

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, 上原\*2, 金\*2, 春日\*2, 小野\*1, 梅津\*5, 水谷\*5, 根本\*5, 林\*5, 江面\*5, 松澤\*5, 尹\*5, 山内\*5, 三村\*5, 郭\*5)

ELID法の制御, および同手法の適用範囲の拡充, 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. 超平滑加工の研究との関連において, 蛍光X線分析装置に用いられる石英全反射ミラーの開発を進めている. ELID研削とCMPとの連携による複合プロセスによって, より平滑な表面を得る方向性と, ELID研削の単一プロセスによって全反射ミラーとして使用できる表面を効率良く創成する方向性の2つについて取り組んでいる. 具体的に後者については, 超硬合金との同時研削を適用することによって石英ミラーの粗さが低減できること, さらにナノダイヤモンド含有砥石によって, X線分析に使用できる表面精度が創成できることを実証した. ナノダイヤモンド含有砥石の効果についてはこの他に, 金属材料に対してもいくつか実証が進んでおり, 今後光学素子や金型などのナノ精度加工用ツールとして確立を目指して行く. 一方, 放射線検出装置に用いられる半導体結晶GSOについて, 加工ダメー

ジの少ない表面創成を狙って ELID 研削を適用したところ、十分な表面精度を実現することができた。この素材は脆性が顕著であり、チッピングや加工ダメージが残留しやすい特徴があるが、微粒度の砥石を選定し、研削負荷に注目して切り込み量を設定することで、全体の効率と表面精度を両立できる可能性を見出した。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、耐熱合金や Ti 等に対して 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、引き続き検証実験に取り組んでいる。AM によって製造された金属製素材については、内部に空隙が残留する傾向があることから、ELID 研削時にはそうした性質の影響を受けることが確認された。

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ている。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、欧州などの研究機関や大学の研究者と積極的に研究交流を図るとともに、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、引き続き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、一層国際的な情報発信を目指して行く。

(2) 超平滑加工の研究 (大森, 小野\*1, 上原\*2, 金\*2, 江口\*6, 春日\*2, 伊藤\*5, 片平, 河西\*5, 池野\*5, 土肥\*5, 長谷川(勇)\*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ッシング手法の検討を行った。次世代デバイス用 SiC や、X線アナライザーに適用される石英の高精度・高能率加工を狙い、ELID/CMP 連携加工の基礎研究を推進した。SiC および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。ナノダイヤモンドをスラリーに混合することによる研磨効果についても検証を進めているところである。石英については、加工面の X線反射率の評価を経て、実際の分析試験への適用を進める予定である。

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を始め、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。さらに熱溶融積層型 3D プリントに PELID による静電プリンティング技術を用いて、内部構造や砥粒の特殊な配列を設計した新規な砥石の開発も進めている。研削液の工夫として、CO<sub>2</sub> マイクロナノバブルを援用することで、金型材料や生体材料の表面改質加工の可能性を調査している。

ガラス研磨等に用いられる酸化セリウム研磨剤は、基本的に機械的・化学的研磨作用を用いて研磨加工に使用されるが、その化学的研磨作用は使用中に劣化することが知られている。セリウムは希少元素であることから、使用済み酸化セリウム研磨剤のリサイクルを目指した研究を進めている。具体的には、使用済み酸化セリウム研磨剤にレーザー照射を行い、化学的作用の劣化をきたす物質との分離が可能かどうかの実験を進めており、有意義な知見を得るに至っている。

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。また、スーパーアナライザー・プラットフォームシンポジウムにおいて定期的な情報発信を行っている。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制御する“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、半導体分野や光学分野への波及を狙い、科学技術ハブ構想の中で九州大学や宇都宮大学との連携を視野に活動している。

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

砥石がワーク内部に入り込むようなレンズ金型や内面加工、インプラントなどの微細形状加工において、イオンショットドレッシング法を援用した微細加工法を構築するべく研究を進めている。本年度は、前加工精度の改善を狙ったマイクロレンズ金型の仕上げ加工実験を行うとともに、インプラント材料の表面改質効果を含めた加工実験を行った。後者については、イオンショットによるドレッシングのみならず、インプラント材料の生体適合性の改善を示唆する表面改質の可能性を実証することができた。

さらに、レーザー照射を利用して、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、レーザー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。さらに円弧形状を有する試験片に対して当該処理を施した結果、レーザー照射角度が変化し、レーザーの反射率が変化するため不均質な処理面となってしまう。このため、照射角に合わせて、デフォーカス量を補正しながらレーザー照射を施すことで均質な改質層を形成することができた。一方、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ーを照射することで、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継続的に遂行している。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。また、フェムト秒レーザーとプラズマアシストを連携させたダイヤモンド加工プロセスチェーンを構築すべくUC Berkeleyと共同研究を遂行している。

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先進的なプロセスの構築、およびこれらを応用した先進的なマイクロ加工システムの構築を目指して、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, 春日\*2, 滝澤, 小野\*1, 上原\*2, 江口\*6, 小林\*6, 梅津\*5, 根本\*5, 片平, 和田, 長谷川(浩)\*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必要なプロセスおよびシステムの検証を進めている。宇宙観測実験連携研究グループEUSOチームと連携した宇宙望遠鏡JEM-EUSO開発において、気球実験用のフレネルレンズの作製を成功させ、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の実施により、作製したレンズの有効性が確認されている。

さらに今年度は、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種開発して、極限宇宙研究推進グループEUSOチームでの評価を経て使用される予定である。また、開発したフレネルレンズによりポリゴンレンズを構成して、太陽光からの集熱特性についての計測、評価を進めている。

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。これに関連して、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基板表面における機能性構造の創成を目指して、ダイヤモンド工具による溝加工を行い、材料特性への影響を明らかにした。サファイアのような脆性材料においても、微小領域では金属材料の加工時に生じる塑性流動に類似した特徴を示し、その変位量は、加工条件と相関関係を有することを示した。また、変位量を抑制する加工条件を探索し、材料変位の特徴をシミュレーションと比較し、類似点を示した。

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、EUSOチームや国際EUSOコラボレーションとともに、関係する光領域の研究グループと連携して、特殊光学素子の開発やレーザー機器への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, 松澤\*5, 竹内\*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。工具材質及び要素技術と加工技術とのマッチングに注目して、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、ダイヤモンド工具の適用範囲を拡大できる可能性を見出すことができた。並行して、ダイヤモンド工具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

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工具による難削性光学材料（アモルファスフッ素樹脂）の超精密切削加工を行い、ナノレベルの平滑面を達成している。この知見は、ダイヤモンド工具の鉄系材料切削時の長寿命化について、「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。具体的には、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、ダイヤモンド工具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。この成果は、「平成 29 年度埼玉県産学連携研究開発プロジェクト補助金」の採択に繋がる成果となった。本年度は、大気圧プラズマ照射にてダイヤモンド工具の表面改質を行い、親水性ナノカーボンに対するぬれ性を大幅に改善できることを見出した。また、単結晶ダイヤモンド工具と金型鋼の鏡面加工において、加工条件を探索することで加工効率の大幅な改善が可能となった。

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ている。本年は、昨年に引き続き、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ている。一方、大気圧プラズマを援用する研究にも着手し、金属微粒子の表面改質を行い、めっき浴へ分散させて複合めっきを作製する実験にも試行的に着手した。

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、技能継承フォーラムなどの理研シンポジウムを開催して活発化している。

---

\*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, \*6研究支援パートタイマー

#### **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

**Research Staff**

片平 和俊 Kazutoshi Katahira

小野 照子 Teruko Ono

上原 嘉宏 Yoshihiro Uehara

春日 博 Hiroshi Kasuga

金 允智 Yunji Kim

**Students**

天野 慎一郎 Shinichiro Amano

武末 翔吾 Shogo Takesue

谷田 雄亮 Yusuke Tanida

御船 延史 Nobuhito Mifune

茂木 俊樹 Toshiki Motegi

大野 椋平 Ryouhei Oono

山本 寛之 Hiroyuki Yamamoto

樋渡 大樹 Masaki Hiwatari

伊藤 佑介 Yusuke Ito

二宮 良太 Ryouta Ninomiya

岩田 太地 Daichi Iwata

小川 航平 Kouhei Ogawa

加藤 大地 Daichi Kato

城谷 飛翔 Tsubasa Jouya

福本 博 Hiroshi Fukumoto

清水 和樹 Kazuki Shimizu

坂田 直基 Naoki Sakata

益子 雄行 Yuki Mashiko

齋藤 宏紀 Hiroki Saito

飯沼 亮介 Ryosuke Inuma

坂本 健 Takeru Sakamoto

坂本 和陽 Kazuhiro Sakamoto

谷野 登生 Toui Yano

福田 守 Mamoru Fukuda

**Assistant and Part-timer**

稲橋由香里 Yukari Inahashi

南 久美子 Kumiko Minami

小林 孝人 Takahito Kobayashi

江口 ゆき Yuki Eguchi

古庄 隆志 Takashi Furusyo

**Visiting Members**

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

池野 順一 Junichi Ikeno

梅津 信二郎 Shinjiro Umezu

長谷川 浩幸 Hiroyuki Hasegawa

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

長谷川 勇治 Yuji Hasegawa

江面 篤志 Atsushi Ezura

竹内 秀喜 Hideki Takeuchi

松澤 隆 Takashi Matsuzawa

吉田 徹 Toru Yoshida

亀山 雄高 Yutaka Kameyama

成瀬 哲也 Tetuya Naruse

尹 韶輝 Yin Shaohui