

光学ガラスの高効率鏡面加工に関する研究 (2)

落合一裕* 南部洋平* 佐々木貴英** 宇都宮康**

Study on High-removal-rate Mirror Grinding of Optical Glass (2)

OCHIAI Kazuhiro *, NANBU Youhei *, SASAKI Takaei**, UTSUNOMIYA Yasushi**

抄録

カメラ付携帯電話には、IRカットフィルターという光学特性をコントロールする光学部品が搭載されている。IRカットフィルターに使用するガラス基板は高い表面精度、形状精度が要求されている。従来法では、スラリーを用いた研磨加工によって行われているが、環境保全のためのスラリーの廃液処理や、高度な職人技と長い加工時間が必要であるという問題がある。

そこで本研究では、これらの問題を解決すべく研磨用EPD砥石を開発し、加工条件の検討や加工能力の評価、加工面の評価を行った。作製した砥石で加工した結果、最高で1100nm/minという研磨レートを得ることができ、従来法に比べて高効率に鏡面加工することが可能になった。

キーワード：電気泳動現象，EPD砥石，メカノケミカル反応，研磨，片面研磨装置

1 はじめに

カメラ付き携帯電話等の情報機器は、市場規模が大きく今後も更に拡大が期待される分野である。特にカメラ付携帯電話の出荷台数は伸び続けており、世界の出荷台数は10億台を超えているという市場レポートが出ている。国内需要では高画素数・高性能機種への買い換えや、海外ではカメラ付き携帯電話への注目が高まっていることから、携帯電話へのカメラ搭載率が急増している。これらの背景から携帯電話の総出荷台数が伸びており、その9割以上にカメラが搭載されると言われている。

携帯電話のカメラ部分には、IRカットフィルターという光学部品が必ず使用されている。IRカットフィルターは、光を透過させる際に赤外域の波長をカットする光学部品である。CMOSセンサーなどの受光素子に光をデータとして保存する際に、

画像が赤みがかかることを防止し、人の目で見る画像と同じように補正する重要な役割を果たしており、デジタルカメラやビデオカメラ等の光学器機にも必ず搭載される光学部品である。

IRカットフィルターは、磨いたガラス基板に対して特殊な膜を蒸着させることによってその機能を持たせている。光を透過させて使用するという特性上、使用するガラス基板は高い表面精度、形状精度が要求されている。そのため、従来の鏡面仕上げでは、スラリーを用いた研磨加工が行われている。研磨加工は優れた仕上げ加工面を得られるが、職人技による長時間加工となり、スラリーの使用に関しては廃棄にコストが掛かる。そのため、これらの問題をクリアすることができれば、産業上のメリットが大きいと言える。

そこで産学官連携（株）タナカ技研、埼玉大学、産業技術総合センター）の体制で、光学ガラスの鏡面研磨に挑戦し、砥石や加工についての検討を行い、従来方法に比べて高速で鏡面に加工することを目指した。

* 試験研究室 生産技術担当

** (株) タナカ技研

2 実験方法

2.1 砥石作製方法

2.1.1 電気泳動現象

砥石を作製する方法には、電気泳動現象 (Electro Phoretic Deposition) を用いた。これは、負に帯電している微粒子を含む液中で電場を与えると、微粒子が正極に移動する現象である。この方法を用いると、微粒子を均一かつ高密度に堆積させることができる¹⁾⁻⁵⁾。

2.1.2 砥粒及び結合材

砥粒は酸化セリウム微粒子を使用した。酸化セリウムはスラリーを用いた湿式研磨等でガラスの仕上げ加工等に用いられている砥粒である^{6),7)}。

結合材は、高分子電解質のアルギン酸ナトリウムを使用した。アルギン酸ナトリウムは、保護コロイドとして帯電粒子に吸着するため、均一な結合力で砥粒を保持することができる。また、結合力は一般砥石に比べて小さいため、優れた自生発刃作用が期待できる。

2.2 砥石作製実験

2.2.1 砥石作製装置

これまでの研究において、EPD砥石を研磨加工に適用できるよう、砥石を大面積化する検討を行っている。既報にて提案している任意の形状に砥石を作製する手法を用いて、実験に使っている片面研磨機の加工定盤用の砥石作製に成功している⁸⁾⁻¹¹⁾。作製した装置の概要を図1に示す。

アクリル製の 340mm×340mm の容器を作製し、真鍮の電極を上下に平行に配置した。上下に配置することで、溶液の濃度変化による砥石厚さムラの発生を抑制した。また、平行に配置して電極間距離を一定にすることで、電流密度が一様になるようにし、砥石厚さムラの発生を抑制した。

電極の上面に、φ250mm の加工をした非導電性のマスクを被せて通電を行うことによって、溶液と電極の接触面をコントロールし、任意の形状に砥石を作製することができ、砥石の成形加工工程を省くことができる。また、余剰砥石が無くなるため溶液を効率的に使用できる。さらに、電極

と溶液の接触をコントロールすることで電流密度が向上して効率的になり、省エネ効果のメリットも得られる。

砥石作製装置には、作製時の電流値と電圧値を測定できるようにしてあり、これらをモニタリングすることで、砥石が吸着する様子を確認することができる。

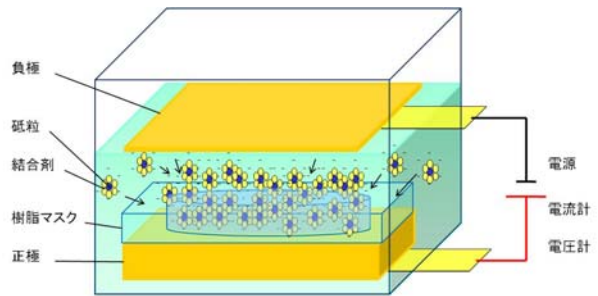


図1 電気泳動現象を用いた砥石作製装置

2.2.2 砥石作製

砥粒と結合材と水を攪拌し、電気泳動時に使用する砥石溶液を準備した。使用する溶液の成分を表1に示す。

攪拌した砥石溶液を砥石作製装置の容器に入れて電極に通電を行い、正極に砥粒と結合材を吸着させた。吸着した砥石を電極から取り外し、塩化カルシウム水溶液に浸してカルシウム置換を行い、その後乾燥を行った。

表1 砥石成分

成分	質量(g)	重量比(wt%)
砥粒	835	16.7
結合材	150	3.0
純水	4015	80.3

2.3 加工実験

2.3.1 片面研磨装置

加工実験には、片面研磨装置 (FACT-200 ㈱ナノファクター) を使用した。加工機の概要を図2に示す。この片面研磨装置は、ボールポイント支持となっている。治具の中心でワークを保持する機構になっており、加工定盤の回転する力を受けて治具が回転して加工が行われる。加工時の荷重

は、ボールポイント支持の上部にウエイトを配置することで加工部に荷重がかかるようになっている。

作製したφ250mmの酸化セリウム EPD 砥石を、片面研磨装置の加工定盤に接着剤で固定した。この加工機は机上でツルーイングする機構が付いており、貼り付けた砥石表面を平坦化させるため、ダイヤモンドバイトを用いて机上でツルーイングを行った。

治具に光学ガラスを固定して、砥石定盤面に接触するように配置した。加工実験に用いるワークは、50 mm 角で 1mm 厚さの BK-7 を用いた。水分量の調整は、純水をミスト噴霧する形で水分の供給を行った。

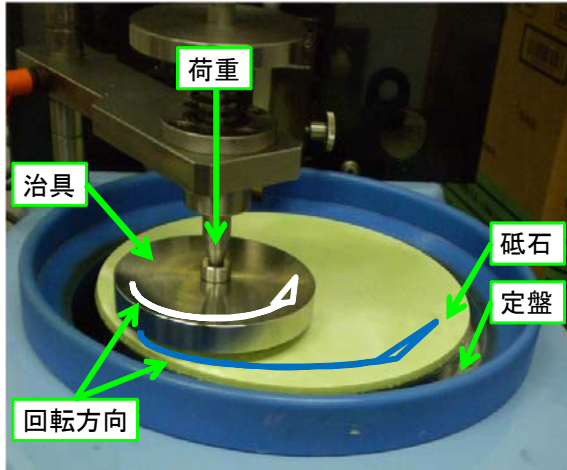


図2 片面研磨装置

2.3.2 加工条件の検討

加工条件が研磨レートに及ぼす影響を調べるため、加工速度、加工圧力、水分量について検討を行った。加工条件を表2に示す。ワークの回転は定盤との摩擦によって発生する。実測したところ約 60 min⁻¹程度となっていた。加工時間は3minとした。

加工に使用するワークの前加工条件を揃えるために、粒径が 3μm のダイヤモンドスラリーで 7min 加工を行い、使用するワークの前加工面を統一した。前加工面は、10nmRa から 20nmRa 程度の表面粗さであった。

砥石表面の影響を除くために、それぞれの検討を行う前にツルーイングを行って表面を平坦化し、リフレッシュして実験を行った。

表2 加工条件の検討

使用砥石	酸化セリウム EPD
主軸回転数 (min ⁻¹)	200, 300, 400
ワーク回転数 (min ⁻¹)	60
加工圧力 (kPa)	3.61, 6.74, 11.46
加工時間 (min)	3
水分量 (ml/h)	500, 1000, 1500

2.3.3 加工条件の比較

ある条件での加工時と最適な条件での加工時の、研磨レートや表面粗さについて、どのような違いが出るか観察するために、1min ごとの比較を行った。比較した加工条件を表3に示す。

表3 加工条件の比較

	条件 1	条件 2
主軸回転数 (min ⁻¹)	200	400
ワーク回転数 (min ⁻¹)	60	60
加工圧力 (kPa)	3.61	11.46
加工時間 (min)	3	3
水分量 (ml/h)	500	500

2.4 加工評価

加工の評価は、加工面の表面粗さの測定と、研磨レートの測定について行った。

表面粗さの測定は、表面粗さ測定機 (サーフコム 1400D-3DF、(株)東京精密製) を用いた。

研磨レートの測定は、加工前後の除去量を測定することで行い、加工能力の評価とした。研磨レートのばらつきを抑えるために、加工時間は 3min で行い、研磨レートは 1min あたりの値に平均化を行った。

3 結果及び考察

3.1 加工実験の結果

3.1.1 加工条件の検討結果

作製した酸化セリウム EPD 砥石による、BK-7の加工を行った。加工速度と研磨レートとの関係を図3に示す。加工速度が上がるにつれて研磨レートが増加していることがわかる。これは、回転速度が上がることでワークを通過する砥粒の数が増加し、砥粒とガラスの化学反応及び、機械的研磨の絶対数が増加するためだと考えられる。

次に、加工圧力と研磨レートとの関係を図4に示す。加工圧力が増すにつれて研磨レートが増加していることがわかる。加工点の圧力が増すことで、メカノケミカル反応が促進され、加工が進むためと考えられる。これらの加工条件と除去量との関係は、プレストンの経験則の式に倣う結果となった。

また、水分量と研磨レートとの関係を図5に示す。水分量と研磨レートは比例する関係では無く

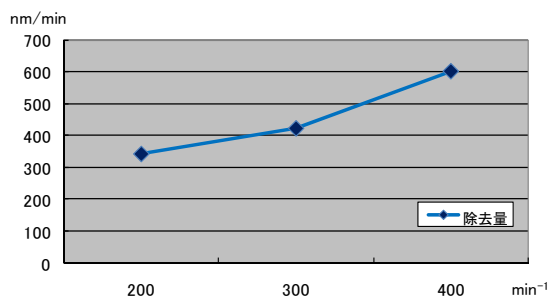


図3 加工速度と研磨レートの関係

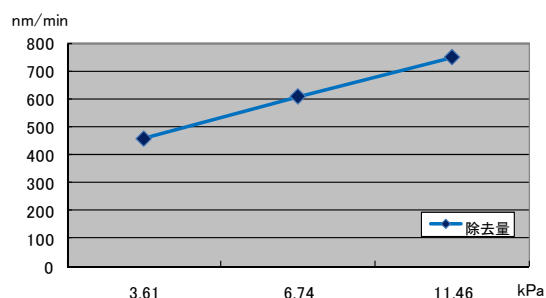


図4 加工圧力と研磨レートの関係

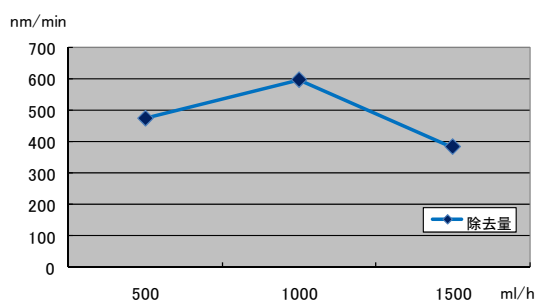


図5 水分量と研磨レートの関係

1000ml/hの時に最大となった。水分量が多いことで化学反応が促進されるかと思われたが、研磨レートは比例しなかった。ミスト噴霧による微量の水分量での加工ができることがわかった。スラリー研磨に比べて水分量を減らすことができ、スラリー後処理の大幅に軽減することができた。ただし、水分量0で加工すると加工結果が思わしくなかったことから、微量の水分量が必要であることがわかった。

3.1.2 加工条件比較の結果

作製した酸化セリウム EPD 砥石による、BK-7の加工条件比較の検討を行った。加工条件の違いによる研磨レートと表面粗さの経時変化を図6に示す。いずれの加工条件でも、高い研磨レートを得られた後は、加工面粗さの値が小さくなり、鏡面に近づく結果となった。

条件1は、初めの1minの研磨レートが400nm/minとなりRaの値は前加工面の13.5nmRaから2.52nmRaとなった。その後、3minの加工で1.54nmRaとなった。

それに対して条件2は、加工速度や加工圧力が高めになっているため、初めの1minの研磨レートが1100nm/minという高い値を得ることができた。除去量が大きかったため、Raの値も前加工面の14.62nmRaから1.40nmRaの面を得ることができた。その後、表面粗さの値がほぼ一定になっているので、初めの1minで鏡面にすることができたと言える。また、どのような条件でも加工が進み、表面粗さが一定に近づく、研磨レートが伸びなくなる傾向となった。

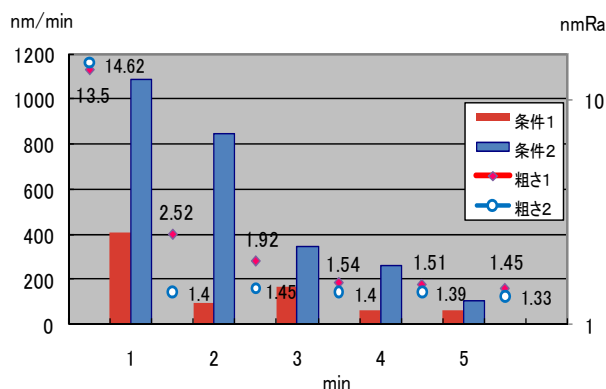


図6 加工条件別の研磨レートと表面粗さ

4 まとめ

- (1) 砥石作製装置を開発して、片面研磨装置の加工定盤と同じサイズのφ250mmの酸化セリウムEPD砥石を作製し、加工実験を行った。
- (2) 加工条件が研磨レートに与える影響について検討した。加工速度を上げることや、加工圧力を高くすることで、高い研磨レートを得られた。
- (3) 微量の水分量での加工時も鏡面を得ることができ、スラリーの廃液量を大幅に減らすことができた。
- (4) 加工条件の違いによって、最高で1100nm/minの研磨レートを得られることがわかった。
- (5) 加工条件を検討することによって、実用的な条件を導き出し、従来法に比べて短い時間で1.4nmRa程度の加工面を得ることができた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、客員研究員として御指導頂きました埼玉大学の池野順一様、澁谷秀雄様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 池野順一，谷 泰弘：電気泳動現象を利用した超微粒砥石の開発とその応用，日本機械学会論文誌，**57**，535 (1991-3)
- 2) 澁谷秀雄，深沢 隆，不破徳人，池野順一，鈴木浩文，堀内 宰：薄片状シリカ EPD ペレットによるシリコンウエハの研削特性，日本機械学会論文誌，**68**，673 (2002-9)
- 3) 池野順一，谷 泰弘：電気泳動現象を利用した超微粒砥石の作成法に関する研究，日本機械学会論文誌，**59**，562 (1993-6)
- 4) 藤木弘栄，池野順一：水晶ウエハの高速鏡面研削に関する研究，2004 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文誌，(2004)L15
- 5) 池野順一，矢野克行，不破徳人，澁谷秀雄，深澤 隆，堀内 宰，河西敏雄：環境に優しい鏡面研削砥石の作製に関する一考察，精密工学会誌，**67**，3 (2001)

- 6) 河西敏雄：機能性難加工材料の物性と加工特性，機械と工具，**50-7** (2006) 82
- 7) 山根正之 他：ガラス工学ハンドブック，朝倉書店，(1999)401
- 8) 南部洋平，落合一裕，八木 進，宇都宮康，池野順一，澁谷秀雄：情報機器に用いられる水晶光学部品の鏡面研削加工に関する研究，2005 年度精密工学会秋期大会学術講演会講演論文誌，333(2005)
- 9) 落合，南部，池野，澁谷，長谷川，宇都宮：研削加工用砥石の製造装置及び製造方法，特願2007-158686
- 10) 落合一裕，南部洋平，田中文夫，宇都宮康，池野順一，澁谷秀雄：高機能ガラスの鏡面加工に関する研究，埼玉県産業技術総合センター研究報告，**6**，145 (2008)
- 11) 落合一裕，南部洋平，田中文夫，佐々木貴英，宇都宮康，池野順一，澁谷秀雄：高機能ガラスの鏡面加工に関する研究，埼玉県産業技術総合センター研究報告，**7**，78 (2009)