



Title	弾性砥石による表面仕上に関する研究（第2報）：ガラス研摩における最適砥石条件
Author(s)	勇田, 敏夫; Yuta, Toshio; 斎藤, 勝政 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 42, 11-27
Issue Date	1967-01-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40809
Type	departmental bulletin paper
File Information	42_11-28.pdf



弾性砥石による表面仕上に関する研究 (第2報)

— ガラス研摩における最適砥石条件 —

勇 田 敏 夫**

斎 藤 勝 政*

中 村 常 郎***

Study on Surface-finishing with an Elastic Wheel (II)

The optimum condition of Mirror finishing of
Glass with a PVA Wheel.

Toshio YUTA

Katsumasa SAITO

Tsuneo NAKAMURA

Abstract

The PVA wheel has excellent polishing characteristics for the mirror-finish of glass. This wheel consists of agglomerated abrasives using foamed polyvinyl acetal resin as the bond material.

As well known, the polishing characteristics of the PVA wheel is greatly influenced by its composition. However, inasmuch as the PVA resin used as the bond material is sensitive to the environment, it is somewhat hygroscopic.

A series of experiments was carried out to find a key to the optimal performance of the PVA wheel under various conditions.

The results were as follows :

(1) The polishing characteristics of the PVA wheel were found to be very sensitive to the atmospheric humidity. Hence, the composition of the wheel material was changed according to the humidity to obtain good polishing characteristics.

(2) The average mechanical properties of the PVA wheel having excellent polishing characteristics were as follows regardless of their composition.

γ_1 (instantaneous rigidity) = 1.8 kg/mm², γ_2 (retarded rigidity) = 7.5 kg/mm² and η (viscosity) = 1.9×10^{12} poise.

(3) The PVA wheel worked satisfactorily, only when its surface was somewhat hardened by rubbing. The hardened surface had an apparent spring constant of around 0.5 kg/mm measured by a spherical indenter.

* 精密機器学第一講座

** 北海道大学工業教員養成所

*** 職業訓練大学校

目 次

1. 緒 言	12
2. 最適研磨条件	13
2-1 実験方法	13
2-1-1 実験条件	13
2-1-2 実験装置と実験方法	13
2-2 実験結果と考察	14
2-2-1 研磨面の性状とその判定	14
2-2-2 研磨条件と仕上面の関係	15
3. 最適条件における PVA 砥石の力学的性質	16
3-1 解析方法	16
3-2 実験方法	17
3-2-1 ねじり試験	18
3-2-2 軽荷重押し込み実験	19
3-2-3 重荷重押し込み実験	19
3-3 実験結果と考察	20
3-3-1 砥石組成の力学的性質に及ぼす影響	20
3-3-2 雰囲気の力学的性質に及ぼす影響	23
3-3-3 最適研磨砥石の力学的性質	23
4. 結 語	26

1. 緒 言

近年の精密加工法，特に金属材料の鏡面仕上げにおける加工精度および生産性の向上については目ざましいものがみられる。しかしガラスの鏡面仕上げ加工には従来からのピッチ皿による研磨法が依然として用いられており，これはかなり経験や熟練を必要とすること，また加工能率が低いことなど，いくつかの問題点が残されている。

筆者らの一人は，先にピッチ皿の代りに弾性砥石として PVA 砥石を用いたガラス研磨¹⁾に成巧し，また CG 方式 (Curve Generator) を利用したレンズの高速乾式研磨²⁾の可能性を見いだしている。この PVA 砥石を用いた乾式研磨法は単に加工能率を改善するのみならず，従来の湿式研磨法に比べて研磨面のヤケの少ないことが利点としてあげられている。

PVA 砥石は結合剤がプラスチックであるところからレジノイド砥石に分類³⁾されるが，また微細な気孔を持つところからスポンジボンド砥石ともいわれるものである。PVA 砥石が多孔質であるところから他の砥石に比べると高弾性的な挙動を示し，その特性によるたわみ性や緩衝性から，従来困難であった軟質金属や不銹鋼の粗研削，仕上研磨に使用されている⁴⁾。

PVA 砥石は PVA (Polyvinyl Alcohol) をフォルムアルデヒドでアセタール化した PVAc (Polyvinyl Acetal) を結合剤として使い，砥粒を混入した状態で発泡させてスポンジ状に成形したものである。したがって砥粒率 (結合剤に対する砥粒の重量比) や気孔率を変えることによって砥磨性能の異なった砥石が得られ，また PVA のアセタール化の割合により結合度を変え

ることも行なわれている⁵⁾。しかし PVA 砥石の力学的性質は、結合剤の性質ならびに多孔性材料としての性質 (気孔率)、砥粒率などにより決まるが、特に結合剤の PVA が雰囲気湿度に対して不安定であるところから、PVA 砥石の最適研磨条件の選定は難しく、ガラスの自動量産研磨工程への利用が行なわれていなかった。

そこで本報では PVA 砥石の雰囲気、特に温度と湿度を管理しながら平面ガラスの研磨実験を行ない、最適研磨砥石と研磨条件を選定すると同時に同じ雰囲気における PVA 砥石の力学的性質を求め^{6),7),8)}、PVA 砥石の研磨性能を支配する要因を実験的に求めた。

2. 最適研磨条件

2-1 実験方法

ガラスの最適研磨条件として仕上面の性状を判定の基準とし、仕上面が平面であること、鏡面であること、ヤケのないことを良好な仕上面と考えて最適な研磨加工条件を求めた。実験は研磨加工と同時に研磨中の砥石面の力学的性質を測定する必要から砥石端面による平面研磨で行なった。

2-1-1 実験条件

実験条件は先の球面レンズの研磨実験⁹⁾の結果を参考にして次のように選んだ。すなわち砥石軸回転数 $N=800$ rev/min, レンズ軸回転数 $N'=5$ rev/min, 研磨圧力 $P=1.8 \times 10^{-3}$ kg/mm², 研磨時間 $t=30$ min, 雰囲気: 乾式 (大気, 相対湿度を 50~60%, 温度を約 20°C に調節した)。

砥石は粒度 #500 のシングルアランダム砥粒を用いたガラス研磨用に試作した軟質 PVA 砥石で、砥粒率は 3 倍と 5 倍の 2 種、気孔率は 30, 40, 50, 60% の 4 段階に変えたものである。また砥石の形状は図 1 の (c) にも見られるような直径 50 mm ϕ , 厚さ 30 mm のはだ色をした円柱形である。また PVA 砥石の研磨性能は雰囲気、特に湿度による影響を受けるので、次のようにして雰囲気の制御を行なった。予備実験から、砥石結合剤の吸湿能力は約 24 時間で十分飽和に達することがわかったので、適当な濃度の硫酸で相対湿度 (RH) を各々 30, 50, 70, 90% に調節したデシケータ中に砥石を入れ、さらに恒温槽内に入れて 20°C で 24 時間放置した後実験に使用した。

実験に入る前に必ず砥石のドレッシングを行なった。ドレッサには焼結砥石片を用い、これをレンズ軸につけ、0.1 mm づつの切込みを数回送り、砥石の切くずが砥石面に埋めこまれないように注意しながら行なった。試料には直径 40 mm, 厚さ 10 mm のガラス円板 BK-7 を用いた。砥石の前加工として #3000 アランダム砥粒を用いた平面鋳鉄皿による砂掛けを行なった。加工条件は圧力 100 g/cm² でラップ時間を 15 分間とし、砂掛け前加工で得られる平均表面あらさは約 $H_{\max}=0.8 \mu$ であった。

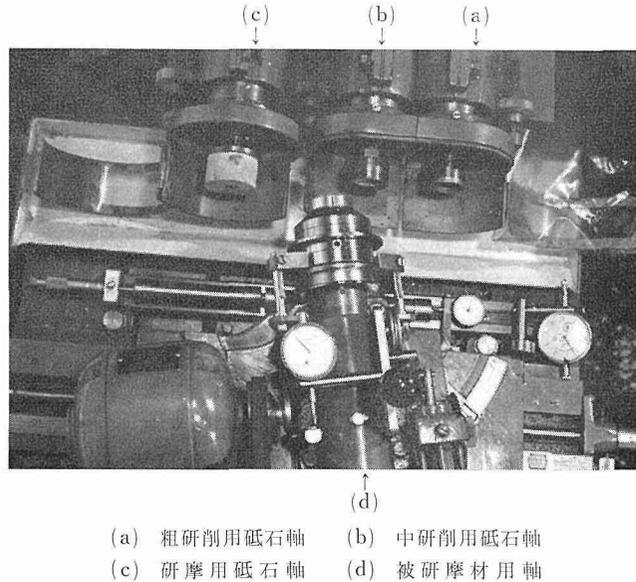


図 1 研摩実験装置

2-1-2 実験装置と実験方法

本実験に用いた装置は CG 方式の試作レンズ研摩機^{2),6)}で、円板状の素材ガラスを粗研削から仕上研摩までの全工程を一貫して行える研摩機である。今回の実験では、中、粗研削の代りに砂掛け前加工を行なったので、研摩実験には研摩工程のみを利用した。その主要部分を図 1 に示した。研摩用砥石軸 (c) は $N=800 \text{ rev/min}$ で回転し、これに相対するレンズ軸 (d) が砥石軸と反対方向に $N'=5 \text{ rev/min}$ で回転する。研摩圧力はレンズ軸にとりつけられた重錘と滑車で加えられ、砥石面にガラスが押しつけられる。実験は室温を約 20°C 、相対湿度を $50\sim 60\%$ に調節した研摩室で行なった。デシケータから取り出した砥石を直ちに砥石軸に取りつけて砥石面 (端面) のドレスリングを行ない、一方試料をレンズ軸に取りつけ、ダイヤルゲージで平面を出し、研摩圧力と研摩速度を設定して実験に入った。試料はガラス円板 10 枚を 1 組とし、各各 30 分間ずつ連続して研摩を行ない、なおドレスリングは実験前に一度だけ行なった。この研摩実験は乾式で行なったため、研摩面の温度上昇がいちぢるしく、温度が研摩面の性状に影響すると考えられたので、サーミスタ温度計で研摩中のガラス表面の平均温度を測定した。研摩面の性状の判定には、肉眼による反射映像法を主に用い、これに金属顕微鏡と、くり返し反射干渉計による表面あらしの観察を併用した。

2-2 実験結果と考察

2-2-1 研摩面の性状とその判定

研摩時間は、試料ガラス一枚につき 30 分間としたが、鏡面に研摩される場合の光りはじめの時間は $30\sim 90$ 秒で、遅いものでも数分で完全に研摩された。数分間研摩を行なって仕上面が鏡面とならない条件では、これ以上に時間をかけて研摩しても良い結果の得られないことが

わかった。したがって30分以上研磨しても仕上面が鏡面にならない場合には、不適研磨条件とすることができた。また試料ガラスの表面温度が100°Cを越える場合には、砥石表面が融着し、砥石の破損が起こるので、その研磨条件は不適と判定して実験を打切った。この場合、温度上昇に要する時間はわずか2~3分であるから、その研磨面は前加工面とほとんど同じ状態である。研磨仕上面も肉眼で観察判定した場合、肉眼では一見研磨されたと考えられる面でも、砂目のぬけていないのがあるため、さらに顕微鏡による観察を重ねて行なった。完全に研磨された試料の仕上面は顕微鏡観察では砂目は全く見られなく、またくり返し反射干渉計を用いても表面あらさは測定できなかった。

以上の観察方法で仕上面の性状を判定した結果、次のような4つの順位に分けて考えることができた。すなわち

- (1) つやのある鏡面に完全に研磨される.....○
- (2) 研磨されてはいるが完全でなく、わずか前加工の砂目が残る...①
- (3) 砂目面であるが、やや研磨されている.....②
- (4) 全く研磨されていない.....●

以上の分類はあくまでも定性的なものであり、その判定には個人差が入るので、確度の低いものである。そこで研磨実験を行なった者数名によって判定を行ない、その平均値として求めた結果を次に述べる。

2-2-2 研磨条件と仕上面の関係

各研磨条件で行なった研磨仕上面の性状の判定結果を図2に示した。砥粒率が×5で気孔率の小さい砥石の場合、相対湿度が低い条件で全く研磨されない領域がある。すなわちこの研磨条件では研磨開始後、数分以内で砥石面から異臭を放ちはじめ、研磨作業が不可能となる場合である。このときのガラス表面の温度は、図3の(a)に示したように研磨開始後急激に上昇し、2分後で100°Cに達していることがわかった。砥粒率×3の砥石では相対湿度の高い条件

砥石の 気孔率 相対湿度 (%)	5 倍				3 倍			
	30	40	50	60	30	40	50	60
30	●	●	②	○	●	①	②	●
50	●	●	②	①	②	○	②	●
70	②	●	①	②	●	②	②	●
90	②	②	②	●	●	●	●	●

図2 PVA 砥石の組成と相対湿度による仕上面の性状分布

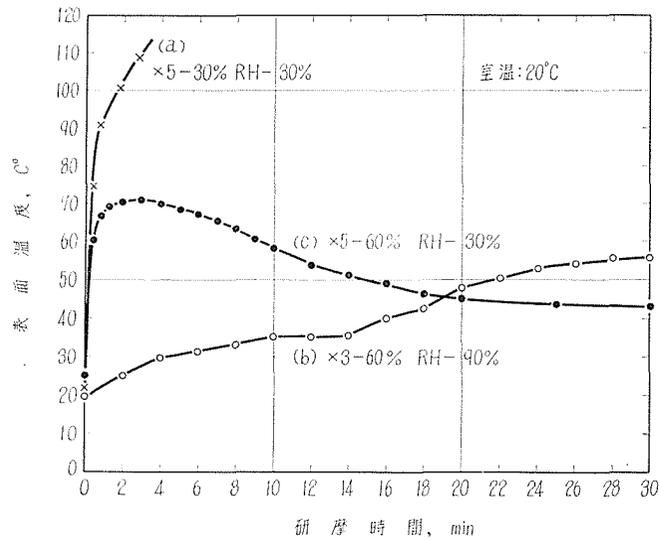


図3 研磨中のガラス表面の温度変化

で研磨不能の判定領域が広く、このときの表面温度は図3の(b)に示したようにゆるやかに上昇している。

鏡面の得られる最適研磨条件は図2から明らかなように×3—40%の砥石すなわち砥粒率3倍、気孔率40%の砥石では、相対湿度50%、温度20°Cの場合、×5—60%の砥石では相対湿度30%、温度20°Cの場合に得られた。最適研磨条件における研磨中の砥石面は、はだ色かうすい小麦色を呈し、後述するように適度な弾性があり、この条件における砥石では、相当数のガラスの鏡面研磨が可能であった。最適研磨条件における研磨中のガラスの表面温度は図3の(c)のように2~3分以内で約70°Cに達したのちゆるやかに温度が低下し、その後は30~40°Cの表面温度を保つことがわかった。なおこの最適条件でもドレスリング直後から2,3回目までの砥石では完全に研磨されず、研磨はじめにはドレスリング時のような白い粉末が試料ガラスの縁に付着するのが観察された。

3. 最適条件におけるPVA砥石の力学的性質

3-1 解析方法

PVA砥石は熱可塑性を示すPVAc樹脂の発泡体を結合剤とした砥石であるため、その力学的性質は結合剤であるプラスチックの性質に負うところが大きい。一般にプラスチックが変形に対して粘弾性的な挙動を示すところから、その力学的挙動は粘弾性模型によるいくつかの現象論的な説明が試みられている。したがって研磨中におけるPVA砥石の力学的性質に対する最適研磨砥石の判定基準を求めるためには、このようなレオロジカルな取り扱いが便利である。

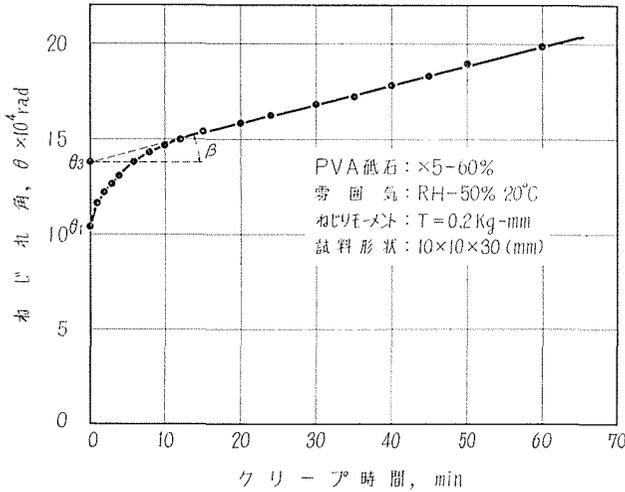


図4 ねじりによるクリープ曲線

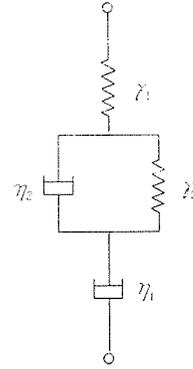


図5 粘弾性体の4要素模型

研摩作業中、砥石は研摩面で接線方向の研摩力によるねじりをうけるので、研摩中の砥石の力学的性質を求めるためには、まずねじり試験を行なう必要がある。図4は相対湿度50%、温度20°Cの雰囲気における最適研摩砥石 $\times 5-60\%$ のねじりによるクリープ曲線である。このクリープ曲線から砥石の粘弾性模型として、4要素模型(図5)が類推され、力学量として $r_1 \text{ kg/mm}^2$ (瞬間剛性率)、 $r_2 \text{ kg/mm}^2$ (遅延剛性率)、 η poise(粘性率)が次のように求められる¹⁰⁾。

今一辺 $b \text{ mm}$ の正方形断面をもつ長さ $l \text{ mm}$ の角棒の一端を固定し、自由端に回転モーメント $T \text{ kg}\cdot\text{mm}$ を加える。自由端の回転角を θ radian とすると、剛性率 r は次式であたえられる。

$$r = \frac{3lT}{b^4K\theta} \text{ kg/mm}^2 \quad (1)$$

$$\text{ここで形状係数 } K \doteq 1 - \frac{192}{\pi^5} \left\{ \tanh \frac{\pi}{2} + 0.004524 \right\}$$

例えばブリー半径 $a=40 \text{ mm}$ 、荷重 $W=5 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 、摩擦力 $W_f=0.5 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 、試料長 $l=30 \text{ mm}$ 、 $K \doteq 0.420$ を(1)式に代入すると、

$$r = \frac{1.28}{\theta} \times 10^{-3} \text{ kg/mm}^2 \quad (1')$$

図4より θ_1 、 $\theta_2 (= \theta_3 - \theta_1)$ を求め(1)'式に代入するとそれぞれ r_1 、 r_2 が求まり、またクリープ曲線の漸近線と横軸との勾配 $C = \tan \beta$ から粘性率 η_1 が次式から求められた¹¹⁾。

$$\eta_1 = \frac{8.96}{C} \times 10^4 \text{ poise} \quad (2)$$

3-2 実験方法

砥石の力学的性質を求めるために、静的なねじり試験を行ない、また直接に研摩に関与す

る砥石表面の力学的性質を求めるために鋼球圧子による押し込み実験を行なった。

3-2-1 ねじり試験

図6に恒温恒湿槽に納められたねじり試験装置を示した。ねじり試験は各種砥石から切り出した柱状試片(長さ $l=30$ mm, 10×10 mm 角)を2-1-3で述べた砥石の前処理と同じ条件で24時間放置した後、各条件の雰囲気調整した図6の恒温恒湿槽内で行なった。図7に示したように砥石の柱状試片①を固定チャック②と回転チャック③にはめこみ、回転チャックと連結している回転軸は2ケの球軸受④で支え、その左端に回転プーリ⑤(半径 $a=40$ mm)と反射鏡⑥が取り付けられている。プーリにかけられた5gの分銅⑦によって試料はねじられ、そのねじれ角 $\bar{\theta}$ は反射鏡と読取望遠鏡で測定される。荷重は基礎実験²⁾で求めた最適研磨条件にお

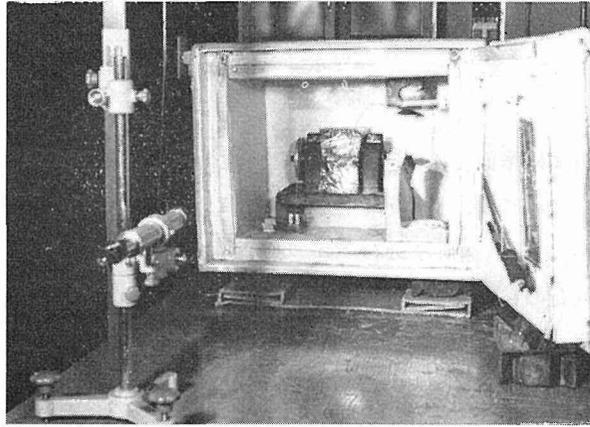
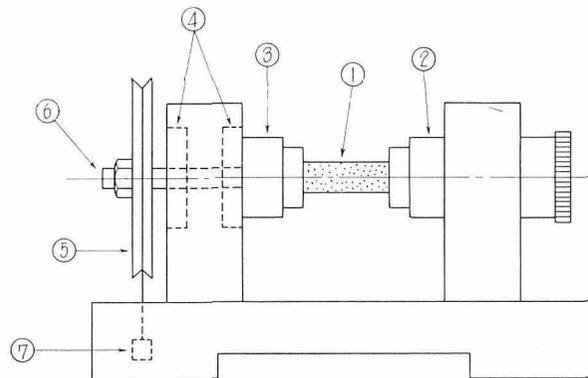


図6 ねじり試験装置と恒温恒湿槽



- ① 試料 ② 固定チャック ③ 回転チャック
 ④ 球軸受 ⑤ プーリ ⑥ 反射鏡
 ⑦ 分銅

図7 ねじり試験装置の概略図

ける研摩トルクから決定した。

3-2-2 軽荷重押し込み実験

弾性体の表面に球状圧子を押し込む場合、荷重が小さいと変形は接触面の近傍に限定されるから、砥石表面の力学的性質を求めるために、軽荷重の静的な押し込み実験を行なった。図8に押し込み装置を示した。装置は上皿天秤を改造したもので、一方の上皿の下端に直径8 mmφの鋼球をとりつけ、上皿に分銅 $W=5, 10, 20$ g を載せて荷重をあたえ、押し込み量は支

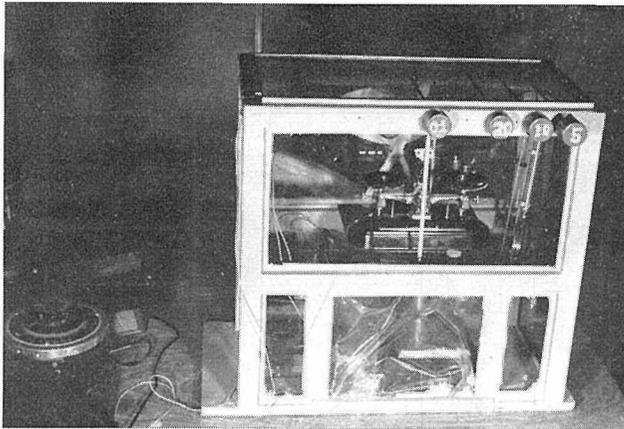


図8 軽荷重押し込み実験装置

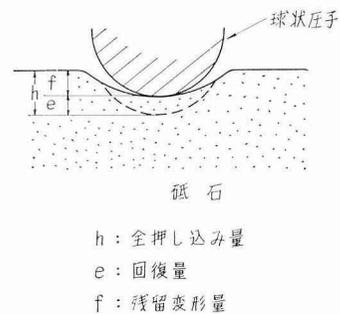


図9 球状圧子による押し込み実験

点にとりつけられた鏡の傾きから読取望遠鏡で測定した。研摩中の砥石を定盤上に固定し、その表面に鋼球圧子を押し込み、2分後における押し込み量 h 、荷重を除去した後の回復量 e 、残留変形量 $f (=h-e)$ を測定した (図9)。これから PVA 砥石の表面のみかけのばね定数 $\bar{k}_s = W/e$ kg/mm と、押し込み量 h と回復量 e の比 e/h を求めた。

砥石表面の軽荷重押し込み実験は1回研摩するたびに行ない、研摩中の研摩表面の変化を求めた。

3-2-3 重荷重押し込み実験

研摩のさいにガラスと接触している砥石表層付近の力学的性質を調べるため、ダイヤルゲージを改造した重荷重による押し込み実験を行なった。前処理はねじり試験の場合と同じ条件で行なった。

装置はダイヤルゲージのスピンドル上端に分銅を載せるための上皿をとりつけ、また測定圧用のばねをとりはずし、釣合い荷重によってスピンドル、上皿などの荷重を相殺した。実験は厚さ10 mmの砥石片に先端半径 $r=1.6$ mmの鋼球圧子を上皿に分銅 $W=50, 100, 200$ g を載せて押し込み、軽荷重と同様に押し込み量 h 、回復量 e 、残留変形 f から、砥石表層におけるみかけのばね定数 $\bar{k} = W/e$ kg/mm と、みかけの塑性に相当する $\bar{v} = W/f$ kg/mm を求めた。

3-3 実験結果と考察

3-3-1 砥石組成の力学的性質に及ぼす影響

一般に多孔性材料の弾性率は、その実質物質の弾性率より小さいみかけの高弾性があらわれる¹²⁾。PVA 砥石の気孔は微細な独立気孔の状態で存在し、さらにそれは毛細管状の気孔により連続されている連続気孔的な構造の付加されたものである。一般の多孔性材料は気孔率が大きくなると、みかけの高弾性が増して弾性率は低くあらわれる。PVA 砥石の場合も一般の多孔性材料と同様であるが、PVA 砥石では結合剤に充填剤として働く砥粒が混入されており、砥粒率が大きくなると逆に弾性率は高くなる。

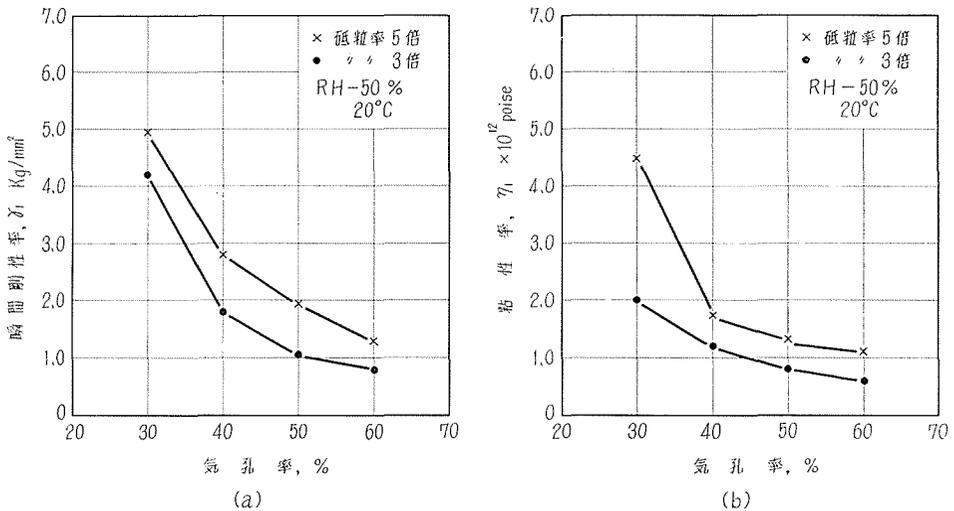


図 10 PVA 砥石の組成による力学量の変化

図 10 (a), (b) は相対湿度 50%、温度 20°C におけるねじりの瞬間剛性率 $\bar{\tau}_1$ 、粘性率 $\bar{\eta}_1$ と砥石組成との関係を示したものである。図から気孔率が小さく砥粒率が大きくなると $\bar{\tau}_1$ 、 $\bar{\eta}_1$ はともに増加することがわかる。また気孔率 30% と 40% のあいだの急激な変化は、図 11 に示したように砥石の組成が気孔率 30% で大きく変化しているためと考えられる。図 12 に示したように重荷重押し込み実験でも、回復量 e 、残留変形 (永久塑性変形) f が荷重 W に対して比例関係にあったので、その勾配からみかけのばね定数 \bar{k} kg/mm、みかけの塑性に相当する $\bar{\eta}$ kg/mm

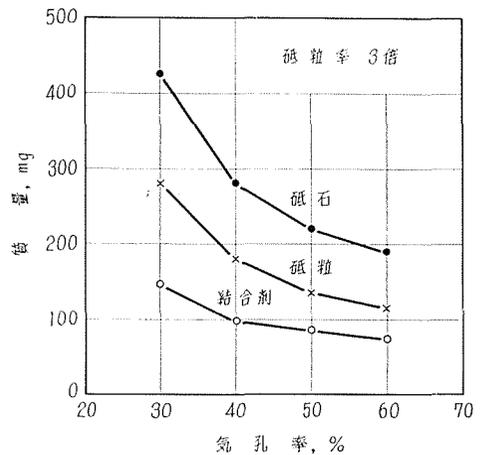


図 11 PVA 砥石の組成

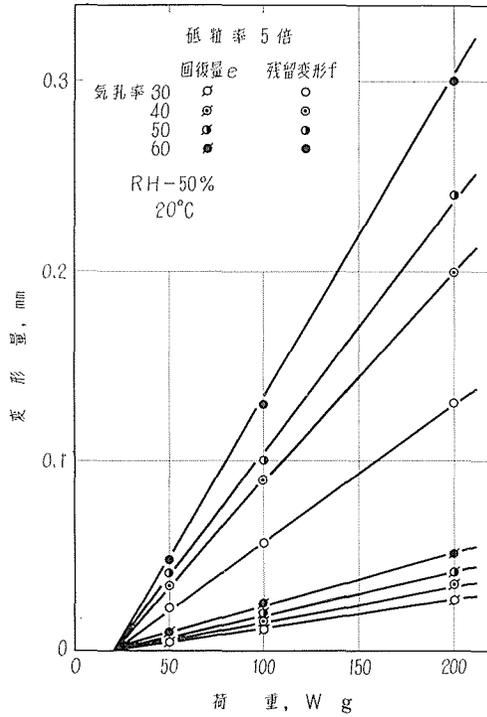


図 12 重荷重押し込み実験における荷重と変形量との関係

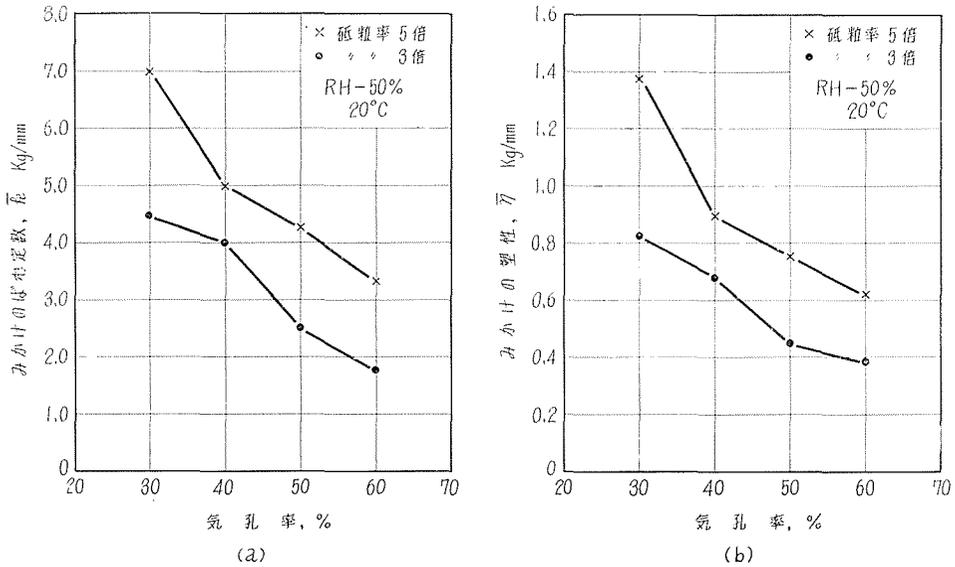


図 13 押し込みによる PVA 砥石の組成と力学量との関係

を求め、砥石組成との関係を図 13 (a), (b) に示した。 τ_1 , γ_1 と同様な傾向を示していることがわかる。

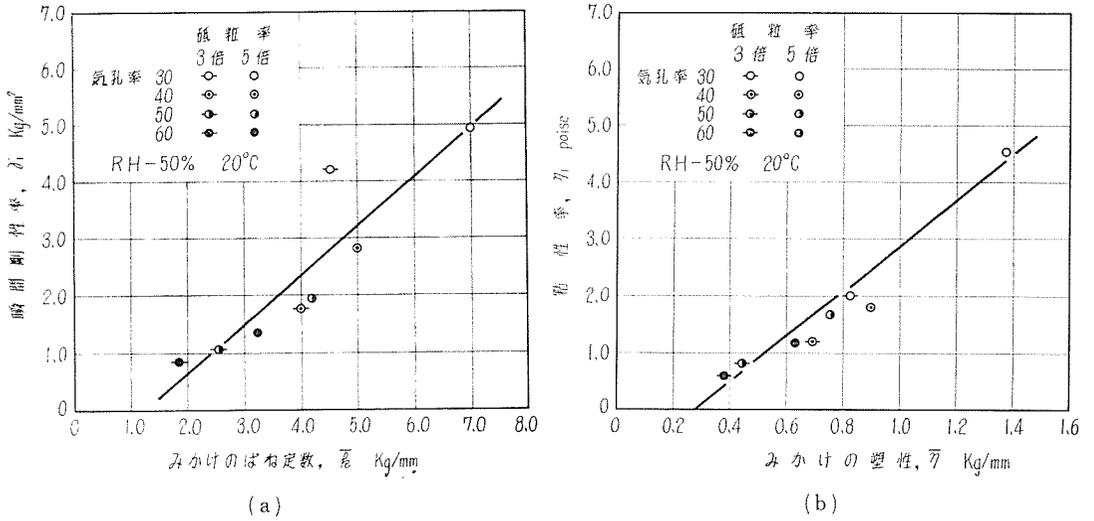


図 14 ねじり試験と押し込み実験による力学量の関係

重荷重押し込み実験では変形が表層内部にまでおよんでいるので、得られた力学量は、砥石内部の性質と関係があると考えられる。そこでねじり試験で得られた τ_1, η_1 と重荷重押し込み実験から得られた \bar{n} および $\bar{\eta}$ の相関を求めたのが図 14 (a), (b) である。図から明らかなように、両者の間に相関関係のあることがわかった。すなわち手数のかかるねじり試験に代えて比較的簡単な重荷重押し込み実験によって剛性率や粘性率が求められる。

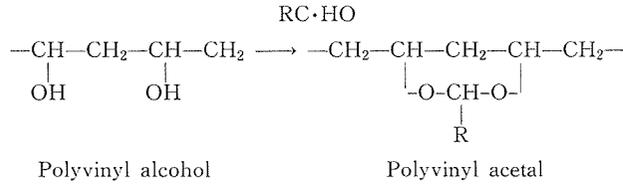


図 15 PVA のアセタール過程

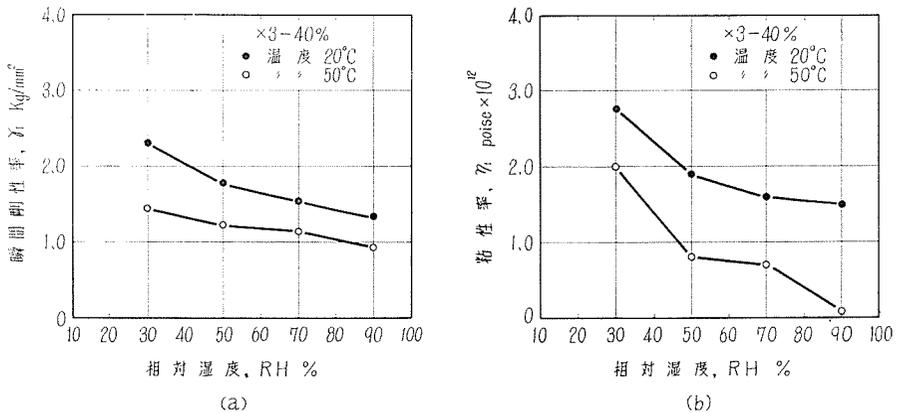


図 16 雰囲気による最適研摩砥石の力学量の変化

3-3-2 雰囲気の力学的性質に及ぼす影響

砥石結合剤の化学的性質は、その力学的性質にも影響を及ぼすことが考えられる。このPVA 砥石はPVA (Polyvinyl Alcohol) のアセタール化物を結合剤としているので(図15)、アセタール化の割合により残存しているPVAのOH基が水と結合し吸湿による可塑性を示す。また結合剤が発泡プラスチックであるところから、砥石の力学的性質は温度によっても影響を受ける。図16(a), (b)に×3—40%の砥石の各雰囲気における相対湿度と γ_1 , γ_2 の関係を示した。 γ_1 は γ_2 より雰囲気の影響が大きく表られるが、特に50°Cの場合湿度による影響が大きい。 γ_2 の場合も同様であった。

3-3-3 最適研磨砥石の力学的性質

図2に示したように、良好な研磨面が得られる加工条件の範囲はせまく最適研磨条件は砥石の種類と相対湿度とで決められてしまっている。すなわち最適研磨砥石は(×3—40%)と(×5—60%)の2種であり、さらに雰囲気も相対湿度がそれぞれ50%と30%に限られている。そこで最適研磨砥石の力学的性質と相対湿度との関係を求めた結果、図17に示したように最適研磨条件における各砥石の力学的な諸性質はそれぞれほぼ等しい値を示すことがわかった。最適研磨条件すなわち相対湿度50%における×3—40%と相対湿度30%の×5—60%の砥石

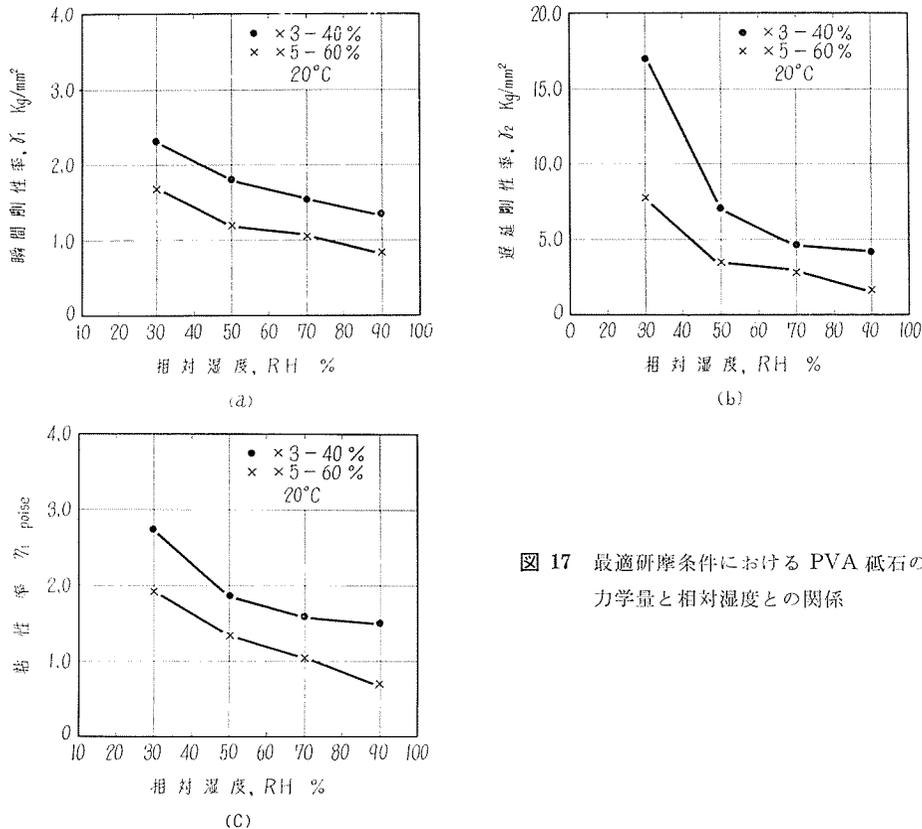
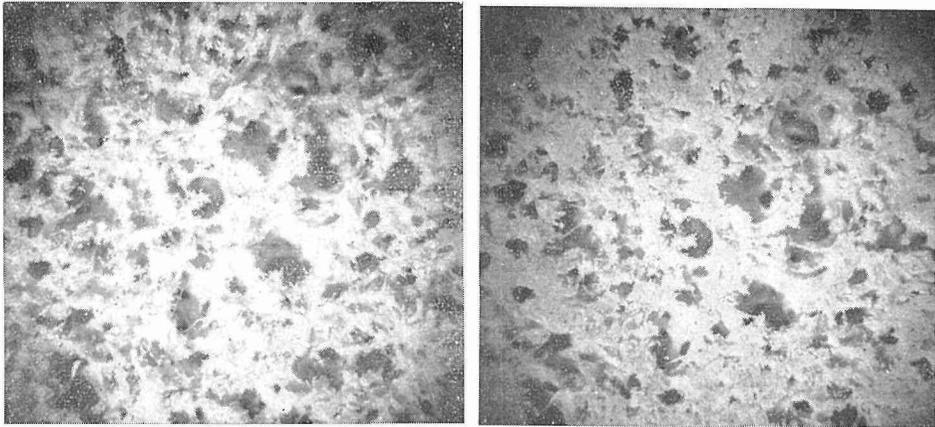


図17 最適研磨条件におけるPVA砥石の力学量と相対湿度との関係



(a) ドレスリング直後の砥石表面

(b) 研摩回数7回目の砥石表面

図 18 PVA 砥石の表面形状

の瞬間剛性率は $\tau_1=1.8 \text{ kg/mm}^2$ ，遅延剛性率は $\tau_2=7.5 \text{ kg/mm}^2$ ，粘性率は $\tau_1=1.9 \times 10^{12} \text{ poise}$ の程度であたえられ，ガラスの鏡面仕上に用いられる PVA 砥石の力学的な最適研摩条件をあたるものと考えることができる。しかしこのような最適研摩条件においても，ドレスリング直後の砥石では研摩による鏡面仕上面は得られないので，砥石の表面形状を顕微鏡で観察した結果が図 18 である。図 18 (a) はドレスリング直後，(b) は研摩回数 7 回目の砥石表面形状であり，ドレスリング直後の砥石表面はかなりザラザラした面であるのにたいし，研摩を数回行なうと図 18 (b) のように表面の起伏はならされて平滑な面になっているのがわかった。すなわち鏡面仕上げが行なわれる条件には砥石表層の力学的性質のほか，ガラス面に直接接触する砥石表面の特性にも影響されることを示すものと考えられる。それで軽荷重の押し込み実験から，最適研摩砥石表面の力学的性質を求めた結果が図 19 である。全押し込み量 h に対する回復量 e の比 e/h と研摩回数との関係を見ると，最初は $e/h \approx 0.5$ であるが研摩回数とともに大きくなり，良好な研摩面が得られる 4 回以降では e/h は 1 となることがわかった。すなわち最適

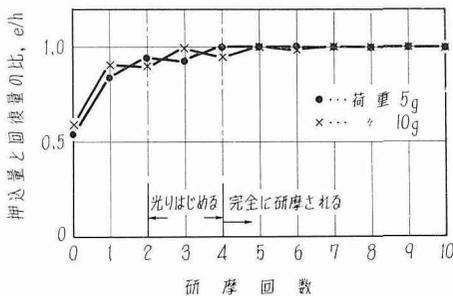


図 19 砥石表面における押し込み回復量と研摩過程の関係

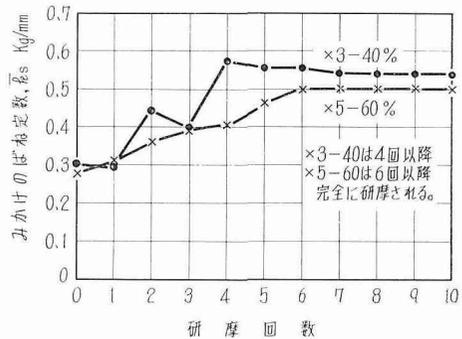


図 20 砥石表面におけるみかけのばね定数の変化

研磨条件における砥石の表面は押し込み量が完全に瞬間的に回復する完全な弾性挙動をしているものとみることができる。図20は砥石表面のみかけのばね定数 \bar{k}_s kg/mm と研磨回数との関係を示したもので、最適研磨条件では2種の砥石はほぼ等しい一定値を示していることがわかった。すなわち最適研磨条件における砥石の表面は見かけのばね定数が約 $\bar{k}_s = 0.5$ kg/mm であるような弾性挙動を示すことが必要条件と考えられる。

図21は砥石の縦断面写真で、右半分(a)がドレスシグ直後の、左半分(b)が研磨回数7回目の写真を対比したものであるが、7回研磨後の砥石表面はドレスシグ直後より 50μ 程度、砥石表面および表面近くの気孔が圧縮されて埋めこまれているのが明らかである。また図18からわかるように最適研磨条件の砥石表面では、露出してみられる気孔密度が減っていることなどを考え合せて、研磨可能な最適砥石面では被研磨面である

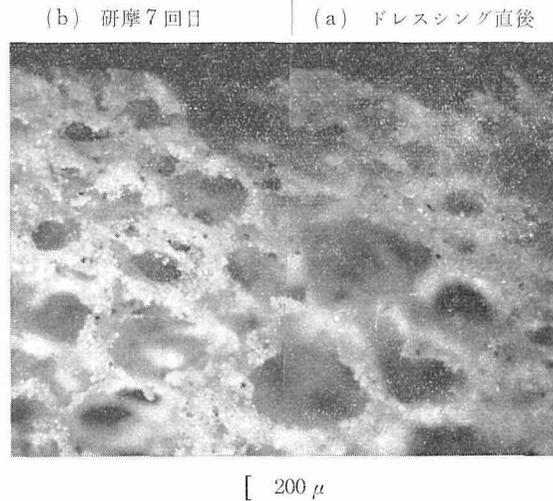


図21 研磨による砥石表面層の形成

ガラス表面とある程度の接触面積(砥粒と結合剤の双方を含めた接触面積)が必要であると考えられる。図22は被研磨面との接触状態を示すもので、白い部分が接触面、黒い部分が接触しない気孔部分、白い輝点は接触砥粒である。写真からわかるようにドレスシグ直後の研磨不能な砥石表面よりも最適研磨条件における砥石表面(b)の砥粒分布が増加しており、このことから上述のことがうなづける。

最適研磨条件に対する粘性率 η_1 とみかけの塑性 $\bar{\eta}$ の役割は、図18, 21にみられるように砥石表面が押しつぶされて適当な弾性率を持つ表面層が形成され、また被研磨面との接触面積が増加することにあるものと考えられる。

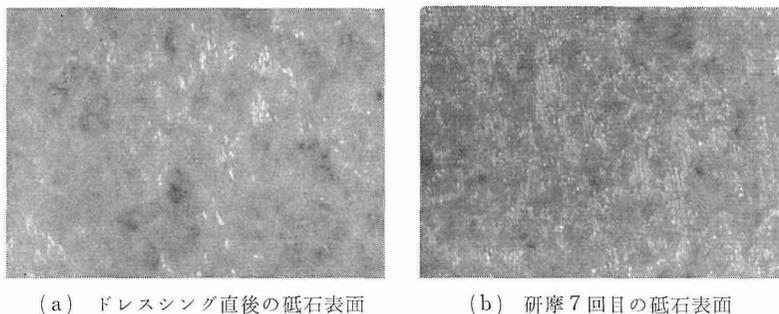


図22 研磨中における砥石表面と被研磨面との接触面積の変化

4. 結 語

PVA 砥石によるガラスの乾式研磨実験と、PVA 砥石の静的なねじりと押し込み実験から鏡面の得られる最適研磨条件と砥石の力学的性質の関連性が求まった。

これらは次のようにまとめられる。

(1) PVA 砥石の最適研磨条件は、砥石の種類 ($\times 3-40\%$, $\times 5-60\%$) の外に雰囲気相対湿度の影響をうける。

(2) PVA 砥石の力学的性質は、雰囲気相対湿度の影響を大きくうける。

(3) PVA 砥石の最適研磨条件と力学的性質の間に相関があり、PVA 砥石がその組成に関係なく

$$\text{瞬間剛性率} \quad r_1 = 1.8 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{遅延剛性率} \quad r_2 = 7.5 \text{ kg/mm}^2$$

$$\text{粘性率} \quad \eta_1 = 1.9 \times 10^{12} \text{ poise}$$

の力学的性質を持つ場合、その雰囲気最適研磨砥石になる。

(4) PVA 砥石の表面は、数回の研磨後被研磨面になじんで接触面が大きくなり、さらに硬くなって完全な弾性挙動を示すようになる。

(5) PVA 砥石の最適研磨条件は、砥石の力学的性質だけでなく被研磨面と接触する砥石表面の力学的性質に影響される。表面の押し込みによる見かけのばね定数が 0.5 kg/mm の場合、最適研磨条件が得られる。

終りにご援助を賜った光学工業技術研究組合の各位、北海道大学中川鶴太郎教授、東京大学荻野一善助教授ならびに各種 PVA 砥石を試作していただいた日本特殊研砥株式会社の各位に心からお礼申し上げます。

文 献

- 1) 中村常郎： 研磨作業の改善，カメラ工業技術研究組合技術資料，vol. 15-6 (1958).
- 2) 中村常郎： 弾性多孔砥石によるレンズ研磨 (I)，カメラ工業技術研究組合技術資料，vol. 24-9 (1958).
中村常郎： 同上。(II)，(III)，vol. 26-11 (1958).
- 3) 砥粒加工技術便覧： 日刊工業新聞社 (1965).
- 4) 毛利・柏原： ビニールボンド砥石による黄銅の超仕上について，超仕法の研究第2報，通研成果報告 (1955).
- 5) 井上 睦： 特殊といし PVA について，日本機械学会誌，57 巻第 421 号 (1954).
- 6) 勇田敏夫・中村常郎： CG 方式によるレンズ研磨，第2報 (PVA 砥石の性質)，精機学会昭和 36 年度春季大会学術講演会前刷集.
- 7) 中村常郎・勇田敏夫： CG 方式によるレンズ研磨 (第3報)，昭和 36 年度精機学会北海道支部講演会前刷集.
- 8) 中村常郎・勇田敏夫： CG 方式によるレンズ研磨 (第4報)，精機学会昭和 37 年度春季大会学術講演会前刷集.

- 9) 中村常郎・海銚武司：CG方式によるレンズ研磨 (第1報), 精機学会昭和36年度春季大会学術講演会前刷集.
- 10) 中川鶴太郎：レオロジー, 岩波全書249 (1960).
- 11) 中川鶴太郎・荻野一善：レオロジー, 続新化学工学講座7, 日刊工業新聞社 (1960).
- 12) R. Houwink: Elasticity, Plasticity and Structure of Matter, Cambridge Univ. Press (1937), 30.