

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

主任研究員 大森 整
OHMORI, Hitoshi

ナノプレジジョン領域において、各種素材に様々な形状・機能を高精度、高能率に付与する新しい加工プロセスの創出に関わる研究開発を行っている。ナノプレジジョン加工システムおよび机上計測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、次世代の微細光学素子や電子デバイス、マイクロマシン開発など、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る。実用面においても多くの企業と委託研究や共同研究を実施し、ELID 研究会、マイクロ加工研究会など、当研究室から発足した研究会を通してオンリーワン技術を発進し、それぞれの産業技術をリードする活発な活動を続けている。

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, 郭*2, 小野*2, 水谷*2, 佐々木*2, 成瀬*2, 亀山*2, 梅津*4, 小茂鳥*5, 粟木*5, 丸山*5, 山本*5, 小川*5, 貝瀬*5, 陳*5, 出口*5, 小松*5, 康*5, 吉川*5, 大森(宮)*5, 松澤*5, 宮澤*5, 三好*5, 中川*5, 八須*6, 野口*5, 鈴木(和)*5, 高田*5, 横山*5, 吉川*5, 上野*5, 浅見*5, 清水*5, 進藤*5, 島崎*5, 春日*7, 齋藤*7, 赤羽*7, 根本*8, 米山*7; 加工応用チーム 上原, 林, 森田)

超精密 ELID 研削加工法の制御、および同手法の適用範囲の拡充、ナノプレジジョン ELID 研削のための装置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、CVD-SiC ミラー、宇宙 X 線用大型ミラー、シュミットレンズ、中性子物質レンズ(長尺楕円ミラー、フレネル形状、プリズム)、ニオブ酸リチウムなど様々な難削・脆性材料に対して、微細な表面加工を延性モードで実現するための諸条件を検討し、良好な高精度鏡面加工を実現した。また、マイクロ光学素子材料として期待される屈折率傾斜(GRIN)媒質の高品位加工も行った。さらに、ELID 効果を狙ったマイクロハードディスク基板加工システムの開発も行った。一方、富士重工(株)と合同で開発した ELID ホーニング工法のさらなる改善も進めている。また、リップ構造を有する大口径 SiC ミラーの ELID 加工において、Ansys による数値計算による変形予測とクロスカット方式による超精密研削を組み合わせることで、さらなる高精度化を進めた。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非晶質酸化膜を形成、および物質置換現象に基づく改質効果を付加する複合プロセスを実現している。超硬合金や成形用ステンレス鋼といった金型用素材に対し、種々の金属元素を浸透拡散させることに成功しており、その物質置換現象をより一層促進させるため、チタンをボンド材として混合させた砥石を新たに開発し、その基本的な加工特性、表面改質特性の評価を着実に進めている。一方、ELID 法によって加工されたマイクロツールの表面は、酸素元素の浸透拡散、および酸化物化させることにより、強度が向上されている可能性が示唆された。さらに、砥粒成分元素を種々調整することにより、表面電位や濡れ性等の表面機能が大きく変化するという全く新しい知見を得ており、離型性との関係まで掘り下げて検討を試みている。金属系生体材料であるチタン合金や Co-Cr 合金へ適用した場合も、生体親和性、とくに骨の主成分であるハイドロキシアパタイト生成に寄与する改質加工面の創製を試みた。一方、要素技術開発として、放電プラズマ焼結(SPS)法を用いて ELID 研削用メタルボンド砥石(アルミニウム、チタン)の開発を行い、その基本加工特性および表面改質効果を確認した。一連の ELID プロセスの研究活動は、ELID 研究会およびナノプレジジョン研究委員会を中心とした体制により推進され、特にナノプレジジョン領域での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事例構築に取り組んでいる。さらに、中国や独国の研究機関から研究者を招くなど研究交流の強化を図ると共に、米国や韓国との国際シンポジウムの開催を通じて、コア技術の積極的アピールに努めるなど、ELID 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*2, 河西*5, 春日*7, 池野*5, 土肥*5, 長谷川*5, 堀尾*5, 伊藤(伸)*5, 小仲*5, 増田*5, 松澤*5, 水谷*2, 村上*5, 八須*6, 永倉*5, 大前*5; 加工応用チーム 林, 上原, 森田)

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。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や環境を配慮した砥石の開発などを多岐にわたって新しい加工ツールの開発が進めている。また、開発した導電性ラバーボンド砥石による実証試験を行い、さらなる高品位化手法の検討を進めた。また、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を引き続き行い、「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て独立としたテーマで研究が進めている。一方、ELID/研削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、ガラス成形用非球面レンズ金型や非球面レンズなどの加工検証を行い、高精度化、高効率化を進めた。加工材料も超硬合金から CVD-SiC など多方面からアプローチしている。また、次世代パワーデバイス用単結晶 SiC の高精度・高能率加工にも新たに研究テーマとして設定し、基礎研究が進めている。

(3) 超微細加工の研究 (大森, 和田, 片平, 成瀬*2, 武安*5, 安藤*5, 陳*5, 藤井*5, 部谷*5, 吹春*5, 船田*5, 古林*5, 後藤*5, 石井*5, 石坂*5, 伊藤*5, Jabri*5, 上村*5, 加藤*5, 近藤*5, 松下*5, 増田(忠)*5, 三浦*5, 白滝*5, 武安*5, 鳥居*5, 常木*5, 袁*5, 鈴木*7, 佐々木*7, 安藤(文)*7, 北村*7, 菊池*7, 渡辺*7; 加工応用チーム 上原, 森田, 林)

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、微細な形状創成加工には、ツール先端を数ミクロン以下のシャープネスに創成するツールイング手法が不可欠となる。プラズマ放電と ELID 研削を複合した手法と、画像処理方法を採用した机上計測装置によりシャープエッジと鏡面的な表面性状を持つ超精密ツールを創成し、また、高精度な寸法精度を実現し、そのツールによる加工特性の検証を行った。そして、赤外域の回折や中性子ビーム集光、リフレクターとしての光学機能を持つものや、細胞セル、微細ノズルなどのマイクロプレス法を含む各種材料に対する微細加工プロセスの構築を継続して進めた。ま

ず、ナノオーダーの超微細溝加工を効率的に実現することを目的として、全空気静圧型非接触駆動装置により、鋸歯形状で深さ200ナノメートルの超微細溝加工、いげた状の超微細溝加工、曲面超微細溝を持つレンズ加工を実現した。また、Ni-P材質においてRa0.5ナノメートルの表面粗さを実現した。さらに、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を開発し、超精度な機上計測システムの構築を行っている。また、デスクトップマシン開発として、ELID機能を搭載し、必要な加工自由度、軸構成、ソフトウェア技術により、非球面凸型石英レンズやマイクロアクチュエータ、インクジェットノズル、マイクロレンズ、レンズアレイ、そして、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た。また、微細な形状に対する研削加工に適したクーラントノズル部に電極を内蔵し、ノズル内で電解した研削液を供給することによりELIDと同様の効果を得ることのできる新しいマイクロ加工システムの開発を進め、そのドレッシングメカニズムについて検証を行っている。さらに、高精度化を目的として、エア静圧ガイド駆動の超精密デスクトップマシンツールの開発を行い、制御系にCNCユニットを採用した。また、アクリル材を対象に、レンズ加工を行い、卓上加工機においてもサブミクロンレベルの形状精度および、ナノレベルの表面粗さを実現した。そして、ワークハンドリング手法、計測手法の研究、データ収集手法の研究、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ている。また、マシニングセンター上に搭載できる加工能率を考慮したマイクロツール専用の機上計測搭載型超精密円筒研削盤の開発にも着手した。マイクロツールの表面性状がツール寿命に大きな影響を与えることを確認し、機上ツールイングを行うことにより更なる振れ精度を実現し、これらの効果を確認した上で、数ミクロンものシャープな先端寸法を有するマイクロツールを開発した。

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

材料の変形理論と変形用兼造形用有限要素法(FEM)シミュレーション・コードの開発(大森, 杉本*5, 高橋*5, 城實*5, 浅原*5, 小野(徳)*5, 長谷川(太)*5, 金井*5, 殷*5, 青野*5, 藤本*5, 吉田*7, :加工応用チーム 林)

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。多くの実験データの取得や現場のノウハウを集約すると共に、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、(株)先端力学シミュレーション研究所との共同研究を通して、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・改良を行った。計算時間の短縮やスプリングバック現象の解析精度向上、微細加工プロセス開発において一定の成果を得ている。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により、微細溝形状を有する高精度成形品の研究開発を進めた。そして、細密光学素子等を対象とした新しい熱圧縮成形手法の研究にも着手した。これらのプロセスシミュレーション手法の検討とともに実証研究を進めている。さらに、マイクロ成形研究委員会とも交流を図り、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

デバイス開発のための計測手法・支援技術の研究(大森, 和田, 片平, 水谷*2, 安藤*2, 梅津*2; 加工応用チーム 上原, 林, 森田)

先進光学素子開発などを狙い、新しい測定法の構築のために高分解能接触式小型計測プローブおよび非接触レーザー測定プローブの小型化に成功し、本年度は主にこれらの測定性能の検証および計測ソフトの開発研究を行った。また、測定データによるフィードバックシステムの検証を行い、加工計測システムの高度化を図った。構築したモジュール・システムをベースとしてX-FELミラーの加工プロセスの検討を行い、ELID/MRF/EEM(Elastic Emission Machining)との連携にかかる基礎試験を大阪大学と進め、400mmの長尺集光ミラーをナノオーダーの精度で加工に成功し、硬X線による集光試験で、400mm長尺かつ長焦点距離(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。さらに、超微細加工のためのオンライン計測の研究を進めるとともに、切削加工に関わる技能継承のために必要なデータ収集手法の検討を進めた。また、インクジェットを利用したマイクロファブリケーションにも取り組み、市販の方式よりも微小な液滴を吐出可能な放電場のマイクロドロップ・インジェクション現象を利用した薄膜の穴あけ加工、三次元造形と金属棒の細線化を行った。一連の研究ニーズの意見交換を含め、マイクロ加工研究会とともに交流を推進している。さらに、高精度かつ高剛性に駆動・案内される直交3軸フルクローズド制御方式およびリニアサーボモータ移動機構を有するデスクトップタイプ加工機のヘッド部に、高出力パルスレーザー照射機構を搭載することにより、各種先端材料の高精度加工、高速マーキングを可能とした。また、今年度からスタートしたスーパー・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。

4. トライボファブリケーション研究(大森, 小野*2, 伊藤(伸)*5, 長谷川*5, 根本*8, 塚越*5, 増田*5, 松澤*5; 加工応用チーム 林)

トライボロジーと加工/製造とのインタラクションにおける技術の融合を表す用語として、「トライボファブリケーション」という言葉を提案しているが、トライボファブリケーション技術を構築してゆくことは、高機能表面創成にかかる表面加工やデバイス開発のための基本技術として、極めて重要であると考えられる。そこで、本年度は、トライボファブリケーション技術構築のために、まず、種々の加工要素について研究・開発を進めた。具体的には、環境配慮型砥石の開発については、水草カーボン材料の電解特性及びトライボロジー特性を明らかにし、好適な砥石製造条件の選定を行った。そして、メタルレスカップ型蓋カーボン砥石(#1200)を試作し、ELIDロータリー平面研削盤を使用して、単結晶Siの加工を行った結果、砥石軸負荷も少なく、Ra5.2nmの良好な加工面の創成が可能となった。また、研磨液として期待されるナノダイヤモンドについては、本年度は、粒度分布測定をまず行い、ナノダイヤモンド濃度及び分散時間と粒度分布の関係を解明し、測定最適濃度範囲(1.9-1.5wt%)において、4.9nm±0.5nm(98.3wt%)の非常に優れた単分散性を示すことを明らかにした。また、ナノダイヤモンドの水潤滑特性試験において、幅広い濃度(0.01wt%~4.9wt%)において、 $\mu = 0.05 \sim 0.07$ の低摩擦を示すことが解明された。さらに、他の潤滑液(汎用潤滑油、鉱物油、水溶性研削液)と比較しても、最も摩擦が低く、環境にやさしい低摩擦水性ナノダイヤモンドとしての可能性が明らかとなった。一連の情報発信については、トライボコーティング技術研究会との連携による交流を通じて活発に行っている。

*1テクニカルサイエンティスト, *2協力研究員, *3研究嘱託, *4基礎科学特別研究員, *5客員研究員, *6委託研究生, *7研修生, *8ジュニア・リサーチ・アソシエイト, *9訪問研究員

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, measurement and evaluation techniques, aiming at a wide variety of materials, precision, mechanics and scale ranging from micrometer to nanometer level, to meet 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

Staff

Head

Dr. Hitoshi OHMORI

Members

Dr. Yutaka YAMAGATA
Dr. Satoshi WADA
Dr. Kazutoshi KATAHIRA
Dr. Shinjiro UMEZU*2
Dr. Jianqiang GUO*2
Dr. Teruko KATO (ONO)*2
Dr. Masayoshi MIZUTANI*2
Mr. Tetsuya NARUSE*2
Mr. Yutaka KAMEYAMA*2
Ms. Kazu ANDO*2
Ms. Chikako SASAKI*2
Mr. Kouki MAEKAWA*2

*1 Special Postdoctoral Researcher

*2 Contract Researcher

*3 Technical Scientist

Collaboration with

Dr. Weimin LIN (VCAD applied fabrication Team)
Mr. Yoshihiro UEHARA (VCAD applied fabrication Team)
Mr. Shinya MORITA (VCAD applied fabrication Team)
Dr. Yutaka WATANABE (VCAD applied fabrication Team)
Dr. Fumio YATAGAI (Planning and Promotion Team)

Visiting Members and Postdoctoral Fellows

Dr. Tomoaki ANDO (Astom R&D)
Dr. Hiroyoshi AOKI (Fuence Co. Ltd)
Mr. Masahiro AONO (Astom R&D)
Mr. Hiroshi ASAHARA (Astom R&D)
Mr. Muneaki ASAMI (The Nexsys Corp.)
Dr. Hisamitsu AWAKI (Ehime Univ.)
Dr. Junichi IKENO (Saitama Univ.)
Mr. Tohru ITOH (Astom R&D)
Dr. Nobuhide ITOH (Fac. Eng., Ibaraki Univ.)
Mr. Akihiko INADA
Mr. Satoshi HARA (Tokyo Institute of Technology)
Dr. Jun YIN (Astom R&D)
Dr. Xi YUAN (Astom R&D)
Mr. Atsushi OUDA
Mr. Masaru OHMAE (Nippon Pillar Packing Co.)
Dr. Miyajiro OHMORI (The Nexsys Corp.)
Dr. Tae Soo KWAK
Dr. Toshio KASAI (Fac. Eng., Tokyo Denki Univ.)
Mr. Kunio KATO (Astom R&D)
Mr. Shigeru KANAI (Astom R&D)

Mr. Shuya KAMAHORI
Mr. Yoshizumi KAMIMURA (Astom R&D)
Dr. Jae-hoon KANG (KIMM. Korea)
Dr. Keinen KIMU
Mr. Shinichiro GOTO (Astom R&D)
Mr. Yutaka KOMA
Dr. Jun KOMOTORI (Keio Univ.)
Mr. Masaoki SHIMANO (Fuji Heavy Industries Ltd.)
Mr. Tomoyuki SHIMIZU (Fuji die co.)
Mr. Yukihiko SHIRATAKI (Astom R&D)
Mr. Hisayoshi SHINDO (Saitama Pref. industrial Technology Center)
Mr. Toru SUZUKI (San Seimitsu Kako Lab., Ltd)
Mr. Yoshiharu TAKADA
Dr. Takacs PETER (Brookhaven National Lab.)
Mr. Yutaka TAKAHASHI (The Nexsys Corp.)
Mr. Hatsuichi TAKEYASU (The Nexsys Corp.)
Mr. Harumi TSUTA (Fuence Co. Ltd)
Mr. Masakatsu TSUNEKI (Astom R&D)
Dr. Toshiro DOI (Kyusyu Univ.)
Mr. Tatsuharu TORII (Nagoya Univ.)
Mr. Asahiko NAKAGAWA (Astom R&D)
Mr. Yuhji HASEGAWA (Ibaraki National College of Technology)
Mr. Tsutomu HARA (Fuence Co. Ltd)
Mr. Hiroshi FUKIHARU (Astom R&D)
Mr. Akira FUJII (Astom R&D)
Mr. Hiroyoshi FUNATA (Astom R&D)
Dr. Tadashi FURUBAYASHI (Astom R&D)
Mr. Kenichiro HORIO
Mr. Takashi MATSUZAWA (Ikegami Mold Engineering Co.)
Mr. Kohji MATSUSHITA (Nagoya Univ.)
Mr. Jirou MARUYAMA (Fuji Heavy Industries Ltd.)
Mr. Takahiro MIURA (Ikegami Precision Tooling Engineering Co.)
Dr. Hiroshi MISHINA (Chiba Univ.)
Mr. Taketoshi MISHIMA (Saitama Univ.)
Mr. Norihide MITSUISHI (The Nexsys Corp.)
Mr. Tetsuji MIYAZAWA (Fuji Die Co.)
Mr. Yousuke HACHISU (San Seimitsu Kako Lab., Ltd)
Mr. Yuji MIYOSHI (Astom R &D)
Mr. Yasutachi YAMAMOTO (Fuji Heavy Industries Ltd.)
Mr. Kenzo YOKOYAMA (Yushiro Chemical Co.)
Mr. Kenichi YOSHIKAWA (The Nexsys Corp.)
Mr. Junji YOSHIDA

Trainees

Mr. Yohei AKAHANE (Keio University)
Mr. Norihiko ITANI (Saitama Univ.)
Mr. Takuma ITO (Saitama Univ.)
Mr. Hiroshi KASUGA (Saitama Univ.)
Mr. Hiroshi KOTANI (Keio University)
Mr. Ryo KOBAYASHI (Saitama Univ.)
Mr. Tomoyuki SAITO (Keio University)
Mr. Yoshiaki TANAKA (Keio University)
Mr. Kunihisa NAGASAWA (Institute of Technologist)
Mr. Hiroshi NANBU (Keio University)
Mr. Akihiko NEMOTO (Nippon Inst. Technology)
Ms. Kaori YOSHIDA (Institute of Technologist)
Mr. Takahiro WATANABE (Saitama Univ.)