

## 二、三の機械的測微器の追従精度特性

市 川 誠\*

(昭和38年12月25日受理)

### 1. はじめに

最近における長さの精密測定には、電氣的測微器などが多く取り入れられるようになって、精度よく便利なものが開発されているが、測定対象によっては、依然として機械的測微器に頼らざるを得ない場合が多く、かつ、電氣的測微器などに比較して、小形・軽量・堅ろうで、取り扱いが容易であり、測定環境の影響を受けることが少ないので指示が安定しており、さらに安価に得られるなどの利点があるので、機械工作用としてはもちろん、研究室においても相変らず相当に使用されており、将来もその利用度が低下することはないであろう。

さらに、電氣的測微器などにおいても、その検出機構などに、機械的測微器と同じ機構を採用しているものが多いので、機械的測微器についてその精度の特性を明らかにすることは、他の各種測微器に対しても意義あることと思われる。

機械的測微器は、その検出・拡大・指示の全機構がすべて機械的要素、すなわち、スピンドル・軸受・テコ・ねじ・歯車などから構成されている。したがって、機械的測微器の精度を厳密に論ずるためには、これらの構成要素個々の精度・慣性、あるいは、それら相互の組合せ部における取りつけ誤差・摩擦・バックラッシなどが測微器の総合精度に影響するので、上記のすべてについて詳細に検討する必要がある。そして、これらの構成要素個々についての解析はある程度まで可能であるが、それによって総合精度を結論づけることは実際上困難であり、筆者の知るかぎりでは機械的測微器の精度特性を論じた例は見当らないようである。

しかし、後に述べるように、C. Zeiss 社の U. M. M. を使用する<sup>3) 4)</sup>方法によって、機械的測微器の追従性を調べた結果、従来のブロックゲージによる方法などでは見出せなかった精度特性が得られ、その指示誤差は現在まで一般に考えられていたように不規則なものではなく、比較的規則正しく現われ、かつ、それは上記各構成要素の個々の精度の総合されたものと考えられるバックラッシと拡大誤差によって十分説明できることがわかったので、ここに報告する次第である。

なお、本研究において調べた機械的測微器は表 1 に示すように、いずれもテコ・歯車による拡大機構<sup>5)</sup>を有するダイヤルゲージ形式 1 個と指針測微器形式 3 個であるが、これらはいずれもその精度が高く評価され、広く使用されている高級品で、国産品を除いては、いずれも研究室において相当期間使用されたものである。

\* 機械工学教室，助教

表1 検査した機械的測微器

測微器の記号	形 式	検出・拡大・指示機構	最少目盛( $\mu$ )	目盛範囲( $\mu$ )	製造社および国名	備 考
P	テコ式ダイヤルゲージ	テコ・セグメントギヤーピニオン・クラウンギヤーピニオン・指針	2	$\pm 140(280)$	C.M.社 ドイツ	
M	指針測微器	スピンドル—テコ・セグメントギヤーピニオン・指針	1	$\pm 50(100)$	C.M.社 ドイツ	リリース機構具備
I	指針測微器	スピンドル—(ナイフエッジ)—テコ・セグメントギヤーピニオン・指針	1	$\pm 50(100)$	S.社 スイス	
O	指針測微器	スピンドル—(ナイフエッジ)—テコ・セグメントギヤーピニオン・指針	1	$\pm 50(100)$	M.社 日本	

## 2. 追従精度検査の方法および結果

C. Zeiss 社の U. M. M. を使用し、写真1のように、そのテーブル上にマグネチックスタンドによって検査すべき測微器を水平に支持して、その測定スピンドルの方向がテ

ーブルの縦横・左右いずれかの移動方向と一致するようにし、その先端を U. M. M. の主鏡筒にブロックゲージ(主鏡筒にはりつけた)を介して接触せしめる。

かくすると、テーブルの変位がそのまま測微器の測定スピンドルの変位となるので、U. M. M. の目盛を標準とするバックラッシュのない変位を測微器の測定スピンドルに与えることができる。なお、U. M. M. は実験に使用した測定範囲において、本実験に用いる標準変位として十分な精度をもつことが別途に確かめ

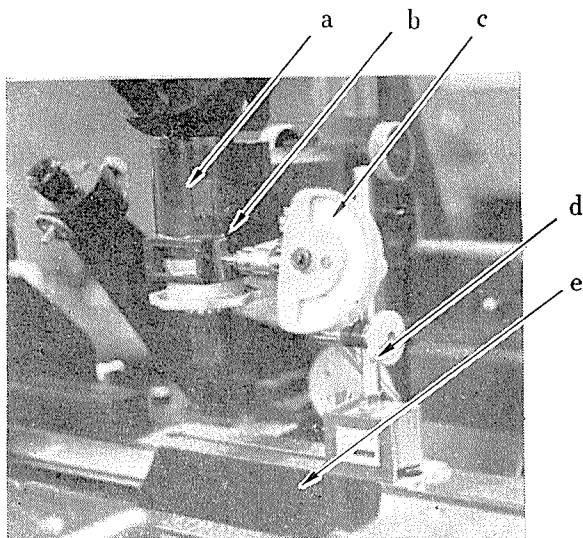


写真1 追従精度検査方法

- a U. M. M. の主鏡筒
- b ブロックゲージ
- c 被検測微器
- d マグネチックスタンド
- e U. M. M. のテーブル

られている。

図1, 図2, 図3, 図4はこのようにして, 各測微器の測定スピンドルに U. M. M. による標準変位を順次に与えた場合の指示値を示すもので, 縦軸はいずれも標準変位に対応すべき各測微器の検査範囲であるが, 括弧内はその目盛位置を示す。

各図(a)はいずれも各測微器についてそれぞれの縦軸に示すようにほぼ全目盛範囲にわたって, プラス側あるいはマイナス側から始めて,  $10\mu$  あるいは  $40\mu$  単位の標準変位を累進的に与え, 行きと戻りの一往復における追従精度を調べたものである。

各測微器の指示値はいずれも相当よい直線性を有しているが, 標準変位を示す横軸と各測微器の指示値を示す縦軸との間に正しく  $45^\circ$  をなしていないものがある。これは拡大機構の精度不良に基因する拡大率の不正によるもので, 測定範囲が大きくなるとその影響による指示誤差は増大する。

また, 行きと戻りにおける指示値の差は, 主としてバックラッシュに基因するもので, これは測定範囲の大小にかかわらずほぼ一定であるが, 測微器によってはこの値が相当に大きい。しかし, このような測微器においても行きと戻りのいずれも直線性はよく, 指示値のバラツキはほとんど認められない。よって, 各測微器の機構はいずれも安定しているといえることができる。

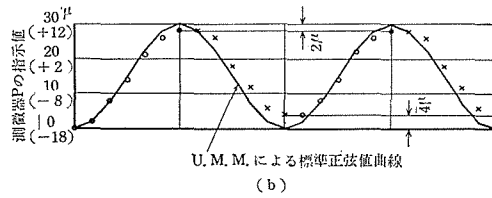
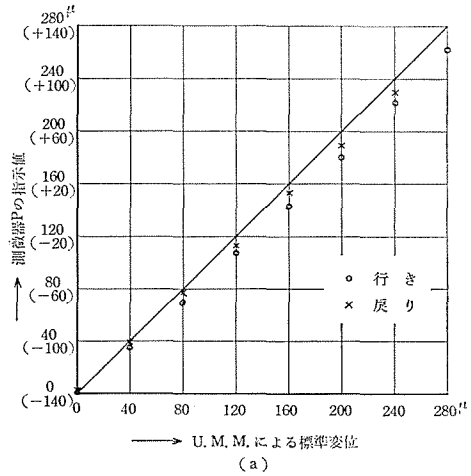


図1 測微器Pの追従精度

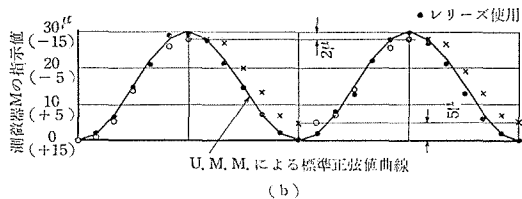
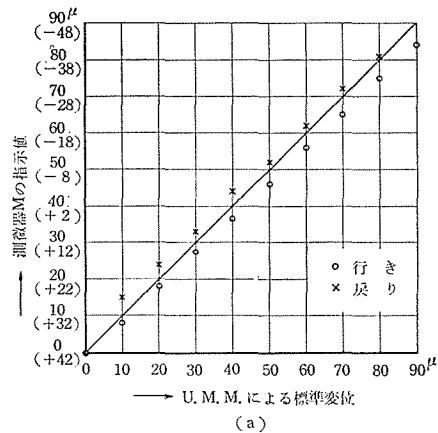


図2 測微器Mの追従精度

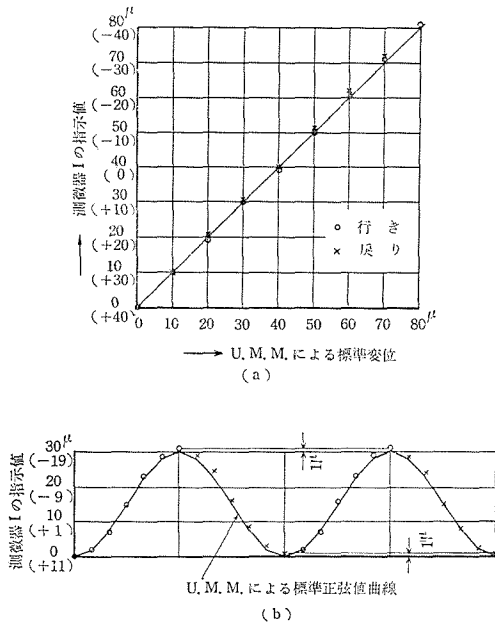


図3 測微器Iの追従精度

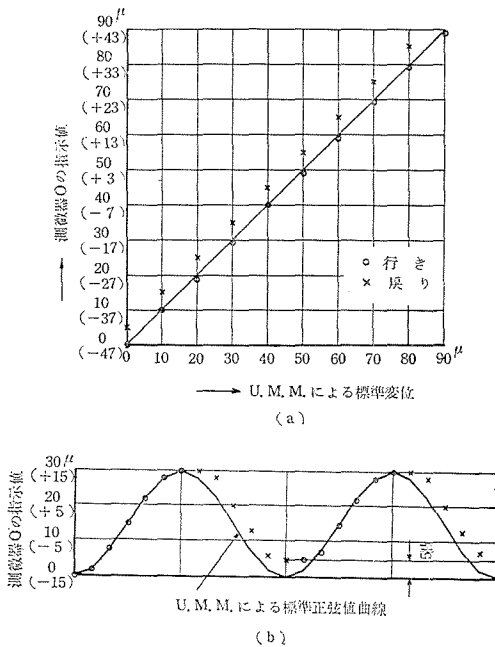


図4 測微器Oの追従精度

そこで、各測微器について、行き戻り差の平均値、拡大率比、および拡大率比から導びかれる  $1\mu$  の指示誤差を生ずる一方向の変位量を示すと表2のようになる。ここで、拡大率比とは各測微器の全測定範囲における指示値と U. M. M. の変位との比をいう。

各図(b)は、たとえば回転軸のふれを測定する場合の変位に似せて、比較的狭範囲の追従精度を知りたいという目的のもとに行なった検査結果で、振巾  $30\mu$  のサインカーブ状変位を  $1/12$  周期毎に、あらかじめ計算した正弦値を U. M. M. の目盛によって順次に標準変位として設定し、それに対する各測微器の指示値を2周期にわたって調べたものである。

ここにおいても、各測微器の指示誤差はよい直線性を示しているようで、かつ、2周期において各指示値が相当によく一致して再現性もよいことが認められ、このような微小変位に対する追従精度もかなり良く、この場合においても機構は安定している。そして、各図(a)における直線性と相俟って、このような機械的測微器においては、それを構成する各要素や組合せ部の影響は指示値のバラツキとしては現われないと考えてよいようである。

しかし、先に述べた拡大率比による誤差とバックラッシュの影響をうけて、測微器によっては実際に与えられた往復性の変位に対してかなりの指示誤差を生じている。

表2 機械的測微器の精度

測微器の記号	行き戻り差の平均値 ( $\mu$ )	拡大率比	1 $\mu$ の指示誤差を生ず る一方向変位量 ( $\mu$ )
P	7	0.93 $\left(\frac{261}{280}\right)$	14
M	6	0.93 $\left(\frac{84}{90}\right)$	15
I	0.7	1.01 $\left(\frac{81}{80}\right)$	100
O	6	0.99 $\left(\frac{89}{90}\right)$	100

いま、各図(b)から各測微器の指示誤差を調べると、正しい振巾  $30\mu$  に対して

$$\text{測微器Pは } 30 - (2 + 4) = 24 \quad (\mu)$$

$$\text{測微器Mは } 30 - (2 + 5) = 23 \quad (\mu)$$

$$30 - (1 + 0) = 29 \quad (\mu) \quad \text{レリーズ使用の場合}$$

$$\text{測微器Iは } 30 - (-1 + 1) = 30 \quad (\mu)$$

$$\text{測微器Oは } 30 - (0 + 5) = 25 \quad (\mu)$$

上式中、左辺括弧内の第1項は拡大率比による誤差、

第2項はバックラッシによる誤差を示す。

の振巾を指示することになる。レリーズを使用した場合のMとIを除いては、その指示誤差は非常に大きなもので、このような測微器によって、たとえば回転軸の振れのように微小な往復性の変位を有するものを測定すると非常に大きな測定誤差を生ずるので注意しなければならない。したがって、このような測微器は一方向の比較的小範囲の変位測定にのみ使用すべきである。

### 3. 追従精度特性曲線

以上の結果から、機械的測微器の追従精度特性は図1から図4の(a)あるいは(b)から容易に得られて図5のようになるものと考えられる。

すなわち、図5において、OPは拡大率比1の直線であって、Aは被検測微器の指示が追従していることを確認された検査開始点で、その時の標準変位を  $a$  とし、 $a$  から  $b$  まで標準変位を増大し、次に  $b$  から減少させて  $a$  に戻す。これを繰返せば測微器の指示は  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow (B) \rightarrow (C) \dots\dots$  の曲線であらわされる特性を示し、図のように行きの最後に現われる指示誤差  $BH$  が検査範囲における拡大率比による誤差を示し、戻り途中における行ききの指示値との差、すなわち標準変位が検査開始点に戻った場合の指示値の差  $DA$  がバックラッシによる誤差を示す。なお、図5は拡大率比が1より小さい場合の例である。

また、 $BC$  あるいは  $DE$  も拡大率比の影響を含んだバックラッシによるもので、追

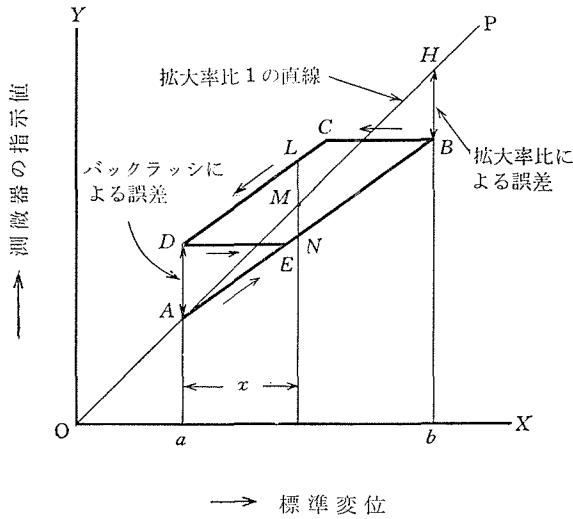


図5 追従精度特性曲線

らにバックラッシュによる誤差が追加されるので、拡大率比が1より大きい場合はその指示誤差は相当大きくなる。

いま、図5の任意点、たとえば検査開始点より標準変位  $x$  における測微器の指示誤差を求めるには、 $x$  において縦軸に平行に引いた直線と、特性曲線および  $OP$  との交点を  $L, N, M$  とすれば、行きの指示誤差  $\delta_G$  は

$$\delta_G = MN = \frac{x}{b-a}BH \quad (1)$$

となり、戻りの指示誤差  $\delta_B$  は

$$\delta_B = LM = LN + MN = DA + \frac{x}{b-a}BH \quad (2)$$

となる。ただし、 $BH$  の符号は拡大率比が1より大きいとき正、1より小さいとき負とする。

したがって、たとえば測微器  $M$  においては、図2(b)の上方の指示誤差  $2\mu$  は拡大率比による誤差であり、下方の指示誤差  $5\mu$  はバックラッシュによる誤差であるからその途中  $x=15\mu$  の点における行きの指示誤差  $\delta'_G$  および戻りの指示誤差  $\delta'_B$  はそれぞれ

$$\delta'_G = \frac{15}{30}(-2) = -1 \quad (\mu)$$

および

$$\delta'_B = 5 + \frac{15}{30}(-2) = 4 \quad (\mu)$$

従精度を論ずる上には大切な要素であるが、実際の測定にはあまり問題とならない。そして、その値は上に述べたように拡大率比にも関係し、拡大率比が1より大きい場合はバックラッシュのみによる誤差より小さく、拡大率比が1より小さい場合には大きくなる。ゆえに、拡大率比が1の場合には当然それらが等しく  $BC=DA=DE$  となるはずである。

したがって、この特性曲線が示すように、行きの場合にその指示誤差は拡大率比のみに影響されるが、戻りの場合には、さ

となり、図2(b)のこれに相当する実測値とほぼ一致する。

さらに、この測微器Mについて図2(b)から検査した $30\mu$ の範囲内における拡大率比とバックラッシによる誤差を基準として計算した精度特性曲線を示すと図6のようになり、途中における各実測値はよくその特性曲線上に一致している。

この測微器Mも含めて、他の測微器についても同様にして計算値と実測値を比較すると表3のようになり、いずれもよく一致しており、これらの機械的測微器の精度は図5のような特性曲線で十分に表わされることがわかる。

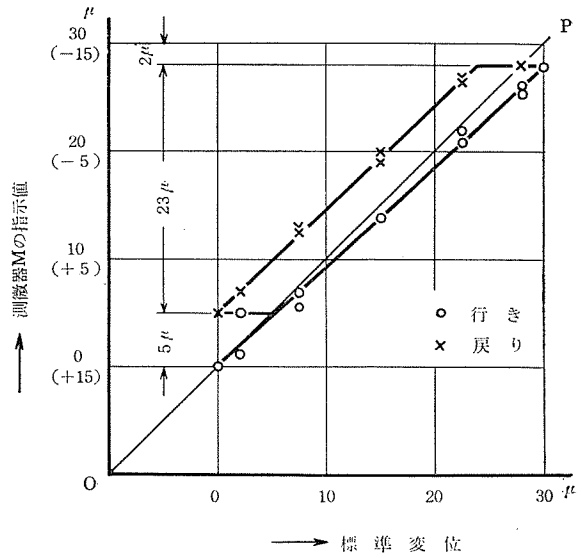


図6 測微器Mの追従精度特性

表3 各測微器の追従精度特性曲線より得られる計算値と指示値の関係

設定値 (標準変位)	P		M		I		O	
	指示値	計算値	指示値	計算値	指示値	計算値	指示値	計算値
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0	2	1.9	1	1.9	2	2.1	2	2.0
7.5	8	7.0	5.5	7.0	7	7.8	8	7.5
15.0	14	14.0	14	14.0	15	15.5	15	15.0
22.5	21	21.0	21	21.0	23	23.3	22	22.5
28.0	26	26.2	26	26.2	29	28.9	28	28.0
30.0	(28)	28.0	(28)	28.0	(31)	31.0	(30)	30.0
28.0	28	28.0	28	28.0	29	29.9	30	30.0
22.5	26	25.0	27	26.0	25	24.3	28	27.5
15.0	18	18.0	20	19.0	16	16.5	20	20.0
7.5	12	12.0	14	13.0	8	7.8	13	12.5
2.0	6	5.9	7	6.9	3	2.1	6	7.0
0	(4)	4.0	(5)	5.0	(1)	1.0	(5)	5.0

- 註 1. 設定値(標準変位)は $0.5\mu$ 単位にまとめたU.M.M.による標準正弦値。  
 2. 計算値は指示値より得られる拡大率比とバックラッシによる指示誤差(表中括弧で示す)に基づいて式(1), (2)から計算される値。

以上のように、これらの機械的測微器の精度は必ずしもよくないが、その指示は安定して規則正しいので、上述のように、その精度特性を理論的に説明することができる。したがって、一般に機械的測微器は一見精度が良くないようであっても、その精度特性を調べて、それを補正の基準とすれば高精度の測微器として使用することができるものと思われる。

さて、測微器Mは図2 (b)に示すように、レリーズの使用によって追従精度を非常によくすることができる。これはレリーズを使って、測定スピンドルを常に一方向に動かすように測微器の全機構を働かせ、それによってバックラッシュの影響をなくしたためであり、同時に、拡大率比による誤差もほとんど認められないのは、その原因が多年の使用による軸と軸受部、各要素の接触部の摩耗などによるガタ、接触不安定などがレリーズの使用によって適当な正しい位置関係を取り戻す結果と思われる。したがって、この測微器は新製時には、このような拡大誤差はなかったのではないかと推察される。

このような考え方によれば、拡大率比による誤差も広い意味のバックラッシュに起因するものと言える。

なお、このような機械的測微器の精度検査は JIS<sup>3)</sup>ではブロックゲージなどを標準として行なうことになっているが、この方法では、測定スピンドルを常に一方向に動かすようにするので、上に述べたレリーズを使用したと同じ結果になり、正しい追従精度を見出し得ない欠点がある。本研究に使用した各測微器もブロックゲージによる精度検査ではいずれも非常によい結果を示している。

#### 4. む す び

機械的測微器の追従精度検査を C. Zeiss 社の U. M. M. を使用して行ない、それらに共通な追従精度特性を明らかにしたが、この特性は、この種の機械的測微器のすべてに当てはまるものと考えられ、一般に、次のようなことがいえる。

(1) 機械的測微器の指示誤差の最大原因はバックラッシュと拡大誤差とに分けられるが、摩耗によって生じた拡大誤差は広い意味ではバックラッシュに基因するといえる。したがってバックラッシュを生じないような状態で使用すれば高い精度を永く維持することができる。

(2) 一般に、永い間使用されると、摩耗などのためにバックラッシュが増大して精度が低下するので、常に筆者の行なったような方法によってチェックする必要がある。

(3) このような機械的測微器の使用に当っては、その追従精度特性を調べておいて、測定対象の変位の範囲および性質（一方向の変位であるか、往復性の変位であるか）によって適当な測微器を選ぶか、補正しなければならない。この場合、追従精度特性は比較的規則正しいので補正は容易である。

(4) バックラッシュの影響による指示誤差を除くために、レリーズもしくはリフタ機構は不可欠のように思われる。

おわりに、本研究に貴重な示唆と指導をいただいた東京工業大学精密工学研究所山本晃教授、多くの助言と助力をいただいた同所の吉本勇助教授、豊山晃助教授および局又



太郎氏，ならびに資料の一部を提供された東京螺子製作所の石渡晃氏に感謝する次第である。また，この研究に本工学部長森本弥三八教授より好意あるはげましを賜ったことを付記し，あわせて感謝の意を表す。

## 文 献

- 1) 内藤邦策：精密機械設計法，誠文堂新光社，初版（1943），61.
- 2) 伊佐正司：指針測微器，日刊工業新聞社，（1962）.
- 3) J I S B 7519—1961.
- 4) 山本健太郎他：ダイヤルゲージの追従精度，精機学会昭和38年度春季大会学術講演会前刷.
- 5) J I S（案）テコ式ダイヤルゲージ.

## Summary

### Special Character of Follow-Up Accuracy on Several Mechanical Micro-Comparator

Makoto ICHIKAWA

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

In the results that a follow-up accuracy of several mechanical micro-comparator having a magnifying device which is constructed with the lever and the gear was investigated by using the C. Zeiss U. M. M. as a standard, their special character which has been hitherto neglected has been clarified. And the chief results which have been obtained by this investigation are as follows:

(1) The special character of follow-up accuracy of this mechanical micro-comparator is not irregular as it was hitherto considered to be, and it can be explained theoretically enough by the error which is caused by the back lash and the magnifying ratio.

(2) The accuracy test of this mechanical micro-comparator has to be done by the above mentioned method instead of those using the block gauge as a standard.

(3) This mechanical micro-comparator can be found to be used as a high accuracy one if the special character of follow-up accuracy of it is utilized as a means of correction.