

伸線用ダイスの精密測定法*

久本 方** 柿崎 公男**

Fine Measurements of Wire Drawing Dies

By Tadashi Hisamoto and Kimio Kakizaki

Hitachi Electric wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In this paper we have studied on the measuring methods of wire drawing dies and divided them into five fundamental parts such as diameter, bearing length, die angles, hole surface roughness and circularity errors of die; and covering the weak points of conventional measurements, we have trial made the measuring instruments of die angles (bearing length, supplementary), hole surface roughness and circularity errors.

Thus we have accomplished those measuring instruments and attained the expected purposes of them, now those measuring systems adopted are as follows.

- (1) Die angles measuring instruments : Projecting and magnifying system of replica of dies and tracer method.
- (2) Hole surface roughness measuring instrument : special designed type tracer method and microscopic interferometer system of replica.
- (3) Circularity errors measuring instrument : application of interferometric system to tracer method and analysis of those measuring data as "Fourier's Series".

According to this method, circularity errors measurement is able to be expanded to the least limit such as 0.08 mm diameter of die and $\pm 0.2 \mu$ ($\mu = 1/1,000$ mm) accuracy.

Successively we shall make deep study on the high speed wire drawing conditions of copper and the other metals on the bases of these measurements of die holes.

[I] 緒 論

伸線用ダイスは工業的に広く用いられている引抜作業用工具として最も大切なものであり、電線製造事業に於ける銅線・アルミニウム線を始め、鉄鋼線引事業に於ける鉄線・ピアノ線、或は特殊用途向の真鍮・磷青銅・タングステン・モリブデン等の線引きに広く用いられている。か様に伸線用ダイスはその用途が極めて広く且線

引製品の公差が極めてやかましい割にその測定法に関する系統的研究は比較的少い。特にダイヤモンドダイスのような細物ダイスに適用出来る測定法は殆ど見当たらない。

そこで著者等は多年にわたり表面工学の研究に従事して来たその経験を生かし、電線製造に於ける製品品位の向上をはかるために、伸線用ダイスの測定法について徹底的研究を行い、ここに伸線用丸型ダイスの精密測定法を確立したのでその研究結果の一端を報告したいと思う。

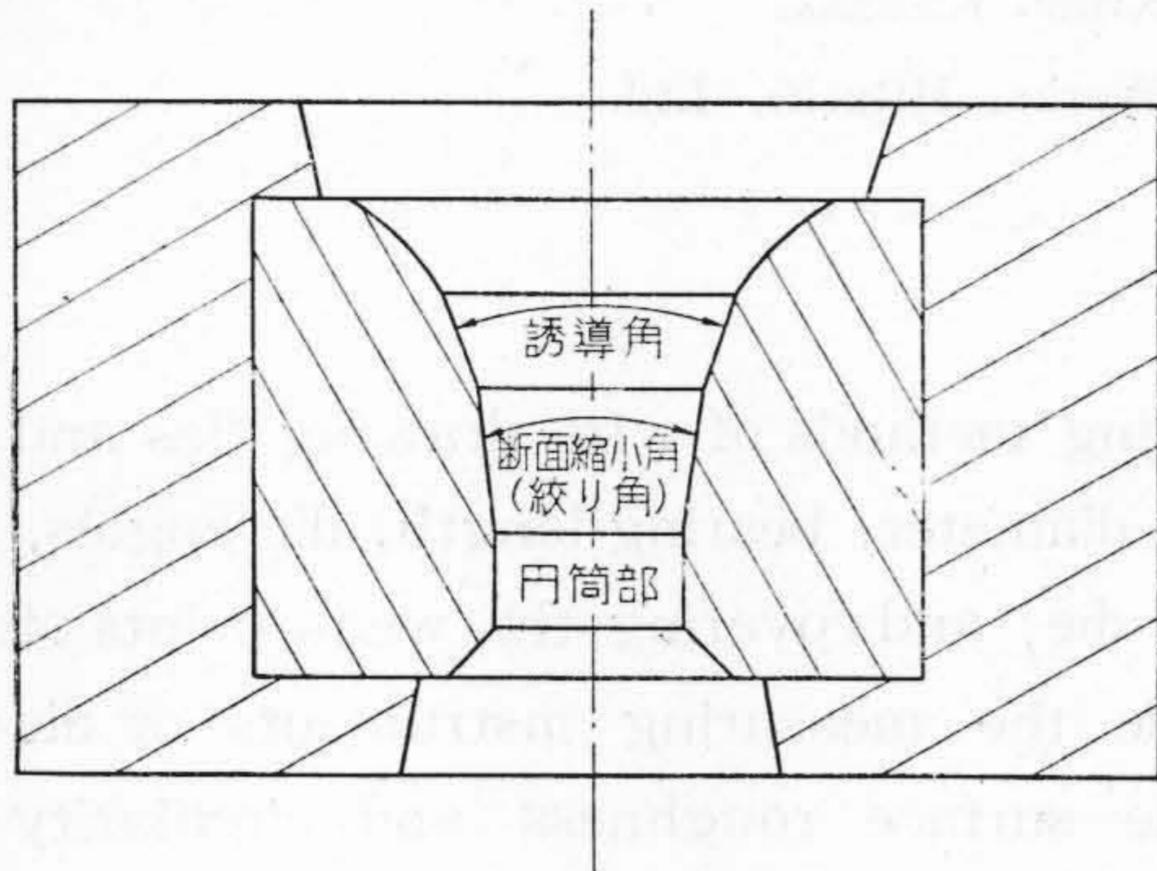
この測定法は又電子顕微鏡に用いる電子レンズ等の精密孔の測定にも応用し得るものである。

* 昭和 25 年 10 月 22 日、精機・機械・金属三学会連合主催の塑性加工に関する講演会（於東京大学工学部大講堂）及び昭和 26 年 12 月 8 日 機械学会日立地方講演会（於茨城大学工学部）昭和 27 年 4 月 28 日 精機学会春季講演会（於東京）に於いて講演

** 日立製作所日立電線工場

〔Ⅱ〕 ダイスの形状とその測定

ダイスの種類をダイスの材質によつて分けると鋼ダイス・合金ダイス(W-C 系)・ダイヤモンドダイス等となり、その形状をもとにして分けると直線ダイス・曲線ダイス及びこの両形式の輪廓を組合せたような組合せダイス等となる。今直線ダイスに例をとつてその断面形状を图示すると第 1 図のようになる。



第 1 図 直線ダイスの断面形状
Fig. 1. Sectional View of Straight Type Die

か様な形状をもつたダイス孔の測定に当り必要な測定諸元は次の 5 つとなる。

- (1) ダイス孔の直径
- (2) ダイス孔の円筒部分の長さ
- (3) ダイス孔の角度
- (4) ダイス孔面の粗さ
- (5) ダイス孔の真円度

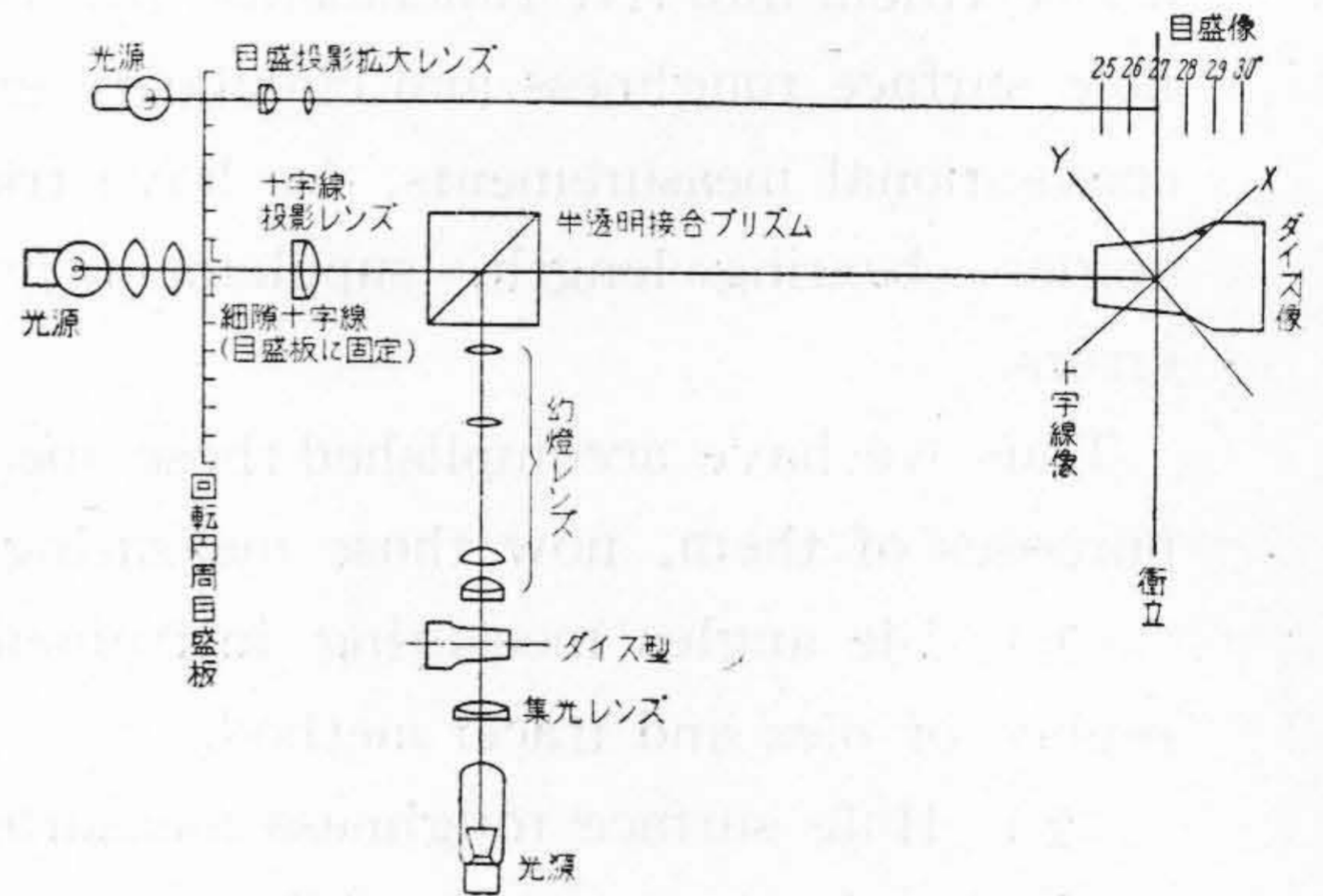
これらの測定諸元について従来行われていた測定法を一覧表にまとめると第 1 表となる。

本研究に於いてはこれらの測定諸元の中従来の測定法(器)に欠点の多いダイス孔の角度——円筒部分の長さ測定には角度測定器を流用——粗さ・真円度の測定について検討を加え新規な構想を取入れた測定器を完成したので以下それらについて詳述しよう。

〔Ⅲ〕 ダイス孔の角度測定

ダイス孔の角度測定器としては取扱いの簡便な直読式測定器と粗密測定用としての触針式測定器とを試作した。

直読式ダイス角度測定器は第 2 図に示すような光学系



第 2 図 直読式ダイス角度測定器の光学系統図
Fig. 2. Optical System of Direct Reading Type Die Angles Measuring Instrument

第 1 表 従 来 の ダ イ ス 孔 測 定 法
Table 1. Conventional Measuring Methods of Die Holes

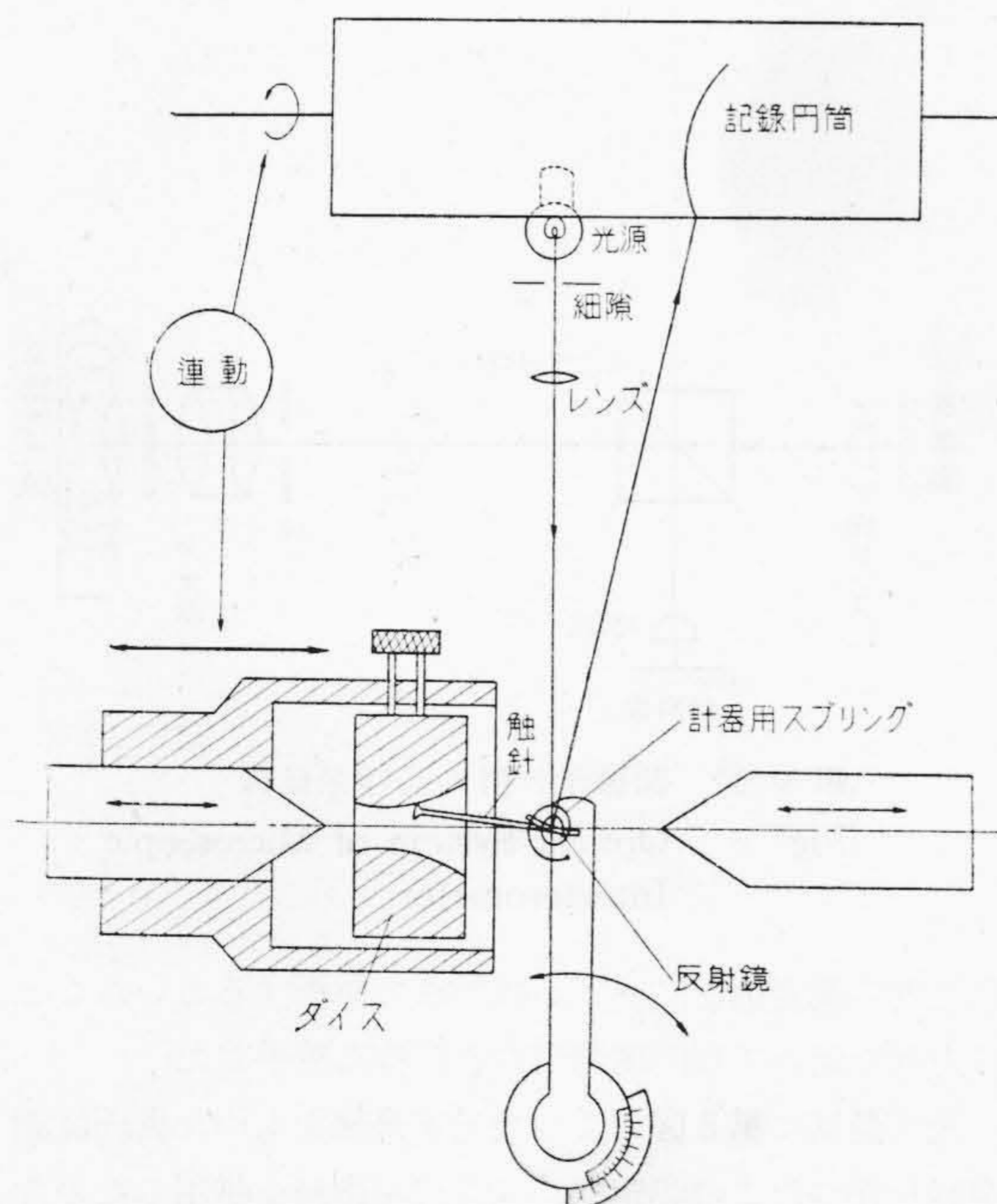
測定諸元	測定法 (器)	長所と短所
直径	引抜線をマイクロメーター、回折マイクロメーター等で測るか或はダイス孔を直接万能測定顕微鏡空気マイクロメーター等で測定する。	これらの方法で概ね実用上間に合っている。
円筒部分の長さ	型取法でとつたダイス型を写真拡大して測定する。	一応の測定は出来るがその測定法は不確実である。
ダイス角度	型取法でとつたダイス型を投影して理想曲線と比較したり写真にとつて測定する。	理想曲線との比較は定量的でない。写真測定は円筒部分の長さ及び最小直径部を判別するのに困難である。
孔面の粗さ	顕微鏡又は実体双眼顕微鏡によつて測定する。	表面粗さを立体的に把握することが出来ず定量的でない。
真円度	引抜線をマイクロメーターで測るか、ダイスを直接万能測定顕微鏡等で測定する。	これらの方法は真円度ではなくダイスの各部の直径の違い若しくは最小直径部の測定であり任意の断面の真円度を明かにすることは出来ない。

第2表 ダイス角度測定器としての直読法と触針法との比較
Table 2. Direct Reading Method and Tracer Method as Die Angles Measuring Instrument

比較項目	直読法	触針法
被測定物	型取りした試験片を測定する。	ダイス孔を直接測定する。
拡大率	縦横同倍率でその拡大率は ×30~×100	縦横の倍率を変えることが出来る縦横の倍率比 1:1~1:3
ダイス角度の測定	曲線ダイスに於いては測定が不正確になる。 直線ダイスでは ±10'	あらゆる形状について角度を正確に算出出来る。
円筒部の測定	曲線ダイスに於いては最小直径部の判定が難しいので測定が不正確になる。	正確な測定が出来る。

統図よりなる。この測定器はパラフィン・石膏・モデリングコンパウンド（歯科用）・アルギン酸ソーダ（歯科用）・ウッド合金或は銅線等で型取りした試験片と十字線及び回転目盛板の像を光学的に拡大して衝立上に投影し、型取り試験片の輪廓に十字線を合せながら回転目盛板の読みをとりダイス角度を算出するようになっている。

触針式ダイス角度測定法は第3図に示すように触針の移動を光挺的拡大によつて記録円筒上に自動記録する機構になつており、その測定器としてはダイスの取付けに際し両センターを開いて自動心出しを出来るようにした



第3図 触針式ダイス角度測定器の機構
Fig. 3. Mechanism of Tracer Type Die Angles Measuring Instrument

点に考案があり工場用測定器としても十分使用可能なように考慮をめぐらした。

今この両測定器を比較すると第2表のようになる。

〔IV〕 ダイス孔面の粗さ測定

ダイス孔仕上の各段階に於ける粗さを測定するために主として荒ラップ工程用として触針式測定器を仕上ラップ面(鏡面)の測定用として顕微干涉計を試作した。

ダイス孔の触針式粗さ測定器が一般の仕上面の触針式粗さ測定器と違つている点は次の2点である。

(1) ダイス孔測定器は細長い孔の内面の粗さを測定するのであるから第1挺子の拡大率を大きくとることは出来ない。

(2) ダイス孔は一般の仕上面に比べて非常によく仕上つているので測定の際の拡大率をうんと大きく(倍率10,000倍以上)とれるよにしておかなければならない。

これらの点を考慮に入れて試作した触針式ダイス孔面粗さ測定器の要領を第4図(次頁参照)に粗さの測定例を第5図(次頁参照)に示す。同測定器に於いて特に留意した点*をあげると次のようになつている。

(1) ダイス孔中心線とテーブルの移動方向とを一致させるためテーブルに両センターを取付けダイスの心出し保持を容易にした。

(2) プリズム型表面反射鏡及び二枚の固定表面反射鏡を用い繰返し反射を行わせて拡大率を増大した。

(3) 触針の撓みと測定圧の問題は倍率を上げるに従つて測定圧が減少するような機構とし、その測定圧は、JES 機械 0601⁽¹⁾に定められた標準とほぼ一致するようにした。

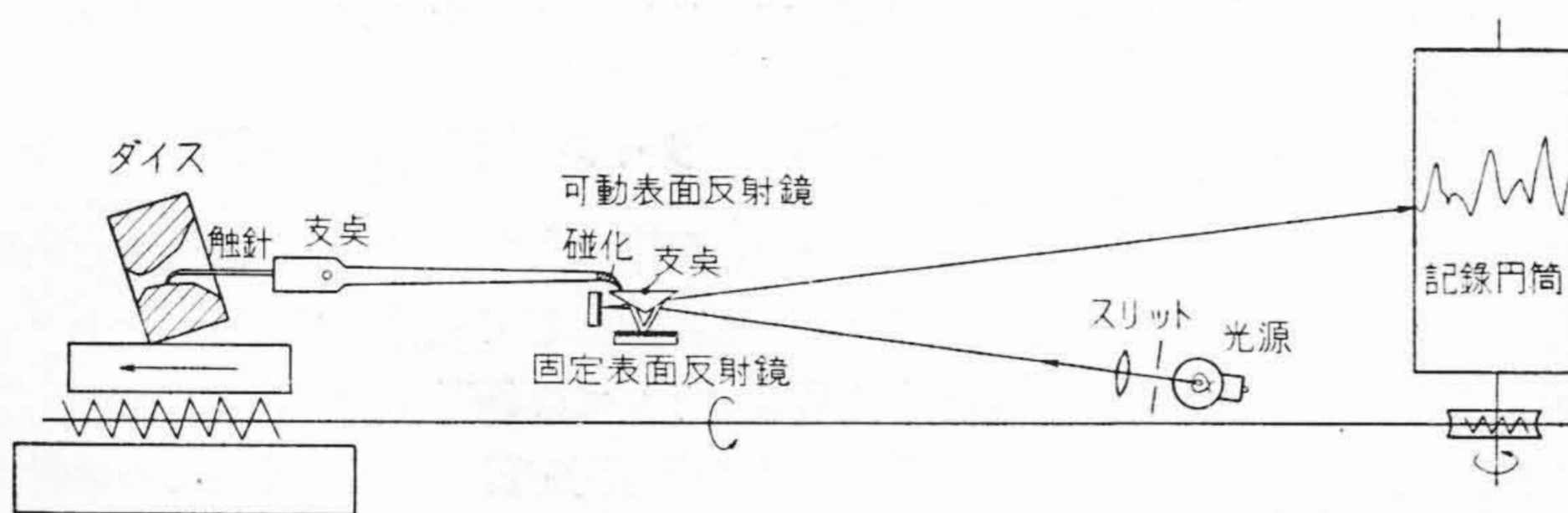
次にダイス孔の粗さ測定法としての顕微干涉計⁽²⁾の光学系統を第6図に示す。この測定器はダイス孔面の粗さを型取りして測定しダイス孔面の粗さを間接に推定する

* 特許出願中

第 3 表 ダイス孔面の粗さ測定器としての触針法と顕微干涉計との比較

Table 3. Tracer Method and Microscopic Interferometer Method as Surface Roughness Measuring Instrument of Die Holes

比較項目	触針法 (直接法)	顕微干涉計 (間接法)
被測定物	直径 1 mm 以上のダイス孔の測定は出来るがそれ以下の測定は難しい。	直径 1.5 mm 以上のダイスについてスンプ又は類似の方法で型取りして測定する。
拡大法	縦 機械挺子と光挺子 $\times 1,000 \sim \times 24,000$ (測定圧約 5~0.08 gr)	光波干涉
	横 歯車 $\times 55$ 及び $\times 113$ (2 段)	顕微鏡による撮影倍率 $\times 80 \sim \times 1,500$
粗さの測定範囲	$50 \mu \sim 1 \mu$ (100 s~1 s)	$3 \mu \sim 0.1 \mu$ (4 s~0.1 s)
測定に要する時間	試験片の送り速度 10 分/測定長 1 mm	露出時間 1~2 分

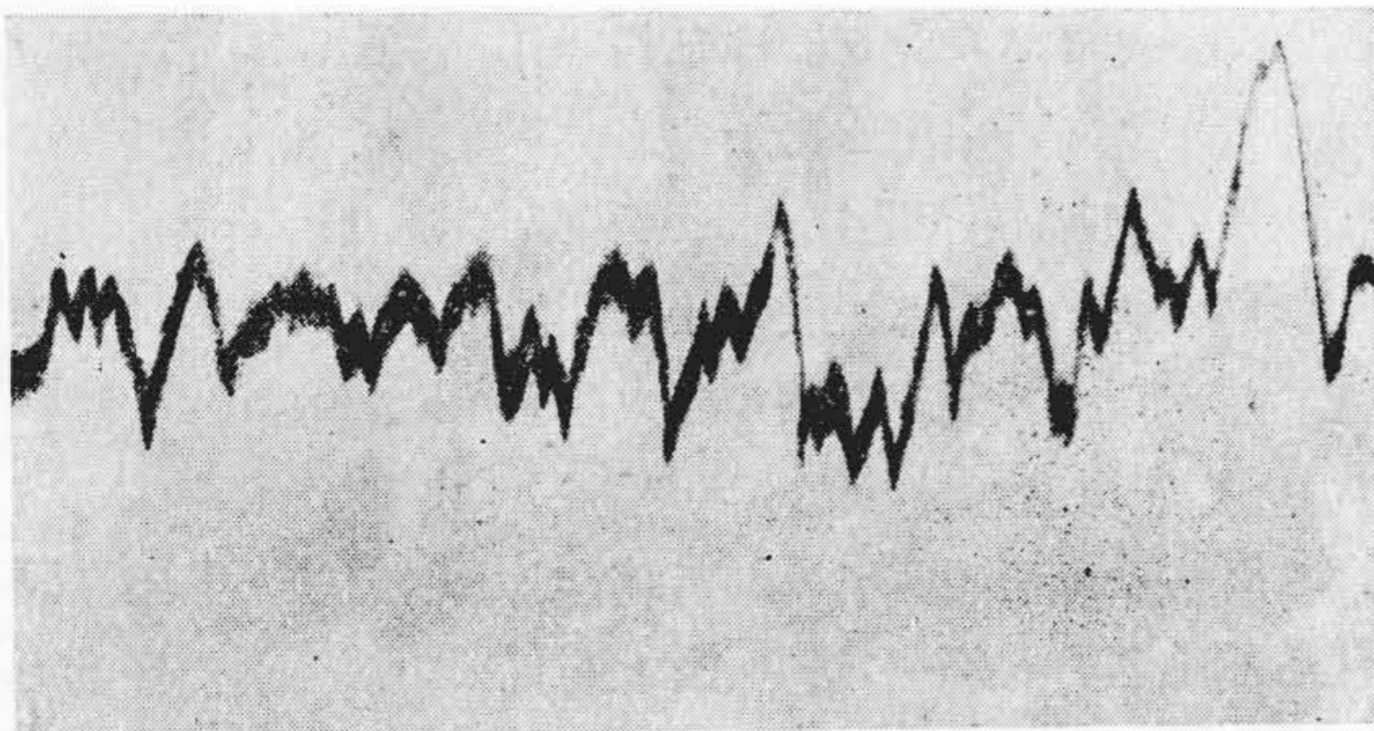


第 4 図 (左図)

触針式ダイス孔面粗さ測定
の要領

Fig. 4. (Left)

Essence of Tracer Type
Surface Roughness Measuring
Instrument of Die Holes



第 5 図 1.5 φ 合金ダイスの荒ラップ面
(倍率 縦方向 $\times 4,000$
横方向 $\times 113$)

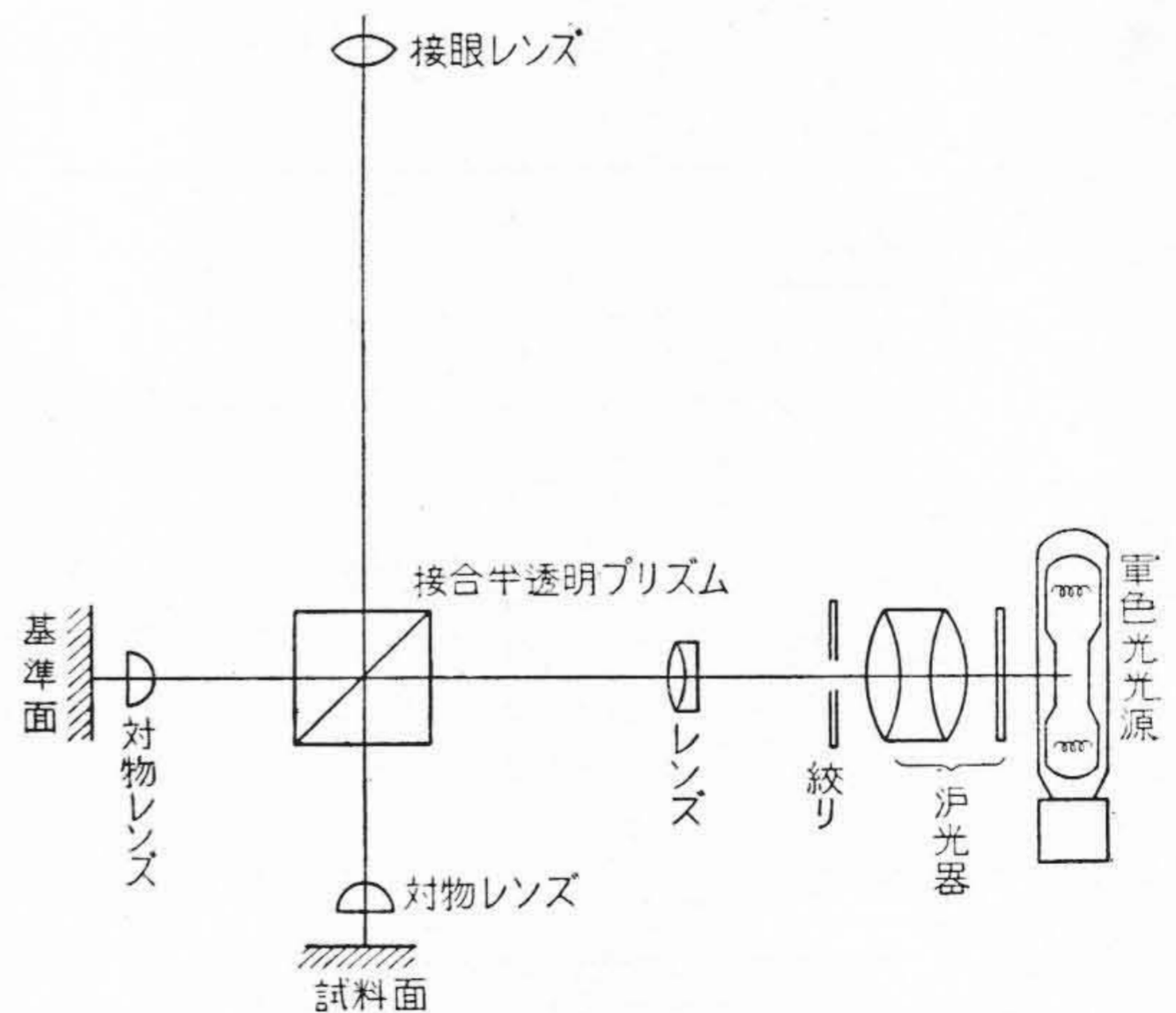
Fig. 5. Rough Lapped Surface of 1.5 φ (mm)
Tungsten Carbide Die
Magnification
Longitudinal Direction $\times 4,000$
Lateral Direction $\times 113$

ものであるがその測定例を第 7 図に示す。即ち第 7 図は直径 1.5 mm の合金ダイスの仕上面をスンプで型取りしたものの顕微干涉計写真であり、これを解析することによってダイス孔面の粗さを知ることが出来る。

参考迄にこれらの粗さ測定器を比較すると第 3 表となる。

[V] ダイス孔の真円度測定

ダイス孔の真円度測定についていろいろ検討した結果



第 6 図 顕微干涉計の光学系統図

Fig. 6. Optical System of Microscopic Interferometer

真円度の測定値をフーリエ級数法で解析するということの方針を定めて真円度測定器の試作に着手した。

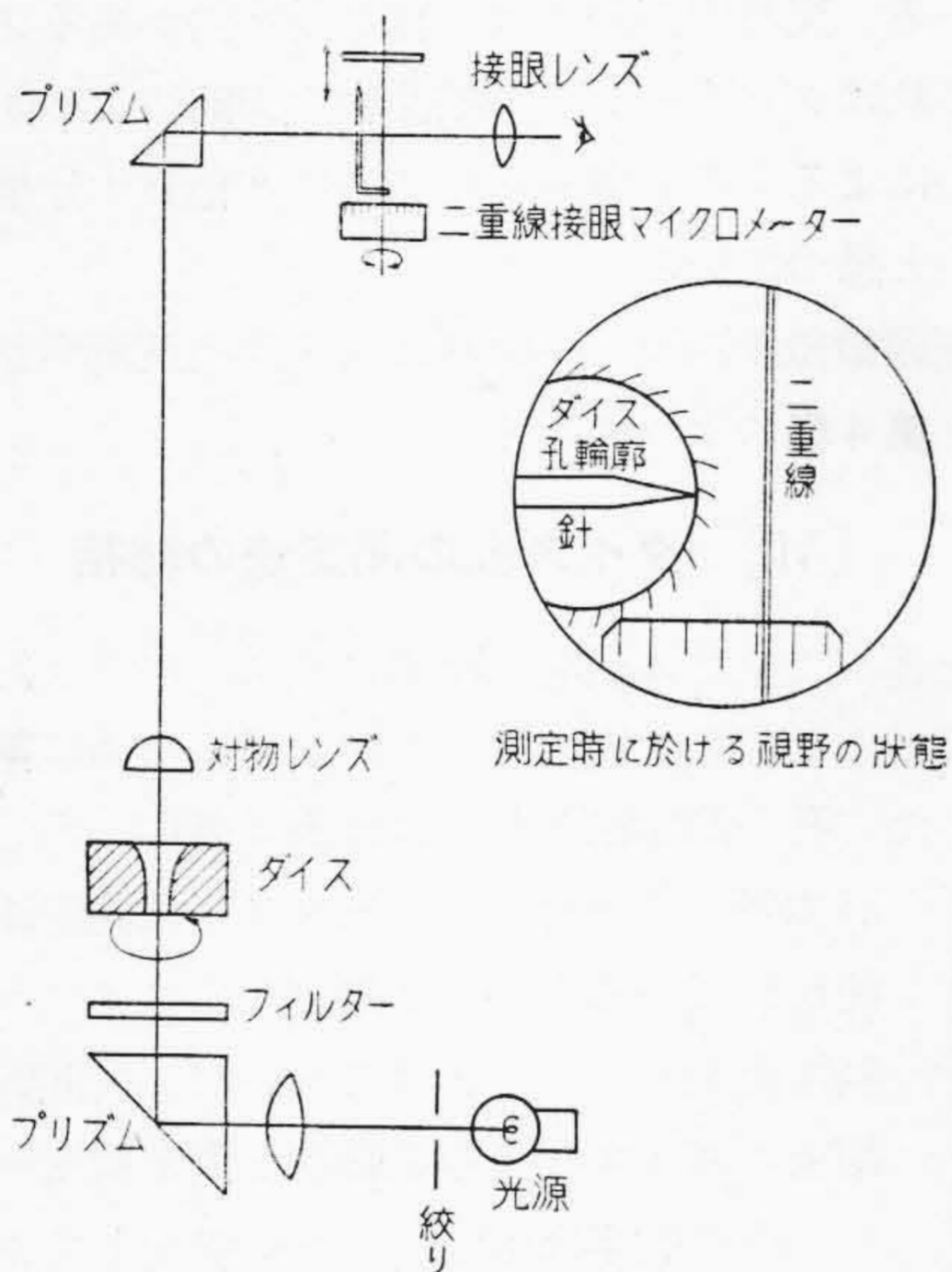
先ず最初に第 8 図のような光学系統をもつた真円度測定器を作つたこの測定器には測微顕微鏡を併用したので測微顕微鏡法と呼ぶことにする。

真円度測定に当つては最初に被測定ダイスの各回転角度に於ける輪廓の位置を第 8 図に示すように測微顕微鏡



第7図 1.5φダイス孔面の粗さ
(仕上ラップ面)

Fig. 7. Surface Roughness of 1.5φ (mm) Die Hole (Finish Lapped)



第8図 測微顕微鏡式真円度測定器の光学系統図
Fig. 8. Optical System of Micrometer Microscope Type Circularity Errors Measuring Instrument

につけた指針に合せて測定する。この値を直角座標— X 軸にダイスの回転角度を Y 軸に測微顕微鏡の読みをとる—toプロットして得られる曲線はフーリエ級数によつて表わされる。この曲線には被測定ダイスの取附の偏心に基く一次の正弦曲線とダイス孔の真円誤差とが含まれている。そこで取附の偏心に基く補正を考へる必要があるがこの補正項 x は(1)式によつて表わされる。

$$x = a_0 + a_1 \cos \theta + b_1 \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

但し

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{\lambda=0}^{n-1} y \dots \dots \dots (2)$$

$$a_1 = \frac{2}{n} \sum_{\lambda=0}^{n-1} y \cos \theta \dots \dots \dots (3)$$

$$b_1 = \frac{2}{n} \sum_{\lambda=0}^{n-1} y \sin \theta \dots \dots \dots (4)$$

故にダイスの真円誤差 Δ は(5)式によつて求められる。

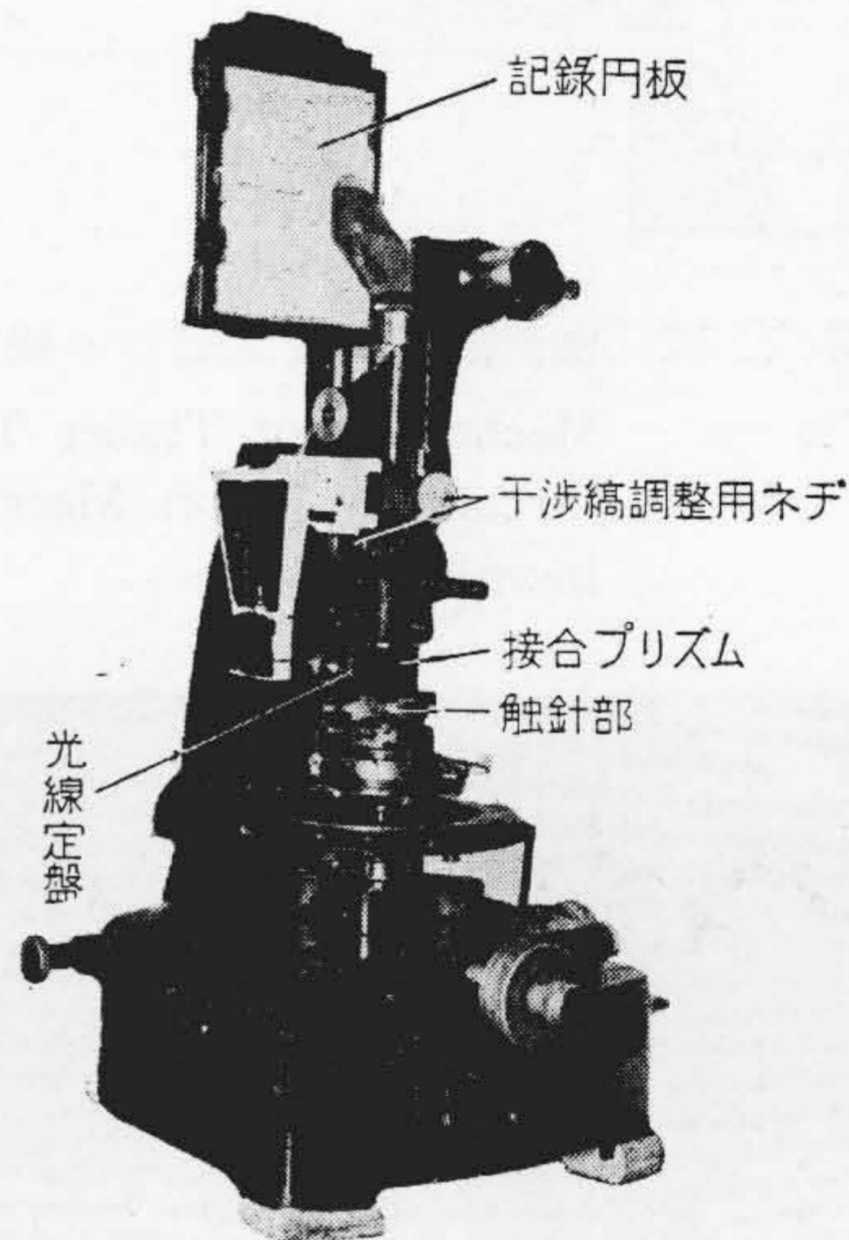
$$\Delta = y - (a_0 + a_1 \cos \theta + b_1 \sin \theta) \dots \dots \dots (5)$$

この測微顕微鏡式真円度測定器にはその機構上より次の2つの大きい欠点がある。

(1) ダイス孔の径が小さくなると回折現象を伴うために実用上 0.1φ(mm) 以下のダイヤモンドダイスの真円度を測定したいという要求には添わない。

(2) この測定法によると最小直径部の真円度を測つていふことになり任意の断面上の真円度を測定することは出来ない。

この欠点を補うために次に光波の干渉を応用した触針式真円度測定器を完成した*。同測定器を第9図に又その要領を第10図に示す。



第9図 ダイス孔の触針式真円度測定器
Fig. 9. Tracer Type Circularity Errors Measuring Instrument

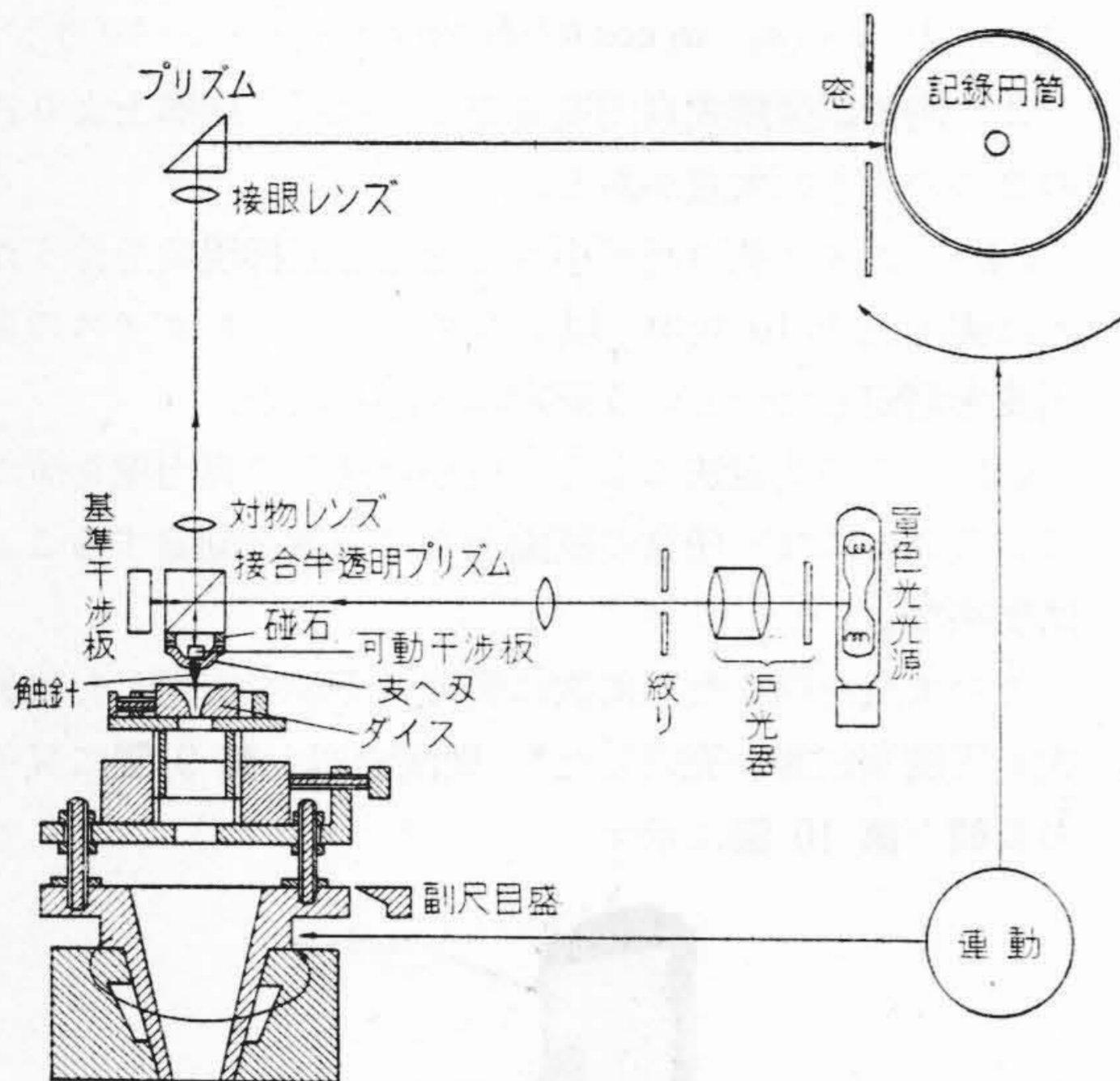
触針式真測定器を用いてダイヤモンドダイスを測定した測定例を第11図に又その解析要領を第12図に示す。第12図に於いてダイスの回転角度 0° に於ける縞に順位をつけ順位 m の縞—図では $m=3$ を示し、 $m=0$ に基線をとる—迄の高さ ϵ は $m\lambda/2$ (但し λ は使用した光の波長) に相当する。そこで順位 m の縞の回転角 0° に於ける位置を基点にして基線に平行線を引きこの平行線より任意の回転角度 θ に於ける縞 m の歪み距離 $d\epsilon$ —図では $\theta=80^\circ$ に於ける $d\epsilon$ を図示している—to測定すれば触針先端の変位 y は(6)式によつて求められる。

* 特許出願中

$$y = - \left(\frac{m\lambda}{2\epsilon^2} \cos^2 \theta \cdot d\epsilon \right) L \dots \dots \dots (6)$$

但し

L : 触針の長さ



第 10 図 触針式真円度測定器の機構
 Fig. 10. Mechanism of Tracer Type Circularity Errors Measuring Instrument

この y の値を使つて前述した顕微鏡法と同様にして真円誤差を求めることが出来る。

次にこの真円度測定器の精度を検討するために保証精度 0.2 μ (μ=1/1,000 mm) の SKF 鋼球——Zeiss パーチカルコンパレーターを用いて精度検定をしたところ真球誤差は ±0.15 μ であつた——の真円度を測定したところ第 13 図のようになりこの結果より本測定器の測定精度は ±0.2 μ 程度になつてゐることがわかる。なお同図には新しい市販のダイヤモンドダイスの測定例をも併記しておいたが、直径公差 ±2~6 μ 見当の製品(電線に用いる銅線の場合)を作るダイヤモンドダイスに ±2 μ 位の真円誤差があり、もつとひどいダイスになると ±8 μ 程度の誤差のあるものもあることが本研究の結果わかつてゐる。又真円誤差には一様な対称性があるようであるがこれはダイヤモンドの結晶軸の方向による耐摩耗性の違いによるものと考えられるので⁽³⁾他日十分検討してみたいと思つてゐる。

今測顕微鏡法及び触針法による真円度測定器を比較すると第 4 表のようになる。

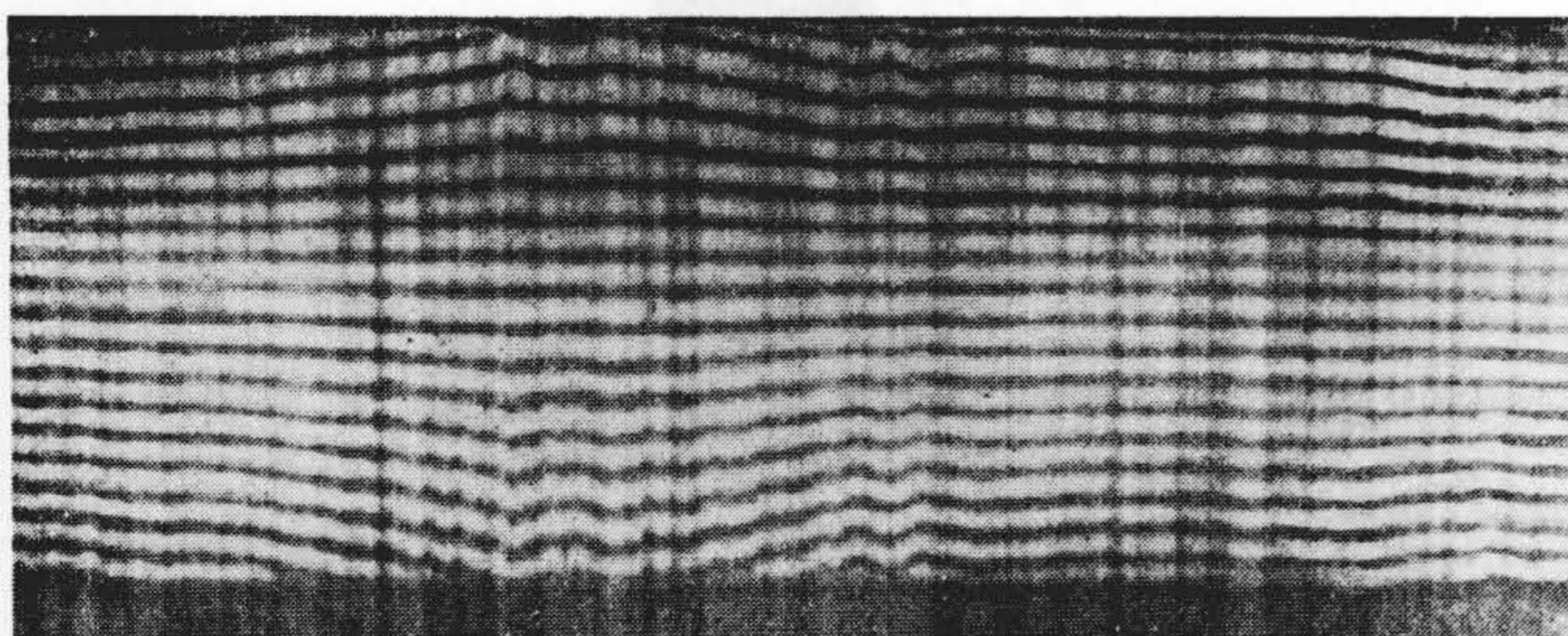
[VI] ダイスキの測定法の総括

以上述べて来た本研究の結果が内外のダイスキ測定法の中でどんな位置を占めてゐるかを見るために第 5 表をまとめた。孔の測定法としては同表以外にいろいろあるが本表にはその中で従来ダイスキ測定法として使われているもの及び無理なくダイスキ測定に利用出来るものをあげておいた。又同表には実用上のダイスキ孔の測定範囲と測定精度——但し()内の数字は推定——をも併記してある。

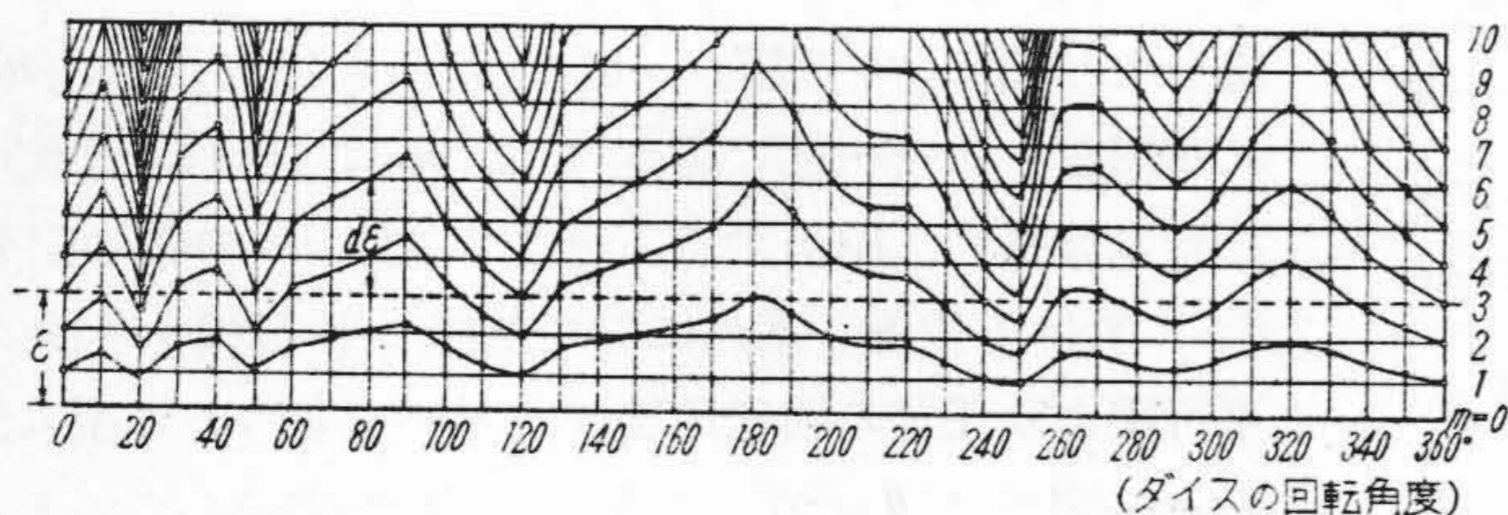
[VII] 結 論

以上を総括すると

- (1) 伸線用丸型ダイスキ孔の測定には直径・円筒部の長さ・ダイスキ角度・孔面粗さ・真円度の 5 つの測定諸元のあることを先ず確めて後従来の測定法を検討したところ直径を除き何等かの短所をもつてゐることがわかつた。
- (2) そこでダイスキ角度(円筒部の長さ測定を含む)・ダイスキ孔面粗さ・ダイスキ孔の真円度の測定法について検討を加え、それぞれの測定器を試作研究して何れも一応所期の目的を果し得るものを完成した。
- (3) ダイスキ角度測定器としては型取りした試片と目盛とを同時に投影拡大して測定する方式と触針式記録装置とによりこの目的を果した。



第 11 図 0.45 φ ダイヤモンドダイスキの真円度測定
 (記録円筒使用、波長 5890 Å)
 Fig. 11. An Example of Circularity Errors Measurement of 0.45 φ (mm) Diamond Die (Using Recording Drum and Wave Length 5890 Å)



第 12 図 干渉縞の変移に基づく解析
 Fig. 12. Analysis Based on Interference Fringe Distortion

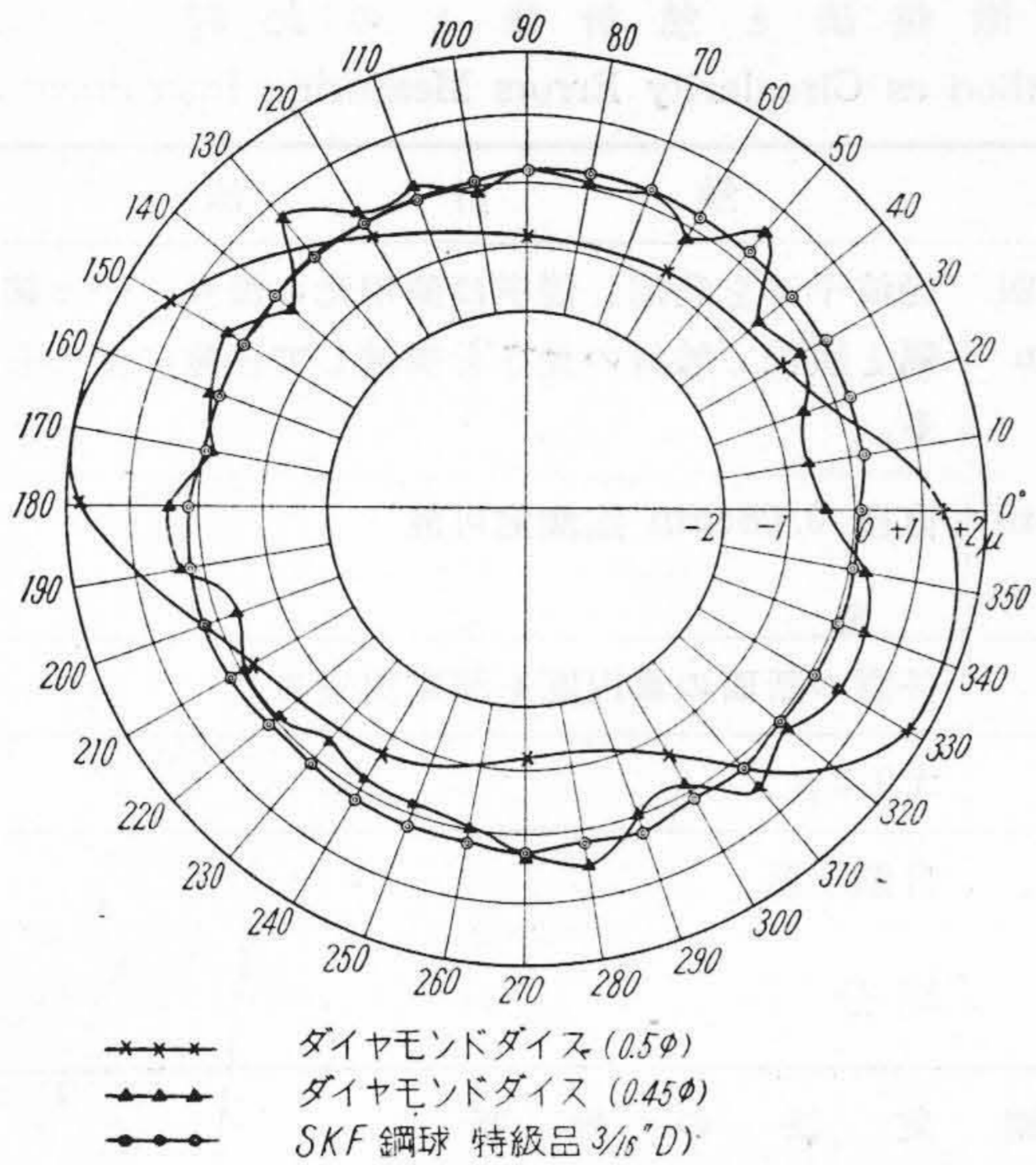
第4表 真円度測定器としての測微顕微鏡法と触針法との比較
Table 4. Micrometer Microscope Method and Tracer Method as Circularity Errors Measuring Instrument

比較項目	測微顕微鏡法	触針法
拡大法 (率)	顕微鏡及び接眼マイクロメーターによる。接眼マイクロメーターの一目盛は 25/100,000 mm に相当する。	光波干渉を利用、倍率は使用光の波長・干渉縞の幅と順位・触針の長さを加減して任意に変えられる。
孔径の測定範囲	直径 0.3mm 以上。但し無理をすれば 0.1mm 迄測定可能。	直径 0.08 mm 迄測定可能。
測定箇所	最大直径部分の真円度を測ることになる。	任意の断面の真円度を測定出来る。
測定精度	± 1μ	±0.2 μ
記録及び測定	肉眼測定	自動記録
測定に要する時間	円周を 36 等分して測定するとして 15 分	10 分

第5表 ダイス孔の測定法の総括
Table 5. Summarized Table of Measuring Methods of Die Holes

測定諸元	測定法の分類	測定法及び測定用機器	測定範囲	測定精度	
直 径	測 長 法	— マイクロメーター 革、米、パーミンガム ワイヤゲージ C. Leiss 回折マイクロメーター ⁽⁴⁾ N. P. L. トムリンソン法 Hilger アングルデッカーの利用 Zeiss 針金測定用顕微鏡 Zeiss, Krupp インヂケーチングマイクロメーター	制限なし 1~250 mil 0.1φ 以下 (細物用) (細物用) 0.5φ 以下 50φ 以下	(1 目盛 10μ) (1 目盛 1mil) ±0.2μ ±0.2μ ±0.5μ ±1μ (1 目盛 2μ)	
		直接法	C. Eisenhuth テーパー測定子法 ⁽⁵⁾ Zeiss 万能測定顕微鏡 Zeiss 等 測微顕微鏡 R. Lehmann 小孔内径測定器 ⁽⁶⁾⁽⁷⁾ (Askania) N. P. L. オートコロメーションを用いた内径測定法	— 0.1φ 以上 0.1φ 以上 0.05~8φ 2.5~13φ	— ±0.1μ ±1μ ±1μ ±0.8μ
	流量法	空気マイクロ法	田中・古谷 空気マイクロメーター ⁽⁸⁾	0.4~1φ	1~1.8μ
ダイ ス の 角 長 さ	型取 投影法	光学的 拡大 — 写真撮影法 — 理想曲線との比較 竹内(日立)万能測定顕微鏡 久本・柿崎直読式ダイス角度測定器	0.04φ 以上 " " "	±20' (直線ダイス) — — ±10' (直線ダイス)	
	触針法	機械的 拡大又は 光挺的 拡大 BISRA ダイス孔形状測定装置 ⁽⁶⁾⁽⁹⁾ (Hilger) H. Mucke パンタグラフ式ダイス形状拡大記録装置 ⁽⁶⁾ H. Mucke ダイス形状拡大記録装置 ⁽⁶⁾ 久本・柿崎ダイス角度測定器	0.5~6φ (2φ 程度以上) (1φ 以上) 1φ 以上	— — — ±5' (曲直線ダイス)	
孔 面 の 粗 さ	顕微鏡	— 低倍率顕微鏡 — 実体双眼顕微鏡	0.1φ 以上 "	— —	
	触針法	光挺的拡大	久本・柿崎、ダイス孔面粗さ測定器	1φ 以上 (1~50μ)*	±0.4μ
	型取法	光波干渉法	久本・柿崎、顕微干渉計	1.5φ 以上 (0.1~3μ)*	±0.05 μ
真 円 度	流量法	空気マイクロ法	小林・鈴木、空気マイクロメーター ⁽¹⁰⁾	(4.5φ 位以上) —	
	顕微鏡法	小林・鈴木、工具顕微鏡 ⁽¹⁰⁾ 久本・柿崎、測微顕微鏡式真円度測定器	0.1φ 以上 0.1~50φ	±1μ ±1μ	
	触針法	光干渉法	久本・柿崎、触針式真円度測定器	0.08~50φ	±0.2μ

* 粗さの測定範囲を示す。



第13図 真円度の測定例

Fig. 13. Some Examples of Circularity Errors Measurement

(4) ダイスの孔面粗さの測定については今迄に——従来は顕微鏡でのぞく程度——殆ど検討されていなかったが本研究に於いては特殊設計の触針法と型取りした試片を顕微干涉計で見ることにより十分実用になる測定器を完成した。

(5) ダイス孔の真円度測定については光干渉方式を応用した触針法——最初はダイスの内縁を光学的に見る測微顕微鏡方式を検討した——を採用し、その測定値をフーリエ級数法で解析して真円度を求めた。この測定器の精度は $\pm 0.2\mu$ を保証するものでありダイヤモンドダイスのような細孔にも適用出来るものである。

(6) 本研究を通して完成したこれらの測定器を内外の測定器と合せて世界に於けるダイス孔測定器の一覧表を作成して参考に供した。この結果によると真円度及び粗さの測定以外は英独の研究がかなり進んでいるといえ

る。

(7) 本研究は銅線等の製造工程に於ける伸線速度向上を目指しての伸線作業条件に関する研究の基礎固めであり、伸線作業に関する諸先輩の研究の穴を埋めるために行つたものである。

本研究を終るに当り種々御激励を戴いた日立製作所倉田社長、取締役馬場博士、日立電線工場前原工場長、内藤・岩田両部長、研究実施について御助言を戴いた東京大学教授大越諄博士、研究に協力された山本(三郎)君に深謝して筆をおく。

参考文献

- 1) 精密機械(特集号) 68~74 (昭 23.10)
- 2) 田中・日紫喜: 精密機械 17 (7) 229~233 (昭 26.7)
田中・日紫喜: 機械の研究 3 (7) 379~381 (昭 26.8)
伊藤: 精密機械(特集号) 49~51 (昭 23.10)
朝永: 機械試験所々報 4 (5) 155~157 (昭 25.9)
朝永: マシナリー 14 (4) 251~254 (昭 26.4)
- 3) W. F. G. Kerley: Wire Industry (Lond) 15 (177) 589~590 (Sept. 1948)
S. Tolansky, E. Austin: Nature 164 193 (1949)
- 4) 青木: 精密測定及び計測機器 147 (丸善・昭12)
- 5) C. Eisenhuth: Stahl u. Eisen 70 (25) 1153~1154 (1950)
- 6) W. Lueg: Stahl u. Eisen 70 (15) 633~640 (1950)
- 7) R. Lehmann: Microtecnic 4 (2) 97~106, (3) 120~129 (1950) (抄訳) 精密機械 17 (4-5) 154 (昭 26)
- 8) 田中・古谷: 機械学会論文集 13 (45) 235~245 (昭 22)
- 9) Wire Industry 15 (173) 311 (May 1948)
- 10) 小林・鈴木: 電気試験所彙報 15 (8) 737~748 (昭 26.8)

