

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) 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, その加工メカニズムの制御, および同手法の適用範囲の拡充, ナノプレジジョンを実現するためのELID研削システムの開発などについて系統的な研究を進めてきた. これまでの経過として, 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研削を適用する諸条件を検証し, 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.

ELID研削法により効率よく非球面光学素子を開発するために, 工程や加工時間の短縮は重要となる. そこで, これまでに当研究室で得られた知見であるナノダイヤモンドを含有した特殊ボンドを適用, 非球面加工のみならず, 自由曲面加工を可能とするストレート砥石を用いてミラーやレンズ金型材として用いられるSiCに対して, ELID研削面粗さを大幅に改善することに成功した. また, 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, 研削マークが強調された特徴的な仕上げ面が得られることが分かった. このような表面性状表面で細胞培養試験を行ったところ, 研削マークに沿って細胞が付着, 進展することが確認できた. 他分野にも応用できる可能性があり継続的に検討して行く.

デスクトップタイプの超精密・ナノ加工システムの開発を進展させ, AI機能の導入を目

的とした適応制御を実現して、難削材加工における予測制御性能を検証するべく研究開発を進め、異種材料を安定して加工できる基礎的知見を継続的に得ている。ボンド材が異なる砥石に応じた加工条件の選定指針についても調査を進めている。

【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。

これまで、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み、工具選定、加工条件、プロファイル、加工面粗さの相関について調査を行い、透明度を持つプロファイルを能率良く形成できることが確認された。

バイオアプリケーション開発の取り組みの一つとして、チタン材によるインプラント開発に資する研究を進めてきた。その一環として、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おける黄色ブドウ球菌や大腸菌に対する抗菌性の効果を確認し、実用化へ向けて継続的に技術開発を進めている。さらに、チタン材への骨癒合性に関わる形状創成を試み、その加工特性の調査を開始した。

【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、小径砥石の適用や、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。一方、後述するトライボファブリケーション研究とも関係して、液中プラズマを応用した微細プロセスにより、異種材料をピンポイントで移着させる手法を考案、一連の実験により、特定の部位に特定の機能を付与できることが示された。これはパターン化も可能であり、新しいマイクロファブリケーションの可能性を示唆するものである。

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硬合金の高品位加工を実施した。とくに、異なる突出高さに配置されたダイヤモンド砥粒を特徴とする2種類のPCD工具を使用して、工具表面のテクスチャが加工特性に及ぼす影響を検証した。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。

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。マイクロ流体チップの主要部分はポリジメチルシロキサンを材料とし、昨年度までに開発した手法で転写加工により作製した。マイクロ流体チップは表面に多数の微細な凹部を持ち、この凹部にPCR反応液を導入して予備実験を行ったところ、良好な結果が得られた。

【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いる。特に、工具材質、工作物と加工環境・加工条件をトータルで最適化できれば、新たな加工技術を創出できる可能性が生まれる。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、特定の部位に耐摩耗性に優れた異種材料を移着させることで、トライボロジー特性の改善に資する高機能表面創成の可能性について検討を行っている。

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行った。同装置を用いてTi-6Al-4Vの表面改質効果を調査した。LP シリー

ズ（レーザーとプラズマの両方を照射したサンプル）は優れた摩擦摩耗特性を示した。その要因として、3つの要因の相乗効果によって引き起こされることが示唆された。レーザー誘起の周期的な表面溝の均質化による平滑性の向上、結晶粒の微細化によって生じる高硬度化、酸化物の形成によってサンプルに与えられる高靱性と低摩擦特性であることが明らかとなった。

(3) 研究室メンバー(2022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、山本 雅人、

菅原 卓、火原 彰秀、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

(テクニカルスタッフ)

春日 博

(研修生)

千葉 史織、大野 直哉、伊藤 颯希、

吉田 凜太郎、本村 大地、Bai Letian、

高橋 輝流、Zhang Yunfan、奥富 雄基、

鈴木 拓馬

(パートタイマー)

瀧島 玖実、大野 直哉、高橋 太一、

今川 翔太、佐橋 真弓

(4) 発表論文等

1. 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.
2. 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.
3. 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
4. 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.
5. Hitoshi Ohmori, Shinjiro Umezue, Yunji Kim, Yoshihiro Uehara, Hiroshi Kasuga, Teruko Kato, Nobuhide Itoh, Syuhei Kurokawa, Takayuki Kusumi, Yugo Sugawara, Shinsuke Kunimura, 2020, A high quality surface finish grinding process to produce total reflection mirror for x-ray fluorescence analysis, Int. J. Extrem. Manuf. 2/015101 (7pp).

Laboratory Homepage

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