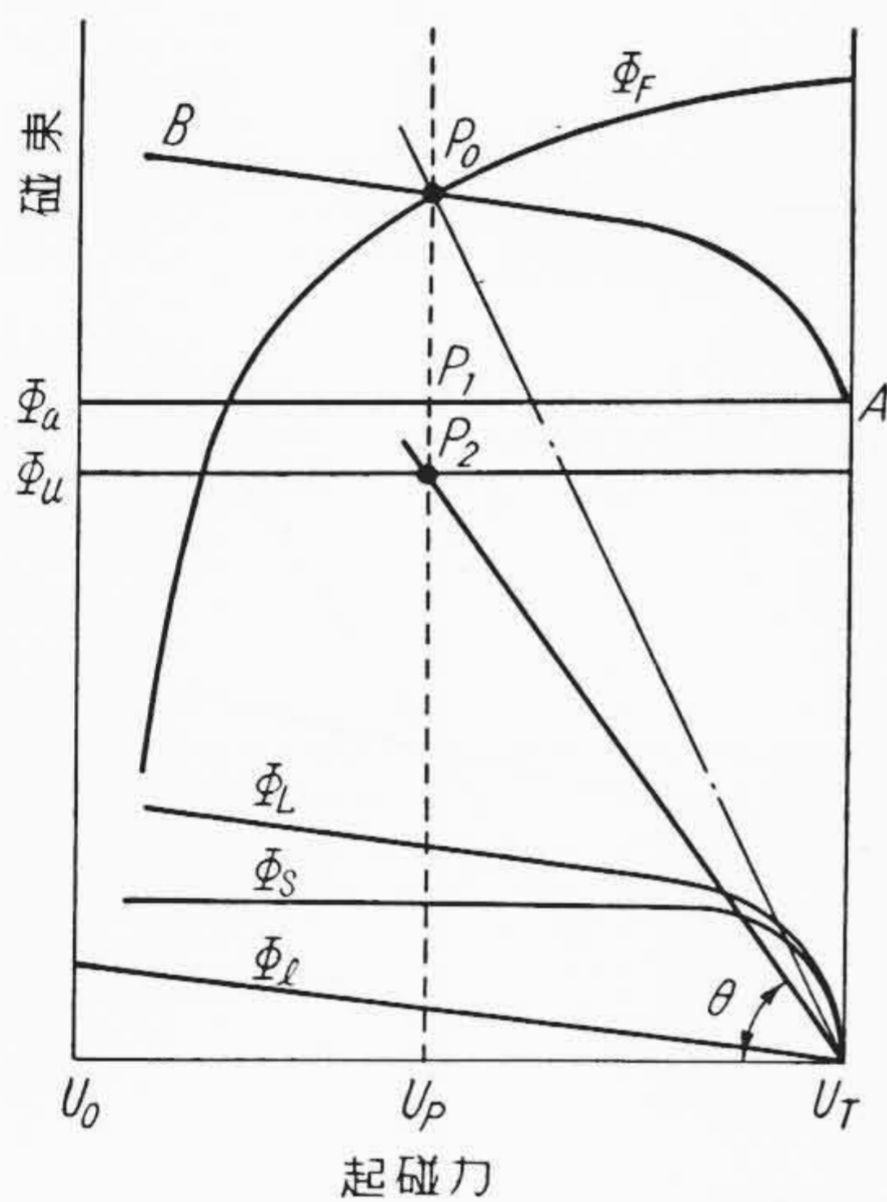
第 11 図 パーミアンスの分布

力を生ぜしめるための磁気回路の状態を考察してみる。

空隙を持った電磁石 (たとえば第 6 図) において、起



第12図 等価回路



第13図 整磁鋼挿入時の磁気回路の状態

磁力，空隙値を与えて吸引力を求めるには，鉄部分のみの磁化特性 Φ_F ，空隙の磁化特性 Φ_g を求め， Φ_F と Φ_g を第10図のごとく図示し，交点 P より動作点を決定し，これより磁束 Φ_u を求めて吸引力を算出する。図中 U_0 ， U_T は与えられた起磁力であり， $U_0 U_P$ は鉄部分に要する起磁力， $U_P U_T$ は空隙に要する起磁力， θ は空隙のパーミアンスを P_u とすれば

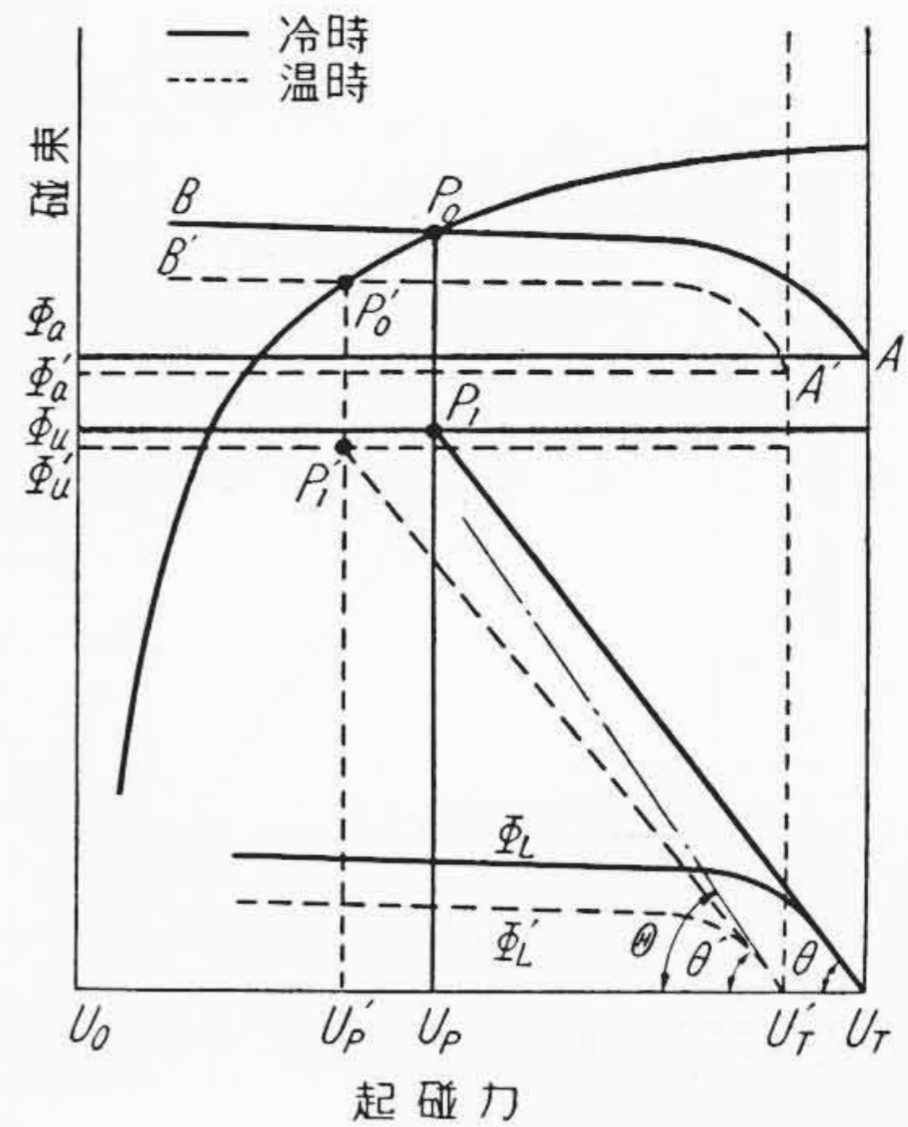
$$\theta = \tan^{-1} P_u \dots\dots\dots (2)$$

また，起磁力を与えて，必要な吸引力を出すための空隙値は，吸引力より Φ_u を算出し， P を求め $P U_T$ と横軸のなす角 θ より求められる。

実際の磁気回路においては，フリッジング，漏洩磁束を含んでいるので，これらを分離して考察してゆく必要がある。

いま電磁石部の各磁路を簡単に第11図のごとく仮定すると，この等価回路は第12図のようになる。

したがって有効空隙パーミアンス P_u は



第14図 常温時，熱時の磁気回路

$$P_u = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} \dots\dots\dots (3)$$

可動鉄心，継鉄間の全パーミアンスは

$$P_a = \frac{(P_1 + P_6)(P_2 + P_4 + P_5 + P_7)}{P_1 + P_2 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7} \dots\dots\dots (4)$$

漏洩パーミアンスは

$$P_L = P_3 + P_8 + P_9 + P_{10} \dots\dots\dots (5)$$

ここに $P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 P_8 P_9 P_{10}$ は第11図の各磁路のパーミアンスとする。

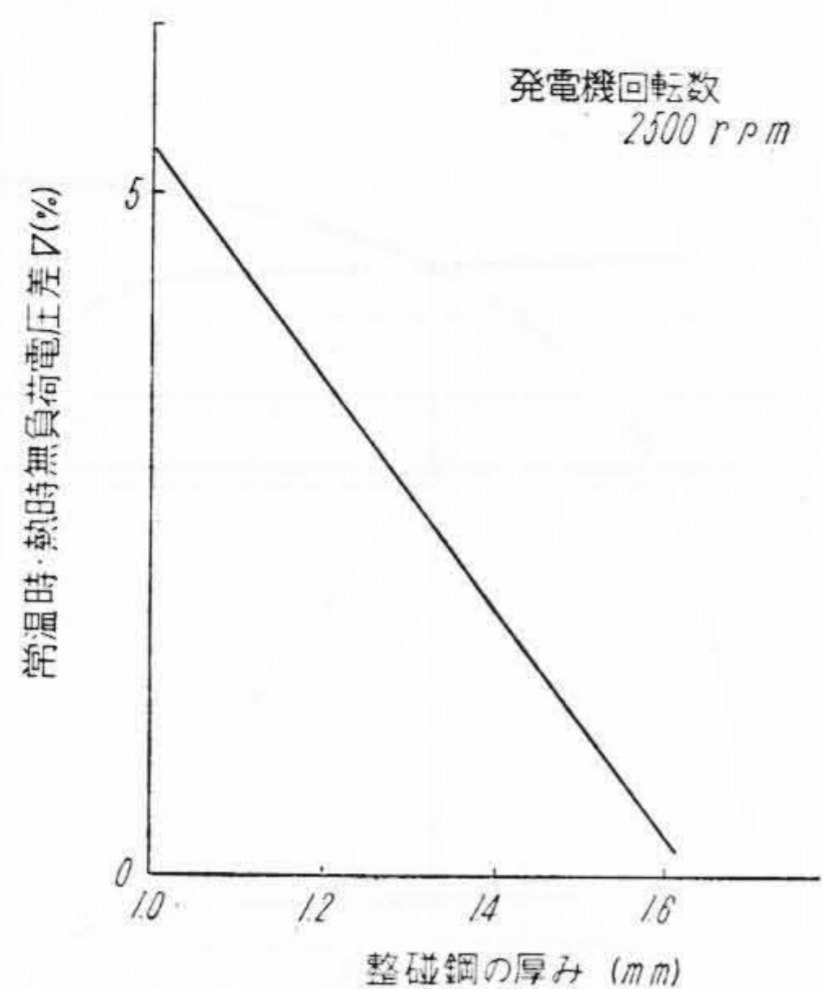
第13図において， Φ_F は磁束調整ネジ，可動鉄心，継鉄などの鉄部分に流れる磁束と起磁力の関係を示す。 Φ_l は整磁鋼を除いた漏洩回路 P_8, P_9, P_{10} に流れる磁束と起磁力の関係， Φ_s は整磁鋼に流れる磁束と起磁力の関係を示す。 Φ_L を全漏洩磁束とすれば

$$\Phi_L = \Phi_s + \Phi_l \dots\dots\dots (6)$$

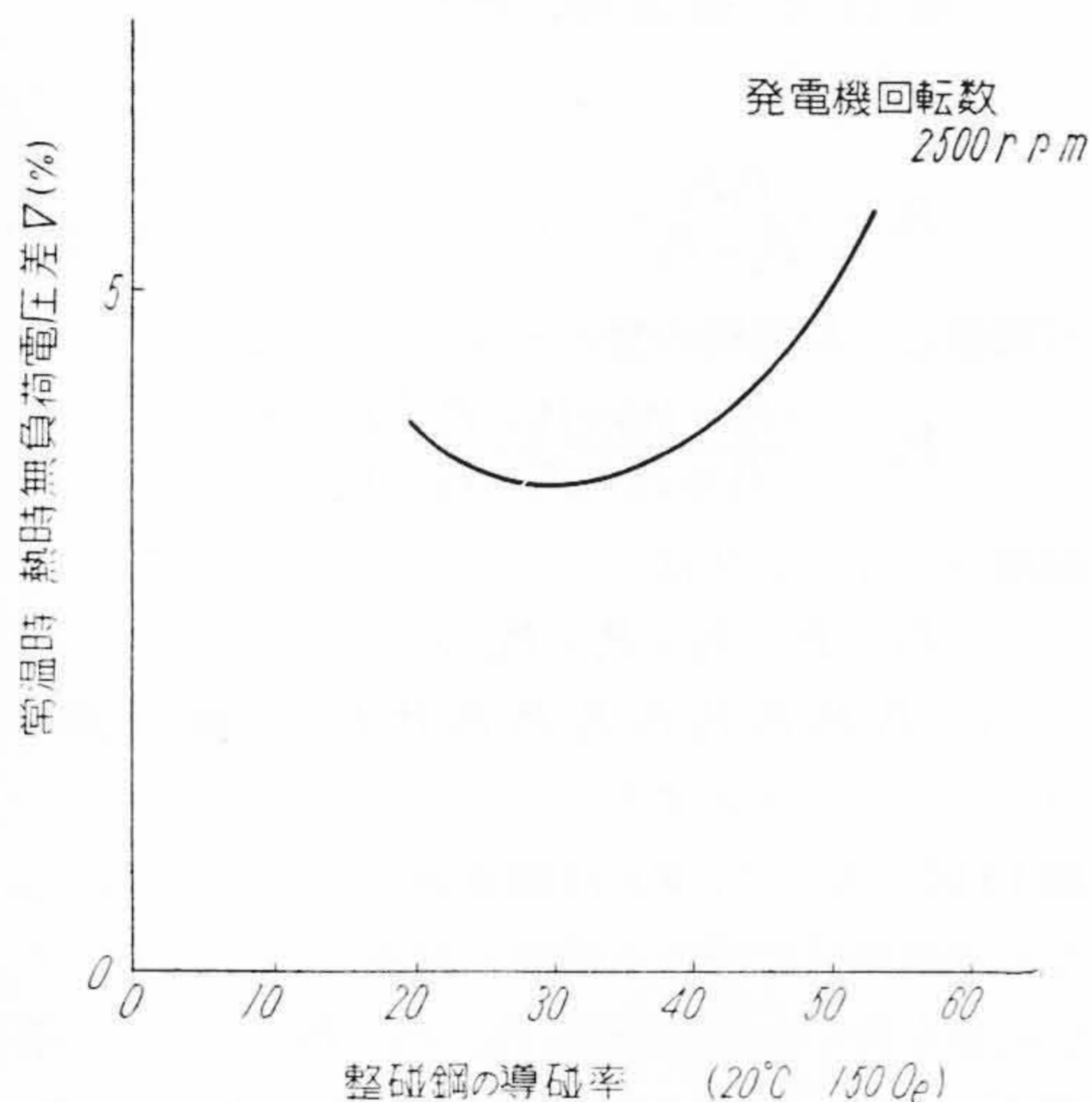
いま $U_0 U_T$ をマグネットコイルの起磁力， Φ_u を必要な吸引力を生ぜしめるための有効磁束， Φ_a は(4)式に相当した，継鉄，磁束調整ネジと可動鉄心の間に流れるフリッジングを含めた磁束とする。

$U_0 U_T$ により Φ_u を生ぜしめるための必要な磁気回路の状態は次のようにして求められる。すなわち， $\frac{\Phi_a}{\Phi_u}$ は空隙が大きく変動しないときには，ほぼ一定であるので， Φ_u に対して Φ_a を求め， Φ_a を基準として，曲線 AB を Φ_L に等しくとり， Φ_F との交点を P_0 とすると，この点が所要の点となる。 $P_0 U_T$ が空隙の磁化特性を示し， $P_0 P_1$ は漏洩磁束， $P_1 P_2$ はフリッジングの磁束， $P_2 U_P$ は Φ_u に相当する。 $U_0 U_P$ は鉄の部分に要する起磁力， $U_P U_T$ は，漏洩回路を含めた空隙に要する起磁力である。 θ より， Φ_u を生ぜしめるために必要な空隙パーミアンス，換言すれば空隙が算出する。

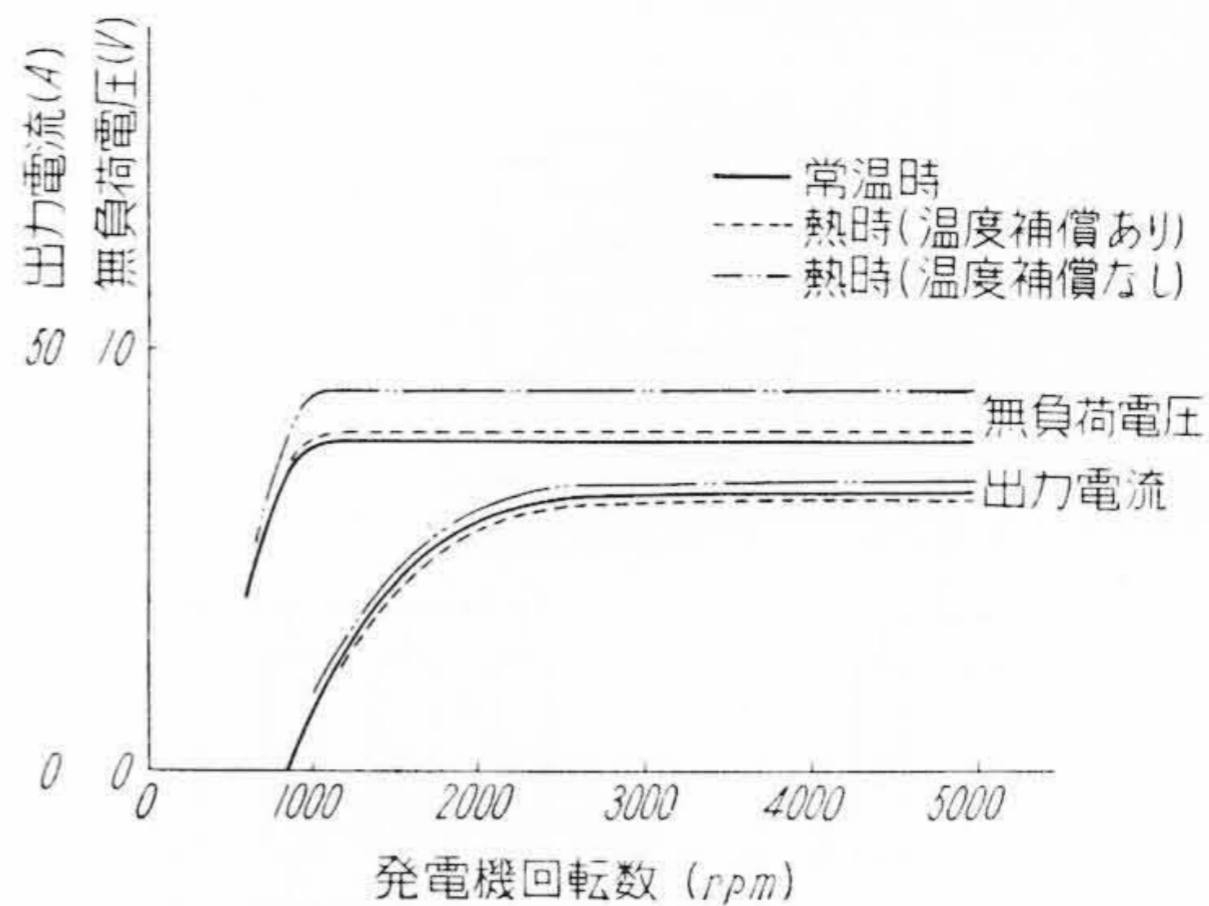
第14図は，整磁鋼を入れた場合の常温時，熱時の磁



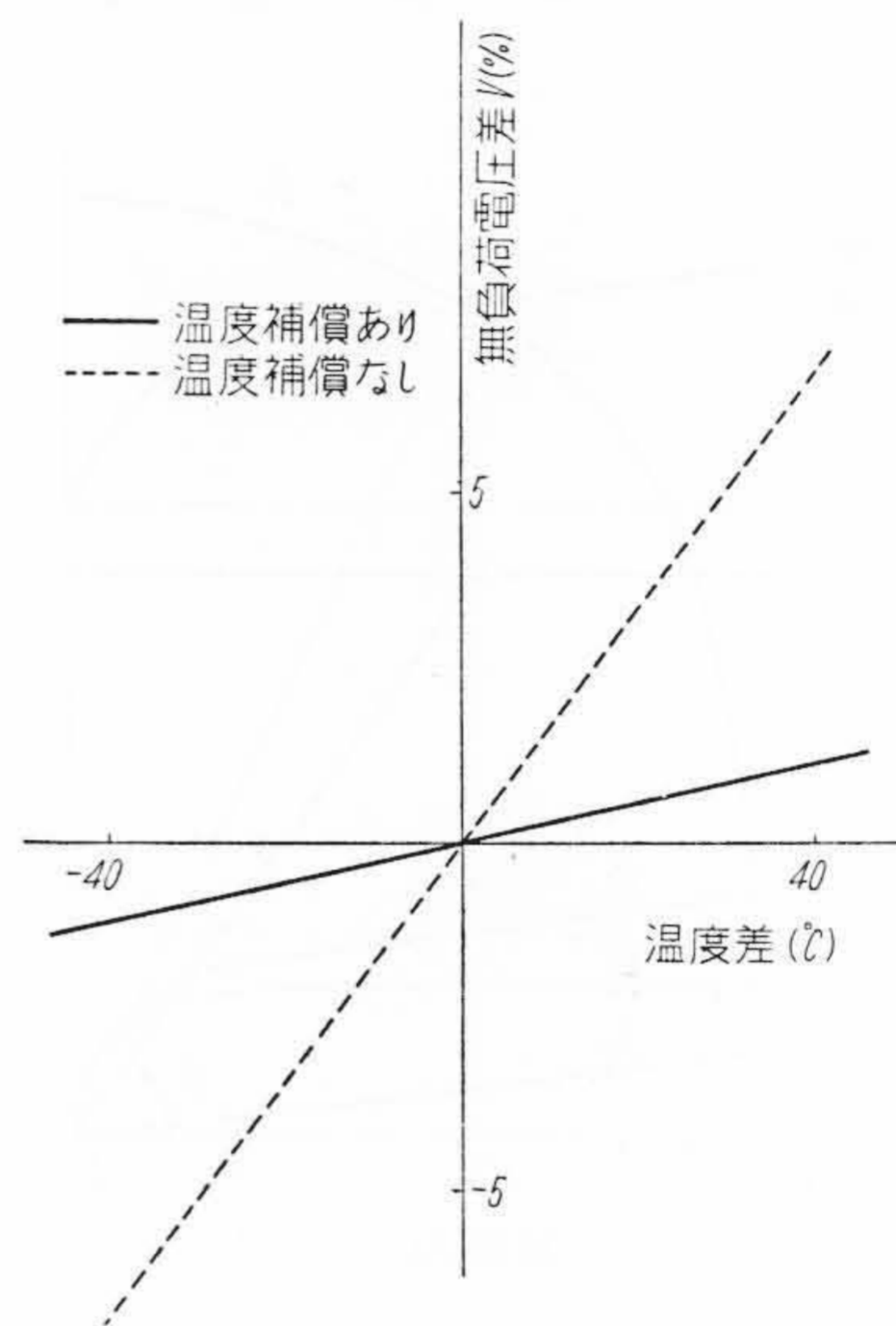
第 15 図 整磁鋼の厚みの変化による温度補償の状態



第 16 図 導磁率の変化による温度補償の状態



第 17 図 充電発電機 の 速度 特性



第 18 図 周 囲 温 度 の 影 響

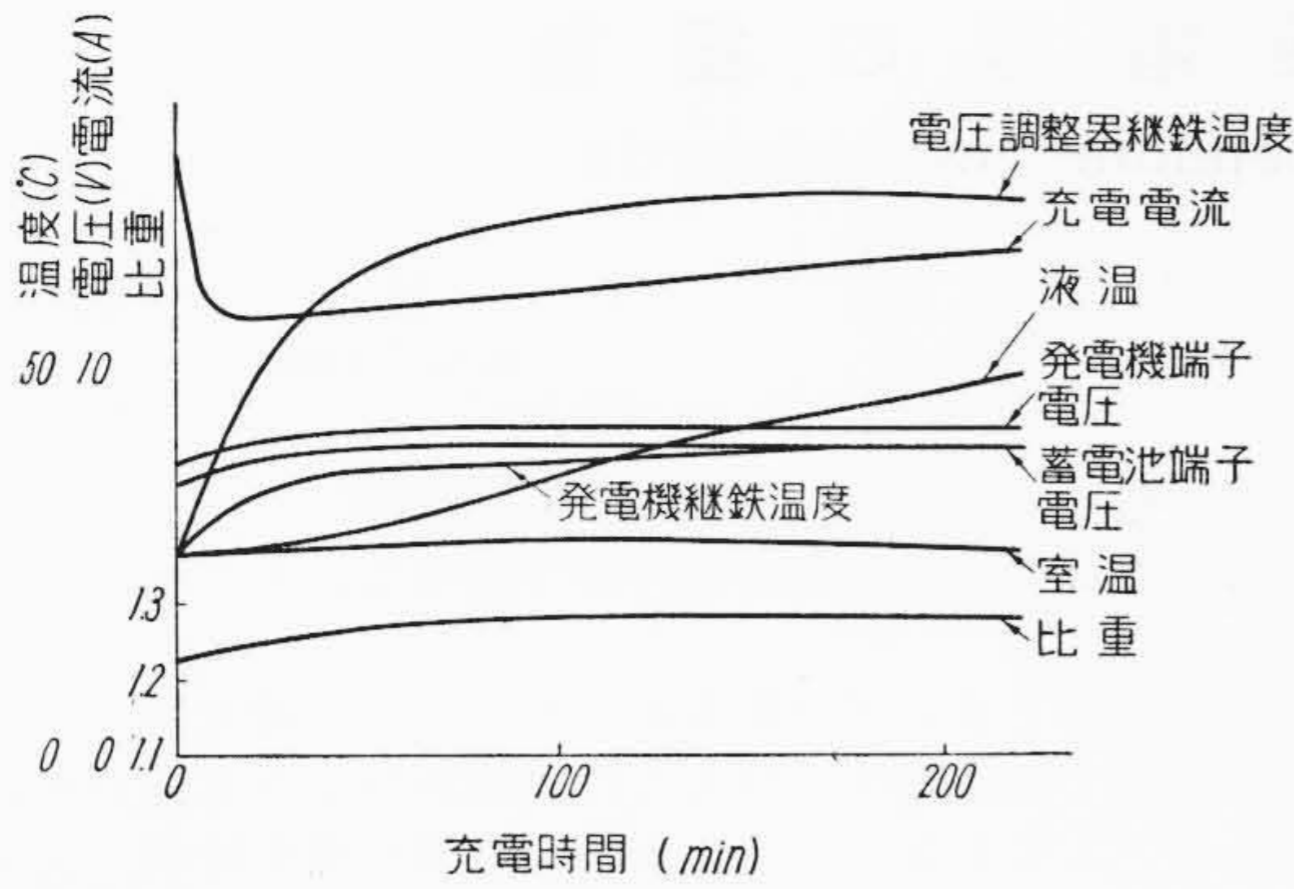
気回路の状態を示したものである。 $U_0 U_T$, $U_0 U_T'$ は常温時, 熱時に規定された電圧によつて生ずる起磁力, Φ_L Φ_L' は整磁鋼に流れる磁束を含めた全漏洩磁束を示す。 Φ_L' は熱時における整磁鋼の導磁率の減少によつて Φ_L より少なくなる。 $\Phi_u \Phi_u'$ は常温時, 熱時において電圧を規定値に入れるために必要な磁束とする。

いま, 第 13 図と同様にして P_1 , P_1' を決定し θ , θ' を求めると, この値は常温時, 熱時に規定電圧で生ずる起磁力によつて, 必要な吸引力を生ぜしめる空隙に関する値となる。

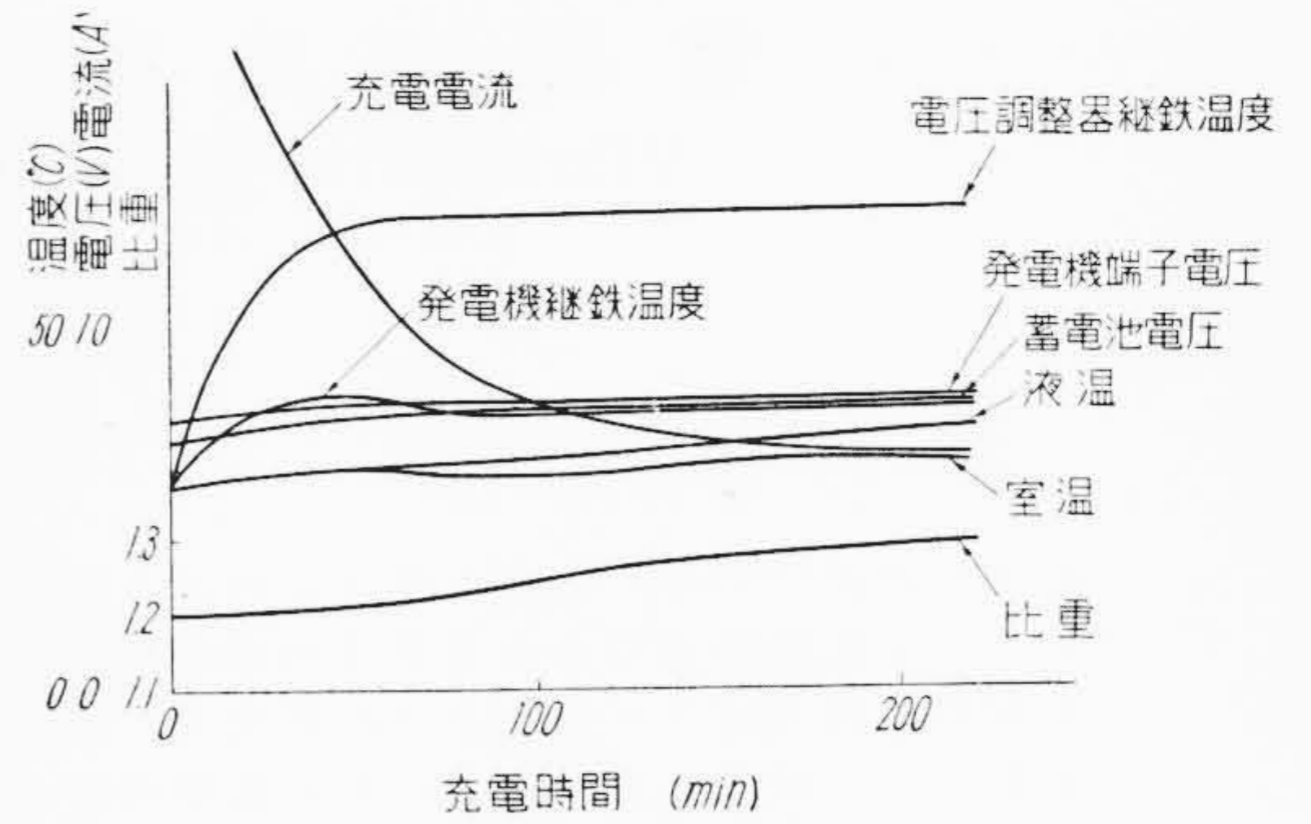
2. 章に述べたごとく, 温度補償を行うために常温時, 熱時の起磁力, 吸引力, ならびに空隙の間には一定の関係が成立する。したがつて, 第 14 図において θ が与えられた場合, θ' は θ に対し一定の値を取らねばならない。たとえば, 熱時温度補償に必要な値を θ とすれば, $\theta > \theta'$ の時は, 熱時における必要な値よりもさらに空隙を大き

くして, つまり吸引力を弱めて初めて所要の有効磁束が生じ, 電圧は規定値に入ることになる。したがつて, 空隙を変化しない場合には, 電圧は目標値より減少することが考えられる。逆に $\theta < \theta'$ の時は, 電圧は上昇する。

いま, 挿入する整磁鋼の磁気特性を同一にして, 厚みのみを変えた場合, 厚みを増すに従つて, 温度による漏洩磁束の変化が増大し, $\theta > \theta'$ となり, 熱時電圧が降下するようになる。第 15 図は, この実験結果の一例である。また整磁鋼の厚みを一定にして, 導磁率を変化した場合, 第 16 図のごとく, ある導磁率において, 常温時, 熱時の電圧差が最低値を示す。これは, 整磁鋼においては導磁率に対し温度係数がある点において最大値をとり, 導磁率の高い整磁鋼を選択しても, 温度係数が低いため, 結局漏洩磁束の温度による変化量が減少し, その結果, 導磁率の変化に対し, 最低値を示すものと考えられる。



第19図 充電特性 (温度補償なし)



第20図 充電特性 (温度補償あり)

第1表 温度補償の寿命試験結果

	時間 (h)	無負荷電圧 2,500 rpm			出力電流 2,000 rpm			室温 (°C)
		常温時 (V)	熱時 (V)	差 (V)	常温時 (A)	熱時 (A)	差 (A)	
寿命試験前	0	7.87	8.1	0.23	28.5	27.5	-1.0	17
寿命試験後	1,000	7.87	8.1	0.23	28.1	26.9	-1.2	12

5. 各種の実験結果

自動車用充電発電機においては、温度補償の状態は、常温時、ならびに熱時の蓄電池の充電電流と、出力の両者から決定される。通常、無負荷電圧は常温時に比し多少熱時高くとり、出力の熱時における低下を防止する。

6V系充電発電機に対する実験結果の一例を示すと次のようである。

5.1 速度特性

充電発電機の速度特性曲線を示すと、第17図のようになる。図中、鎖線は温度補償を行わない場合の特性を示したものである。

5.2 周囲温度の特性に及ぼす影響

常温より周囲温度を変化せしめた場合、定格回転数における無負荷電圧の変化を示すと第18図のようになる。温度補償によつて周囲温度の変化による特性の変動は、大幅に改善されていることが判明する。この場合、温度補償の目標を前述のように、無負荷電圧が熱時高くなるようにしたのであるが、出力の低下を考慮しない時には、周囲温度の影響はもつと減少せしめることは可能である。

5.3 充電特性

第17図より判明するように、温度補償を行わないとき、通常、無負荷電圧、出力は熱時増大する。温度補償による大きな利点は、ランプならびに機器の寿命のほか、軽負荷の場合の蓄電池の充電電流改善があげられる。第19図は温度補償のない場合、第20図は温度補償を行つたときの蓄電池の時間に対する充電状態を示したものである。この場合、差異を明瞭にするために、特に容量の小さい蓄電池を使用した。

温度補償を行つた場合には、蓄電池の充電特性は、温度補償を行わない場合に比し、だいぶ改善されていることが判明する。

5.4 寿命試験

温度補償の状態は、周囲温度の変化のみならず、寿命に対しても均一な状態をいつまでも保持しなければならない。第1表は、全負荷で1,000時間連続運転した前後の状態を示したもので、特性、温度補償は均一の状態を保持していることが判明する。

6. 結 言

カーボンパイル式電圧調整器の温度補償について、図式解法を利用した解析と、温度補償を行つた電圧調整器の使用面よりみた諸特性について記述してきたが、結論として次の事項をあげたい。

カーボンパイル式電圧調整器の温度補償は、バイメタルの温度による変位を利用する方法と整磁鋼を利用し、漏洩磁束の量を変化せしめる方法によつて可能であるが、量産性を考慮した場合は後者の方がよい。これらの温度補償によつて、軽負荷の場合の蓄電池の充電電流、周囲温度、ならびに機器の発熱による電圧変動は改善され得る。

以上カーボンパイル式電圧調整器の温度補償について記述してきたが、終りに終始御指導を賜つた日立製作所日立研究所、ならびに多賀工場関係者各位に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 久米：日立評論 34, 688 (昭27)
- (2) 林：炭素 2, 191
- (3) 村川：強磁性材料 262 (昭19 工業図書 K.K.)
- (4) 友田、斎藤：科学測器 2, 179 (昭17)
- (5) H. C. Rotor: Electro magnetic Devices (1941)