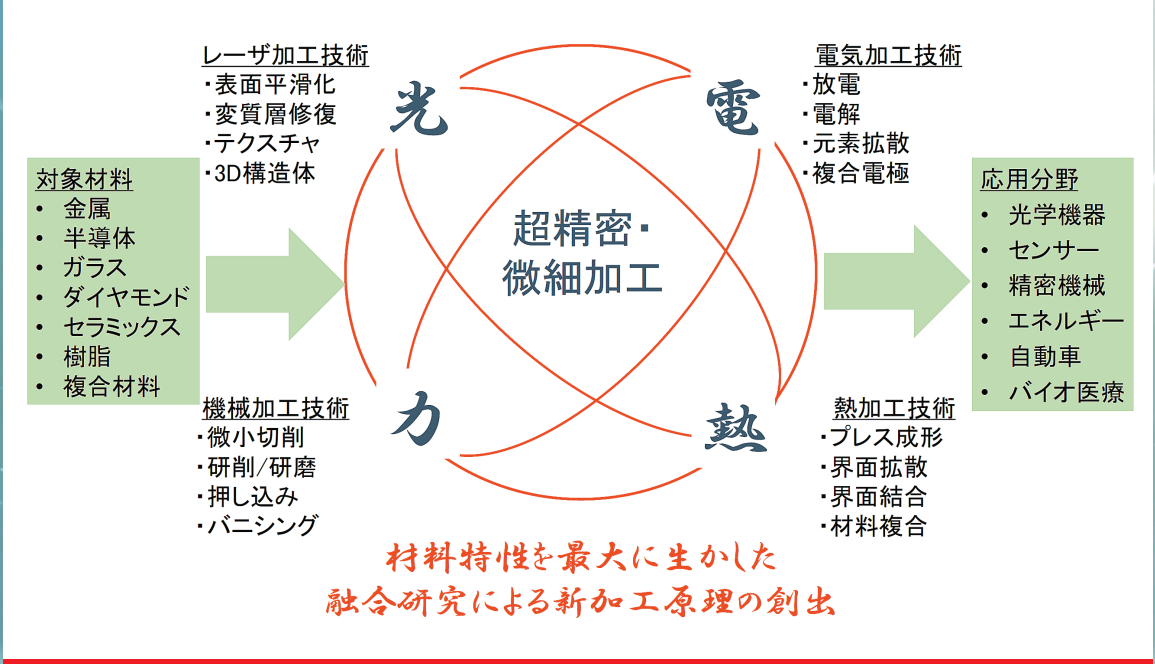

図１　研究スキーム & キーワード

Gravure & Interview 精密工学の最前線

融合研究による価値の創造，知識の創造，そして人材の創造

慶應義塾大学精密ナノ加工研究室

図２　研究室メンバー構成

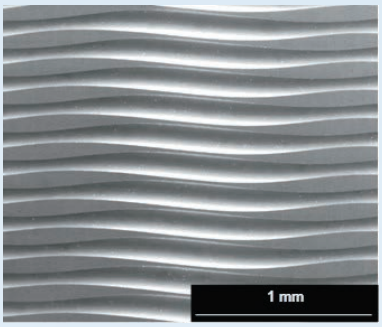

図３　複数成分波状構造の超精密切削

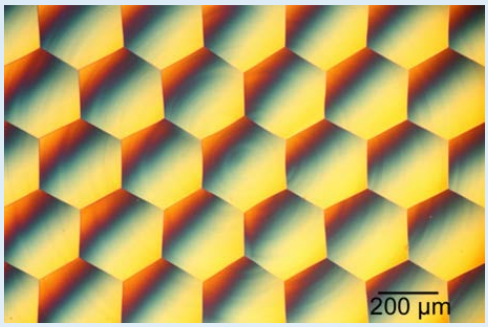

図４　単結晶 Si レンズアレイの STS 切削

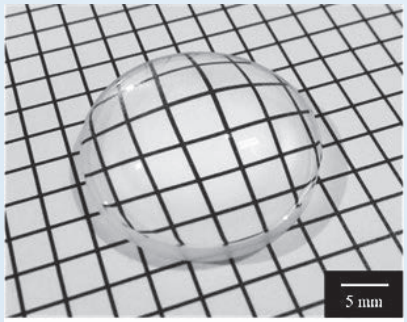

図５　非球面ガラスレンズの延性モード切削

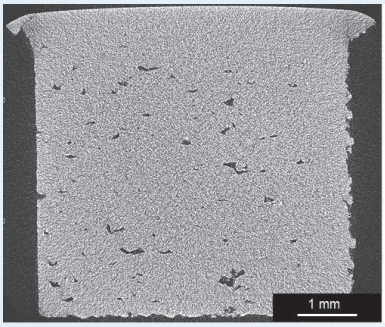

図６　超音波バニシングによる 3D 造形品の欠陥低減

図７　Si/HDPE 複合レンズのプレス成形

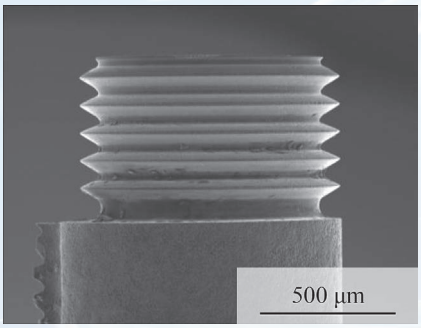

図８　焼結ダイヤモンドの微細放電加工

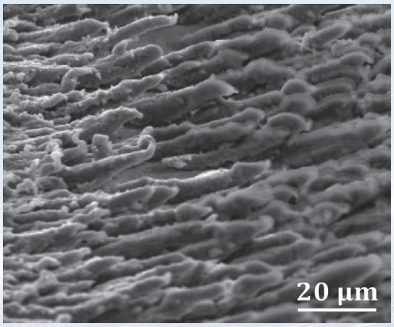

図９　廃 Si のレーザ照射によるマイクロピラー成長

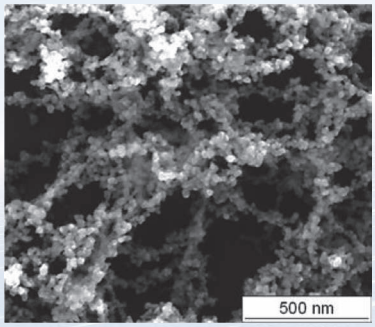

図 10　廃 Si のレーザ照射によるナノ粒子生成

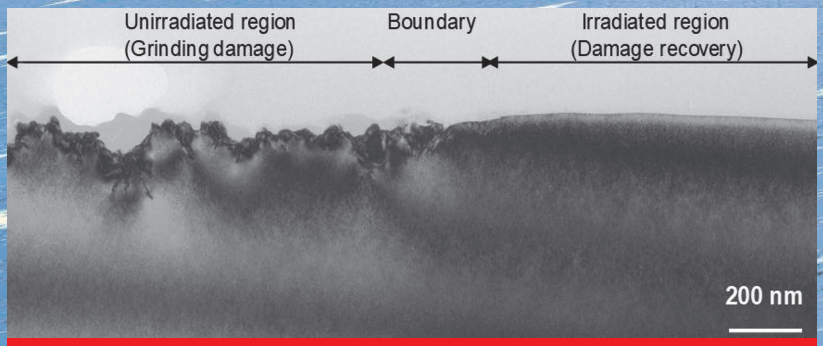

図 11　加工変質層のレーザ修復

融合研究による価値の創造，知識の創造，そして人材の創造

慶應義塾大学精密ナノ加工研究室

口絵グラビア参照

慶應義塾大学理工学部機械工学科 教授
閻　紀旺 氏

インタビュア／アプライドマテリアルズジャパン
王　義龍

Q1　研究室の構成と沿革について，お聞かせください．

本研究室は，2012年4月に私が東北大から慶應へ異動すると同時に立ち上げられました．現在は大学院生，学部生および訪問研究員を含めて27名のメンバーで構成されています．

Q2　現在取り組んでいる研究概要について，お聞かせください．

機械加工プロセスに光や電気，熱，化学プロセスなどを積極的に導入した分野融合型のものづくりの研究を行っています．例えば，切削や研削などでできた加工変質層をレーザで修復したり，工具表面にレーザで微細形状を作って切削性能を改善したりしています．そして，機械加工でできた切りくずをレーザで処理し，リチウムイオン電池の負極として利用する技術の開発もしています．また，放電と研削の複合加工や，同じ装置と工具での放電・電解加工も行っています．さらに，放電やプレスにおける熱を利用して炭素拡散反応を起こし，ダイヤモンドの加工やパターニングもやっています．研究室が取り扱っている材料も金属や半導体，セラミックス，ガラス，ポリマ，複合材料など多岐にわたっています．

Q3　学生さんの進学・進路について，お聞かせください．

学部生はほぼ全員が修士課程へ進学しています．しかし，博士へ進学する学生は1～2割程度と少なく，修士終了後はほとんど製造業へ就職しています．

Q4　留学生と日本人学生の異文化間コミュニケーションと人材育成について，お聞かせください．

人材育成においては能力の面はもとより，価値観やビジョンの育成が重要と思っています．学生たちはいろんな国や地域の人々との日常交流を通じて，よりグローバルな考え方を身につけることができますので，世界と付き合っていく勇気と自信が与えられます．そういう狙いもあって，本研究室は多くの国から優秀な研究者と留学生を受け入れています．

Q5　学生の育成について、日本と海外の特徴の違いをお聞かせください．

国や地域によってかなり状況が違うと思いますが，昨年度マンチェスター大学客員教授としてUKに滞在してきましたので，そこでUKと日本の人材育成の違いを感じることができました．UKでは発想力とリーダーシップを非常に大切にしていますが，日本ではどちらかというと実行力とチームワークに重点を置いてやっています．どちらもメリットがありますので，もし両方の特徴をうまく合わせることができれば，最高の人材育成ができるのではないかと思います．

Q6　貴研究室はマイクロ・ナノ領域での材料除去，変形および物性制御に基づく高精度，高効率，省エネ，省資源の加工技術を得意とされていらっしゃいます．これらの応用背景についてお聞かせください．

これまでのものづくりは，いかに速く高精度でものを作るかに主眼を置いてきましたが，エネルギーや資源を過大に消耗したり，廃棄物を出したりして，社会に対する副作用も大きかったです．これらの副作用を抑え，サスティナブルな産業に転換しなければならないと思います．そのため，いかに少量の素材とエネルギー消耗で付加価値の高いものを作っていくかが今後の課題ですが，マイクロ・ナノスケールでの超精密・微細加工技術はまさにこの課題解決のカギになります．もう一つは，廃棄物の問題です．一つの例を挙げますと，莫大なエネルギーとコストで作られた単結晶シリコンのインゴットをワイヤソーでウエハへ切断するときに，材料の半分以上が切粉として排出され，廃棄物になってしまっています．これは世界中で行われていますので，本当に大きな無駄ですね．切粉を出さない切断技術ができるまでは，この大量な切粉を何とかしなければなりません．このような背景で，本研究室は2012年から廃シリコン粉末を利用した電極製造などに挑戦してきました．非常に良い成果も見えてきています．このように，本研究室の研究テーマのほとんどは産業界から来ています．

Q7　マイクロ・ナノ領域での加工技術について，技術的に難しい点や高度な技術を駆使している点について，お聞かせください．

サイズスケールが小さすぎるので，加工点で何が行われているかがリアル

タイムで見えない点です．きちんと加工現象とメカニズムを把握できなければ，技術としては使えませんので，ここは一番苦労している点です．ある程度，ブラックボックスのような部分があります．しかし最近，高倍率の観察装置や高速カメラなどが進化してきて，微視的そして瞬間的な現象を直接捉えることができるようになってきましたので，相当やりやすくなってきました．また，有限要素法や分子動力学などの解析ツールも大きく発展してきて，実験現象をコンピューターで精度良く再現できるようになりつつあります．

Q8　微細・超精密加工技術のほかに，加工装置の運動精度・制御，計測に関して，現在お考えの課題はありますでしょうか？

加工装置自体の運動精度はすでにナノオーダーあるいはサブナノオーダーに到達しており，非常に高いレベルになってきています．しかし，問題は工具を装置へ取り付けるときに発生する位置誤差やアンバランス，そして工具の摩耗です．これらの要因でできた誤差は装置の運動誤差よりも大きいので，うまく誤差を測ってそして補正することができなければ，装置の性能を生かすことはできません．そういう意味で，これからの問題解決のカギは装置だけではなく，工具とその周辺技術だと思います．これに関してはまだ多くの課題が残されています．

Q9　微細・超精密加工技術の最新動向について，お聞かせください．

加工技術，とりわけ微細・超精密加工技術はノウハウや経験に頼っている側面があります．最近，生産過程のビッグデータを AI（人工知能）などによって処理し，熟練経験への依存状態から脱却しようとする動きがあります．より制御性の良いプロセスの開発に進むのが今後一つの流れでしょう．トライアンドエラーで経験を蓄積していくのは当然重要ですが，Deterministic（決定的）な技術にしなければ将来性がないと思います．この辺りは，研究者と現場技術者との緊密な連携が必要です．

Q10　貴研究室 HP を拝見したところ，ナノマテリアル創製にも取り組まれていますが，この研究に関わられるにあたっての思いや，それによって培われた新技術には，どのようなものがあるのでしょうか？

マイクロ・ナノ領域の加工となると，幾何学的な議論だけでは通じなくなり，マテリアルサイエンスの見地から理解する必要があります．つまり，材料格子構造までいじっているから，加工変質層の問題がより顕著になってきます．そのため，私たちの研究室では現在加工変質層の抑制や修復などについていくつかのテーマが進行中です．一方で，もし加工による格子構造の変化を積極的に活用できれば，表面改質や新たな材料創製技術につながるかもしれません．例えば先ほど触れていた廃シリコン粉末のテーマで，ある条件でレーザ照射を行うとシリコンはナノ粒子になったり，ピラーに自己組織化したりします．これらのナノサイズの材料は電池のみならず，さまざまな分野に使用できる可能性を秘めていますので，かなり面白いです．このように，ナノスケールの研究では，「モノ」づくりと「マテリアル」づくりの両者は統一されることになります．

Q11　微細・超精密加工について，加工精度とコストのバランスについて，お聞かせください．

産業界では精度とコストのバランスをとるのが非常に大切です．過剰な精度を追求すると，増えていくのは値段だけであって，価値はそれほど増えません．その結果，製品が売れなくなってしまいます．一方で，最初からコストのことばかり考えると，新しいアイディアが出てこなくなり，夢のある技術が生まれてきません．コストを深く考えずにどんどん新しい可能性にチャレンジするのが，大学の役割ではないかとも思っています．可能性検証ができて，実際応用となれば，コストダウンについては企業さんがうまく考えてくれるはずです．

Q12　これまで伺ったほかに，微細・超精密加工技術の今後の展望や現在重点を置いている研究課題について，お聞かせください．

技術の進展にともなって分野の細分化が進んでおり，それぞれの分野の研究がどんどん深くなっていきますが，結果として各分野の間に見えない壁ができてしまっています．異なる原理に基づいたたくさんの加工法が提案されていますが，これらの加工法をどう使い分けるのか，あるいはどう組み合わせるのかについて科学的な方法論は確立されていません．この壁を突破するために，融合研究によって異分野の相乗効果を最大に生かすことがこれから重要になっていくと思っています．サッカー選手のように，各自の守備範囲を守るのはもちろんのことですが，メンバー間の連動，つまりインタラクションが必要不可欠です．加工技術も同様で，融合研究を生かせば，新たなブレークスルーが生まれるかもしれません．

Q13　精密工学会に対して期待することがあればお聞かせください．

異分野間の交流をさらにやりやすいように何かの仕組みが作られれば良いなと思っています．もう一つは，学生や若手が参加してわくわくする，どんどん参加したくなる雰囲気づくりです．若者が精密工学の研究に携わることで大きな感動が与えられるようになれば，この分野に進む人がどんどん増えていくので，精密工学そして関連産業の発展に対して何よりも寄与が大きいのではないかと思います．そのように期待しています．