

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・ナノプレシ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, ピコプレシ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) 2021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, 適用範囲の拡充, ナノプレシジョン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, ZrO_2 , 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.

以上のように, さまざまな素材のELID研削が実現されているが, 複数の素材から構成される高精度部材や高機能デバイスの事例が多いことから, 異種材料の同時研削プロセスの基礎的検討を進めている. 特殊合金であるCuWならびにAgWを, それ以外の材質や特性の異なる材料と組み合わせることで同時研削を行った. その結果, 脆性が顕著な光学材料との同時研削では, 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, さまざまなデバイスの高効率な仕上げ加工の実現, そして機能性を有する表面加工法の構築について研究を進めている. これまで, 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. 一方, 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という知見を得ている.

こうした知見に基づいて, ELID研削により得られた周期的シリンドリカルレンズの表面

構造に対して弾性変形するパッドを採用することで、前加工で創成された数mm～10mmの広範囲に亘るピッチ間隔のシリンドリカル形状に倣って透明に仕上げることに成功している。さらに、特定の連携プロセス下でCMPにより仕上げられた周期的シリンドリカル面が防汚性を発現することが確認された。

【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리케이션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。

これまで、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レンズ(レンズアレイ)の加工に取り組んでいる。具体的には球面状ディンプルのアレイ状周期的構造の創成プロセスを検討し、ディンプル数が多くなった場合、加工能率を確保するために球面状に成形した工具先端形状を転写するプロセスを考案した。さらに、レンズとして使用可能な透明度が確保できることが確認された。

一方、バイオアプリケーション開発の取り組みの一つとして、引き続き秋田県立循環器・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、抗菌性を付与する手法の検討を進めており、基礎的な加工試験を進めている。

【マイクロファブ리케이션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。

特殊光学素子成形金型を想定して、砥石のシャープエッジを用いて連続するV溝の創成を行うプロセスを考案した。V溝の創成とともに、イオンショットの付与により表面酸化による発色を可能とする知見を得ることができた。表面の高硬度化とともに、加飾により情報を付加できる可能性があることから、新しいプロセスの可能性が示唆された。

工具先端半径25 μm の超微細多結晶ダイヤモンド(Polycrystalline diamond: PCD)ボールエンドミルを用いて、細胞サイズかつ鏡面レベルの連続微細溝を金属系生体材料(Co-Cr合金)表面に創製した。得られた幅30 μm のマイクロ溝は、表面粗さ(Ra) 20 nm未満を達成した。本工具による微細加工においては、連続的な塑性流動を主体とする材料除去モデルであることを明らかにした。さらに、加工した表面における細胞培養実験を行い、とくに工具先端半径25 μm で作製された溝において、細胞が顕著に配向されることを確認した。また、市販品最小のPCDスクエアエンドミルを用いて窒化アルミニウム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、窒化アルミニウムを高品位/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、一般的な研究室備品のみでデジタルPCRを行っている。今年度はこの手法をワンステップ逆転写PCRに拡張することにより、RNAの直接検出に成功した。新型コロナウイルスの遺伝子をモデル配列として性能評価を行ったところ、1.0～10,000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리케이션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리케이션”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。

加工面の摩擦係数の測定において，測定対象とする表面性状は大きな影響を与える．表面粗さのみならず，加工痕の方向性や粗密も影響を与える．特に標準試験片については，安定した表面性状を得る方法は重要であり，研削と研磨を組み合わせることで，狙いとする表面性状が安定して得られるかの基礎的検討を進めている．

一方，フェムト秒レーザー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．金属系生体材料であるCo-Cr合金の表面に高機能CrN膜を効率よく創成することを試みている．また新たに“レーザー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，ナノ秒レーザー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．

(3) 研究室メンバー(2024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、松澤 隆、Lin Weimin、
江面 篤志、長谷 亜蘭、野村 光由、
嶋田 慶太

(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)

関口 歩夢、品川 賢冴、太幡 郁哉、角井 恵理

(パートタイマー)

亀鷹 大晟、佐橋 真弓

(4) 発表論文等

1. Kazuo Hosokawa and Hitoshi Ohmori, Digital reverse transcription PCR using a simple poly(dimethylsiloxane) microwell array chip for detection of SARS-CoV-2, Biochemical and Biophysical Research Communications, 741, 151070, 2024 DOI: 10.1016/j.bbrc.2024.151070
2. 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
3. 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.
4. 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.
5. 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

Laboratory Homepage

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