

光学ガラスの高効率鏡面加工に関する研究

落合一裕* 南部洋平* 田中文夫** 佐々木貴英** 宇都宮康**

Study on High-removal-rate Mirror Grinding of Optical Glass

OCHIAI Kazuhiro *, NANBU Youhei *, TANAKA Fumio**, SASAKI Takei**
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カットフィルターは、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。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。しかし、スラリーは環境保全のために廃液処理にコストが掛かり、高度な研磨は職人技を要し長い加工時間を費やしている。そこで本研究では、これらの問題の解決策として期待されるEPD砥石を用いた光学ガラスの鏡面研磨に挑戦し、砥石の大面积化や加工面粗さや研磨レート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手法を開発した。

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、人の目で見え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

* 生産技術部

** (株) タナカ技研

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旨とした。

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として、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。

2.1.3 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い、 $\phi 80\text{mm}$ までの砥石作製に成功している^{8)~10)}。そこで今年度は、加工定盤の面積である $\phi 250\text{mm}$ の砥石を作製するための装置を新たに作製した。装置に使用する電極の面積を大きくすることで、砥石を吸着させる面積を大きくして砥石のサイズを大きくすることができる。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も用いて、 $\phi 250\text{mm}$ 砥石の作製を行った。砥石作製装置の概要を図1に示す。

アクリル製の $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 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によって、砥石作製時の溶液の濃度変化による砥石の厚さムラの発生を抑制することができる。また、平行に配置することも、電流密度が一樣になり、砥石の厚さムラの発生を抑制す

る。

電極の上面に、 $\phi 250\text{mm}$ の加工をした樹脂のマスクを被せて通電を行った。これによって、溶液と電極の接触部をコントロールし、任意の形状に砥石を作製することができる。これによって、加工定盤に貼り付けるために必要だった、砥石の成形加工に関する工程や時間省くことができる。また、切断で発生する余分な砥石の廃棄を無くすることができるため、砥石溶液を効率的に使用できる。さらに、同じ電力の場合、マスク無しの時に比べて電極と溶液の接触面積が減って電流密度が上がるので、効率的に砥石の作製を行うことができるというメリットがある。

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によって、砥石の吸着の様子を確認することができる。

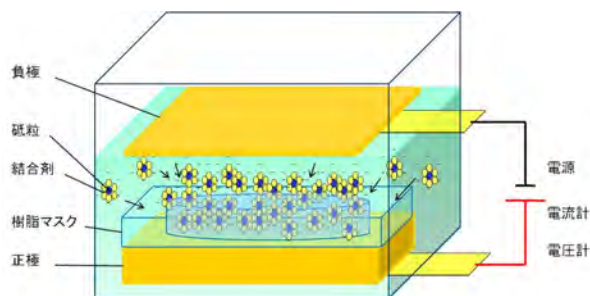


図1 電気泳動現象を用いた砥石作製

2.2 砥石作製実験

2.2.1 砥石作製条件の検討

電気泳動時に使用する砥石溶液は、砥粒と結合材と水を攪拌して作製する。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、上下に配置した電極に通電を行い、正極に砥粒と結合材を吸着させていく。

砥石作製条件が砥石の吸着層の厚さに与える影響について検討を行った。電気泳動の条件の中で電流密度と通電時間について、それぞれ砥石の厚さを評価した。検討した砥石作製条件を表2に示す。なお、電圧は 30V で、電極間距離は 50mm にして検討を行った。

吸着させた砥石は、塩化カルシウム水溶液に浸し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

表 2 砥石作製条件

電流密度(A/m ²)	120, 240, 360
印加電圧(V)	30
通電時間(min)	20, 40, 60
電極間距離(mm)	50

2.2.2 片面研磨装置

加工機は、片面研磨装置 (FACT-200 榊ナノファクター) を使用した。この装置は、机上でツルーイングする機構が付いている。加工機の概要を図2に示す。

作製した砥石を、片面研磨装置の加工定盤に接着剤で貼り付けた。その後、貼り付けた砥石表面を平坦化させるために、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。

ワークは、50 mm 角で厚さが 1mm の BK-7 を使用した。

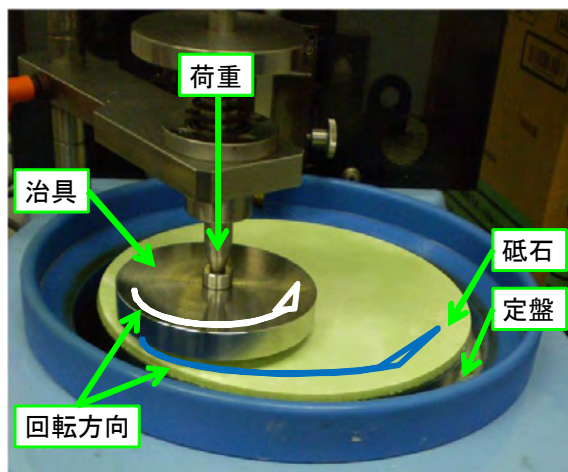


図 2 片面研磨装置

光学ガラスを治具に固定して、砥石面に接触させる。治具の中心で荷重をかけながらワークを保持すると、加工定盤の回転によって治具も回転する。

2.3 加工実験

作製した砥石を用いて、加工実験を行った。砥石には、φ250mm の酸化セリウム EPD 砥石を使用した。EPD 砥石の性能を確認するために、スラリーを用いた湿式研磨との比較を行った。加工条件を表3に示す。また、前加工条件を揃えるために、粒径が 6μm のダイヤモンドスラリーを使用して前加工面を統一した。

表 3 加工条件

使用砥粒	酸化セリウム EPD	ダイヤモンドスラリー
主軸回転数	150 (rpm)	150 (rpm)
ワーク回転数	60 (rpm)	60 (rpm)
加工圧力	3.53 (kPa)	3.53 (kPa)
加工時間	1, 2, 3 (min)	5, 10, 15 (min)
加工雰囲気	セミドライ	ウェット

2.4 加工面評価

加工後の評価として、加工面の表面粗さの測定を行った。表面粗さの測定には、表面粗さ測定機 (サーフコム 1400D-3DF、榊東京精密製) を用いて測定した。また、加工能力の評価として、研磨レートの測定を行った。

3 結果及び考察

3.1 砥石作製の結果

φ250mm の砥石の作製を行った。電気泳動の条件の中で、電流密度が砥石厚さに与える影響について調べた。その結果、電流密度に比例して砥石厚さが増加する結果となった。電流密度と砥石厚さの関係のグラフを図3に示す。特に 240A/m² の時と 360A/m² の時の比較では、電流密度が 1.5 倍になったとき砥石厚さも 1.5 倍になっており、

電流密度と砥石厚さの比例の関係が顕著にあらわれた。

次に、通電時間が砥石厚さに与える影響について調べた。通電時間と砥石厚さの関係のグラフを図4に示す。通電20分のところで少し早く厚くなっているが、ほぼ10分につき1mmの割合で砥石厚さが増加することがわかった。

これらの検討より、最適な砥石作製条件を導き、電流密度 360A/m^2 、電圧 30V 、通電時間 60min 、電極間距離 50mm という条件で砥石を作製した。図5に作製した砥石の写真を示す。吸着層の剥離も発生することなく、表面の平坦な、 $\phi 250\text{mm}$ の酸化セリウム EPD 砥石を作製することができた。

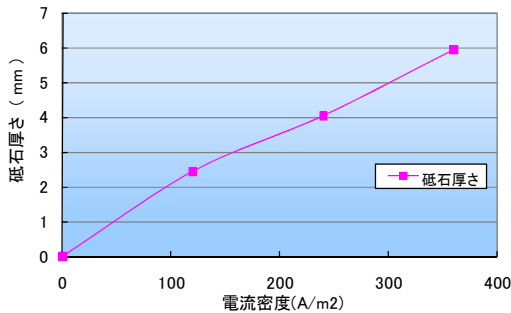


図3 電流密度と砥石厚さの関係

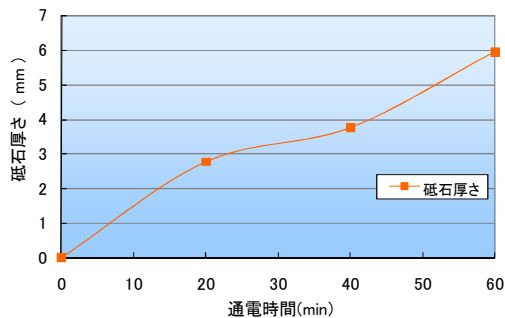


図4 通電時間と砥石厚さの関係

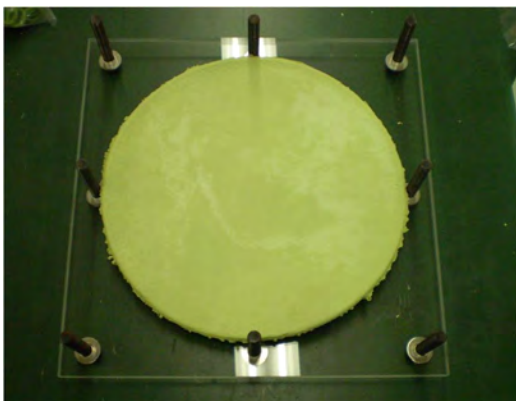


図5 $\phi 250\text{mm}$ 酸化セリウム EPD 砥石

3.2 加工結果

作製した酸化セリウム EPD 砥石と、湿式スラリー研磨による、ガラスの加工を行った。それぞれ時間ごとに加工面の表面粗さの測定を行った。測定した粗さデータの経時変化のグラフを、RaとRzについて、図6と図7に示す。

ダイヤモンドスラリーで研磨した粗さの推移は、Raの値が前加工面で 8nmRa だったのに対して、加工5分で 3nmRa になり加工10分で 1.5nmRa 程度の面になった。またRzの値では、前加工面が 60nmRz 程度のものに対して、加工5分で 30nmRz 以下になり加工10分で 10nmRz 程度の面になった。

次に、酸化セリウム EPD 砥石を用いた加工では、Raの値が前加工面で 9nmRa 程度だったのに対して、加工1分で 2nmRa になり加工3分という短い時間で 1.5nmRa 程度の面を得ることができた。またRzの値でも、前加工面が 70nmRz 程

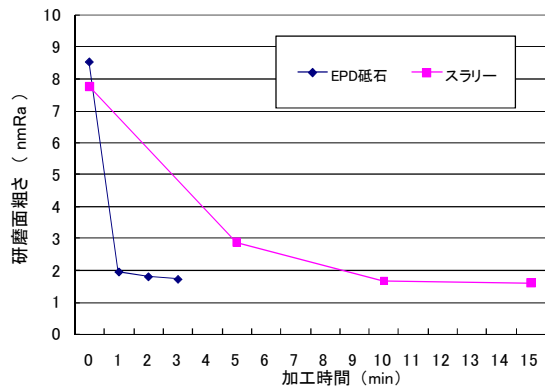


図6 酸化セリウム EPD 砥石による研磨面粗さの経時変化

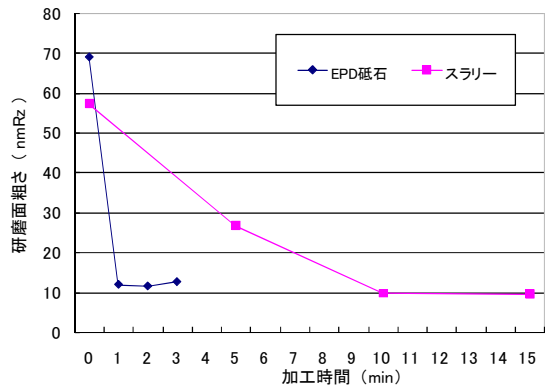


図7 酸化セリウム EPD 砥石による研磨面粗さの経時変化

度のものに対して、加工1分で10nmRz程度の面を得ることができた。

また、研磨レートについてそれぞれ測定した結果を図8に示す。ダイヤモンドスラリーを用いた湿式研磨では、約0.05 μ m/minとなった。

それに比べて、酸化セリウム EPD 砥石を用いた研磨では、約0.5 μ m/minとなった。ダイヤモンドスラリーに比べて、約10倍以上の研磨レートとなり、従来法に比べて高速で鏡面に加工することができた。

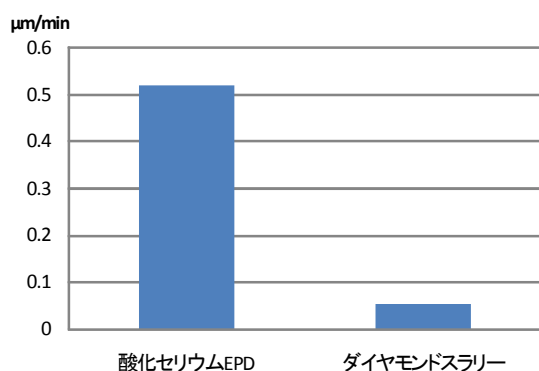


図8 研磨レートの比較

4 まとめ

- (1) 砥石作製装置を開発し、片面研磨装置の加工定盤と同じ ϕ 250mmの酸化セリウム EPD 砥石を作製することに成功した。
- (2) 電気泳動の条件が砥石厚さに与える影響について検討し、電流密度と通電時間に比例して砥石厚さが厚くなることがわかった。
- (3) 酸化セリウムを用いた EPD 砥石を作製し、片面研磨装置を用いて光学ガラスの加工を行ったところ、1分程度で鏡面になった。
- (4) 作製した EPD 砥石の研磨レートを測定したところ、湿式のスラリー研磨に比べて約10倍の研磨レートになることがわかった。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、客員研究員として御指導いただ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, 日本機械学会論文集, **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, 日本機械学会論文集, **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, 日本機械学会論文集, **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集, (2004)L15
- 5) 池野順一, 矢野克行, 不破徳人, 渋谷秀雄, 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, 渋谷秀雄: 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集, 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, 渋谷秀雄: 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)