試作した触針電気式表面あらさ測定器について

田 中 昭 一* 江 川 満* 矢 島 宣 明*

A Newly Designed Stylus-type Electrical Roughness Measuring Instrument

Shoichi TANAKA, Mitsuru EGAWA, Nobuaki YAJIMA

A new stylus-type electrical roughness measuring instrument has been developed by the authors. The instrument was designed in conformity with the definition of center line average height prescribed in ASA, B.S and JIS (Japanese Industrial Standard). Before its development electrical and mechanical problems of the instrument were discussed, that is, dynamic characteristics of a mechanical system of a stylus, frequency characteristics of electrical circuits, cutoff method of waviness and stylus driving systems. As a ceramic transducer is used for the roughness pick-up and all the recording circuits are transistorized, the instruments is designed very compact.

Main specification of the instrument are as follows :

1. Pick-up
 - Stylus..... diamond, 5μ (or 12.5μ) tip radius.
 - Stylus pressure..... 1 gram (approx.)
2. Amplifier
 - Range..... 0.075, 0.25, 0.75, 2.5 and 7.5μ .
 - Roughness width cutoffs 0.075, 0.25, 0.75 mm
 - Outputs..... profile, average.
3. Motor Driver
 - Traverse speeds
 - (for continuously-averaging) 3 mm/s
 - (for recording) 0.3 mm/s
 - Reversing time..... 0.01 second (approx.)
 - Length of stroke adjustable from 75 mm to less than 1.5 mm.

1. ま え が き

触針電気式表面あらさ測定器において、中心線平均あらさを算出するには2つの方式がある。一方を連続指示型あるいはメータ積分型といい、他方を積分値指示型あるいは積分型といっている。

連続指示型は、あらさ曲線の形をそのまま連続した交流波形と見て、全波整流によって表面あらさに応じた波形を形成する。電流計が2次振動系で、積分特性があることを利用して、電流計で積分するとともにこれを直読する型式である。一方積分値指示型は、あらかじめ表面あらさに関連して触針の移動範囲と演算回路の時定数を設定しておき、触針を一定速度で移動し、全波整流した波形を触針の移動範囲に相当する時間だけ演算回路で積分し、その値を電流計で直読する型式である。

筆者らはこの2方式について検討した結果、簡易型で

現場向きである点から連続指示型の触針電気式表面あらさ測定器を試作した。以下この測定器について述べる。

2. 試作した触針電気式表面あらさ測定器

2.1 構 成

試作した連続指示型の電気式表面あらさ測定器は、日本規格 (JIS 改正案 B 0601—1959)、アメリカ規格 (ASA B46.1—1955) およびイギリス規格 (B.S. 1134—1950) によって規定された、中心線平均あらさ H_a (ASA では arithmetical average AA, B. S. では center line average CLA) の定義に従っている。

写真1 および図1に見るように本試作の測定器は次の5つの構成要素から成り立っている。

(1) 被測定面のこぼこを触針で検出し、その微動量を圧電型変換器で電気信号に変換するピックアップ。

(2) 増幅指示部：ピックアップからの低域周波数出力信号を補償する回路、補償回路からの出力信号を増幅する回路、設定されたカットオフ回路からのあらさ曲線に

* 正会員 (株) 東京精密

図1 構成図

写真1 本試作器の外観

応じた出力信号を記録するための出力端子と波形を形成する全波整流回路。全波整流回路からの出力信号を自らの動特性で積分し指示する電流計、さらに中心線平均あらさを記録するための出力端子、これらから成り立っている。

(3) 駆動部：ピックアップを、設定された移動範囲で電磁クラッチによって往復運動させる方式である。

(4) 手動用付属品と較正用試験片：ピックアップを手動操作するためのピックアップホルダー、細線状被測定面の測定に用いる細線用ホルダーおよび較正用試験片から成り立っている。

(5) 記録針：あらさ曲線を記録する。

2.2 ピックアップ

触針電気式表面あらさ測定器に用いられているピックアップ用変換器には主として次のものが用いられてい

る。

(1) 可動コイル型

可動コイル型は起電力変換であるから起電力が触針の零点の位置に無関係に一定にとれること、別の電源を必要としない利点があるが、微分特性を有する変換器なので触針の変位に比例した信号を得るため積分特性を持つ補償回路を必要とすること、可動コイルや永久磁石を用いるためピックアップが大きくなる欠点がある。

(2) インダクタンス型

この型式には振幅変調式と周波数変調式がある。振幅変調式変換器としてはE型差動変圧器が用いられている。この型

式のものでは電気回路定数の変換であるため触針の変位に比例した出力信号が得られる利点があるが、別の電源（発振回路）と出力信号が触針の零点位置に関係するので調整を必要とする欠点がある。

(3) 圧電型

圧電素子は圧電現象を示す物質でできた素子のことで、これにひずみを与えるとそれに比例した電荷がその表面に生ずる。この圧電素子のうちで現在セラミック（多結晶）のチタン酸ジルコン酸鉛（ $\text{PbTiO}_3\text{—PbZrO}_3$ ）は、感度が高い、耐湿性が良い、経年変化特性が安定であることなどの点で最もすぐれている。この型式のものは電気抵抗が高いため誘導等の外乱を受けやすい欠点があるが、15～16 c/s 以下に相当する触針の運動に応じた信号を補償するのみで触針の変位に比例した信号が得られること、起電力変換であるから起電力が触針の零点の

位置に無関係で一定にとれること、インダクタンス型のように別の電源を必要としないこと、素子が小さいのでピックアップの小型化が容易であること、動特性の良いピックアップが製作できることなどの利点がある。

これらの長所および短所を考慮して本試作のピックアップの変換器には、セラミックバイモルフ (Ceramic bimorph) を用いた。

2.2.1 セラミック素子の性質

図2に示すようにバイモルフは、電極の両面にセラミ

図2 セラミックバイモルフの模型図

ックをはりつけ更にその外面に電極をはったものである。

この素子を図3のように、片持ちにして自由端に上から力 F を加えると、たわみ δ が生じ、 F と δ は比例する。その比例定数であるコンプライアンス (Compliance) C_m は、セラミック素子の長さを l 、厚さを t 、幅を w とすれば、

$$C_m = \frac{\delta}{F} \propto \frac{l^3}{wt^3} \quad (1)$$

で示されセラミック素子に加えた F と生じた起電力 V の比である。変換比 N は次式で与えられる。

$$N = \frac{V}{F} \propto \frac{l}{wt} \quad (2)$$

次にたわみ δ に対する起電力 V は

$$\frac{V}{\delta} \propto \frac{t^2}{l^2} \quad (3)$$

したがって感度をよくするためにはセラミック素子の厚さを大きくし、長さを短くすればよいわけである。しかし測定力を小さくするためにはこの逆の条件が必要になる。

本試作のピックアップに用いたセラミック素子はこれらの諸条件を考慮して、 $l=15\text{ mm}$ 、 $t=0.65\text{ mm}$ 、 $w=1.5\text{ mm}$ にした。この感度は $\delta=1\text{ }\mu\text{m}$ 当り $V=50\text{ mV}$ 程度で、測定力は図5のとおりである。

このセラミックバイモルフによる容量 C は

$$C \propto \frac{lw}{2t} \quad (4)$$

である。すなわち長さと同幅に比例し、厚さに

図3 セラミックに力 F を加えるとたわみ δ が生じ電荷 Q が発生する

反比例する。本試作では、 $C=300\text{ pF}$ のものを用いた。

以上のようにセラミック素子はひずみ感度、容量の性質を持っているが、セラミックバイモルフの両極板間に抵抗または容量が接続されていれば、生ずる起電力は当然式(3)と異なってくる。

たとえば、図4a (図4bはその等価回路) のように抵抗 R が両極板間に付加された場合、力 F によってそれに比例した電荷 Q がセラミックの表面に生ずると、

$$E_o = \frac{Q}{C} \quad (5)$$

なる電圧が生ずる。このため R には電流 I が流れ、それだけ電荷が減少し電圧が下がる。それは図4bでスイッチ S を瞬間的に開き、コンデンサを放電したことに相当し、その電圧変化は時間を t とすれば

$$E = E_o e^{-\frac{t}{RC}} \quad (6)$$

となり、図4c のようになる。

実際にはセラミック素子を増幅指示部に接続するので迷容量 C_s を考慮すると、式(5)は

$$E_o = \frac{Q}{C + C_s} \quad (7)$$

になり、その電圧変化は

$$E = E_o e^{-\frac{t}{R(C+C_s)}} \quad (8)$$

になる。式(7)、(8)から C_s が付加されることにより、感度を G_{C+C_s} とすれば

$$\frac{G_C}{G_{C+C_s}} = \frac{C + C_s}{C} \quad (9)$$

セラミックの両電極に抵抗 R を附加した回路

(a) の等価回路

(a), (b) の電圧の変化

図4

となり、 C_s が大きいほど感度 G_{C+C_s} は低下する、時定数 $T_c = RC$ または $T_{C+C_s} = R(C+C_s)$ は

$$\frac{T_c}{T_{C+C_s}} = \frac{C}{C+C_s} \quad (10)$$

で C_s が大きいほど T_{C+C_s} が増大するから、周波数特性における低域の平坦部が補正される。

ところが R は、感度には全く無関係に T_c または T_{C+C_s} をかえることができる。すなわち $R \rightarrow \infty$ にすれば理論上 T_c または $T_{C+C_s} \rightarrow \infty$ となり直流成分から平坦な特性がえられる。しかし実際上あまり R を大きくすることはハム (hum) を受けやすいので、本試作では R を $20 \text{ M}\Omega$ にした。

2.2.2 ピックアップの構造

本試作のピックアップの構造は、前述したようにセラミックが高抵抗であるためハムを受けやすいのでそれを防ぐため十分にシールドした。また機械的な零点調整の必要がなく、零点からのずれによる誤差もなくなるような構造にした。さらに慣性が少なく動特性をよくするために可動部分を小型にした。

2.2.3 ピックアップの静特性

図5は触針の位置 y と触針の測定力 f との関係求めたもので、 y が小さくなるほどすなわち触針の先端がスキッド (skid) に近づくほど、 f が増大する。本試作では y を 0.75 mm にしているので、スキッドと同一平面に針先があるとき f は 1 g である。

図5 触針の位置と測定力との関係

2.2.4 ピックアップの動特性

前述したようにピックアップの可動部分を小型にしたので、固有振動数が高く実験によると約 1300 c/s である。これは外部の振動の影響を受けない装置に、触針を自由長 (図5の y が 0.75 mm) にした状態のピックアップをつるし、これを叩いて求めた。写真2はその実験

写真2 固有振動数の測定における応答

結果で、横軸の2目盛が 10 ms に相当する。

次にこの固有振動数の値によってピックアップの動特性を解析する。

触針の運動は2次振動系である。すなわち触針を含むピックアップの可動部の慣性質量を M 、粘性摩擦係数を r 、ばねの定数を s 、重力の定数を g 、触針の上下位置を y とすれば、触針に働く力 F は次式で与えられる。

$$F = M \frac{d^2 y}{dt^2} + r \frac{dy}{dt} + sy + Mg \quad (11)$$

ここで第一項は慣性力、第二項は摩擦力、第三項はばねによる復原力、第四項は重力である。静的には第三項および第四項が測定力となるのであるが、動的には第一項および第二項が測定力として測定面に加わる。この動的測定力が負にならない限り、触針は被測定面上にあってその被測定面の反力と釣り合っている。したがって触針の移動によって被測定面に追従しているとすれば

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} + r \frac{dy}{dt} + sy + Mg \geq 0 \quad (12)$$

が成り立つ。しかもこの式が成り立つ範囲では触針の位置 y は被測定面と一致するから、あらさ曲線の平均の方向に x 軸をとり、それに直角に y 軸をとってあらさ曲線を $y=f(x)$ で表わすことにすると式 (12) は触針が忠実に応答する条件式である。

ところが式 (12) では y の原点をばねの復原力が零になる位置としているが、静的測定力が零になる位置を原点に置き換えると

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} + r \frac{dy}{dt} + sy \geq 0 \quad (13)$$

になる。ここで

$$\zeta = \frac{r}{2\sqrt{MS}}, \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{S/M} \quad (14)$$

とすると

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta\omega_0 \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y \geq 0 \quad (15)$$

になる。 ω_0 は固有角振動数, f_0 は固有振動数, ζ は制動比である。

$$y = a \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} + h \quad (16)$$

で表わされる表面であったとする。すなわちこの表面は波長が λ で振幅が a の正弦波形状のあらさ曲線である。そして正弦波の中心線の位置は、静的測定力が零になる触針先端の位置から h だけ上にあるということである。ここで移動速度を v とすると

$$x = vt$$

であるから、式 (16) は

$$y = a \sin 2\pi \frac{v}{\lambda} t + h = a \sin 2\pi ft + h \quad (17)$$

となる。すなわち波長 λ のあらさは振動数 $f = v/\lambda$ の触針の上下運動になる。この波形に対する応答性を調べるために式 (17) を式 (15) に代入すると、

$$\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \cdot \sin(2\pi ft + \delta) \geq -\frac{h}{a} \quad (18)$$

ただし

$$\delta = \tan^{-1} \frac{2\zeta \left(\frac{f}{f_0}\right)}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$

となる。 $\sin(2\pi ft + \delta)$ の最小値は -1 であるから、この表面に触針が追従するには式 (17) の左辺が最小値になったときにも成り立たねばならないので、式 (18) は

$$-\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \geq -\frac{h}{a} \quad (19)$$

に書き直すことができる。式 (19) は次のようになる。

$$\frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \geq \frac{a}{h} \quad (20)$$

ところで式 (20) の左辺は 2 次振動系の周波数—ゲイン特性 (Bode 線図) に相当する。前述したように本試作のピックアップは固有振動数が 300 c/s であるから、 $f_0 = 300$ c/s として式 (20) の左辺を線図にすると図 6 のようになる。すなわち横軸に周波数 f (c/s) を縦軸の左側にゲイン G (db) をとる (カッコ内は減衰比)。

$a = h$ すなわち正弦波の中心線が測定力零の位置から h だけ上にあり、正弦波の振幅がそれと同じ値であるときには、式 (20) の左辺は 0 db (減衰比 1) 以上になる周波数を求めればよい。写真 2 の実験結果から本試作のピックアップは $\zeta = 0.1$ と求まった。したがって $a = h$ の場合約 400 c/s までが 0 db 以上になるから、この場合約 400 c/s まで触針が追従することがわかる。 $a = h/10$ の場合も同じように、式 (20) から左辺が -20 db (減衰比 0.1) 以上であれば触針が追従し、図 6 から約 970 c/s まで追従することがわかる。

次に前述したように本試作では触針の針先が測定力零の位置からスキッドと同一平面になるまでの距離が 750μ である。スキッドは被測定面におけるあらさ曲線の山頂を移動するので、規則的なあらさ曲線では触針がスキッドより上がることはない。したがって少なくとも正弦波状の連続したあらさ曲線では、波高値 ($H_{\max}$) が 750μ 以上のあらさには触針が追従しない。そこでその波形の中心を測定力零の位置から $750\mu/2 = 375\mu$ とする。すなわち $h = 375\mu$ である。そうすると $a = 375\mu$ すなわち 750μ $H_{\max}$ の正弦波状の連続したあらさ曲線では、図 6 から約 400 c/s まで追従することがわかる。同様に $a = 37.5\mu$ すなわち 750μ $H_{\max}$ では 970 c/s まで追従する。図 6 の右側の値は $h = 375\mu$ としたときの追従し得る $H_{\max}$ の値を示したものである。

図 6 のプロットした点は実験によってこの動特性を確認したものである。ピックアップをスタンドで固定し触針を振動台におき、振動台の周波数と振幅を変化させて、触針が振動台に忠実に追従しているかどうかをシンクロスコープで観測し、触針の追従の限界点をプロットした点である。すなわち増幅指示部のあらさ曲線記録用端子から触針の運動に応じた出力信号をシンクロスコープで観測したのである。図 6 から明らかなように前述

図 6 ピックアップの動特性

の解析による曲線とこの実験結果が一致している。

以上の結果、本試作器の測定範囲はフルスケール $0.075 \mu\text{Ha}$ から $7.5 \mu\text{Ha}$ である。その範囲では正弦波状の連続したあらさ曲線については、触針が追従することがわかった。

2.3 増幅指示部

2.3.1 補償回路

本試作のピックアップはセラミックを用いたため、前述のように抵抗 R は $20 \text{ M}\Omega$ で、等価容量 $C_p = C + C_s$ は 500 pF である。したがって折点周波数 f は 16 c/s になり、それ以下の周波数では微分特性を持つようになるので 0.8 c/s まで積分特性を持つ回路で補償している。

2.3.2 増幅回路とカットオフ回路

増幅回路の増幅素子は抵抗 R が $20 \text{ M}\Omega$ であるため真空管を用い、真空管2本の4段増幅である。全利得は 60 db で、最大無ひずみ出力（ひずみ率 1% 以下）はメータフルスケールの10倍までである。たとえばフルスケール 0.25μ のレンジでは 2.5μ まで無ひずみである。周波数特性はカットオフしない場合 0.8 c/s から 10 kc/s まで平坦であるが、カットオフ回路を挿入しているので、低域においては所定の折点周波数を持っている。

本試作器ではカットオフ値を 0.75 mm , 0.25 mm , 0.075 mm の3レンジにし、ピックアップの移動速度を 3 mm/s にしているので、おのおののカットオフ値に相当する折点周波数は 4 c/s , 12 c/s , 40 c/s になる。したがってカットオフ回路は、おのおのの折点周波数に相当

図7 カットオフ特性

した時定数を持つ3つの回路から成り立っている。図7はそのカットオフ特性でカットオフ値に相当する折点周波数において利得が -6 db となり、減衰比は ASA B 46.1—1955, 4.6.3.3. に示されている -12 db/oct を持つようにした。

2.3.3 全波整流回路と電流計

全波整流回路は4個のダイオードから成り立ち、その出力の一方は電流計に、他方は中心線平均あらさ記録用出力端子に接続している。全波整流回路の特性の非直線部分は直列抵抗を挿入して直線化した。図8はその直列

図8 整流特性

図9 電流計の周波数特性

図10 電流計の過渡応答

抵抗を挿入した特性で、 $10\mu\text{A}$ (10%) 以上は完全に直線化できた。

電流計は $100\mu\text{A}$ フルスケールを用いたので、それ以上の大電流が流れるのを防ぐために、電流計保護用のダイオードを挿入した。電流計の特性は、図 9, 10 に示すように折点周波数が 0.12c/s で、ダンピング定数は約 1 である。時定数は 1.33s で、指示値が 95% においては 4.5s である。

2.4 駆動部

2.4.1 構造と特性

前述したように本試作器は、連続指示型にしたので、駆動部は往復運動を行なう方式である。構造は図 11 に示すようにシンクロサモータの回転運動をギヤートレインによって電磁クラッチを叩き、それによって電磁クラッチを開閉させ、この電磁クラッチによって往復運動を行なわせている。

通常モータの回転方向を変えることによって往復運動を行なわせているが、この方法だと、駆動部の可動部分がすべて反転運動を行なうことになり、可動部分の慣性が大きく、したがって往復反転の際の反転所要時間 (reversing time) が長く $0.3\sim 0.5\text{s}$ 程度である。本試作の駆動部はこの反転所要時間を短くするためにギヤートレインにより減速した後に電磁クラッチを挿入し、低速回転軸以後のみが反転するような機構にしたので、慣性が少なく反転所要時間は 0.01s まで短縮することができた。図 12 はその実験結果である。これは断面曲線が連続した同一三角形の被測定面を本試作の駆動部を用いて記録したのが (a) で、前述のモータの回転方向を変える方法の駆動部で記録したのが (b) である。(a) では約 0.01s , (b) では約 0.5s である。

メータ指示の場合、ピックアップは 3mm/s で移動されるが、記録する場合は記録計の周波数特性を考慮して 0.3mm/s で移動させるようにした。その 3mm/s と 0.3

図 11 駆動部の構造図

図 12 駆動部の反転所要時間

mm/s の速度切換えは、シンクロサモータの回転方向を変えている。2つの一方向クラッチはおののモータから異なるギヤ比で回転が伝達され、一方向クラッチはギヤと軸を開閉するクラッチ機構である。したがって、モータの回転方向を変化させると一方向クラッチを取り付けた軸の回転速度が変化するわけである。この方法を用いたので、 $10:1$ の速度比を持つ二速度を電氣的操作によって簡単に切換えができる。

2.5 手動用付属品と較正用試験片

本試作器は手動操作ができるように、次のような付属品を付けた。1つはピックアップホルダーで、これは外径 $7\text{mm}\phi$ 以上のものを測定するのに用い、また外径約 $0.5\text{mm}\phi$ 以上 $7\text{mm}\phi$ までのものを測定するために細線用ホルダーがある。その他断面曲線が連続した同一三角形形状で、約 $3\mu\text{Ha}$ の較正用試験片が付属する。

なお図 13 に示すように小穴用ピックアップも試作した。これは約 $3\text{mm}\phi$ 以上、 15mm 以内の深さの小穴を測定することができる。

2.6 記録計

2.6.1 構造と特性

本試作の記録計は、増幅回路、ガルバー補償回路、電源安定化回路、温度変化補償回路、ガルバー、熱ペンヒ

図 13 小穴用ピックアップ

図 14 記録計の周波数特性

ータ回路、紙送り機構から構成されている。このうち電気回路部分はすべてトランジスタ化した。熱ペン機構を採用したので円弧ひずみはない。最大記録幅は 40 mm で、記録紙送り速度は 30 mm/s と 60 mm/s である。

周波数特性は図 14 に示すように、DC から 120 c/s まで平坦である。次に主な特性は

最大感度：2.5 mV/mm (±50 mV/mm) 以上。

入力抵抗：2.5 mV/mm のレンジにおいて 30 kΩ，レンジ数値に比例して増加

直線性：3%以内（左右非対称誤差を含む）。

安定性：電源電圧の変化 10% に対して零点の変動はペン振幅で 0.2 mm 以内。

温度特性：50°C まで使用可能（50°C まで上記特性上に変化がない）。

である。

3. ま と め

上記の試作研究の結果をまとめると次のようになる。

(1) ピックアップは、セラミック素子を用いることにより可動部分が小型になり、したがって慣性が少ないので動特性がよい。この動特性についての解析と実験結果が一致した。

(2) 増幅指示部は、初段に補償回路を設けセラミック素子の問題点を完全に補償した。

全波整流回路の特性における非直線部は直列抵抗によってフルスケールの 10% 以上を完全に直線化した。

メータに並列にコンデンサを挿入することによって、動特性をよくするとともに指示値を読み取りやすくした。

(3) 駆動部は、反転所要時間を約 0.01 s にした。

(4) ピックアップの手動操作を可能にした。

(5) 記録計は電気回路部分をすべてトランジスタ化することによって小型にした。

周波数特性を DC から 120 c/s まで平坦にした。

温度特性を非常に良くし、周囲温度の変化による感度の変化をなくした。

(6) 各要素とも小型化し、操作も簡単化して現場向きにした。

終わりに本試作に対してご助言を戴いた東大教授蓮沼博士、および計量研究所第一部長山本博士に厚く謝意を表する次第である。(1963, 6 月 7 日受付)

付録、仕様

(1) ピックアップ

触針の先端：ダイヤモンド製、半径 5 μ および 12.5 μ。

触針の測定力：1 gr。

スキッド：半径 8 mm，硬度 $H_R C$ 65° 以上

ピックアップの大きさ：6.25 mmφ × 70 mm および 3 mmφ × 70 mm。

(2) 増幅指示部

指 示：中心線平均あらさ (H_a)，自乗平均あらさ (H_{rms})。

指示範囲：0.075, 0.025, 0.75, 2.5, 7.5 μ フルスケール。

カットオフ値：0.75, 0.25, 0.075 mm。

記録用出力端子：プロファイル記録用，中心線平均あらさ記録用。

電 源：AC 100 V, 50 c/s および 60 c/s 共用。

消費電力：10 W。

大 き さ：高さ 190 mm，幅 158 mm，奥行 150 mm。

重 量：3 kg。

(3) 駆 動 部

移動速度：3 mm/s，記録の場合 0.3 mm/s に切換え可能。

移動方式：往復運動。

移動距離：1.5~75 mm。

電 源：AC 100 V (50 または 60 c/s)。

消費電力：8 W。

大 き さ：高さ 140 mm，幅 210 mm，奥行 135 mm。

重 量：5 kg。

(4) 記 録 計

記録縦倍率：1,000, 3,000, 10,000, 30,000, 100,000 倍。

記録横倍率：10, 20, 100, 200 倍。