

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. ナノプレシジョン・マイクロメカニカルファブ리케이션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리케이션の応用研究
7. トライボファブ리케이션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・マイクロメカニカルファブ리케이션技術, 環境調和 ELID 加工技術, 超平滑加工, トライボファブ리케이션, 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리케이션)

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, 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, 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, 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。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り, 金属材料表面へ自己組織化的に周期的微細構造を形成できることを明らかにし, トライボロジ特性向上などへの応用を視野に検討を進めている。また, ELID 研削過程で研削液中から金属が自発的に析出される現象を見出し, 基礎的研究に着手した。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韓国や中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, 韓国, 中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。さらに導電性ラバーボール含有砥石の開発も進めている。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。さらに熱溶融積層型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。

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, 稲田*5, 大内*6, 鶴岡*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リケーション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, トライボファブリケーション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, ツループ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ており, 引き続き, マイクロELID法を適用して, 硬質光学材料に対して超精密な加工が実現できるよう, 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を開発し, 実用化を目指し研究を進めている。また, 微細パターンニングについてデスクトップマシンを使用し

た工法の開発を行っている。また、微細孔の内面の鏡面化や穿刺型超音波顕微鏡用熔融石英棒センサーに必要な凹型微小非球面光学素子などの開発にも取り組んでおり、高解像度を実現する基礎データが取得できている。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、ナノパルスファイバーレーザーシステムを5軸加工機に搭載し、SUS316L基材表面に所望の元素を拡散させることによる表面改質技術を開発している。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. 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, 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。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ー応用の検討を進めている。

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。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 tribo-fabrication processes

Principal Investigator

大森 整 Hitoshi Ohmori

Research Staff

和田 智之 Satoshi Wada
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

Students

平賀 伊保里 Ihori Hiraga
湯田 彩香 Ayaka Yuda
村上 諒 Murakami Ryo
石井 貴行 Ishii Takayuki
湯田 彩香 Yuda Ayaka
斎藤 泰輔 Saitoh Taisuke
石井 貴之 Ishii Takayuki
大塚 明宏 Ohtsuka Akihiro
松川 達哉 MatsukawaTatsuya
倉科 佑太 Kurashina Yuta
出井 大裕 Dei Daisuke
良峰 皓 Yoshimine Hikaru
鈴木 勇輝 Suzuki Yuki
山本 大貴 Yamamoto Daiki
木本 英明 Kimoto Hideaki
荒木 良介 Araki Ryosuke
和田 寿也 Wada Kazuya
高岡 暁人 Takaoka Akito
田中 芳昌 Tanaka Yoshiaki
田辺 尚之 Tanabe Naoyuki
小川 真史 Ogawa Masafumi
大月 洸 Kou Ohtuki
松本 悠平 Yuhei Matumoto
大川 弘暉 Hiroki Ohkawa

Assistant and Part-timer

中島 真理 Mari Nakajima
南 久美子 Kumiko Minami
小林 孝人 Takahito Kobayashi
上柿 順一 Jun-ichi Uegaki

Visiting Members

矢部 孝 Takashi Yabe
三村 秀和 Hidekazu Mimura
小池 邦昭 Kuniaki Koike
小茂鳥 潤 Jun Komotori
水谷 正義 Masayoshi Mizutani
安藤 知明 Tomoaki Ando
根本 昭彦 Akihiko Nemoto
郭 泰珠 Tae Soo Kwak
中村 俊康 Toshiyasu Nakamura
池野 順一 Junichi Ikeno
梅津 信二郎 Shinjiro Umezu
稲田 明弘 Akihiro Inada
長谷川 浩幸 Hiroyuki Hasegawa
国村 伸祐 Shinsuke Kunimura
鴻巣 正幸 Masayuki Kounosu
中岡 紀之 Noriyuki Nakaoka
佐藤 宏憲 Hironori Sato
土肥 俊郎 Toshiro Doi
伊藤 伸英 Nobuhide Ito
河西 敏雄 Toshio Kasai
林 移民 Weimin Lin
近藤 聖彦 Takuhiko Kondo
長谷川 勇治 Yuji Hasegawa
金井 茂 Shigeru Kanai
青野 昌弘 Masahiro Aono
青山 正樹 Masaki Aoyama
高田 紀子 Noriko Takada
矢野 隆行 Takayuki Yano

江面 篤志	Atsushi Ezura
石垣 明美	Akemi Ishigaki
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
高橋 勝緒	Katsuo Takahashi
吉田 徹	Toru Yoshida
川瀬 修一	Shuichi Kawase
亀山 雄高	Yutaka Kameyama
成瀬 哲也	Tetuya Naruse
喻 紅祥	Yu Hongxiang
呂 冰海	Lyu Binghai
尹 韶輝	Yin Shaohui