

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研究
2. ELID (電解インプロセスドレッシング) 研削法の研究
3. 超平滑加工の研究
4. ナノプレジジョン・マイクロメカニカルファブリケーションの研究
5. 超精緻成形加工の応用とコンピュータシミュレーション研究
6. マイクロファブリケーションの応用研究
7. トライボファブリケーション研究

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・マイクロメカニカルファブリケーション技術, 環境調和 ELID 加工技術, 超平滑加工, トライボファブリケーション, デスクトップ加工システム, 表面改質加工, 先端光学素子加工, 超精緻成形加工, コンピュータ援用加工, フィードバック加工プロセス, 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)

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, 八須*2, 春日*2, 利根*2, 金*2, 水谷*5, 国村*5, 上柿*2, 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, 濱田*6, 古川*6, 平賀*6)

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, 次世代高出力マイクロチップレーザーの高精度加工法として, ELID研削の適用を引き続き行い, 薄型曲面形状の超精密加工実験に成功した. このアクティビティは, エクストリームフォトリソグラフィ研究と連携を取りながら進めている. また, 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, ELID研削法の適用を進めている. 例えば, サファイヤ基板に対して, 材料特性と加工表面精度の関係を見出し, 基底パラメータを用いた条件探索方法の適用の展開を図り, より適正な加工条件を見出した. また, 加工工程数の削減を目指し, 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. 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ー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韓国超精密(ELID)加工技術会議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、ELIDシステムの標準化に向けたテンプレートの開発も進めている。さらに、米国、中国や独国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、研究コミュニティー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, 八須*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シング手法の検討を行った。次世代デバイス用単結晶SiC, GaN, 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, 環境を配慮した砥石, 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では, 導電性を有するラバーボンド砥石の開発を進め, 研削液に環境負荷の少ない電解還元水を使用することで, 従来ELID研削液と同様に生体材料の表面改質加工も可能であることを確認した。ナノダイヤモンドコロイドによる高品位ポリシング実験から, トライボファブ리케이션という新しい研究分野を開拓し推進している。ナノダイヤ含有砥石ボンド材の開発では, ナノダイヤ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。

また, 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, X線分析用のミラー加工の検証を行っている。これらのアクティビティは, 関連する学協会およびエクストリームフォトンクス研究と連携を取りながら推進している。さらに連携加工プロセスの応用として, ELID/研磨/EEM加工プロセス構築を進め, 国家基幹研究であるX線自由電子レーザー(XFEL)に必要な長尺高精度なXFELミラーの開発を進めた研究成果は, スーパー・アナライザー開発テクノロジー研究と連携して推進した。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리케이션”の構築を目指す。このブロードバンドファブ리케이션に関して, 英国Cranfield大学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, 八須*2, 春日*2, 高橋*4, 成瀬*5, 林*5, 稲田*5, 大内*6, 鶴岡*6, 本多*6, 中田*6, 湯田*6, 村上*6, 武末*6)

マイクロメカニカルファブ리케이션の加工手法の研究において, シャープエッジを用いたツールによる安定した加工が重要であり, トライボファブ리케이션のアクティビティと連携して, 長寿命ツールの開発に取り組んだ。また, ツール材料としてPCD(Polycrystalline Diamond)に対して, ツルージング手法にマイクロ放電加工を適用後, ELIDの適用を進めている。そして, 回折・分散光学素子や微細ノズルなど微細加工プロセスの構築を継続して進めた。回折・分散光学素子としては, 数百nm以下の特殊構造の加工に成功した。ステアケース型レーザー回折素子に対しては, マイクロELID法を適用して, 石英に対して超精密な加工を実施することができ, 更なる精度向上を目的としてシステムの構築を進めている。また, デスクトップマシン開発として, 人工股関節骨頭等の微細加工に対応できるシステム構築を進め, 新しいイオンショット法の, ノズルシステムを開発し, 実用化を目指し研究を進めている。また, 微細孔の内面の鏡面化や凹型微小非球面光学素子などの開発にも取り組んでいる。また, 一方, 全空気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,

開発した手法を利用することにより、チタン系材料に対して生体に活性な機能を付与することに成功している。また、PCDマイクロ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開発するため、新たにナノパルスファイバーレーザーシステムを導入するとともに、ツール再生のためのリコンディショニングシステムの開発も継続して実施する。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、精密工学会およびISNM主催のもと“International conference on nanoManufacturing”の開催に至っている。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. 超精緻成形加工の応用とコンピュータシミュレーション研究 (大森, 上原*2, 鈴木*5, 斉藤*5, 杉本*5, 高橋*5, 城寶*5, 浅原*5, 小野(徳)*5, 長谷川(太)*5, 金井*5, 殷*5, 青野*5, 藤本*5, 吉川*5)

材料成形加工に関するシミュレーションプロセスの実用化、および精緻成形プロセス、成形に関わる技能・技術の継承のためのデータ収集手法の開発を目指して研究を進めている。これまでの成果・ノウハウを統合した高精度・高速なシミュレーションソフトウェアを具現化するべく、計算時間が非常に長い板材成形やハイドロフォーミング・シミュレーションソフトの開発・改良を引き続き行った。また、プレス成形テンプレートの改良を行い、作業工程設計の効率化に寄与できる工夫を行った。また、マイクロコンポーネントの量産化を想定して開発したマイクロ金型を用いたマイクロ射出成形手法の検討を、引き続きシミュレーションと連携して進めている。射出成形システムのためのインテグラルシステムの構築として、金型テンプレート化とともに、金型の切削、研削、研磨の各工程間の表面状態を評価し、フィードバックするシステムの構築に必要な手法の検討を進めた。さらに、関係学会、研究会とも交流を図り、研究の推進・ニーズ収集に努めた。

3. 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, 八須*2, 水谷*5, 梅津*5, 林*5, 矢野*6, 秋山*6, 八田*6, 石井*6, 青木*6, 竹内*6)

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、さらなる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。特に、ELID/MRFとのハイブリッド化に伴い、さらなる高精度化を目指すアクティビティを進展させた。また、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、1.5m級の両面湾曲型フレネルレンズ、700nmの回折構造の作製を成功させており、その知見に基づいて、テレスコープアレイ(ユタ州)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開発、さらに、環境利用をターゲットとするプロジェクトや共同研究等における500mm~1m級の集光型レンズの作製にも取り組んだ。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、伊藤ナノ医工学研究室と共同で三次元の生体組織の作製に関する研究を行い、バイオマテリアルを数 μm の太さでパターンニング可能なことを実証したPELID法を応用して、プリントドエレクトロニクスの研究を進めた。一連の研究ニーズの意見交換を含め、関係学協会や研究会とともに交流を推進しており、引き続き、Printed Electronicsに関する国際会議の開催に至った。高密度プラズマによる表面除去原理の検証や、デスクトップ加工システムにレーザー加工ヘッドを搭載して、微細な表面機能の創成を試みるなど、新たなアプリケーションを探索している。これらの一連の研究成果は、スーパー・アナライザー開発テクノロジー研究推進グループと一定の連携を保ちながら研究を進めている。また、太陽光励起レーザーの研究として、マイクロレンズの開発とレーザー媒質の開発に着手した。光グリーンテクノロジー特別研究ユニットや光熱エネルギー電力化研究チームとも連携してシンポジウムを開催し、情報発信とともに情報交換、交流を行い、ニーズの集約を進めている。

4. 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, 稲田*5, 松澤*5, 根本*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イオンショット法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、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。また、ダイヤモンドの表面改質により、化学摩耗の抑制につながる新機能を付与する検討を進めている。なお、一連の情報発信と研究交流については、関係研究会、学協会とシンポジウムを開催して活発に進めている。

*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研修生

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 nanoprecision micro-mechanical fabrication technology
5. Ultrafine transcription and computational mechanics assisted processes
6. Applications on micro-fabrication processes
7. Research on tribo-fabrication technology

Key Word :

Surface/Interface Control, Decision of Precise Position/ Fabrication and Measurement, Nano/Precision Fabrication, Simulation Engineering, Nanoprecision/Micro Mechanical Fabrication, Desk-top Fabrication, Ultra Micro Fabrication/Fabrication Ultra Smooth Surface, Surface Modification Machining, ELID, Broadband Fabrication

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. Ultrafine transcription and computational mechanics assisted processes
3. Applications on micro-fabrication processes
4. Research on tribofabrication processes

Principal Investigator

大森 整 Hitoshi Ohmori

下田平 尚美 Naomi Shimodaira

南 ともみ Tomomi Minami

小林 孝人 Takahito Kobayashi

上柿 順一 Jun-ichi Uegaki

Research Staff

和田 智之 Satoshi Wada

片平 和俊 Kazutoshi Katahira

上原 嘉宏 Yoshihiro Uehara

八須 洋輔 Yosuke Hachisu

春日 博 Hiroshi Kasuga

利根 直樹 Naoki Tone

金 允智 Yunji Kim

Visiting Members

稲田 明弘 Akihiro Inada

水谷 正義 Masayoshi Mizutani

国村 伸祐 Shinsuke Kunimura

石垣 明美 Akemi Ishigaki

内田 大介 Taisuke Uchida

鴻巣 正幸 Masayuki Kounosu

Collaboration Research from Industry

横田 英明 Hideaki Yokota

Min Sangkee

梅津 信二郎 Shinjiro Umezu

林 偉民 Weimin Lin

成瀬 哲也 Tetsuya Naruse

山内 和人 Kazuhito Yamauchi

三村 秀和 Hidekazu Mimura

Students

大内 郁男 Naoki Ohuchi

鶴岡 直紀 Naoki Tsuruoka

古川 瑞樹 Furukawa Mizuki

矢野 雄也 Yano Yuya

本多 遼 Honda Ryo

平賀 伊保里 Ihori Hiraga

湯田 彩香 Ayaka Yuda

中田 裕樹 Yuuki Nakada

秋山 寛郎 Akiyama Hiroo

村上 諒 Murakami Ryo

武末 翔吾 Takesue Syogo

八田 達 Hatta Tadashi

石井 貴行 Ishii Takayuki

青木 智彦 Aoki Tomohiko

竹内 晃一 Takeuchi Kouichi

徐 志強 Zhiqiang Xu

Allen Yi

江面 篤志 Atsushi Ezura

Xavior Tonnellier

Assistant and Part-timer

土屋 都紀子 Tokiko Tuchiya

中田 統子 Noriko Nakata