

研ぐ、磨く工具の今と昔

樋口 誠 宏* 山口 智 実* 古城 直 道**

Evolution of Abrasive Tools

Masahiro HIGUCHI, Tomomi YAMAGUCHI, Naomichi FURUSHIRO

1. はじめに

日本刀は一振りの刀身に、折れず、曲がらず、よく切れるという、武器としての機能を見事に備えた世界に比類のないものである。しかし、武器として役目を終えた今も、図1に見るように、その姿、地鉄（じがね）、刃文（はもん）の美しさのゆえに、鑑賞する者の心を爽やかにし、気を澄ませる第一級の美術品として高い評価を受けている。

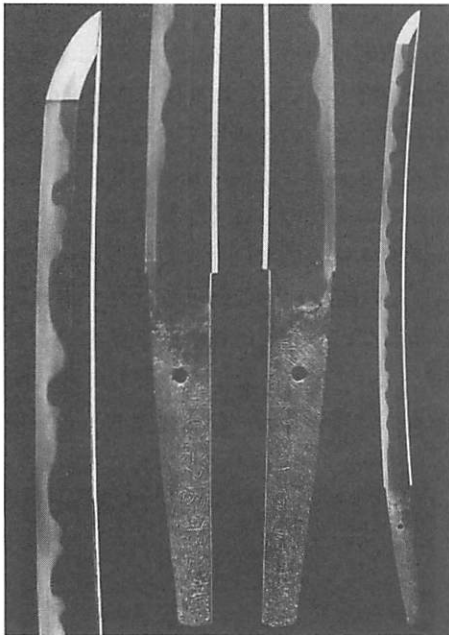


図1－脇差（銘：津田越前守助廣、江戸時代）¹⁾

日本刀の製作技術は平安時代末期に完成したといわれているので、地肌や刃文を美しく引き出す研ぎの高度な技術もその頃に確立されたと考えられる。このことを知るだけで、いかに祖先が偉大であったかが理解できよう。この日本刀の研ぎの基本原理は、そのまま現代の超精密加工に伝承され、大口径の天体望遠鏡の主鏡や副鏡、カメラやCDドライブ、携帯電話に使われる光学レンズを生み出している。本稿では、古今の研ぐ、磨く技術を概観し、それに用いる工具について述べてみたい。

2. 日本刀の研ぎ

刀剣をはじめ、包丁、かんな、のみなどの刃物類は突き刺したり断ち切ったりするため、刃部が鋭利でなければならず、そのために砥石を使って研ぎ磨かれる。とりわけ日本刀は晴れた研ぎが求められるため、良質の砥石を選び、それを刀にあわせてよく効かせる研師（とぎし）の熟練した技量が不可欠になる。この日本刀の研ぎの工程を「日本刀を研ぐ」²⁾と「作刀の伝統技法」³⁾を参考に要約すると、つぎのようになる。

大別すると、刀の錆を除き、姿を作り、刃を付ける下地研ぎと、地鉄（じがね）をより細やかに美しくし、地刃を調和のとれた色調に整える仕上げ研ぎに分類される。下地研ぎはつぎの6種類の砥石を目の粗い順に用いて行われる。

荒砥（金剛砥）→伊予砥→改正名倉砥→中名倉砥
→細名倉砥→内曇砥

荒砥は新身（あらみ）の研ぎや深錆を取る場合に用いられ、細目の粘土を多く含む軟らかい砥石である。佐賀県、長崎県に産する松浦砥、笹口砥がこれに該当するが、今日ほとんど産出されない。そのため、金剛

原稿受付 平成20年9月1日

*システム理工学部 機械工学科 教授

**システム理工学部 機械工学科 助教

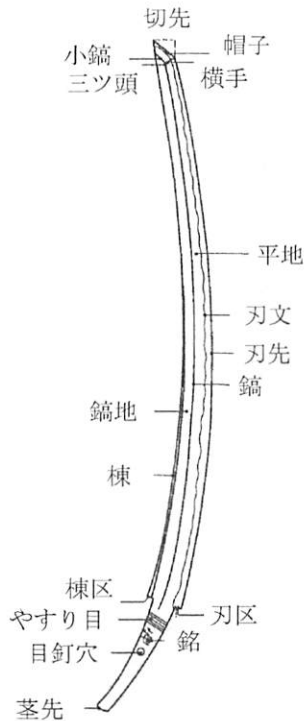


図2 - 日本刀各部の名称

砥と称される人造砥石で代用している。普通の状態にある刀の下地研ぎは、愛媛県で産出する極細目の伊予砥を用いて始められる。刃こぼれをなくし、棟を研ぎ、棟筋をきめ、鑓地（しのぎじ）、平地へと研ぎ進め、最後に切先（きっさき）を研ぐ。改正名倉砥は極細目の山形県で産出される砥石で、棟、鑓地、平地の順に当てて、伊予砥による砥石目を除いていく。中名倉砥と細名倉砥は愛知県に産出し、さらに極細目の砥石で、砥質はやや締まりに欠ける。この名倉砥の当て方を変えて、棟、鑓地、平地を大筋違に研ぎ、改正名倉砥の砥石目を抜く。下地研ぎの最後に使われるのが、京都府に産出する極々細目の内曇砥である。通常、刃部には軟らかめの刃砥を、地部には硬めの地砥を用いて、地刃の持ち味を引き出すように入念に研がれる。

つぎの仕上げ研ぎには、極々細目の硬い鳴滝砥が用いられる。刃部は刃艶砥を用いて、内曇砥の細かい砥石目をならししながら、焼刃を梨子地状に磨き、刃文の沸（にえ）、匂（におい）、その他の働きを見せる。また、地部は地艶砥を用いて磨き、肌模様、地沸、地景など地鉄の特徴を引き出す。

最後に化粧研ぎが行われる。地部を丁字油で溶いた金肌（酸化鉄）を濾した汁で拭いを差して青黒くした後、刃部を刃艶砥で刃取りして白く表す。さらに、棟と鑓地は磨きをかけて光沢を出し、切先にナルメという梨子地状の仕上げを施す。

3. 枯渇化する天然砥石

日本刀の研ぎに用いる天然砥石も枯渇しつつある。良質の常見寺砥が産出されなくなって久しく、代って使われてきた伊予砥も、今日良質のものが入手しにくくなってきた。そのため、名人といわれる研師の技量をもってしても、良い研ぎができなくなりつつある。このままでは、機能と美を兼ね備えた日本刀を将来にわたって健全な状態で保存することが困難になっている。そればかりか、研ぎの技術も途絶えかねず、極めて憂慮すべき状況にある。研削砥石の研究開発に携わる者として、光・電子部品用新素材の超精密研削・研磨を目的に、次々と開発される砥石^{4), 5)}が役立てばと願わずにはおれない。

4. 人造砥石の性能を決める要因

今日、機械工業で使われる人造砥石の性質を決める要因について説明する。研ぐ工具、すなわち砥粒が切れ刃となって材料を除去する工具を研削砥石という。これは図3に示すように砥粒、結合剤、気孔からなる。結合剤が砥粒を包み、砥粒間に橋をかけて、切りくずを排出するための空間、つまり気孔を形成している。このような固定砥粒砥石は多様な用途に合わせて、図4に示す砥粒、粒度、結合度、組織、結合剤の5要素の組み合わせを変えて作られる。たとえば、打ち下ろし新見や大錆び朽ち刀を研ぐ荒砥として、石粒が最も大きく、粘土を多く含み、かつ密着力の少ない砥石が適すると、研師はいう。そのような研師の求める砥石も5要素を調整することにより作ることは可能である。

研師が石粒とよぶのは砥粒である。砥粒には材料に容易に貫入できる硬さ、鋭い切れ刃を出す破碎のしやすさ、高温での摩耗のしにくさが求められる。これらの要件を満たす代表的な砥粒には、A系砥粒（アラシタム、 Al_2O_3 の結晶）やC系砥粒（カーボラシタム、SiCの結晶）などの一般砥粒と、ダイヤモンド砥粒やcBN砥粒（ボラソン、立方晶窒化ホウ素）などの超砥粒がある。一方、懸濁液に遊離させて金属の表面を

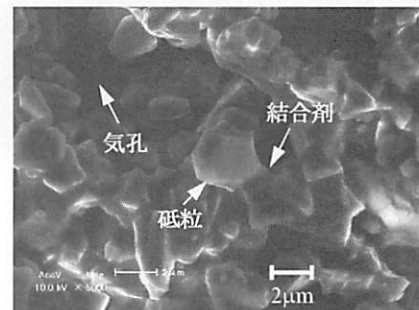


図3 - cBN 砥石の構造

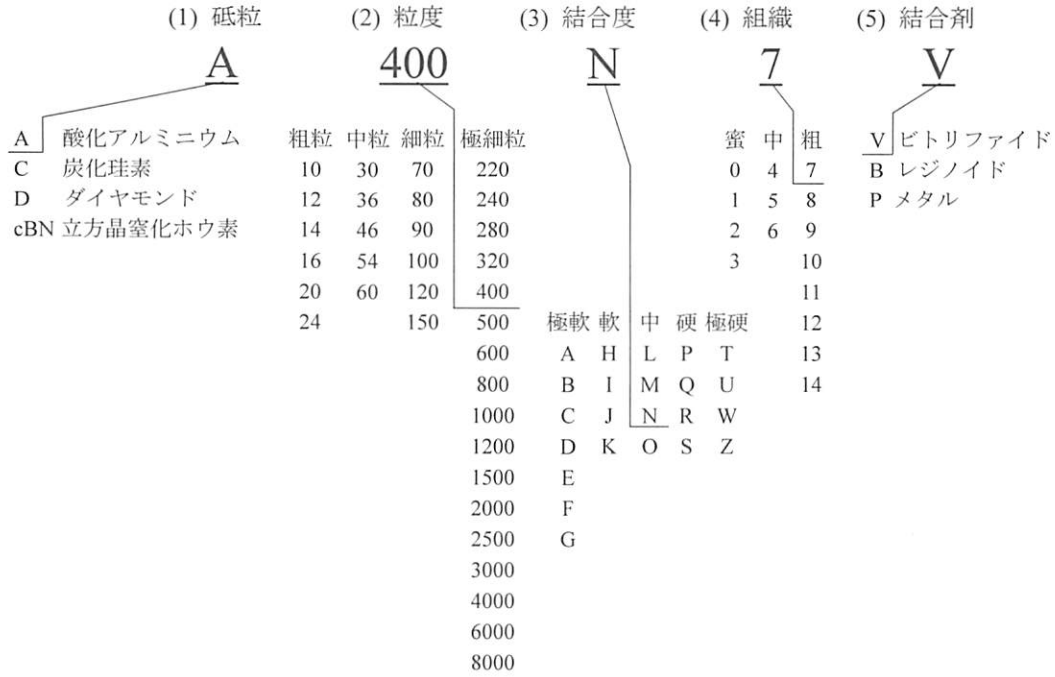


図4 - 砥石の表示

磨く砥粒には酸化クロム (Cr₂O₃) があり、またガラス、セラミックス、半導体を磨く砥粒には酸化鉄 (べんがら、Fe₂O₃)、酸化セリウム (CeO₂)、酸化ジルコニウム (ZrO₂) などがある。

研師が目とよぶ粒度は砥粒の大きさを表し、一般に粒度番号で表示される。微粉の砥粒は沈降試験や電気抵抗試験によって分別され、砥粒直径の平均と分布から粒度番号が決める。下地研ぎに使用される伊予砥の粒度は約#400、改正名倉砥の粒度は約#600、中名倉砥の粒度は#800~#1200、細名倉砥の粒度は#1500~#2000、内曇砥の粒度は#3000~#5000であるといわれる。また、仕上げ研ぎに使用される鳴滝砥の粒度は#4000~#6000といわれる。これらの砥石が使われる順序から、下地研ぎは前工程の砥石目 (図5に例示する砥粒切れ刃による切削痕) を取り去るように、細目から極細目の砥粒を用いた砥石に順次取り替えて、地ムラ、刃ムラのない刀の姿、格好が整えられている。

研師が硬い、軟らかいとか、縮まりがある、ないと表現する砥石の特性は、結合度という要素に相当する。これは結合剤が砥粒を結合する強さを表している。JISでは大越式結合度試験機で測定し、アルファベットで表すように定めていて、後の記号ほど砥粒の結合力は大きい。

研師は内曇砥を水につけて、水が早く染み込む砥石を刃砥として、遅く染み込む砥石を地砥として使い分けている。この経験則を工学的に説明すると、水が早く染み込む砥石は組織が粗、つまり砥粒が少なくて気

孔が多い砥石である。砥粒がどの程度密につまっているかを表す要素を組織という。JISでは単位体積中に占める砥粒の割合により、組織を0~14の15段階に区分している。焼き入れされた硬い刃部には、組織が粗、いわゆる軟らかく作用する砥石を選び、地部には組織が密で、硬く作用する砥石を選ぶのは理にかなっている。

荒砥に含まれる粘土は結合剤の役割を果たしている。粘土はビトリファイド結合剤の成分の一つで、長石や媒溶剤と混ぜて高温で磁器質化して砥粒を結合する。この結合剤はフェノール樹脂を主体とするレジノイドに比べて、砥粒の結合力が大きく、弾性変形も少ないという特徴をもつ。

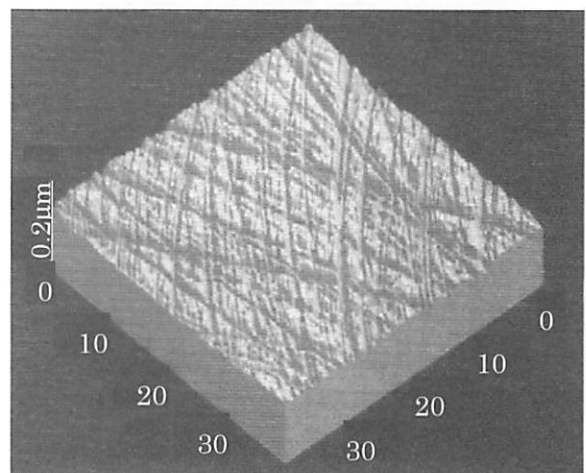


図5 - 砥石目

5. 光学ガラスの伝統的加工法

刀の仕上げ研ぎ、化粧研ぎは加工液に分散させた微細砥粒による遊離砥粒加工の一種で、今日のラッピングやポリシングに相当する。ラッピングは図6に示すように、加工物とラップ工具（鋳鉄）のしゅう動面に加工液を供給して、遊離砥粒の引っかきや転がりによって加工物を除去する加工法である。一方、ポリシングは図7に示すように、軟らかいポリシャ（合成樹脂、人工皮革、ピッチ）に加工物を押しつけ、そこに加工液を供給して、砥粒の微小な引っかき、切りくずの加工物表面凹部への付着、表面の流動、化学的な変質・溶出により加工物を磨き、艶出する加工法である。

伝統的なレンズ加工の工程は、荒ずり、砂かけとよばれるラッピングと磨きとよばれるポリシングからなる⁶⁾。最初の工程の荒ずりでは、鋳鉄皿の上に粒度#400程度のSiC砥粒を分散させた加工液を注ぎ、そこにレンズ素材を押しつけてしゅう動させる。このとき、砥粒の先端がレンズ表面に押し込まれ、レンズ表面を細かく破碎する。その結果、細かいクラックの入った梨子地状の粗い表面が作られる。次の工程の砂かけも荒ずりと同様のラップ加工である。砥粒として粒度#5000程度の Al_2O_3 が使われ、荒ずりで生成されたレンズ表面のクラック層を取り除く。最後の工程の磨きでは、 CeO_2 砥粒を分散させた加工液をピッチに注ぎ、砂かけで導入された微細なクラック層を除去し、滑らかで鏡のようなレンズ表面に仕上げる。

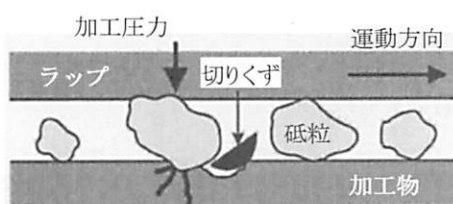


図6 - ラッピング

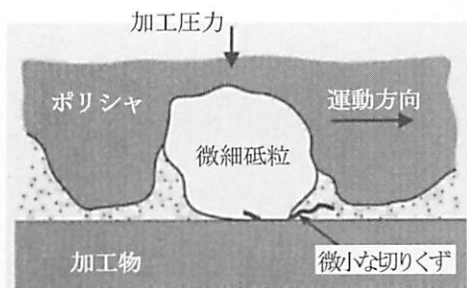


図7 - ポリシング

6. 遊離砥粒加工から固定砥粒加工への転換、新しい人造砥石の誕生

ラッピングやポリシングは鏡面を作るのに適しているが、時間のかかる加工法である。そのため、遊離砥粒を固定する種々の方法が考案され、従来にない面白い砥石が開発されて、新しい固定砥粒加工法に移りつつある。すなわち、荒ずりは回転するカップ砥石をガラス表面に押しつけて円弧運動をさせながら、球面を作る研削へ、砂かけはダイヤモンドペレットを使用したスムージングへと移行している⁷⁾。ここでは、そのいくつかを紹介する。

まず、極細粒のダイヤモンドをCu, Sn, Feなどの金属粉末と混合・成形し、焼結する方法でダイヤモンドペレット（図8）を作成してレンズ表面のラッピングに用いている。このダイヤモンドペレットは荒ずりと砂かけの工程を集約化し、加工能率を大きく向上させている⁸⁾。また、 CeO_2 砥粒を樹脂で固める方法で研磨ペレットを作成し、ポリシングへの利用が試みられている。遊離砥粒を固定する技術で興味深いのは、図9に示す電気泳動現象（電荷をもつ粒子が電界との

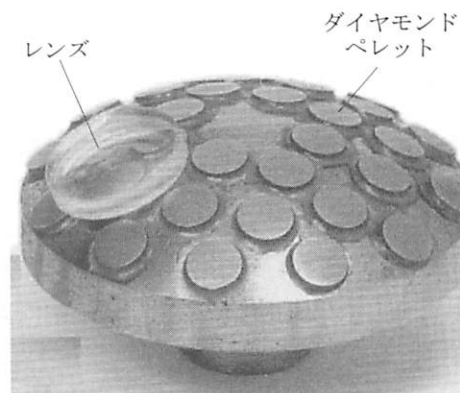


図8 - ダイヤモンドペレット

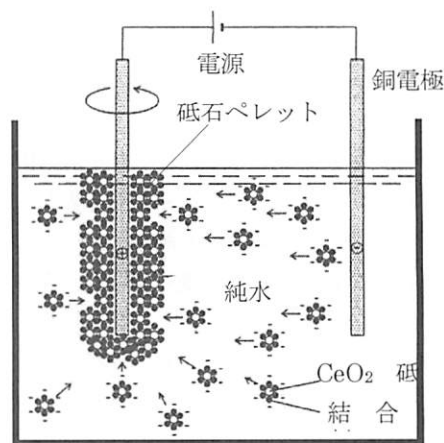


図9 - 電気泳動法

クーロン力により泳動する現象)である。この方法で CeO_2 砥粒を高分子電解質のアルギン酸ナトリウムで固定化した EDP ペレット^{9),10)}を作成し、これを台金に配置した砥石(図10)で、Si ウエハを研削する試みが行われている。さらに、変わったところでは、天然食材の寒天を結合剤として、 CeO_2 砥粒を固定化してゲル状砥石を作成し、非球面レンズのポリシングに適用する例¹¹⁾もある。

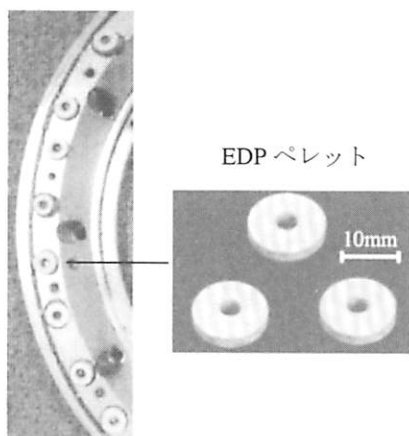


図10-EDPペレット

7. おわりに

日本刀の研ぎと光学ガラスの研磨を対比させて、それらに使用される工具について解説してきた。カメラ、エレクトロニクス、情報機器、半導体など、広範な産業分野における高精度化の厳しい要求に応えるべく、ユニークな砥石が開発され、それを用いた新しい超精密加工へのアプローチが続いている。

古来より、世界に比類のない美術工芸品を生み出してきた日本人は繊細で優雅な感性をもち、それゆえに、超精密加工に対する適性を備えている。最高の水準を目指す加工技術は一朝一夕には確立されないので、加工技術者は先人の見えざる資産を継承しながら、そこに創意工夫を重ねて超精密研削・研磨技術を発展させている。まことに頼もしい限りである。

参考文献

- (1) 渡辺妙子：秋葉山本宮秋葉神社の刀剣、秋葉山本宮秋葉神社、(1999).
- (2) 永山光幹：日本刀を研ぐ、研師の技・眼・心、雄山閣、(2007).
- (3) 鈴木卓夫：作刀の伝統技法、理工学社、(1994).
- (4) 研削砥石の最新事情(その1)：砥粒加工学会誌、Vol.48, No.6, (2004), 291.
- (5) 研削砥石の最新事情(その2)：砥粒加工学会

誌、Vol.48, No.7, (2004), 358.

- (6) 谷口紀男：ナノテクノロジーの基礎と応用、工業調査会、(2002).
- (7) 瀧野日出雄：ガラスレンズの製造技術、精密工学会誌、Vol.70, No.5, (2004), 619.
- (8) ニューセラミックス懇話会：セラミックスの超精密加工、日刊工業新聞社、(1983).
- (9) 周立波他：電気泳動法によるCMG砥石の開発とその性能評価、砥粒加工学会誌、Vol.50, No.3, (2006), 130.
- (10) 不破徳人他：水晶の鏡面研削に関する研究-EPD砥石の試作とその研削性能について、Vol.52, No.6, (2008), 333.
- (11) 鈴木浩文他：寒天を利用したゲル状砥石による非球面加工、砥粒加工学会誌、Vol.50, No.9, (2006), 513.