

**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：**

- ・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
- ・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
- ・マイクロファブリケーションの応用研究
- ・トライボファブリケーション研究

**キーワード：**

表面・界面制御、精密位置決め・加工計測、ナノ・マイクロ加工、シミュレーション工学、加工計測融合、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、デスクトップファブリケーション、超微細・超平滑加工、表面改質加工、ELID

**研究目的**

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機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, 小野, 水谷, 佐々木, 成瀬, 亀山, 梅津, 小茂鳥, 粟木, 丸山, 山本, 小川, 貝瀬, 陳, 出口, 小松, 康, 吉川, 大森(宮), 松澤, 宮澤, 三好, 中川, 八須, 野口, 鈴木(和), 高田, 横山, 吉川, 上野, 浅見, 清水, 進藤, 島崎, 春日, 齋藤, 赤羽, 根本, 米山, 林; 加工応用チーム 上原, 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、レーザー光学系用集光ミラーやガラスレンズ成形用材料として期待されるバルクCVD-SiCの高品位超精密加工も行った。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研削の適用が検討されており、ヒートシンクに接合されたYb:YAG薄片チップの高精度凹面加工にも成功している。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。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、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ている。第1回国際ELIDセミナーを中国湖南

大学にて企画開催するなど、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事例構築に取り組んでいる。さらに、中国や韓国、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,河西,春日,池野,土肥,長谷川,堀尾,伊藤(伸),小仲,増田,松澤,水谷,村上,八須,永倉,大前,林;加工応用チーム 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に端を発した砥石ボンド材の検討が盛んになり,環境を配慮した砥石,ラバーボンド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。一方,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て独立としたテーマで砥石ボンド材の特性調査を含めて研究が進めている。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,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,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。さらに連携加工プロセスの応用として,ELID/研磨or MRF/EEM加工プロセスを完成させ,国の基幹研究であるX線自由電子レーザー(XFEL)建設に長尺高精度なXFELミラーの製作に成功した。そのほかに次世代パワーデバイス用単結晶SiCの高精度・高能率加工にも引き続き基礎研究として検討を進めている。

(3) 超微細加工の研究(大森,片平,成瀬,林,武安,安藤,陳,藤井,部谷,吹春,船田,古林,後藤,石井,石坂,伊藤,Jabri,上村,加藤,近藤,松下,増田(忠),三浦,白滝,武安,鳥居,常木,袁,鈴村,佐々木,安藤(文),北村,菊池,田部井,渡辺;加工応用チーム 上原,森田)  
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ルイー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機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ち,高精度な寸法精度でY字や+字などの3次元形状を有する超精密ツールを創成し,そのツールによる加工特性の検証を引き続き行った。また,ツール材料としてPCD(Polycrystalline Diamond)の検討を行い,ツルイーグ手法にマイクロ放電加工を採用し,ツール形状を創成することを実現した。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,マイクロ鉗子,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ている。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,そのドレッシング手法について実用化を進めている。また,アクリル材やガラスモールド用ガラス材を対象に,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,照明系光学素子や眼内レンズ評価装置に使用される眼球模型の集光素子の超精密加工も検討を行った。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,マシン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。マシニングセンターとの通信システムを構築し、CYLIN方式により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実現した。一方、微量のナノカーボンとELID電解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新規の知見を得た。さらに、超微細加工のためのインプロセス計測の研究を進め、微細溝形状の測定を可能とする機上計測、特にマイクロ/ナノ構造物の計測に対応したAFMによる機上計測手法の研究を進めた。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。

## 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, 高橋, 城寶, 浅原, 小野(徳), 長谷川(太), 金井, 殷, 青野, 藤本, 吉田)

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るべく, (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, 安藤, 梅津, 林; 加工応用チーム 上原, 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。一方, 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て, 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, 数10 $\mu$ m程度の高さの造形物が作製できることを実証した。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。また, 微粒子ピーニングを利用した機能性表面創製手法についても研究に取り組んだ。微細な凹凸形状を有し, 粒子成分が残存拡散した改質層を同手法により作製し, 機械的・化学的にDLC膜との親和性に優れた金属表面の作製プロセスを提案するとともに, その効果の検証を行った。一方, 卓上加工機の高精度化を目的として, エアー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。そして, レーザー加工ヘッドを搭載して, レーザー加工と研削加工などの複合加工の検討を行った。レーザー加工では, 薄板のピーニング効果についても検討を行った。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。

## 4. トライボファブリケーション研究 (大森, 小野, 伊藤(伸), 林, 長谷川, 根本, 塚越, 増田, 松澤)

トライボロジーと加工および製造プロセスを繋ぐ融合領域を“トライボファブリケーション”として, ELID研削用砥石製造条件とトライボロジー特性の関係及びトライボロジー特性と加工現象の関係を解明すると同時に, 高効率な加工ツール開発システムの構築を進めている。具体的には, 導電性ラバーボンド砥石及

び環境配慮型植物カーボン由来の砥石の開発プロセスにおいて、砥石の製造条件とトライボロジー特性の関係及びトライボロジー特性と加工実証試験における加工特性の双方向の関係のデータベースの統合化を行った。そして、これらの砥石開発プロセスの中で、トライボロジー試験における電解前後の砥石の比摩耗量とELID on-off加工実証試験時の砥石摩耗量の関係が対応することが明らかとなり、砥石製造前の段階での砥石摩耗の予測を可能とした。また、一連のELID研削用ラバーボンド砥石の開発プロセスにおいては、高能率鏡面研削加工に適した砥石の製造条件及び研磨加工に相当する高品位研削加工に適した砥石の製造条件を明らかにし、加工目的に応じたラバーボンド砥石の選択も可能であることが示唆された。一方、植物カーボン由来の砥石の開発プロセスにおいては、再焼成温度900度の葦カーボンは、撥水性を有しトライボロジー特性も優れることが示され、メタルレスカーボン砥石の製造が可能であることと同時に、環境に優しい次世代のカーボン由来の摺動材料として期待できることが示唆された。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。

-----

**Key Sentence :**

- Nanoprecision mechanical fabrication processes for micro-structural/functional devices
- Ultrafine transcription and computational mechanics assisted processes
- Applications on micro-fabrication processes
- Research on tribofabrication processes

**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,

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

**Head**

大森 整 Hitoshi Ohmori

**Members**

郭 建強 Jianqiang Guo  
 八須 洋輔 Yousuke Hachisu  
 龜山 雄高 Yutaka Kameyama  
 片平 和俊 Kazutosh Katahira  
 前川 公貴 Kouki Maekawa  
 水谷 正義 Masayoshi Mizutani  
 成瀬 哲也 Testsuya Naruse  
 小川 貴代 Takayo Ogawa  
 小野 照子 Teruko Ono  
 齋藤 徳人 Norihito Saito  
 佐々木 道子 Michiko Sasaki  
 和田 智之 Satoshi Wada  
 吉田 祐介 Yuhsuke Yoshida

**Special Postdoctoral Researchers**

梅津 信二郎 Shinjirou Umezu

**Visiting Members**

前田 康大 Yasuhiro Maeda  
 三浦 雅浩 Masahiro Miura  
 中村 俊康 Toshiyasu Nakamura  
 根本 昭彦 Akihiko Nemoto  
 湯本 正樹 Masaki Yumoto  
 陳 逢軍 Fengjun Chen

**Visiting Members**

赤川 和幸 Kazuyuki Akagawa  
 安藤 知明 Tomoaki Andou  
 青野 昌弘 Masahiro Aono  
 浅原 裕 Hiroshi Asahara  
 浅見 宗明 Muneak Asami  
 粟木 久光 Hisamitsu Awaki  
 土肥 俊郎 Toshiro Doi  
 房 曉俊 Xiaojun Fang  
 Fengzhou Fang  
 藤井 亮 Akira Fujii  
 吹春 寛 Hiroshi Fukiharuru  
 船田 浩良 Hiroyoshi Funada  
 後藤 慎一郎 Shinichiro Goto  
 長谷川 勇治 Yuhji Hasegawa  
 畑中 秀和 Hidekazu Hatanaka  
 早野 裕 Yutaka Hayano  
 堀尾 健一郎 Kenichiro Horio  
 井原 聰 Satoshi Ihara  
 池野 順一 Junichi Ikeno  
 井村 俊彦 Toshihiko Imura  
 稻田 明弘 Akihiro Inada  
 石阪 浩一郎 Kouichirou Ishizaka  
 石塚 達也 Tatsuya Ishizuka  
 伊藤 伸英 Nobuhide Ito

伊藤 徹 Tohru Itoh  
 伊山 功一 Kouichi Iyama  
 釜堀 秀也 Shuya Kamahori  
 上村 良澄 Yoshizumi Kamimura  
 金井 茂 Shigeru Kanai  
 金内 靖臣 Yasuomi Kaneuchi  
 康 宰動 Jae-hoon Kang  
 河西 敏雄 Toshio Kasai  
 加藤 国男 Kunio Kato  
 加藤 義則 Yoshinori Kato  
 川原 琢也 Takuya Kawahara  
 金 炫煜 HyunUk Kim  
 金 敬年 Keinen Kimu  
 小泉 俊郎 Toshiro Koizumi  
 小嶋 康 Yasushi Kojima  
 狛 豊 Yutaka Koma  
 小茂鳥 潤 Jun Komotori  
 郭 泰珠 Tae Soo Kwak  
 林 偉民 Weimin Lin  
 凌 鳴逸 Mingyi Ling  
 Oleg Anatolievich Louchev  
 真鍋 武士 Takeshi Manabe  
 丸山 次郎 Jiro Maruyama  
 丸山 真幸 Masayuki Maruyama  
 増田 忠志 Tadashi Masuda  
 松下 幸司 Koji Matsushita  
 松澤 隆 Takashi Matsuzawa  
 三村 秀和 Hidekazu Mimura  
 三島 健稔 Taketoshi Mishima  
 三科 博司 Hiroshi Mishina  
 三石 憲英 Norihide Mitsuishi  
 三浦 隆寛 Takahiro Miura  
 宮澤 徹二 Tetsuji Miyazawa  
 森田 正隆 Masataka Morita  
 中川 朝彦 Asahiko Nakagawa  
 中井 博紀 Hiroki Nakai  
 中村 真毅 Shinki Nakamura  
 中西 康之 Yasuyuki Nakanishi  
 錦織 健太郎 Kentaro Nishigori  
 西畑 実 Minoru Nishihata  
 野田 紘憲 Kohki Noda  
 大前 勝 Masaru Ohmae  
 大森 宮次郎 Miyajiro Ohmori  
 網田 淳 Atsushi Ouda  
 斉藤 多喜男 Takio Saito  
 斉藤 嘉彦 Yoshihiko Saito  
 酒井 敬益 Takamitsu Sakai  
 坂下 亨男 Michio Sakasita  
 瀬古 尚幸 Naoyuki Seko  
 島野 正興 Masaoki Shimano  
 清水 智行 Tomoyuki Shimizu  
 進藤 久宜 Hisayoshi Shindo  
 篠崎 琢也 Tatsuya Shinozaki  
 鈴木 亨 Toru Suzuki

鈴木 浩之	Hiroyuki Suzuki
高田 芳治	Yoshiharu Takada
高橋 豊	Yutaka Takahashi
高橋 勝緒	Katsuo Takahashi
竹内 悟郎	Goro Takeuchi
武安 初一	Hatsuichi Takeyasu
棚橋 晃宏	Akihiro Tanabashi
鳥居 龍晴	Tatsuharu Torii
津田 晴美	Harumi Tsuda
月花 智博	Tomohiro Tsukihana
常木 優克	Masakatsu Tsuneki
浦田 佳治	Yoshiharu Urata
和田 芳夫	Yoshio Wada
You Wang	
山元 康立	Yasutaka Yamamoto
山内 和人	Kazuto Yamauchi
Jun Yin	
尹 韶輝	Shaohui Yin
横山 健三	Kenzou Yokoyama
吉田 潤二	Junji Yoshida
吉田 徹	Tohru Yoshida
吉川 研一	Kenichi Yoshikawa
Xi Yuan	

### ***Trainees***

赤羽 陽平	Yohei Akahane
井上 紘一	Kouichi Inoue
春日 博	Hiroshi Kasuga
小谷 拓嗣	Hiroshi Kotani
峯村 拓	Taku Minemura
永澤 一宣	Kunihisa Nagasawa
南部 紘志	Hiroshi Nambu
大西 顕	Akira Ohnishi
吉田 香織	Kaori Yoshida
吉田 将之	Masayuki Yoshida
余 洲	Zhou Yu

### ***Assistant and Part-timer***

中田 統子	Noriko Nakata
野村 紋子	Ayako Nomura
佐々木 慶子	Chikako Sasaki
土屋 都紀子	Tokiko Tsuchiya
湯沢 由弥子	Yumiko Yuzawa