

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, 表面改質加工法および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리케이션の研究領域へと展開を進め, 最先端科学を支えるナノ光学素子や天文光学素子, そしてセンサー, マイクロツール開発, さらに次世代の微細光学機器や環境・エネルギーを支える太陽光オプティカルシステム, 先進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) 2020年度の成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

【ELID研削技術の研究】

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, 加工精度を著しく改善・安定化できる研削法である. 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やポリアセタールといった難削・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いる.

これらの知見をベースとして, 石英のELID研削プロセスに対し, 九州大学黒河研究室との連携によりCMP (化学的機械的研磨) を組み合わせることで, 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た.

一方, ELIDプロセス中の電気化学反応による金属系生体材料の表面改質機能を確立し, チタン合金, ステンレス合金をはじめ, 人工骨頭用材料であるCo-Cr合金に対しても効果が発揮できることが明らかとなっている. チタン合金については, 生体適合性のみならず抗菌性を付与できる可能性を明らかとしており, より高機能なインプラントの開発への適用を検討している.

【ELID研削法の物理・バイオ分野への応用展開】

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およびステンレス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, 実用化へ向けて技術開発を進めている. また, シリンドリカル光学素子の金型加工を想定して, 白銅などの新たな材質に対

して鏡面加工技術を適応して形状精度や表面性状の検証を進めた。また、それらの材料硬度と粗さ、形状精度の相関などの検証実験を進めた。

【超精密・ナノ加工システムの開発と宇宙望遠鏡開発支援】

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。

その一部として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ている。また、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。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。

具体的な事例としては、難削材である多結晶ダイヤモンド(PCD)工具の刃先研削を試み、その加工特性の評価を進めている。一方、イオンショット加工のトライが進められている多結晶ダイヤモンド(PCD)工具やナノ多結晶ダイヤモンド(通称NPD)工具の高効率利用に関する新技術開発や、同工具を用いたマイクロ光学素子用セラミックス金型を創製するプロセス開発を継続的に遂行している。

さらに、複合耐摩耗工具のグリップ解析に基づいた適応・学習制御による新研削システムの開発を行った。摩擦摩耗試験データに基づく砥石目立て(ドレス)状態の分類に関して、メタルボンド砥石にドレスなし、初期ドレスのみ、連続ドレス3種類の目立て状態を施し、摩擦摩耗試験を実施した。また、摩擦回数と摩擦係数のデータを訓練データとして用い機械学習(machine learning)により3種類の目立て状態を分類した。相手材がSUS420J2の場合、目立て状態の正解率(accuracy)は52.3%、相手材がSKD11の場合、正解率は83.7%という結果が得られた。

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ーリングのプロセスチェーン開発も行った。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。

【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。結果として、光学部品や医療用製品のプラスチック成形金型材

として用いられるステンレス系金型鋼に対して、ナノレベルの超平滑面がダイヤモンド切削により達成された。また、医療用材料として使用されるチタン合金とcBN工具の潤滑特性評価において、最適化された濃度のナノカーボン添加クーラントは、水溶性加工液と比較し低摩擦を示し、Ti合金の表面性状向上に有効であることが明らかとなった。

(3) 研究室メンバー(2020年度)

(主任研究員)

大森 整

(大学院生リサーチ・アソシエイト)

(専任研究員)

原井 智広

片平和 俊, 細川 和生

(国際プログラム・アソシエイト)

(研究員)

Enhui Lu, Ruting Zhang

小野 照子

(研修生)

(研究嘱託)

渡邊 翼, 山本 太輝, 森 尚希, 石塚 聖輝, 荒

野村 博郎, 藤井 進, 小野 明, 吉田 徹

川 龍之介, 水上 拓実, 高橋 卓弥, 清水 喬

(客員研究員)

宏, 櫻村 聡, 立沢 隼弥, 古澤 樹, 大野 直哉

小茂鳥 潤, 水谷 正義, Inn-Sil Kwak,
Tae Soo Kwak, 亀山 雄高, 梅津 信二郎,

(研究生)

Sangkee Min, 西川 尚宏, 土肥 俊郎,

小林 孝人

伊藤 伸英, 河西 敏雄, 松澤 隆

(パートタイマー)

(テクニカルスタッフ)

馬場 友輝, 瀧島 玖実, 高橋 太一, 稲橋 由香

春日 博, 上原 嘉宏, Yunji Kim

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. 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).
3. 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.
4. Hitoshi Ohmori, Yunji Kim, Yoshihiro Uehara, Teruko Kato, Hiroshi Kasuga, Shinjiro Umezu, Syuhei Kurokawa, 2019, Finishing Properties of X-ray Mirror by ELID-CMP Combined Process, Advanced Micro-Fabrication and Green Technology -, Transactions of MIRAI, Vol.7, p80.
5. Hitoshi Ohmori, 2019, Pico-precision Optical Fabrication for Advanced Analyzers, IMCC 2019 (Proceedings of the 18th International Manufacturing Conference in China), P82-23.

Laboratory Homepage

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