

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, ZrO_2 , 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法の加工メカニズムの超精密制御と, それを駆使できるナノプレジジョンELID研削システムの開発をベースに, 同手法の物理・バイオ分野への適用範囲の拡充を進めてきた. これまでの成果として, 九州大学地球観測システムデモンストレーション (QSat-EOS) の一環として, 小型衛星に搭載する大口径非球面レンズ開発を手掛けた. 引き続き, 理研所内における物理分野や光領域野の研究室とのコラボレーションを活発に進めている. 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, 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.

【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は, バイオ分野や耐摩耗工具・金型の分野などで利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。

一方、研削加工の分野においても減少する熟練者への依存軽減が課題となっている。熟練者と非熟練者の経験差が出やすい事例として、研削切り込み量の設定が挙げられる。非熟練者は未経験の被削材に対して切り込み量を微小に設定する傾向があり、結果が伴わない場合は別の設定項目を変更する。その結果、試行錯誤の回数は増加し、条件設定に多くの時間を費やす。そこで、実験を簡素化し条件を制御しやすい摩擦試験機を用いて、微小切り込みの状況を模擬した摩擦特性を調査した。その結果、荷重がより小さい場合に摩擦係数は増加し、ばらつきも増加する傾向が見られ、非熟練者に対してデータに基づく説明が可能な研削現象の解析に発展する可能性を示唆する結果が得られた。

【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、フランスが主導するフライト観測ミッションであるEUSO-Balloon望遠鏡に搭載する1m×1mサイズの超精密フレネルレンズを開発し、実際のフライトを通してその性能とその有効性を確認した。さらに、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た(2019年8月にSoyuzでISSへと打ち上げられ、地表のUVマップ、曇や海の放射光(emission)、流星(meteor)などを観測記録として取得し、現在データを解析中である)。

【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。一方後者については、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。硬質材料からなり、深い形状・寸法を持つレンズ金型や凹面/内面加工、インプラントなどの微細加工においては、ELID研削の微細化を狙って、イオン化したクーラントでドレッシングを行なうイオンショットドレッシング法の構築を進めてきた。

また、高精度・高品位のレーザプラズマ加速器のサファイアキャピラリを創製するフェムト秒レーザ/超精密ダイヤモンドミリングのプロセスチェーン開発も行った。とくに、工具表面の研磨の有無によりダイヤモンド砥粒の突き出し高さが異なる2種類のPCD工具を用い、両者による単結晶サファイアの加工特性の差異を検証した。フェムト秒レーザによるナノ多結晶ダイヤモンドの高精度・高効率成形にも取り組んだ。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を研究している。今年度はマイクロ流体チップを簡便かつ安価に複製する方法を開発した。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(PDMS)を材料とし、鋳型から転写加工により作製する手法が事実上の標準となっている。鋳型はフォトソングラフィにより作製する場が多いが、こうした鋳型は多数回の転写を繰り返すと破損することがあり、作り直すには大掛かりな設備と多大な労力を必要とする。これを回避するため、PDMSの表面形状を紫外線硬化樹脂(UVレジン)に転写することにより、鋳型を再生する方法を開発した。ホビー用途の安価なUVレジンとUVランプを用いて、PDMSの形状を実用上十分な精度で転写することに成功し、こうして得た鋳型から再度PDMSに形状を転写することができた。

【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。具体的な成果として、微量のナノカーボンをクーラントへ添加する際、ダイヤモンド工具や加工面の親水性や潤滑特性を評価しながら適正な添加量を見出す手法を考案した。適正な条件を選択することによって、加工時に工具摩耗が極端に抑えられ、

ダイヤモンド切削により鉄系素材のナノレベルの表面を実現する、これまでに実現できなかった世界初の知見を得ることができた。

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行った。被処理材表面の局所領域を大気圧プラズマで覆いつつ、フェムト秒レーザーを照射することで、光エネルギーによるアブレーション性能の最大化を狙うと同時に、プラズマの化学反応促進により被加工物極表面に高機能層創成（高硬度化、トライボロジ特性向上、生体適合性付与、マイクロテクスチャリング）を狙っている。同システムを用いた基礎実験を行い、チタン合金（Ti-6Al-4V）に対して、高硬度・耐摺動性を有するLIPSS（Laser-Induced Periodic Surface Structures）を迅速に創成し得ることを確認している。

(3) 研究室メンバー(2021年度)

(主任研究員)

大森 整

(専任研究員)

片平 和俊、細川 和生

(研究員)

小野 照子

(研究嘱託)

小林 孝人、野村 博郎、藤井 進、小野 明、
吉田 徹

(客員研究員)

三村 秀和、小茂鳥 潤、水谷 正義、Inn-Sil Kwak、Tae Soo Kwak、亀山 雄高、
梅津 信二郎、Sangkee Min、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、Weimin Lin

(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、上原嘉宏、Yunji Kim

(大学院生リサーチ・アソシエイト)

原井 智広

(研修生)

荒川 龍之介、水上 拓実、高橋 卓弥、清水 喬
宏、櫻村 聡、小島 康暉、千葉 史織、原井 智
広、大野 直哉、

(パートタイマー)

瀧島 玖実、大野 直哉、高橋 太一、
今川 翔太、稲橋 由香里

(4) 発表論文等

1. 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
2. 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.
3. Hitoshi Ohmori, Shinjiro Umezu, 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).
4. Hitoshi Ohmori, 2019, Pico-precision Optical Fabrication for Advanced Analyzers, IMCC 2019 (Proceedings of the 18th International Manufacturing Conference in China), P82-23.
5. Albert J. Shih, Berend Denkena, Thilo Grove, David Curry, Hong Hocheng, Hung-Yin Tsai, Hitoshi Ohmori, Kazutoshi Katahira, ZJ Pei, 2018, Fixed abrasive machining of non-metallic materials, CIRP Annals – Manufacturing Technology 67(2), 767-790.

Laboratory Homepage

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