

大森素形材工学研究室

主任研究員 大森 整 (D.Eng.)



(0) 研究分野

分科会工学, 物理

キーワード: 鏡面加工, 超精密加工, 超微細加工, 表面改質, ピコ精度

(1) 研究背景と研究目標

素材に機能と形状を付与することは, "物づくり"の基本です. 工業材料の主役である金属材料やプラスチック材料はもとより, 電子材料, 光学材料, セラミックス, 複合材料などの分野で, 加工困難な新素材が次々と登場し, また先進の高機能デバイスの開発においては, 加工精度の超精密化, サイズの超微細化, 形状の多自由度化, 加工表面の高機能化等に対する要求が高まり, 素形材工学の重要性は増大の一途をたどっています. 当研究室では, 素形材工学にブレークスルーをもたらす革新的な新加工技術, 超加工技術の研究開発を行うとともに, その応用研究と実用システムの開発を進めています. 当研究室で開発したELID (電解インプロセスドレッシング) 研削法の実用化の進展に伴い, 光, 電子, 新素材, 自動車, バイオ・医用, 金型・工具・機械分野などの, さまざまな生産分野で多くの新しい成果を挙げています. また, 超精密・ナノプレジジョン加工システムの研究開発, 表面改質加工法, ナノレベルの超平滑加工法の研究開発を通して, 微細表面構造および表面機能を創成するマイクロメカニカルファブリケーションの研究領域へと展開を進め, 最先端科学を支えるマイクロ・ナノ光学素子やセンサ, マイクロツール, マイクロ流路, さらに天文観測機器や次世代の環境・エネルギーを支えるオプティカルシステム, 先進光電子デバイスの研究開発, ピコプレジジョン技術などへと波及し, 基礎科学研究から産業界への応用までブレークスルーをもたらしつつあります.

(2) 2023年度の成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

【ELID研削法と応用研究】

ELID (電解インプロセスドレッシング) 法とは, メタルボンド砥石を電解作用によりドレッシングさせながら研削加工を行い, 研削加工のみにより鏡面加工を安定して実現できる加工手法 (ELID鏡面研削) である. ELID法の発明以来, その加工メカニズムの制御やこの研究の一環として, 液中プラズマを積極的に利用することによって, 特定の部位に新しい機能を狙った異種材料を移着させることで, 高機能表面創成の可能性について検討を行っている. 本手法を応用して, 特定の部位に抗菌性を付与することができた.

適用範囲の拡充, ナノプレジジョンELID研削システムの開発について系統的な研究を進めてきた. 近年, 微細光学素子用金型材のCVD-SiCや超硬合金, 高機能材であるCr-N合金, ZrO₂, TiN, Yb:YAG, PCDなどの難削・脆性材料に対して, ELID研削の諸条件を検証し, 良好な高精度鏡面加工を実現しており, 継続的に適用可能な材料を拡大している.

複数の材料から構成される高精度部材や高機能デバイスの事例は多く, しかも構成される異種材料を同時且つ高品位に鏡面加工することが求められている. しかしながら, 材質による加工性の違いにより, 材料間で段差が生じたり, 加工レートや加工面品質に制約が生じやすい. そこでELID研削を適用して, 異種材料の同時鏡面加工に取り組んだ. 材質や特性の異なる3種の材料から2種組み合わせ同時研削を行った. その結果, より硬度の高い材料との同時研削では, 硬度の低い材料の加工面粗さを改善する効果が確認された. 脆性が顕著な光学材料については, 脆性破壊で加工が進行した単独での研削に比べ, 同時研削では加工面が延性モードを主とする加工面に変化することが分かった.

引き続き理研所内外における物理分野や光領域, ものづくり分野の研究室とのコラボレーションを活発に進めている.

【連携プロセスの研究】

九州大学黒河研究室との連携によりELID研削プロセスとCMP (化学的機械的研磨) を組み合わせることで, 石英に対して極微量分析用のX線ミラーとして使用できる表面品質を

実現している。また、CVD-SiC基板への適用も進めてきた。また、ELID研削とCMPを特定の条件下で連携させることで、上述のようにスムーズな表面ではなく、研削マークがCMPの作用により強調された特徴的な仕上げ面状態が得られることが分かった。

後述する周期的シリンドリカルレンズについて、前加工である形状創成後の仕上げ工程として、周期構造の表面に倣って弾性変形するパッドを採用したプロファイルCMPを考案し、前加工で創成された形状に倣いながら透明に仕上げることに成功した。また、異なるピッチ間隔を持つ周期構造に対し本加工法を適用したところ、数mm～10mmの広い範囲で形状に倣って研磨が可能であることが確認でき、連携プロセスの有効性が確認できた。

【キーコンポーネント開発の研究】

先端的科学研究に必要となるアナライザー用キーパーツ、キーコンポーネント開発のための先端的加工プラットフォームの構築に向けて、そのコアとなるナノプレジジョンおよびピコプレジジョンを狙ったファブリケーションシステムの加工精度および加工現象の可視化に取り組み、究極の超精密・超微細プロセス技術の開発を進めてきた。特に、戒崎計算宇宙物理研究室とのコラボレーションとして進めてきた国際EUSOミッションとの連携による宇宙線望遠鏡EUSOプロジェクトの一環として、国際宇宙ステーション(ISS)内で観測することを目的としたMini-EUSO望遠鏡用の超精密フレネルレンズを開発してきた。

こうした知見を活かして、特殊用途に用いられる周期的シリンドリカルレンズの加工に取り組んでいる。周期的構造の創成には工具形状を転写するプロセスを考案、高精度な形状創成が可能であることが確認された。また、異なるピッチ間隔の周期構造の創成についての知見を得るとともに、得られた表面粗さについても知見を得ることができた。

バイオアプリケーション開発の取り組みの一つとして、秋田県立循環器・脳脊髄センターとの連携により脊椎ケージ等を想定したチタン材に対して、骨癒合性に関わる高効率な形状創成手法の検討を進め、それによる加工特性の調査を進めている。

【マイクロファブリケーションの研究】

表面に機能性を有する微細構造が形成された先端的マイクロデバイスの開発には、加工精度の超精密化とともに、加工単位の超微細化を実現する極限的加工法の確立が不可欠である。前者については、ナノプレジジョン加工システムにより、ELID研削をベースとしたナノレベルの表面創成が有効である。後者については、微細な先端を有する単結晶ダイヤモンド工具による微細加工、特に切削加工（超精密切削）がポイントとなる。

液中プラズマによる微細プロセスの一環として、素材の特定の部位に異種材料を移着させることで、表面機能を付加できる可能性について検討を行っている。本手法を応用することによって、狙った部位に抗菌性を付与することができた。抗菌性を持つ部位は設計されたパターン上に配置することも可能であり、新しいプロセスの可能性が示唆された。

また、多結晶ダイヤモンド (Polycrystalline diamond: PCD) ボールエンドミルを用いて超合金の高品位加工を実施した。同研究を推進する過程において、焼入れ鋼や超合金を加工する際には、むしろダイヤモンド砥粒の突出しを研磨により除去した工具の方がより高品位な加工面が得られることを確認した。研磨したPCD工具による超合金加工においては、被削材表面の微小域塑性流動を主体とした材料除去モデルが主体的であった。さらに、PCD工具と同形状の単結晶ダイヤモンド工具を用いて実験を行い、加工特性の違いを評価した。金属製細胞培養器開発に資する極小径PCDエンドミルによるCo-Cr合金の微細溝加工に関する共同研究も継続している。また、市販品最小のPCDスクエアエンドミルを用いて窒化ケイ素の微細溝加工を行った。切込み深さの大きいクリープフィード加工により、窒化ケイ素を高品位/高効率に延性モード加工できることを確認した。

バイオ分析用のマイクロ流体チップの研究について、今年度は引き続き、簡便なデジタルPCRを可能とするマイクロ流体チップの開発を行った。デジタルPCRはキャリブレーション不要で高感度・高精度な核酸分析法である。しかしながら市場にあるデジタルPCRは高価な専用装置を必要とするため、広く普及しているとは言えない。本研究では独自のマイクロ流体チップにより、専用装置を用いることなく、一般的なサーマルサイクラーと蛍光顕微鏡のみでデジタルPCRを可能にすることを目的としている。昨年度までに開発したマイクロ流体チップを用いて、ヒトRNase P遺伝子をモデル配列として性能評価を行ったところ、1.3～13,000コピー/マイクロリットルの濃度範囲において測定値は理論値と良く一致し、本手法が十分な性能を持っていることが示された。

【トライボファブリケーションの研究】

トライボロジー（摩擦・摩耗を扱う学問領域）と加工プロセスとを繋ぐ境界・融合領域を“トライボファブリケーション”と命名し、工具側から見た摩擦・摩耗現象と、工作物側から見た加工現象を双方向からとらえるアプローチを立ち上げてきた。特に、加工現象を可視化することによって、工具材質、表面処理、工作物、雰囲気、加工条件などをトータルで制御、最適化できれば、新たな加工プロセス技術を創出できる可能性が生まれる。

液中プラズマを応用した微細プロセスに加え、液中での多層コーティングを実現する新プロセスの検討を行っている。電気泳動現象を応用して、一次、二次プロセスそれぞれでコーティングする材質を変えることで、コーティングを多層化できることが確認された。

一方、フェムト秒レーザ照射と大気圧プラズマ処理をインテグレーションした表面改質システムの開発も継続的に行った。また新たに“レーザアシストピーニング法”の開発に取り組むべく装置開発を行っている。本手法は、ナノ秒レーザ焦点をオフセットさせた状態で被処理材の融点ぎりぎりの温度まで入熱させ、すかさず微細ピーニングにより所望の成分を固着させるものである。次年度より基礎実験に取り掛かる予定である。

(3) 研究室メンバー(2023年度)

(主任研究員)

大森 整

(専任研究員)

片平 和俊、細川 和生

(研究嘱託)

小林 孝人、野村 博郎、藤井 進、小野 明、
吉田 徹、厨川 常元

(客員研究員)

小茂鳥 潤、水谷 正義、亀山 雄高、
Min Sangkee、西川 尚宏、菅原 卓、
土肥 俊郎、伊藤 伸英、河西 敏雄、松澤 隆、
Lin Weimin、江面 篤志、長谷 亜蘭

(客員技師)

高橋 征幸、永尾 公壮、井村 諒介、安西 貞司

(客員主管研究員)

黒河 周平

(研修生)

伊藤 颯希、吉田 凜太郎、Bai Letian、
奥富 雄基、鈴木 拓馬、根本 夏希、
土田 陽斗、Wang Youlai

(パートタイマー)

高橋 太一、今川 翔太、亀鷹 大晟、
佐橋 真弓

(4) 発表論文等

1. Kazuo Hosokawa, and Hitoshi Ohmori, Digital PCR using a simple PDMS microfluidic chip and standard laboratory equipment, *Analytical Sciences*, 39, 2067-2074, 2023 DOI: 10.1007/s44211-023-00425-2
2. Satsuki Ito, Shiori Ishitsuka, Nobuhide Itoh, Hitoshi Ohmori, and Katsufumi Inazawa, Fabrication technology of fiber-bonded grinding wheel containing composite abrasive grains, 2022, *Advanced Micro-Fabrication and Green Technology-Transactions of MIRAI*, Vol.10, p46-56.
3. Katsufumi Inazawa, Hitoshi Ohmori, and Nobuhide Itoh, Effects of O₂ fine bubbles on ELID grinding using conductive rubber bond grinding wheel, 2022, *International State-of-the-art in Surface and Interface Fabrication Technologies IV*, p10-19.
4. Min Li, Bernhard Karpuschewski, Hitoshi Ohmori, Oltmann Riemer, Ying Wang, Ting Dong, Adaptive shearing-gradient thickening polishing (AS-GTP) and subsurface damage inhibition, 2021, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 160, 103651
5. Yuanfan Guo, Shaohui Yin, Hitoshi Ohmori, Min Li, Fengjun Chen, and Shuai Huang, 2021, *Advanced Micro-Fabrication and Green Technology-Transactions of MIRAI*, Vol.9, p108-122.

Laboratory Homepage

https://www.riken.jp/research/labs/chief/mater_fab/index.html