

日立標準形自動車用充電発電機

Hitachi Standard Charging Generator for Automobile

乾 知 次*
Tomoji Inui

内 容 梗 概

自動車用充電発電機は一種の直流分巻発電機である。これを小形化し、標準化するために行った若干の考察結果を述べる。小形化に伴って性能および寿命の両面からの検討が必要となるが、性能に関しては限界出力電流の動向を図式的に調べる方法を取り、寿命に関しては温度上昇、振動、刷子摩耗の各面から考察した。標準化に当って現在三、四輪車に使用されている充電発電機を調査し、これらに広く使用できる標準形を設定した結果、生産性を著しく高めることができた。現在好評を得て使用されている日立標準形自動車用充電発電機は以上の結論に基づき計画完成されたものである。

1. 緒 言

最近わが国の自動車技術は著しく進歩し、国産車が外国車に劣らぬ性能を発揮することが国際的にも認められるようになってきた。わが国の自動車産業においては自動車メーカーに対して部品メーカーの演ずる役割がきわめて重要であることはいままでもないが、特に自動車技術の今後の発展のためには各部品メーカーが研究を重ね、すぐれた性能の部品を完成して自動車メーカーの要求に積極的に協力する必要がある。もちろんエンジンの作動を良好にするには電装品が優秀な特性を持たねばならないが、とりわけ充電発電機はこの中心となるので高性能でしかも寿命の長いことが必要である。この条件を満足させるために日立製作所においては自動車用充電発電機をカーボンパイル式電圧調整器で制御する方式を完成しすでに広く好評を得ている⁽¹⁾⁽²⁾。

自動車用エンジンの進歩が主として小形軽量で高出力をうる方向に向けられつつあるのは近年の一般的な傾向であり、またいわゆる国民車においてこの傾向がますます助長されることは明らかである。日立製作所においては自動車用充電発電機（以下充電発電機と称する）を小形軽量化するために種々の研究を重ね、すでに相当の成果をうることができた。一方これの生産性を高め低れんな価格で大量に供給するために標準化についても常に検討している。すでに各車種に広汎に採用されている日立標準形充電発電機は、以上の考察に基づき生産された汎用充電発電機の小形化製品である。ここにその一端を紹介して参考に供する次第である。

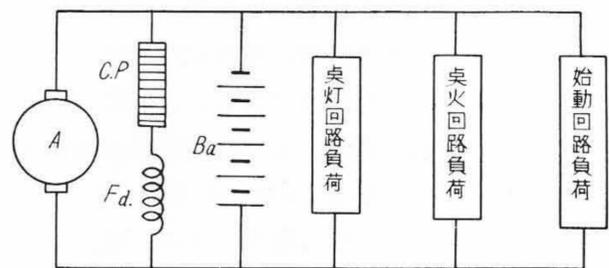
2. 従来の充電発電機

自動車における電力系統は一般に第1図のような構成を有する。ここで全電力は充電発電機から供給され、蓄電池の充電と、点灯、点火、始動回路の各負荷に使用される。

充電発電機は第2図に示すようにエンジンによって駆動される直流分巻発電機であるが実際にはエンジンの回転数は常に大幅に変動して一定しないので第3図に示すようにもっぱら電圧調整器と組合わせて用いられる。

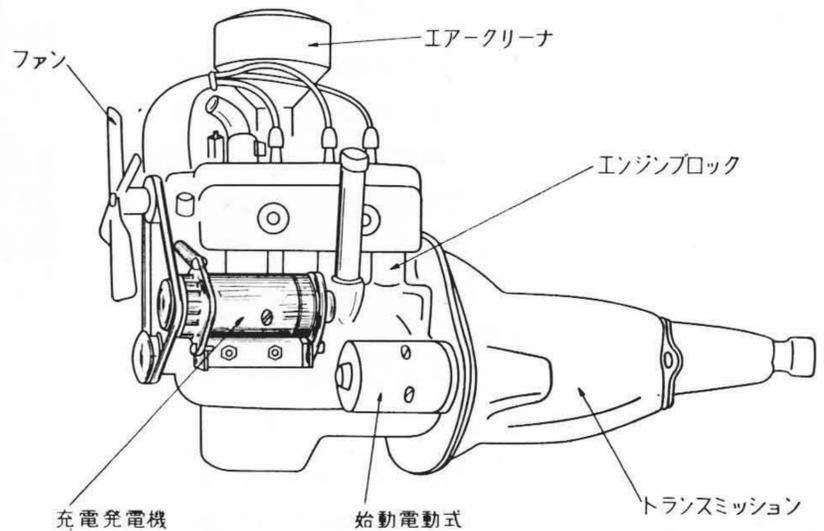
一般直流発電機に対し、自動車用充電発電機の特長性を列挙すれば次のようである。

- (1) 電圧は組合わせ蓄電池に対応して定められ6~24Vの低電圧であり、使用回転数はエンジン回転数に比例して0~8,000 rpmの範囲を変動する。一般に補極や補償巻線は付けない。
- (2) 昼間と夜間、蓄電池の充電状況によって負荷がはなはだしく変動する。なお効率はあまり問題としない。



発電系統 負荷系統
A: 充電発電機電機子 F.d.: 充電発電機界磁線輪
C.P.: カーボンパイル Ba: 負荷蓄電池

第1図 自動車の電力系統



第2図 充電発電機の取付状況

(3) エンジンに近接して取付けられるので周囲温度が高く、またエンジンの振動を直接受ける。じんあいの多いところで使用される。

(4) 多量生産品として生産しやすく、価格も低れんでなければならない。

このように特殊な直流機である充電発電機に関して日立製作所においては従来次の二つの面から改良を企ててきた。すなわち

- (1) 設計および生産技術の向上と新しい材料の採用によって充電発電機を小形軽量化すること。
- (2) 各車種によって異なる充電発電機を標準化して統一し少機種多量生産とすることにより生産性を高めること。

である。以下まず小形軽量化について述べ、次に標準化について概説する。

3. 充電発電機の小形化

充電発電機は大部分が閉鎖自己通風形でその構造の一例は第4図

* 日立製作所多賀工場

のようである。V形ベルトを介してエンジンによって駆動されるが、この駆動用プーリに付属している輻流ファンにより図に示したような気流ができて冷却効果が得られる。

充電発電機の小型軽量化に当って、まず従来の充電発電機の傾向を検討すると次のようである。

従来の充電発電機にはエンジンへの装着方法により第5図のA形とB形とがあるが、寸法は外径により大別して第1表の6種類に分けられる。充電発電機が三、四輪車のエンジンに装着されると、第5図のL方向には余裕があるが、D方向には余裕がない場合が多くしたがって同一出力で小型軽量化を目的とするには第1表において通常LよりもDを減少して行く方針をとっている。次に各種充電発電機の体積と出力との間の関係を見ると第6図のようである。すなわち小型化によって完成する新しい充電発電機はこの図で点線で示した系列を作り出すことになる。

充電発電機の小型化には、小型化に伴う特性の低下、寿命の低下の対策を計らなければならない。以下小型化に伴う諸問題とその対策を性能および寿命の点から考察する。

3.1 小型化と充電性能

3.1.1 充電発電機の定格回転数

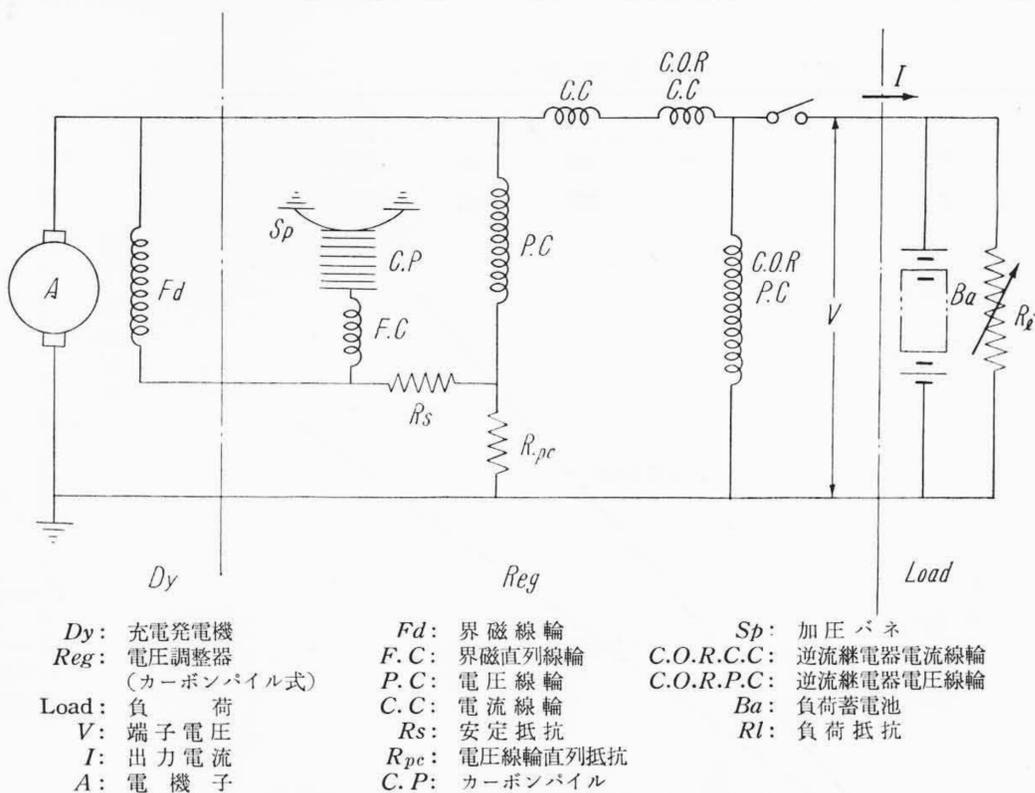
自動車の車速とエンジン回転数との関係はもちろん減速比により異なるがトップギヤの場合を例にとれば第7図のように直線関係にあり、また充電発電機回転数も同図に示すようにやはり直線関係にある。充電発電機はこのように広い回転数範囲で使用されるので第3図のように電圧調整器と組合わせて使用しその発生電圧をほぼ一定に保つが、回転数と無負荷端子電圧、および出力電流の関係を図示すると第8図のようである。ただしここで出力電流は出力端子電圧を一定値たとえば6V式では7V、12V式では13Vに保った場合の値を示す。自動車を実際に使用している場合のエンジン回転数の分布の一例は第9図のようでありこれに対応する充電発電機の発生電力量が、その間の負荷の消費電力量を上回ることが基本となるが一般にはエンジンの使用ひん度の一番大きい回転数(第9図では約2,000rpm)にプーリ比(エンジンクランクプーリ径 ÷ 充電発電機プーリ径) × エンジン回転数 ÷ 充電発電機プーリ径を掛けた値を充電発電機の定格回転数としてその回転数における出力電流が負荷の全消費電力をまかなえるように設計するのが普通である。すなわち充電発電機の出力電流はもっぱら定格回転数における出力を問題にすることになる。

3.1.2 限界出力電流

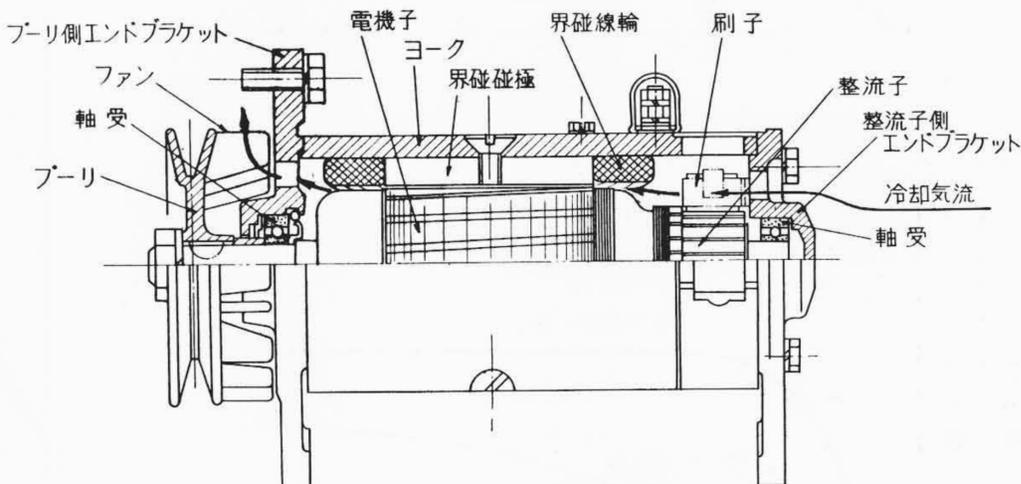
充電発電機を小型化する場合に前述のプーリ比を大きくして定格回転数を高くすることがまず考えられるが、この場合はエンジンの最高回転数に対する充電発電機の回転数が著しく高くなって整流などに困難を生ずるのでこれに対しては後述するような考慮が必要である。したがってここでは定格回転数は一応一定として考察を行うことにする。

定格回転数における出力電流は充電発電機の温度上昇によって低下するので電圧調整器内に補償装置を組込んでこれを補償するが、その場合にも発生熱損失と放熱との熱的な平衡によって決定される限界出力電流があり、それ以上の出力電流をうることはできない。この限界出力電流は次のようにして求められる。

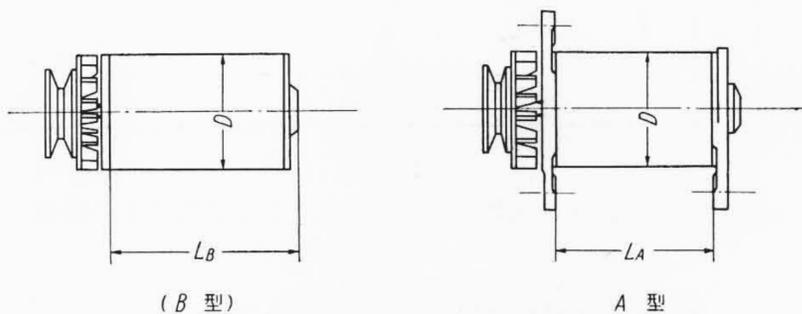
第3図の回路においては(1)式が成立する。



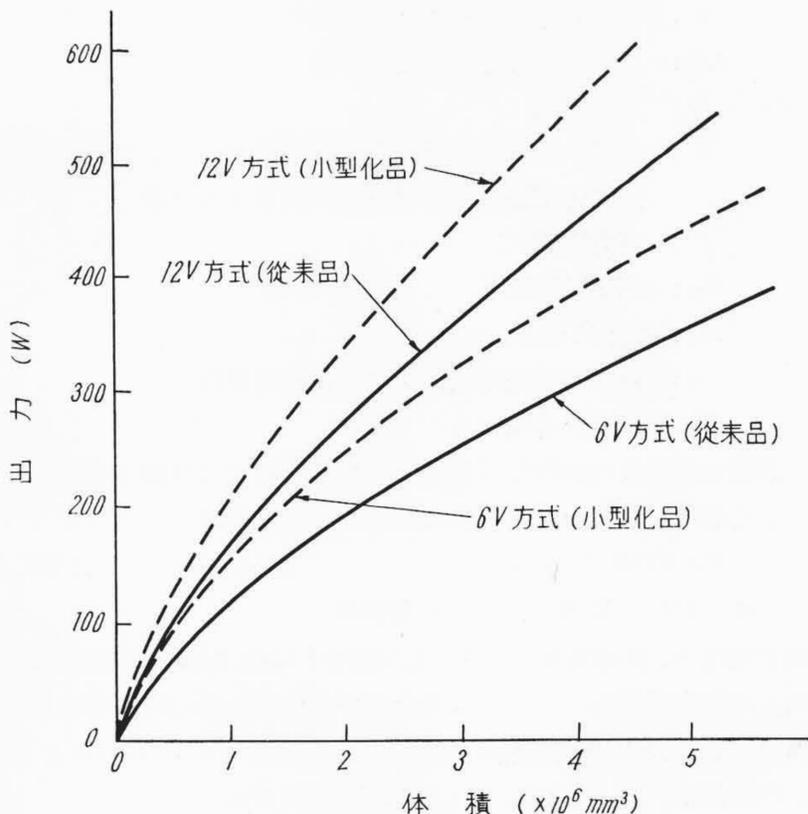
第3図 充電発電機の使用回路



第4図 充電発電機の構造



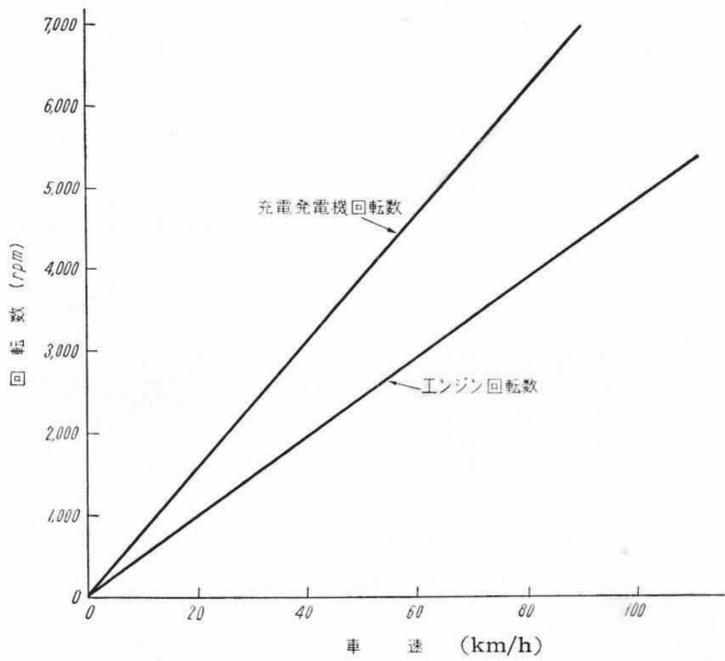
第5図 充電発電機の形状



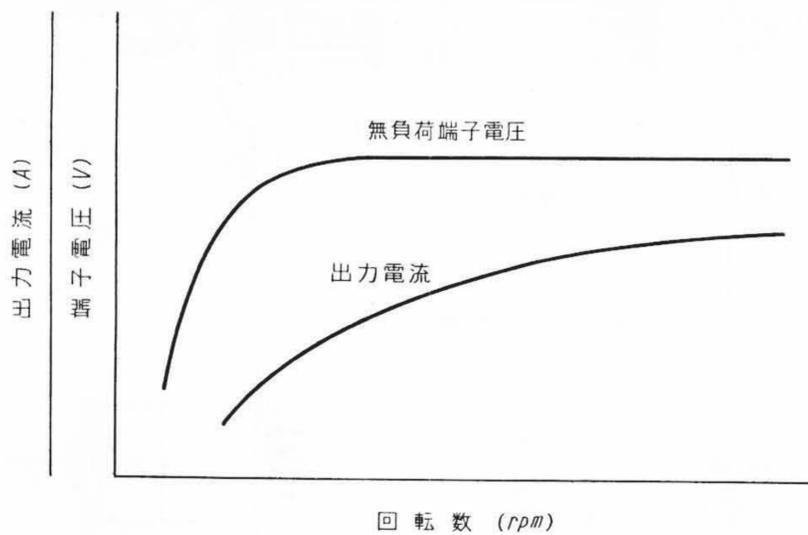
第6図 体積と出力の関係

第 1 表 充電発電機の寸法

D	90	100	113	125	150	165
L _A (最大)	140	150	160	205	260	280
L _B (最大)	170	170	200	235	270	270



第 7 図 車速と回転数



第 8 図 回転数と無負荷端子電圧および出力電流との関係

$$V = n\{a + b(I_f - kI)\} - V_B - IR_a(1 + \alpha T) \dots\dots\dots (1)$$

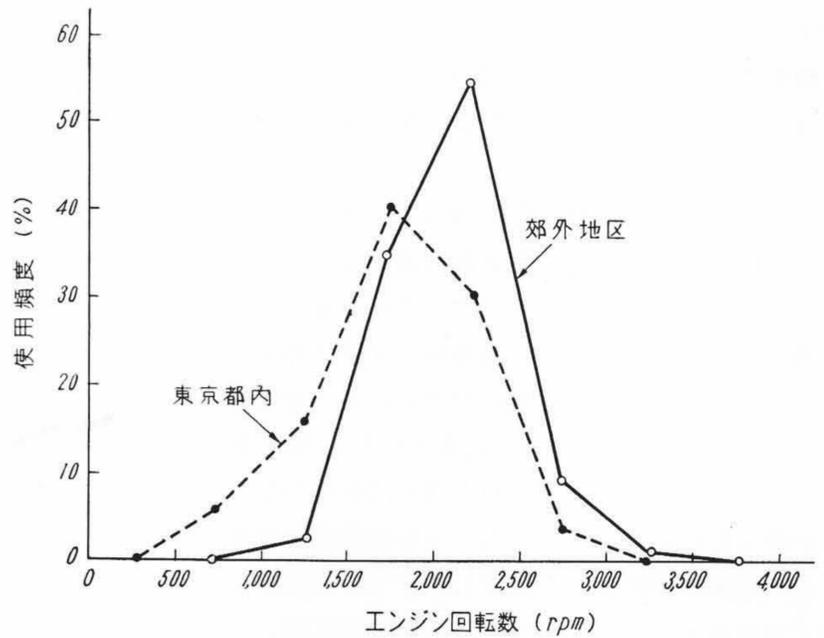
- ここに V : 出力端子電圧
- n : 充電発電機の定格回転数
- a, b : 発電機によって定まる常数
- I_f : 界磁電流
- k : 電機子反作用が出力電流に比例するとして電機子電流による減磁を界磁電流に換算する係数
- I : 出力電流
- V_B : 刷子電圧降下
- R_a : 電機子抵抗
- α : 電機子巻線用軟銅線の抵抗温度係数
- T : 温度上昇値

一方発生熱損失の約70%が電機子銅損であるので電機子のみに着目してその放熱量が温度上昇に比例するとすれば

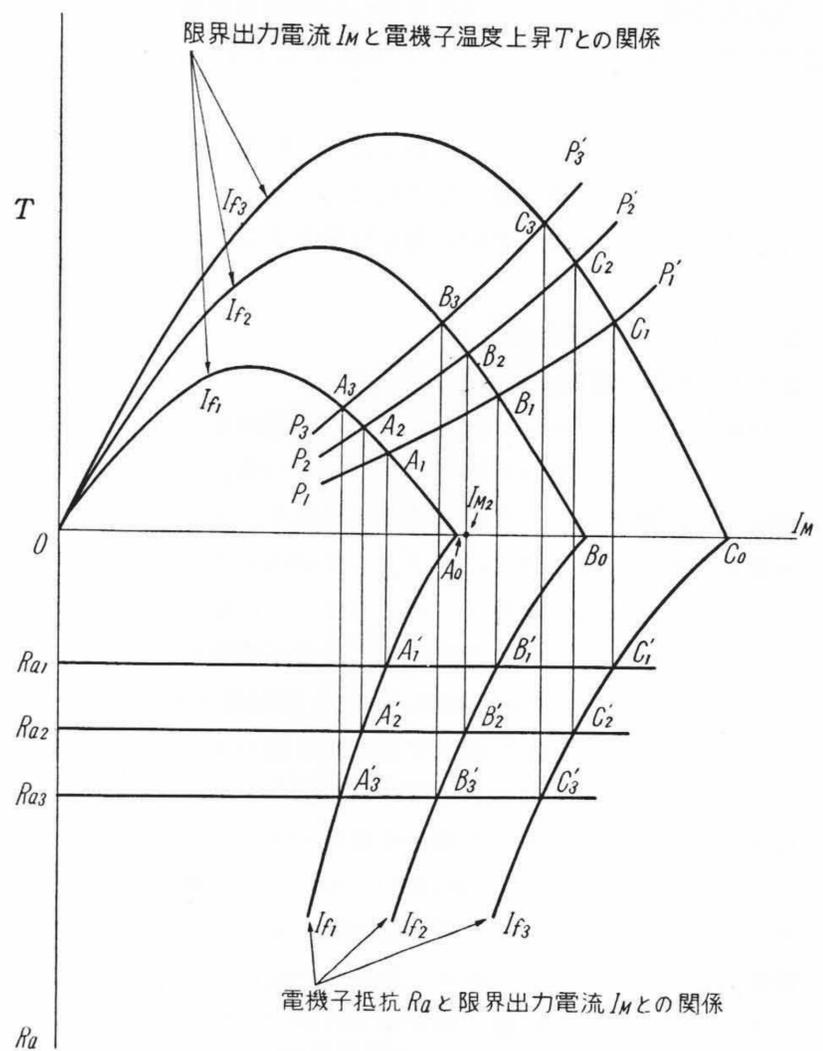
$$T = KI^2 R_a(1 + \alpha T) \dots\dots\dots (2)$$

ここに $1/K$: 電機子からの放熱係数
 端子電圧 V , 界磁電流 I_f が一定の場合(1), (2)式を満足する値以上の出力電流をうることはできない。すなわち(1), (2)式を満足する出力電流が限界出力電流 I_M である。 I_M と T , I_M と R_a との関係は(1), (2)式から(3), (4)式になる。

$$T = KI_M^2 \{na + nb(I_f - kI_M) - V - V_B\} \dots\dots\dots (3)$$



第 9 図 エンジン回転数とその使用ひん度



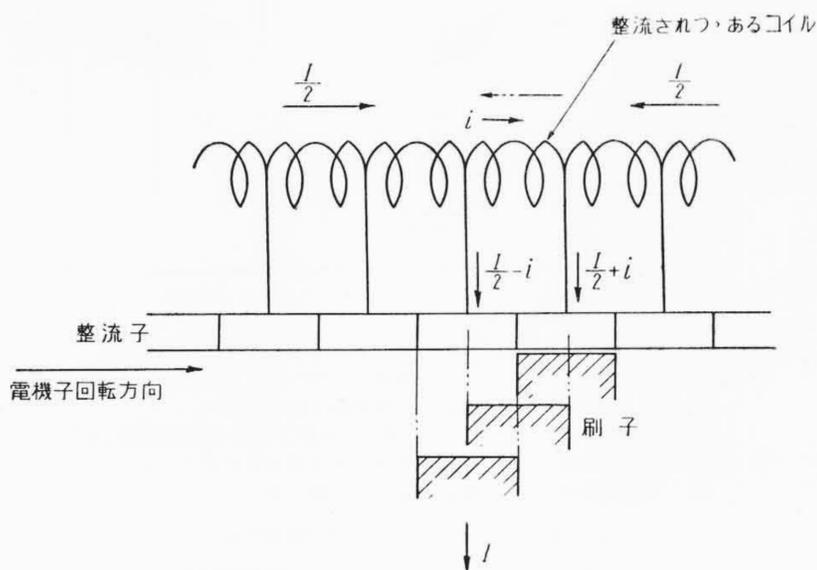
第 10 図 電機子温度上昇, 限界出力電流および電機子抵抗の関係

$$R_a = \frac{na + nb(I_f - kI_M) - V - V_B}{I_M[1 + \alpha KI_M \{na + nb(I_f - kI_M) - V - V_B\}]} \dots\dots (4)$$

これらを図示すると第 10 図のようになる。まず(3)式の I_M と T との関係は第 10 図の上半部で示される。 I_f を一定に保った場合 I_M が 0 の時は電機子温度上昇も 0 であるが R_a を減少させて I_M を次第に増大させると電機子温度上昇 T は増大する。しかし R_a をさらに減少させて I_M を増加すると今度は電機子反作用の影響が大きくなり一方電機子抵抗降下による発熱は R_a の減少のために低下するので T には極大値が存在し、次には T は減少して $R_a = 0$ となれば T も 0 となる。すなわち I_M と T との関係は原点 0 を通る上方に凸の放物線となる。さらに I_f を I_{f1}, I_{f2}, I_{f3} と増大すると T も I_M も増加するのでこの放物線は右上方に移動する。次にこの I_M と T とに対応する電機子抵抗 R_a について(4)式の R_a と I_M との関係は第 10 図の下半部で示される。 I_f を一定に保った場合 I_M が最大の値をとるのは $R_a = 0$ の理想的な

第2表 走行時のエンジンの振動の加速度

車種	20 km/h	50 km/h
A 車 (ガソリンエンジン)	1~5 g	5~9 g
B 車 (ディーゼルエンジン)	2~8 g	2~10 g



第11図 整流回路説明図

状態でありこのとき曲線は I_M 軸と交差するがこの交点は上半部の放物線と I_M 軸との交点と一致する。 R_a が次第に増大すると I_M は単調に減少し R_a が無限大となると $I_M=0$ となる。 I_f を I_{f1}, I_{f2}, I_{f3} と増加するとこれに対応する I_M は増大し曲線は右下方に移動する。最後に電機子抵抗を一定に保って界磁電流を I_{f1}, I_{f2}, I_{f3} と変化させた場合を考えると電機子温度上昇 T と限界出力電流 I_M との関係はたとえば電機子抵抗 R_{a1} については R_a-I_M 曲線と $R_a=R_{a1}$ (一定)の直線との交点 A_1', B_1', C_1' に対応する放物線上の点 A_1, B_1, C_1 を連ねて P_1P_1' 曲線のように得られる。電機子抵抗を R_{a2}, R_{a3} に保った場合は同様にして P_2P_2' 曲線, P_3P_3' 曲線が得られる。

以上の検討から一般に限界出力電流 I_{M2} の充電発電機出力を増加させる方法は次のいずれかによることになる。

(1) 界磁電流を I_{f2} から I_{f3} に増加させる。これは仕様を第10図の P_2P_2' 曲線上の B_2 点から C_2 点に移すことである。

(2) 電機子抵抗を R_{a2} から R_{a1} に減少させる。これは第10図の I_{f2} 一定の曲線上で B_2 点から B_1 点に移すことである。

実際にこれらの中いずれの方法によるかはその充電発電機の電機子温度上昇により決定されるものであるが、第10図によってその判断を下すことができる。たとえば耐熱性を付与した構造とすれば温度上昇の増大を許容し、上記の中で界磁電流の増加によって出力を増加する方法によることができる。また温度上昇が過大となる恐れがある時は電機子抵抗を減少させる方法をとらねばならない。もちろん充電発電機の仕様の決定は cut and try の方法で逐次最良の設計値を見出すのであるが、小形化を目標とした場合それが電機子の改良によらねばならないか、界磁アンペアターの増加によるのがよいかは第10図から判定することができる。

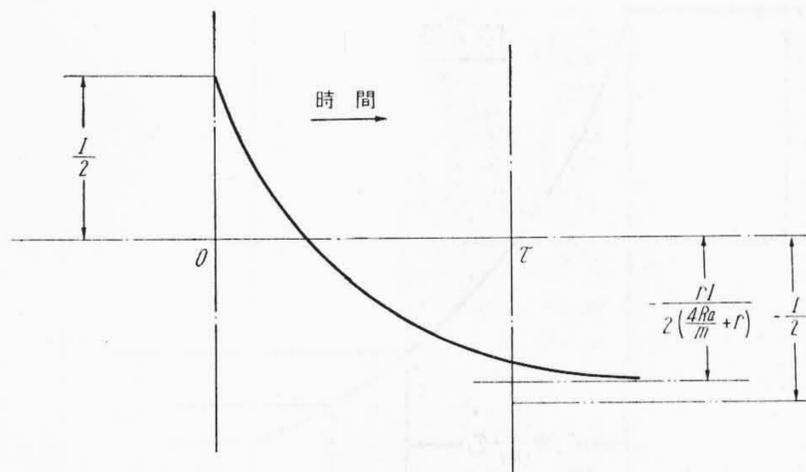
3.2 小形化と寿命

次に充電発電機を小形化するにあたり各主要部分品の寿命に影響する諸因子について検討する。

3.2.1 温度上昇

充電発電機を小形化した場合冷却面積、冷却ファンの風量などが小さくなるので温度上昇が増加する。温度上昇は電機子巻線、界磁巻線、整流子、軸受などによって異なるので各部分の温度上昇に応じた対策を行って寿命の低下を防がねばならない。

絶縁材料は温度上昇によって寿命が短縮し、Montsingerによれ



第12図 算出整流曲線

ば寿命と温度との関係は(5)式によって左右される。

$$t = Ae^{-m\theta} \dots\dots\dots (5)$$

ここに t : 寿命
 θ : 温度
 A, m : 恒数

寿命の半減する温度上昇の値は(5)式の m の値により決定し従来のA種絶縁材料では 8°C 、B種、H種では各 10°C 、 12°C といわれている。すなわちガラス繊維など無機質を主体とした絶縁材料を用いれば温度上昇が増加しても寿命の低下を防ぐことができる。

軸受はいわゆるオイルレスメタルでは十分な耐熱性がないから耐熱性グリースを充てんしたボールベアリングを使用し、また整流子接続部分のはんだは高回転による遠心力で飛散する可能性があるので高温用はんだを使用しなければならない。

以上のような対策を行えば小形化によって温度上昇の増加をきたしても電機子の層間短絡や軸受の焼付きを生じる恐れはない。

3.2.2 振動

充電発電機は一般にエンジンに取付けられるため常にかかなりの振動を受ける。小形化によって材料強度が低下して振動のため疲労折損することが考えられる。現在実際に見られるエンジン振動の加速度の一例は第2表のようであり、その振動数の範囲は $0 \sim 500\text{c/s}$ である。したがって小形化に際してもこの程度の振動に耐えるような設計とする必要がある。

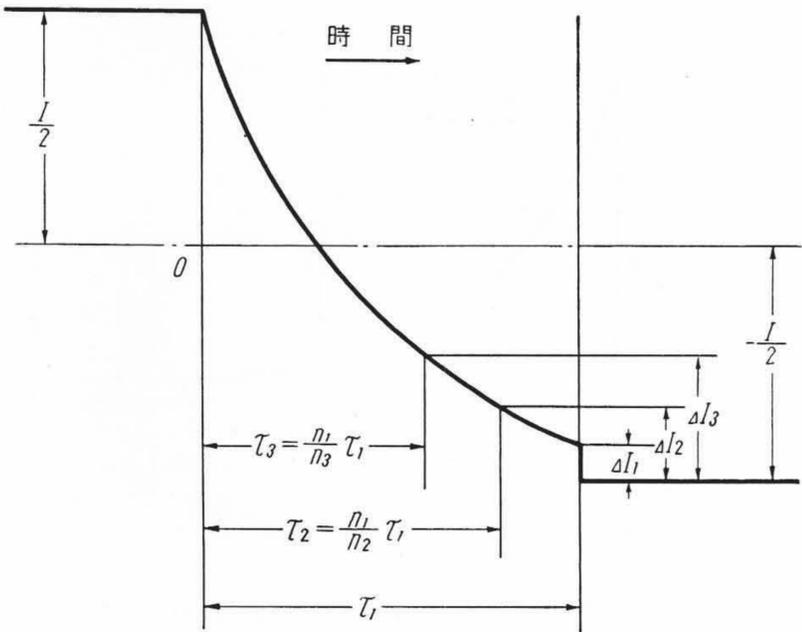
3.2.3 整流と刷子の摩耗

充電発電機の保守の上では刷子の摩耗を少なくすることが大切な問題であり、小形化に際してもこの問題を等閑に付することはできない。刷子の摩耗はじんあいや水滴などの周囲条件によっても相当影響されるが不安定要素であるため今回の考察にあたってはこれを省略し整流の良否について検討することにした。

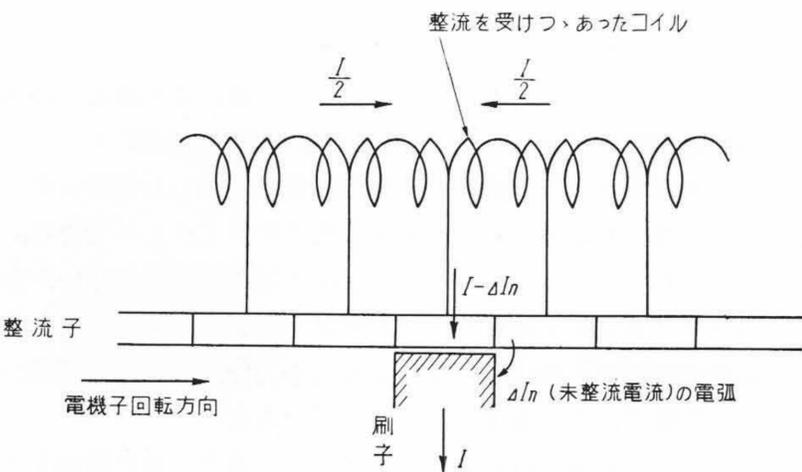
充電発電機は電流が比較的大きいにもかかわらず無補極なので一般に高回転において整流が困難となる。刷子の厚さが整流子片間ピッチと同一で総コイル数 m の2極重ね巻き電機子の第11図のような整流回路において整流されつつあるコイルの電流の変化はいわゆる整流方程式として(6)式で表わされる。

$$L \frac{di}{dt} + \frac{4}{m} R_a i + \frac{r\tau}{\tau-t} \left(\frac{I}{2} + i \right) - \frac{r\tau}{t} \left(\frac{I}{2} - i \right) = 0 \dots\dots\dots (6)$$

ここに i : 整流されつつあるコイルの電流
 t : 整流開始時刻から測った時間
 L : 整流されつつあるコイルのインダクタンス
 τ : 整流周期
 I : 出力電流
 r : 刷子が整流子片1枚と接触している場合の接触抵抗



第 13 図 未整流電流の変化の説明図



第 14 図 未整流電流による電弧の発生

従来の経験から高回転では著しい不足整流となることがわかっているが、整流周期の大部分における整流波形は $t=0$ の条件で決定され $t=\tau$ のとき未整流電流が電弧となると考えられる。したがって(6)式を $t=0$ の付近で解くことになり

$$r \frac{\tau}{t} \left(\frac{I}{2} - i \right) = -r\tau \frac{di}{dt}, \quad r \frac{\tau}{\tau-t} \left(\frac{I}{2} + i \right) = r \left(\frac{I}{2} + i \right)$$

とおく。また高回転では $L - r\tau \doteq L$ とみなしてよいので(6)式は近似的に(7)式となりこれを $t=0$ で $i = \frac{I}{2}$ の初期条件でとくと(8)式となる。

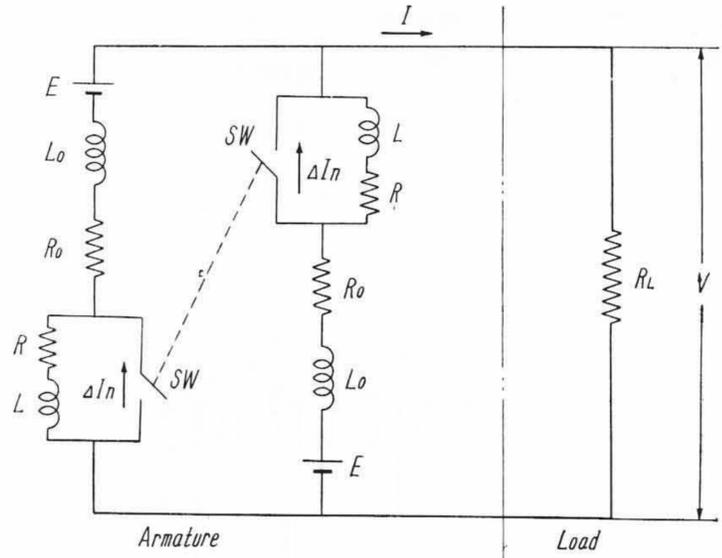
$$L \frac{di}{dt} + \left(\frac{4}{m} R_a + r \right) i + \frac{rI}{2} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

$$i = \frac{I}{2 \left(\frac{4R_a}{m} + r \right)} \left\{ -r + \left(2r + \frac{4}{m} R_a \right) e^{-\left(\frac{r + \frac{4}{m} R_a}{L} \right) t} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

この解を図示すると第 12 図の整流曲線となり整流周期は回転数が増大すると次第に短くなり第 13 図のように未整流電流が増大する。この未整流電流は第 14 図のように整流子片から電弧によって補給されるがこれは刷子を摩耗させる大きな原因になる⁽³⁾。

このように高回転で整流困難な時の充電発電機の等価回路は未整流電流の遮断作用を断続器で示せば第 15 図で表わされる。この図で未整流電流が電弧を生ぜず切断されるとすればその波形は第 16 図のように考えられ、出力電流の平均値 $I - \Delta I_n$ は $e^{-\frac{1}{n}} = 1 + \frac{1}{n}$ とおいて(9)式で示されることになる。

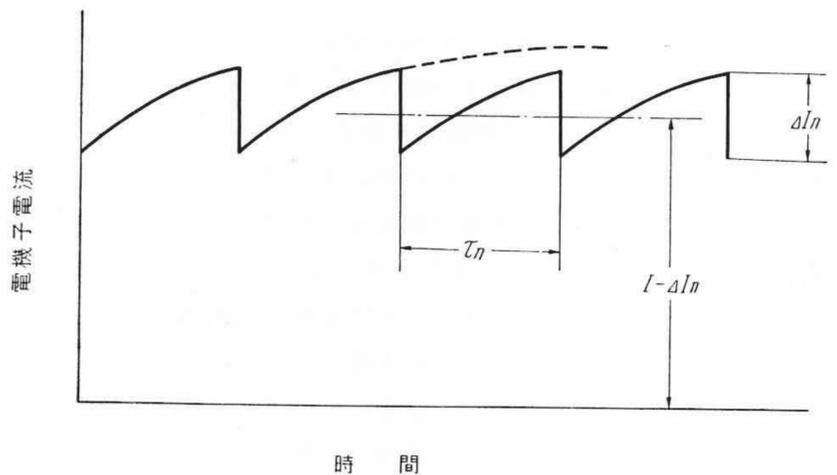
$$I - \Delta I_n = I \left(r + \frac{2R_a}{m} \right) \frac{\tau_0}{Ln} \dots\dots\dots(9)$$



- Armature: 電機子
- Load: 負荷
- V: 端子電圧
- I: 出力電流
- ΔI_n : 未整流電流
- E: 発生起電力
- R: 整流されつつあるコイルの抵抗
- L: 整流されつつあるコイルのインダクタンス
- R_0 : 内部回路 1 個の抵抗 (刷子抵抗および刷子の接触抵抗を含む)
- L_0 : 内部回路 1 個のインダクタンス
- R_L : 負荷抵抗

注: 相互インダクタンスは全て無視する

第 15 図 高回転難整流時の等価回路



第 16 図 電機子電流の推定波形

ここに τ_0 : ある任意の回転数における整流周期に比例した定数

(9)式と(1)式を組合わせ電機子反作用を省略すれば高回転における出力電流は(10)式で表わされる極限值に近づくことがわかる。ただし回転数 n は十分大きく、電機子反作用は無視する。

$$I - \Delta I_n = \frac{\tau_0 (a + bI_f)}{L(1 + \alpha T)} \left(\frac{r}{R_a} + \frac{2}{m} \right) \dots\dots\dots(10)$$

換言すれば未整流のまま電弧となって刷子の摩耗に費される電流が存在するために出力電流には限界値があることがわかる。

以上の解析から刷子摩耗を減らすためには整流の改善がきわめて重要であるが、それには電機子コイルのインダクタンスを極力小さくして抵抗整流に近づけなければならない。

4. 充電発電機の標準化

自動車用部品は多量生産を前提としてしかも自動車の生産ラインに間に合わせて生産されなければならない。最近各自動車メーカー間の競争が激しいために車種が多くなり、また生産数量の変動がはなはだしくなった。このため部品メーカーはたとえば充電発電機のみについて考えても多種類のものをさまざまな数量でしかも短納期で生産しなければならなくなる。このような事情に対処するには各車種に共通に使用できるように十分検討した充電発電機を設定して標準形とし、自動機による多量生産方式を採ることがもっともよい方法である。次にこれについて検討する。

第3表 三、四輪車用充電発電機の種類
(昭和32年初当時、現在は全部日立標準形充電発電機を使用)

カーメーカー	車種	充電発電機
A 社	a 車	GCB-DRD形 (6V 140W)
	b 車	ICD-SCRN形 (6V 175W)
	c 車	ICA-SCRA形 (12V 200W)
B 社	d 車	ICA-SCRF形 (12V 200W)
C 社	e 車	ICA-SCRO形 (6V 175W)
D 社	f 車	GCA-SCLH形 (6V 160W)
	g 車	GCA-SCRH形 (6V 175W)
	h 車	GCA-DSRH形 (6V 140W)
	i 車	GCB-DSRH形 (6V 140W)
E 社	j 車	ICA-DSRK形 (6V 90W)
	k 車	IC1A-DSR形 (6V 140W)
	l 車	IC2A-DSR形 (6V 140W)
	m 車	GB-SCR形 (6V 110W)
F 社	n 車	IC4A-DSRT形 (6V 140W)



(注) 上: 従来品
下: 日立標準形充電発電機

第17図 日立標準型充電発電機と従来品との比較

4.1 機種の一

従来三輪車および四輪車には6V 175Wおよび12V 200W程度の充電発電機が広く用いられてきたが各自動車メーカーがこれに対して要求する寸法および特性は大要において共通していながら、ささいな点で異なりその種類は十数種に及んでいる。その構成は第3表のようである。しかるにこれを通観すると6V式、12V式各一種類に統一できるものが多くまた統一することにより共通性が増大してかえって便利な面が少ない。さらに6V式と12V式とを共通の形状として一本化し単に巻線仕様のみを異にするようにできれば汎用充電発電機の完全な標準化が可能となる。日立製作所ではこのような目標をたてて前述の小形化と同様に標準化を企てた結果後述する日立標準形充電発電機によってこれを達成することができた。

4.2 標準化による生産性の増大

充電発電機が標準化されると部分品の種類が減少し、しかも生産数量が増大するので工程管理が非常に容易となりまた自動機による多量生産が可能となる。かくして生産性が増大すると生産コストも低下することはいうまでもない。

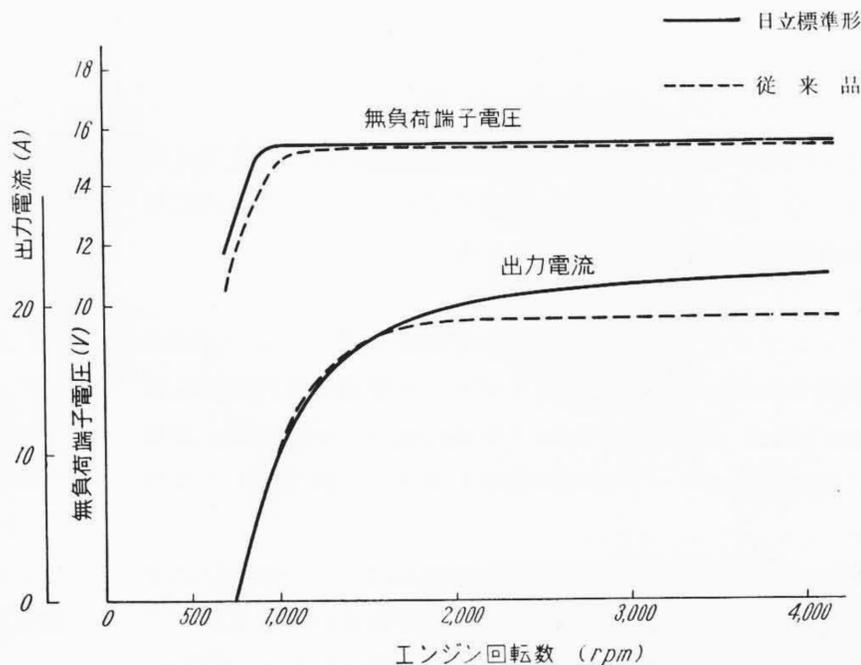
5. 日立標準形充電発電機

現在多量生産中の日立標準形充電発電機は前述の小形化と標準化の研究に基づいて計画され完成したものである。これは従来に比較して約40%の小形化と約30%の重量軽減を行っており、また6V 175Wと12V 200W充電発電機を同一寸法で製作して完全な標準化を行っている。第17図に従来品との比較写真を示す。

日立標準形充電発電機の出力速度特性はたとえば12V式では第18図のごとく従来品と同じ出力電流が得られる。また小形化に際して電機子にガラス繊維(F種絶縁材料)を用いるなど前述の各検討をしているので寿命も従来に比して少しもそんな色がない。

6. 結 言

充電発電機を小形化、標準化するための諸考察とこれによって完成した日立標準形充電発電機について述べた。小形化および標準化



第18図 日立標準形充電発電機の特性

を行うために次の諸点を検討をした。

- (1) 小形化するには第10図により限界出力電流を増加する方法を見出すことができる。
- (2) 小形化による寿命の短縮を避けるために温度上昇、振動、刷子摩耗に対する対策が必要である。
- (3) 広汎な機種を調査して三、四輪車用充電発電機の標準形を設定し生産性を高めることができた。

日立標準形充電発電機は各自動車メーカーから大いに好評を受けその生産台数はすでに数十万台に達している。またこの充電発電機の使用によりエンジンの小形軽量化にいくらかでも貢献できれば幸である。

最後に、本研究に積極的にご協力いただいた日立電線株式会社、日立化工株式会社、日立製作所日立絶縁物工場の関係各位に深甚なる謝意を表するとご指導いただいた上司に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 久米: 日立評論 34 687 (昭 27-5)
- (2) 杉浦: 日立評論 37 1537 (昭 30-11)
- (3) E. I. Shobert, J. E. Diehl: Trans. A. I. E. E. 73 1592 (1954)