

電線製造用ダイヤモンドダイスの真円度

久 本 方* 柿 崎 公 男**

The Measurement of the Circularity of Electric Wire Drawing Diamond Dies

By Tadashi Hisamoto, D.S.E., and Kimio Kakizaki
Hitachi Electric Wire Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

By way of an application of the method of the precise measurement of wire drawing die holes, which was introduced in the previous issue, the writers have conducted this time the research and experimentation covering the following items:

- (1) Measurement of circularity of electric wire drawing diamond dies.
- (2) Accuracy standard of the circularity of diamond dies.
- (3) Preliminary test for the relation between die hole shape and wear, aiming to contribute to the improvement of the wear resistance of diamond dies.

On the results of the above experiments, the writers have clarified the following:

- 1) The accuracy of the circularity of diamond hole finished by lapping is about $\pm 0.5 \mu$ ($\mu = 1/1,000$ mm)
- 2) The wear of diamond dies is characterized by the following facts:
 - (a) The grade of wear is not uniform on the periphery of die hole.
 - (b) The wear of die hole is symmetry to the center of true circle.

From these points the writers assume that the die hole gives different wear resistances by its different parts, the fact which affords a significant clue to the study on the mechanism of wear.

〔I〕 緒 言

電線製造用銅線の引抜条件を改善し、能率的精密伸線作業を確立する研究として今迄に伸線用ダイスの精密測定法⁽¹⁾⁽²⁾及び銅線引抜時に於ける摩擦⁽³⁾に就いて検討を加えて来たが、本報告に於ては伸線用ダイスの測定法の応用例として、市販のダイヤモンドダイスの真円度がどの位の精度に仕上がっており、又そのダイスがどんな経過をたどつて磨耗して行くかに就いて検討した結果に就いて述べる。

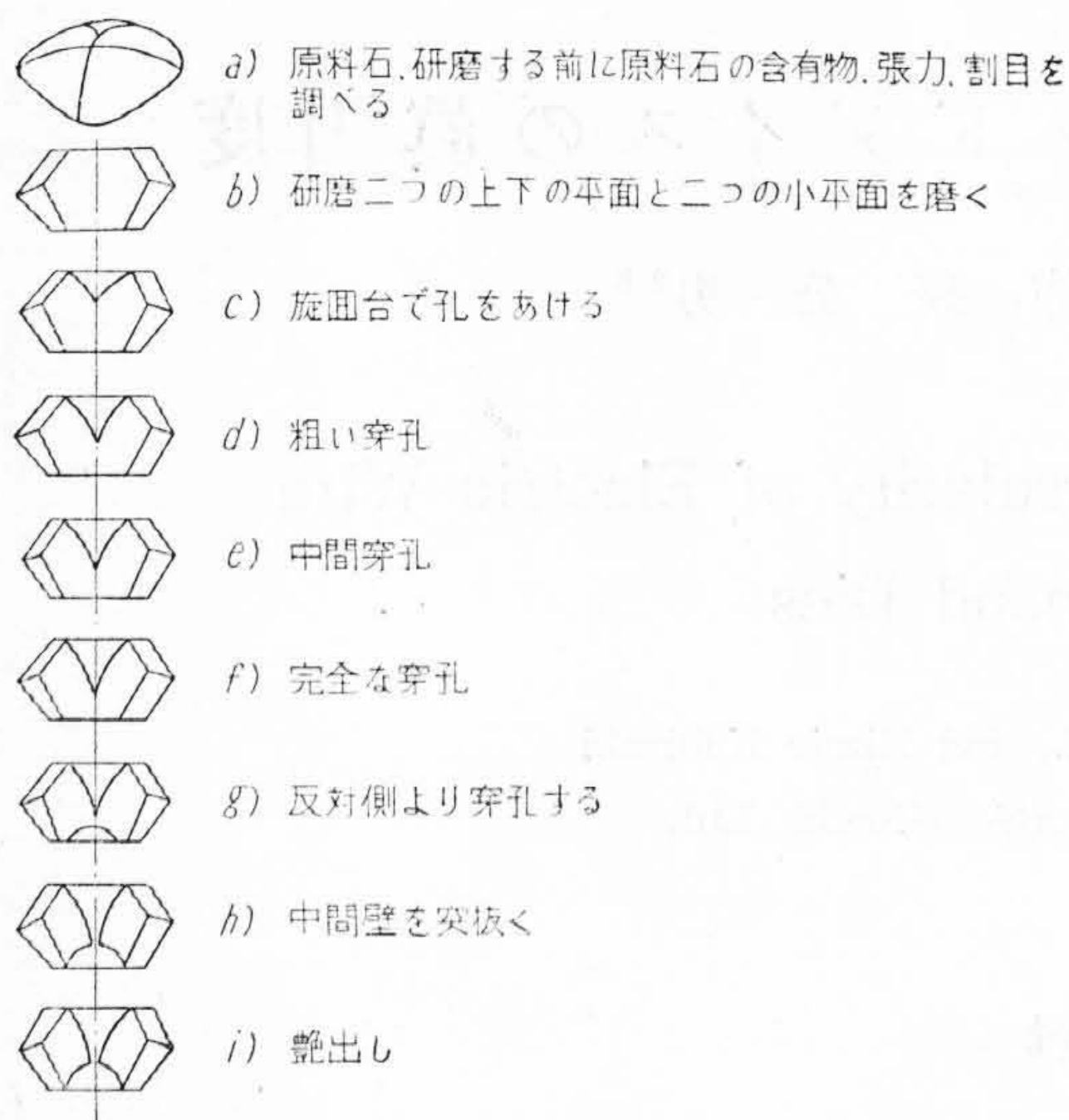
〔II〕 ダイヤモンドダイスの所要精度

(1) ダイヤモンドの加工

ダイヤモンドダイスはダイヤモンド原石を機械工作法でいうラッピング法によつて第1図(次頁参照)の段階を経て製作している。ところがこのラッピングはラップ剤がダイヤモンド粉末であり、ダイヤモンド粉末と原石との間の共摺りによつて仕上げられているので、その加工能率は極めて低い。即ち直径 $\frac{1}{100}$ mm ラップするに要する時間は数十時間程かゝるともいわれている。このことは逆に 1μ ($\mu = \frac{1}{1,000}$ mm) 程度の高い寸法精度をもつて仕上げ得ることを示しており、又この加工法で鏡面仕上が出来るという長所もそなえているともいえる。

* 日立製作所日立電線工場 工博

** 日立製作所日立電線工場



第1図 ダイヤモンドダイスの加工順序
Fig. 1. Working Steps of Diamond Dies

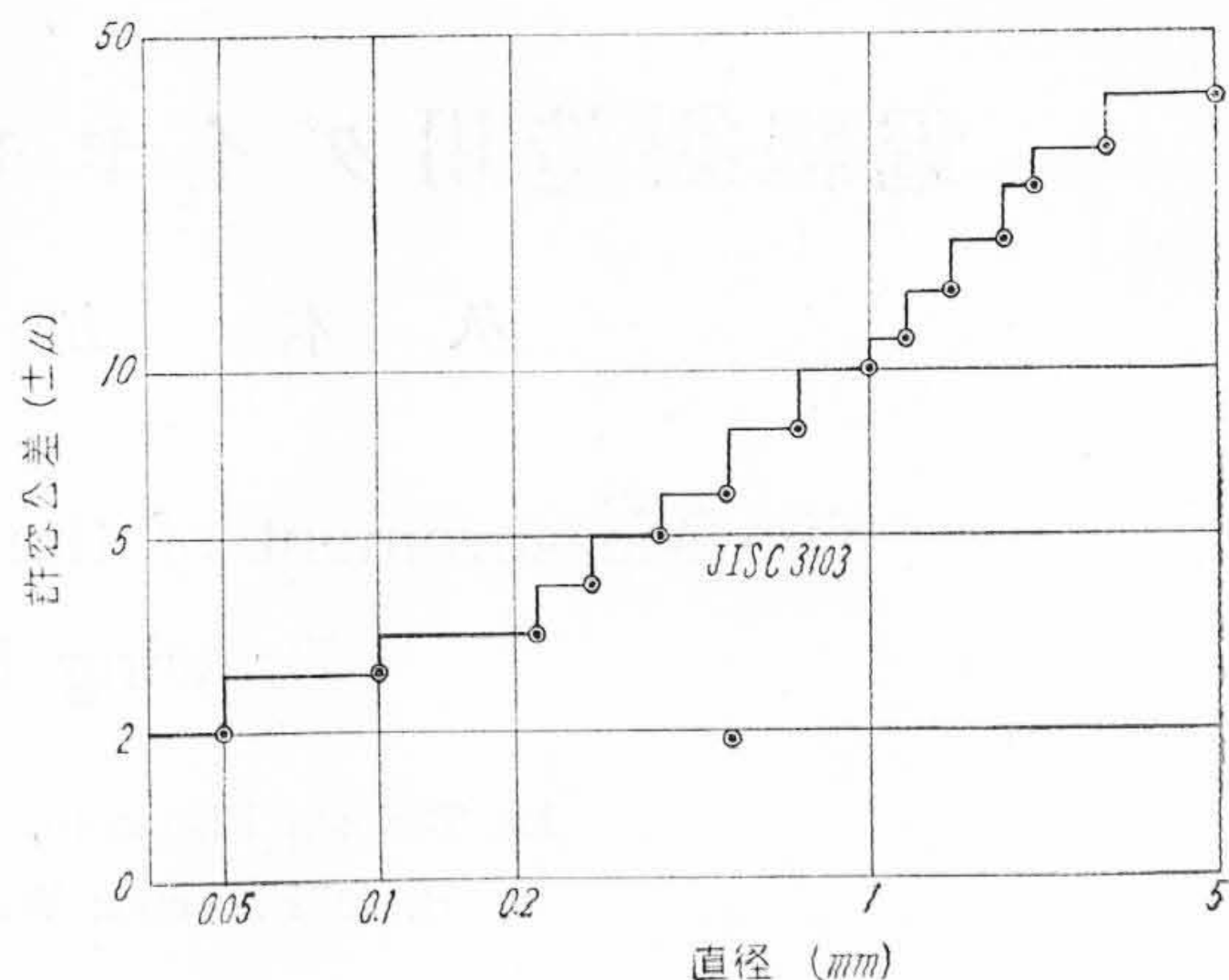
しかしながらダイヤモンド原石は等軸晶系に属し、その結晶軸の方向によつて耐磨耗性が違う⁽⁴⁾。ダイヤモンドのこの性質はダイス孔の真円精度を低下させ直径の仕上り寸法に大きな影響を与える欠点となつてゐる。この加工上の欠点を補うのに最近長足の進歩をして來てゐる放電加工法^{(5)~(14)}が極めて有効であるといえる。

(2) ダイヤモンドダイスの所要精度の考察

ダイヤモンドダイスを加工する際にも他の材質のダイスと同様に、伸線条件及び引抜線の用途によつて、ダイスの形状及び直径公差の所要精度が与えられる。第2図に電線製造に用いられている銅線に関する日本工業規格(JIS C 3103)を示す。この図のうちダイヤモンドダイスが用いられるのは細物素線(例えば 0.7 mmφ 以下)に限られるが、所要のダイス精度としては勿論この規格と同等又はそれ以上の公差を要求されている*。

次にダイス孔の直径と真円度(歪)との関係に就いて考察してみよう。直径及び真円度の定義は第1表に示す通りである。即ちここにいう直径とは円周の各部の直径の平均値であり、真円度とは理想真円に対する歪の度合である。なおこの直径の測定は歪円内の任意の一点を通り凡ゆる方向より測定したものである。このようにして得られる歪円の平均直径 $\bar{a}$ は $\pi \cdot \left(\frac{a_0 + a_1 + \dots + a_n}{2n} \right)^2$ に等しい面積を真円とした場合の直径を表わしている。

* 本論文に於て引細り(機械引した場合引抜線径がダイス孔径より小さくなる現象)の問題はダイスの形状(角度・平行部の長さ)及び引抜時の断面縮少率等より解決しなければならぬものと考え除外しておく。



第2図 電気機器差線用軟銅線の直径公差
Fig. 2. Tolerance of Drawn Copper Wire

しかしながらこの歪円の中心が定まらなければ各部の直径と真円度との関係は出て來ない。真円度を求めることは理想円の位置と歪円の位置関係を与えることで、同一箇所の直径及び真円度を測定した場合はその真円度の0基線は丁度 $\frac{a}{2}$ を半径とする真円に相当することになり、第1表(3)の関係が成立する。

又任意のダイス孔を考え、その平均直径は所要の公差範囲内にあるものとする。しかしながら真円度の悪い場合はその円周上のどこかで各部の直径が直径公差を超える部分が存在し得ることは容易に考えられる。このようなダイスではたとえ直径に於て合格したとしても良好な引抜線を得ることは出来ない、そこでダイス孔許容真円度として第1表(4)を得る。このように定めれば直径測定と相俟つて真円度測定を行うことにより購入ダイスの寸法精度上の良否を確実に判定出来るようになる。

以上考察した結果ダイス直径には製品直径の公差が、真円度には製品直径公差の $\frac{1}{2}$ の精度が要求されることになる。

〔III〕 真円度測定法の主要点

真円度測定には既報⁽¹⁾⁽²⁾の触針式ダイス孔真円度測定器を用いるのであるが、これをダイヤモンドダイスの真円度測定に用いて信頼し得る結果が得られるかどうかはいつに本測定器の精度とその測定技術とによるので、以下これらの諸点について述べよう。

(1) 真円度の測定誤差

真円度測定器の測定誤差は第2表に示すように触針法固有のもの、試料の取附調整によるもの、拡大記録法に基くもの、テーブルの運動状態に起因するもの等到大別して考えることが出来る。同表に於て、触針の撓みによ

第1表 真円度(歪)と直径との関係

Table 1. Relation between the Circularity (Errors) and Diameter

番号	比較項目	真円度(歪)	平均直径	摘 要
1	定 義	$\sum_{n=0}^n \pm \epsilon_n = 0$	$\frac{1}{n} \sum_{n=0}^n a_n = \bar{a}$	0 : 理想真円 a_n : 歪円内の一点 P を通つて測定された各部の直径
2	半径及び公差を与えた場合	同一形状の真円歪の値は与えられた円の半径に比例する $\frac{A}{B} = \frac{E}{\epsilon}$	$\bar{a} \leq 2(R + \delta_r)$ $\bar{a} \geq 2(R - \delta_r)$	$A \cdot B$: 与えられたそれぞれの円の半径 $E \cdot \epsilon$: A 及び B に於ける真円歪 R : 無公差円の半径 δ_r : 半径公差
3	真円歪と各部の直径との関係	$\frac{a'_0}{2} = \frac{\bar{a}}{2} \pm \epsilon_0$ $\frac{a'_1}{2} = \frac{\bar{a}}{2} \pm \epsilon_1$ $\vdots$ $\frac{a'_n}{2} = \frac{\bar{a}}{2} \pm \epsilon_n$		a'_n : 真円度測定によつて得られた歪円の中心(真円中心と一致する)を通つて測定される各部の直径
4	許容真円歪と許容直径公差との関係	$\pm \epsilon_{max} = \pm \delta_r$ 実用上は $\begin{cases} +\epsilon_{max} < +\delta_r \\ -\epsilon_{max} \geq -\delta_r \end{cases}$		δ_r : 半径公差

る誤差は、触針の変位 20μ までは全く無視して差支えないことを実験的に確めている。又触針の半径及び測定位置等に基づく理想曲線(正弦曲線)の歪み誤差 ϵ_y は(1)式によつて求められる。第3図(次頁参照)

$$\epsilon_y = \sqrt{R^2 - (X - x \cos \theta)^2} - \left\{ r \cdot \frac{\sqrt{(R-r)^2 - (X-x \cos \theta)^2}}{(R-r)} \right\}$$

$$+ \sqrt{(R-r)^2 - (X-x \cos \theta)^2} \} \dots \dots \dots (1)$$

但し R : ダイスキの半径(真円と仮定する)

r : 触針半径

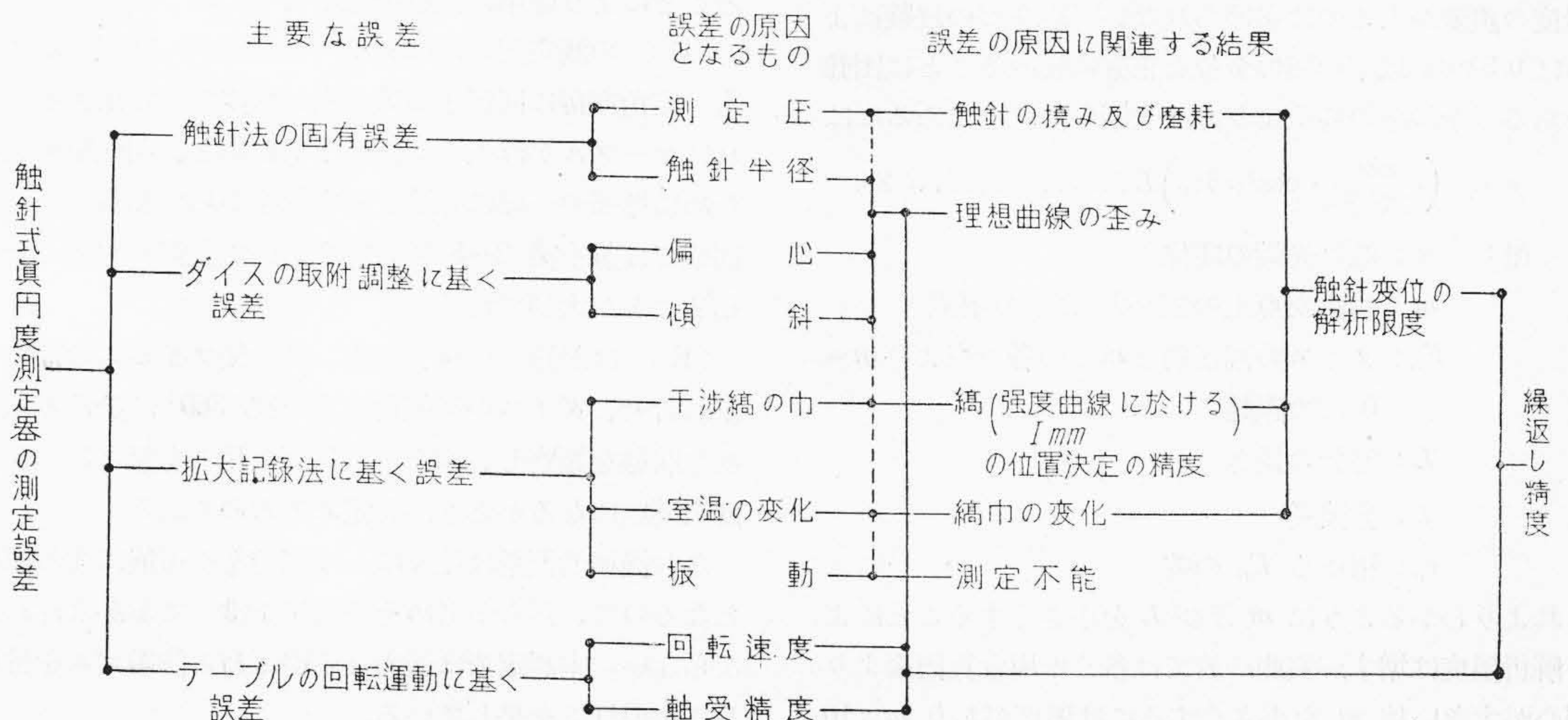
θ : ダイスキの回転角度

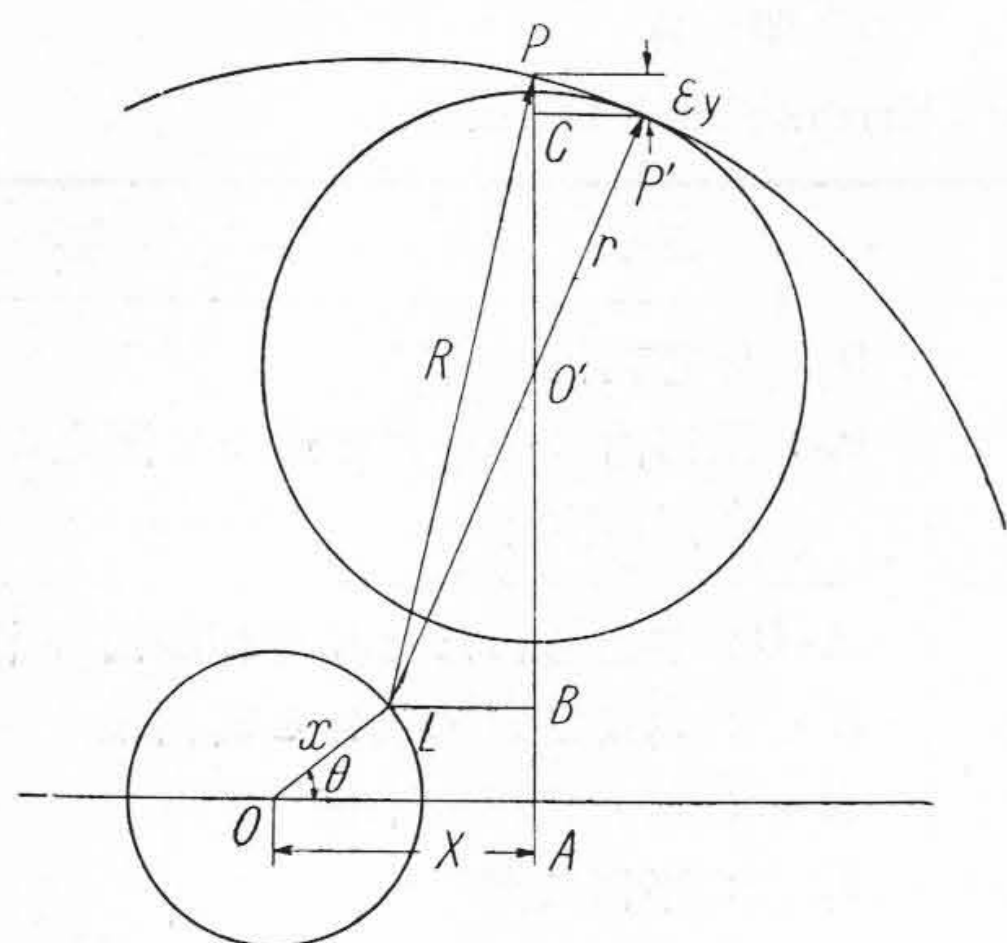
X : 触針の揺動面より偏心円中心迄の距離

x : 偏心円の半径

第2表 触針式真円度測定器の測定誤差

Table 2. Measuring Errors of Tracer Type Circularity Measuring Instrument





第3図 触針法の測定誤差

Fig. 3. Measuring Errors of Tracer Method

次にダイスの支持調整に際して、テーブルの回転面に対しダイス孔中心軸が直角とならない場合を考えると、(附属顕微鏡の焦点深度を利用してこの調整を行う)真円なものでも、絞り区間では卵形(直線ダイス)平行部では楕円形となる。平行部に例をとって楕円の長短軸の差を求めると、ダイス直径 0.3 mm 以上の大きい孔では 0.05μ 以下であるが、0.08 mm のダイス孔では 0.2μ 以上となる。心出調整は読取顕微鏡(接眼マイクロメータの一目盛が 0.25μ に相当するように顕微鏡の倍率を上げている、但し読取りの精度は 1μ 程度)によつて行い偏心を 2.5μ 以内に抑えることは容易である。触針の変位をどの程度迄知ることが出来るかは、触針部(特に支点)の精度が重要なものであるが、これは問題にする程の誤差はなく、主として記録された干渉縞の解析限度によつて定まる。干渉縞の変位は定規と物指を用いて測るがその誤差は主として干渉の強度分布に於ける I_{min} の位置決定にかゝる。本測定の干渉は単一反射干渉であり、その強度分布より相隣る I_{min} の距離の $\frac{1}{20}$ 程度の誤差が入るのは避けられない。現在迄の経験によれば 0.5 mm 以下の縞の変位を正確に読取ることは困難である。干渉縞の変位より触針先端の変位を求めるには

$$y = -\left(\frac{m\lambda}{2E_n^2} \cdot \cos^2\psi \delta\epsilon_n\right)L \dots\dots\dots (2)$$

但し y : 触針先端の変位

m : 触針支点上の縞 (0) よりの順位

E_n : ダイスの回転角と m との各交点より $m=0$ 迄の距離

L : 触針の長さ

λ : 光波長

ϵ_n : 相隣る E_n の差

これよりわかるように m 及び L を小さくすることにより解析限度は増すが実測に於ては多くの場合真円歪より偏心が大きい故 m を小さくするには限度があり $m=10$

~ 20 が用い易い範囲である。本拡大記録法では触針の変位を 0.05μ 迄明かに出来る、なお室温の変化にも注意しなければならないことは勿論である。

触針法固有の誤差はその特性をつかむことにより無視される程度 (0.1μ 以下) に出来、本測定器の精度は、その機構よりみて、回転台の運動が決定的なものとなる。そこで保証精度 0.2μ の SKF 鋼球を測定した結果テーブルの回転は同鋼球の真球度に匹敵するものであることがわかった。次に繰返し精度を見たが $\pm 0.2 \mu$ 程度であった。以上理論的、実験的に確めた結果ダイス孔直径が小さくなるに従い測定精度は低下するが $\pm 1 \mu$ 程度を問題とするダイヤモンドダイスの測定には十分信頼して使用出来るものであることがわかる。

(2) 真円度測定上の留意点

真円度の測定は次の順序によつて行われる。即ち

- (A) ダイスの取附調整
- (B) ダイス孔と触針の位置決定
- (C) 干渉縞の調整
- (D) 測定記録
- (E) 記録状態の検討
- (F) 干渉縞の解析と計算
- (G) 直角座標並びに極座標にプロットする

この中 (A)~(D) 迄の手順では若干の技術を要し、その巧拙は測定精度に影響するので特に注意しなければならない、尤も (A)(B) はダイスの直径が比較的大きい場合はその影響は少い。

(A) は心出及びダイス軸とテーブルの回転軸を平行にすることを目的としたもので測定者の習熟を必要とする。

(B) は (2) 式の X を $X < x$ の状態にする操作で、干渉縞の変化を観察しながら、ダイスを移動及び回転することにより簡単に調整出来るようになっている。

(D) の測定記録にはダイスを連続的に回転するよりも一定角度毎に回転する方が高い精度で測定出来る。これはテーブルが浮上つて回転するためと、回転駆動力のために機械の一部に弾性変形を起すからである。不連続回転では静止後 2~3 秒の間をおいて記録シャッターを切ることが大切である。

(E) は記録(現像、定着)終了後フィルムの前後を重ね合せ、ダイスの回転角度 0° 及び 360° に於ける縞の変化状態を観察し、測定中の温度変化の有無と、測定精度上問題になるかどうかを定めるものである。

なお機械的振動は往々にして測定を不可能にする原因となるので、あらかじめその対策を講じておかなければならない。本測定では適当な圧縮ばねと防震ゴムを併用してその目的を果している。

第 3 表 ダイヤモンドダイスの真円度

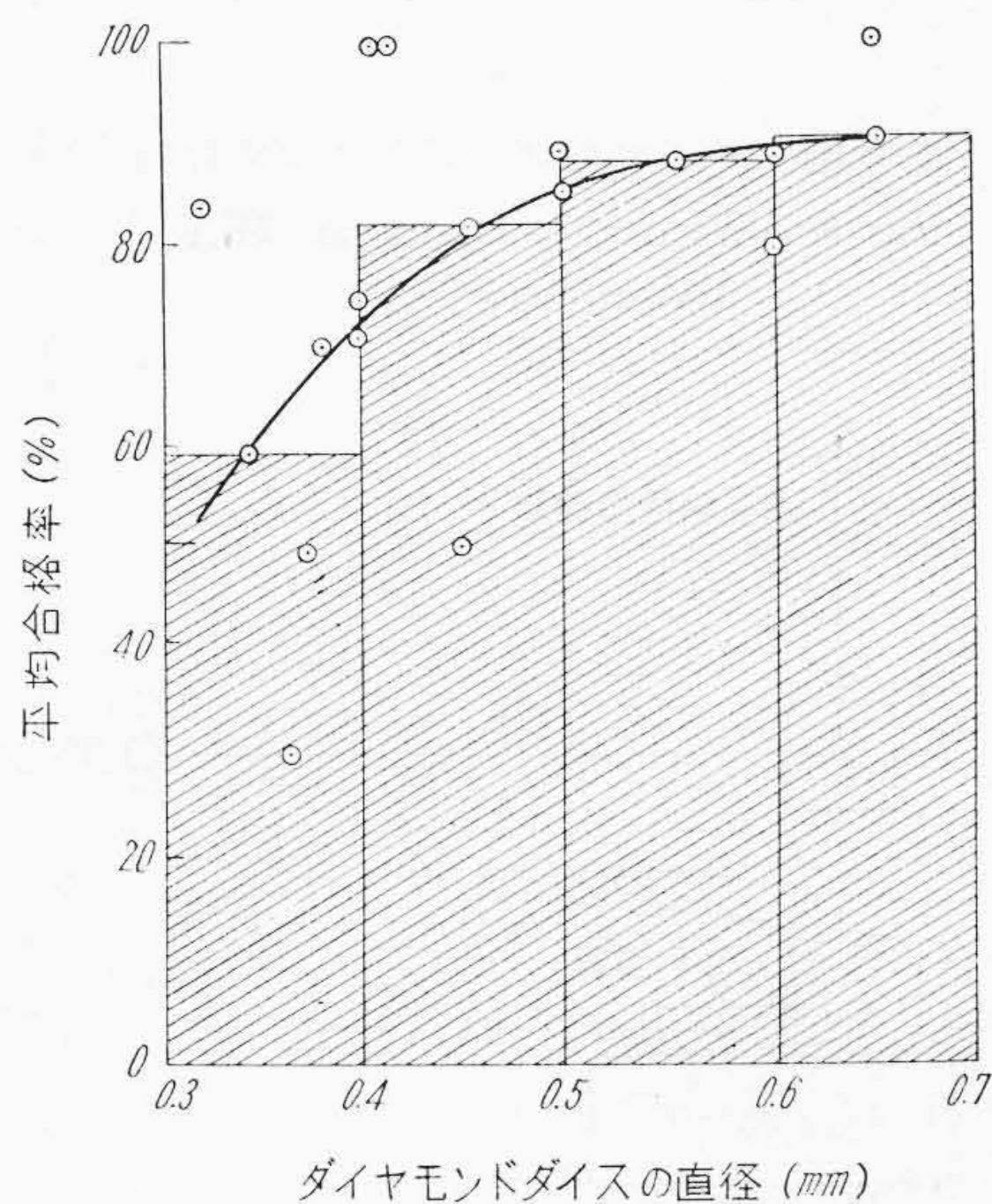
Table 3. Circularity of Diamond Dies

直径(mm)	平均眞円歪 (μ)				最大眞円歪 + (μ)												最大眞円歪 - (μ)										
	0.5	1	2	3	4	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
0.18	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.32	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.36	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.37	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.38	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.40	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.405	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.415	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.45	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.50	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.55	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.60	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.65	[Bar]				[Bar]												[Bar]										
0.70	[Bar]				[Bar]												[Bar]										

〔IV〕 ダイヤモンドダイスの真円度

(1) 測定結果の総括

本論文に於てその真円度を測定したダイヤモンドダイスは昭和 26 年に購入されたもの（新品）であり、その大半は A 社一部は O 社の製品である。



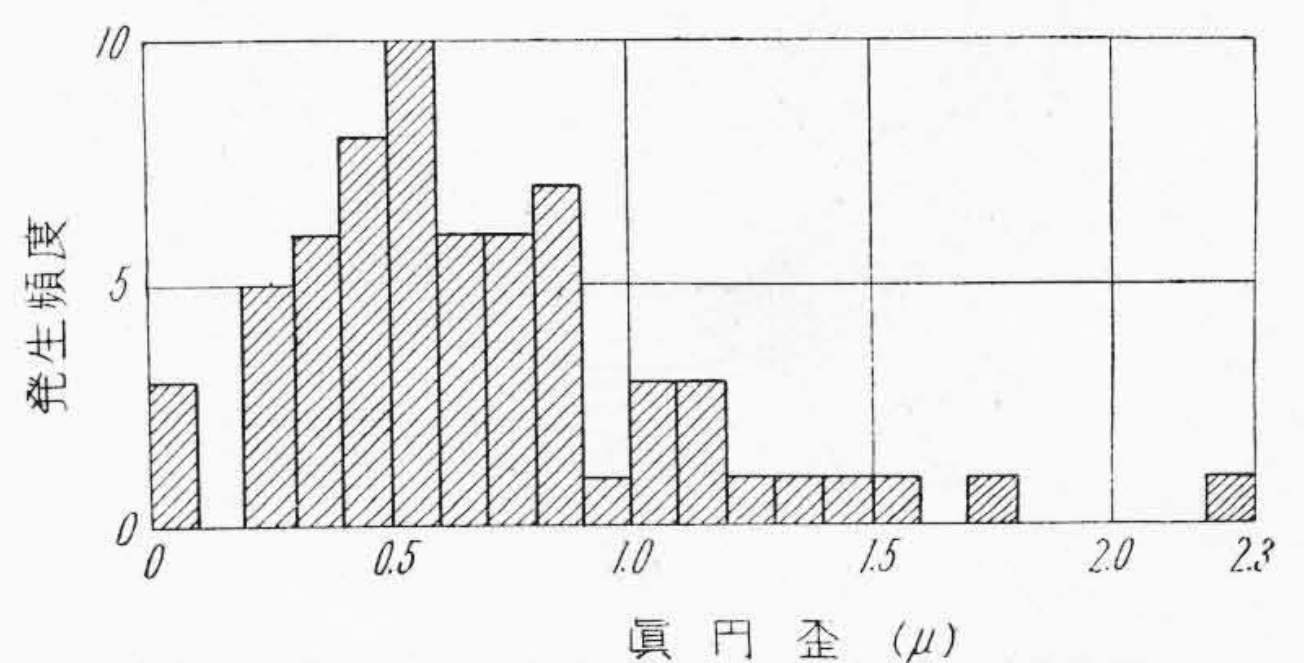
第4図 直径と真円度合格率との関係
Fig. 4. Relation between the Diameter and Good Dies Rate about Circularity

第 3 表に測定結果の一覧表を示す。なお同表に示した平均真円歪とは真円誤差の絶対値の平均であり、又同表中の点線は許容真円歪を示したものである。

これを概観していえることは最大真円歪の大きいものは平均真円歪も大きい（形状が極めて悪い）ということである。又真円度よりみた合格率は 73% となつている。

次にダイスの直径別にみた合格率と全般的にみた真円歪の発生頻度を第 4 図及び第 5 図に示す。これらの図よりダイヤモンドダイスの平均真円歪は 0.5μ 程度のものが多く、又直径別平均真円歪は $0.45\text{ mm}\phi$ のダイスが最もよい。

これは $0.45\text{ mm}\phi$ のダイスが特殊線（雷管用脚線）製造用として特に厳密な直径公差を定めてダイスメーカーに要請しているためと解され、他は各直径のダイス測定数が少いため明確な判定を下すことは困難である。



第5図 ダイヤモンドダイスの真円度
Fig. 5. Circularity of Diamond Dies

唯全般的に孔径が小さくなるに従い真円度合格率の減少する傾向は直径公差よりみて当然のことと思われる。これらの結果よりダイヤモンドダイスのラッピング加工法による真円精度は 0.5μ 程度と考えられる。

(2) ダイヤモンドダイスの真円度と磨耗

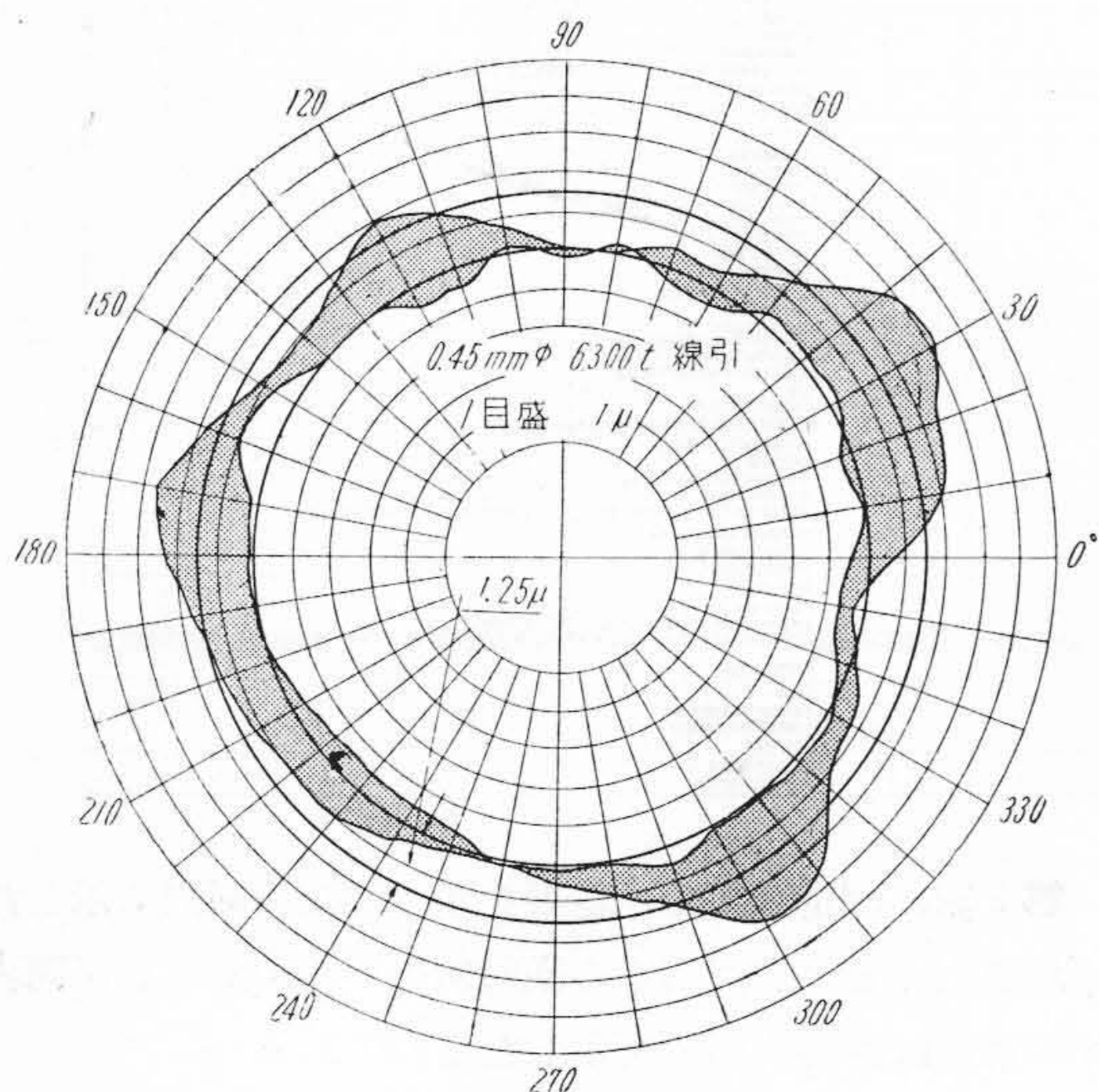
ダイヤモンドダイスの真円度が加工法及び加工機械の性能に左右されることは当然であるが、ダイヤモンドの特殊な被加工性による真円歪も無視することは出来な

い。又加工によつて出来た真円歪が引抜過程に於てどのように変化するかということは磨耗改善の見地より是非明かにしなければならない点である。

そこで磨耗調査の予備実験として引抜前後の真円度及び直径を測定したダイヤモンドダイスの磨耗状態を観察してみた。これを第6図、第7図及び第8図に示す。

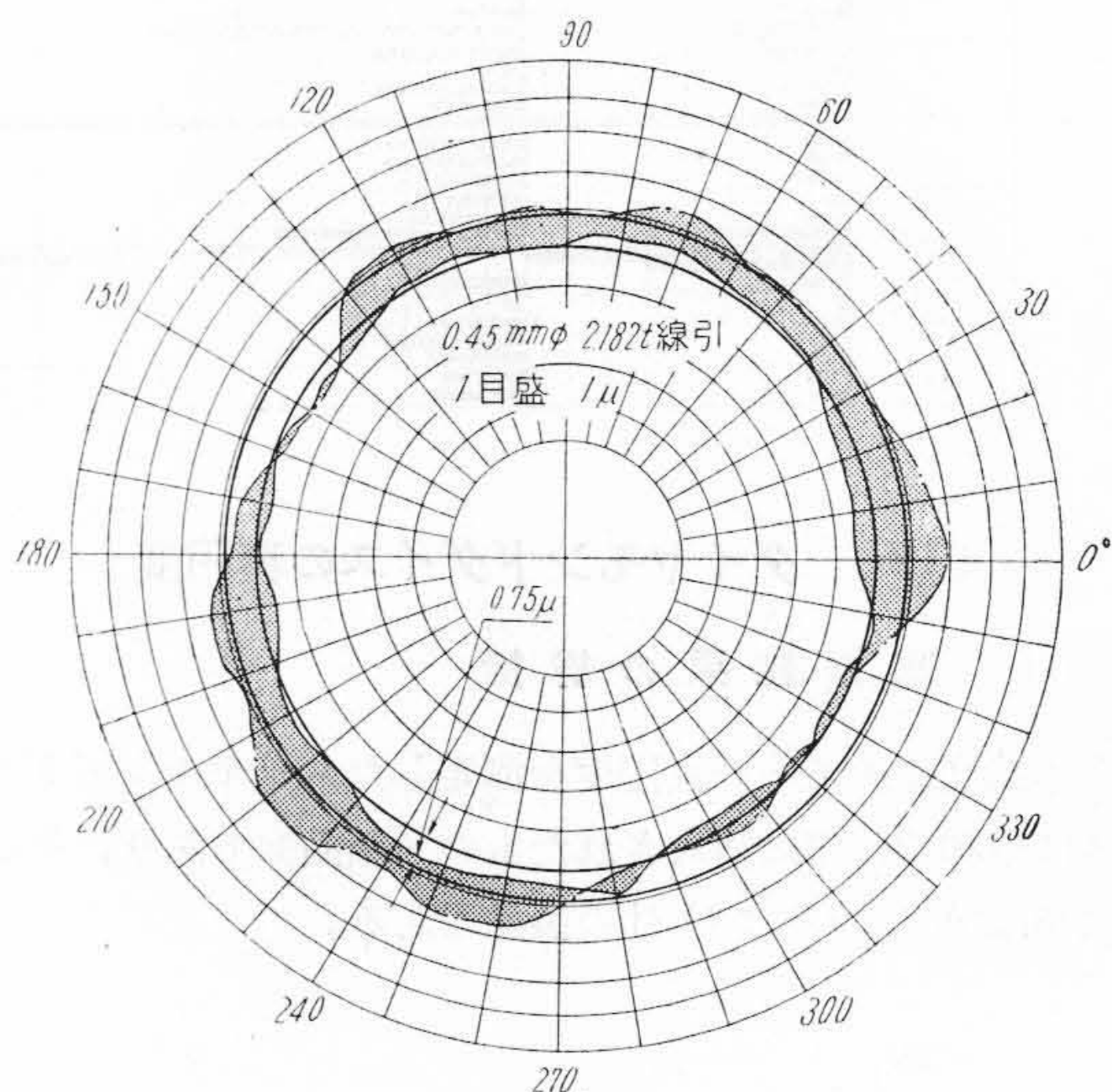
ダイスはA社製のものであり、真円度は最小直径部を測定し直径は引抜いた（手引）線に就いて第9図の要領で測定したものである。

これらの図で小さい歪円は引抜前（新品）の真円度であり、大きい歪円は連続伸線機によつて線引した後の測定結果である。引抜前後の平均直径の差は伸線量よりもダイヤモンドダイスの原石の良否が大きく響くものと考えられる。又ダイヤモンドダイスの磨耗形状は、凹凸が



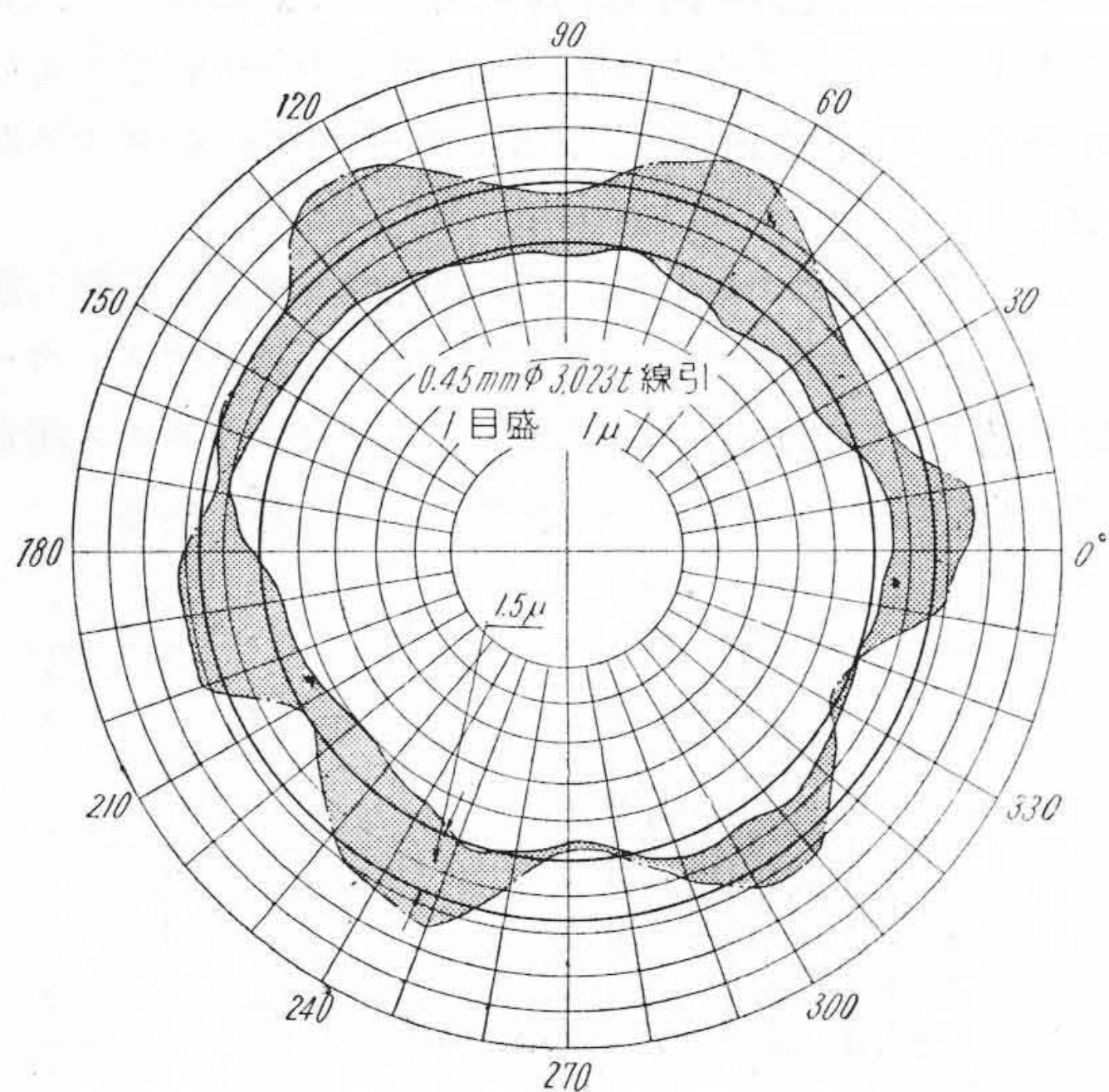
第6図 ダイヤモンドダイスの磨耗例 (1)

Fig. 6. Wear of Diamond Dies (Example 1)



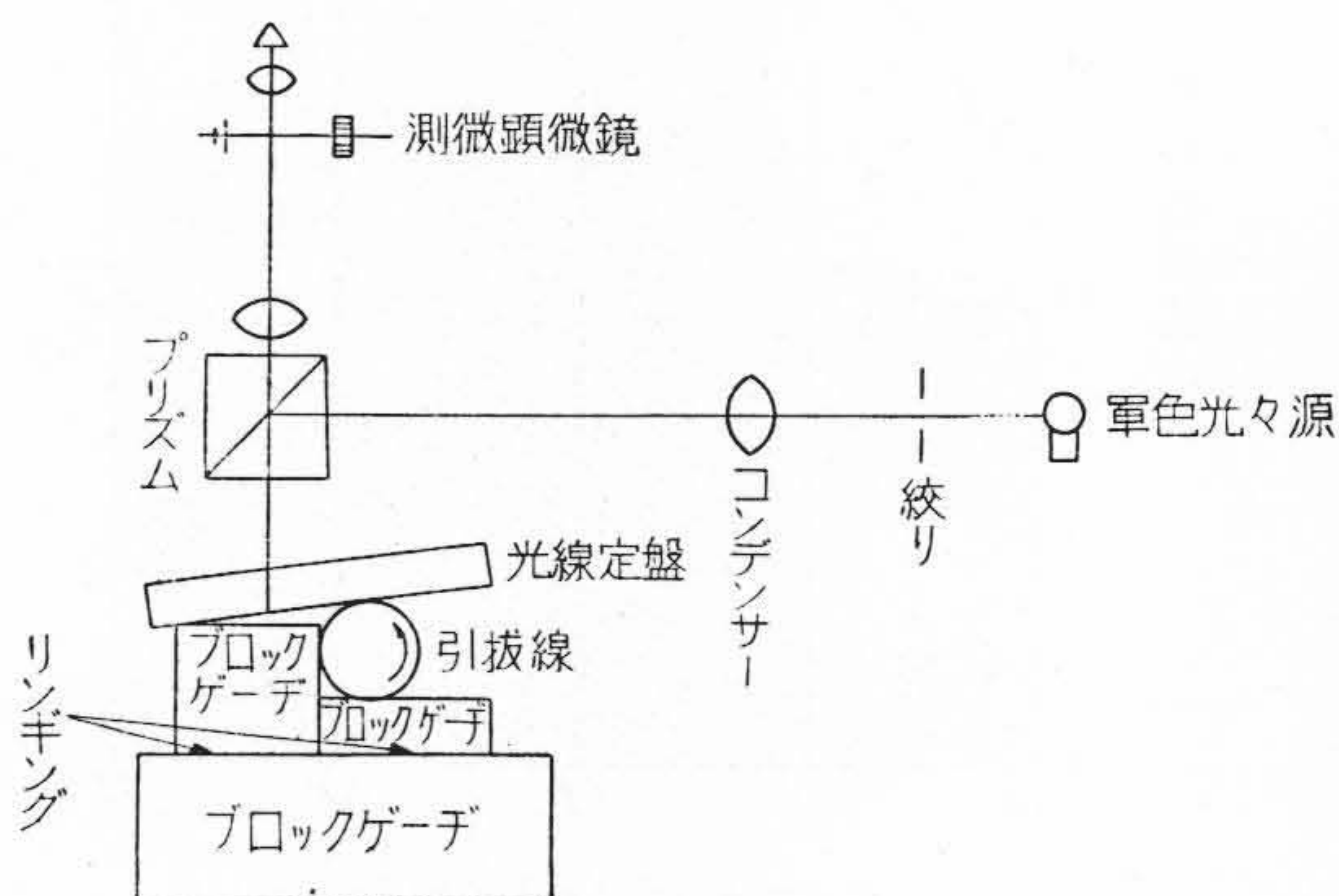
第8図 ダイヤモンドダイスの磨耗例 (3)

Fig. 8. Wear of Diamond Dies (Example 3)



第7図 ダイヤモンドダイスの磨耗例 (2)

Fig. 7. Wear of Diamond Dies (Example 2)



第9図 引抜線の直径測定要領

Fig. 9. Diameter Measuring Principle of Drawn Wire

著しく且真円中心に対し対照的であることが特長で、孔面各部の耐磨耗性を異にするためと考えられる。初期真円度との関係は真円歪が外ふくらみになつている方向に多く磨耗する現象がみられるが、この点に関しては結晶軸に対する穿孔角度を検討して明かにしたいと思う。

これらの真円度測定はダイス（ダイヤモンドを保持している金属部）に印をつけこれを顕微鏡で覗きながら測定器にとりつけ測定位置を一定に保つようにした。同図で磨耗が一部分逆に出ているのは測定が完全に同一箇所でないのと測定自体の誤差によるものと考えられるがこの程度の誤差は問題とならず今後の磨耗の研究に十分応用出来ることがわかつた。

〔V〕 結 言

ダイヤモンドダイスの精度に関する検討及び真円度測定の結果を総括すると次のようになる。

- (1) ダイヤモンドダイスのラッピング加工による精度は直径で $\pm 1\mu$, 真円度で $\pm 0.5\mu$ と考えられる。
- (2) 許容真円度として最大真円歪で直径公差の $\frac{1}{2}$ 以下とすることを提案する。
- (3) ダイヤモンドダイスの平均真円歪は 0.5μ のものが多く真円度合格率は直径公差が厳密になる程低下する。
- (4) $0.45\text{mm}\phi$ のダイスの例でもわかるように、購入ダイスの真円度はダイスメーカーの協力によつてよくして貰うことが出来る。
- (5) ダイヤモンドダイスの磨耗形状は凹凸が著しく孔面の各部の耐磨耗性を異にし、ダイス寿命には初期真円度が問題となろう。

なおダイヤモンドダイスの形状と磨耗に就いては追つて報告する予定である。

終りに臨み本研究に関し終始御激励御鞭撻を戴いた日立製作所日立電線工場内藤・岩田両部長、貴重な助言を戴いた山本主任、実験に御協力下さつた結柴主任、藤田恒義君に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 久本、柿崎：精密機械 **18** (10) 321~329 (昭 27)
- (2) 久本、柿崎：日立評論 **34** (4) 595~602 (昭 27)
- (3) 久本、柿崎：日立評論 **35** (5) 847~857 (昭 28)
- (4) G. Grodzinski, W. Stern: Nature **164** 193~194 (July, 30, 1949)
- (5) Mech. World **128** (3318) 147~148 (1950)
[Abst.] J. Inst. Met. (Dec. 1950) Met. Abst. **18** (4) 308
- (6) Wire Ind. Encyclopaedic Handbook 250 (1951)
- (7) Wire Ind. **18** (206) 137. (Feb. 1951)
- (8) H. V. Harding, V. E. Matulaitis: Amer. Machinist **96** (5) 136~141 (March, 3, 1952)
- (9) 広瀬：OHM **39** (7) 578 (昭 27. 6)
- (10) 前田、中山：四学会連合塑性加工講演会 (昭 27. 11. 7~8) 用前刷 97~100
- (11) 前田、中山：同上 101~106
- (12) Machinery **81** (2069) 57~61 (July, 10, 1952)
- (13) R. E. Leeds: Metal Industry **81** (8) 147~148 (Aug. 22, 1952)
- (14) M. G. Seed: Amer. Machinist **96** (23) 159~160 (Nov. 10, 1952)



『日立評論』 水力発電機器特集号 別冊 No. 5

我国の豊富な水力を原動力としての水力発電は益々国策上からも重要な使命を帯びてきております。日立製作所に於ては戦前より卓越せる技術を以つて水力発電機器の製作に当つて参りましたが、戦後は更に各種の記録的な製品を完成し、斯界のエボックメーカーとして注目されております。本誌はさきに Vol. 32 No. 12 に「電源開発特集号」を発行、水力発電に関する劃期的なルポルタージュとしましたが、今回はその後の日立技術の成果を収録して「日立評論」別冊 No. 5「水力発電機器特集号」として来る 11 月中旬発行することになりました。

内容は下記の通り本文約 160 頁、写真図版約 400 枚を収録した集大成で、別冊 No. 4「火力発電機器特集号」の姉妹篇であります。何卒本誌同様御愛読願います。

◆ 内 容 ◆

- | | | | |
|------------------------|--------------------------------|-----------------|----------|
| ◎ 水力発電所建設に就いて..... | 電源開発公社 | {新桑 原武雄 | 進 |
| ◎ 最近の水力発電機器概観..... | 日立製作所・日立工場 | {小森 谷亨 | 正 |
| ◎ ペルトン水車..... | 日立製作所・日立工場 | {田中 重三夫 | 夫 |
| ◎ カプラン水車..... | 日立製作所・日立工場 | {深山 栖俊一 | 爾 |
| ◎ フランシス水車..... | 日立製作所・日立工場 | 深 栖 俊 一 | |
| ◎ 最近の水車発電機..... | 日立製作所・日立工場 | 菊地 弥十郎 | |
| ◎ 発電機保護用高速度継電器..... | 日立製作所・多賀工場 | 辻田 正一 | |
| ◎ 最近の電力用変圧器..... | 日立製作所・日立工場 | 首藤 清 | |
| ◎ 最近の遮断器及び開閉器..... | 日立製作所・日立国分分工場 | 桑山 正俊 | |
| ◎ 最近の制御装置及び配電盤に就いて.... | 日立製作所・日立国分分工場 | 森山 一夫 | |
| ◎ 最近の発電所用計器に就いて..... | 日立製作所・多賀工場 | 辻田 正一 | |
| ◎ 搬送保護継電方式..... | 日立製作所 {日立国分分工場
戸塚工場
多賀工場 | 川中 井晴雄
猿渡 信房 | 雄夫
吉茂 |
| ◎ 遠方監視制御装置..... | 日立製作所 {日立国分分工場
戸塚工場
多賀工場 | 三田 勝信
谷沢 尊生 | 茂夫
生郎 |
| ◎ 最近の水力発電所用起重機..... | 日立製作所 {亀有工場
日立工場 | 横村 沢源
吉田 敏正 | 一郎
雄吉 |
| ◎ 最近の水力発電所用建設機械..... | 日立製作所・亀有工場 | {阿部 哲一
赤木 | 義進 |

東京都千代田区丸ノ内1の4
(新丸ビル7階)

日立評論社

誌代特集号1冊 ¥100 円16
(振替口座東京 71824 番)