

令和元年度 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令和元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. 回転基準球を用いた3次元測定機マイクロプローブのナノ精度形状計測の研究
Nanometer-scale measurement of the form error of the tip ball of microprobe using a rotating reference sphere
富山県立大学 工学部 准教授 伊東 聡
Faculty of Engineering, So Ito
Toyama Prefectural University Associate Professor
2. ナノ領域における偏光特性一括イメージングのための近接場ミュラー偏光顕微鏡の開発
Development of scanning near-field Mueller matrix polarimetry microscope for bundle imaging of polarization characteristics in the nano-region
沼津工業高等専門学校 制御情報工学科 准教授 大久保 進也
Department of Control and Computer Engineering, Shinya Ohkubo
National Institute of Technology, Numazu College Associate Professor
3. 刃先処理を施したダイヤモンドコーテッド超硬工具によるセラミックスの高効率直彫り加工法の開発と仕上げ面品質評価
Cutting characteristics and evaluation of finished surface in direct cutting of ceramics using diamond-coated carbide tools with cutting edge treatment
福井大学 学術研究院 工学系部門 准教授 岡田 将人
Faculty of Engineering, Masato Okada
University of Fukui Associate Professor
4. レーザプラズマ加速器毛細管内計測を可能にするサファイア加工プロセスチェーン開発
Development of process chain on sapphire capillary fabrication for laser plasma accelerator
国立研究開発法人理化学研究所 開拓研究本部 片平 和俊
大森素形材工学研究室 専任研究員 Kazutoshi Katahira
Materials Fabrication Laboratory,
RIKEN, Senior research scientist
5. 生体軟組織の誤切除防止のための骨切除用研削デバイスの開発
Surgical grinding device for avoiding accidental resection of soft tissue in bone resection
大阪大学 大学院 工学研究科 助教 佐竹 うらら
Graduate School of Engineering, Urara Satake
Osaka University Assistant Professor

6. ピコ精度でのスケール格子ピッチ偏差検出を実現する超高精度ピッチ偏差検出光学系の開発
Development of an optical setup for ultra-precision measurement of the pitch deviation
of a scale grating

北海道大学 大学院 工学研究院 教授
Graduate School of Engineering,
Hokkaido University Professor

清水 裕樹
Yuki Shimizu

7. 圧電アクチュエータの位置および力推定とセンサレスハイブリッド制御の実現
Estimation and Sensorless Control of Position and Force in Piezoelectric Actuators

名古屋工業大学 大学院 工学研究科 准教授
Department of Engineering,
Nagoya Institute of Technology Associate Professor

関 健太
Kenta Seki

8. マイクロ共振構造体を用いた微小流体制御技術の開発
Development of Microfluidic control method by using micro-resonance structures

中央大学 理工学部 准教授
Department of Precision Mechanics,
Chuo University Associate Professor

早川 健
Takeshi Hayakawa

9. サイバー物理系へのリプレイ攻撃の新規シナリオと検出モニタの構築とその実装
Construction and implementation of new scenarios and detection monitors
for replay attacks on cyber physical systems

大分大学 理工学部 教授
Faculty of Science and Technology,
Oita University Professor

松尾 孝美
Takami Matsuo

10. 炭素繊維強化プラスチックを用いた超軽量精密光学素子の開発
Development of ultra-lightweight precision optical element using carbon-fiber reinforced plastics

大阪大学 大学院 理学研究科 教授
Graduate School of Science,
Osaka University Professor

松本 浩典
Hironori Matsumoto

回転基準球を用いた 3 次元測定機マイクロプローブのナノ精度形状計測の研究

伊東 聡

富山県立大学工学部知能ロボット工学科 知的センシング工学講座

1. 概要

本研究は三次元測定機(CMM)に用いられるプローブ先端球形状誤差のナノメートル精度計測を目的とし、回転可能な基準球を用いた nm 精度形状誤差法の提案と実証に取り組んだ。回転基準球上で取得した測定点座標では基準球の形状誤差成分のみが変化する。この変化分を演算処理により分離し、基準球とプローブ球の形状誤差を算出した。本手法は CMM 上でセンサを新たに加えることなく、測定点座標からプローブ球とマスタ球の形状誤差を分離できるため、プローブ球の材質や直径に依存することなく一般的なプローブからマイクロプローブまで広く応用可能であると考えられる。

2. 成果発表

[投稿論文]

1. So Ito, Daisuke Tsutsumi, Kazuhide Kamiya, Kimihisa Matsumoto, Noritaka Kawasegi, “Measurement of form error of a probe tip ball for coordinate measuring machine (CMM) using a rotating reference sphere”, Precision Engineering, Vol. 61, 2020, pp. 41-47.
2. So Ito, Yusuke Shima, Daichi Kato, Kimihisa Matsumoto, Kazuhide Kamiya, “Development of a microprobing system for side wall detection based on local surface interaction force detection”, International Journal of Automation Technology, Vol. 14, No. 1, 2020, pp. 91-98.

[招待講演]

1. 伊東聡, “きさげ面および微細穴の知的センシング”, 公益社団法人 砥粒加工学会 未来志向形精密加工工具の開発に関する専門委員会 (FT 専門委員会) 第 38 回オンライン研究会, 「精密測定と知的センシング」, 2021 年 4 月 21 日

[国際会議]

1. So Ito, Daichi Kato, Daisuke Tsutsumi, Kazuhide Kamiya, Kimihisa Matsumoto, “Uncertainty evaluation of form error measurement of probe tip ball using a rotating reference sphere”, 18th International Conference on Precision Engineering (ICPE2020), 2020, November 23-27, Kobe, Japan, D-1-10, pp. 293-294.

[国内会議]

1. 伊東聡, 山下大輔, 神谷和秀, 松本公久, “回転基準球を用いた CMM プローブ先端球の形状測定—第 1 報 内挿法の導入による形状復元の検証—”, 2021 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2021 年 3 月 16-22 日, D0219, pp. 619-620.
2. 山下大輔, 伊東聡, 神谷和秀, 松本公久, “回転基準球を用いた CMM プローブ先端形状の精密計測 (第 1 報) —内挿法を用いた形状誤差分離の高精度化に関する検証—”, 2020 年度精密工学会北陸信越支部学術講演会, 2020 年 11 月 7 日, B32.

ナノ領域における偏光特性一括イメージングのための近接場ミューラー偏光顕微鏡の開発

大久保進也

沼津工業高等専門学校 制御情報工学科

1. 概要

近接場光学顕微鏡 (Scanning Near-field Optical Microscope; SNOM) は、ナノ領域における物性の光学的評価に欠かせない重要なツールとして幅広く用いられている。これにより、数十 nm 程度の空間分解能で試料の光学観察が可能となった。これまでに、光の現象の一つである偏光を光源に用いた偏光 SNOM を開発し、試料の複屈折分布をイメージングすることで分子配向状態や微小残留応力などの評価にも成功している。しかしながら、偏光特性には複屈折以外にも複吸収や偏光解消など様々なものがあり、これらを光の回折限界を超えた分解能で同時取得した例はこれまでになかった。そこで本研究では、散乱型 SNOM に液晶位相子を用い、各種偏光特性を一括で計測できるミューラー行列偏光計を導入した近接場ミューラー偏光顕微鏡の開発を行うことで、ナノ領域において偏光特性を同時にイメージングする装置の開発を試みた。

開発した装置の性能評価のため、雲母薄膜を試料として計測した結果、近接場におけるミューラー行列イメージを取得することに成功し、また、そこから複屈折、複吸収、偏光解消などの偏光特性に分離することができ、数十ナノメートルでの高い空間分解能での偏光特性を一括で取得可能となった。

現時点で近接場ミューラーイメージングが可能となったが、計測光学系全般で改善の余地がある。1つ目は、ミューラー偏光計測系において偏光変調に液晶位相子を用いているが、駆動する矩形波電圧を DA 変換器によって発生させているため偏光状態の切り替えに時間が掛かるため、計測の高速化が望まれる (今回の計測では、1つのミューラー行列イメージングで 12 分程度掛かった)。2つ目は、AFM チップを用いた散乱型 SNOM のため、ロックイン検出を用いたものの S/N 比がそれほど良くなく、PMT で散乱光を確認するのに苦労した。そのため、更なる S/N 比改善のための光学系の配置の検討が必要となる。

以上の改善がなされれば、今後は様々な材料の光学的評価を行う予定である。例えば、スマートフォンなどに用いられる小型ディスプレイ表示の高画質・高精細化のために、使用する薄型ガラスや光学フィルムなどをナノメートルオーダーの分解能で計測し、様々な偏光特性を得ることができれば、製品の品質向上につながる。更には光学材料のみならず、生体試料や半導体材料などの計測など、幅広い分野での応用が期待できる。

2. 成果発表

・2022 年度精密工学会春季大会学術講演会にて発表予定 (2022 年 3 月 15 日 (火)~17 日 (木), 東京工業大学・オンライン開催)

刃先処理を施したダイヤモンドコーテッド超硬工具によるセラミックスの 高効率直彫り加工法の開発と仕上げ面品質評価

岡 田 将 人

福井大学 学術研究院 工学系部門

1. 概要

精密機器の構造部材として適した特性を有するセラミックスの中でも代表的なアルミナ、ジルコニアの高効率かつ実用的な形状創成技術として、ダイヤモンドコーテッド超硬エンドミルによる直彫り加工の切削特性ならびに仕上げ面品質を評価した。すくい面上のコーティングを除去処理することで、逃げ面上に残存したコーティング稜線部に鋭利刃を創成する刃先処理を施した処理工具を用いることで、未処理工具よりも切削抵抗を抑制できた。加えて、刃先丸み部のアブレイブ摩耗ならびに凝着も抑制できた。また、処理工具による切りくずは比較的延性モードに近い形態を示し、これにより得られた仕上げ面も平滑なプロファイルを示した。これらより、刃先処理による効果を様々な観点から明らかにした。

2. 成果発表

【国際会議プロシーディング】

- [1] Masato Okada, Fuya Yoshimoto, Hidehito Watanabe, Takuya Miura, Masaaki Otsu, Drilling performance and behavior of cutting edge shape of diamond-coated carbide drill in drilling of zirconia ceramics, Proceedings of the 17th International Conference on Precision Engineering (ICPE), B-1-7, pp. 57-58, 2020.

【学術講演会講演論文】

- [2] 齋藤亘, 岡田将人, 渡邊英人, 三浦拓也, 大津雅亮, ダイヤモンドコーテッド超硬エンドミルによるセラミックスの切削特性—セラミックスの材料特性が切削特性に及ぼす影響—, 2020 年度精密工学会北陸信越支部学術講演会, C43, pp. 68-69, 2020.
- [3] 吉本楓哉, 岡田将人, 渡邊英人, 三浦拓也, 大津雅亮, ダイヤモンドコーテッド超硬ドリルによるセラミックスの穴あけ加工—材料特性が切削特性に及ぼす影響—, 2019 年度精密工学会北陸信越支部学術講演会講演概要集, A22, pp. 1-2, 2019.

【学会専門委員会ワークショップ】

- [4] 吉本楓哉, 岡田将人, 渡邊英人, 三浦拓也, 大津雅亮, ダイヤモンドコーテッド超硬ドリルによるセラミックスの穴あけ加工—材料特性が切削特性に及ぼす影響—, 2019 年度 切削加工専門委員会・知的ナノ計測専門委員会ワークショップ, 2019.

【受賞】

- [5] 齋藤亘, 2020 年度精密工学会北陸信越支部学術講演会 ベストプレゼンテーション賞, 2020 年 11 月 07 日, ダイヤモンドコーテッド超硬エンドミルによるセラミックスの切削特性—セラミックスの材料特性が切削特性に及ぼす影響—

レーザプラズマ加速器毛細管内計測を可能にするサファイア加工プロセスチェーン開発

片 平 和 俊

国立研究開発法人理化学研究所
開拓研究本部 大森素形材工学研究室

1. 概要

直径数 100 μm ~数 km の巨大な高周波加速器の限界を打ち破る新しい粒子加速として、レーザとプラズマの相互作用を利用したレーザプラズマ加速が 1979 年に提案され、2010 年代に入ってから世界中で急速に研究が進展している。レーザプラズマを閉じ込めて粒子加速させる小型の装置が開発され脚光を浴びているが、同装置のキーパーツとなるレーザガイド（サファイア製毛細管）をいかに精度よく作製できるかがカギとなっている。本研究では、二つの要素技術〈フェムト秒レーザによる高能率・迅速ブリフォーミング〉、〈微細多結晶ダイヤモンド（Polycrystalline Diamond: PCD）ミーリング加工による高品位・高精度仕上げ〉をシームレスでリンクすることで、サファイア製毛細管を創製するプロセスチェーン開発を実施する。

2. 成果発表

<論文>

- Kazutoshi Katahira, Yoshinori Ogawa, Shinya Morita, Kazuo Yamazaki, 2020, Experimental investigation for optimizing the fabrication of a sapphire capillary using femtosecond laser machining and diamond tool micromilling, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 69(1), 229-232.

<国際会議>

- Kazutoshi Katahira, Experimental Investigation for Optimizing the Fabrication of a Sapphire Capillary Using Femtosecond Laser Machining and Diamond Tool Micromilling, 2021, *The 2nd Advanced Optical Fabrication for Analyzer Technologies (ADOPTTECH2021)*
- Kazutoshi Katahira, Diamond tool micro-milling of hard and brittle materials, *The 23rd International Symposium on Advances in Abrasive Technology*

<解説>

- 片平和俊, 小河誉典, 青山英樹, 山崎和雄, 2021, フェムト秒パルスレーザによるダイヤモンド工具成形, 電気加工学会誌, 55/139, 56-63.

<国内会議>

- 瀧島玖実, 片平和俊, 森田晋也, 岩田佳大, PCD ボールエンドミルによる単結晶サファイアの加工特性評価, 2020 年度砥粒加工学会学術講演会

生体軟組織の誤切除防止のための骨切除用研削デバイスの開発

佐竹 うらら
大阪大学大学院 工学研究科

1. 研究の概要

脊椎脊髄疾患の外科治療をはじめとする整形外科や脳神経外科の手術における骨の切除では、「ダイヤモンドバー」と呼ばれる小径のダイヤモンド電着砥石を用いた研削加工が行われる。ダイヤモンドバーを用いた骨の切除では、ダイヤモンドバー表面に切りくずである骨粉が付着することによる術野の悪化により、神経や脊髄といった骨周辺の生体軟組織を誤って切除する危険がある。本研究では、これまでに明らかにしたダイヤモンドバー表面への切りくず付着メカニズムにもとづき、ダイヤモンドバー表面への切りくず付着を抑制する、または、付着した切りくずの剥離を促進する方法を検討した。検討結果にもとづき、ダイヤモンドバーの振れ回りを利用することで効果的に付着した切りくずを剥離させ、良好な術野を実現できる新たな骨切除用研削デバイスを開発した。

2. 成果発表

なし

ピコ精度でのスケール格子ピッチ偏差検出を実現する超高精度ピッチ偏差検出光学系の開発

清水 裕樹

北海道大学大学院工学研究院

1. 概要

本研究では、一般環境下における高分解能での迅速なピッチ偏差評価実現に向け、レーザオートコリメーション法をベースとする新たな光学式スケール格子ピッチ偏差評価手法を提案した。提案手法では、ピッチ偏差に伴う反射回折光の回折角変動を、申請者ら独自の高精度角度センサ技術で高感度検出し、かつ差動演算を行うことで、スケールの平面度誤差およびスケール走査時の回転運動誤差の影響を受けることなくピコメートル級の格子ピッチ偏差評価が原理的に実現可能である。±1 次反射回折光および 0 次光を同時捕捉する光学ヘッドを設計してプロトタイプ光学系を構築し、市販のスケール格子を対象として実証実験を行い、提案手法によりピコメートル級 (0.001 nm 級) 分解能での格子ピッチ偏差検出が可能であることを実験的に明らかにした。

2. 成果発表

[投稿論文]

- (1) Lue Quan, Yuki Shimizu, Xin Xiong, Hiraku Matsukuma, Wei Gao, A new method for evaluation of the pitch deviation of a linear scale grating by an optical angle sensor, Precision Engineering, Volume 67 (2021) 1-13.
- (2) Yuki Shimizu, Lue Quan, Dong Wook Shin, Hiraku Matsukuma, Wei Gao, Design of the optical sensor head for the evaluation of pitch deviation of a diffraction grating based on the laser autocollimation, Measurement: Sensors 18 (2021) 100135.

[国際会議]

- (1) Yuki Shimizu, Lue Quan, Dong Wook Shin, Hiraku Matsukuma, Wei Gao, Design of the optical sensor head for the evaluation of pitch deviation of a diffraction grating based on the laser autocollimation, XXIII IMEKO World Congress “Measurement: sparking tomorrow’s smart revolution” August 30 - September 3, 2021, Yokohama, Japan

[国内会議]

- (1) 清水 裕樹, 権 略, 辛 東昱, 松隈 啓, 高 偉, 回折角変動を利用した回折スケール格子の高精度ピッチ偏差評価に関する研究, 2021 年度精密工学会秋季大会学術講演会 (オンライン)

圧電アクチュエータの位置および力推定とセンサレスハイブリッド制御の実現

関 健太 名古屋工業大学

1. 概要

圧電アクチュエータを駆動源とした精密制御システムでは、その位置決め精度を確保するために、高分解能センサを用いたフィードバック制御系が設計される。しかし、高分解能センサのコストや設置スペースを考えると、センサを設置することが困難な場合もある。特に、アクチュエータ先端の作業自由度および空間を確保するためには機械端にセンサがあることは好ましくない。本研究では、低コストでアクチュエータの先端位置および発生力を推定するとともに、その情報を基にした位置／力センサレス制御の実現を目的とする。具体的な成果として、簡易な外部回路を活用した位置／力推定、ひずみゲージを併用した位置／力推定と同時制御、高周波注入と信号処理技術を用いた位置推定の推定法を確立し、実験によりその有効性を明らかにした。

2. 成果発表

【査読付き国際会議】

- (1) C.Mikuriya, K.Seki, M.Iwasaki, Position Sensorless Control Using Strain Sensor and External Circuit in Piezoelectric Bimorph Actuators, IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, P-4, pp.1-2, 2020 年 3 月
- (2) K.Seki, Y.Sakuragi, M.Iwasaki, Contact Force Control Based on Force Estimation in Bimorph-type Piezoelectric Actuators, Proc. of 16th International Workshop on Advanced Motion Control, pp.213-218, 2020 年 9 月
- (3) C.Mikuriya, K.Seki, M.Iwasaki, Displacement Estimation and Control Based on High Frequency Injection and Bridge Circuit in Piezoelectric Actuators, Proc. of the 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.606-611, 2020 年 10 月
- (4) K.Seki, Y.Munemoto, M.Iwasaki, Experimental Verifications of Strain Signal-Based Position/Force Control in Piezoelectric Bimorph Actuators, IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, pp.134-137, 2021 年 3 月
- (5) J.Ohno, K.Seki, M.Iwasaki, Improvement of Bridge Circuit for Self-Sensing Actuation Using Piezoelectric Elements, IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, pp.238-241, 2021 年 3 月

【国内会議】

- (6) 大野 順平, 関 健太, 岩崎 誠, 外部回路を用いたバイモルフ型圧電アクチュエータの力推定と制御, 日本機械学会 2020 年度年次大会講演論文集, No.20-1, J11118, 5Pages, 2020 年 9 月
- (7) 永田 陽紀, 関 健太, 岩崎 誠, ひずみゲージを用いたバイモルフ型圧電アクチュエータの位置と力の推定と制御, 電気学会産業計測制御研究会, IIC-21-17, pp.39-44, 2021 年 5 月
- (8) 御厨 知宏, 関 健太, 岩崎 誠, 積層型圧電アクチュエータの変位推定における温度依存性評価, 令和 3 年電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, No.C4-2, 2021 年 9 月

マイクロ共振構造体を用いた微小流体制御技術の開発

早川 健

中央大学 理工学部 精密機械工学科

1. 概要

本研究は、微量・高精度な流体操作を可能とする、マイクロ共振構造体を用いた微小流体制御技術の実現を目的とする。近年、マイクロ流体チップを用いた化学分析、細胞解析や医療用診断などを行うデバイスが注目を集めている。これらのデバイスではマイクロ流路中にサンプルを流して解析を行うことにより、従来は大型かつ高額な装置を用いて行われていた分析が、小型のチップを用いて安価に行うことができるかと期待されている。本研究では、マイクロ流体チップ上の片持ち梁を数 kHz で共振させて流れを生成する方法を提案し、従来よりも小型・高速かつ精密な流体制御を実現することを目指す。具体的には、マイクロスケールの片持ち梁構造を共振構造体として利用し、共振周波数近傍の振動を印加することにより構造体周囲に流れを起こす。本研究では、数 kHz の周波数を印加した際に、構造体の共振と考えられる周波数で構造体の大きな振幅が得られ、構造体周辺で高速な流れの生成に成功した。

2. 成果発表

- [1] 「ドライフィルムレジストを用いた多層マイクロ流体チップ」、鈴木 智士, 早川 健, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 (ROBOMECH2019), 2P1-F05, 2019 年 6 月, 広島.
- [2] 「マイクロ共振構造体を用いた振動誘起流れの発生」、鈴木 智士, 早川 健, 第 20 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 2D4-04, 2019 年 12 月, 高松.
- [3] 「マイクロカンチレバーを用いた振動誘起流れの生成」、鈴木 智士, 早川 健, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 (ROBOMECH2020), 2P1-O01, 2020 年 5 月, オンライン.

サイバー物理系へのリプレイ攻撃の新規シナリオと検出モニタの構築とその実装

松尾孝美

大分大学理工学部

1. 概要

近年、制御システムはオープン化と IoT 化によって、サイバー攻撃の脅威に晒されるようになった。このように制御システムに対するサイバー攻撃による影響は、甚大な被害を生むことがある。制御系へのサイバー攻撃として、ゼロダイナミクス攻撃、バイアス注入攻撃、DoS 攻撃、リプレイ攻撃などが提案されている。本研究で我々は、リプレイ攻撃と呼ばれる攻撃シナリオに焦点を当て、繰り返し攻撃信号を発生させる 3 種類のリプレイ攻撃法：開ループ型、バイアス注入型、および内部モデル型繰り返しリプレイ攻撃を提案した。さらに、これらの攻撃法を協調型車間距離維持支援システム (CACC) の先行車の加速度信号通信システムに適用し、攻撃性能を検証した。その結果、内部モデル型繰り返しリプレイ攻撃において、深刻な影響を与えることを示した。最後に、外乱オブザーバ、ウォーターマーキング信号を用いてスーパーツィスティングコントローラおよび相互相関関数を用いた 3 種類の監視モニタを提案し、スーパーツィスティングコントローラおよび相互相関関数を用いた監視モニタにより、攻撃が検出できることを計算機シミュレーションにより示した。現在は、ロボカーの SLAM システムへの攻撃実装を試みている段階である。

2. 成果発表

- 1) Masaya Matsushita, Shohei Ueno, Kotaro Murakami, Takami Matsuo: Repeated Replay Attacks and Detection Monitor for Adaptive Cruise Control System, Proc. of SICE2020 (Online), pp.1912-1915, Sept.23-26, 2020.
- 2) 松下真也, 上野尚平, 松尾孝美: 協調型車間距離維持支援システムに対するリプレイ攻撃と外乱オブザーバによる検出, 自動制御連合講演会(Web), 1G3-3, 4pages, 11/21/2020
- 3) 松下真也, 上野尚平, 松尾孝美: 協調型車間距離維持支援システムに対するリプレイ攻撃の性能評価, 第 39 回 計測自動制御学会九州支部学術講演会, 大分大学(web), 11/28-11/29/2020, 102A3, 4pages, 2020.
- 4) M. Matsushita, S. Ueno, T. Matsuo: Delay and Repeated Replay Attacks on Cooperative Adaptive Cruise Control Systems, Proc. of SICE2021, pp.1384-1387, 2021, Online.
- 5) 松下 真也, 大澤 豊, 上野 尚平, 末光 治雄, 松尾 孝美: 協調型車間距離維持支援システムに対するリプレイ攻撃の相関関数による検出, 第 40 回 計測自動制御学会九州支部学術講演会, 九州大学(web), 11/6-11/7/2021, 103A4, 50-53, 2021.
- 6) 大澤 豊, 松下 真也, 上野 尚平, 末光 治雄, 松尾 孝美: 協調型車間距離維持支援システムに対するウォーターマーキング信号によるリプレイ攻撃検出, 第 40 回 計測自動制御学会九州支部学術講演会学生発表会, 九州大学(web), 11/6-11/7/2021, 104B1, 162, 2021.
- 7) 白鞘 真彦, 松下 真也, 上野 尚平, 松尾 孝美: 適応オブザーバを用いた移動ロボットのオドメトリ較正, 第 40 回 計測自動制御学会九州支部学術講演会学生発表会, 九州大学(web), 11/6-11/7/2021, 104B2, 163, 2021.

炭素繊維強化プラスチックを用いた超軽量精密光学素子の開発
Development of ultra-lightweight precision optical element using carbon-fiber reinforced plastics

松本 浩典

Hironori MATSUMOTO

大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻

Department of Earth and Space Science, Graduate School of Science, Osaka University

1. 概要

現在の宇宙物理学の主要問題の一つである巨大ブラックホールの成長過程を解明するには、硬 X 線による高角度分解能観測が有効と期待されている。しかしこれまでは、硬 X 線望遠鏡の角度分解能は 1 分角程度に限られており、そのような観測はできなかった。我々は軽量・高剛性で任意の形状にできる炭素繊維強化プラスチック (CFRP) に着目し、これを用いて高形状精度で軽量の X 線反射鏡基板を開発することに挑戦した。CFRP には繊維の凹凸に起因するプリントスルーがあり、そのままでは X 線反射鏡にならない。そこで我々は、CFRP 平板に NiP 面を形成し、それを精密切削・研磨することで、X 線反射面を形成することに挑戦した。現在のところ、5cm×5cm 程度の大きさを 180 μ m 程度の形状精度だが、表面粗度は 0.2nm 以下の鏡面を得ることに成功した。今後はこの技術を応用し、ウォルター1 型の高角度分解能 X 線望遠鏡の開発につなげる。

2. 成果発表

(予定) 土屋魁琉他 2022 年度精密工学会春季大会学術講演会