

大森素形材工学研究室
Materials Fabrication Laboratory

主任研究員 大森 整 (工博)
OHMORI, Hitoshi (Dr. Eng.)



キーセンテンス：

1. マイクロ構造／機能素子のためのナノメカニカルファブ리케이션の研究
2. ELID (電解インプロセスドレッシング) 加工法の研究
3. 超平滑加工の研究
4. 超微細加工の研究
5. ナノプレシジョン／ウルトラプレシジョン加工の研究
6. マイクロメカニカルファブ리케이션の研究
7. トライボファブ리케이션の研究

キーワード：

ELID (電解インプロセスドレッシング) 研削, ナノプレシジョン／ウルトラプレシジョン加工, マイクロメカニカルファブ리케이션技術, 環境調和加工技術, 超平滑加工, 超精緻加工, デスクトップ加工システム, トライボファブ리케이션, 表面改質加工, フィードバック加工プロセス, 先端光学素子加工, スーパー・アナライザーテクノロジー, ブロードバンドファブ리케이션, ウルトラファブ리케이션, ピコプレシジョンテクノロジー

研究概要

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.

1. マイクロ構造/機能素子のためのナノメカニカルファブ리케이션研究

(1) ELID加工法の研究 (大森, 片平, 小野*1, 上原*2, 春日*2, 金*2, 根本*5, 水谷*5, 国村*5, 林*5, 梅津*5, 松澤*5, 尹*5, 山内*5, 三村*5, 江面*5, 郭*5)

ELID法の制御, および同手法の適用範囲の拡充, 加工条件のチューニングとともに, ナノプレシジョンELID研削のためのシステム開発などについて系統的な研究を進めた. 具体的研究成果として, 光学材料として石英とLight Emitting Diode (LED)基板材料としてニーズの高まる人工サファイアを選定して, ナノ表面加工の研究に取り組んだ. ELIDプロセスとナノダイヤモンド含有砥石によって, より効率良く仕上げ加工ができる加工条件についてのチューニングを行った. 続いて, サファイアの表面に機能性を付与するべく, ダイヤモンド工具による溝加工を行い, 深さ10 nm未満の極めて浅い溝を創成することに成功した. 一般的に溝を加工する場合は, 工具の切り込み深さを溝深さと同等に設定する必要がある. しかし, これまでに得られた結果では, サファイアのような脆性材料の場合も, 微小領域では材料が弾性変形により押し込みからある程度回復し, 切り込み深さよりも浅い溝が加工可能であることが明らかになった. ま

た、加工時の背分力と溝深さの間に強い相関があり、背分力を制御することで、加工する溝深さを制御可能であることが示唆された。

また近年、研究開発の進展とともに産業界において実用ニーズの高まる AM(Additive Manufacturing)により製作された SUS や耐熱合金に対して ELID 研削法を適用することで、鏡面仕上げの可能性について検証実験に取り組んだ。その結果、SUS について、使用する粒度により若干傾向に相違があるものの、最終的には鋳造材と同等の Ra4nm 程度の粗さが達成できることを確認した。

一連の ELID プロセスの研究活動は、関連する学協会や研究会とともに国内のコミュニティ形成を一層推進するとともに、その活動の国際化を引き続き進め、国際シンポジウムを中国や韓国の学協会と連携して開催した。また、ELID 技術情報発信と議論を目的としたセミナーやシンポジウム、見学会などを積極的に主催するとともに、米国、中国、韓国などの研究機関や大学から研究者を招くなど研究交流の強化を図るとともに、コア技術の積極的アピールに努めるなど、研究コミュニティの一層のグローバル化を推し進めた。特に、中日国際超精密加工会議においては、当室の研究活動が注目されるとともに、国際組織である CIRP (International Academy for Production Engineering)の協賛を得て、一層の国際的な情報発信が期待される。

(2) 超平滑加工の研究 (大森, 片平, 小野*1, 上原*2, 春日*2, 金*2, 江口*6, 水谷*5, 国村*5, 河西*5, 池野*5, 土肥*5, 伊藤*5, 長谷川(勇)*5, 松澤*5, 尹*5, 山内*5, 三村*5, 林*5, 郭*5)

超平滑加工を必要とする半導体材料, 光学素子材料, 生体材料, 機構部品に対して, ナノレベルからサブナノレベル (数百ピコレベル) の極限平滑面を創成するメカニカル/ケミカル加工法の継続研究とこれに高い形状精度を付加させるスーパーポリシング手法の検討を行った。前述のサファイア, 次世代デバイス用 SiC や, X線アナライザー適用される石英の高精度・高能率加工を狙い, ELID/MRF/CMP 連携加工の基礎研究を推進した。サファイアについては, ELID 研削後に MRF を援用して, より平滑に加工できる条件の探索を行った。SiC と石英についてはいずれも, ELID 研削後の CMP によって, 高効率に平滑化できることを確認した。また石英については, 加工面の X線反射率の評価を行っている。

また, カーボンボンド砥石の開発に端を発した砥石ボンド材の検討に伴い, 環境を配慮した植物由来の素材を利用したカーボン砥石とともに, 同じく非メタル系砥石ボンド材として導電性を有するラバーボンド砥石の検討を進めている。後者については, 金型材料の超平滑加工への応用を検討するとともに, 導電性ラバーボール含有砥石や潤滑剤含有砥石の開発も進めた。また, 砥粒含有ファイバーを用いた砥石, 高硬度鉄めっき砥石の開発も進めている。研削液においては CO₂ 含有マイクロナノバブルを援用することで, 生体材料の表面改質加工が可能であることを確認した。さらに, 熱溶融積層型 3D プリンタに PELID による静電塗布技術を用いることで, ELID 研削用積層砥石の製作が可能となった。

これらのアクティビティは, 関連する学協会と連携を取りながら推進している。これまでに培った独自の加工プロセスをベースとして, 振幅と空間周波数を一元的に原子レベルの分解能で制御し, シングルナノ精度を具現化する“広帯域 (ブロードバンド) ファブリケーション”の構築を目指している。さらにこのブロードバンドファブリケーションの構築に関しては, より高度な表面界面の創成によって, 一層の機能性デバイスの開発を目指す上で必要となるピコ精度加工テクノロジー形成に向けて, 科学技術ハブ構想の中で九州大学との連携を具体的に開始している。

(3) 超微細加工の研究 (大森, 和田, 片平, 小野*1, 上原*2, 春日*2, 江面*5, 小茂鳥*5, 成瀬*5, 林*5, 池野*5, 竹内*5)

光学ガラスレンズの製造工程短縮のためには, 最終研磨工程の前工程での表面粗さ低減が必要であり, レンズ加工現場で用いられている球面加工機に対応するため, イオンショットドレッシング法を援用した研磨法を開発し, 改良を進めている。その結果, Ra で 2 nm 以下の加工面を得ることができ, 製造プロセス短縮の目処が立った。一方, このプロセスを切削加工に応用する研究も進めている。具体的に, 静圧型非接触駆動装置にリニアモータ駆動方式を採用した装置において, 微量のナノカーボンとイオン化クーラントを用いるイオンショット加工システムを新たに開発し, それにより鉄系素材のダイヤモンド切削加工を行い, ツール摩耗が極端に抑制できるという新規の知見を得た。さらに, この加工システムのプロトタイプを完成させ, それを用いて射出成形用ステンレス系金型材の球面・非球面レンズ形状加工において, 表面粗さ Ra で 3nm 以下, 形状精度 PV で 0.1 μ m 以下の高精度加工を達成した。

さらに, レーザ照射を利用して, 材料表面に様々な機能を付与する手法の開発を進めている。例えば,

医療用に用いられる各種金属を金属イオンが溶融した溶液に浸漬し、レーザ照射により局所表面改質を行う手法を開発した。これにより、金属イオンの成分を含むスピネル構造を有する高機能な改質層を形成することに成功し、耐摩耗性の向上などの機能を付与することができた。さらに試験片を溶液に浸漬させる浸漬方式に加え、溶液をミストとしてレーザ照射領域に直接噴霧するミスト供給方式について検討を行い、浸漬方式と同等の硬さの改質層が形成されることを明らかとした。また、インプラントなどの医療機器に用いられるチタン材料を硝酸カルシウム水溶液に浸漬させた状態でレーザを照射することで、その表面にカルシウム元素を含む改質層を形成させることができた。

一方、多結晶ダイヤモンド(PCD)工具やバインダレス多結晶ダイヤモンド(BLPCD: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にも着手している。とくに、同工具を用いたマイクロ光学素子の高効率高品位加工プロセスを確立するため、ツール再生のためのリコンディショニングシステム、大気圧プラズマを援用した新たなクーラントシステムの開発も継続して実施している。

一連の研究活動は、関連する学協会、研究会、およびMIRAI Institute, CIRPとともに交流を推進している。また、マイクロ加工におけるデータ収集・体系化手法の研究、およびこれらのインテリジェント化に関するプラットフォームシステムの構築を検討し、関係する学協会、研究会との意見交換をしながら研究を進めている。

2. マイクロファブリケーションの応用研究 (大森, 和田, 片平, 滝澤, 小野*1, 上原*2, 梅津*5, 江口*6, 小林*6, 長谷川(浩)*5, 服部*5, 鴻巣*5)

先進光学素子開発などを狙い、大口径レンズ加工において加工プロセスやシステムの検証を進めている。極限宇宙研究推進グループEUSOチームと連携した宇宙望遠鏡JEM-EUSO開発においては、気球実験用のフレネルレンズ、700nmの回折構造の作製を成功させ、フランスが主導する気球での観測ミッションであるEUSO-Balloonによりフライトミッションを実施し、作製したレンズの有効性を確認した。

さらに、アメリカなどが主導するSPB-EUSOにより、当室が開発したレンズを搭載した望遠鏡を40km上空へと飛翔させ、今回初めて長時間の観測を行うことに成功した。また、国際宇宙ステーション(ISS)内で宇宙飛行士が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2種作成し、極限宇宙研究推進グループEUSOチームで評価を進めている。また、米国ユタ州におけるTA-EUSOの各チームとの共同実験で使用する1m級のフレネルレンズの検証を進めている。

さらに、回折レンズや高機能光学素子を実現するために微細溝加工の安定性に関して、加工環境に関する考察を行うとともに、加工面精度や工具の状態を把握する手法の検討を含め、また切り屑の影響をうまく排除する方法を考案するなど、引き続き実用化に向けて検証を続けている。一連の加工技術の応用として、光熱エネルギー電力化研究チームと連携して、太陽光集光実験用のフレネルレンズ開発に適用することで、自然エネルギー利用技術への展開を進めた。また、多面体を組み立てた集光ユニットを構築して、集光・集熱実験を行った。

これらの成果は、関連する学協会、会議でのポスター発表および理研シンポジウムで成果報告を行った。また、光領域の研究グループとも連携して、特殊な光学素子の開発やレーザ応用の検討を進めている。

3. トライボファブリケーション研究 (大森, 小野*1, 上原*2, 春日*2, 亀山*5, 伊藤*5, 竹内*5, 松澤*5)

トライボロジーと加工および製造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”として、ツール加工面の摩擦・摩耗特性と加工現象を学術的に取り扱う研究を遂行している。その結果、工具材質及び要素技術と加工技術とのマッチングが容易になり、新たな加工技術のブレークスルーを生む環境整備に繋がっている。具体的には、光学素子加工用の新しいダイヤモンド工具の開発において、ダイヤモンド工具の長寿命化を狙い、ナノ粒子(ナノカーボン, ナノダイヤ, カーボンナノチューブ)配合切削用水溶性クーラントの潤滑性評価を行うことで、開発にかかる知見を得ることができた。また、並行してクーラント方式の検討も行い、ダイヤモンドバイトに対する親水性ナノ粒子添加クーラントによる潤滑効果すなわち表面の改質効果の影響を明らかにした。そして、これらの知見をもとに、親水性ナノカーボン添加水溶性クーラントを使用し、単結晶ダイヤモンドバイトによる難削材の光学素子(アモルファスフッ素樹脂)の超精密切削加工を行った結果、ナノレベルの平滑面が達成された。レンズの表面改質の研究において、コーティング処理や表面の微細加工により新機能を付与する検討を進めている。本年度は、開

発したナノカーボン配合切削用水溶性電解クーラントを使用し、ダイヤモンドの摩耗の抑制効果が確認され、単結晶ダイヤモンド工具と球面金型鋼の加工において、ナノレベルの形状精度と表面粗さを達成した。また、専用クーラント供給システムの構築を各実験と並行して進めた。

また、微粒子ピーニング(Fine particle peening: FPP)と ELID 研削技術を組み合わせたプロセスによる微細構造形成についての検討を進めた。トライボロジー特性や親疎水性の改質をもたらすためのテクスチャを形成すべく、FPP 処理条件をさらに広範に変化させた検討を行うとともに、構造形成のメカニズムを解明するための素過程解析を進めた。さらに、FPP と大気圧プラズマ、FPP とめっきとを組み合わせた新規表面改質プロセスについても新たに研究に着手し、適切な成分の粒子で FPP を施した樹脂基板へ無電解めっきを施すためのブレイクスルーを見出した。さらに、大気圧プラズマ照射処理を微粒子ピーニング処理に援用することにより酸化チタン粒子の付着が促進され、生体適合性表面を創製できることを明らかとしている。

一連の情報発信と研究交流については、関係研究会、学協会との連携やトライボコーティングの現状と将来シンポジウムを開催して活発に行っている。

*1 研究員, *2テクニカルスタッフ, *3基礎科学特別研究員, *4研究嘱託, *5客員研究員, *6研究支援パートナー

Key Sentence :

1. Nanoprecision mechanical fabrication processes for micro-structural/functional devices
2. R&D on ELID (Electrolytic In-process Dressing) grinding technology
3. R&D on super smooth surface finishing technology
4. R&D on ultrafine machining technology
5. R&D on nanoprecision/ ultraprecision machining technology
6. Applications on micro-fabrication processes
7. Research on tribo-fabrication technology

Key Word :

ELID-grinding, Nanoprecision/Ultraprecision machining, Micro-mechanical Fabrication technology, Environment-Friendly machining Technology, Ultra Smooth Finishing, Ultrafine Machining, Desk-top Fabrication System, Tribo-fabrication, Surface Modification Machining, Feedback Machining Process, Advanced Optical Fabrication, Super Analyzer Technology, Broadband Fabrication, Ultrafabrication, Picofabrication Technology

Outline

The main objective of our research is the development of revolutionary and new material processing technologies in grinding, lapping, polishing, cutting and forming for an extensive range of materials. Through advanced research activities on ultraprecision, ultrafine, nanoprecision and ultra-smooth machining processes, required for the fabrication of advanced functional devices such as optical and electronic components, we launched the research of a new field of micro-mechanical fabrication technologies in addition to surface functional modification, transcription process, feedback fabrication techniques, aiming at a wide variety of materials, precision, qualities, and scales ranging from micrometer to nano/pico meter level, to meet advanced scientific, practical and applied industrial needs.

Research Subjects and Members of Materials Fabrication Laboratory

1. Nanoprecision mechanical fabrication processes for micro-structural/functional devices
2. Applications on micro-fabrication processes
3. Research on tribo-fabrication processes

Principal Investigator

大森 整 Hitoshi Ohmori

三村 秀和 Hidekazu Mimura

小茂鳥 潤 Jun Komotori

水谷 正義 Masayoshi Mizutani

Research Staff

片平 和俊 Kazutoshi Katahira

根本 昭彦 Akihiko Nemoto

小野 照子 Teruko Ono

郭 泰珠 Tae Soo Kwak

上原 嘉宏 Yoshihiro Uehara

池野 順一 Junichi Ikeno

春日 博 Hiroshi Kasuga

梅津 信二郎 Shinjiro Umezu

金 允智 Yunji Kim

長谷川 浩幸 Hiroyuki Hasegawa

国村 伸祐 Shinsuke Kunimura

鴻巣 正幸 Masayuki Kounosu

Students

大塚 明宏 Ohtsuka Akihiro

土肥 俊郎 Toshiro Doi

山本 大貴 Yamamoto Daiki

伊藤 伸英 Nobuhide Ito

大月 洸 Kou Ohtuki

河西 敏雄 Toshio Kasai

大川 弘暉 Hiroki Ohkawa

林 偉民 Weimin Lin

天野 慎一郎 Shinichiro Amano

長谷川 勇治 Yuji Hasegawa

鈴木 勇輝 Yuki Hoshino

江面 篤志 Atsushi Ezura

小澤 右京 Ukyou Ozawa

服部 誠 Makoto Hattori

茂木 俊樹 Toshiki Motegi

竹内 秀喜 Hideki Takeuchi

山田 希 Nozomu Yamada

松澤 隆 Takashi Matsuzawa

御船 延史 Nobufumi Mifune

吉田 徹 Toru Yoshida

高岸 賢輔 Kensuke Takagishi

亀山 雄高 Yutaka Kameyama

大野 椋平 Ryouhei Oono

成瀬 哲也 Tetuya Naruse

大宮 健汰 Kenta Oomiya

尹 韶輝 Yin Shaohui

寺尾 祐介 Yusuke Terao

山本 寛之 Hiroyuki Yamamoto

樋渡 大樹 Daiki Hiwatari

星野 友樹 Tomoki Hoshino

Assistant and Part-timer

南 久美子 Kumiko Minami

小林 孝人 Takahito Kobayashi

江口 ゆき Yuki Eguchi

Visiting Members

矢部 孝 Takashi Yabe