

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月31日現在

機関番号：81406

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560138

研究課題名（和文）スラリー保持機能を発現する電界砥粒制御技術による

高能率加工メカニズムの確立

研究課題名（英文）Study of improvement mechanism for highly polishing rate

using maintained slurry under electrically controlled

研究代表者

赤上 陽一（AKAGAMI YOICHI）

秋田県産業技術センター・素形材プロセス開発部・部長

研究者番号：00373217

研究成果の概要（和文）：

交流電界下のスラリーの動作を理解するために、開発した観察装置を用いて、スラリーの挙動を観察した。その結果、研磨スラリーが交流電界によって研磨領域内に導かれることを確認し、研磨領域のスラリー分布が12%向上することを明らかにした。研磨レートは交流電界が適用された時、無電界時と比較して、22%増加した結果を得た。

研究成果の概要（英文）：

This paper deals with the development of a novel polishing technique for the glass substrate for electric devices by applying AC electric field. In order to grasp the movements of the slurry under AC electric field, we have observed slurry behaviors with an observation device we developed, and found that the slurry was smoothly led to the polishing area by AC electric field. Furthermore, effectiveness of the slurry distribution on the polishing area increased by 12%. Polishing rate also increased 22% compared to the conventional polishing when AC electric field was applied.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計			4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：スラリー / 交流電界 / 砥粒 / 遊離砥粒研磨 / 電界砥粒制御

## 1. 研究開始当初の背景

次世代航空機部品において最重要視されている要求項目の一つに軽量化がある。例えば、金属製の軸受け部品からセラミックス製ボールへの転換が求められている。これに対応する砥粒加工技術としては、高品位な面が得られる遊離砥粒加工と高効率な加工を実現する固定砥粒加工のそれぞれの特徴を融合させて、以下に示す短所を解決する加工メカニズムの確立が求められている。

## 2. 研究の目的

本研究では、次世代航空機部品の軽量化へ貢献する駆動部品用加工メカニズムの確立をはかるための研究開発である。具体的には電界砥粒制御技術を適用し、遊離砥粒を含むスラリーを研磨定盤に集め、スラリーの飛散を抑制した環境下にて既存の研磨パッドを不要化し、疑似研削加工への可能性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 電界下におけるスラリー特性の把握

印加電界下におけるスラリー挙動をとらえる。静的並びに遠心力が作用している動的な環境下における研磨定盤へのスラリー分布特性を可視化実験で確認する。

#### (2) 平面試料の加工・研磨特性

最適な電界印加方法として鋳鉄製定盤を電極として砥粒制御技術の機能を発現させ、砥粒の保持機能により弾性パッドを廃し、新たに疑似研削加工技術の指針を得る。同時にCMP研磨（ケミカルメカニカル研磨）の効果を活用するために、誘電率が高い水ベース導電性スラリーを適用し、このスラリー内に砥粒が分散していることから、スラリーを配置制御する技術を可能にする。被研磨試料としては、主に脆性材である（ガラス、石英、サファイア、シリコン）等について実験を行う。各種平面試料に対して粗い面（一次加工）の加工能力UPと仕上げ能力UPについて、実験を元にした研究開発を実施する。

### 4. 研究成果

#### 4.1 電界下におけるスラリーの運動特性

##### 4.1.1 実験方法

スラリー中の酸化セリウム砥粒を研磨領域下で工作物に対し有効に作用させるために、電界有無によるスラリー流れを明らかにする必要がある。そこで、初めにスラリーを固定電極間に置いて電界を与えたときに示す挙動を観察する<sup>8)</sup>。この時に用いた観察実験装置の概要図を図4に示す。電界は重力方向に平行に印加し、CCDカメラにてスラリーが示す挙動を横方向より撮影し記録した。次に研磨時を想定して駆動中の上定盤の下面領域におけるスラリー流れが示す挙動を捉える観察実験を図5に示す装置を用いて行った。回転定盤と固定定盤には透明電極付きI.T.Oガラスを用いて下方からスラリー流れの観察が可能な構成とした。その時のスラリーの挙動はCCDカメラを用いて撮影し記録した。また、図6は、スラリーに電界を供給するための電界制御装置を示す。その構成は、ファンクションジェネレータ(NF社製WF1974)にて基本信号を発生させ、利得2000の高電圧アンプ(トレック製mode120/20B)に接続して昇圧し、得られた電圧を上下定盤に設置した電極に供給するシステムである。高電圧信号の観測には、1/1000に降圧する高電圧プローブ(Tektronix製P6015A)を介してデジタルオシロスコープ(Tektronix製TDS2014B)に接続して観測する。ここでスラリーに印加する電界のパラメータは、印加電圧、周波数、及び、波形とし、それぞれ表1のように設定した。

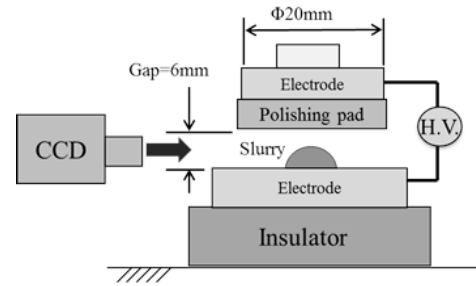


Fig.4 Set-up for observation test of droplet behavior on the stationary electrode

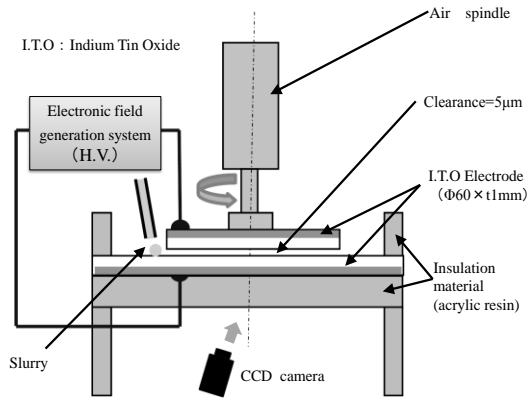


Fig.5 Set-up for observation of flowing slurry with rotating I.T.O electrode rotation

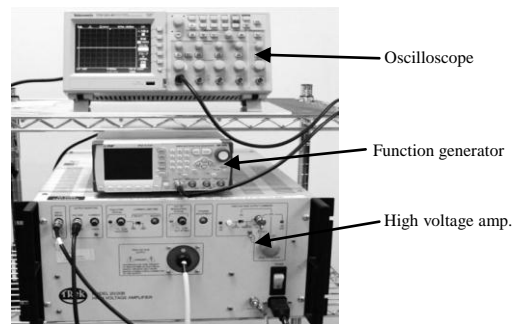


Fig.6 Electronic field generation system

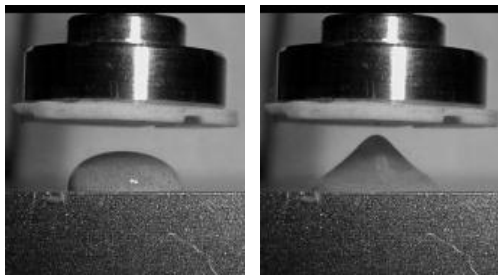
##### 4.1.2 スラリーの挙動観察結果

上下電極間距離を一定とし、スラリーに表1に示す電界を与えて挙動観察実験を行った。ここで印加電圧の波形は矩形波を用い、電界はプラス側にオフセットさせて与え、下部電極側はアースに接地した。図7(a)に無電界における上下電極間にスラリーを滴下した状態を示す。図7(b)は上下定盤間に+4kVの高電圧を印加した時に、スラリーが上定盤方向へ吸引された様子を示している。スラリーに作用する吸引力発生メカニズムを図8に示す。上部電極にプラス電圧を与えると絶縁体を介し、その分極作用により絶縁体の最下面には正極が生じる。スラリー溶媒として用いる水は極性分子構造を有しているため、与

えられた電界によってクーロン力がスラリーに作用することで上部電極方向へ吸引される。図 7(a)に示すスラリーは、表面張力の作用でドーム形状を呈する。一方、図 7(b)に示す円錐状の形成は、上部電極面とスラリーの中央先端部との距離が最も小さくなる部位において電界強度が最も強くなり、クーロン力が最大となることを示している。

Table 1 Experimental conditions for observation test of slurry

Electric field	AC voltage	kV	4
	Frequency	Hz	20
	Waveform		square
Slurry	Solvent		Water
	Abrasive grain	CeO <sub>2</sub>	
		Showa Denko KK	
		SHOROX F-05	
	Ave. particle diameter	μm	0.5
Particle concentration	wt%	5	



(a) E = 0V (b) E = 3kV  
Fig.7 Behavior of slurry under AC electric field

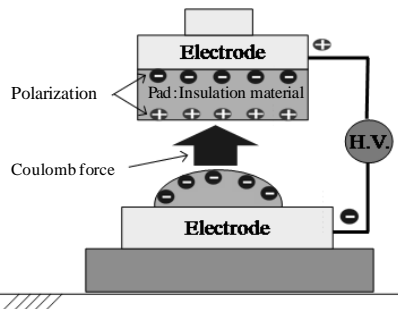


Fig.8 Mechanism of attractive motion to slurry by AC electric field

次に、回転定盤におけるスラリーの挙動を観察した。ここでは、回転速度 100 min<sup>-1</sup> の定盤外周部にスラリーを滴下し、表 1 に示す電界条件を与えた時の研磨領域への流入状態を CCD カメラで撮影した。図 9(a)は下定盤の下方から観察された無電界時のスラリー挙動を示したものである。回転定盤により発生する遠心力によって研磨領域へのスラリー流入が阻止される様子がこの図より明確に観察された。一方、図 9(b)は電界印可時のス

ラリー挙動である。与える電界条件を表 1 に示す。スラリーが定盤下へ流入する挙動として捉えられた。このように、電界がスラリーの流れに影響を与えることを確認した。さらに、上定盤にポリシングパッドを装着し、表 1 に示す条件にて図 4 に示す装置を用いて、定盤下のスラリー流れを調査した。図 10 は、100 min<sup>-1</sup> で回転する定盤下の電界有無時におけるスラリー分布を示す。図 10(a) は、無電界時においてスラリーが示す分布状態である。回転定盤による遠心力の影響を受けて中央部にスラリーが存在できない様子並びに外周方向に 3 重に筋を形成し偏っている様子を見て取れた。一方、図 10(b) は、電界印加時のスラリー分布状態を示している。図 10(a) の無電界時に比べると電界を与えることにより、スラリーが中央部に集まるとともに広範囲に均一に広がる様子からスラリー、特に砥粒の飛散性が抑制されることを確認することができた。

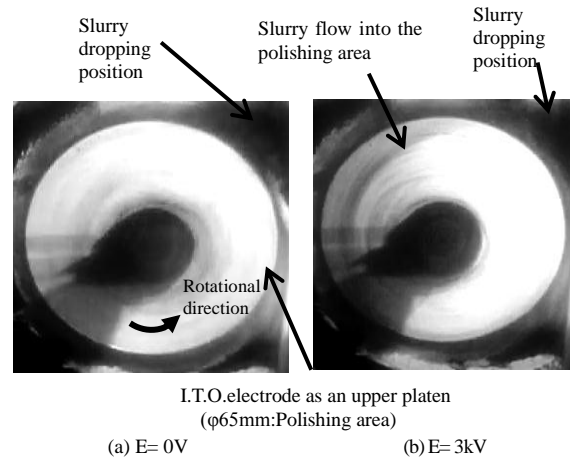


Fig.9 Flow of supplied slurry under AC electric field

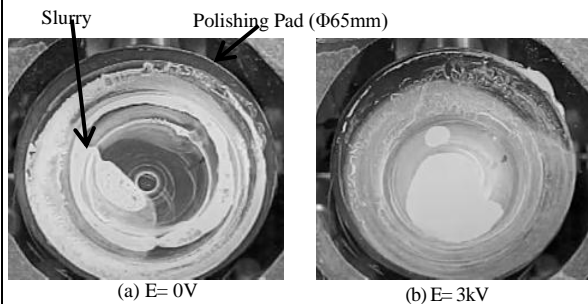


Fig.10 Distribution of slurry on the polishing pad under AC electric field

4. 1. 3 スラリー分布定量化手法とその評価  
前節の実験よりスラリー分布における電界印加の定性的な効果が確認できたため、本項では、研磨パッドにおけるスラリーの分布面積の変化を解析する手法に 2 値化処理技術を導入し電界印加の効果の定量的評価を試み

た. ここで, 図 11 に示す方法で研磨領域内にスラリーが存在する面積割合をスラリー分布率として, 以下の解析手順を用いて数値化する. ①研磨面を静止画にて撮影, ②研磨領域(研磨定盤)のみの画像を抽出, ③静止画像を2値化処理, ④スラリーの存在有無を面積比で算出し, スラリー分布率を得る. ここで用いた2値化処理は, 判別分析法 9) 10) を用い, 対象物となるスラリーと背景となる研磨パッドが最も際立つようなしきい値を決定する. ここで基準となるしきい値は, 無電界時のスラリー分布状態とし, 全ての実験条件に適用する. 実験装置を図 5, 実験条件を表 1 に示す. 印加電圧をパラメータとした時のスラリー分布率を上記解析手順に基づいて算出した. ここで, 定盤回転速度は  $100 \text{ min}^{-1}$  一定とし, 図 12 に得られた実験結果を示す. これより, 印加電圧の増大に伴いスラリー分布率も増加する結果を得た. 印加電圧が  $4 \text{ kV}$  の時, 無電界時と比較してスラリー分布率が  $12\%$  増加する傾向を得た.

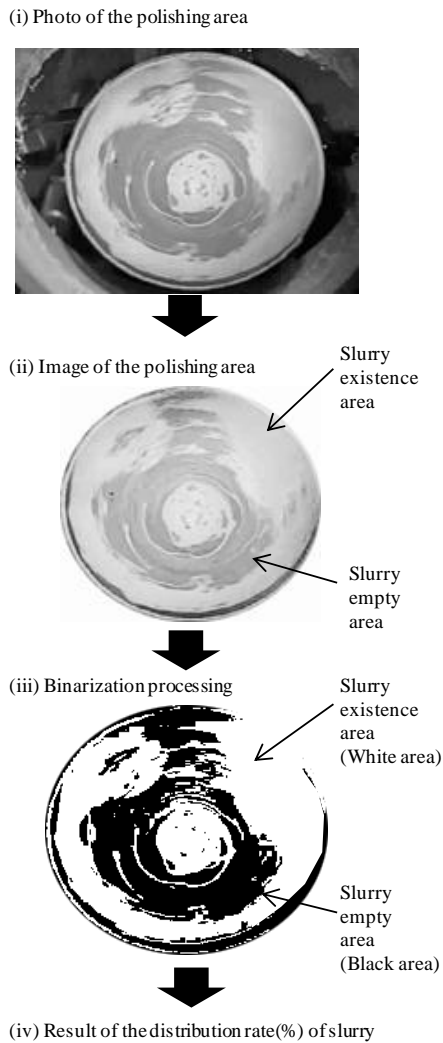


Fig.11 Analyzing method for slurry distribution rate using binarization processing on the polishing pad

#### 4.1.4 考察

これまでの実験結果より, 電界がスラリーに及ぼす作用のメカニズムについて図 13 を用いて考察する. 無電界時における回転電極中のスラリーには遠心力  $F_c$  が主として作用することにより研磨領域外にスラリーが飛散しやすい状態となる. 一方, 電界を鉛直方向に印加することにより, 吸引力  $f_a$  がスラリーに対し上方向に作用する. 同時に重力が作用することから, スラリーに作用する鉛直方向の力は  $\Delta f_a = f_a - mg$  となる. これにより, スラリーには遠心力方向と斜め上方向  $F$  が作用することによって, 見掛け上の遠心力  $f_c$  は無電界時の遠心力に比べて縮減する. その結果,  $\Delta F_c$  ( $\Delta F_c = F_c - f_c$ ) の遠心力低減効果が発揮する. したがって, 定盤回転速度を一定とした場合, 電界によって発生する吸引力がスラリーの飛散を抑制する効果をもたらすことで, 研磨領域でスラリーは広範囲に亘り均一に分布することになる. これより, 図 12 に示すスラリー分布の上昇が得られたと考えられる. このスラリーの分布改善が, スラリーに含まれる砥粒を工作物に有効に作用させ, 研磨効率向上を促進するとともに, 砥粒の使用量削減化をもたらし得ると考えられる.

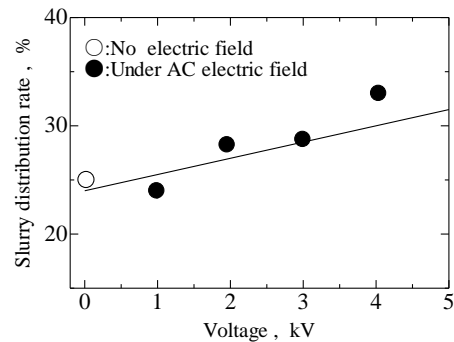


Fig.12 Relationship between voltage and slurry distribution rate

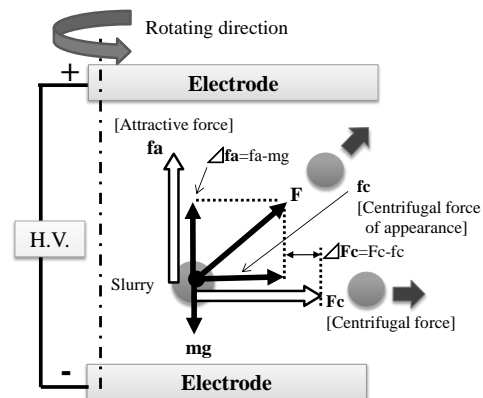


Fig.13 The generated force by AC electric field

4.2 電界スラリー制御技術による研磨特性  
電界環境において、回転中の研磨定盤にスラリーが容易に流入可能となり、かつ研磨定盤中におけるスラリーの分布が向上したことから、スラリーが工作物に有効に作用する可能性を評価するため研磨実験を行った。

#### 4.2.1 電界環境における研磨実験方法

図 14 に研磨実験装置を示す。絶縁性材料で電極を被った上側定盤に工作物であるガラスを取り付け、定盤の回転はモータにより与え、上側定盤と同様な絶縁構造を有する下側定盤に研磨パッドを装着した。回転方法は上側定盤と同様である。研磨実験は、表 2 に示す条件で行い、電界条件及び使用スラリーは表 1 を用いた。研磨効率の評価指標には研磨レートをを用いる。与える印加電圧を 0V(無電界)から 4kV まで変化させて研磨レートとの関係を求めた。

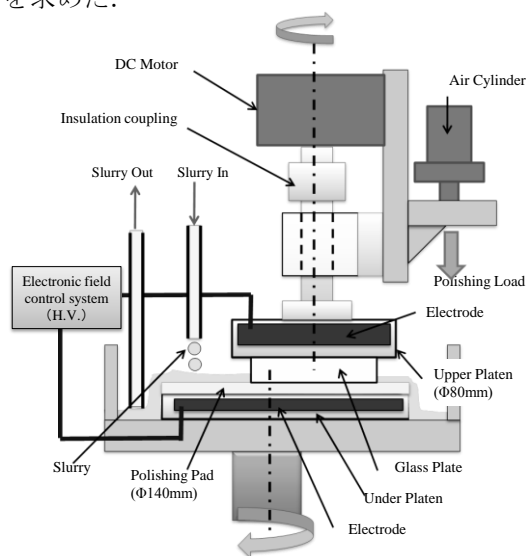


Fig.14 Set-up for polishing test using AC electric field

Table 2 Experimental conditions for polishing test

Workpiece	Glass for TFT (AN100) ASAHI Glass KK 40×40×t0.7mm	
Pressure	kPa	10.4
Work/Pad rotation	min <sup>-1</sup>	80/80
Processing time	min	10
Supply rate of slurry	mL/min	30
Polishing Pad	MH-C14B Nitta Haas KK	

#### 4.2.2 電界環境における研磨実験と考察

研磨実験結果を図 15 に示す。これより、印加電圧の増大に伴って研磨レートは向上することが確認できた。これは、図 12 で示した印加電圧と研磨領域における分布率と同じ向上傾向を示した。一方、本研究で使用し

た酸化セリウム砥粒は、その粒子の比重が 7.2 であることから溶媒である水に対し沈殿しやすい。そこで、スラリーに交流電界を与えることにより、印加周波数に応答した吸引力が攪拌作用として生じ、ポリシングパッドの溝等に停留する砥粒が有効に作用される効果が発生したものと考えられる。したがって、スラリーに電界を印加することによる分布面積の拡大、及び攪拌作用の効果によって、工作物に対し有効に作用する砥粒の数が増加する。これにより、電界 (E=4kV) を与えると無電界 (E=0V) と比較して研磨レートが 22% 向上したものと考えられる。

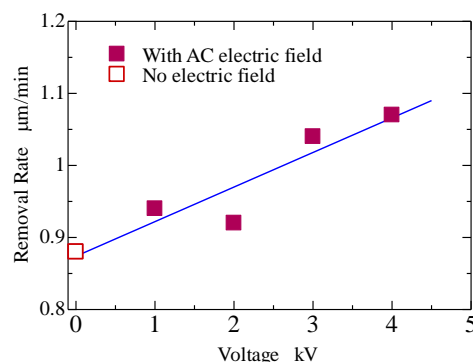


Fig.15 Relationship between voltage and removal rate

また、研磨後の工作物の算術平均粗さ (Ra) を非接触 3 次元表面形状・粗さ測定器 (Zygo 社製, NewView 6300) を用いて測定した結果、無電界並びに最大の研磨レートが得られた印加電圧 4kV においても 0.9nmRa であった。これより、電界印加によって工作物の表面粗さに悪影響を与えることなく研磨レートを向上させ得ることを明らかにすることができた。最後に、電界印加が砥粒の凝集に及ぼす影響を考察すると、既述のとおり水の比誘電率は砥粒の約 25 倍大であるため、スラリーに電界を印加することによって、その作用 (電位変化, クーロン力) は溶媒である水表面に集中し、砥粒固有の電気二重層には影響を与えないと考えられる。そのため、凝集や付着は生じないと考えられる。そして、電界印加によっても工作物の表面粗さが変化しないという結果は、砥粒の凝集や付着が生じないことの一つの証左であると考えられる。

#### 4.3 まとめ

本研究では、酸化セリウムスラリーによるガラス試料の研磨効率を向上させるため、電界スラリー制御技術を導入した研磨法による研磨特性を検討した。本報では、電界印加環境下におけるスラリーの流れ特性に着眼して、その観察実験を通して研磨の高効率化について考察するとともに、ガラスの研磨実験を行い以下の結論を得た。

1) 電界を印加することにより、スラリーが定盤下へ流入する挙動を示した。この挙動により、研磨領域へ良好なスラリー供給が可能になることを確認した。

2) 無電界すなわち従来の方式におけるスラリー分布は、研磨領域にて遠心力の影響を受けて偏在している様子を確認した。電界を印加することによって、スラリー分布が広範囲に均一な状態に近づくことを確認した。これより、スラリーの飛散が抑制されることを確認した。

3) 研磨領域におけるスラリー分布状態に 2 値化処理技術を用い定量化し、印加電圧を供給することでスラリーの面積分布が線形的に増加することを得た。印加電圧 4kV ではスラリー分布率が 12%向上した。

4) 研磨下に電界を印加することにより、スラリーの流入、及び分布が改善し、さらにポリシングパッドの溝等に停留する砥粒に印加周波数に応答した吸引力によって攪拌作用として生じるものと考えられる。これらの作用により、印加電圧 4kV の時、工作物の表面粗さに悪影響を与えず研磨レートが 22%向上することを得た。

以上より、スラリーに電界を印加することにより、酸化セリウム砥粒がガラス試料に有効に作用する配置制御が可能になることにより、従来の研磨法に対し 1.2 倍の高効率化を実現した。

今後は、電界条件、及び研磨条件の評価パラメータ値が定盤下のスラリー分布、研磨速度、及び工作物の表面性状に及ぼす影響について詳細な検討を行っていくとともに、希少金属である酸化セリウムの工作物に対する作用性をさらに高度化し、優れた研磨レートが得られる電界スラリー制御技術の開発を目指す。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

(1) T. Kusumi, H. Ikeda, Y. Sato, Y. Akagami, N. Umehara: "New polishing method using water-based slurry under AC electric field for glass substrate" Journal of Magnetism and Magnetic Materials 323. 1394-1397 (2011), 査読有

(2) 赤上陽一: "電界砥粒制御技術を応用したスラリー配置制御技術による研磨・加工技術" 日本 AEM 学会 Vol.18-4 18. (2010), 査読有

[学会発表] (計 8 件)

(1) 久住孝幸, 黒木恵, 佐藤安弘, 赤上陽一, 梅原徳次: "電界砥粒制御技術による研磨効率向上メカニズムの基礎検討", 2011 年度精密工学会春季大会, (20120314-20120316)

(2) 赤上陽一: "電界砥粒制御技術が拓くガラス表面仕上げに於ける酸化セリウムの有効活用法", 砥粒加工学会 次世代固定砥粒加工プロセス専門委員会 第 39 回研究会 (20111021)

(3) Y. AKAGAMI: "New effective and precision polishing method with water based slurry, controlled by AC electric field during processing" ICTMP 2010. (20100615)

(4) 赤上陽一: "電界砥粒・スラリー制御技術が拓く先進基盤加工技術開発" KICC 九州イノベーション創出促進協議会 生産計測技術分科会 精密加工プロセス研究会. (20100129)

(5) 赤上陽一: "電界砥粒・スラリー制御技術による迅速高品位な加工技術" 社団法人日本オプトメカトロニクス協会. (20100119)

(6) 赤上陽一: "電界砥粒制御技術" 精密工学会プラナリゼーション CMP とその応用技術専門委員会 第 78 回研究会. (20091218).

(7) 赤上陽一: "New Polishing Method with Water-based Slurry, Controlled by AC Electric Field during Processing" ICPT 2009. (20091119-20091121)

(8) 赤上陽一: "研磨技術の現状と新しい研磨技術の提案" 学振将来加工技術第 136 委員会. (20090623)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

赤上 陽一 (AKAGAMI YOICHI)  
秋田県産業技術センター・  
素形材プロセス開発部・部長  
研究者番号：00373217

### (2) 研究分担者

久住 孝幸 (KUSUMI TAKAYUKI)  
秋田県産業技術センター・  
素形材プロセス開発部・主任研究員  
研究者番号：40370233