

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) 2019年度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, 伊藤ナノ医工学研究室との連携により, 生体適合性を評価するチタン製特殊ロッドの仕上げ加工への適用を検証し

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・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。

その適用の一部は戒崎計算宇宙物理研究室とのコラボレーションにより進めてきたが，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。また，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ISSへと打ち上げられ，現在観測ミッションが進行中である）。

【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いる。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。

【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บอน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。

(3) 研究室メンバー(2019年度)

(主任研究員)

大森整

(専任研究員)

片平和俊

(研究員)

小野照子

(研究嘱託)

野村博郎、藤井進、小野明、吉田徹

(客員研究員)

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、土肥俊郎、伊藤伸英、河西敏雄、松澤隆

(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

(国際プログラム・アソシエイト)

Enhui Lu、Ruting Zhang

(研修生)

飯沼亮介、坂本健、坂本和陽、福本博、
谷野登生、福田守、渡邊翼、山本太輝、
森尚希、石塚聖輝、笹原大揮、柴村侑也、

遠山沙良、荒川龍之介、小林駿平、

加藤皓己、水上拓実、高橋卓弥、
大野航汰、清水喬宏、櫻村聡、立沢隼弥、
山西洋聡、中原寛生、佐々木慶太、
幸俊寛、古澤樹

(パートタイマー)

小林孝人、小野峻、岩田佳大、馬場友輝、
稲橋由香里

(4) 発表論文等

1. 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).
2. 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.
3. 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.
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. Hitoshi Ohmori, Yuki Eguchi, Yoshihiro Uehara, Takahiro Kobayashi, Kenji Higashi, 2018, Development of Polygonal Sollar Collector applying Fresnel Lenses and Mirrors, Transactions of MIRAI, Vol.6, p58.

Laboratory Homepage

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