

慣性摺動式始動電動機の新かみ合機構の研究

New Meshing Mechanism of the Inertia Sliding Shift Type Starting Motor

根 本 守* 伊 藤 俊 之*
Mamoru Nemoto Toshiyuki Itô

内 容 梗 概

慣性摺動（しゅうどう）式始動電動機は、始動の際ピニオンが、ヘリカルスプラインの切ってある軸上を慣性によって飛び出し、エンジンのリングギヤにかみ合って、回転力を伝達するものである。この種のものは機構が簡単で、エンジン装着時にスペース的にきわめて有利であるが、一方、寒冷時のエンジン不整着火の際、ピニオン早期離脱による始動不良という大きな欠陥を有する。本論は、この欠陥を解決するために開発した、新機構の慣性摺動式始動電動機⁽¹⁾の研究である。

1. 緒 言

エンジン用始動電動機は、一般に、直流直巻電動機の軸端にピニオンを装着し、アーマチャが回るとピニオンが飛び出して、エンジンのクランクシャフトに直結されているリングギヤにかみ合い、回転力を伝える。エンジンが完全に始動して自力回転に至り、リングギヤの回転数が上がると、ピニオンはかみ合いが解かれ、元の位置に復帰する構造となっている。

慣性摺動式は、エンジン始動の際、ピニオンのかみ合い、離脱を、ピニオンの慣性と、ヘリカルスプラインの作用によって行なっているため、電磁摺動式などの他方式のものに比較して構造が簡単であるばかりでなく、エンジン装着の際、取り付けスペースの点でも、きわめて有利である。しかし、その反面、寒冷時にエンジンが不整着火を起こすと、初爆によってピニオンが離脱してしまい、始動困難になるという欠陥がある。

最近のように低温始動が要求され、また気化器がオートチョーク付になってくると、この欠陥はさらに大きくクローズアップされてくる。本論は、上述した寒冷時の不整着火によるピニオン早期離脱について、その機構を解析し、さらにこれを完全に解決した、一方向クラッチ併用の新機構慣性摺動式始動電動機について研究した成果を述べている。

2. 始動電動機の構造と作動

慣性摺動式始動電動機について現用形、新形を比較して、その構造および作動を説明する。第1図は新形始動電動機の構造図、第2、3図は現用形および新形のピニオン部分構造図、第4図は接続図である。現用形と新形は、ピニオン部分の構造を異にするのみで、電動機部分は同一構造となっている。

2.1 現用形始動電動機

2.1.1 構 造

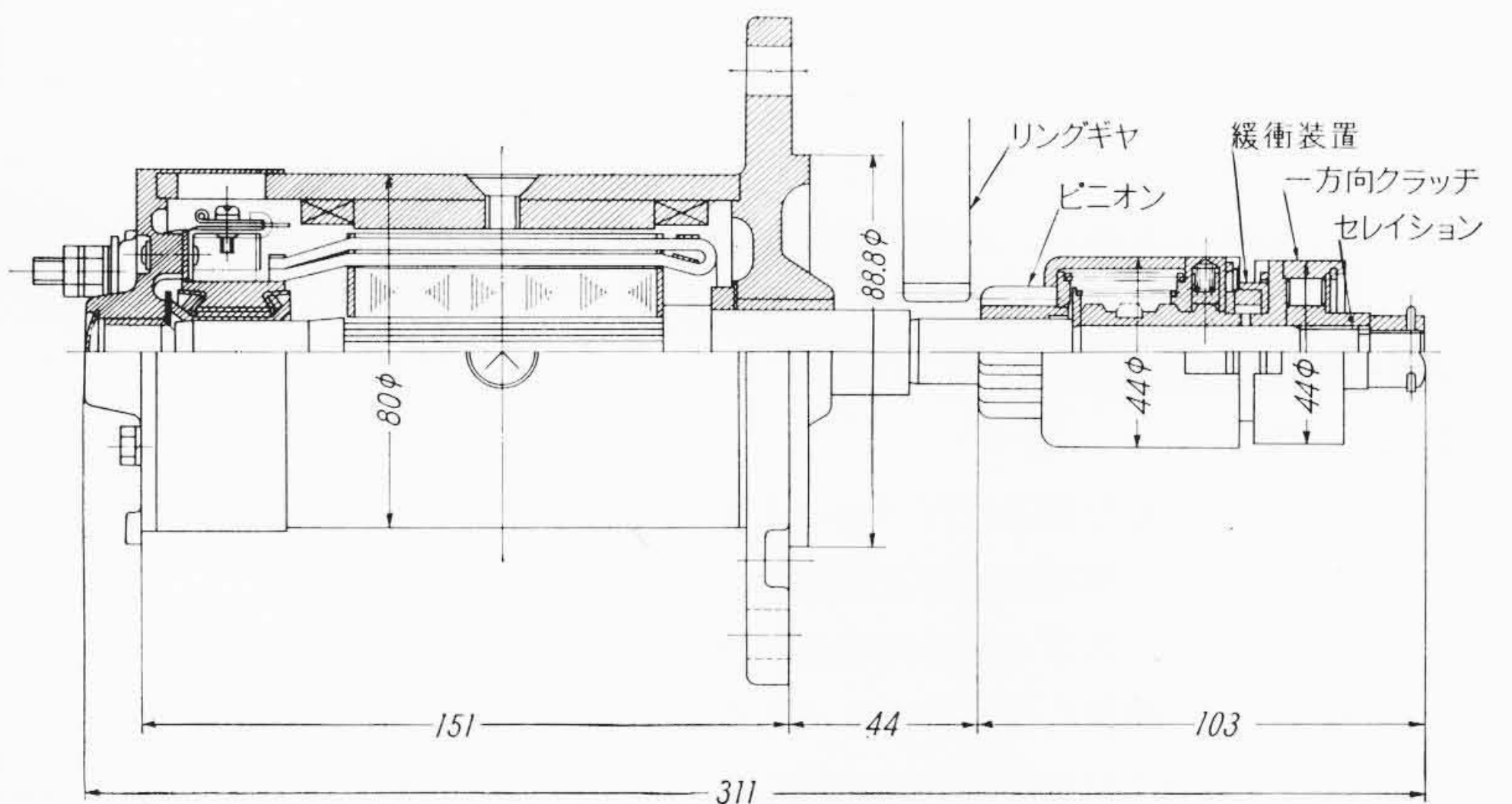
第2図に示すとおり、アーマチャシャフトに直線スプラインによって結合されているネジ筒の外周には、ヘリカルスプラインが切ってあり、これには、ピニオンと一体に固定されているピニオンガイドが螺合（らごう）している。

2.1.2 作 動

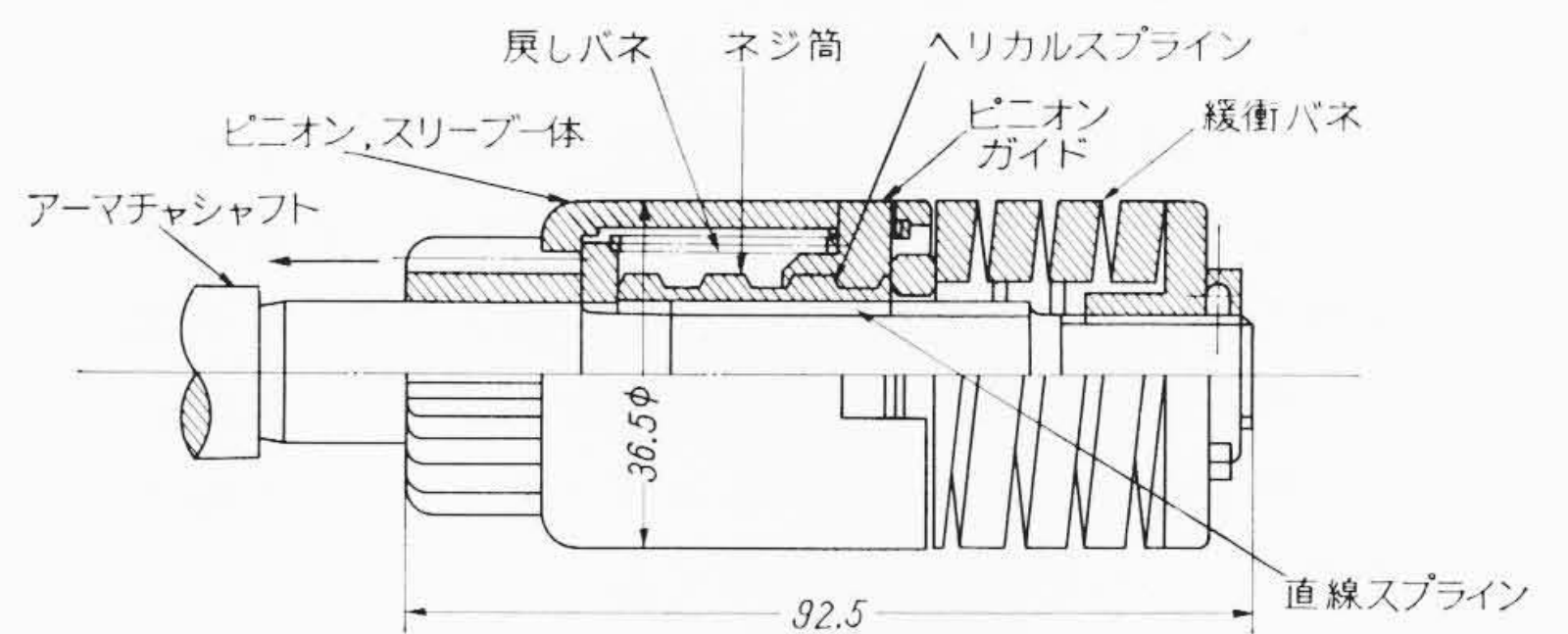
本方式の始動電動機は、次の過程を経てエンジンを起動する。

- (1) 始動スイッチを入れると電磁開閉器が閉じて、アーマチャはある角速度で回転しはじめる。
- (2) このため、ネジ筒のヘリカルスプラインに螺合したピニ

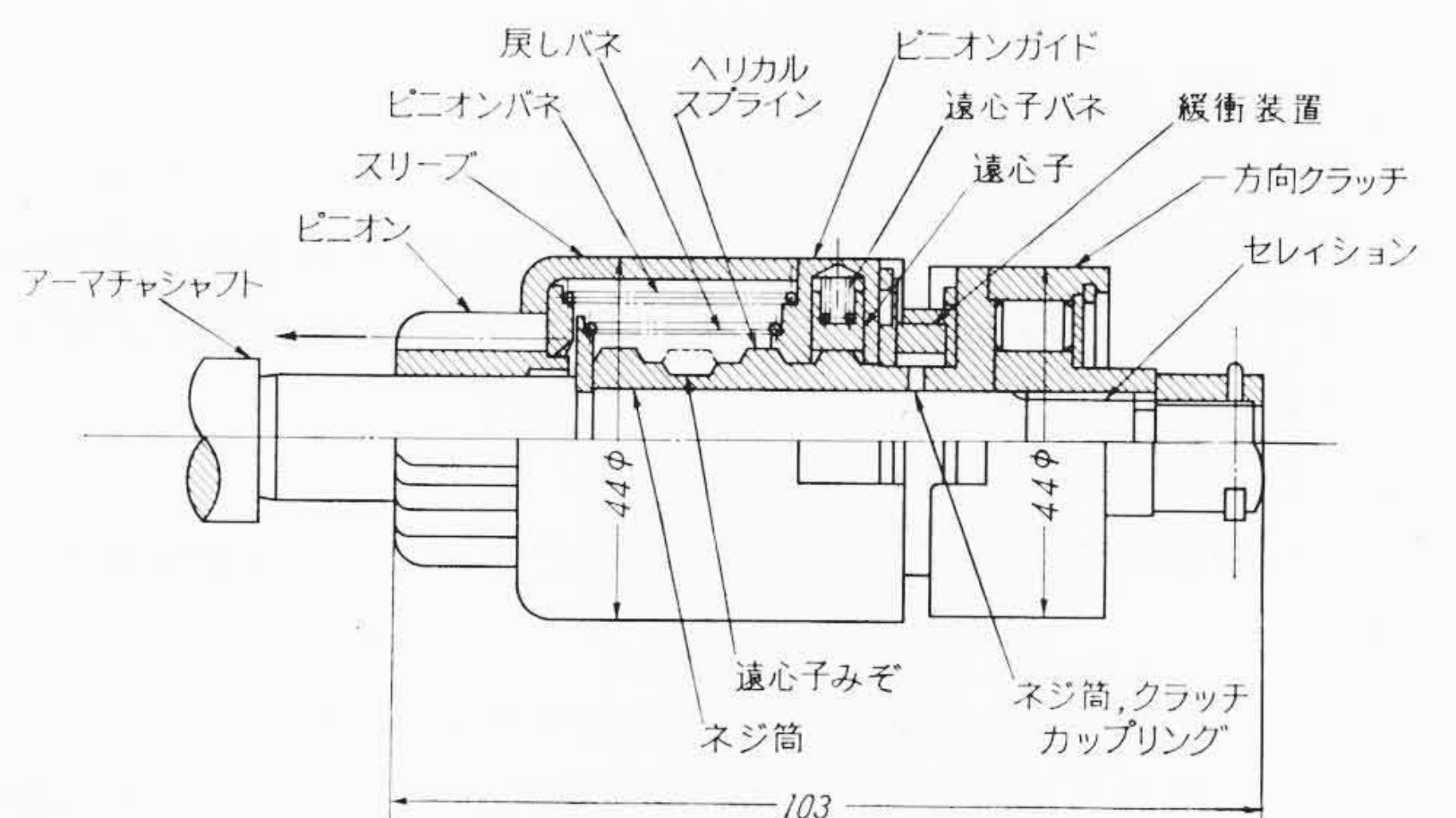
* 日立製作所多賀工場



第1図 新形慣性摺動式始動電動機



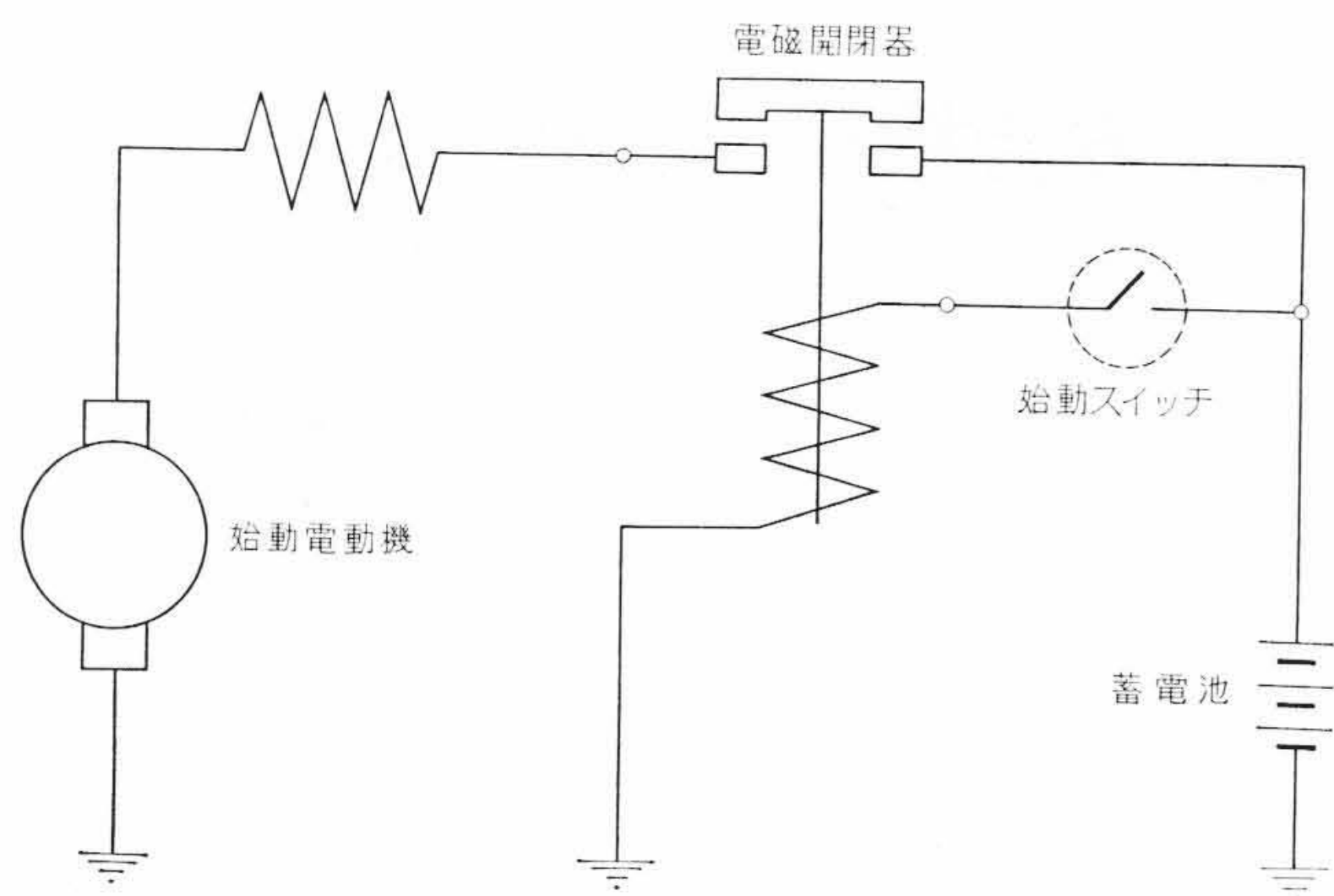
第2図 ピニオン部分構造図(現用形)



第3図 ピニオン部分構造図(新形)

オンガイドは、ピニオンとともに慣性によって第2図に示す矢印方向に前進し、リングギヤにかみ合いはじめる。

- (3) ピニオンは、リングギヤとのかみ合いはじめの位置から、かみ合い完了の位置まで、ヘリカルスプラインによってモータトルクの分力で進む。



第4図 接続図

- (4) エンジンが着火して、リングギヤの周速がピニオンのそれよりも速くなると、リングギヤが駆動歯車となり、ピニオンはヘリカルスプラインの作用により自動的に戻される。なお、この現象がエンジン完爆以前に起こる場合がある。これをピニオン早期離脱といっている。

2.2 新形始動電動機

2.2.1 構造

現用形とのおもな相違点は下記のとおりである。

(1) ピニオン早期離脱防止機構

エンジンが、ある一定の回転数に達するまで、ピニオンがリングギヤより離脱しないようにするため、第3図に示すように遠心子およびこれを作動させる遠心子バネが設置してある。

ただし、ネジ筒を直線スプラインでモータに直結した現用形に、上記遠心子装置を設置しただけでは、エンジン着火時、遠心子に異常に大きな力が作用するため、エンジン着火時のみ空転する一方向クラッチを介して、モータ軸に係合させる構造である。なお、このクラッチの再係合時の作動を円滑にして、かつ衝撃的係合を防止するために、ネジ筒とクラッチの間に緩衝装置が設置してある。この緩衝装置は、ピニオンに加わるトルクの変動を、ネジ筒のヘリカルスプラインによって軸方向の力に変換し、これを緩衝するものである。

(2) かみ込みはじめの衝撃力吸収機構

上記のように、ピニオン早期離脱防止機構としたため、ピニオン系（ピニオン、ピニオンスリーブ、ピニオンガイド）の慣性が増大する。したがって、現用形のようにこれが一体となったものでは、ピニオン飛び込み時の衝撃力が増大し、かみ合い音およびピニオン、リングギヤの摩耗に悪影響をおよぼすので⁽²⁾、これを防止するためピニオンとスリーブを分離し、ピニオンバネを設置した。

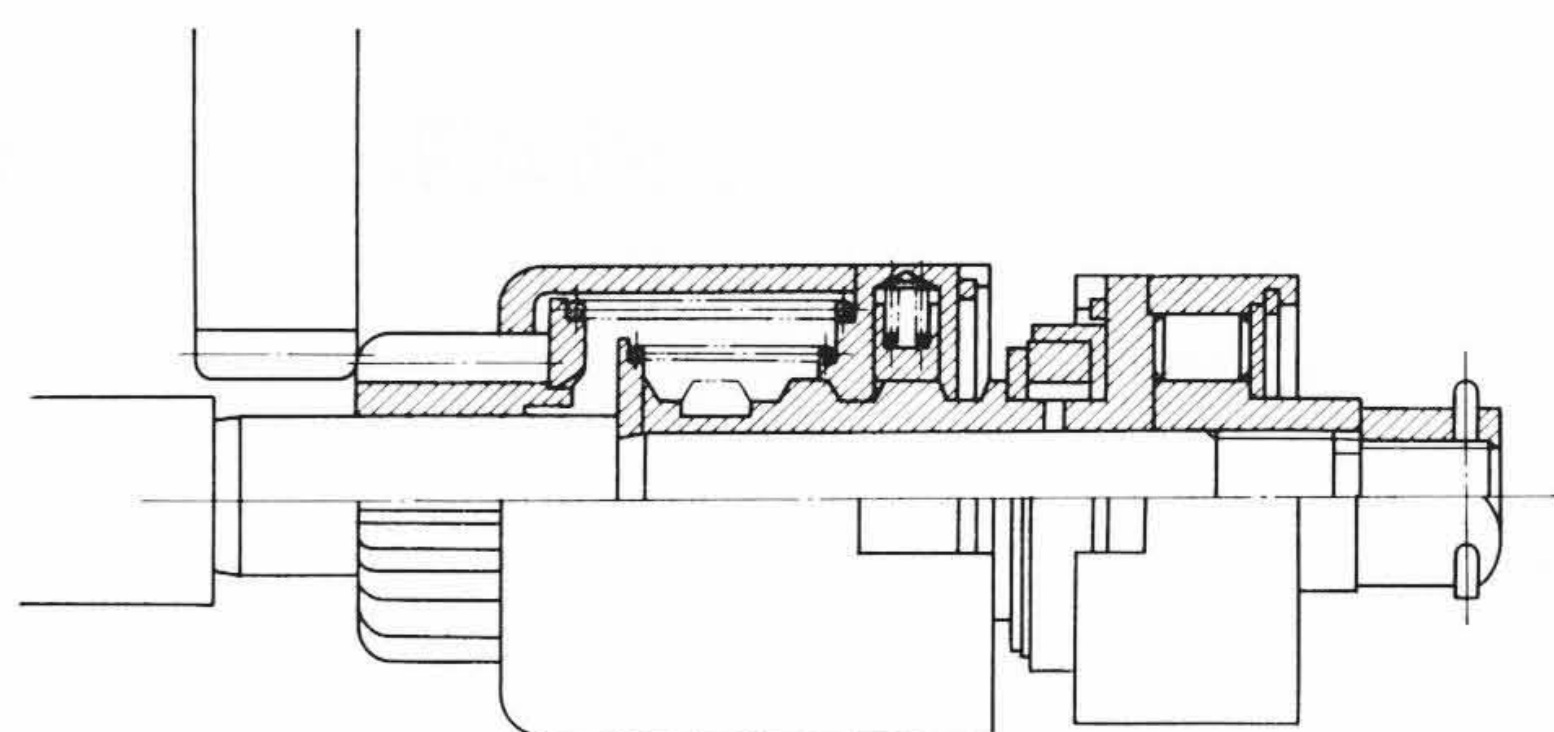
2.2.2 作動

次に作動について説明する。第5図にピニオンの作動状態を示す。

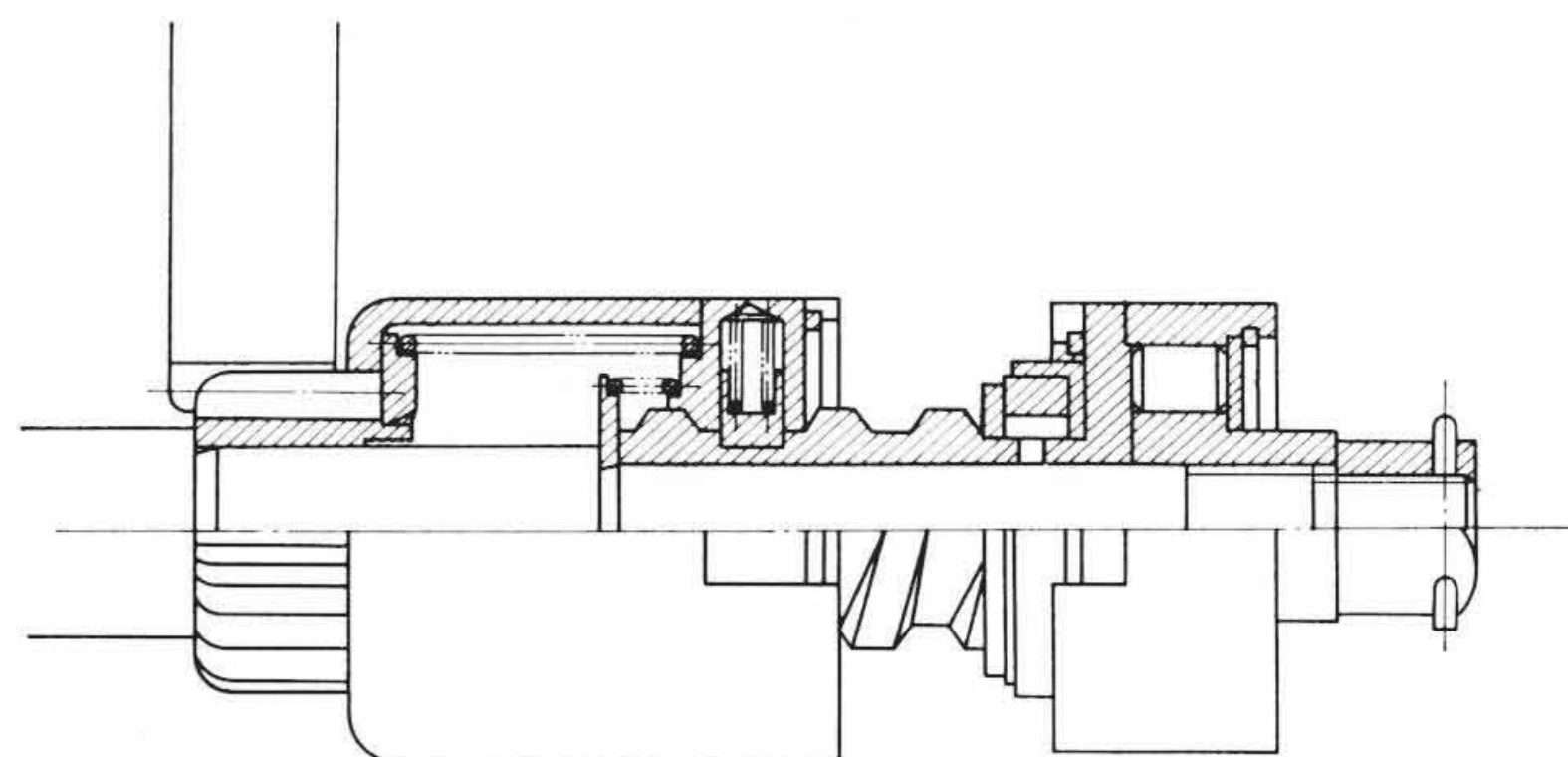
- (1) 始動スイッチを入れるとアーマチャが回転し、ピニオンはヘリカルスプライン上を移動し、リングギヤにかみ込む（この点は現用形と同一）。なおこのとき、クラッチは係合されている。

ピニオンがリングギヤにかみ込むとき、ピニオン歯端面がリングギヤ歯端面に衝突した場合、ピニオンバネによって衝撃力は緩和される（第5図(A)参照）。

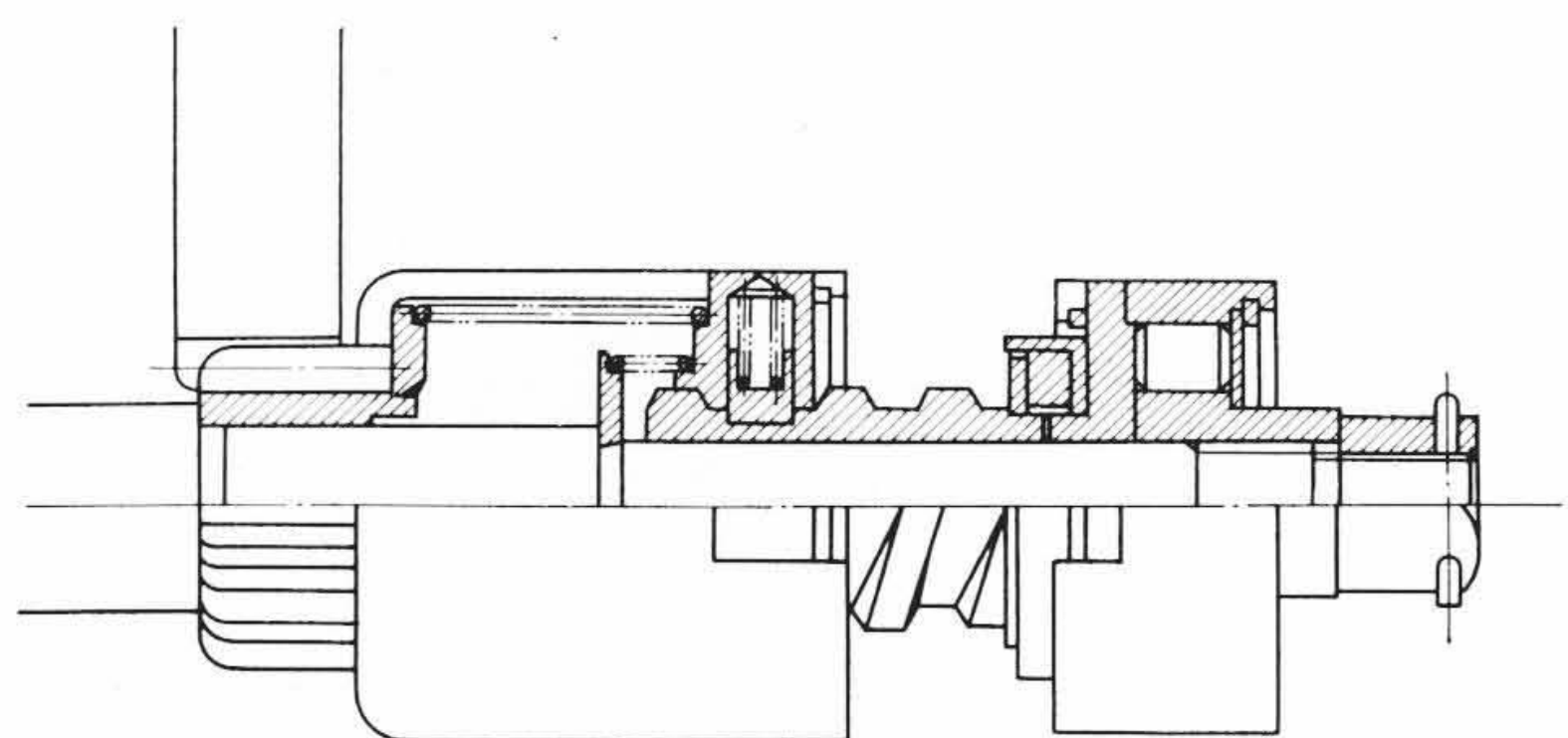
- (2) ピニオンがリングギヤにかみ合っている位置まで進むと、遠心子はネジ筒の遠心子みぞに落ち込む。この状態になると、ピニオンは一定回転数にならない限り、元



(A) ピニオンかみ込時



(B) ピニオンかみ合完了時

(C) エンジンクラッキング
およびクラッチ再係合時

第5図 ピニオン作動状態図

戻ることはいできない（第5図(B)参照）。

- (3) ピニオンがリングギヤに完全にかみ合うと、モータトルクは、アーマチャシャフト、一方向クラッチ、ネジ筒、ピニオンガイド、ピニオンスリーブおよびピニオンを経てリングギヤに伝達され、エンジンをクランクする。

この際、エンジン負荷の変動にしたがって、緩衝装置は変形し、衝撃力の発生を防止する（第5図(C)参照）。

- (4) エンジンが着火して瞬間的にリングギヤの周速がピニオンのそれよりも増大すると、クラッチは空転し、各部に衝撃力の発生するのを防止する。

エンジンが初爆のみで自力回転に至らない場合には、再係合してエンジンが完全に着火するまでクランクを繰り返す。

- (5) エンジンが完全に着火し、自力回転に至り、一定回転数（スタータ回転数 6,400~7,000 rpm、エンジン回転数に換算して 500~550 rpm）になると、遠心子は遠心力によって遠心子バネに抗して移動し、ネジ筒の遠心子みぞより離脱する。この状態になると、ピニオンは戻りバネの力とリングギヤから受ける力とによって、リングギヤとのかみ合いが解かれ、元の位置に復帰する。

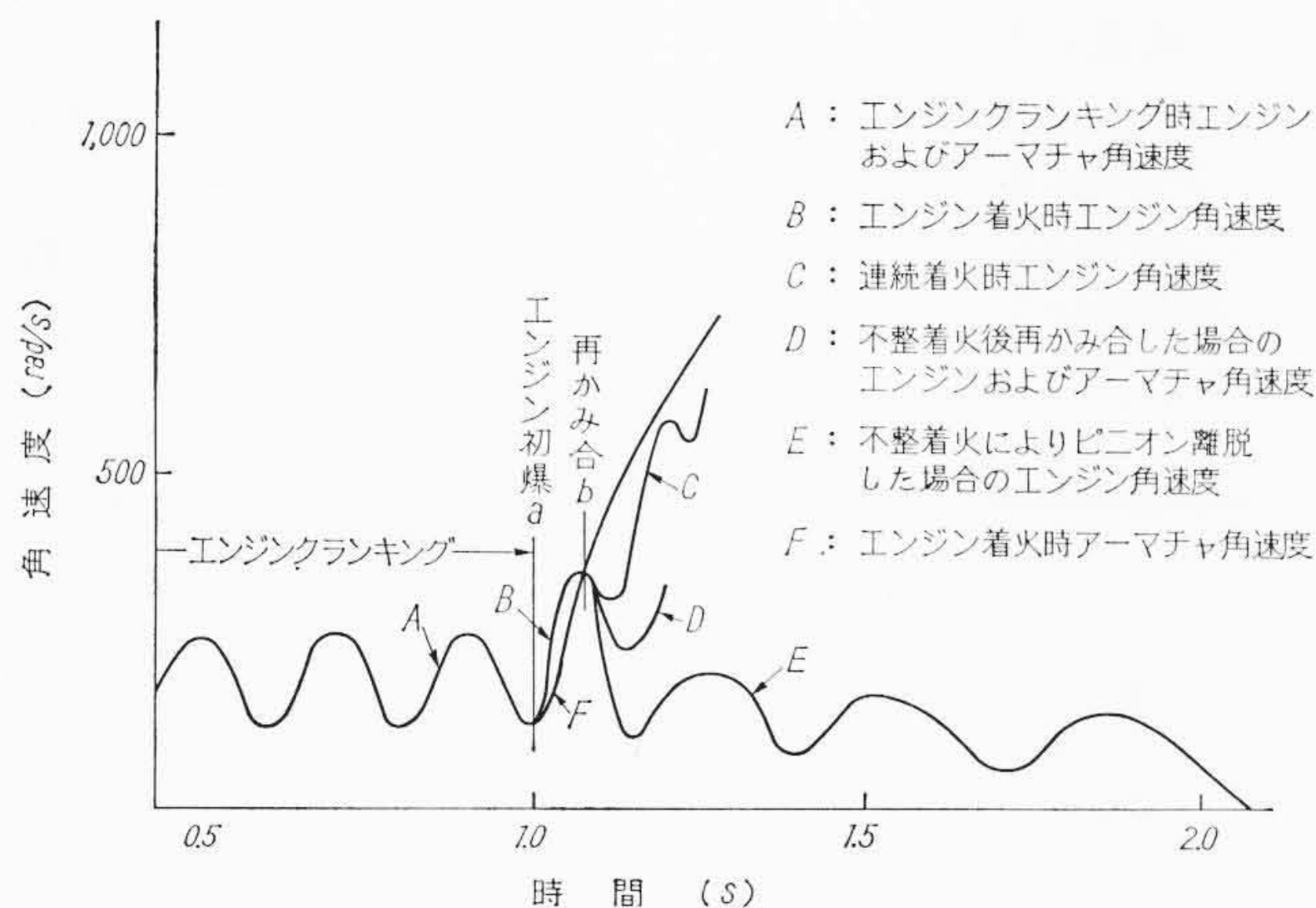
3. ピニオンの離脱機構と早期離脱の防止

慣性摺動式始動電動機は、前章に述べた構造および作動を行なうものであるが、本方式のものが電磁摺動式などの方式のものと比較して大きく異なるのは、ピニオンかみ込みおよび離脱機構である。かみ込み機構についてはさきに報告したので⁽³⁾、本項では不整着火によるピニオン早期離脱とその防止を中心に、現用形、新形を比較検討する。

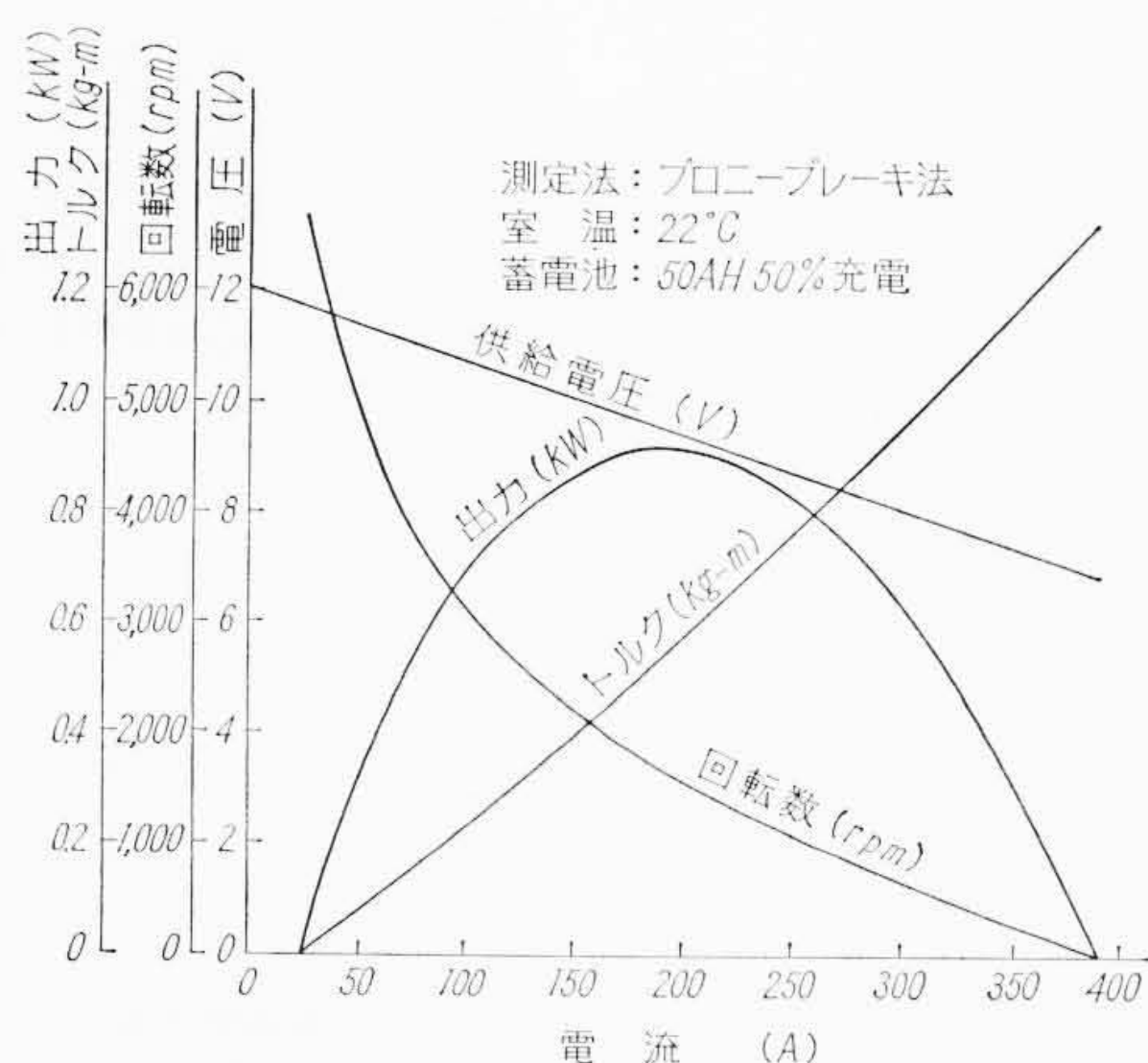
3.1 現用形ピニオンの離脱機構

エンジンクランキング時、着火時および着火後のピニオンの運動を、さらに詳細に検討するため、これらの各段階におけるエンジンおよび始動電動機の角速度の変化を示したのが第6図である。なお本図では、始動電動機とエンジンの相対運動をはっきりさせるために、エンジンの角速度はピニオンとリングギヤの歯数比倍してある。

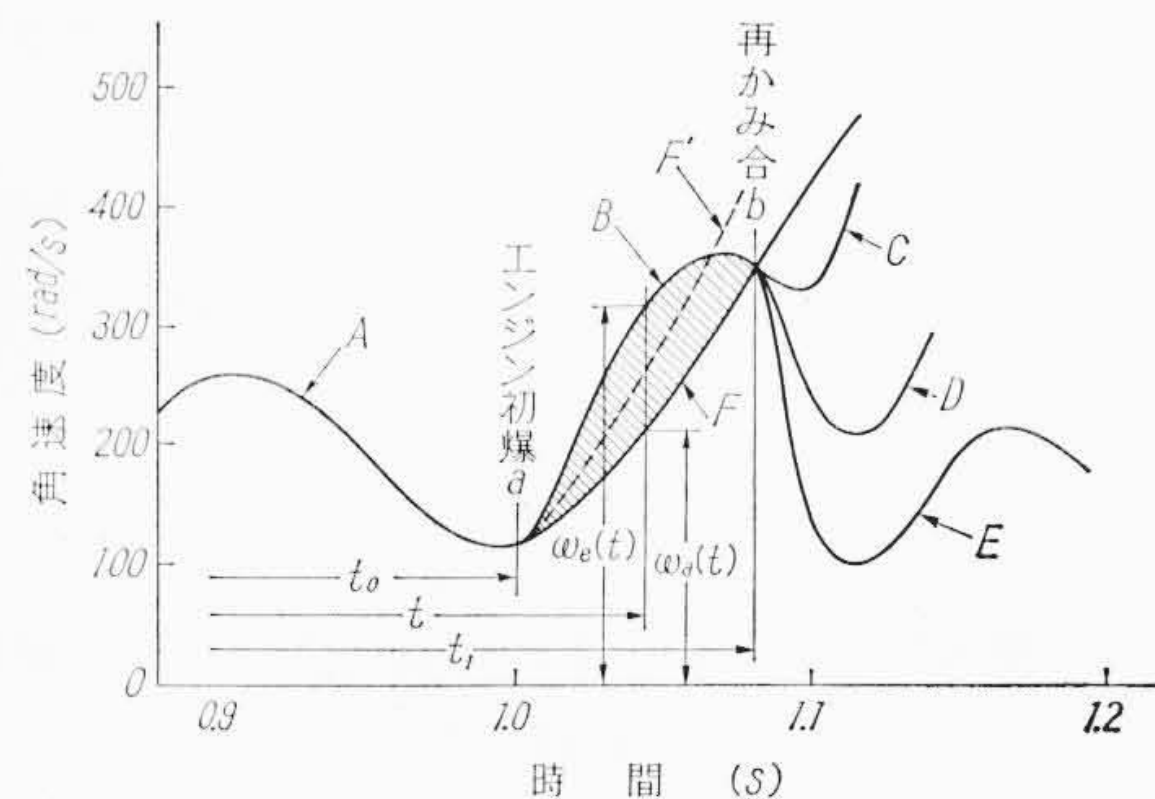
一般に始動電動機のモータ部は、第7図に示すような特性を持った直流直巻電動機であるため、エンジンクランキング中は、エンジンの所要トルクの変動に応じて、角速度も変化する。エンジンが第6図のa点で着火すると、エンジンの角速度は曲線Bに示すように急激に上昇する。一方、モータのアーマチャシャフトも負荷の状態から急激に無負荷になるため、曲線Fに示すように角速度が上昇する。この部分を詳細に示したのが第8図である。エンジンの角速度上昇特性は、エンジンの仕様（衝程、気筒数、圧縮比およびフライホイール慣性など）、気化器仕様および運転条件（燃料、潤滑油、油温など）によって変化し、また、始動電動機の角速度上昇特性はモータ仕様（出力特性、アーマチャ慣性など）および使用条件（供給



第6図 エンジン始動時のエンジンおよび始動電動機アーマチャの角速度



第7図 12V 1.0kW 始動電動機出力特性曲線



第8図 エンジン着火時のエンジンおよび始動電動機アーマチャの角速度

電圧、電流など）などによって変化するが、一般的には第8図に示すように、エンジンの角速度の方がアーマチャのそれより大きい。

次に、エンジン着火時のピニオンの運動を考察する。

アーマチャとエンジンの相対角変位 θ は、(1)式で示される。

$$\theta = \int_{t_0}^t \{\omega_e(t) - \omega_a(t)\} dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $\omega_e(t)$: 時間 t のときのエンジン角速度（歯数比倍したもの）

$\omega_a(t)$: 時間 t のときのアーマチャシャフト角速度

t_0 : エンジン着火までの時間

t : エンジン着火から再かみ合いまでの間の任意の時間

一方、ピニオンとアーマチャシャフトは、リード L のヘリカルスプラインを有するネジ筒を介して螺合しているので、ピニオンのアーマチャシャフトに対する角変位 θ と、軸方向の変位量 l の関係は(2)式のとおりとなる。

$$\theta = \frac{2\pi}{L} l \quad \dots\dots\dots (2)$$

したがって、ピニオンとリングギヤのかみ合い長さを l_0 とすると、(3)式に示す範囲になるとピニオンはリングギヤより離脱することになる。

$$\int_{t_0}^{t_1} \{\omega_e(t) - \omega_a(t)\} dt > \frac{2\pi l_0}{L} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、

$$\omega_e(t_1) = \omega_a(t_1)$$

なお、エンジンが常温で使用される場合には、初爆があるとこれに引き続いて連続着火するため、エンジン角速度は第6図曲線Cに示すように上昇して自力回転に移行するので、始動上はなんら支障はない。しかし低温時には、

- (1) エンジンオイルの粘性抵抗が増大してエンジンの速度が低くなるため、燃焼に適した空気-燃料の混合比が得がたい。
- (2) もし混合比が同一であっても、低速であるため燃料の十分な微粒化が行なわれず、また低温であるため燃料の気化状態が悪い。
- (3) 低温のため、バッテリーの電圧降下が大きく、点火プラグの着火性能が悪い。

などの理由から、初爆のみで自力回転に至らない場合がある。このような場合には、ピニオンが早期離脱し、エンジンの角速度は第6図Eに示すように低下し、始動困難になる。

3.2 ピニオン早期離脱防止機構の考察

ピニオンがリングギヤより早期離脱するのを防止するためには、次の方法が考えられる。

- (1) バッテリーの容量を大きくし、かつ、スピード形のモータを使用する

前項より考えて、エンジン角速度 $\omega_e(t)$ 、アーマチュア角速度 $\omega_a(t)$ およびピニオン、リングギヤかみ合い長さ l_0 の間に、(4)式の関係が成立すればよいわけである。

$$\int_{t_0}^{t_1} \{\omega_e(t) - \omega_a(t)\} dt < \frac{2\pi l_0}{L} \dots\dots\dots (4)$$

したがって、第8図で曲線BとFによって囲む面積(斜線部)を $2\pi l_0/L$ より小さくすればよいわけである。

この方法としては、モータの角速度上昇特性FをF'のように、エンジンの角速度上昇特性Bに近づければよい。このためには、モータ特性がスピード形であるか、またはバッテリーの容量が大きく、スタータ端子に加わる電圧が高ければ斜線部は少なくなり、ピニオンを離脱しない方向に持ってゆくことができる。ただし、これらの方法は、大きさ、重量の点ばかりでなく、かみ合い動作その他にも問題を残す結果となる⁽⁴⁾。

- (2) 一方向クラッチを併用する

エンジンが初爆して、エンジン角速度がアーマチュアの角速度より大きくなった場合、ピニオンをアーマチュアに対してすべらせる方法が考えられる。本供試品はこの考え方を基にして、第2章に述べたような構造とした。

3.3 新機構始動電動機の力学的検討

3.3.1 エンジンクランキング時

ピニオンに作用するトルクは、次の(5)式によってネジ筒に作用する軸方向の力 F に変換され、緩衝装置によって緩和される。

$$F = \frac{2T}{d_e \tan(\alpha + \lambda)} \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 F : ネジ筒に生ずる軸方向の力

T : ピニオンに作用するトルク

d_e : ネジ筒のヘリカルスプライン有効径

α : ネジ筒のリードアングル

λ : ヘリカルスプライン摺動面の摩擦角

3.3.2 クラッチ空転時

エンジンが着火し、ピニオンがアーマチュアに対して空転している場合には、第9図に示すように遠心子には f の力が作用する。ここで f は、クラッチの逆転係合力 T_0 の値が(6)'式、(7)'式、の場合は、それぞれ(6)式、(7)式で示される。

$$f = \frac{T_0}{r} (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) \dots\dots\dots (6)$$

$$\left[T_0 \leq I \frac{d}{dt} \{\omega_e(t) - \omega_a(t)\} \right] \dots\dots\dots (6)'$$

$$f = \frac{I}{r} \frac{d}{dt} \{\omega_e(t) - \omega_a(t)\} (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) \dots\dots\dots (7)$$

$$\left[T_0 > I \frac{d}{dt} \{\omega_e(t) - \omega_a(t)\} \right] \dots\dots\dots (7)'$$

ただし、 f : 遠心子に作用する力

T_0 : クラッチの逆転係合力

r : ヘリカルスプラインの外径

μ : ヘリカルスプライン摺動面の摩擦係数 ($\mu = \tan \lambda$)

I : アーマチュアの慣性

すなわち、 T_0 が(6)'式の範囲の場合は、 f は T_0 のみによって決定され、また T_0 が(7)'式の場合は T_0 に無関係に I 、 $\omega_e(t)$ 、 $\omega_a(t)$ によって決定されることがわかる。

一般に、この程度の一方向クラッチの逆転係合力は、0.2 kg-m 前後であるので、遠心子に作用する力は(6)式より 1.2 kg 程度となり、摩耗、折損の心配はない。

なお、一方向クラッチを併用せず遠心子のみとすると、(7)式より遠心子に作用する力は約 130 kg となり、問題となる。

3.3.3 クラッチ再係合時

第8図に示すとおり、アーマチュアの角速度は曲線Fにそって上昇して、b点でクラッチが再係合すると曲線Dにそって急激に下降する。この再係合点では、アーマチュアの角速度が急激に変化し、係合は衝撃的に行なわれるため、緩衝装置を設けこれを緩和している。

4. 実 験

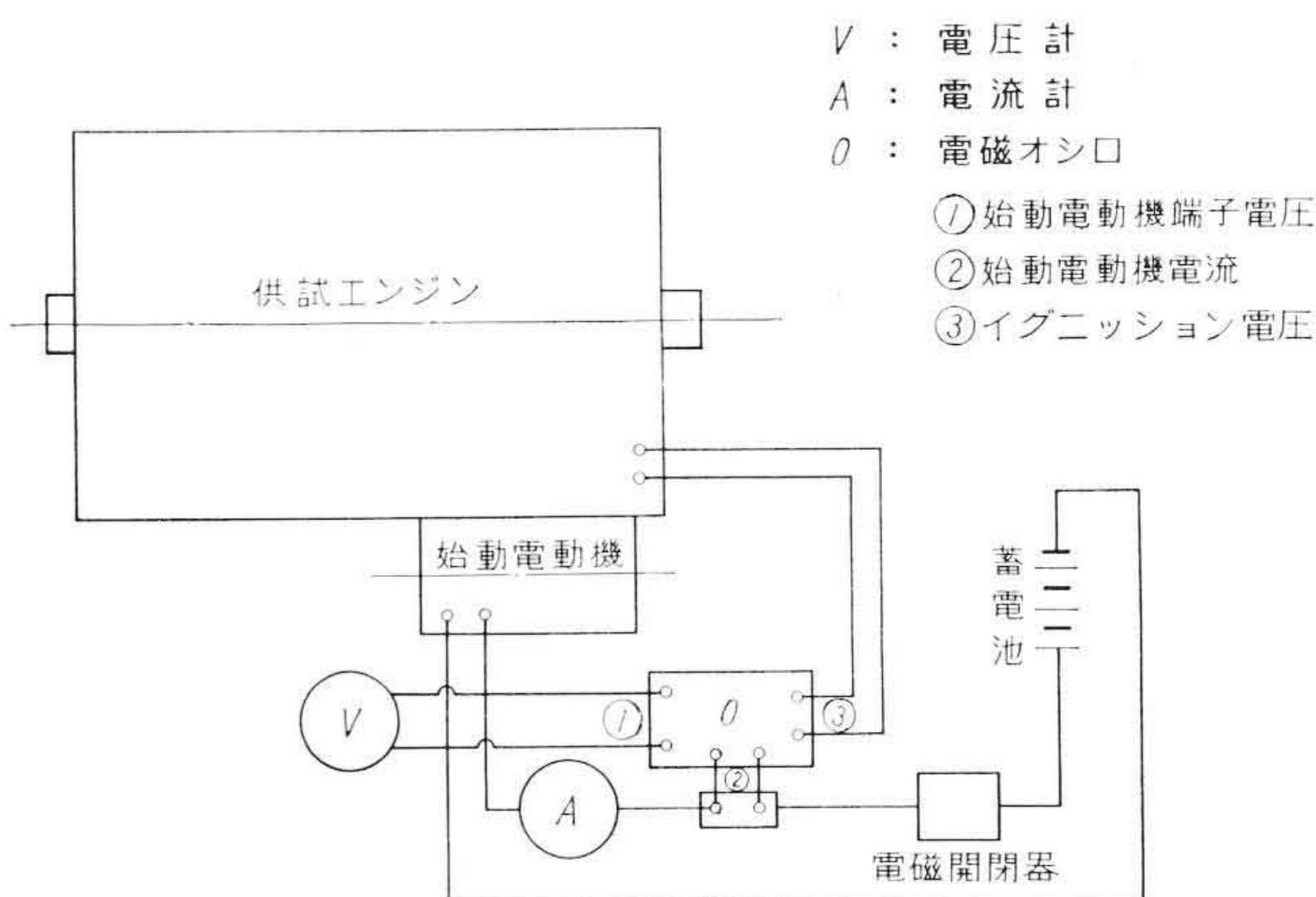
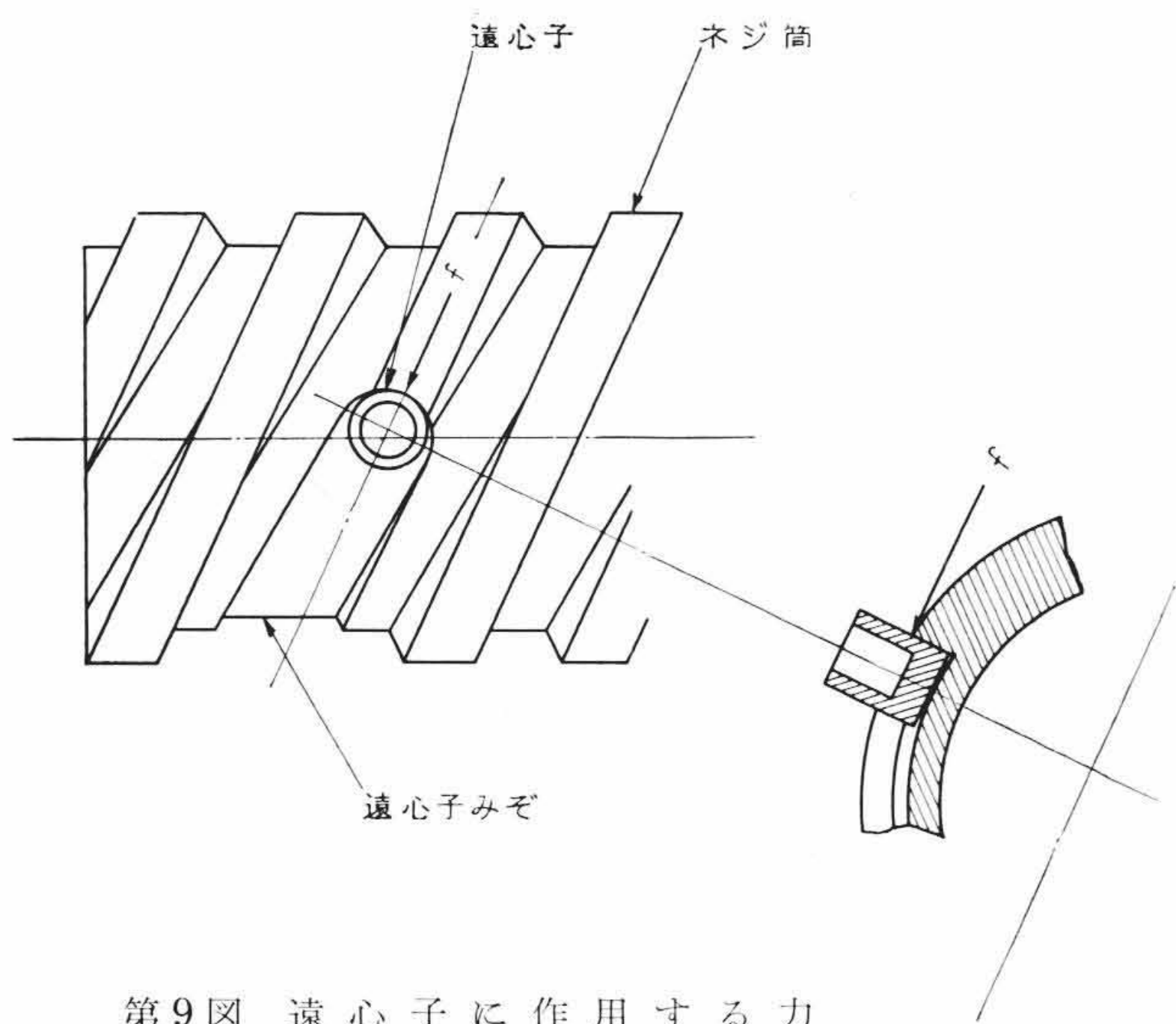
4.1 低温始動試験

かみ合い、離脱機構を中心にして、低温始動試験を現用形、新形について行なった。

第1表に供試エンジンの仕様、第10図に測定器具結線図、第2表に測定条件および結果、第11図に測定結果のオンログラムを示す。

第1表 供試エンジン仕様

形 式	水冷4サイクル直列
シリンダ数	4
内 径	85×83 mm
総 排 気 量	1,883 cc
圧 縮 比	8.5
最 高 出 力	88 PS/4,800 rpm
寸 法	639×548×668 mm
重 量	150 kg
始 動 電 動 機	(1) 12V 1.0kW(ピニオン機構現用形) (2) 12V 1.0kW(ピニオン機構新形)

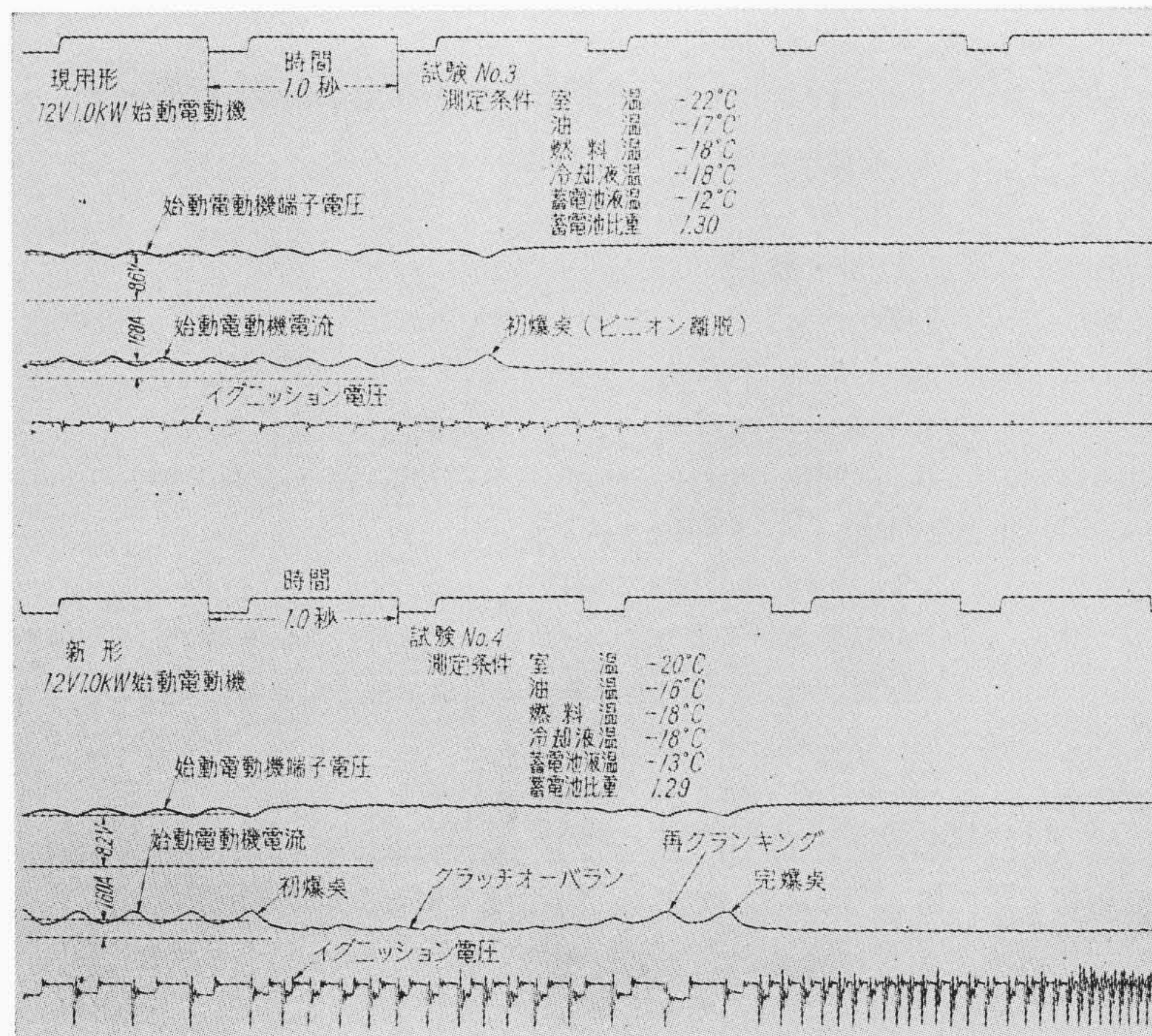


- V : 電圧計
A : 電流計
O : 電磁オシロ
① 始動電動機端子電圧
② 始動電動機電流
③ イグニッション電圧

第2表 測定条件および結果

試験 No.	測定条件						測定結果				備考
	エンジン				蓄電池		始動電動機		エンジン		
	室温 (℃)	潤滑油温 (℃)	燃料温 (℃)	冷却液温 (℃)	液温 (℃)	比重	クランキング 電圧 (V)	クランキング 電流 (A)	回転数 (r/m)	初爆/完爆 (秒)	
1	-5	-5	-5	-6	-5	1.29	10	130	180	1.0/1.0	初爆により完爆に至る
2	-5	-5	-5	-5	-5	1.29	9.8	125	175	1.2/1.2	初爆により完爆に至る
3	-22	-17	-18	-18	-12	1.3	8.6	168	144	3.0/ナシ	初爆によりピニオン離脱してしまい完爆に至らず
4	-20	-16	-18	-18	-13	1.29	8.2	160	99	3.2/5.7	3.2秒で初爆するも完爆に至らず、再クランキングし5.7秒で完爆

注：(1) 試験 No.1, 3は現用形, 2, 4は早期離脱防止形による。
 (2) クランキング電圧, クランキング電流はオシログラムよりその平均値で求めた。
 (3) 回転数はオシログラムの電流の山数より求めた。
 (4) 初爆完爆時間はオシログラムより求めた。



第11図 始動電動機電圧, 電流, オシログラム

す。

以上の結果より見ると, 現用形の慣性摺動式の場合は, ほとんど初爆によってピニオンがリングギヤから離脱を起こしている。一般に常温では, 初爆があるとこれに引き続いて自力回転に移行するので問題はないが, -15°C 以下になると, 初爆のみで自力回転に至らない場合が多くなるので, 現用形では, 気化器のマッチングその他

の条件が最良の条件でないと, 始動困難になる。これに比べて新形では, 初爆によってピニオン離脱することなく, 確実に着火するまでクランキングを繰り返すので始動上問題が生じない。

すなわち, 現用形で問題となる低温時のピニオン早期離脱に対しては本供試品を使用することによって, 完全に解決されることがわかる。

4.2 寿命試験

新形についてその実用性を確認するため, 前記供試エンジンに装着し, 自動操作により, 繰り返し3万回の始動試験を行なった結果, ピニオンそのほかに異常なく, 良好な結果を得ることができた。

5. 結 言

慣性摺動式始動電動機は, 低温時のピニオン早期離脱が問題であり, この防止策として電磁摺動式があるが, これでは原価高がまぬがれがたい。これを解決するために, 低温始動時のピニオン早期離脱の機構を解析し, 低温始動性および実用性などの点から検討を行なった結果, 遠心子装置と一方向クラッチ併用の新機構によって, 比較的低コストで低温始動時のピニオン早期離脱の問題が解決した。また寿命試験によって, その実用性の

あることが確認できた。

最後に, 本研究について, 絶えずご指導をいただいた関係者各位に対し, 深じんなる謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 特許出願中
- (2), (3), (4) 根本・日立評論 41, 266 (昭34-2)

Vol. 46

日 立 評 論

No. 1

昭和38年度における日立技術の成果

——新年特集増大号——

本誌の新年号は, 毎年「日立技術の成果」として, 愛読者諸兄から多大のご好評をいただいております。

昭和39年度の新年特集増大号 (Vol. 46, No. 1) も恒例により“昭和38年度における日立技術の成果”号として発行することになりました。

なにとぞひきつづきご愛読くださいますよう, お願い申し上げます。