

令和5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5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. スケール解析に基づくノイズ補正によるラインエッジラフネス分布計測技術の開発
Distribution measurement of line edge roughness
using a noise correction based on scaling analysis

産業技術総合研究所 計量標準総合センター 主任研究員 木津 良祐
National Metrology Institute of Japan Ryosuke Kizu
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Senior Researcher
2. 冷却速度制御下での大面積電子ビーム照射によるクラックレス表面改質法の開発
Development of Surface Modification Method without Cracks
by Large-area EB Irradiation under Cooling Rate Control

岡山大学 学術研究院 環境生命自然科学学域 助教 篠永 東吾
Faculty of Environmental, Life, Natural Science and Technology Togo Shinonaga
Okayama University Assistant Professor
3. ナノスクラッチによる単結晶サファイアの加工異方性とダイヤモンド工具損耗機構の解明
Clarification of machining anisotropy and diamond tool wear mechanism
in single crystal sapphire by nano-scratching

茨城大学 大学院 理工学研究科 教授 清水 淳
Graduate School of Science and Engineering Jun Shimizu
Ibaraki University Professor
4. 工業用潤滑剤の安全性の“見える化”とその応用
Visualization of Safety in Industrial Lubricants and Its Applications

大阪大学 大学院 工学研究科 准教授 杉原 達哉
Graduate School of Engineering, Tatsuya Sugihara
The University of Osaka, Associate Professor
5. 非接触硬さ計測の安定性向上を目指した光ファイバー干渉計の開発
Development of a Fiber-Optic Interferometer
for Improved Stability in Non-Contact elasticity Measurement

横浜国立大学 大学院 工学研究院 助教 田村 和輝
Graduate School of Engineering Science & Faculty of Engineering, Kazuki Tamura
Yokohama National University Assistant Professor

6. 身体特徴や使用状況を考慮した精密な杖操作教示型の歩行訓練システムの開発
A Gait Training System with Precise Cane Operation Instruction
Considering Physical Characteristics and Usage Conditions

九州大学 大学院 工学研究院 准教授
Faculty of Engineering,
Kyushu University Associate Professor

中島 康貴
Yasutaka Nakashima
7. 発泡アルミニウムの精密成形と成形体の機械学習を用いた圧縮特性評価
Forming of aluminum foam and
evaluation of its compression properties using machine learning

群馬大学 理工学府 教授
Graduate School of Science and Technology,
Gunma University Professor

半谷 禎彦
Yoshihiko Hangai
8. モード同期レーザの繰り返し周波数を利用した高精度変位計測システムの開発
Development of high-precision displace measurement system
using repetition frequency of a mode-locked laser

産業技術総合研究所 工学計測標準研究部門 副部門長
Research Institute for Engineering Measurement
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Deputy Director

尾藤 洋一
Youichi Bitou
9. 完全非接触での保持および励振による構造材料の機械的品質係数 Q 値の高精度計測方法
Precise measurement method for the mechanical quality factor of structural materials
using completely non-contact holding and vibration excitation

東京大学 大学院 工学系研究科 教授
Department of Precision Engineering, Graduate School of Engineering,
The University of Tokyo Professor

森田 剛
Takeshi Morita
10. 分極薄膜を用いた超高感度マイクロ慣性センサの開発
Development of an Ultra High-Sensitivity Micro Inertial Sensor using Polarized Thin Films

立命館大学 理工学部 教授
College of Science and Engineering,
Ritsumeikan University Professor

山根 大輔
Daisuke Yamane

スケール解析に基づくノイズ補正によるラインエッジラフネス分布計測技術の開発

木津良祐

産業技術総合研究所 計量標準総合センター

1. 概要

リソグラフィ関連技術の性能評価として、加工された微細なラインパターンの側壁粗さを表す line edge roughness (LER) が評価される。現在の LER 測定では、自己アフィンフラクタルモデルに基づく粗さ情報の評価に power spectral density (PSD) 解析を用いることが多い。しかし、PSD に基づくノイズ補正法の原理上、多数本分のパターンの平均の LER (粗さ値) しか得られないため、プロセス管理や歩留まり評価で有用な分布の情報が得られない。本研究では、スケール解析の一つである height-height correlation function (HHCF) に基づくノイズ補正を提案し、個別パターンごとの粗さ評価を実現することで LER 分布計測を可能にした。実験評価では、Si ライン&スペースパターンに対して提案手法を適用し、1000 本のラインエッジプロファイルの HHCF から粗さパラメータ (標準偏差(σ)、相関長(ξ)、粗さ指数(α)) を評価して、これらのパラメータの分布情報としてヒストグラムを得た。分布情報は作製されたパターンの形状のばらつきを表す情報であり、本研究で示した LER 分布計測技術は高度なプロセス・歩留まり管理のための新たな評価方法として期待できる。

2. 成果発表

・国内学会発表

- [1] 木津良祐, 熊谷和博, 三隅伊知子, 平井亜紀子, 権太聡, SEM 観察に伴う EUV レジスト収縮変形の AFM 計測評価, NGL ワークショップ 2024, 東京工業大学, 2024/07/04.
- [2] 木津良祐, 三隅伊知子, 平井亜紀子, 権太聡, HHCF ベースのノイズ補正技術を用いたラインエッジラフネスの分布計測, NGL ワークショップ 2025, 東京科学大学, 2025/07/04.

・国際学会発表

- [1] R. Kizu, K. Kumagai, I. Misumi, A. Hirai, and S. Gonda, "AFM observation of EUV photoresist shrinkage due to electron-beam exposure," Proc. SPIE 12955, 129551U (2024).
- [2] R. Kizu, I. Misumi, A. Hirai, and S. Gonda, "LER distribution measurement using HHCF-based noise correction," Proc. SPIE 13426, 134260D (2025).

・論文発表

- [1] R. Kizu, I. Misumi, A. Hirai, and S. Gonda, "Distribution measurement of line edge roughness using a noise correction based on height-height correlation function," J. Micro/Nanopattern. Mater. Metrol. 24, 044001 (2025).

冷却速度制御下での大面積電子ビーム照射によるクラックレス表面改質法の開発

篠永東吾

岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域

1. 概要

Al-Cu 合金は軽量かつ高強度である点から、自動車などの外装品などに用いられる。しかし、本合金は強度向上のために含有される金属間化合物（IMC: Intermetallic compound）を起因とした耐食性の劣化が問題視されている。一方、近年開発された大面積電子ビーム照射法は、高エネルギー密度を有する電子ビームを金属材料に照射することで、極表面を瞬時かつ均一に熔融・再凝固させることが可能である。これまでの研究で、鉄鋼系金型材料に対して電子ビームを照射することで IMC が微細化された緻密な組織を有する再凝固層（改質層）が形成され、耐食性が向上することが明らかにされている。しかしながら、Al 合金は熱加工時の凝固過程においてクラックの発生が報告されており、急熱急冷を伴う電子ビーム照射による改質層形成時のクラック発生が懸念される。

本研究課題では、大面積電子ビーム照射法の急冷過程に着目し、試料温度を上昇させることで電子ビーム照射時の試料冷却速度を制御し、Al-Cu 合金への改質層形成時のクラック発生低減および IMC 微細化の両立を試みた。

本研究で得られた主な研究成果は以下のとおりである。

- (1) 冷却速度制御下で大面積電子ビーム照射をすることで、Al-Cu 合金の表面に発生するクラックを低減させつつ、IMC を微細化することができる。
- (2) 冷却速度制御を行うことでクラック低減および IMC 微細化の両立が可能となり、Al-Cu 合金の耐食性が大幅に向上する。

2. 成果発表

【国内会議発表】

- 1) 篠永東吾, 宮本郁也, 瀬部綾乃, 岡田晃, 大面積電子ビーム照射による Al-Cu 合金の陽極酸化皮膜特性向上, 一般社団法人溶接学会第 145 回マイクロ接合研究委員会, 大阪大学 医学・工学研究科 東京ブランチ, 2024 年 5 月 24 日, 招待講演。
- 2) 瀬部彩乃, 篠永東吾, 岡田晃, 冷却速度制御が大面積電子ビーム照射による Al-Cu 合金の表面改質層に及ぼす効果, 電気加工学会全国大会 (2024), イーグレひめじ, 兵庫, 2024 年 12 月 5 日。

【国際会議発表】

- 1) Ayano Sebe, Togo Shinonaga, Akira Okada, Effect of Cooling Rate Control on Surface Modified Layer of Al-Cu Alloy by Large-area EB Irradiation, Proceedings of the 5th International Conference on Machining, Materials and Mechanical Technologies (IC3MT2024), 52-53.

【関連論文】

- 1) T. Shinonaga, A. Sebe, M. Taniguchi, T. Fujii, A. Okada, Improvement of Anodic Oxide Film Characteristics on Al-Cu alloy by Refinement of IMCs with Large-area Electron Beam Irradiation, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.74, Issue 1, (2025), pp.263-267.

ナノスクラッチによる単結晶サファイアの加工異方性とダイヤモンド工具損耗機構の解明

Clarification of machining anisotropy and diamond tool wear mechanism
in single crystal sapphire by nano-scratching

清水 淳

Jun Shimizu

茨城大学 大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

1. 概要

単結晶サファイアは、高強度、優れた化学的安定性と光学特性を有し、多くの先進デバイスに利用されている。とくに、C面単結晶サファイアは単結晶 GaN のエピタキシャル成長用基板に用いられ、表面を nm 以下の精度かつ高品質で加工することが重要であるが、高硬度・高耐食性かつ強い脆性のため難しく高度な機械加工技術を要する。さらに、単結晶ゆえに各種特性は結晶方向により異なり、加工効率や精度は結晶方位に依存する。よって、単結晶サファイア基板の表面精度および亜表面品質の向上には、結晶構造による異方性も考慮に入れ研削・研磨加工全般のメカニズムを理解する必要がある。本研究では、C面単結晶サファイア基板のナノ研削・研磨において生じる、単結晶であるがゆえに生じる結晶異方性に伴う加工異方性を根本的に明らかにするため、走査型プローブ顕微鏡の摩擦力顕微鏡機能を駆使し、複数溝ナノスクラッチを試みた。また、走査型電子顕微鏡観察により、ナノスクラッチ後のダイヤモンドプローブの状態を観察し、単結晶ダイヤモンド工具の損耗過程の解明を試みた。その結果、加工特性の3回の対称性が判明し、また、ダイヤモンド工具損耗の進展がある程度明らかになった。

2. 成果発表

- 1) Kengo Saegusa, Wangpiao Lin, Jun Shimizu, Kazuki Kaneko, Libo Zhou, Teppei Onuki and Hiroataka Ojima: Study on Machining Anisotropy of C-plane Sapphire Wafer by Nanoscratching Experiments, Proceedings of the 25th International Symposium on Advances in Abrasive Technology (ISAAT2023), Taichung, Taiwan, (2023) Paper ID: 1151 (6 pages).
- 2) 清水 淳, 三枝剣悟, 林 旺票, 金子和暉, 周 立波, 小貫哲平, 尾畷裕隆, 山本武幸: C面サファイア基板のナノスクラッチ特性 (第3報) - シングルとマルチ・スクラッチにおける現象の相違 -, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2024) 760-761.

工業用潤滑剤の安全性の“見える化”とその応用

杉原達哉

大阪大学 大学院工学研究

1. 概要

本研究では、切削液・研削液をはじめとする工業用潤滑剤の安全性を“見える化”するため、化学品の国際的分類基準である GHS (Globally Harmonized System) では捉えきれない実使用環境での危険性を定量的に評価する新手法を構築した。GHS 区分は世界標準として普及しているものの、混合物の安全性が不明瞭である、閾値以下では有害性が見えなくなるといった問題を抱えており、実態と区分結果が一致しないケースが多く報告されている。特に工業用潤滑剤は希釈して使用されることが多く、原液を基準とする GHS 区分が必ずしも現場の安全性を反映していないことが指摘されている。

そこで本研究では、ヒト三次元培養表皮を用いた皮膚刺激性評価手法を提案した。本手法では評価対象を表皮に滴下し、MMT 法により細胞の生存率を測定することで刺激性を数値化することができる。これが利点であり、生細胞率という新たな指標によって、実使用環境に対応した定量的かつ視覚的な刺激性評価が可能となる。そして、予備実験の結果から、生理食塩水や流動パラフィンでは生細胞率がほぼ 100%であり、刺激性がない条件を正しく判別できることを確認した。

さらに、本手法により GHS 区分の異なる市販切削油剤を評価した結果、原液では GHS 区分と生細胞率が概ね対応した一方、希釈液では区分 2 の油剤が区分 1 の油剤より強い刺激性を示した。このことから、GHS 区分と実際の皮膚刺激性の間に乖離が生じ得ることが明らかとなった。また、工業用潤滑剤で多用されるアミン類について希釈率、混合比、中和条件を体系的に検討した結果、加成性理論に基づく GHS 区分では実際の刺激性を正確に反映できない場合があること、中和により pH を基準値以下にしても刺激性が必ずしも低減しないことなど、現行基準の限界が示された。

今後は、ヒト三次元培養角膜表皮を用いた眼刺激性評価への展開、無毒・低刺激添加剤の開発、さらに本手法に基づく安全性評価結果のデータベース化を進め、真に安全な工業用潤滑剤の開発支援とユーザーの製品選択に資する社会実装モデルの構築を目指す。

2. 成果発表

なし（現在論文誌への投稿準備中）

非接触硬さ計測の安定性向上を目指した光ファイバー干渉計の開発

田村和輝

横浜国立大学 大学院工学研究院

1. 概要

本研究は、光学顕微鏡の視野内で非接触に硬さを評価することを目的に、試料の硬さに関連する音響反射率を光学的手法により計測する方法を開発した。ここで硬さの指標として計測する音響反射率は基板に対する試料の硬さを特徴付ける量で、試料の体積弾性率に依存して決まる固有音響インピーダンスの差によって決定される量である。提案手法は、試料を支持する基板の裏側にパルスレーザーを照射して熱弾性効果により超音波パルスを励起し、このパルスが基板内部を伝搬して基板・試料界面で反射して再び裏側に伝搬した際に生じる基板裏面の面外振動を光干渉計によって検出することで、試料・基板境界面の音響反射率を評価した。音響反射率計測のベンチマークタスクとして、生体模擬試料として塩分濃度の異なる寒天試料を作製し、その音響反射率の空間分布を取得した。試料間で固有音響インピーダンスが変化することに伴い、反射率にも明確な差異が確認された。また、空気、水、食塩水の固有音響インピーダンス値から計算されるポリスチレン基板に対する音響反射係数に対して、提案手法で得られた反射率の大小関係が一致しており、提案手法の妥当性を支持する結果となった。一方で、音響反射率の絶対値については理論値との間に一定の誤差が認められた。この原因としては、励起した超音波パルスの周波数特性のうち低周波帯域しか振動を計測していないことや、振動計測そのものの雑音に影響している可能性がある。今後は、振動計測の周波数帯域を拡大するために光干渉計システムの改善を行い、空間分解能の向上と測定誤差の低減を図る予定である。

2. 成果発表

国際会議発表

1. **Kazuki Tamura**, Shinpei Okawa, Non-Contact Optical Ultrasound Based Microscopic Acoustic Property Measurement, International ultrasonics symposium 2025, 2025年9月16日
2. **Kazuki Tamura**, Shinpei Okawa, Development of a specific acoustic impedance microscope using a laser ultrasound, Biomedical Imaging and Sensing Conference 2025, 2025年4月23日
3. **Kazuki Tamura**, Shinpei Okawa, Development of illumination method using spatial phase modulator for non-contact optical ultrasound microscope, IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Joint Symposium, 2024年9月25日

国内会議発表

1. **田村和輝**, 光学顕微鏡を用いた音響特性計測法の開発, 公益社団法人 日本超音波医学会 基礎技術研究会, 2025年9月27日 招待有り
2. **田村和輝**, 大川晋平, レーザー超音波法を用いた固有音響インピーダンス顕微鏡の開発, 日本超音波医学会 第98回学術集会, 2025年5月30日
3. **田村和輝**, 大川晋平, 熱弾性効果増強基板を用いた光学式固有音響インピーダンス計測法の開発, 日本音響学会第153回(2025年春季)研究発表会, 2025年3月17日
4. **田村和輝**, 硬さを測る光学顕微鏡の開発, 次世代センサ・アクチュエータ委員会 第36回定期講習会, 2024年12月5日 招待有り

身体特徴や使用状況を考慮した精密な杖操作教示型の歩行訓練システムの開発

中島 康貴

九州大学 大学院 工学研究院

1. 研究の概要

転倒は、四肢や頭蓋骨の骨折を引き起こし最悪の場合死に至らしめる。その死者数は、実に交通事故の約4倍にも上る。死に至らない場合でも、高齢者の寝たきりや遷延性意識障害を引き起こし、本人のみならず家族や社会に大きな損失を与える。転倒リスクを低減する主要な方法の1つに、T字杖(以降、杖と呼ぶ)の使用が挙げられる。杖の効果は主に、歩行安定性の増加、患側下肢の免荷、歩行速度の増加の3つが知られている。しかし、どの効果を重視するかは、使用者の身体特徴(片麻痺、高齢者)や使用状況(家内、屋外、病院)により異なる。本研究では、杖と使用者を含めた力学モデルを構築し、効果を最大にする使用方法の解明と、その使用法を教示する杖操作訓練システムを開発した。

2. 成果発表

論文誌3報

1. Natsuki Matsunaga, Yuki Kurike, Yasuhiro Yamamura, Ayato Kanada, Motoji Yamamoto, **Yasutaka Nakashima***, Analysis of Cane Manipulation Characteristics Focusing on Cane Tip Position and Cane Force to Achieve Both High Stability and Low Joint Torque, IEEE Access, Nov. 12, 2025.
2. 松永夏己, 栗家悠樹, 梅津颯太, 金田礼人, 山村康裕, 本田功輝, 山本元司, **中島康貴***, T字杖歩行中における杖荷重推定のための上肢筋骨格モデルの構築, 日本ロボット学会誌レター, Vol. 43, No. 4, pp. 447-450, May 21, 2025.
3. Natsuki Matsunaga, Yuki Kurike, Ayato Kanada, Yasuhiro Yamamura, Koki Honda, Motoji Yamamoto, **Yasutaka Nakashima***, Proposal for Cane Tip Position to Achieve Both High Dynamic Stability and Low Joint Torque Using Inverse Dynamics Analysis in T-cane Gait, Journal of Robotic and Mechatronics, Vol. 36, No. 5, pp. 1208-1220, Oct. 20, 2024.

国内学会3件

4. 梅津颯太, 松永夏己, 金田礼人, 山本元司, **中島康貴**, 錘の慣性力に基づき安定な杖先位置へヒトの姿勢を誘導する杖型デバイスの設計—数値シミュレーションに基づくヒトの姿勢誘導に必要な慣性力の導出—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH 2025), 2A1-A03, Jun. 4- Jun. 7, 2025. その他2件

招待講演1件

5. 栗家悠樹, 松永夏己, 本田功輝, 金田礼人, 山村康裕, 山本元司, **中島康貴**, T字杖操作指導に向けた低関節トルクと高安定性を両立する杖先位置と杖荷重の関係の導出, UDX ワークショップ 2025, オンライン開催, Feb. 17, 2025.

受賞1件

6. 2025年度UDX奨励賞, (栗家悠樹, 松永夏己, 金田礼人, 山村康裕, 山本元司, **中島康貴**, T字杖操作指導に向けた低関節トルクと高安定性を両立する杖先位置と杖荷重の関係の導出), Mar. 5, 2025.

半谷 禎彦
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、プリカーサ発泡直後の軟化した状態でプレス加工することで、気孔を維持したまま成形することを試みた。また、プレス成形した発泡アルミニウムが成形していない発泡アルミニウムと同程度の特性を有しているか検証するために、発泡アルミニウムの X 線 CT 画像のみから深層学習により発泡アルミニウムの力学特性を推定することを試みた。

2. 成果発表

【学術論文】

- 1) Y. Hangai, Y. Sakaguchi, Y. Kitahara, T. Takagi, O. Kenji, T. Yuuki, Plateau stress estimation of aluminum foam by machine learning using X-ray computed tomography images, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **132**, pp.5053-5061, (2024).
- 2) 半谷 禎彦, 鈴木 巽, 天谷 賢児, 吉川 暢宏, 発泡アルミニウムへの繰り返し金型押込みによる波形形状付与, *塑性と加工*, **65**, pp. 95-99, (2024).
- 3) Y. Hangai, Y. Sakaguchi, K. Okada, Y. Tanaka, Press-forming of aluminum foam and estimation of its mechanical properties from X-ray CT images using machine learning, *Materials Characterization*, **221**, No.114781, (2025).
- 4) Y. Hangai, Y. Kaneko, K. Amagai, Continuous Fabrication Process of Aluminum Foam from Foaming to Press Forming, *Metals*, **15**, No. 633, (2025).

モード同期レーザーの繰り返し周波数を利用した高精度変位計測システムの開発

尾藤 洋一、増田 秀征

国立研究開発法人産業技術総合研究所

1.概要

従来のレーザー干渉計では、波長精度依存や非線形誤差、 2π 位相飛びなどが実用上の課題となっている。本研究では、モード同期レーザーの繰り返し周波数を変位計測の直接の測定量とすることで、周波数標準に直接的にトレーサブルなナノメートル精度の変位・位置計測システムの実現を目指した。提案手法では、共振器中の一部を変位測定ターゲットとし、共振器長変化に伴う繰り返し周波数の変化から幾何学的変位を求める。このとき問題となる環境変動による共振器長の揺らぎを補償するため、同一共振器内で波長の異なる独立した二つのモード同期を発振させ、繰り返し周波数比から変位を導出する。本報告では、これを実現する二波長同時発振モード同期レーザーを開発した。試作光源では 1035 nm 帯と 1060 nm 帯での二波長発振と、22.1 MHz 及び 22.8 MHz の二つの繰り返し周波数を確認し、その周波数比の測定から変位信号を取得できることを示した。

2.成果発表

特になし

完全非接触での保持および励振による構造材料の 機械的品質係数 Q 値の高精度計測方法

森田 剛

東京大学大学院 工学系研究科

1. 概要

金属などの構造材料において、弾性特性の中でも機械的品質係数 Q 値の測定は支持損失の影響を取り除かなくてはならず、精密測定が困難だった。そこで、本研究では、ランジュバン振動子による近接超音波浮上によって円柱サンプル金属(直径 1.5 mm 長さ 80 mm)を完全非接触保持し、渦電流と永久磁石磁場を組み合わせ非接触で振動励振する電磁超音波法 (EMAT) と組み合わせ共振振動特性を計測することを提案した。この提案手法により、ジュラルミン (A2017) において 31.8kHz 付近の縦基本振動モードを非接触励振し、 Q 値として 51,000 という非常に高い結果を得ることができた。同じサンプルで、3 次モードを励振した際に、細い糸やスポンジでサンプル支持したときの Q 値測定結果と比較したときに提案手法結果が非常に大きな値を示すことから、非接触励振の有効性を実証することができた。また、ステンレス鋼 (SUS304) におけるヤング率の測定結果が、一般的に知られる値よりも 10%程度ほど大きな値が得られ、材料内部の加工時の残留歪みが振動特性に影響を与えているのではないかと考えた。そこで、ステンレス鋼に 1100°C で 1 時間の熱処理を施したところ、ヤング率は 10%程度減少し、 Q 値は 4 倍に向上した。このサンプルを電子後方散乱回折 (EBSD) によって材料内部構造観察したところ、結晶粒の成長と残留歪みの緩和が見いだされ、結晶構造と振動特性に強い相関があることが確認された。

2. 成果発表

原著論文発表

- Masatoshi TSUCHIDA and Takeshi MORITA, "Non-contact mechanical Q -factor measurement system based on electromagnetic acoustic transducer", *Precision Engineering*, vol. 91, pp. 390-395, 2024

国際学会発表

- Masatoshi Tsuchida and Takeshi Morita, "Non-Contact Mechanical Q -Factor Measurement System", *IWPMA2024*, Germany, 2024
- Soki Eto, Kohei Aono and Takeshi Morita, "Non-contact measurement system for young's modulus and shear modulus", *IWPMA2025*, Lithuania, 2025

受賞

- 土田 大聖 日本電子材料技術協会第 61 回秋季講演大会 Best Presentation Award 2024
- 衛藤 壮来 2024 年度精密工学会 卒業研究発表講演会 エクセレントプレゼンテーション賞
- 荒木 健悟 SICE 優秀学生賞, 東京大学工学部精密工学科 2024

分極薄膜を用いた超高感度マイクロ慣性センサの開発

山根 大輔

立命館大学

1. 概要

本研究では、分極薄膜(自己組織化エレクトレット、SAE: Self-Assembled Electret)を MEMS(Micro-electro-mechanical Systems)構造内に直接形成し、外部電源を用いずに高感度化を実現する新しい MEMS 慣性センサ技術の開発を行った。理論解析、有限要素法や等価回路モデルを用いたシミュレーションを通じて、SAE 表面電位が従来の外部バイアス電圧と同等の効果を持つことを明らかにし、さらに実験的にも裏付けた。また、マイクロキャビティ構造を導入することで膜厚設計の自由度を拡張した。さらに、国内外ファウンドリでの試作により、設計値と一致する特性を確認し、量産プロセスを用いた素子製造の可能性を実証した。これらの成果は、超低消費電力・高感度なセンサネットワークの構築に資するのみならず、例えばエネルギーハーベスタなどと融合することで、IoT 社会に不可欠な「電源レス・メンテナンスフリーセンサ」への展開を可能とする。今後は、信頼性向上、多軸化・複合化、エネルギーハーベスタ統合、設計支援ツール開発などを進めることで、次世代 MEMS 技術の中核となることが期待される。

2. 成果発表

本研究に関連する成果の一部を示す。(その他:原著論文 1 件、国際会議 3 件、国内会議 18 件)

- [1] 【原著論文】K. Tokuno, S. Kinoshita, H. Kayaguchi, K. Kurihara, H. Ishii, Y. Tanaka, and **D. Yamane**, “Circuit Simulator Implementation of an Equivalent Circuit Model of Self-Assembled Electret Vibrational Energy Harvesters Based on an Energy Diagram,” IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE E), Vol. 19, No. 5, pp. 920-924, May 2024.
- [2] 【国際会議】M. Morihata, M. Kojima, H. Naruo, Y. Tanaka and **D. Yamane**, “Surface Potential Control of Self-Assembled Electrets using Corona Discharge Post-Processing,” in Proc. The 24th International Conference on Micro and Miniature Power Systems, Self-Powered Sensors and Energy Autonomous Devices (PowerMEMS+ 2025 Miniature Energy Systems), December 15-18, 2025. (採択済み発表予定)
- [3] 【招待講演】**D. Yamane**, “A MEMS-Electret Integration Technology without Charging Processes,” in Proc. 36th 2025 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (From Micro & Nano Scale Systems to Robotics & Mechatronics Systems), Noyori Conference Hall, Nagoya University, Nagoya, Japan, November 23-25, 2025. (発表予定)
- [4] 【国際会議】Y. Sunagawa, S. Kawamura, K. Kawazu, T. Seno-o, Y. Tanaka, and **D. Yamane**, “SURFACE POTENTIAL EVALUATION OF SELF-ASSEMBLED ELECTRETS FORMED IN MICRO-CAVITY STRUCTURES,” in Proc. The IEEE 20th International Symposium on Electrets (ISE20), September 1-5, 2025, Matsue, Shimane, Japan, pp. 43-44.
- [5] 【招待講演】**D. Yamane**, “MEMS Integrated with Self-Assembled Electrets,” in Proc. 9th IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing (IEEE EDTM2025), Hong Kong, China, March 9-12, 2025, M-10-2-3.
- [6] 【国際会議】Y. Sunagawa, R. Li, K. Kakuno, S. Hosoi, A. Jingu, A. Ito, Y. Tanaka and **D. Yamane**, “Design of MEMS Vibrational Energy Harvesters using Micro-Cavity Structures with Self-Assembled Electrets,” in Proc. PowerMEMS+ 2024 Miniature Energy Systems: The 23rd International Conference on Micro and Miniature Power Systems, Self-Powered Sensors and Energy Autonomous Devices, November 18-21, 2024, Tønsberg, NORWAY. (口頭)
- [7] 【招待講演】**D. Yamane**, “MEMS-Electret Integration Technology for Smart Sensors,” in Proc. International Conference on Smart Sensors (ICSS2024), Hsinchu, Taiwan, July 1-2, 2024.
- [8] 【招待講演】**D. Yamane**, “Integrating MEMS and Self-Assembled Electrets,” in Proc. 11th Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT2024), Singapore, June 23-26, 2024, i007.
- [9] 【国際会議】K. Tokuno, T. Sono, Y. Tanaka and **D. Yamane**, “An Equivalent Circuit Model for In-Plane SAE-MEMS Vibrational Energy Harvesters,” in Proc. 11th Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT2024), Singapore, June 23-26, 2024, OR-12-0181.