

Study of Mechanism on High Response Recorder

笹間純也*	<i>Junya Sasama</i>
梅津 広*	<i>Hiroshi Umetsu</i>
栗本宏三*	<i>Kozô Kurimoto</i>
太橋伸一**	<i>Shinichi Ôhashi</i>

1 緒 言

た(図1)。

記録計のペン走行速度を速くすることと、サーボ機構の安定化を図ることとは両者あい反する条件を有している。したがって、ペン走行速度を速くすることによるサーボ系の不安定性をいかに解決するかが重要課題となる。

しかしながら、最近はややキャピラリータイプのガスクロマトグラフをはじめとしてペン走行速度の速い記録計が望まれるようになってきた。

図2は自動平衡記録計のサーボ機構部の動作原理図である。被測定電圧 E が加わると入力フィルタにより被測定電圧に重畳した誘導電圧およびリップル分が除去され、電位差計回路の電圧 E_0 と比較される。この差電圧が増幅器に加えられ、一定電圧まで増幅されてサーボモータを駆動する。サーボモータは機械的に電位差計回路の摺(しゅう)動子およびペンと連結しており、この差電圧がゼロになる点でサーボモータは停止する。

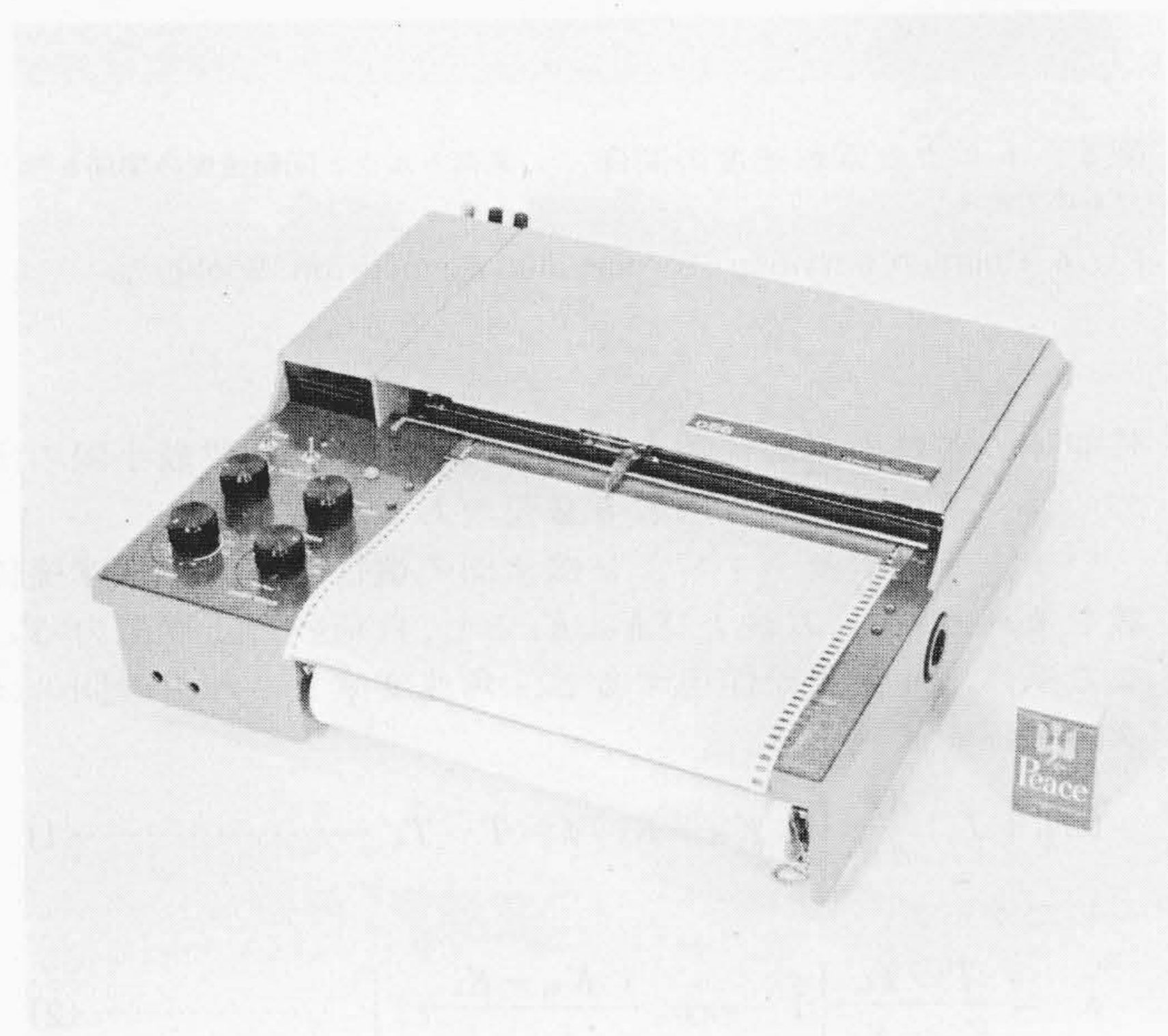


図1 056形日立卓上記録計 056形卓上記録計の外観である。
Fig.1 Model 056 Flat Bed Recorder

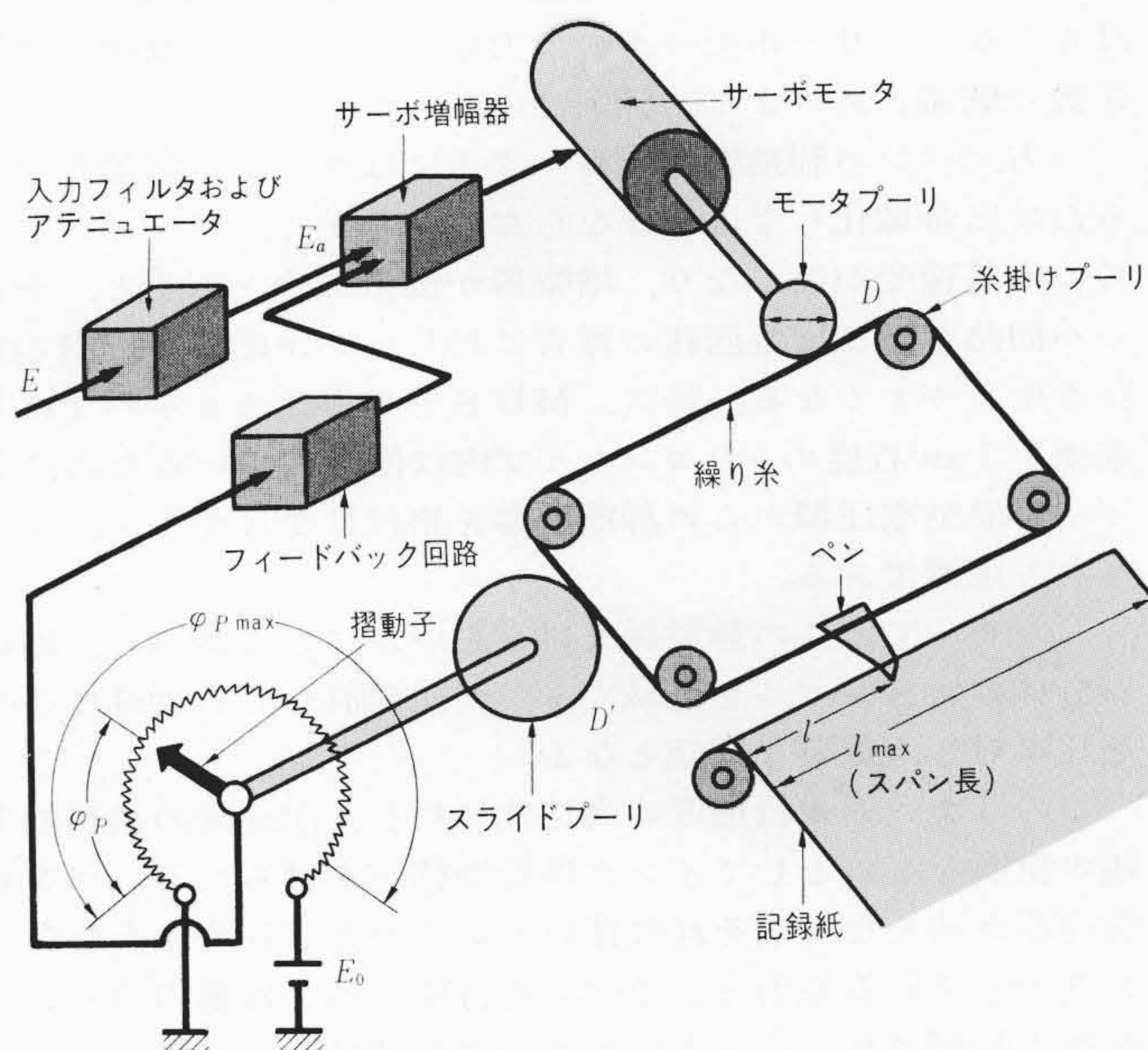


図 2 サーボ機構部動作原理図 自動平衡記録計におけるサーボ機構部の動作原理図である。

Fig.2 Operating Principle of Servo Mechanism

* 日立製作所那珂工場 ** 日立製作所家電研究所

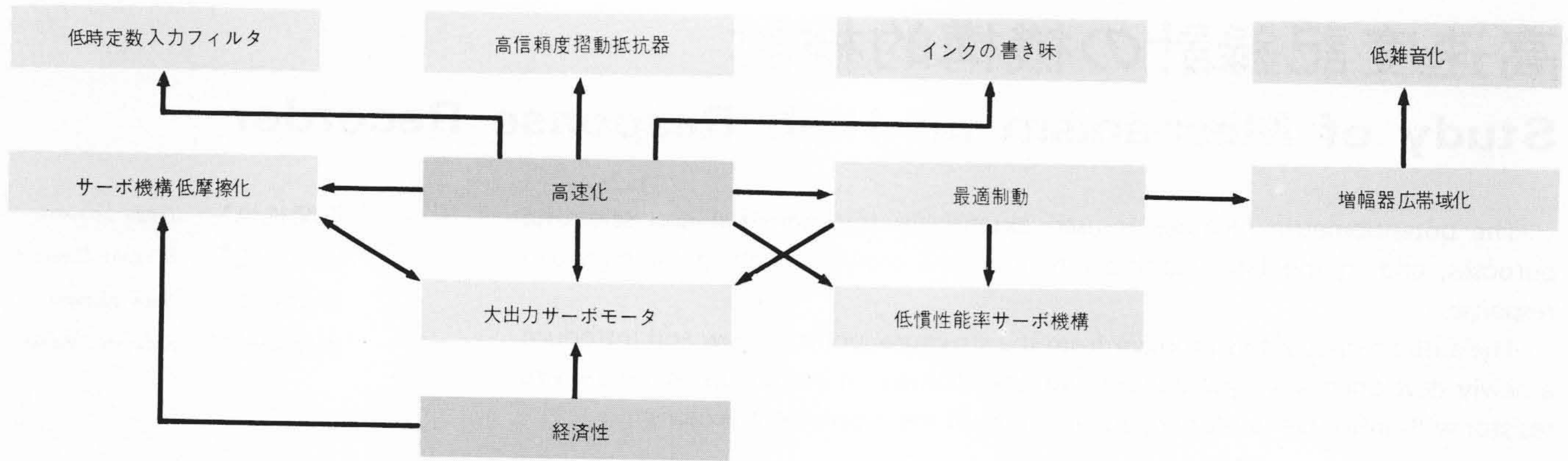


図3 高速サーボ系の問題点 自動平衡記録計のペン走行速度を高速化した場合派生する問題の相互関係を示したものである。

Fig.3 Problem of High Response Servo Mechanism

したがって、摺動子すなわちペンは、被測定電圧に対応した点で停止し、自動平衡記録計として精度のよい測定が可能となる。

自動平衡記録計においてペン走行速度を高速化するにあたって、派生する問題を図示したのが図3である。

ペン走行速度を高速化すれば入力からはいつてくる商用周波数およびその高調波成分に対しペン応答性は良くなるので、従来記録計にもまして入力フィルタをきかせなければならない。しかし、フィルタ効果を大きくすると、その応答遅れ(時定数)は増大し、高速化への要求に逆行する。

また、ペンは入力の急激、大幅な変化に対し最高速度で走行するが、その次に入力が一時的にゼロになったときには最高速度からすばやく停止せねばならない。このとき、ペンの行き過ぎは許されていない。

したがって、高速化に対してはサーボモータの出力を増すと同時に、サーボ機構の慣性能率と摩擦係数を低減しなければならない。サーボモータの出力増大は、サーボ機構の摩擦係数の低減とあいまって経済性にからんでくる。

一方、ペンの制動特性を良くするにはサーボ増幅器をできるだけ広帯域化しなければならない。しかし、サーボ系としての応答速度が速くなり、増幅器が広帯域化されると、チョップ回路および増幅回路の雑音に対しペンが応答し、指示振れを生じやすくなる。特に、MOS形半導体チョップでは各電極が1mm²程度のシリコンチップ内に作られているため、チョップ駆動電圧源からの静電誘導を格段に受けやすく、シールドも困難である。

したがって、この静電誘導雑音をいかにして低減し、増幅器全体の雑音レベルを低減するかが記録計ペン走行速度の高速化に対し、重要な問題となる。

このほかペン走行速度の高速化に対し、記録計の機構的問題の重要なものとしてインク供給機構があげられる。ペン走行速度が速くなるとそれに伴いインクがとぎれやすくなる。インクがとぎれる原因としてペン走行中にペン機構内のインクが微量戻され、ペン先へのインクの供給が平滑でなくなることに基因する。この対策は高速度記録計における最重要課題となる。

3 サーボ機構

3.1 機構部の慣性能率

経済的に高速度記録計の機構部を構成するには機構部の慣

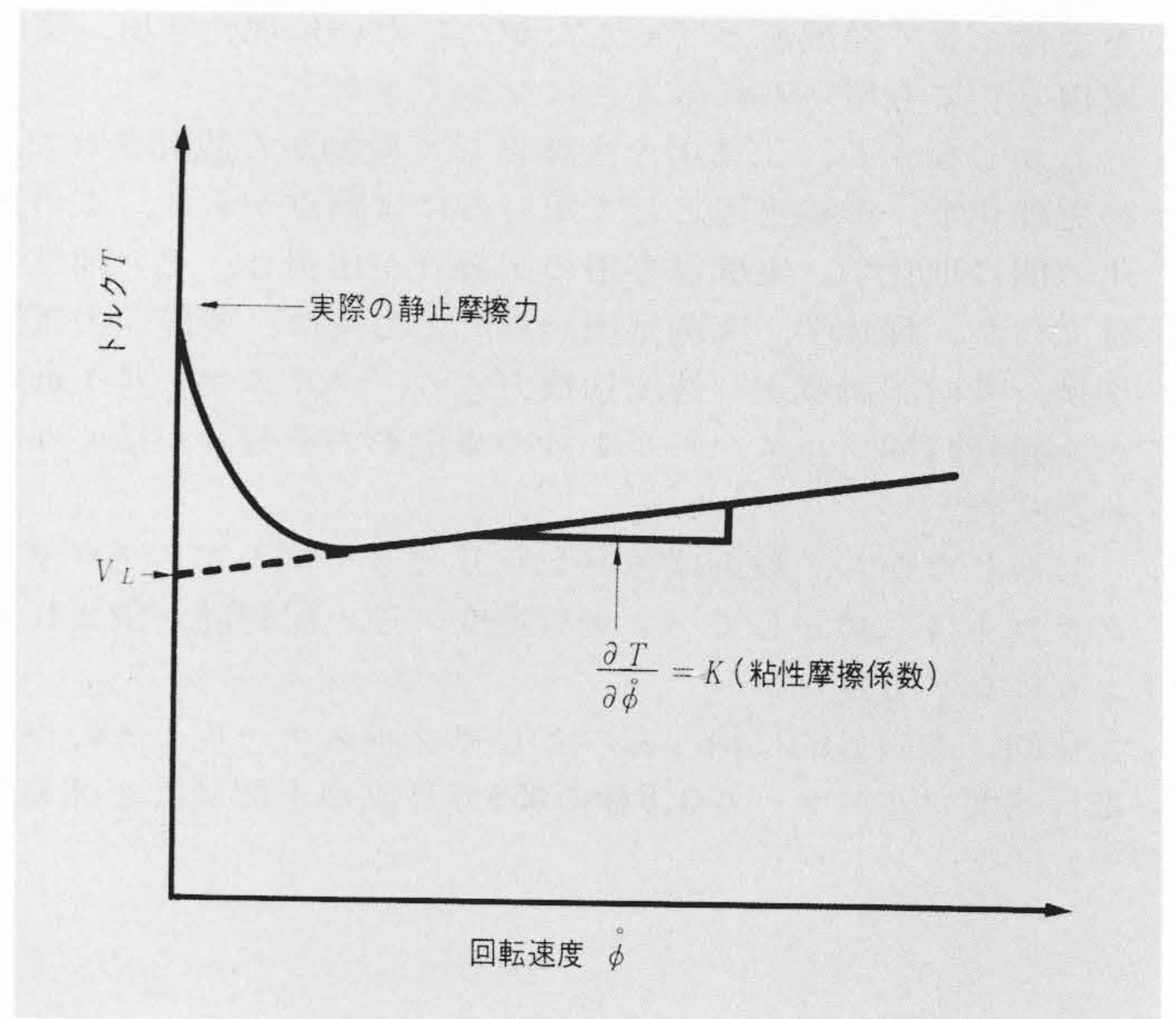


図4 トルクと回転速度の関係 負荷トルクと回転速度の関係を示したものである。

Fig.4 Relation between Torque and Revolution Speed

性能率、各種の摩擦係数を低減したうえで、必要最小限の出力のサーボモータを採用する必要がある。

いま、サーボモータおよび機構部の慣性能率、粘性摩擦係数をそれぞれ J_m, J_L および K_m, K_L とし、負荷の静止摩擦力 T_L なる系にトルク T が作用すると、角速度 $\dot{\phi}$ とこれらの間には次の関係が成立する。

$$(J_m + J_L) \frac{d\dot{\phi}}{dt} + (K_m + K_L) \phi = T - T_L \quad \dots\dots\dots(1)$$

したがって、

$$\dot{\phi} = \frac{T - T_L}{K_m + K_L} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{K_m + K_L}{J_m + J_L} t\right) \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\phi = \frac{T - T_L}{K_m + K_L} \left\{ t - \frac{J_m + J_L}{K_m + K_L} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{K_m + K_L}{J_m + J_L} t\right) \right\} \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\dot{\phi}_c = \frac{T - T_L}{K_m + K_L} = \frac{T}{K_m + K_L} - \frac{T_L}{K_m - K_L} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\tau = \frac{J_m + J_L}{K_m + K_L} \quad \dots\dots\dots(5)$$

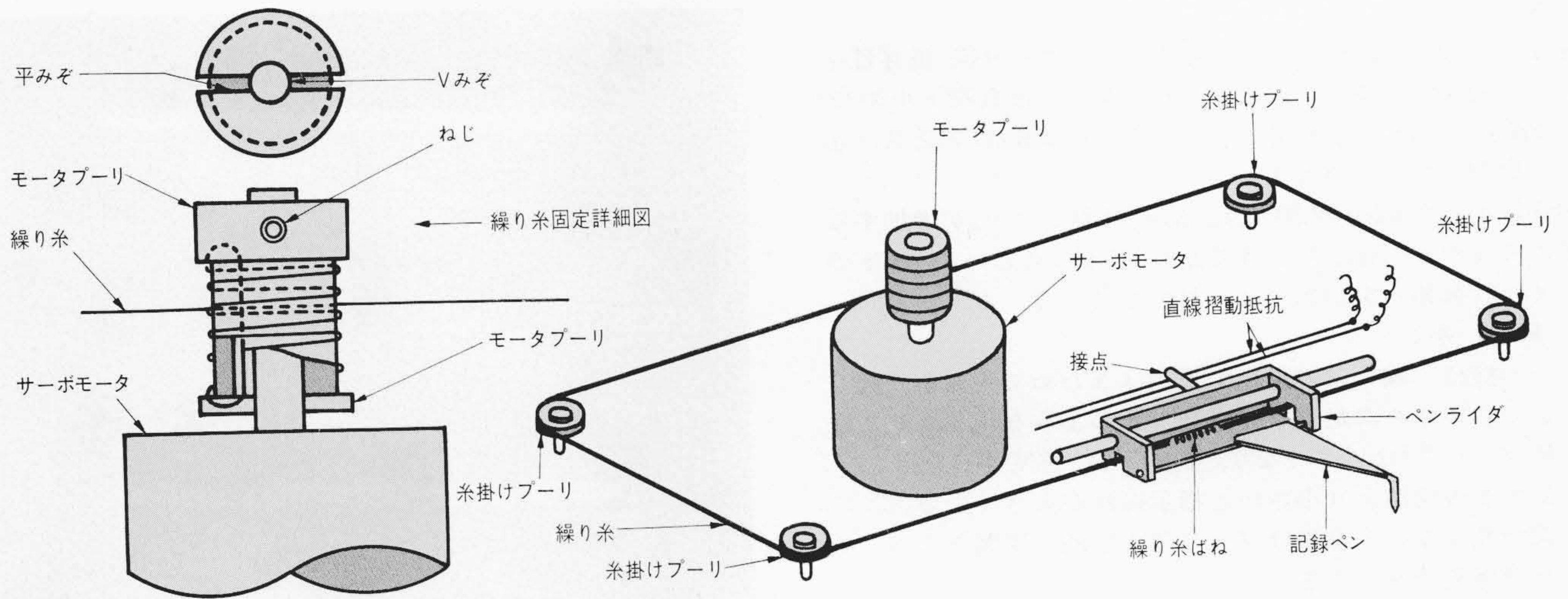


図5 駆動機構部 新しく開発された慣性の少ない駆動機構部である。

Fig.5 Driving Mechanism

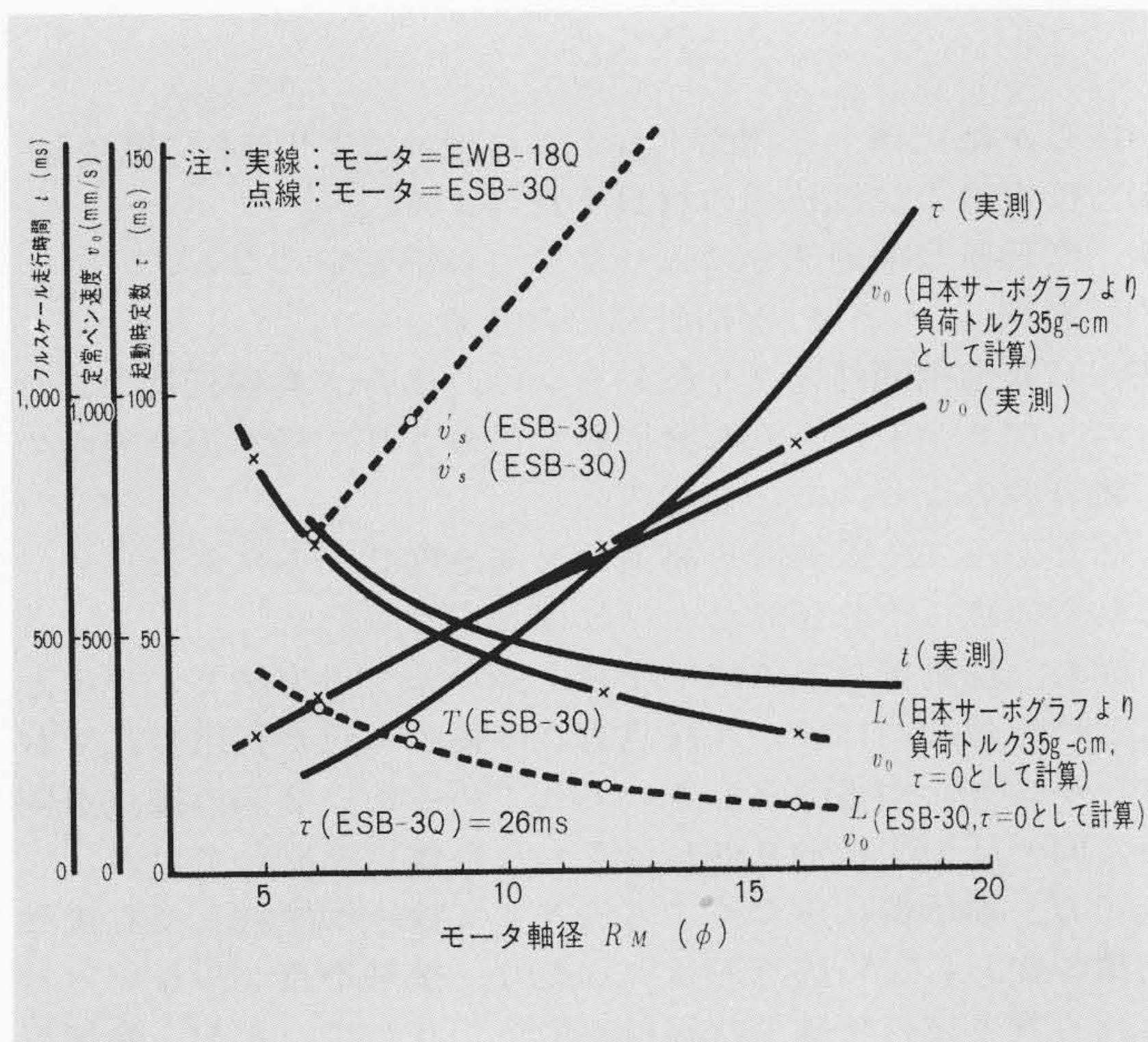


図6 モータ軸径とフルスケール走行時間との関係 モータ軸径とフルスケールペン走行時間との関係を示したものである。

Fig.6 Relation between Motor Shaft Diameter and Response Time

ただし、 ϕ : 回転角
 $\dot{\phi}_c$: 定常角速度
 τ : 時定数

これらの関係を図示したのが図4である。

負荷トルク $T_L = 0$ に対応する回転速度が(4)式の $\frac{T}{K_m + K_L}$ に、またこう配が $\frac{1}{K_m - K_L}$ に対応する。

したがって、フルスケールペン走行時間を短縮するには次の4点を検討する必要がある。

- (1) モータトルク T を増大させる。
- (2) 静止摩擦力 T_L を減らす。
- (3) 粘性摩擦係数 K_L を減らす。
- (4) 時定数を減らす (慣性能率を減らす)。

これらの条件を満足する新しい駆動機構部として図5に示

す慣性能率の低い駆動機構部を開発した。すなわち、後述する単線摺動抵抗器の開発により接点をペンライダに直結し、普通一般に広く使用されている回転形摺動抵抗器駆動のためのプーリを廃止した。また多回転モータプーリの採用によりペンライダ駆動のための駆動プーリを廃止し、前述の条件を満足させることができた。

従来、多回転のモータプーリはプーリに繰り糸を数回巻きつけることにより構成されていたが、プーリと繰り糸の間でスリップすることがあり、モータの回転が確実に繰り糸に伝達されにくい欠点があった。

しかし、056形日立卓上記録計ではこの点を検討し、繰り糸を図5に示す方法により固定し解決を図った。

3.2 減速比とフルスケール走行時間との関係

モータの軸径を増せばペン走行速度は速くなる。一方、モータに作用する負荷トルクは軸径に比例して増し、モータの回転速度を低めると同時にモータ軸換算の慣性能率が増して起動時の時定数が増大する。これらの互いにあい反する効果を考慮してモータ軸径を決定する必要がある。

モータの軸直径を R_M 、記録紙幅を L とすると、

$$L = \frac{\phi R_M}{2} \dots\dots\dots(6)$$

$$T_L = A R_M \text{ (モータ軸換算)} \dots\dots\dots(7)$$

$$J_L = B R_M^2 \text{ (モータ軸換算)} \dots\dots\dots(8)$$

ただし、 A, B : 比例係数
 なるゆえ、(4)、(5)式より

$$v_0 = \frac{R_M (T - A R_M)}{K_m} \dots\dots\dots(9)$$

$$\tau = \frac{J_m + B R_M^2}{K_m} \dots\dots\dots(10)$$

ただし、 v_0 : 定常ペン走行速度

$$K_m \gg K_L$$

とおけば、フルスケールペン走行時間 t は、

$$L = \frac{\phi R_M}{2} = v_0 \left[t - \tau \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{t}{\tau} \right) \right\} \right] \\ \approx v_0 (t - \tau)$$

ただし、 $t \gg \tau$

$$t = \frac{L}{v_0} + \tau$$

となる。

図6は t , τ , v_0 などのモータ軸径(モータプーリ径)依存性を検討した結果である。ここで注意すべきことは負荷トルク((7)式の AR_M)はほとんど無視しうるため、 v_0 は R_M にほとんど直線的に比例している点である。

図6に示した R_M の範囲では、 R_M に比例して v_0 が増加する効果のほうが τ の増加する効果よりはるかに著しいことがわかる。また計算値と実測値もよく対応している。

3.3 繰り糸

サーボ機構で繰り糸の果たす役割はきわめて大きい。繰り糸としての条件を満足しない場合、次のような現象が起こる。

- (1) 伸びると張力が小さくなり、制動不良、感度不良を招く。
- (2) 張力が規定値より小さいと指示振れが大きくなる。
- (3) 柔軟性がないと糸掛けプーリ部で屈曲が困難となり、大きな摩擦負荷を生ずる。
- (4) 強靱(じん)性がないとプーリとの摩擦接触により摩耗が激しくなる。

現在、繰り糸として使用されている材料として、

- (1) しゃみ線糸
- (2) ナイスト線(心線がステンレスより線で、外皮をナイロンコーティングした線)
- (3) グラスファイバ線(心線がグラスファイバで、外皮をテトロン編組した線)
- (4) 細い鎖
- (5) ステンレスより線

などであるが、従来普通一般の記録計に広く用いられてきたしゃみ線糸は柔軟性に欠け、ナイスト線はかた過ぎ、グラスファイバ線はやわらか過ぎていずれも摩擦負荷となる欠点を有している。また、細い鎖は伸びやすく耐衝撃性に欠けるなどの難点を有している。

したがって、056形日立卓上記録計では心線が非常に細く、柔軟性に富んだステンレスより線を採用することにより繰り糸としての必須条件をほぼ満足させることができた。

4 単線摺動抵抗器

摺動抵抗器は自動平衡記録計における心臓部である。従来、自動平衡記録計に用いられてきた摺動抵抗器として、心線に抵抗線を巻いた直線形摺動抵抗器、またこれを円形に成形した円形摺動抵抗器および抵抗線材を貴金属でクラッドした単線摺動抵抗器が使用されてきた。

しかし、これらいずれの方式もペン走行速度が速くなってくると比較的短期間に接触不良を起こしたり、接点の異常摩耗などにより指示振れが発生する。

図7および図8は巻線形摺動抵抗器、メタルクラッドタイプの摺動抵抗器における摺動雑音発生の様子を示したものである。

この雑音は制動調整用の進相コンデンサを介してチョッパ回路に入り指示振れを生ずる。

これらの発生原因として、次のことが考えられる。

- (1) 接点、抵抗線材自身がふんい気により酸化皮膜を形成する。
- (2) 巻線形摺動抵抗器は高速度になるに従い接点が巻線の凹凸(おうとつ)に追従できず、ジャンプして接点が抵抗線から離れる。
- (3) 接点が摩耗すると分解能不足により接点と抵抗線との接触点がふらつく。
- (4) 接点がワイプのあるばね材に取り付けられているので、

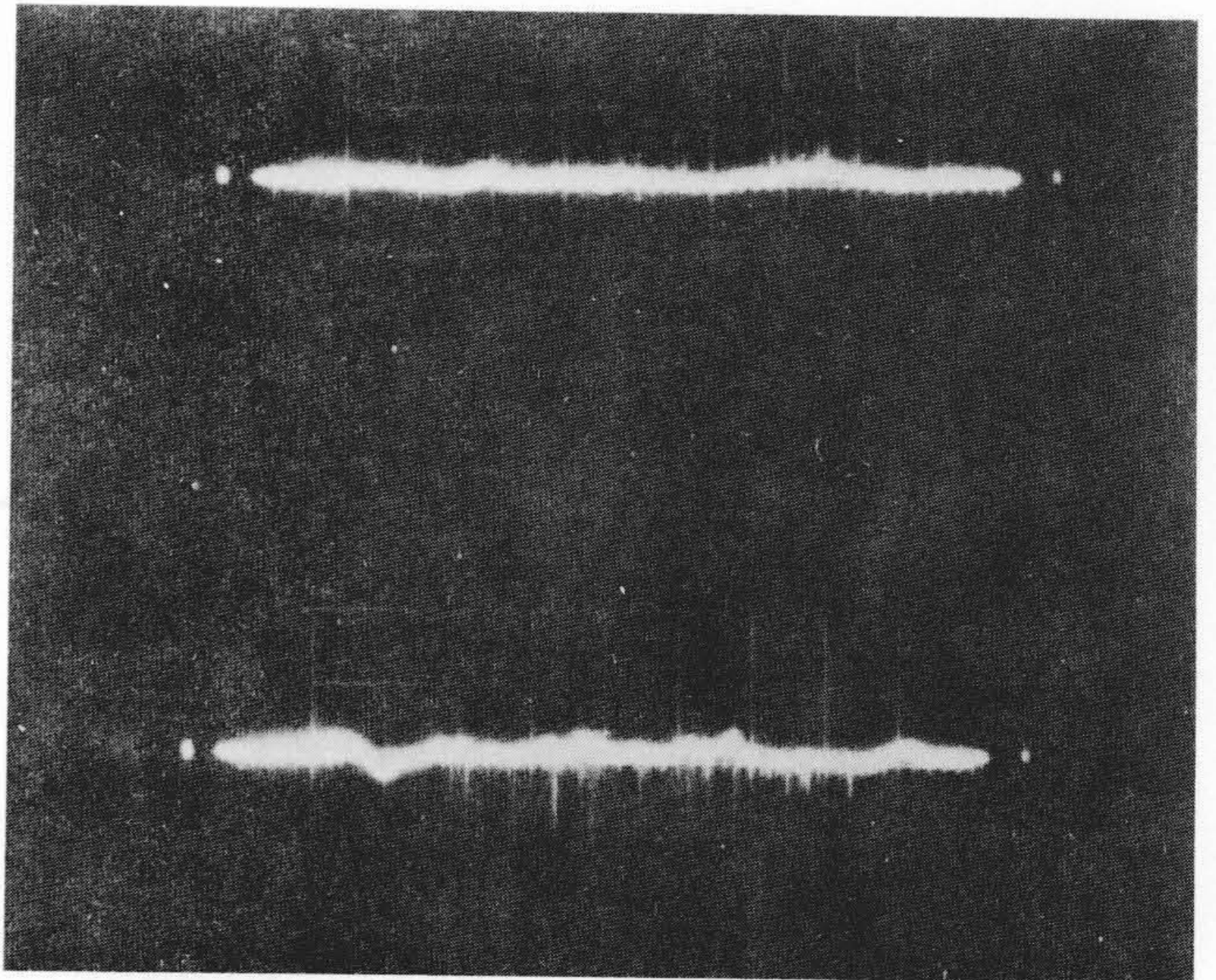


図7 巻線形摺動抵抗器摺動雑音 巻線形摺動抵抗器における摺動雑音の発生例を示したものである。

Fig. Noise of Wound Type Slide Wire Resistor

接点が抵抗線上を摺動するときに振動により左右に振れる。

- (5) 接点および抵抗線の材質不良による。
- (6) 摩耗粉が摺動部分に入り接触点が不安定になる。
- (7) 塵埃(じんあい)が摺動部分に入る。
- (8) CR進相回路により制動をかけた場合、巻線抵抗のグラニューアリティによりCR回路で微分されて指示振れ発生の雑音源となる。

したがって、記録計を高速化、高感度化するにあたって、これらの点に十分留意しなければならない。

従来、摺動抵抗器の接触不良を少なくする方法としてほとんどの記録計ではダブル接点方式の摺動抵抗が採用されており、かつまた相当改良もされてきているが、2個の接点を同時に同一圧力で接触させねばならない難点を有している。

一方、指示振れをなくす方法として接点が摩耗しても接触面積の変わらない接点形状にしたり、接触不良が少ないと言われる貴金属の特殊抵抗線材を用いたりしているが、巻線形摺動抵抗器を使用しているかぎりでは高速度記録計における接触不良、指示振れは避けられない。

これら接触不良、指示振れが避けられないのは巻線形摺動抵抗器の分解能が有限であることに基因し、これら問題解決のためには分解能無限大の摺動抵抗器を採用しなければならない。

分解能無限大の摺動抵抗器としては抵抗線材を貴金属でクラッドした摺動抵抗器を用いればよいが、クラッド可能な貴金属は耐摩耗性が悪く、接点との接触面積が増大して指示振れおよび直線性不良を起こす可能性がある。

したがって、図9に示すような新しい方式の単線摺動抵抗器を開発した。本摺動抵抗器は、

- (1) 従来、接点はワイプのある板ばねに取り付けられていたもので高速化にともないジャンプする傾向があったが、本方式では剛体に取り付け、接点ジャンプの問題を解決した。
- (2) 接触不良を少なくするため従来はダブル接点方式を採用していたので接点圧調整の難点があったが、新方式では1個の接点により、この問題の解決を図った。
- (3) 従来、接点の局部摩耗を避けるため接点の接触点が移動するよう考慮されていたが、新方式では抵抗線に対する接

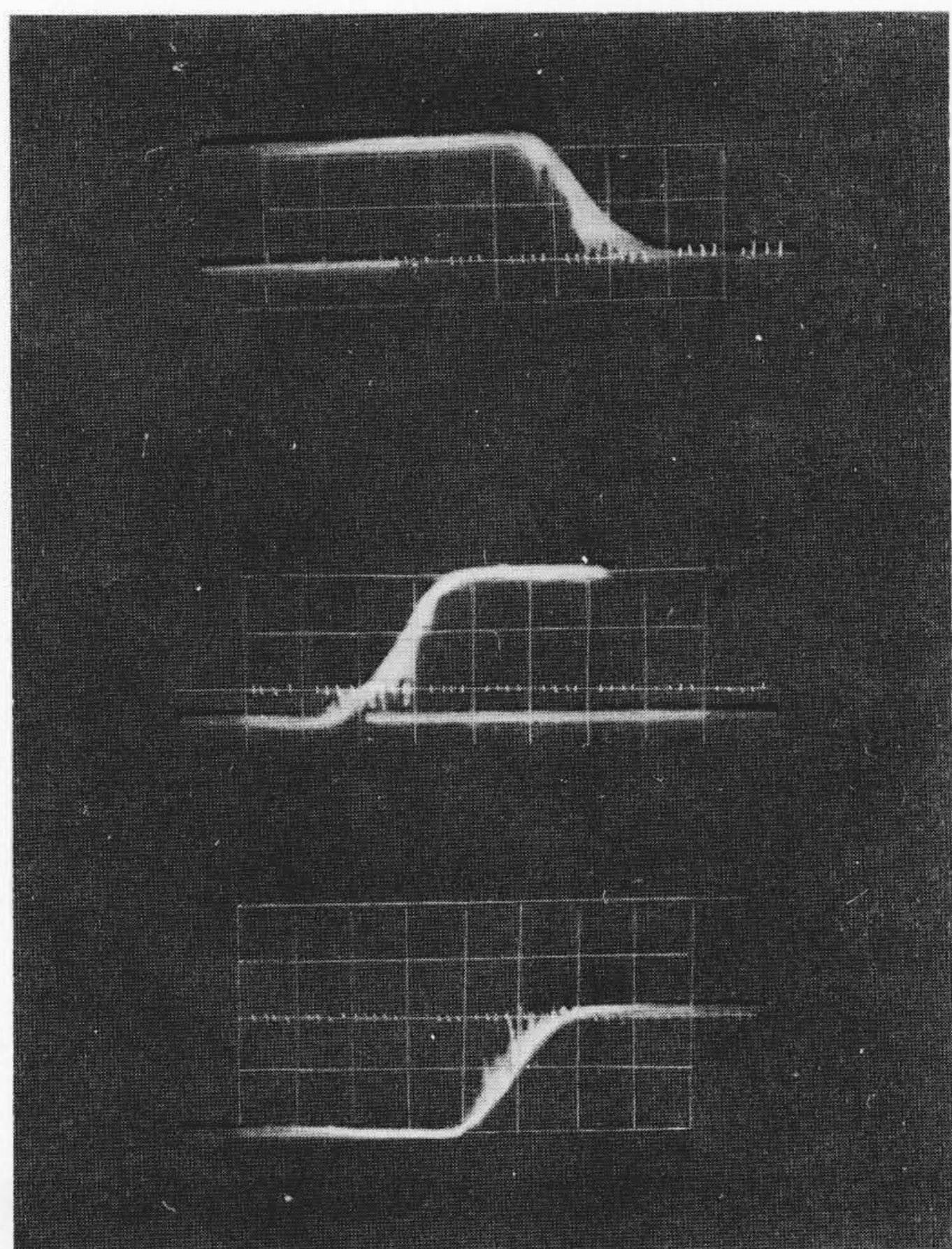


図8 メタルクラッド形摺動抵抗器摺動雑音 メタルクラッド形摺動抵抗器における摺動雑音の発生例を示したものである。

Fig.8 Noise of Metal Clad Type Slide Wire Resistor

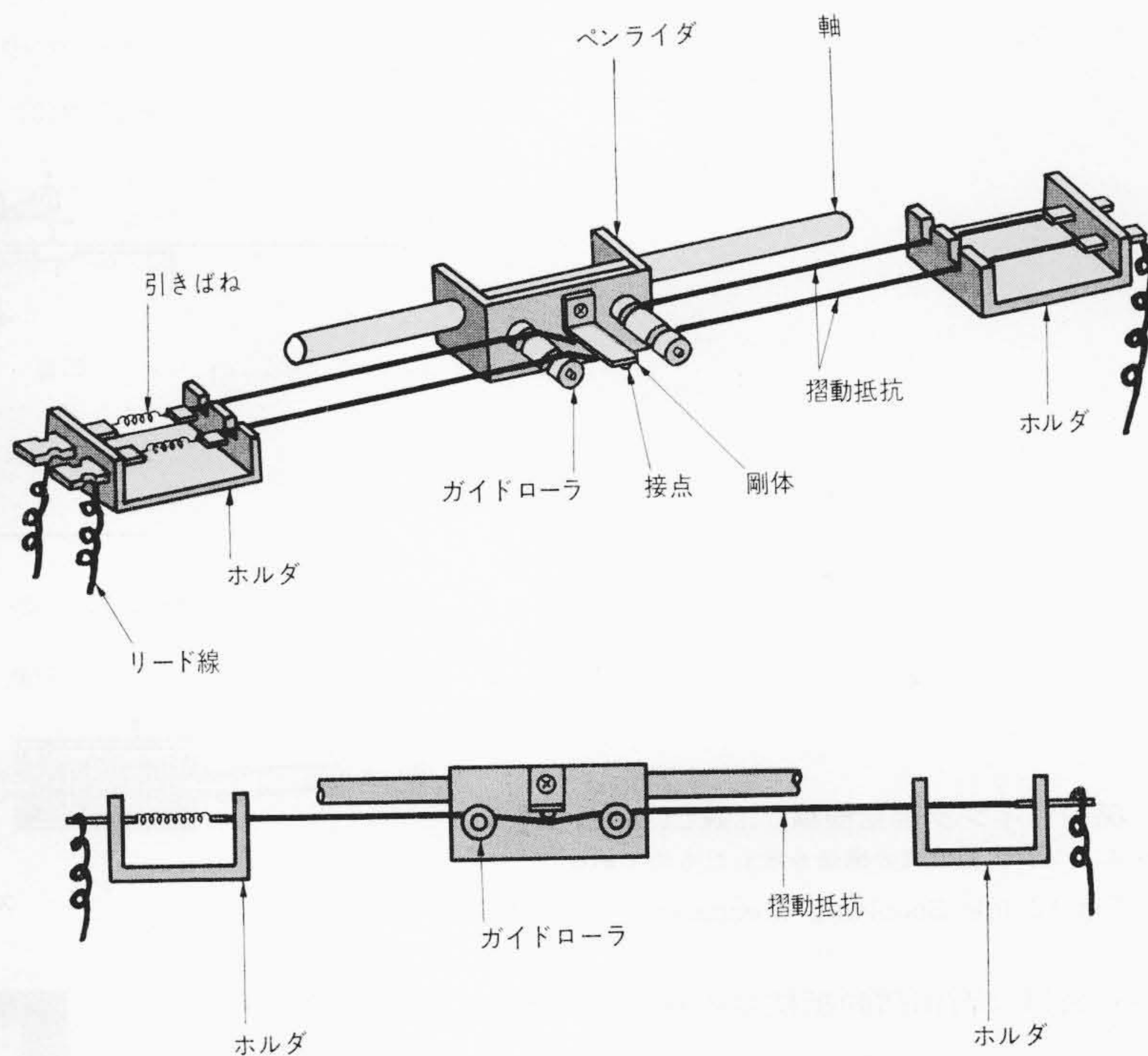


図9 単線摺動抵抗器 新しく開発された単線摺動抵抗器の構造を示したものである。
Fig.9 Single Slide Wire Resistor

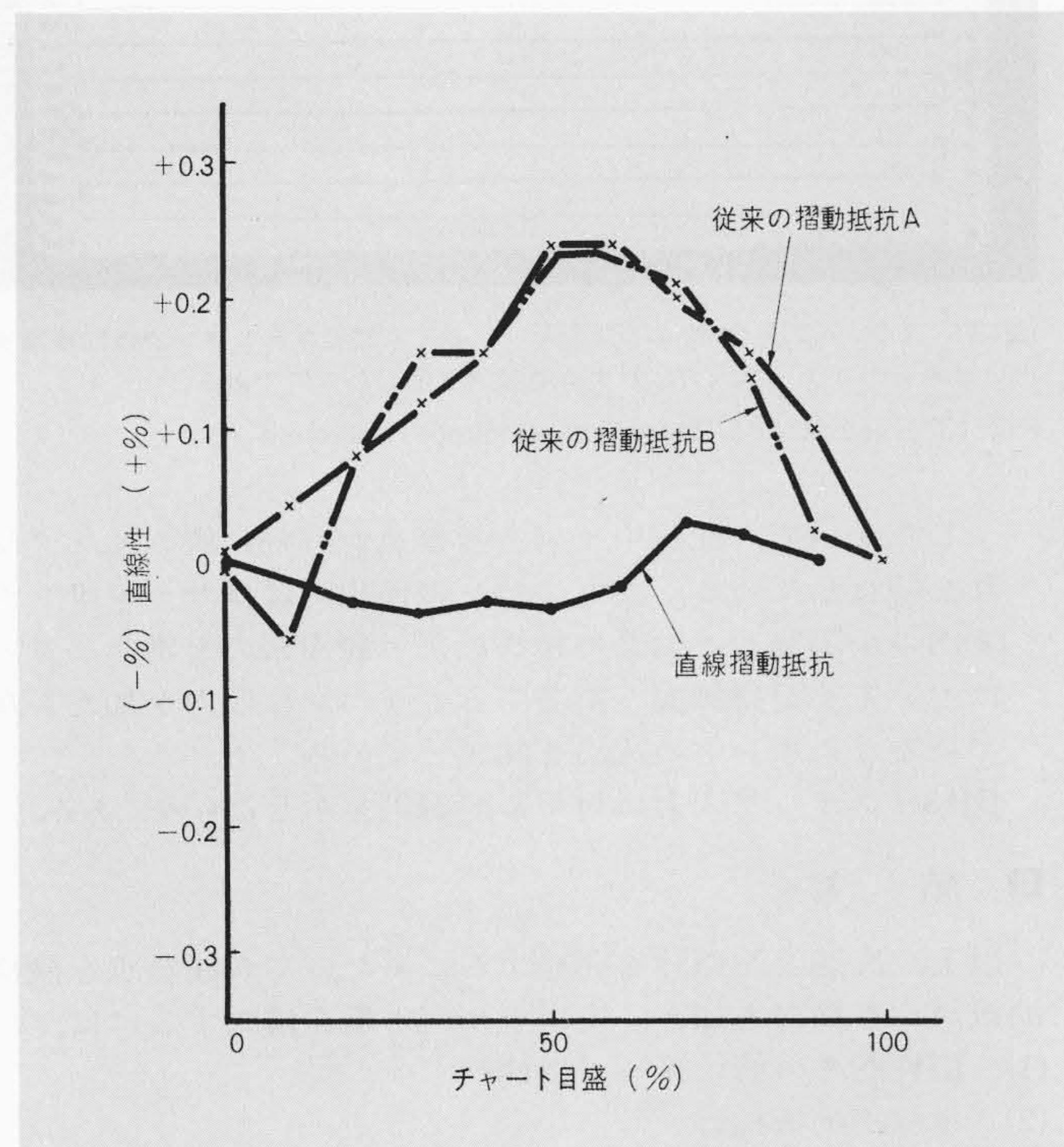


図10 単線摺動抵抗器の直線性 単線摺動抵抗器と巻線形摺動抵抗器の直線性の比較である。

Fig.10 Linearity of Single Slide Wire Resistor

点の接触位置を固定するため抵抗線ガイドローラを設け固定化を図った。

- (4) 新方式の接点圧を従来の $\frac{1}{2}$ に低減した。その結果、接点および抵抗線材の摩耗は $\frac{1}{2}$ に軽減できた。また、接点の摺

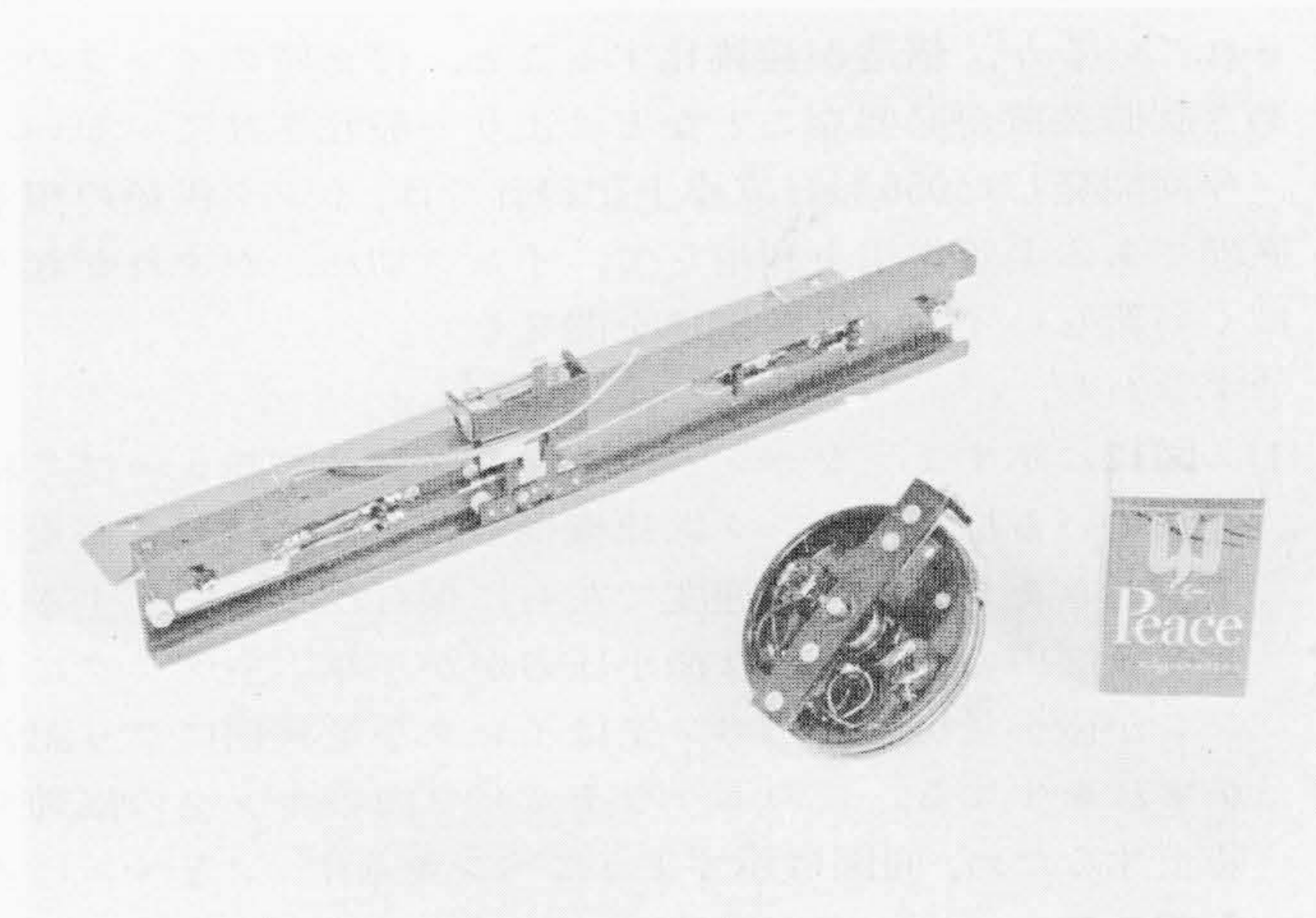


図11 新旧摺動抵抗器 単線摺動抵抗器と巻線形摺動抵抗器の外観を比較したものである。

Fig.11 New and Old Type Slide Wire Resistor

動摩擦も大幅に低減でき、サーボ系負荷が小さくなり、サーボ系設計上有利となった。

- (5) 巻線形摺動抵抗器の分解能は普通0.05%であるが、新方式摺動抵抗器では分解能無限大のため、分解能不足による指示振れは改良された。
- (6) 摺動抵抗器単体の直線性は巻線形では約0.3%以下であるが、新方式においては、図10に示すように0.07%以下に改良された。
- (7) 摺動抵抗器の掃除が大幅に少なくなった。
- (8) サーボ系における摺動子の慣性能率が大幅に低減された。などの利点をあげることができる。

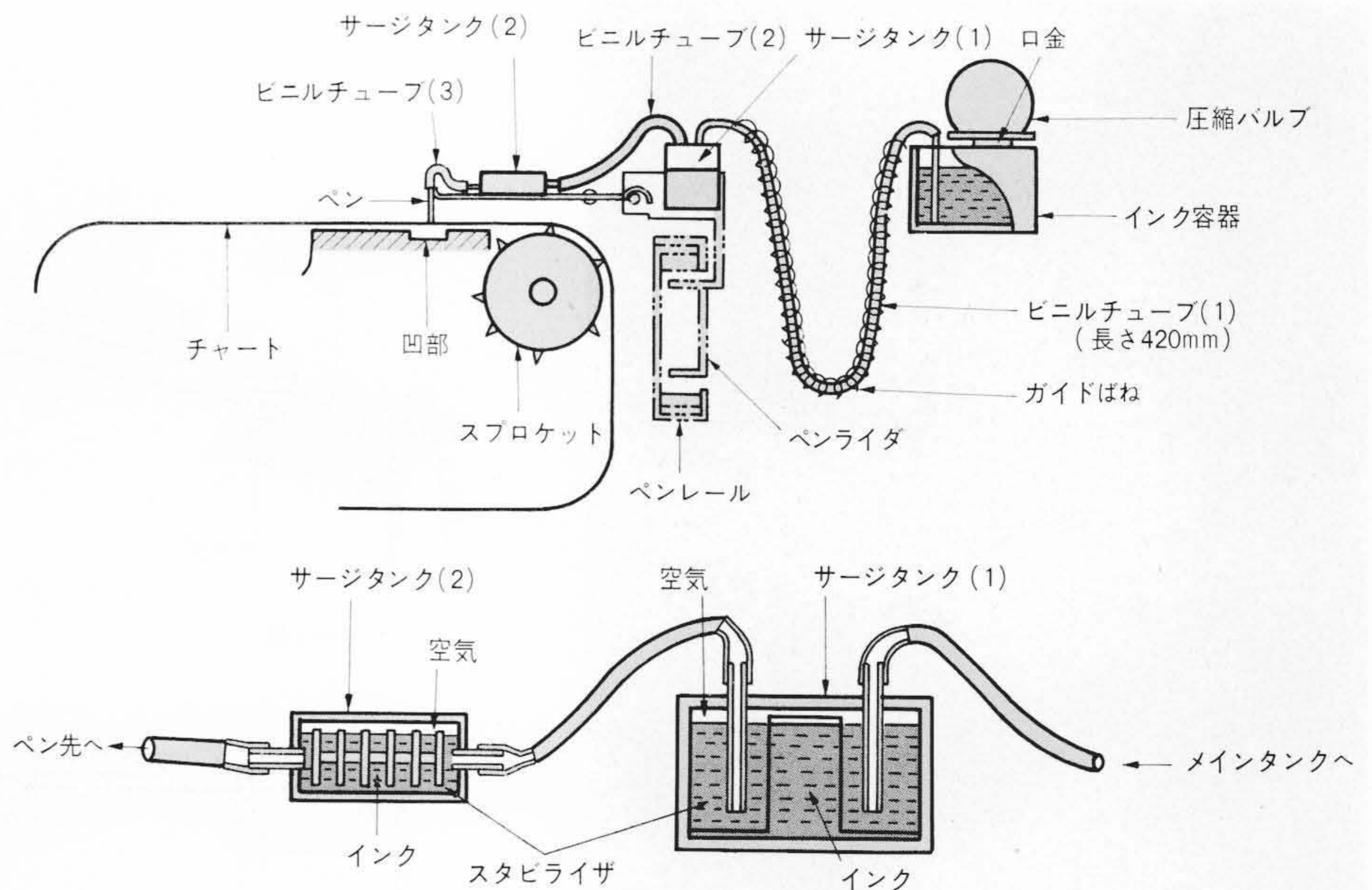


図12 インク供給機構 新しく開発されたインク供給機構の構造を示したものである。
Fig. 12 Ink Supplying Mechanism

図11は新旧摺動抵抗器の外観を比較したものである。

5 インク供給機構

自動平衡記録計のインク供給機構は、一般に記録速度が速くなるほどその機構は複雑化してくる。たとえば、ペン走行時間0.5秒以下の高速度記録計で記録かすれ、インク切れを起こさない方法としてインク加圧方式なども考えられ、実用化されているが、構造が複雑化すること、停止時のインクの出過ぎ制御装置が必要なことなどにより一般化されていない。

今回開発した056形日立卓上記録計では、インク供給の根本原理である毛管作用を利用して、インク切れ、かすれが起きにくい新しいインク供給機構を開発した。

すなわち、

- (1) 図12に示すようなペンと主インクタンクがチューブで結ばれている構造のインク供給機構においては、ペンが走行するときチューブは高速度で左右に振られる。そうするとチューブ内のインクには微小圧力がかかり、主タンクにインクが微量戻され、ペン先はインク不足状態になり記録かすれを生ずる。このようなチューブ内のインクの揺動を防止するため、同図に示すようにペンキャリッジとペンに各1個のサージタンクを設けている。このサージタンクに、主タンクよりインクを注入すると自動的に少量の空気残り、この空気がインクの微量変化に対し有効に働いて、ペン先からのインク戻りを防止している。
- (2) 2個のサージタンク内は数個の小隔壁に分かれそれぞれは小穴で連結され、このフィルタ効果によりインクの揺動を少なくしている。
- (3) ペン先が接触する記録紙の下部に幅10mm、深さ1mmの凹部を設けている。これはサーボモータから繰り糸を介して伝わってくる微小振動が伝達されても、ペン先の接触している記録紙が凹部で弾性材となり、振動を吸収してペン先が記録紙面から離れることなく、きれいな記録ができる。また、凹部は振動音を吸収して記録時の発生音を少なくしている。
- (4) 主タンクと2個のサージタンクの取付高さはすべてペン先より上方にしてプラスヘッドにしている。プラスヘッドにすることによりインクは自重で加圧された状態となり、自動的にペン先から流出しようとする。

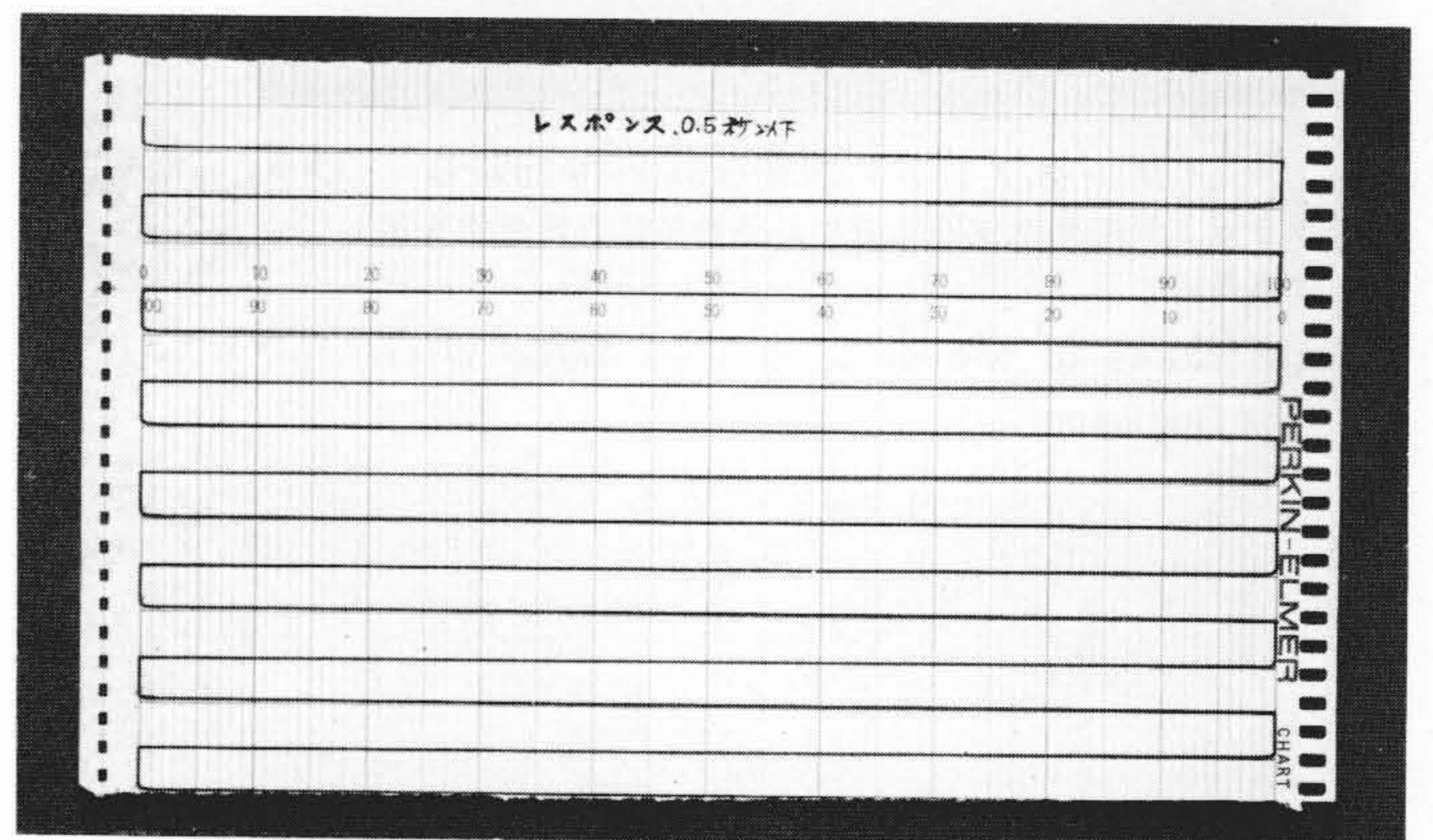


図13 ステップ入力時の記録例 新しく開発されたインク供給機構を用いた場合のステップ入力に対する記録例を示したものである。
Fig. 13 Example of Recording at Step Response

したがって、記録中インクの自重が有効に働きインク切れを防止している。また、ペンの停止時にはサージタンク(2)内の小隔壁がインクの粘性抵抗と表面張力を増し、さらにペン先が記録紙面と密着するようペンに圧力が加えられているためインクの流出を防止している。

図13はステップ入力に対する記録例を示したものである。

6 結 言

以上、高速度記録計を開発するにあたっての問題点を機構的観点から検討を加え、安定なサーボ系を構成するには、

- (1) 慣性能率の低いサーボ機構
- (2) 単線摺動抵抗器

が必要であることを明らかにし、記録計として不可欠な記録かすれの少ないインク供給機構について記述した。

本方式を採用することによりフルスケール250mmを0.25秒以下の速度で走行可能な高信頼度高速度記録計の実現が可能なことを確認した。

高速度記録計は単に機構的問題の解決のみで実現できるものではなく、さらに電気、制御的問題をあわせ解決することが必要である。

電気、制御的問題については稿を改めて記述する予定である。