

精密加工学領域

大阪大学大学院工学研究科
機械工学専攻 教授

榎本俊之

1. はじめに

本研究室は、私が2004年12月に着任し、翌年の2005年4月に最初の学部生2名が配属され、その活動を始めました。今から約7年前に私が民間企業から移ってきて突然発足した研究室ですが、手ぶらで来たということもあり、まさにヒト・モノ・カネがまったく無い状況でした。そもそも大学での研究を含めた仕事の仕方・進め方をよくわかっていない有様だったわけですが、不憫に思ってくださったのか、周囲の先生方から様々な支援やアドバイスを受けることができ、今に至ることができました。

そして、優秀な学生たちにも恵まれ、研究、そして研究室を大きくすることができました。「榎本って誰？」という認識で来た学生も当初はいたわけですが、研究室をまさにゼロから立ち上げ、それを大きく拡張し、さらには別のベクトルを作っていく、そういったことを成し遂げられるだけの学生たちが、これは偶然なのでしょうが、絶妙のタイミングでメンバーになったことがなんと言っても大きな力になっています。学部や前期課程の学生たちが創業者になり、中興の祖になったようなものです。企業から来た私は、こういった若い人たち、というよりも学生たちもいるものなのだ、と非常に衝撃を受けています。

さて領域名にもあるように「加工」に関する研究、特に機械加工に関する研究を行っています。その研究を行う上で、加工を行っている様々な企業と接する機会は大変貴重なものとなります。彼らの目標は極めて単純で、精度よく・早く・安く作りたい、です。これに対してノウハウ的、あるいは組み合わせ的なアプローチで解決できるような題材は、今の時代はもはや皆無と言えます。そうなりますと、しっかりした理論的な解析・分析に基づき、革新的な技術を開発・構築していくしかなく、大学が力を発揮することができます。また目標が単純というのも効果的で、研究目標が

ぶれず、そしていくらかでも高い目標を掲げることができ、まさに究極を目指した研究を迷わず行うことができます。一方、大学で研究をしている者にとって、企業からの偽らざる本音の評価は、新たなブレークスルーを生み出すきっかけを作ってくれることもあります。昔は産学というとおつきあいのものも多々あったように思いますが、今はお互いに本来の、また実質的なつながりを築けているように感じます。

そして研究室では、こうした企業との様々な形のつながりを学生への教育に最大限利用しています。逆の言い方をしますと、学生への教育に有効でない企業とのつながりは一切持たない、有効であれば積極的に一緒に研究していく、というのが本研究室のモットーです。

では具体的にはどのような研究、加工技術の開発をしているのかと言いますと、私自身の企業経験に基づいたテーマ設定の仕方をしています。

加工技術といっても対象とする技術は工作機械、工具、ジグ、加工方法等々極めて多岐にわたります。その中で、私がいた企業が加工という分野ではユーザーメーカーという立場にあったため、おもに加工方法、具体的には買ってきた工作機械や工具などの使いこなしに関する技術開発に注力していました。もちろん、それにより他社を差別化できる加工技術を開発することもできましたが、実際には、道具である工作機械や工具の性能が加工技術のレベルを圧倒的に支配してしまうという現実に突き当たり、道具の開発を行いたい、行うべきという気持ちが強くなりました。

その道具の中でも、加工に関する数多くの開発を通じて、特に切削工具や研削砥石、研磨パッドといった加工工具が重要であるとの認識を持つようになりました。これは当然といえば当然ですが、加工対象となる工作物と干渉し、それをまさに除去する要素が加工工具であるため、その良し悪しが加工特性を決定づけることとなります。

実はこの工具に関する研究は、その重要性が広く認識されているにも関わらず、研究している大学や公的機関そして企業数はそれほど多くはありません。なぜだかノウハウの塊と思われているようで、また製造している企業側も勝手にそのように思い込んでいるようで、研究者層が厚くならない分野です。そのため加工工具技術のレベルはなかなか高まらず、その結果、加工全体として、量産現場から実際に要求される厳しい仕様に応えられなくなっているケースが非常に多くなってきました。

以上、前振りがだいぶ長くなりましたが、こうした状況を打破するために、本研究室では加工工具技術を中心に10程度の研究テーマを行っており、その中で本稿では切削加工分野と研磨加工分野における2つの加工技術を紹介いたします。いずれも工具の構造や形状に特徴をもたせることで、従来工具技術の有する課題をブレークスルーすることを目的としています。

2. 切削加工分野：

微細テクスチャを表面に有する高機能切削工具

近年、難削材と呼ばれる切削加工が困難な材料が多く現れ、また工具の寿命をもっと延ばしたいという要求もますます高まっています。これに対して、切削工具に関しては、おもにその材質やコーティングに関する研究開発が行われてきましたが、現場からの要求に応えるには不十分な状況が続いています。

そこで材料ではなく構造で新たな機能を発現する、すなわち切削工具の表面に微細なテクスチャを設けることで、低摩擦性や高潤滑性などの機能を発現し、工具寿命を飛躍的に延ばせるような工具技術開発を行っています。この研究を始めた頃、世の中では、摩擦を減らすことなどを目的に工具表面を平滑化することが多くの工具メーカーで行われていましたが、本研究はそれとはまったく逆方向のアプローチとなります。図1に最初に開発した切削工具、図2にそれを改良した切削工具を示します。現在はさらに違うテクスチャを有する工具を開発しています。図1の工具表面には、幅80 μm 、深さ0.8 μm の微細溝が格子状に形成されています。このマイクロメートルレベルの微細テクスチャにより工具表面の潤滑性や耐凝着性を高め、アルミニウム合金を市販の切削工具に比べて良好に切削加工することができました。さらに切削特性を高めるために、間隔700nm、深さ100～150nmのナノ-マイクロメー

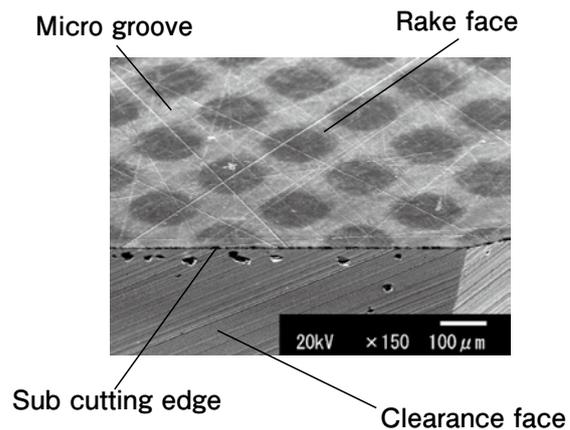


図1 マイクロテクスチャを表面に有する切削工具

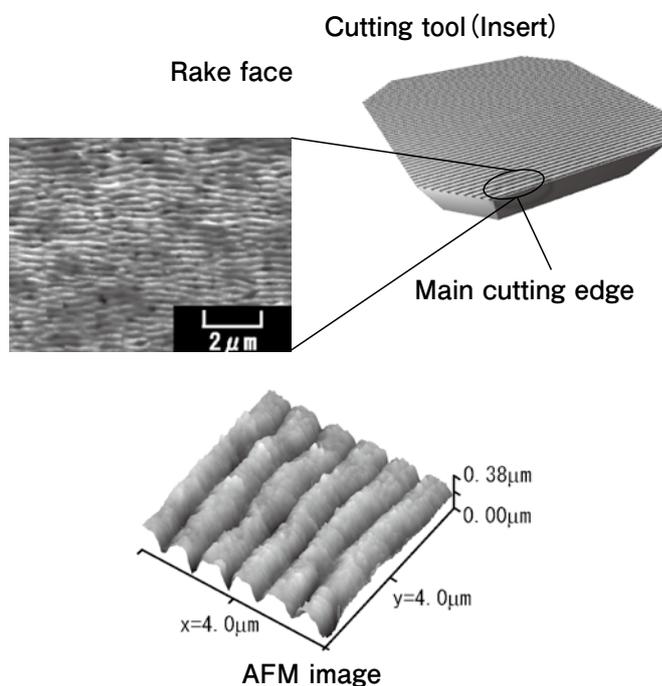
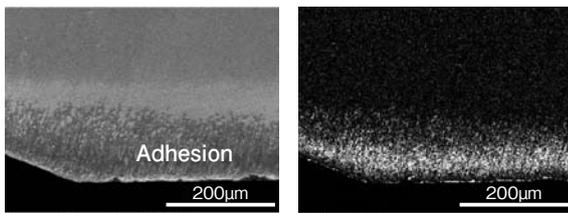


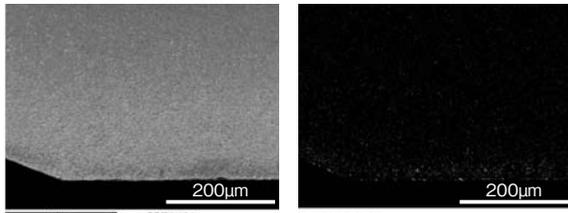
図2 ナノ-マイクロテクスチャを表面に有する切削工具

タレベルの微細溝をフェムト秒レーザを用いて形成した工具を開発しました(図2)。これによりアルミニウム合金を切削加工すると、図3(b)に示すように、市販工具(図3(a))と異なり、切りくずなどが表面にほとんど凝着しなくなり、高い耐凝着性を発現させることができました。

実はこの研究を始めた頃、切削工具メーカーからは、そのような微細な構造を工具表面に設けてもほとんど効果がない、すぐに消滅して効果が消滅してしまって意味がない、といった散々なコメントをいただきました。が、いざやってみると当初から良好な特性を実現することができ、今はそうした企業の方々からも注目いただけるようになっています。



(a) 市販切削工具



(b) ナノマイクロテクスチャを表面に有する切削工具

図3 加工後の切削工具の表面
(左がSEM像、右がAlのEDX像)

現在は、切りくず凝着や工具摩耗のメカニズムを検討・考慮して、さらなるテクスチャの最適化を行い、鉄鋼材料や難削材の切削加工への適用を試みています。さらに最近はこの着想を医療用工具の分野に展開することを考え、実際に本学の医学部の先生方と情報交換をし、外科手術にも立ち合わせていただきました。ドリルやダイヤモンド砥石といった同じような加工工具を使っているのですが、分野が違うと、こうも使い方が、なぜそのように使うのかといった考え方が違うのか、というカルチャーショックを受けました。使用上の境界条件があまりに異なり、まさに革新的な工具技術が求められている分野だと感じています。

3. 研磨加工分野：

高平坦エッジ形状を実現する積層構造研磨パッド

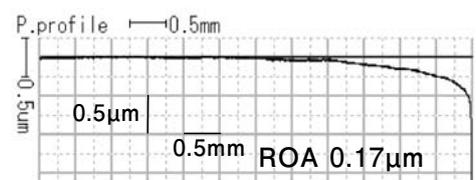
切削加工に続いて、ここでは研磨加工に関する技術について紹介します。研磨加工は、研磨パッド、研磨剤（スラリー）と研磨盤といった極めて単純な構成からなるプロセスでありながら、容易に高い加工面品位を得ることができます。そのため、多くの加工現場、特に半導体デバイスや発光デバイス、大容量記憶デバイスなどの基板の仕上げ加工で用いられています。例えば、ダメージフリー、表面粗さ数Åかつ平坦度約30nmという極めて高い精度が求められるシリコンウェーハは、年間8500万枚以上もの大量生産が行われており、この生産プロセスでは最終仕上げ工程として研磨加工が必須となっています。

このシリコンウェーハに対しては、その基板を用い

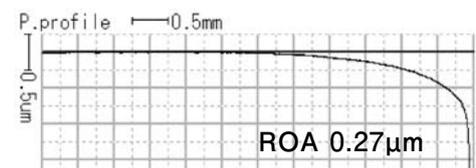
てデバイスを製造するメーカより、年々極めて厳しい仕様（ウェーハ径、ディフェクトレベル、全体の平坦度等）が要求され、なんとかそれをクリアしてきていますが、唯一クリアできない課題として、エッジ形状の平坦化があります。このエッジ部付近の平坦度はデバイスチップの取得歩留まりに大きく影響を及ぼすため、デバイスメーカから常に強い要求がなされているのですが、現状のウェーハメーカにおける研磨加工技術では対応できなくなっています。

そこで本研究室ではこのエッジ部の高平坦化を実現するために、運動学、弾性力学、粘弾性力学にもとづく力学的作用や研磨剤がもたらす化学的作用等々、様々な工作物除去作用を検討し、それにもとづき新たな研磨パッドの開発を行っています。その結果、特殊な積層構造からなる研磨パッドを開発し、シリコンウェーハを図4に示すように、エッジを極めて高平坦に研磨加工することができました。なお図中のROA（Roll-Off Amount）とはエッジのだれ程度を示すパラメータであり、小さいほど平坦性に優れることを意味します。ウェーハ業界ではこの値を0.1μm以下にすることが望まれており、ぎりぎりではありますが、この目標値を達成することができました。また、この研磨パッドは市販研磨パッドに比べ、1.2倍ほど高い加工能率を実現しています。

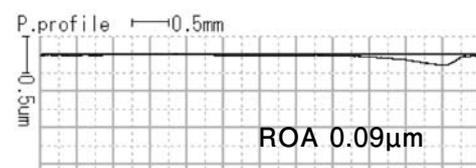
こうしたシリコンウェーハだけでなく、ハードディスク用基板であるガラスディスクにおいても、ディス



(a) 加工前



(b) 市販研磨パッドによる加工後



(c) 開発研磨パッドによる加工後

図4 シリコンウェーハのエッジ付近の形状

ク面上での記憶領域の増大のために、エッジ形状の高平坦化が強く望まれています。図5に2.5インチのガラスディスクを研磨加工した結果を示します。

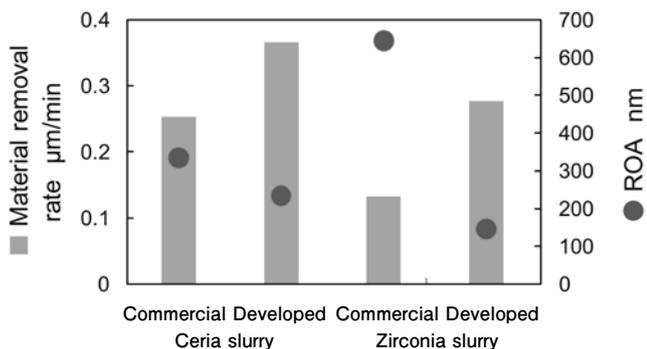


図5 ガラスディスクの研磨加工特性

ガラスの研磨加工には、通常、研磨剤としてセリア砥粒が使われますが、昨今のレアアース問題によりジルコニア砥粒の使用が検討されています。そこでここでは、両方の研磨剤を用いて比較しました。同図からわ

かるよう、いずれの研磨剤を用いても開発研磨パッドでは高平坦なエッジ形状を実現し、加工能率に関しては、セリア砥粒を用いた場合は約1.4倍、ジルコニア砥粒を用いた場合は約2.1倍も向上することができました。

4. おわりに

大学における研究は、可能性探索のステージにとどまってしまうことが多いものです。しかし、加工という分野では実用化や量産化に至る過程に、実は大きな宝の山が隠れていることが多くあり、今後はそういったステージにも積極的に首を突っ込んでいくつもりです。そしてこれからも、企業に鍛えられ、学生たちと一緒に成果を分かち合いながら、楽しく研究を行っていきたいと思っています。

(学 界)

平成23年 秋の褒章・叙勲

このたび秋の褒章・叙勲受章者が発表されましたが、判明分では、下記の方が受章されました。心よりおよろこび申し上げます。

福住 俊一 (学界・生命先端工学専攻 教授) 紫 綬 褒 章

伊藤 憲昭 (電気28新) 瑞宝中綬章

有馬 泉 (電気30) 瑞宝中綬章

新聞発表より、事務局で把握できた方について掲載しております。
掲載が漏れております場合は、事務局までご連絡いただけましたら幸いです。