

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リケーションの研究
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. ナノプレジジョン／ウルトラプレジジョン加工の研究
6. マイクロメカニカルファブリケーションの研究
7. トライボファブリケーションの研究

キーワード：

ELID (電解インプロセスドレッシング) 研削, ナノプレジジョン／ウルトラプレジジョン加工, マイクロメカニカルファブリケーション技術, 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, トライボファブリケーション, 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リケーション, ウルトラファブリケーション

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リケーション研究

(1) ELID加工法の研究 (大森, 片平, 小野*1, 上原*2, 春日*2, 利根*2, 金*2, 水谷*5, 国村*5, 高橋*4, 成瀬*5, 林*5, 梅津*5, 小茂鳥*5, 松澤*5, 根本*5, 山内*5, 三村*5, Yi*5, 江面*5)

ELID法の制御, および同手法の適用範囲の拡充, ナノプレジジョン 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, Light Emitting Diode (LED) 基板材料としてニーズの高まるサファイヤ基板のナノ表面加工を目指して, 粗加工用砥石を用いた表面粗さの改善を行い, より平滑な加工面が得られることを確認した. また, 当該加工時に砥粒切れ刃が平坦化し, 目つぶれ状態となっていることから, 平坦化した砥粒を模した工具を用いた加工を行い, 除去能力を有することを確認した. 目つぶれは, 一般的に加工結果に悪影響を及ぼすと考えられていたが, 特定の条件下においては, 平滑な加工面が得られることを確認した. これにより, 工具の摩耗が必ずしも切れ味の低下を起すわけではない事例を示した. さらに, 非球面レンズの最終的な仕上げ加工を実現させるために, ELID研削加工と遊離砥粒を使用した研磨加工との連携を目的として, ELID研削加工による表面粗さについて, 2種

類 (#4000, #8000) 砥石を使用した ELID 研削の基礎的な加工実験を行った。その結果、#1200 までの ELID 研削の形状補正能力は高い結果を示すことができた。また、同条件での加工を繰り返した結果、加工条件に十分な再現性があることが確認された。一方、ELID 法の応用展開として、加工と同時に被加工物表面に微細な改質層を形成、新しい機能を付加する複合プロセスの研究についても進めている。例えば、人工関節の摺動面に対する適用を狙った実験を進めており、加工面の精度評価とともに、表面特性についての評価も行っている。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共に、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。

(2) 超平滑加工の研究 (大森, 片平, 小野*1, 上原*2, 春日*2, 利根*2, 金*2, 上柿*2, 水谷*5, 国村*5, 河西*5, 池野*5, 土肥*5, 長谷川*5, 堀尾*5, 伊藤(伸)*5, 松澤*5, 山内*5, 三村*5, 林*5, 根本*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ッシング手法の検討を行った。次世代デバイス用単結晶やサファイヤなどの高精度・高能率加工として, ELID/CMP連携加工の基礎研究として推進した。また, ELID法を援用した半導体デバイス加工を目指し, 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の開発を進めた。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においては, 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。研削液においては気体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, 熱溶解積層型3DプリンタにPELIDによるインクジェット技術を用いることで, ELID研削用樹脂砥石の製作が可能となった。さらに, ナノダイヤモンドコロイドによる高品位ポリッシング実験から, トライボファブリケーションという新しい研究分野を開拓し推進している。ナノダイヤモンド含有砥石ボンド材の開発では, ナノダイヤモンド含有メタルボンド砥石とELIDを適用することで, サファイヤ等の難研削材料に対し, 高品位高効率を両立できる研削仕上げ加工の実現が可能となった。ELID/研磨の連携加工プロセスに関して, 前年度に引き続きELID研削法と遊離砥粒による研磨や磁性流体研磨(MRF)法を連携させた加工プロセス技術の研究を行い, 新規にダイヤモンドバイトを磁化させて磁性流体研磨剤を先端に付着保持して切削と同時に研磨を行う手法を試験し, X線分析用のミラーの加工等の検証を行っている。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。さらに, 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”の構築を目指す。このブロードバンドファブリケーションに関して, 国際組織であるCIRP (International Academy for Production Engineering)との連携を強化するべく活動を進めている。

(3) 超微細加工の研究 (大森, 和田, 片平, 上原*2, 春日*2, 高橋*4, 成瀬*5, 林*5)

先進光学素子開発などを狙い, 測定データによるフィードバックシステムの検証を引き続き行い, 大口径非球面加工においてシステムの検証を進めている。また, X線ミラーの加工プロセスの検討を行い, 大阪大学との連携により, 400mmの長尺集光ミラーをナノオーダーの精度で加工し, 硬X線による集光試験で長焦点距離 (550mm) において, 世界的にも類を見ない回折限界集光に成功したELID/EEMとの連携化にかかる知見に基づき, さらにハイブリッド加工を, 東京大学, 立教大学などと進めている。また, 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る。そこで, 従来レンズ加工メーカー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た。その結果, 算術平均粗さ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。また, 一方, 全空気静圧型非接触駆動装置にリニアモーター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ELID加工液を用いたイオンショットクーラント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えられるという世界初の新規の知見に基づいて, 加工メカニズムの解析実験を進めた。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解し

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。また、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。一方、一連の研究活動は、関連する学協会、研究会、およびMIRAI Institute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、およびこれらの統合化に必要なプラットフォームシステムの構築を引き続き進め、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, 上原*2, 水谷*5, 梅津*5, 林*5)

先進光学素子開発などを狙い、測定データによるフィードバックシステムの検証を引き続き行い、大口径非球面加工において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チームと連携している宇宙望遠鏡JEM-EUSO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。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、回折レンズを実現するために溝深さ700nmの微細溝の加工技術の安定性に関する考察にも取り組んだ。また、ナノプレジジョン加工により、特徴的な微細形状パターンを施すことにより新機能を発現させる構造加工にも一定の成果を得ており、引き続き実用化に向けて試験を続けている。一方、培ったレンズ加工技術を活かし、作製した反射鏡やフレネルレンズを利用して太陽光熱を集光し、得られる熱エネルギーを循環水に蓄熱し、野菜や果物栽培を目的としたグリーンハウス内に循環し保温に使用するシステムの開発試験を行った。関連する学協会でのポスター展示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、特殊なテラヘルツ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, 高橋*4, 伊藤(伸)*5, 林*5, 松澤*5, 根本*5)

トライボロジ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。上記のダイヤモンド工具の長寿命化のためのナノ粒子配合切削用水溶性クーラントについては、平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業の採択に繋がる成果となった。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、単結晶ダイヤモンド工具と金型鋼の加工において、ナノレベルの表面粗さを達成した。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。本年は主にFPPの処理条件の面から検討を加え、硬い材料でも長時間のFPPを行えば周期的微細構造が形成できることを明らかにした。また、広範囲にわたって均一な寸法を有する微細構造を形成するための研究にも取り組み、粒子投射範囲が適切に重畳される条件について知見を得た。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ることを明らかとしている。なお、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性化している。

* 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

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

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 nanometer 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

中島 真理 Mari Nakajima

南 久美子 Kumiko Minami

小林 孝人 Takahito Kobayashi

Research Staff

片平 和俊 Kazutoshi Katahira

上原 嘉宏 Yoshihiro Uehara

春日 博 Hiroshi Kasuga

利根 直樹 Naoki Tone

金 允智 Yunji Kim

Visiting Members

矢部 孝 Takashi Yabe

三村 秀和 Hidekazu Mimura

小茂鳥 潤 Jun Komotori

水谷 正義 Masayoshi Mizutani

根本 昭彦 Akihiko Nemoto

郭 泰珠 Tae Soo Kwak

Students

石井 貴之 Ishii Takayuki

大塚 明宏 Ohtsuka Akihiro

山本 大貴 Yamamoto Daiki

大月 洸 Kou Ohtuki

松本 悠平 Yuhei Matumoto

大川 弘暉 Hiroki Ohkawa

天野 慎一郎 Shinichiro Amano

鈴木 勇輝 Yuki Hoshino

小澤 右京 Ukyou Ozawa

武田 真信 Masanobu Takeda

茂木 俊樹 Toshiki Motegi

山田 希 Nozomu Yamada

山田 和晃 Kazuaki Yamada

塚田 並輝 Namiteru Tukada

前林 直希 Noki Maebayashi

御船 延史 Nobufumi Mifune

高岸 賢輔 Kensuke Takagishi

大野 椋平 Ryouhei Oono

大宮 健汰 Kenta Oomiya

寺尾 祐介 Yusuke Terao

山本 寛之 Hiroyuki Yamamoto

樋渡 大樹 Daiki Hiwatari

星野 友樹 Tomoki Hoshino

池野 順一 Junichi Ikeno

梅津 信二郎 Shinjiro Umezu

長谷川 浩幸 Hiroyuki Hasegawa

国村 伸祐 Shinsuke Kunimura

鴻巣 正幸 Masayuki Kounosu

土肥 俊郎 Toshiro Doi

伊藤 伸英 Nobuhide Ito

河西 敏雄 Toshio Kasai

林 偉民 Weimin Lin

近藤 聖彦 Takuhiko Kondo

長谷川 勇治 Yuji Hasegawa

青山 正樹 Masaki Aoyama

高田 紀子 Noriko Takada

矢野 隆行 Takayuki Yano

江面 篤志 Atsushi Ezura

佐藤 允俊 Masatoshi Sato

田中 真二 Shinji Tanaka

服部 誠 Makoto Hattori

竹内 秀喜 Hideki Takeuchi

松澤 隆 Takashi Matsuzawa

吉田 徹 Toru Yoshida

川瀬 修一 Shuichi Kawase

亀山 雄高 Yutaka Kameyama

成瀬 哲也 Tetuya Naruse

尹 韶輝 Yin Shaohui

Assistant and Part-timer