平成28年度 研究助成・成果報告書(概要)

本報告書は、公益財団法人三豊科学技術振興協会が平成28年度に実施した研究助成に関して、それぞれの研究成果を報告書としてまとめたものです。

目 次 / I N D E X

1. VTOL型ドローンの高精度自律飛行制御系の構築
Controller Design for Precise and Autonomous Flight of a VTOL Drone
神戸大学 大学院 システム情報学研究科 准教授 浦久保 孝光
Graduate School of System Informatics, Takateru Urakubo
Kobe University Associate Professor
2. 分長の考え方に基づく複合型の長尺形状測定法
Compound Type Surface Profile Measurement
Based on the Concept of Multi-Step Division of Length
秋田大学 理工学部 教授 奥山 栄樹
Faculty of Engineering Science Eiki Okuyama
Akita University Professor
3. 水中手術の術空間創成・制御を支援する硬さと柔らかさを持つ
ロボティックリトラクタの開発
Development of Robotic Retractor for Creating and Keeping
Surgical Workspace in WaFLES
千葉大学 フロンティア医工学センター 助教 川村 和也
Center for Frontier Medical Engineering Kazuya Kawamura
Chiba University Assistant Professor
4. 超短パルス電源を用いた電解加工による大面積微細テクスチャリング
"Study on Micro Surface Texturing of a Large Area
by Electrochemical Machining Using Ultra-short Voltage
金沢大学 理工研究域 助教 小谷野 智広
Institute of Science and Engineering, Tomohiro Koyano
Kanazawa University Assistant Professor
5. 角度測定に基づく大口径3Dトポグラフィ測定システムの開発
Surface topography by scanning deflectometric profiler
産業技術総合研究所 計量標準総合センター 主任研究員 近藤 余範
National Metrology Institute of Japan Yohan Kondo
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Senior Researcher

6. ダイランシーパッドによるスマート加工法の理論的・実践的研究
-ダイランシー・パッド物性評価法に基づくSiC 基板の加工特性-
Theoretical & practical research on the smart polishing with “dilatancy-pad”
-Polishing characteristics of SiC substrates by the property evaluation method for the dilatancy-pad materials -
- 九州大学 グローバルイノベーションセンター 名誉教授
Global Innovation Center,
Kyushu University Emeritus Professor
- 土肥 俊郎
Toshiro Doi
7. 矩形容器の水平加振による液中微小粒子群のマニピュレーションに関する研究
Manipulation of Submillimeter-Scale Particles in a Laterally-Oscillated Rectangular Container
- 埼玉大学 大学院 理工学研究科 准教授
Graduate School of Science and Engineering,
Saitama University Associate Professor
- 原 正之
Masayuki Hara
8. 高次高調波を利用した光学素子表面形状評価法の開発
Development of surface figure measurement method for optical device
using high-order-harmonic generation
- 東京大学 大学院 工学系研究科 准教授
Graduate School of Engineering,
The University of Tokyo Associate Professor
- 三村 秀和
Hidekazu Mimura
9. PTFEの高精密加工と精密金型への展開
Study on high-precision processing technology of PTFE and development of precision mold
- 兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 准教授
Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry,
University of Hyogo Associate Professor
- 山口 明啓
Akinobu Yamaguchi
10. 能動制御型電気化学機械研磨による難加工材料のスラリーレス高能率加工
Slurryless highly efficient processing of difficult-to-machine materials
by electrochemical mechanical polishing
- 大阪大学 大学院 工学研究科 教授
Graduate School of Engineering,
Osaka University Professor
- 山村 和也
Kazuya Yamamura

VTOL 型ドローンの高精度自律飛行制御系の構築

浦久保 孝光

神戸大学

1. 概要

本研究では、申請者らが開発を進める VTOL 型ドローンの高精度な自律飛行の実現を目指して、機体に加わる空気力のモデル化や強風時の飛行制御方法の検討を行った。飛行実験の結果を解析するとともに、数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 計算を行い、回転翼機モード、固定翼機モードのそれぞれにおける空気力の把握を進めた。これにより、いくつかの飛行条件下での機体の空力特性が明らかになるとともに、回転翼機モード時の耐風性能、強風時の制御手法について考察を行った。

2. 成果発表

本研究の成果については、以下の国内会議において発表を行った。

1. 吉村, 浦久保, 三輪, 佐部, 村越, 平井 : ティルトロータ型 UAV における低速飛行特性の実験的検証, 第 62 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 225-6, 2018
2. 河野, 浦久保, 佐部, 村越, 平井 : ティルトロータ UAV に加わる空気力に関する考察, 第 55 回飛行機シンポジウム講演集, 3E16(JSASS-2017-5236), 2017
3. 浦久保, 河野, 佐部, 村越, 平井 : ティルトロータ型 UAV の飛行特性に関する考察, 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, 355-5, 2017

分長の考え方に基づく複合型の長尺形状測定法

奥山栄樹
秋田大学

1 概要

表面の真直形状と計測器の案内面移動誤差を分離する方法として複数のセンサを用い、または複数の走査を行い取得したデータをソフトウェアで分離する方法がある。例えば、2本の変位センサの差動出力を用いて被測定面形状と案内面移動誤差を分離し、次にこれを数値積分し被測定面形状を推定するものである。しかし、長尺物の測定ではサンプリング点数が多くなり偶然誤差が増幅することが問題点として挙げられている。一方、長さの基準としてメートル原器が使われていた時代に、「高精度維持測定方法」として分長という技術が用いられていた。この積分法と分長にはアナロジーがあることが指摘されている。このことから分長の考え方を用いれば、真直形状測定の積分法も誤差の伝搬に強くなることが期待できる。

本研究では、測定対象である500mmの範囲の直定規を除振台の上に設置した。また、500mmの範囲のXステージを直定規と平行に設置した。3つの静電容量センサをキャリッジに取り付けた。センサ1とセンサ2間の距離は10mmでショートスケールの積分法として、センサ1とセンサ3間の距離は70mmでラージスケールの積分法として使用した。直定規の表面形状の測定は静電容量センサの走査によって10回行った。1回の走査当たりの時間は約240秒であった。ショートスケールの積分法で測定した10回の表面形状の結果と比較し、ラージスケールとショートスケールの積分法の組み合わせで測定した10回の表面形状の結果はばらつきが少なかった。実験結果より、提案する方法の標準偏差は従来のショートスケールの積分法の標準偏差よりもより小さく、偶然誤差の影響は小さくなると言える。

纏めると以下ようになる。表面形状の測定における誤差分離法としてラージスケールとショートスケールの積分法の組み合わせを提案した。実験により、この組み合わせを使用すると表面形状の測定時の偶然誤差の影響が小さくなることが裏付けられた。

2 成果発表

学術論文

1) Eiki OKUYAMA, Kohei Konda and Hiromi ISHIKAWA, Surface Profile Measurement Based on the Concept of Multi-Step Division of Length, International Journal of Automation Technology, Vol.11, No.5(716-720)2017

口頭発表

1) 奥山栄樹、根田康平:分長の考え方に基づく真直形状測定に関する研究(第2報)-ラージスケールとショートスケールの形状測定の組み合わせ-、精密工学会春季学術講演会(2017)

水中手術の術空間創成・制御を支援する硬さと柔らかさを持つロボティックリトラクタの開発

川村 和也

国立大学法人 千葉大学 / フロンティア医工学センター

概要

本学では、医療技術の発達に伴う低侵襲な手術の一つである SILS(Single Incision Laparoscopic Surgery)と腹腔内を等張液で満たした環境下で治療を行う WaFLES(Water-Filled Laparoscopic Surgery) と呼ばれる新たな術式を組み合わせた新しい術式の提案をおこなっている。本研究では、本術式の実現における課題の一つである腹腔内臓器の浮遊による手術空間の不安定を解決するため、手術空間の創成および維持を行うロボティックリトラクタの開発を目的とした。先行研究において、外套管を基に三本の圧排具と膜を取り付けた形状となっており、360 [deg]全方向の空間確保を可能とするリトラクタの開発を行ったが、空間確保動作を行う際の臓器損傷リスクが存在する。そこで、本研究では、空間確保機能付外套管マニピュレータを用いて臓器損傷リスク回避を可能とするため、硬さと柔らかさを両立する機構を開発し、空間確保可能な制御方法の構築を行った。

成果発表

国際シンポジウム発表

- [1] Enbo Liu, Masashi Sekine, Kazuya Kawamura, "Development of balloon sensor system for surgical workspace creation in WaFLES", Proceedings of 2017 International Symposium on InfoComm & Media Technology in Bio-medical & Healthcare Application, p.64, Nanjing, China, December 13-16, 2017

国内学会発表

- [1] 川村和也, "WaFLES のロボット化に向けた空間確保機能を有するロボットシステムの提案と開発", 第 29 回日本内視鏡外科学会総会, 医工連携企画, コンピュータ外科学会ジョイントシンポジウム「医工連携を考えるーこれからのものづくりの在り方」, 2016
- [2] 川村和也, "WaFLES のロボット化に向けた空間確保機能付きロボットマニピュレータの開発", 日本コンピュータ外科学会誌, Vol.18, No.4, p.232, 2016, 特別企画シンポジウム③「若手・中堅外科医・工学者による国産手術用マニピュレータの展望と課題」

超短パルス電源を用いた電解加工による大面積微細テクスチャリング

小谷野 智広

金沢大学

1. 概要

トライボロジー特性の向上などを目的とした表面テクスチャに大きな期待が寄せられている。電解加工は電極が消耗せず、熱影響層やバリ、クラックが生じず、かつ加工速度も速い。そのため、大面積の電極を用いた電解加工によるテクスチャリングが実現すれば、テクスチャリングの有用な加工法となりえる。そこで、電解加工用の工具電極端面に数十 μm の微細構造を付与し、短パルス電源を用いた電解加工によりこれを一括して工作物に転写することで、大面積一括での微細表面テクスチャリングを行った。短パルス電源が加工精度に与える影響を調査した結果、電極の大きさが数 mm の比較的に大面積の電解加工においても、短パルス電源が加工精度の向上に有効であることが明らかとなった。一方で、電極面積が増加すると、パルス電源回路を流れる電流が増加するため、回路配線のインダクタンスの影響により加工可能な最小のパルス幅が制限された。そこで、分割給電法を用いて電流を複数の電極へ分割して給電することで、回路配線のインダクタンスの影響を低減した。その結果、数十 mm^2 の加工面積に対して $100\mu\text{m}$ 以下の微細テクスチャを一括して付与することができた。

2. 成果発表

- (1) Taishi Takahashi, Tomohiro Koyano, Akira Hosokawa, Tatsuaki Furumoto, Yohei Hashimoto, Micro Texturing by Electrochemical Machining with Short Voltage Pulses , Proc. of the 17th International Conference on Precision Engineering (ICPE2018), 2018.
- (2) 高橋泰士, 小谷野智広, 細川晃, 古本達明, 橋本洋平, 電解加工による微細表面テクスチャリング, 電気加工学会全国大会(2018)講演論文集, pp.77-78, 2018.
- (3) 高橋泰士, 小谷野智広, 細川晃, 古本達明, 橋本洋平, 電解加工による大面積微細テクスチャリングの試み, 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.917-918, 2018.
- (4) 高橋泰士, 小谷野智広, 細川晃, 古本達明, 橋本洋平, 短パルス電解加工における加工精度の検討, 2017 年度精密工学会北陸信越支部学術講演会講演論文集, 2017.

角度測定に基づく大口徑 3D トポグラフィ測定システムの開発

近藤余範

国立研究開発法人産業技術総合研究所 計量標準総合センター

1. 研究目的

近年、最先端の理化学研究分野や半導体業界をはじめ、光通信、計測、医療、天体望遠鏡など、極めて高精度な表面形状を持つ光学部品のニーズは高まる一方である。表面形状の高精度な測定法としては、フィゾー干渉計測法が最も一般的である。フィゾー干渉計による形状測定法は、3D トポグラフィを一度に得ることができ、分解能もナノメートルのレベルが実現可能であるが、基本的に参照平面（もしくは球面）との差分測定であるため、測定の絶対精度は基準原器の精度によって制限され、ナノメートルレベルの絶対精度を実現することは容易ではない。さらに、差分測定のレンジは数 μm 程度の範囲に限られるため、高ダイナミックレンジの測定（例えば自由曲面）には適さない。また、フィゾー干渉計は装置の構成上、大型化が非常に困難である。

一方、近年、高精度な形状測定法として、物体表面の局部傾斜角度測定を用いた手法が注目されている。この手法は、物体表面の局所的な角度の変化を逐次測定していき、得られた角度変化データを積分することにより形状を得るといったシンプルな原理に基づく測定法であり、①参照面を必要としない、②大口徑の形状も測定可能、といった特徴を有する。世界的には、ドイツの国立標準研（PTB）などが先行して開発を進めており、ナノレベルの測定精度が既に達成されている。しかしながら、この手法の欠点としては、測定が二次元形状（ライン形状）に限られるという点が挙げられる。

本研究では、3D トポグラフィ測定を実現するため、測定試料を回転させ、角度測定に基づく放射状のライン形状測定を行い、各ライン測定を接続することにより、3D トポグラフィ測定を実現した。ただし、この手法では測定試料の回転に伴う角度ずれを補正する必要があるため、回転エラー補正システムの導入と、対象表面の円周形状測定により、接続する際の誤差伝搬を抑制する接続アルゴリズムを開発した。最終的には、フィゾー干渉計との $\phi 300\text{ mm}$ 平面基板の比較測定によって、 1 nm 以下（平面度）で一致した結果が得られ、また、フィゾー干渉計では測定が困難な大型平面基板（ $\phi 450\text{ mm}$ ）の実測も実施し、提案手法の妥当性が確認された。

2 成果発表

1. 特開 2018-059733、三次元形状計測システム
2. 近藤余範、尾藤洋一、角度測定に基づく三次元形状測定システムの開発、2018 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(2018)、 pp.143-144.
3. 近藤余範、尾藤洋一、 $\Phi 450\text{ mm}$ オプチカルフラットの絶対平面度測定、2018 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(2018)

ダイラタンシーパッドによるスマート加工法の理論的・実践的研究
ーダイラタンシー・パッド物性評価法に基づく SiC 基板の加工特性ー

瀬下 清、土肥俊郎

九州大学 グローバルイノベーションセンター

1. 概要

サファイヤ, SiC, GaN などの難加工性材料基板のスマートポリシング加工技術構築の鍵を握るのがダイラタンシー材料である. この加工特性を決定づける要因解明にあたり, オストワルドの流動の式における指数 $n > 1.0$ に注目し, 高加工能率・高加工面品位を両立するための最適なダイラタンシー材料を開発する上で, 落槌試験による新しい物性評価技術を確立し, さらに試作したパッドによる基板の加工特性を検証した. その結果, 従来技術と比較して加工能率が 2.5~10 倍, 加工面粗さ 1/3, ウエハ内のスクラッチ数: 1/100, 加工変質層深さ 1/10 に向上, 加工時間を 1/6 に短縮することができ, 高能率・高品位加工の実現を可能にした.

2. 成果発表

本研究に関連する成果発表を以下に示す.

- (1) 瀬下、土肥、大坪、塚本、高木、市川：脚光を浴びるダイラタンシーパッドによるスマート加工ーダイラタンシーパッド材料とその評価法に基づくパワーデバイス用 SiC 基板の加工特性ー、電子情報通信学会・信学技報/IEICE Technical Report (OME2017-42), 2017-12
- (2) 瀬下、土肥、大坪、塚本、高木、市川、川村、山崎：グリーンデバイス用結晶基板の加工プロセス技術の研究開発、2017年度精密工学会春季学術講演会論文集(2017)553
- (3) 宮下、瀬下、山崎、鍛冶倉、市川、土肥：高速高圧研磨プロセス用研磨装置の開発、日本機械学会2016年度年次大会論文集(2016)S1630102
- (4) 土肥：半導体基板の超精密加工/CMP 技術と将来型加工プロセスのブレークスルー、2017年度精密工学会春季学術講演会論文集(2017)517
- (5) 土肥：情報革命・シンギュラリティと半導体加工技術の関わり、月刊トライボロジー(2017年)11月号
- (6) 曾田、土肥：次世代型加工プロセスによる難加工性単結晶の研磨とその将来展望、真空ジャーナル、2018年7月号、11.
- (7) 土肥：革新的半導体デバイス創出のための次世代型加工技術とウエハー接合プロセス技術、月刊トライボロジー、2018年11月号、32、
- (8) 土肥：読売新聞(平成29年9月22日)：AIの深化とシンギュラリティー(技術的特異点)を見据え、半導体の革新的加工技術を目指す
- (9) 土肥：BSフジ放映/科学ドキュメンタリー「ガリレオX」社会を支える研磨技術ー原点から現在、そして未来ー、2018年5月10日ー17日

矩形容器の水平加振による液中微小粒子群のマニピュレーションに関する研究
Manipulation of Submillimeter-Scale Particles in a Laterally-Oscillated Rectangular Container

原 正之 Masayuki Hara
埼玉大学 Saitama University

1. 概要

水を浅く張った矩形容器にサブミリメートルスケールの微小粒子を散布して、特定の周波数の正弦波で水平方向に加振すると、矩形容器底面の特定の位置に微小粒子が集まり始め、最終的には周波数に応じた数の粒子線が形成される。本研究ではこの現象を粒子収束現象と呼び、その基本特性とメカニズムの解明を試みるとともに、その知見を用いた新しいマイクロマニピュレーション技術開発への可能性について検討を行った。微小粒子の収束現象について、先行研究では容器底面での水平方向の流速とその位置変化が粒子収束条件（粒子収束周波数と粒子収束位置）に寄与することを明らかにしたが、本研究ではさらに垂直方向の流速変化、加振振幅、液面高さが粒子収束現象（特に、粒子収束周波数）に及ぼす影響について検証した。数値解析と実機実験の結果、垂直方向の流速変化は粒子収束現象にほとんど影響を及ぼさないが、加振振幅と液面高さの操作は微小粒子の運動に有意な変化をもたらすことを明らかにした。さらに、液面高さの操作により、同じ加振条件でも異なる粒子収束現象を生み出せることを実機により実証した。この結果から、ある粒子収束周波数で水平加振されるステージ上に配置した複数の矩形容器内の微小粒子に対して、液面高さを制御することで異なる操作を行える可能性を示唆した。

2. 成果発表

- [1] M. Hara, T. Funabashi, H. Nabae, and M. Miki, "Towards Novel Micromanipulations of Submillimeter-Scale Particles in a Laterally-Oscillated Rectangular Container," *The 12th Asian Control Conference (ASCC2019)* (submitted)
- [2] 原正之, 難波江裕之, 高崎正也, "水平加振中の矩形容器底面における流体解析", 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2018 (D&D2018), 405, Aug. 2018.
- [3] 原正之, 難波江裕之, 山口大介, 石野裕二, 高崎正也, 水野毅, "矩形容器の水平加振による液中微小粒子の分別に関する検討", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 (ROBOMECH2017) , 1A1-J09, May. 2017.

高次高調波を利用した光学素子表面形状評価法の開発

三村秀和

東京大学大学院工学系研究科

1. 概要

本研究では、小型の EUV (Extremely Ultraviolet) 光源であり可干渉性を有する高次高調波による光学素子評価法の開発を行った。既存の高次高調波発生施設において集光システムを構築し、さらに、波面計測が可能になるように集光点近傍の強度の 2 次元観察を可能にした。その測定された強度プロファイルを利用し、位相回復計算により波面誤差を求めることに成功した。本研究成果により、これまで大型放射光施設でしかできなかった、EUV 光による高精度光学素子評価が小型の実験室光源により可能になった。

2. 成果発表

1. H. Mimura, Fabrication technologies for next-generation x-ray mirrors, 6th Annual Diffraction Limited Storage Ring (DLSR) Workshop, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, US, 29-31 Oct (2018).
2. H. Mimura, Fabrication of precise ellipsoidal mirrors for soft x-ray nanofocusing, International Workshop on X-ray Optics and Application (IWXM2018), Hsinchu, Taiwan, 6-9 June (2018).
3. 三村秀和, 極限集光光学システムによる超高強度 X 線パルスの実現, レーザー学会学術講演会第 36 回年次大会, 名城大学, 2016 年 1 月 9 日~1 月 11 日.

PTFE の高精度加工と精密金型への展開

山口明啓

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所

1. 研究の概要

耐熱性、耐薬品性、低摩擦性に優れたポリテトラフルオロエチレン(PTFE)は、優れた材料である一方、難加工材料でもある。特に、ミリメートル以下の構造体に加工を行うことは難しい。本研究では、X線を用いたPTFEの直接ドライエッチング加工を行うことで、微細な構造を創製する。X線を用いた直接ドライエッチング加工では、一般に金属で構成されるX線マスクとPTFEの熱膨張係数の差異によってパターンずれが生じることがある。そこで、本研究では熱化学異方性エッチング法を研究開発し、PTFEの高精度な精密加工法を確立し、マイクロ精密金型への展開を試みた。

熱化学異方性エッチング法は、X線照射時にHe分圧を制御することでより高精度にPTFEを加工できることが分かった。さらに、He導入によって化学量論組成をより保持した状態でPTFE主鎖を切断し、熱化学異方性エッチングを促進できることを明らかにした。この方法を用いることで、PTFEをマイクロスケールに微細加工できことを実証し、マイクロ精密金型へ展開できることを示した。

2. 成果発表

【査読付き学術論文】

- 1) A. Yamaguchi, I. Okada, T. Fukuoka, M. Ishihara, I. Sakurai, Y. Utsumi, “One-Step Synthesis of Copper and Cupric Oxide Particles from the Liquid Phase by X-ray Radiolysis Using Synchrotron Radiation”, *Journal of Nanomaterials*, 8584304, (2016).
- 2) Y. Utsumi, A. Yamaguchi, T. Matsumura-Inoue, M. Kishihara, “On-chip synthesis of ruthenium complex by microwave-induced reaction in a microchannel coupled with post-wall waveguide”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 242 (2017) 384 – 388.
- 3) 山口明啓, 木戸秀樹, 竹内雅耶, 内海裕一, ”X線を用いた熱化学異方性エッチングによるPTFEの微細加工プロセスの検討”, *電気学会論文誌 E(センサ・マイクロマシン部門誌)*, 137 (2017) 417 – 421.

【解説】

- 4) 山口明啓, 内海裕一, “放射光を用いた新規LIGAプロセスへの展開”(The study on novel development of LIGA process induced by Synchrotron Radiation”, *砥粒加工学会*,

【国際学会発表】

- 5) A. Yamaguchi, H. Kido, Y. Ukita, M. Kishihara, T. Fukuoka, Y. Utsumi, “Anisotropic pyrochemical fabrication of polytetrafluoroethylene and metallic nanoparticles initiated synchrotron radiation for microfluidic devices”, 20th μ TAS 2016
- 6) A. Yamaguchi, I. Okada, T. Fukuoka, I. Sakurai, and Y. Utsumi, “Synthesis and Immobilization of Cupric Oxide Particles Using X-ray Radiolysis”, *IEEE-NEMS 2017*
- 7) A. Yamaguchi, I. Okada, T. Fukuoka, and Y. Utsumi, “Caltrop cupric oxide particles synthesized by X-ray photochemical reaction”, 2017 International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2017), Takinoyu Hotel, Tendo, Yamagata, Japan
- 8) A. Yamaguchi, I. Sakurai, I. Okada, A. Yamaguchi, M. Ishihara, T. Fukuoka, S. Suzuki, Y. Utsumi, “Study on fabrication system of 3D printing or additive manufacturing process using X-ray radiolysis”, *MNE 2018*, Copenhagen, Denmark

その他、国内学会発表 4 件

能動制御型電気化学機械研磨による難加工材料のスラリーレス高能率加工

山村 和也

大阪大学大学院工学研究科 精密科学・応用物理学専攻

1. 概要

本研究では、難加工材料に対して、スラリーレスかつ高能率な能動制御型電気化学機械研磨法の開発を行った。電気化学機械研磨法は、導電性硬脆材料の表面を陽極酸化によって軟質化し、軟質化した層のみを母材よりも低硬度な固定砥粒を作用させて除去することでスクラッチフリーかつダメージフリーな表面を得る研磨法である。本報告では、SiC 材料をターゲットとし、電気化学機械研磨法を開発した結果に関して述べる。電気化学機械研磨法は母材よりも低硬度な固定砥粒を用いて酸化層のみを除去するため、はじめに SiC の陽極酸化メカニズムを調査した。SiC 表面においては欠陥が優先的に酸化されるが、陽極酸化の初期に形成された酸化膜が除去された後は表面がより均一に酸化でき、表面の平滑化が可能になることがわかった。次に、電気化学機械研磨法を実現するための研磨装置を試作した。最後に、提案した研磨法をダイヤラップした SiC 基板に適用し、その実用性を基礎実験によって実証した。

2. 成果発表

2.1 学術論文

- 1) Xu Yang, Rongyan Sun, Yuji Ohkubo, Kentaro Kawai, Kenta Arima, Katsuyoshi Endo, Kazuya Yamamura*, Investigation of anodic oxidation mechanism of 4H-SiC (0001) for electrochemical mechanical polishing, *Electrochimica Acta* 271 (2018) 666–676.
- 2) Xu Yang, Rongyan Sun, Kentaro Kawai, Kenta Arima, and Kazuya Yamamura*, Surface modification and microstructuring of 4H-SiC (0001) using anodic oxidation with sodium chloride aqueous solution, *ACS applied materials & interface*, submitted.

2.2 国際会議発表

- 3) Xu Yang, Kentaro Kawai, Kenta Arima and Kazuya Yamamura*, Electrochemical mechanical polishing of 4H-SiC (0001) with different grinding stones, *ISAAT 2018 (@ Toronto, Canada)*.
- 4) Xu Yang, Kentaro Kawai, Kenta Arima and Kazuya Yamamura*, Preliminary study on the electrochemical mechanical polishing of 4H-SiC (0001) surface, *CJUMP 2018 (@ Harbin, China)*, S1-20.
- 5) Xu Yang, Yuji Ohkubo, Katsuyoshi Endo and Kazuya Yamamura*, AFM observation of initial oxidation stage of 4H-SiC (0001) in electrochemical mechanical polishing, *Procedia CIRP* 68 (2018) 735–740.
- 6) Xu Yang, Yuji Ohkubo, Katsuyoshi Endo, Kazuya Yamamura*, The relationship between anodic oxidation rate and electric potential in electrochemical mechanical polishing of 4H-SiC (0001), *CJUMP 2017 (@ Shanghai, China)*, 245-248.

2.3 国内会議発表

- 7) 楊旭, 川合健太郎, 有馬健太, 山村和也*. 固定砥粒を用いた 4H-SiC (0001)表面の電気化学機械研磨, 2018 年度関西地方定期学術講演会講演論文集(@大阪電気通信大学) (2018)42-43.
- 8) 楊旭, 川合健太郎, 有馬健太, 山村和也*. 電気化学機械研磨による SiC の高能率ダメージフリー加工法の開発(第 1 報) –初期研磨段階における陽極酸化電流の最適化–, 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(@中央大学) (2018)447-448.
- 9) 楊旭, 川合健太郎, 有馬健太, 山村和也*. 電気化学機械研磨による SiC の高能率スラリーレス加工法の開発(第 2 報) –酸化レートと研磨レートとのバランスによる表面粗さの改善–, 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集(@函館アリーナ) (2018)1T(A)22.