

平成30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30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. 次世代ガンマ線レーザ光源のための荷電粒子パルス化システムの開発
Development of a charged-particle pulsing system for the next-generation gamma-ray laser source

東京大学 大学院理学系研究科 助教 石田 明
Graduate School of Science, The University of Tokyo Assistant Professor Akira Ishida

2. 共焦点顕微鏡の異常値抑制に関する研究
Study on the suppression of outlier of the confocal microscope

長崎大学 大学院 工学研究科 助教 大坪 樹
Graduate School of Engineering, Nagasaki University Assistant Professor Tatsuki Otsubo

3. 高感度テラヘルツ近接場分光技術の確立
Development of sensitive terahertz near-field spectroscopy

東京大学 生産技術研究所 准教授 梶原 優介
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo Associate Professor Yusuke Kajihara

4. 新型衝突エネルギー吸収体とそれを製造する新しい逐次塑性加工法の開発
Development of the new crash energy absorber and sequential plastic forming method

埼玉工業大学 工学部 教授 趙 希祿
Faculty of Engineering, Saitama Institute of Technology Professor Xilu Zhao

5. 大気圧マイクロプラズマとプローブ顕微鏡技術を併用した自由曲面微細加工法の開発
Development of a fabrication method for freeform surface by atmospheric pressure plasma and probe microscope technologies

静岡大学 工学部 助教 中澤 謙太
Faculty of Engineering, Shizuoka University Assistant Professor Kenta Nakazawa

6. モデル予測制御理論からのメカトロ制御における
終端状態制御手法の理解と3次元精密位置決めへの展開
Understanding of Final-State Control Method in Mechatronics Control from the Viewpoint of
Model Predictive Control Theory and Its Development to 3-Dimensional Precise Positioning
- 名古屋大学 大学院工学研究科 教授 原 進
Graduate school of engineering, Susumu Hara
Nagoya University Professor
7. 精密制御した点群サーフェースを型とした発泡アルミニウムの形状付与
Shaping of aluminum foam using pin screen mold
- 群馬大学 大学院 理工学府 教授 半谷 賢彦
Graduate School of Science and Technology, Yoshihiko Hangai
Gunma University Professor
8. 三球面法及び光周波数コム発生器を用いた絶対曲率半径測定法の開発
Radius of curvature measurement using a three-spherical-mirror test and
an optical frequency comb generator
- 産業技術総合研究所 計量標準総合センター 研究企画室 室長 尾藤 洋一
National Metrology Institute of Japan Youichi Bitou
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Research Planning Office Director
9. 表面改質による鉄系材料の超精密ダイヤモンド切削における被削性改善
Improvement of machinability in ultraprecision cutting of ferrous metals with surface modifications
- 関西大学 システム理工学部 教授 古城 直道
Faculty of Engineering Science, Naomichi Furushiro
Kansai University Professor
10. 転倒リスク減少のためのウェラブル足底可視化・表示システムの開発
Development of wearable planta visualization/display system for fall risk reduction
- 金沢大学 理工研究域 教授 渡辺 哲陽
Institute of Science and Engineering, Tetsuyou Watanabe
Kanazawa University Professor

次世代ガンマ線レーザ光源のための荷電粒子パルス化システムの開発

石田 明^{*1}、伊藤 賢志^{*2}、大島 永康^{*2}

^{*1}東京大学 大学院理学系研究科

^{*2}産業技術総合研究所

1. 概要

本研究の目的は、世界に先駆けてガンマ線レーザを実現し、波長分布のない単指向性次世代光源として活用することによってインフラ施設の老朽化による破損・崩落事故を未然に防ぐための非破壊検査に用いる新規高信頼性評価技術を開発し、精密機械分野の計測にパラダイムシフトをもたらすことである。ガンマ線レーザは、電子とその反粒子である陽電子が対になったポジトロニウム (Ps) 原子による反物質系ボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) に基づいて、Ps-BEC が自己消滅する際のコヒーレント放射線から発生できる。本研究では Ps-BEC 実現に不可欠な高密度陽電子ビームパルス化システムのための専用陽電子ビームチョッパーを開発した。そして、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 低速陽電子実験施設 (SPF) および産業技術総合研究所 (AIST) において、この陽電子ビームチョッパーを活用した Ps-BEC のための Ps 生成材および Ps レーザ冷却技術の開発を行い、Ps-BEC 実現に向けた重要な知見を得た。今後、高密度陽電子ビーム制御システム・Ps 生成材・Ps レーザ冷却技術のそれぞれを完成させ融合させて Ps-BEC を実現し、ガンマ線発生促進用ミリ波発生システムと組み合わせることでガンマ線レーザを実現する。

2. 成果発表

報文 Ishida, A., Hashidate, K., Yamada, K., Shu, K., Namba, T., Asai, S., Kuwata-Gonokami, M., Tajima, Y., Chae, E., Yoshioka, K., Oshima, N., O'Rourke, B. E., Michishio, K., Ito, K., Kumagai, K., Suzuki, R., Fujino, S., Hyodo, T., Mochizuki, I., Wada, K. and Kai, T., Laser cooling of positronium, Photon Factory Activity Report 2019, Vol.37, No.201 (2020) (in Japanese).

会議概要集 Tajima, Y., Yamada, K., Shu, K., Ishida, A., Asai, S., Kuwata-Gonokami, M., Chae, E. and Yoshioka, K., Development of a Sub-microsecond Broadband Pulsed Laser for Cooling Positronium, in Conference on Lasers and Electro-Optics, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2020), paper JTh2E.12.

学術会議

国際会議招待講演

Ishida, A., Experimental progress towards positronium Bose-Einstein condensation, 4th Japan-China Joint Workshop on Positron Science (JWPS2019), 2019 年 10 月 31 日, Nara Kasugano International Forum IRAKA, Nara, Japan.

Ishida, A., Experimental progress towards positronium Bose-Einstein condensation, 8th International Conference on New Frontiers in Physics (ICNFP 2019), 2019 年 8 月 26 日, Chania, Crete, Greece.

国際会議一般講演

Ishida, A., Recent progress towards positronium Bose-Einstein condensation, 15th International Workshop on Positron Beam Techniques and Applications (SLOPOS-15), 2019 年 9 月 2 日, Prague, Czech Republic.

国内会議一般講演

石田明, ボース・アインシュタイン凝縮を目指したポジトロニウム冷却 I, 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020 年 9 月 16 日, オンライン開催.

石田明, ボース・アインシュタイン凝縮を目指した高密度ポジトロニウム生成材料の開発, 日本物理学会 2020 年秋季大会, 2020 年 9 月 8 日, オンライン開催.

石田明, ボース・アインシュタイン凝縮実現のためのポジトロニウム冷却, 京都大学複合原子力科学研究所 専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」, 2019 年 12 月 5 日, 京都大学複合原子力科学研究所.

石田明, ボース・アインシュタイン凝縮を目指した高密度・低温ポジトロニウム生成, 日本物理学会 2019 年秋季大会, 2019 年 9 月 12 日, 岐阜大学柳戸キャンパス.

石田明, ボース・アインシュタイン凝縮を目指した高密度ポジトロニウム生成材料の開発, 日本物理学会第 74 回年次大会 (2019 年), 2019 年 3 月 14 日, 九州大学伊都キャンパス.

共焦点顕微鏡の異常値抑制に関する研究

大坪 樹

長崎大学大学院工学研究科

1. 概要

微細化が進む電子部品の検査において共焦点顕微鏡が注目されている。高分解能を有する共焦点顕微鏡は、表面微小形状の非接触測定に広く利用されている。しかし、測定値に不自然な短波長ノイズや突発的な異常値が混入するため、測定精度が著しく低下する。異常値の原因は、照射したスポット内の試料表面微小凹凸により生じる光干渉(スペックル)である。スペックルノイズすなわち異常値の抑制方法は低コヒーレンス光源の採用やデータ処理による異常値低減方法が提案されている。しかし微小凹凸高さが入射光の波長と同等またはそれ以下では、たとえ低コヒーレンス光源を用いてもスペックルノイズを十分に低減することは困難であることが報告されている。またデータ処理によって異常値を削除する場合、実形状と異常値の区別することが難しく、形状情報も削除することができる。本研究は、光学的な異常値低減方法を提案し、実験的にその効果を確認する。共焦点顕微鏡は、被測定位置と対物レンズの焦点が合ったときに受光量が最大になることを利用し、試料表面の凹凸高さを測定する。しかし、スペックルが発生した場合、反射光強度分布が変形し、測定面が対物レンズの焦点位置にあっても集光スポットが光軸上のピンホールから外れる。これにより焦点位置での光量が下がり、焦点位置以外でピンホールを通過する光量が最大となるため振幅変動が発生する。本研究課題では、これらの点を踏まえ、検出部のピンホールをクロススリットに変更することで、焦点位置において最大の受光強度を検出させ異常値を抑制する手法を提案した。その結果、その結果、ピンホールからクロススリットに変更することで、上下左右に移動する集光スポットの影響をピンホールよりも少なくすることができた。特にNA0.55の対物レンズを用いた場合では、他のNAの場合に比べて大きく振幅変動を抑制することができ、ピンホールに対して半分以下まで抑えることができることを確認した。

2. 特記事項

1. 大坪他 2 名，“共焦点顕微鏡の異常値抑制に関する研究，“2018 年度精密工学会秋季大会予稿集, pp.598-599, (2018).

高感度テラヘルツ近接場分光技術の確立

梶原 優介

東京大学大学院 生産技術研究所

1. 概要

本研究では、パッシブ THz 近接場顕微鏡(SNOM)に分光機能を付加して THz 近接場分光を実現し、熱励起雑音やショット雑音、生体活動などをナノスケールで分光する技術の実現を目的として研究開発を行った。研究期間中において、プレーズド回折格子を利用した分光光学系を設計・構築して装置の分光機能が要求仕様を満たすことを確認したのち、3 色 CSIP(Charge Sensitive Infrared Phototransistor)検出器とともに低温クライオスタット(4.2 K)に導入して 8 ~ 16 μm の連続的熱分光が可能であることを確認した。加えて、ブロードバンド角度においてパッシブ近接場信号の取得に成功した。取得信号強度はパッシブ近接場分光に向けて十分なものであり、最終目標であるパッシブ THz 近接場分光の確立に向けて大きく前進できた。

2. 成果発表

[投稿論文]

- (1) Ryoko Sakuma, Kuan-Ting Lin, Sunmi Kim, Fuminobu Kimura, and Yusuke Kajihara, Implementation and Evaluation of a Spectroscopic System for Passive Near-Field Microscopy, IEEE Photonic Technology Letters 31, 15, (2019) 1261–1264.

[招待講演]

- (1) Yusuke Kajihara, Thermal near-field microscopy on materials, The 7th International Workshop on Far-Infrared Technologies (IW-FIRT 2019), Fukui, Japan, May. 6 (2019).
- (2) 梶原優介, 物質表面の電磁場揺らぎのナノスケール観測技術, キーノートスピーチ, 2018 年精密工学会秋季大会, 函館アリーナ, 9 月 6 日 (2018).

[国際会議]

- (1) Ryoko Sakuma, et al, ASPEN 2019, Matsue, Japan, (2019) C37.
- (2) Donghui Shi, et al, ISMTII 2019, Niigata, Japan, (2019).
- (3) Ryoko Sakuma, et al., ISMTII 2019, Niigata, Japan, (2019).

[国内学会]

- (1) 佐久間涼子ほか, 2020 年度精密工学会春季大会学術講演会, 東京農工大学, 812–813.
- (2) 佐久間涼子ほか, 2019 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 静岡大学, 565–566.
- (3) 佐久間涼子ほか, 2019 年度精密工学会春季大会学術講演会, 東京電機大学, 294–295.

新型衝突エネルギー吸収体とそれを製造する新しい逐次塑性加工法の開発

趙 希祿

埼玉工業大学 工学部機械工学科

1. 概要

衝突エネルギー吸収体として設計される工業製品はよく見受けられる。例えば、自動車の前面衝突用のエネルギー吸収部材として、エンジンを左右から挟むようにして前後方向にボディ先端まで設置されているサイドメンバーという中空の細長い角柱構造は、前面衝突時に横へ折れ曲がるオイラー座屈が生じやすく、一旦それが発生すると、サイドメンバーは折れ曲がり、衝突エネルギー吸収量は極端に下がる。それに起因して、圧潰変形途中で、このようなオイラー座屈が生じることではなく、できるだけ圧潰変形を長く続け、衝突エネルギー吸収量を最大にすることは車両部品の衝突設計において最も重要な課題である。

本研究では、新たに反転ねじり型折紙構造 (Reversed Torsion Origami Structure; 以下 RTO) とそれを廉価に加工できる部分加熱回転加工法を提案する。部分加熱回転加工法では、角筒素材を軸方向に沿って段に分けて、段毎に単純な捩じり成形を繰り返すだけで成形品を得ることができる。また、ねじり塑性変形部分だけに対し加熱する方法を適用することによって、小さな加工荷重で加工できるとともに角筒素材を固定する治具の簡素化も実現できる。本加工法の主な利点としては、高圧の油圧システムなど複雑な加工設備は不要で、逐次に捩じり成形だけで済むので加工コストの大幅な節減が得られ、内部の高い液圧による張り出し変形しないため局所的に肉厚が大幅に薄くなる問題も回避できる。成形した RTO は側面に沿って折線配置により座屈しわの分布を調整することができ、衝突される時、安定的にアコードィオン型の圧潰変形を最後まで続ける特性をもつことが確認できた。また金型無しで自然に形成された RTO の折線に丸みが付いてあるため、衝突エネルギー吸収性能の向上に有利であることが明らかになった。本研究は RTO を部分加熱回転加工法で成形する問題点や十分な衝突エネルギー吸収性能を持つかについて検討を行い、実用化に向けた知見をまとめた。本研究の研究結果により、3 次元的な複雑な形状をもつ薄肉な折紙構造の加工困難な問題を解決することができ、折紙構造を新型衝突エネルギー吸収体として実製品に組み込む目的に一步前進したと考えられる。

今後の研究課題としては、量産ベースでの部分加熱回転加工法による固定治具やねじり荷重のコントロール装置などを開発して、実際の製品形状に合わせた RTO を成形して、さらに成形した RTO に対する衝撃実験を実施し、その衝突エネルギー吸収性能を検証したうえで、実製品への応用展開を実施する予定である。

2. 成果発表

- [1] 景陽, 侯峻夫, 趙希祿, 衝突エネルギー吸収構造とその加工法の開発, 日本機械学会関東支部第 25 期総会講演会, 2019 年
- [2] 景陽, 侯峻夫, 松村勇人, 趙巍, 趙希祿, 新しい反転ねじり型の衝突エネルギー吸収構造体の開発, 日本機械学会第 31 回計算力学講演会, 2019 年
- [3] 周川越, 趙希祿, 異なる加工法より反転ねじり型構造の圧潰変形性能に及ぼす影響, 令和 2 年度埼玉工業大学若手フォーラム, 2020 年
- [4] 許文豪, 趙希祿, 円筒に弾性ゴムの膨張性を利用してバルジ逐次成形加工, 令和 2 年度埼玉工業大学若手フォーラム, 2020 年
- [5] J. Zhang, M. Dai, F. Wang, W. Tang, X. Zhao, Y. Zhu, Theoretical and experimental study of the free hydroforming of egg-shaped shell, Ships and Offshore Structures, Vol.11, 2020
- [6] Y. Zhu, B. Zhao, B. Chen, X. Zhao, W. Tang, X. Wang, Buckling of Externally Pressurized Toroidal Shell with Stiffened Ribs, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol.142, No.061301, 2020
- [7] 梁狄, 楊陽, 孔呈海, 景陽, 趙巍, 趙希祿, 萩原一郎, 反転ねじり型エネルギー吸収構造とその安価な部分加熱ねじり加工法, 日本機械学会論文集, 投稿中

大気圧マイクロプラズマとプローブ顕微鏡技術を併用した自由曲面微細加工法の開発

中澤謙太

静岡大学

1. 概要

Microelectromechanical Systems (MEMS) の基盤技術は加工法であり、加工法の発展によって MEMS は発展してきた。大気圧プラズマは反応性ガスを材料と反応させて局所的に除去できるため従来は低圧下で困難であったマスクレスエッチングが可能になる。本研究では、大気圧プラズマを用いた自由曲面加工法の開発を行った。大気圧プラズマを高精度に位置決めするために、プローブ顕微鏡技術を応用した。先鋭化したノズルを用いて大気圧プラズマを局在化し、さらに位置決めのためのプローブとしても用いた。多段階のエッチングを行った。ノズルを 20 nm の精度で位置決めし、18 μm の加工幅を実現した。

2. 成果発表

国内会議

中澤謙太, 岩田太, “大気圧プラズマ局所エッチングによるトリミング法の基礎検討”, 第 36 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 19am3-PS3-11(2019)

モデル予測制御理論からのメカトロ制御における 終端状態制御手法の理解と3次元精密位置決めへの展開

原 進（名古屋大学）

1. 概要

メカトロ機器における多くの運動制御問題において、制御時間帯の終端状態における制御性能は位置決めや整定を考える上で極めて重要である。Totani and Nishimuraは1994年に終端状態における仕様を達成するために補償入力に基づいた終端状態制御(FSC)手法を提案した。FSC手法は改良されながらさまざまな実際の機械構造物の運動制御問題に適用してきた。同様に、そのような問題を解く類似の手法として、モデル予測制御(MPC)手法がある。しかしながら、FSCとMPCの両手法の相違点についてはまだ完全に明らかにはされていなかった。本研究では両手法の関係を明らかにする。はじめに、本助成申請者により提案された更新型FSC(UFSC)手法を紹介する。本研究では、このUFSC手法により生成される制御入力がある条件のもとでMPC制御手法が生成する制御入力と一致することを解析的に明らかにした。すなわち、この解析では更新型FSCの「更新」が果たしている役割を明らかにした。さらに、本研究では、UFSC手法の特性の理解を図る目的から、数値シミュレーションにより固定翼飛行機の3次元位置決め問題へのUFSC手法の応用例を示している。最後に、実験的検討が可能な模型飛行機と計測制御システムからなる実験システムを構築した。模型飛行機コントローラ搭載の既存制御則を用いて数値シミュレーション軌道を再現する予備実験を行い、数値シミュレーションで生成される軌道が実際に飛行可能であることを検証した。

2. 成果発表

【ジャーナル論文】

- [1] Susumu HARA, Ryuya YOKOO and Kikuko MIYATA, Understanding the Final-State Control from the Standpoint of the Model Predictive Control and Its Application to a Three-Dimensional Trajectory Control Problem, *Microsystem Technologies*, Vol. 26, No. 1, pp. 49–57 (2020-1).

- [2] Shota TAKEUCHI, Shun NAKAMURA, Susumu HARA and Kikuko MIYATA, Updating Final-State Control Methods Taking Input Constraints at Final Time Into Account (Adaptive Flight Trajectory Design of Fixed-Wing UAVs), *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 掲載決定。

【国際会議論文】

- [3] Susumu HARA, Shota TAKEUCHI and Kikuko MIYATA, Adaptive Flight Trajectory Design and Shock Response Control of Fixed-Wing UAVs for Mid-Air Retrieval of Low-Speed-Descent Objects, *Proceedings of the SICE Annual Conference 2019, - International Conference on Instrumentation, Control, Information Technology and System Integration (SICE 2019)*, pp. 296–300 (2019-9).

- [4] Shota TAKEUCHI, Shun NAKAMURA, Susumu HARA and Kikuko MIYATA, Updating Final-State Control Methods Taking Input Constraints at Final Time Into Account, *Proceedings of the 15th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC 2020)*, (2020-12) 掲載決定。

【国内会議論文】

- [5] 竹内祥太・原 進, 変化する終端状態目標値を満たす柔軟な軌道生成法について－制御入力の急変を防ぐ終端状態制御の適用法－, 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 (SICE 2019) 講演論文集, pp. 280-284 (2019年12月).

- [6] 中村 舜・竹内祥太・原 進・宮田喜久子, 固定翼 UAV による低速降下物体空中回収の実現を目指して, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 No. 20-2 講演論文集, 2A1-B12 (2020年5月).

【受賞】

- [7] 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 SICE2019 優秀講演賞 受賞者: 竹内祥太, 原 進.

精密制御した点群サーフェースを型とした発泡アルミニウムの形状付与

半谷 複彦
群馬大学

1. 概要

発泡アルミニウムの作製方法の一つにプリカーサ法がある。本研究では、プリカーサ発泡中のプレス加工を点群金型により行うことを試みた。その結果、点群金型をポーラスアルミニウムのプレス加工の金型とすることことができ、星の形状をした発泡アルミニウムを作製することができた。また、得られた発泡アルミニウムのX線CT撮像により、プレス加工後も自由発泡と同程度の気孔率や気孔形態を維持していることがわかった。

2. 成果発表

【学術論文】

- 1) 半谷複彦, 都丸拓海, 大橋政孝, 天谷賢児, 宇都宮登雄, 吉川暢宏, 点群金型による発泡中のポーラスアルミニウムのプレス加工, 軽金属, 70(5), pp. 194-196 (2020).
- 2) 山本貴也, 半谷複彦, 鈴木良祐, 松原雅昭, アルミニウム合金鋳造のための点群型開発, 軽金属, 70(8), pp. 347-349 (2020).

【口頭発表】

- 1) 都丸拓海, 半谷複彦, 宇都宮登雄, 吉川暢宏, 天谷賢児, 永廣怜平, ポーラスアルミニウムに3次元形状付与可能な点群型の開発, 日本機械学会 M&M2019 材料力学カンファレンス (2019).
- 2) 山本貴也, 半谷複彦, 松島慶喜, 鈴木良祐, 松原雅昭, 吉川暢宏, 溶湯発泡法で作製したポーラスアルミニウムへの点群型を用いた形状付与, 塑性加工学会・第10回ポーラス材料研究討論会 (2019).
- 3) 山本貴也, 半谷複彦, 鈴木良祐, 松原雅昭, 吉川暢宏, シンタクチックフォームで作製したポーラスAlへの点群型による形状付与, 軽金属学会第138回春季大会 (2020).

三球面法及び光周波数コム発生器を用いた 絶対曲率半径測定法の開発

尾藤 洋一

産業技術総合研究所

1. 概要

10 m 以上の長尺曲率半径値の高精度測定を目的として、ファブリペロ共振器に三球面法を適用した計測システムを開発した。三球面法とファブリペロ共振器におけるモード間隔測定を組み合わせることにより、参照球面を必要とせず局所的な曲率半径の絶対値を決定することが可能であり、本システムにより絶対値の付与された球面は他の計測システムにおける参照球面として利用できる。実験では、10 m 程度の曲率半径値を 1.5×10^{-4} の相対不確かさで、20 m 程度の曲率半径値を 3.1×10^{-4} の相対不確かさで計測することに成功した。本提案システムは、通常の実験環境下で運用可能であり、時間標準への直接的なトレーサビリティも簡単に担保されていることから、実用性の高い計測システムであると考えられる。今後は、ファブリペロ共振器におけるモード間隔測定の精度を向上させるため、光周波数コムの導入を試みる予定である。

2. 成果発表

- Y. Bitou, O. Sato, and S. Telada, Souichi “Three-spherical-mirror test for radius of curvature measurement using a Fabry-Perot cavity,” *OPTICS EXPRESS* **27**, 13664-13674 (2019) .

表面改質による鉄系材料の超精密ダイヤモンド切削における被削性改善

古城 直道，廣岡 大祐，山口 智実

関西大学システム理工学部

1. 概要

本研究課題では、はじめに浸炭鋼のミクロ組織と工具摩耗の関係性を調査した。その結果を比較することで、以下のミクロ組織が工具摩耗を抑制することが明らかとなった。

- (1) 微細な炭化物の析出が多く見られる。
- (2) 粒界に析出する炭化物の面積が小さく、円形度が低い。
- (3) 炭素濃度が高い

この結果を基に、条件を満たす炭化物の析出が期待されるように熱処理の変更を行った。その結果、微細で円形度の低い炭化物が多く見られ、粗大な炭化物は円形度が低くなっていることが明らかとなった。

次に、窒化された鋼をダイヤモンド切削した際の工具摩耗抑制にミクロ組織が及ぼす影響を明らかにするため、種々の鋼材に窒化を施し、超精密切削特性を調査した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 種々の鋼材に窒化することで、工具摩耗が抑制されるとともに工具刃先形状の転写性が改善される。
- (2) Cr 濃度が上がると、窒化したときの拡散層の窒素濃度が上がり、鉄濃度が減少する。そのため、鉄として残る割合に対して鉄窒化物として生成される割合が増える。
- (3) 拡散層の鉄窒化物とダイヤモンドは反応しうる。しかし、純鉄に比べて大幅に相互作用が小さい。

最後に、工具摩耗の発生箇所と摩耗の原因となる被削材に含まれる物質について、熱力学的な観点からギブスの標準エネルギーを用いて調査した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) ダイヤモンドと酸化鉄は 831K 以上で酸化還元反応を起こすことでダイヤモンドを摩耗させるため、加工中に高温となる境界部で摩耗が生じうる。
- (2) 鋼中の Cr 炭化物から変化した CrN 及び Cr₂O₃ は切削温度域でダイヤモンドと反応しない。そのため、ダイヤモンド工具を摩耗させない。

2. 成果発表

- 1) N. Furushiro, T. Yamaguchi, D. Hirooka, M. Shirakawa, S. Matsuda, Y. Iwasa, S. Terauchi: Effect of microstructure on mitigating tool wear in diamond turning of nitrided steels, Precision Engineering, 54 (2018) 388.
- 2) 山口智実, 古城直道, 廣岡大祐: 革新的な生産加工技術の誕生を夢見て, 精密工学会誌, 85, 7 (2019) 640.
- 3) 井上晋, 古城直道, 廣岡大祐, 山口智実: 浸炭した鋼のダイヤモンド切削においてミクロ組織が工具摩耗に及ぼす影響(第2報) 浸炭前後の熱処理の影響, 2019年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2019) 660.
- 4) 古城直道, 廣岡大祐, 山口智実: 銅単結晶(111)の超精密切削機構に関する研究, 2019年度砥粒加工学会学術講演会, (2019) 105.
- 5) 伊藤駿亮, 古城直道, 山口智実, 廣岡大祐: 窒化された鋼の超精密切削において窒化前の熱処理が及ぼす影響(第2報) 工具摩耗機構の熱力学的解析, 2019年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2019) 430.
- 6) 古城直道, 山口智実, 廣岡大祐: 窒化された鋼のダイヤモンド切削においてミクロ組織が工具摩耗抑制に及ぼす影響, 2019年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2019) 432.

転倒リスク減少のためのウェラブル足底可視化・表示システムの開発

渡辺哲陽, 正源寺美穂

金沢大学

1. 概要

本研究では、歩行中の足底や歩行情報を可視化・分析することで、転倒リスクを可視化し低減することを目指した。靴にカメラをとりつけ、歩行中の足底を可視化して計測できるシステムを開発した。この足底可視化システムを用いて、足先領域の活動性とつまずき経験ならびに加齢との関連性を調べた。かかと接地時と蹴り上げ時の足先の接触面積の差を比較することで、足先領域の活動性を評価した。被験者は、若年者 13 名（男性 9 名、女性 4 名、年齢 22.4 ± 2 歳）と高齢者 9 名（男性 5 名、女性 4 名、年齢 65.3 ± 2 歳）であり、開発した足底可視化システムを搭載した靴を装着して直進歩行する際の足先接触領域を分析した。解析の結果、平均足先活動度が低い場合は年齢に関係なくつまずきリスクが高く、加齢により足先活動度のばらつきが大きくなることがわかった。これらの結果は、年齢に関係なく足先活動からつまずきリスクを予測できることを示している。また、複数歩行サイクルにおける足先活動度の最大値が大きい場合は加齢を示し、値が小さい場合は高つまずきリスクと関連していることが判明した。以上の分析に加え、歩行における転倒リスク評価手法の一つである MTC (Minimum Toe Clearance) を計測できるシステムを搭載し、通信を無線化することで、可視化した足底と MTC データをリアルタイムで表示できるシステムを実現した。今後は、この開発システムをもとに、歩行中のどのような情報を提示すれば転倒・つまずきリスクを低下できるかを見出すことを目指す予定である。

2. 成果発表

1. 金英傑, 正源寺美穂, 渡辺哲陽, ウェアラブル足底観察システムによるつまずき経験と歩行中の足先活動量との関係解明, 第 7 回看護理工学会学術集会, A12, 2019
2. Yingjie Jin, Miho Shogenji, and Tetsuyou Watanabe, Feature Assessment of Toe Area Activity during Walking of Elderly People with Stumbling Experiences Through Wearable Clog-Integrated Plantar Visualization System, Applied Sciences, Vol. 10, No. 4, pp. 1359, 2020. doi:[10.3390/app10041359](https://doi.org/10.3390/app10041359)
3. Yingjie Jin, Miho Shogenji, Tetsuyou Watanabe, Wearable Trip-Risk Monitoring System Based on Plantar Information, Proceedings of the IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp. 573-578, 2020. doi:[10.1109/SII46433.2020.9026167](https://doi.org/10.1109/SII46433.2020.9026167)
4. Yingjie Jin, Miho Shogenji, Tetsuyou Watanabe, A new high sensitive method for measuring toe contact area while walking, 第八回看護理工学会学術集会, P1-06, 2020