

Production Engineering

新潮流

加工の学際的取り組み



第76期生産加工・工作機械部門部門長 芝浦工業大学 柴田順二

当生産加工・工作機械部門の分野キーワードとして、30数語が登録されているが、その冒頭10数語までが〇〇〇加工となっている。加工の追究が生産システムや工作機械技術の原点であることを示唆しているのであろう。そして、この加工の主体が“削る(切削)”と“磨く(研削・研磨)”であることに、「ものづくり」の世界では、どなたも異論を持たない筈である。今世紀は技術の世紀と呼ばれるように、工業の驚異的發展が人類の生活環境を一変させたが、これを可能としたのがまさにこの“削る”と“磨く”であった。かつて、大学の機械工学科におけるカリキュラムでは、加工工学が4力学と共に主要必修科目であり、学会の研究発表でも加工関連テーマが結構花形であったのも、このような背景があったからであろう。

しかし、21世紀を目前にして、この状況が大分揺らぎ始めている。工業社会から情報社会へと移行しつつある社会環境の変化もさることながら、加工技術そのものの体系化が進み、成熟期に至ったことが、このような状況変化をもたらしている要因の1つと考えられなくもない。ここ数年、加工に関わる学会講演会の様子が、この辺りの事情をよく物語っている。

しかし、切削、研削と言う歴史的加工技術が成熟し、その加工知識の体系化が完結に近づき、総てが解明されているのかと言えば、もちろん否である。陳腐な問いだが、せん断機構に基づくマクロな切削モデルが、加工表面の品質予測にどれほど有効であろうか？ 加工に求められる技術の視点は、絶えず変化し、日進月歩で高度化しており、それと共に新しい方法論が求められているのが現実である。原子・分子レベルのミクロな刃先領域の視点、あるいは地球環境的グローバルな視点などからの加工の方法論が今模索されているのは、周知のとおりである。

新たな加工研究の方法論であるが、加工現象は本来、1つの学問によって理解するにはあまりに複雑である。このことがこれまで、加工を実学優先の立場に固執させてきたと言えるが、しかし昨今、技術・工学から科学的方法論へと視点の転換が強まっているように見受けられる。これには、独自の科学的方法論を取り入れるか、他分野との協調、交流によって対応するか、選択肢は2つである。分子動力学(MD)などは前者に当たるが、従来の加工概念との連続性を確保するには多少時間を要するのではなかろうか。その点、視点の

転換を図るには、後者は有効な方法論である。

後者の論旨に関わる話題を1つ取り上げてみたい。セラミックスやガラスの機械加工は、延性型切り屑の生成によるとされるが、その実体は意外に不鮮明である。従来、セラミックス、ガラスの延性型切り屑はラメラ構造との説が受け入れられてきたが、セラミックス、ガラスなどの延性とは素材の降伏現象なのであろうか？ 図1にダイヤモンドバイトにより切削したガラスの延性型切り屑写真を示す。紛れもなくその外観は延性型を呈しているが、しかし、その断面から鋸歯状切り屑であることが分かる。延性型切り屑の正体が鋸歯状切り屑とするのは、斯界では未だあまり馴染まないかもしれない。しかし、トライボロジーの分野では、セラミックスのアプレシブ摩耗粉の構造は、鋸歯状である事例が知られている。トライボロジーでは材料破壊(摩耗)は悪であり、その抑制を目的とするが、加工では材料破壊を制御し、積極的に利用する。このように、それぞれの立場・目的が全く異なるため、扱う現象は同じであるにもかかわらず、従来議論を交わす機会が少なかったように思われる。トライボロジーに限らず、材料物性、表面科学など他分野との学際的視点からの、加工科学の発展を期待している。

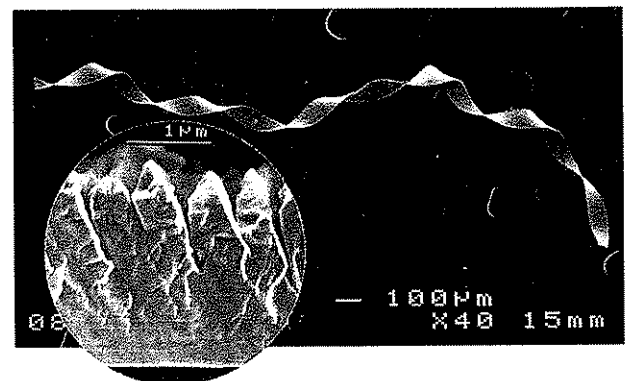


図1 ガラス(SF6)の延性型切り屑とその断面

次世代生産加工・工作機械分野のキーテクノロジーに関するドイツの研究状況

京都大学工学研究科 垣野 義昭

筆者は、ここ2年間にドイツの工科大学を数箇所訪問する機会があり、かつドイツからの訪問者を最近、多数受け入れ、彼らと歓談する機会があり、日本の大学における生産加工・工作機械方面の苦しい研究状況を説明したところ、ドイツの工科大学も同様の深刻な悩みを有していることが分かり、変な安心感というか、共感を感じた。その一端をこの紙面をお借りして、紹介したい。

(1) 工作機械産業が不景気であり、大学での研究に対する協力が困難になってきたこと。ドイツの工作機械産業はここ数年非常に不景気に悩んできた。今年になってやや好転の兆しが見えてきたが、まだ好景気というには程遠い。したがって、大学における生産加工・工作機械に関する研究への資金面、人の面、テーマ面からの協力が以前ほど緊密には行えなくなってきた。日本と異なり、ドイツの工科大学は企業からの協力がずっと緊密であった。悪く言えば、個々の企業内(特に工作機械メーカー)では生産技術に関する研究はあまり行われず、全面的に大学に依存していた。

(2) 工科大学での生産加工・工作機械部門の人气が低下してきたこと。日本の大学では、生産加工・工作機械部門の研究室は学生に非常に人气が悪かった。この傾向は最近始まったものではなく、少なくとも10年前から続いている。同じような傾向がドイツの工科大学においても生じているようで、最近大学における研究の中核的な担い手である助手(Mitarbeiter)の希望者がかなり減ってきたそうである。それを埋めるために外国人の研究者を雇う例が増えてきたそうである。日本の大学の現状を考えると正に身につまされる思いがする。

(3) 生産加工・工作機械の研究室においても、実験的な研究は嫌われ、コンピュータシミュレーションが好まれること。これも、日本の大学と寸分変わらぬ傾向で正に身につまされる思いである。あの、質実剛健を重んじたドイツにおいてすらこの傾向があるとすれば、もう少し付和雷同しがちな日本人ではさもありなんという気がする。

(4) しかし、ドイツの大学では、将来のキーテクノロジーとなるであろう技術については、しっかり基礎的な研究を進めていること。

以上のような状況におかれると小規模な日本の大学の実験室においては、新しい基礎的な研究には取り組めなくなるのが普通であるが、ドイツではこのような環境下でも必要な研究はしっかり行われているように見える。

その例を以下にいくつか挙げる。

・ドライカッティング技術

従来切削加工においては、クーラントは工具寿命、仕上げ面あらかさ、加工精度などを確保するためにどうしても使用しなければならないとされてきた。ところが、現在ではクーラントの廃棄コストの増大、人体や環境への悪影響、火災の危

険などのため、できれば使用しないで加工を行うべきであるという動きが活発化してきた。以前から、ドイツの大学では産業界と提携しながら、この研究を精力的に行っており、見るべき成果を挙げている。

・リニアモータ駆動工作機械技術

従来はNC工作機械の駆動系にはボールねじとサーボモータが使用されてきたが、これをリニアモータで置き換えようという研究がドイツの大学では精力的に研究されている。残念ながら、規模の小さい日本の大学ではこのような大規模な研究は極めて行っていない。

・知能化工作機械技術

この方面の研究は、日本の大学でもかなり精力的に研究されているので、内容的にもドイツの大学には見劣りしない。しかし、ドイツの大学は産業界とのコンソーシアム方式で研究を進めているので、実用性という面では彼らに一日の長があるように思う。

・超高速加工技術

特に、ダルムシュタット大学では、30年ほど前から超高速切削加工の研究を精力的に進めており、いささか奮勇を振るってという感じがするほど超高速切削に必要とされるあらゆる技術開発を行ってきた。例えば、50,000rpmという回転数で工具ホルダーが遠心力によって破損しないためには、どのような形状と仕上げが必要かを実物を作って徹底的に確かめるという研究を永年行ってきた。

・パラレルメカニズム応用工作機械

従来のシリアルメカニズムに代わってパラレルメカニズムを用いて工作機械を作ろうという研究である。パラレルメカニズムは、シリアルメカニズムに比べて剛性と精度が高いと言われているが、これは同規模の構造を有している場合の話であり、実際には部材の干渉、関節の製作の困難さなどの問題があり、すぐには現在の工作機械に取って代われそうにないが、この問題にもドイツの大学は極めて積極的に取り組んでいる。

これらの研究は、日本の大学でももちろん研究されているが、その規模はドイツに比べてはるかに小さく、見劣りがするように思う。むしろ、日本ではこれらの技術は大学よりも企業での研究が盛んであり、それらを加えると日本の現状はドイツを凌駕しており全体としては悲観することはないように思うが、大学人としてはいささか残念である。

以上のような状況を踏まえて、当部門では「環境にやさしいドライカッティングの最前線」という講習会を関西地区で10月2日に開催する予定である。また、パラレルメカニズム応用工作機械についても、当部門で研究調査分科会(P-SC301, 主査:垣野)を組織し、技術開発のために必要な調査研究を行っている。これらに関心のある技術者、研究者はふるって参加されるよう希望する。

部門賞(功績賞・優秀講演論文賞)贈賞の報告

平成9年度の贈賞式は、第75期通常総会(東京工業大学)会期中に開催されたFA部門との合同部門同好会にて行われ、受賞者には賞状と盾が贈られ、出席者一同で受賞者の功績を讃え、お祝い致しました。

「功績賞」

永年に亘り本部門関連分野の教育と研究において多大な貢献をされた3先生に贈賞されました。

伊東 誼 東京工業大学教授
古川 勇二 東京都立大学教授
中沢 弘 早稲田大学教授

「優秀講演論文賞」

対象講演論文(100周年記念国際会議MM21)及び受賞者は以下のとおり。

Tool Shape Effects on Diamond Cutting Process and

Finished Surface Quality

閻 紀旺 東北大学 大学院 学生(博士)
鈴木 浩文 東北大学助手
廚川 常元 東北大学助教授
庄司 克雄 東北大学教授

Monitoring of Tool Wear and Tool Failure by Cutting Torque in Milling Process

青山 英樹 慶應義塾大学助教授
須田 一郎 三菱マテリアル(株) 研究員
稲崎 一郎 慶應義塾大学教授
大関 宏夫 三菱マテリアル(株) 副主任研究員
増根 昭洋 三菱マテリアル(株) 研究員

Metal Rapid Prototyping (MERP)

中沢 弘 早稲田大学教授
石川 光男 (株)ニコン

「最近の半導体プロセス技術をちょっと覗く」

埼玉大学教育学部 教授 土肥 俊郎

まず、私の研究室紹介になってしまうが、教育学部の技術教育講座で教員養成課程としての教育のほかに、上記背景から産業界からの要請に応えるべく研究を行っている。私が9年ほど前まで所属していたNTT研究所で得た経験を生かして、オプトメカトロニクス部品用の各種機能性材料に対して超精密加工技術の基礎研究を行い、さらにそれらの部品・デバイス製作・プロセスへの応用研究を展開しているところである。とくに、部品の性能を確保する上で不可欠となる、最終加工に位置づけられる超精密ポリシング（鏡面研磨）技術は極めて重要である。超精密ポリシングの基礎研究では、超LSI・光情報通信デバイス用の材料を対象にして、原子オーダーの無歪み鏡面を、高精度・高能率で得るための加工法・条件の確立を目指し、その検討成果を産業界にフィードバックしている。現在対象としている材料は、半導体結晶（Si, GaAs, InP, CdTeなどの化合物半導体）、薄膜下地基板用の結晶（水晶, MgOなど）、LSI用配線金属（Al, Cu, W, など）とバリアメタル（TaN, TiN, Taなど）、その他の特殊材料である。これらの超精密加工を実現するための基本方針として、機械的作用と化学的作用あるいは電気化学的作用を複合化した複合ポリシング手法を追求している。いわゆるCMP（Chemical&Mechanical Polishing）もその一つである。一言でCMPを説明するならば、スラリー（研磨剤）中の砥粒（微粒子）による機械的除去作用に、加工液もしくは砥粒による化学的溶去・メカノケミカル効果を重畳させたポリシング法である。加工メカニズムからいっても厳密には適当な表現とはいえないが、現在CMPとは、超LSIプロセスにおけるデバイス化途中のウエハの平坦化（プラナリゼーション）技術としてのポリシング技術を指す。これは超精密ポリシングのデバイスプロセスへの応用であり、現在最もホットな話題となっている。なぜならば、次世代の超LSIデバイスは、CMPによる平坦化技術を適用しなければ実現できないからである。ついでこの10年ほど前まで、CMPを含めたポリシングは、聖域とされたデバイス工程に入ること自体は考えられなかった。そういった意味で、超精密ポリシングがデバイス工程で活躍できるということは、機械系の加工技術者・研究者にとってみれば何となくうれしいことか。そこで、半導体プロセスの最近の動向をちょっと覗いてみよう。

半導体デバイスの製造は、いよいよ8インチ（200mm）から12インチ（300mm）ウエハへと移行しようとしている。リソグラフィ用の光源としてエキシマレーザを用いたパターンルール0.25 μm での量産段階を迎え、同時に新しいリソグラフィ技術の研究開発が活発化している。さらに、配線遅延問題を回避することを目指して、配線の多層化による配線長と配線密度の低減化を図るためにCMPを適用する。そして、横方向の配線間容量に関係して信号遅延問題を回避するためにより低誘電率（ ϵ ）の層間絶縁膜を開発適用し、その表面をCMPにより平坦化（プラナリゼーション）加工することを目指している。デバイスウエハのCMPは、大きく分けて層間絶縁膜（酸化膜）と配線メタル・バリアメタル、ポリシリコンなどが平坦化加工対象となる。どれにしても、加工すべき小さな範囲内（1 μm 以下）で微小凹凸を消去・平坦化し、かつ所定の深さで加工を止めなければならない。その上に、8インチもしくは12インチウエハ全面を均一に加工しなければならず、ベアシリコンウエハのCMPとはその困難性が遙かに大きく、課題が山積みされている。酸化膜やメタルに対して、段差のない平坦化を高スループットで実現できる加工条件を確立しなければならないが、そのためには、まずそれぞれに適するパッド（研磨布）、スラリー（研磨剤）を選択することが基本となる。もちろん、

平坦化精度と高スループットを確保し得る運動機構にしたカセット・ツール・カセットの完全自動CMP装置を実現して、終点検出できる装置を開発することも課題である。現段階では、酸化膜のCMP技術は実用領域に入り、多くのデバイスメーカーのプロセス技術として活躍しており、そしてメタル配線やSTI、ポリシリコンなどへの応用、ウエハの大口径化対策などへ課題が移行しつつある。とはいつても、酸化膜のCMPが完全に固まったわけでもないが…。今、CMPに纏わる話題は、低抵抗Cuの埋め込み配線（デュアルグマシ）技術、低誘電率の層間絶縁膜材料であろう。これらに関連するテーマをはじめ、私の研究室では、次世代型のCMP装置の開発を目指して検討を進めている。新しい装置は、これまでの面接触型ポリシングに対して、加工中観察ができ加工局部をコントロールしやすい線接触型のポリシングの可能性を追求している。まだプロトタイプ装置（図参照）ではあるが、原理試作して加工特性を把握している。これまでCMP技術は、各社とも比較的扱いやすい問題を克服してきた感があったが、残された課題の多くは非常に困難がともなうものと考えられる。従って、従来の延長線上で改良・工夫していくことのほか、何らかのブレークスルーが必要である。そういった判断から、新しい考え方の装置を目指しているわけである。今後、デバイス・装置・計測・洗浄等の分野の専門家やメーカーと、より一層協力して取り組んでいく必要があるものと考えられる。

「プラナリゼーション加工専門委員会」（委員長：筆者）では、60社以上の企業が参加してお互いに情報交換できる場を設けて、CMPとその応用に関する課題を含めて調査研究をしているが、大いに役立てていただきたい。

以上、半導体プロセスの最新動向の概要と平坦化（プラナリゼーション）CMPに関わる課題等について述べてきたが、半導体産業はまさに“産業の米”である。日本機械学会でも、半導体に関わる研究テーマを積極的に展開したいものである。そういった観点から、当部門では11月5日に「次世代半導体プロセス技術の最新動向」と題して講習会を企画・開催することになった。この講習会では、次世代半導体プロセスに関する第一線で活躍される第一人者が、初心者でも理解できるようにやさしく解説して下さい。これを機会に、半導体プロセスに関連する技術者、研究者はもちろん、半導体産業の動向・将来展望などを調査研究される方など、多くの方々の参加を期待したい。

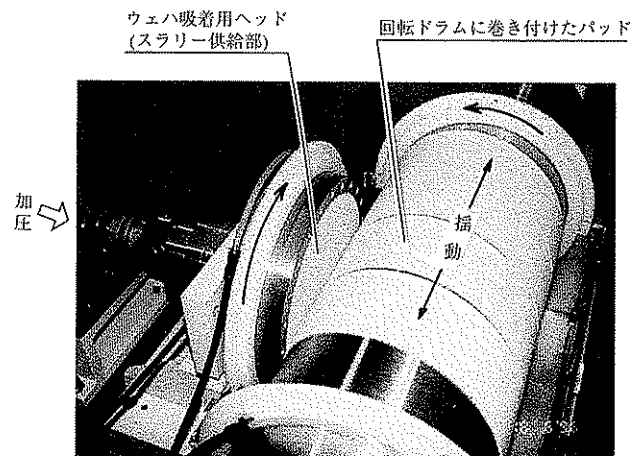


図1 ドラム式線接触形CMP装置

講習会の開催案内

「環境にやさしいドライカッティングの最前線」

開催日時：1998年10月2日（金） 10：00～17：00

会場：大阪科学技術センター（大阪市西区靱本町1-8-4、電話（06）443-5324）

趣旨：切削加工においてクーラントは工具寿命、仕上げ面あらし、加工精度などを確保するために必要不可欠とされてきた。ところが、廃棄コストの増大、人体や環境への悪影響、火災の危険などのため、可能であれば使用せずに加工を行うべきであるという動きが活発化してきた。本講習会ではクーラントを使用しない切削加工の進展及び実用化について企業の第一線に立つ方々がやさしく解説する。環境にやさしく、コスト低減につながるドライカッティングに関心のある企業の技術者、研究者の方々など、多くの方々の参加を期待する。

題目・講師：

- | | | |
|----------------------|---------------------|-------|
| (1) ドライカッティングの現状と将来 | トヨタ自動車（株）第1生技部室長 | 近藤 猛男 |
| (2) 穴あけ加工のドライ化の現状と今後 | 住友電気工業（株）開発部部长 | 森 良克 |
| (3) 鉄鋼材料のエンドミル加工 | 神鋼コベルコツール（株）技術部課長 | 青木 太一 |
| (4) 鋼材のドライタッピング | オーエスジー（株）第1製造部課長 | 三好 忠義 |
| (5) 鋼材のドライホブ加工 | トヨタ自動車（株）第1生技部工具技術室 | 朝倉 里司 |
| (6) アルミニウムのドライ吸引加工 | ホーコス（株）開発企画室室長 | 小林 隆志 |

定員：130名（申込先着順）

聴講料：会員 20 000円（学生員 7 000円）、会員外 30 000円（一般学生 10 000円）、いずれも教材1冊分代金を含む。

申込み方法：会誌1998年3月号会告148ページの行事申込書に必要事項を記入いただき、代金を添えてお申込み下さい（担当職員 遠藤貴子）。

「次世代半導体プロセス技術の最新情報」

開催日時：1998年11月5日（木） 10：30～16：50

会場：日本機械学会（東京都新宿区信濃町35番地 信濃町煉瓦館5階、電話（03）5360-3501）

趣旨：最近の超LSIデバイスは、大口径化ウエハを適用して微細加工による超高密度化と配線の多層化へと展開し、高機能ロジックやギガビットクラスのメモリデバイスを目指して、研究開発競争が激化している。まさに極限に挑戦する加工プロセスが重要となる。本講習会では、次世代デバイスの実現に際し、キーテクノロジーであるグリーン化技術、シリコンウエハ技術、微細パターンのリソグラフィ技術、平坦化技術、及びデバイス化技術を対象に、次世代半導体プロセスの第一線で活躍する第一人者から将来展望と課題についてやさしく解説してもらう。半導体プロセス関連の技術者や研究者をはじめ半導体産業の動向と将来展望などを調査研究されている方など、多くの方々の参加を期待する。

- | | | |
|--|-----------------------|-------|
| (1) 半導体ウルトラクリーンテクノロジーとクリーンルーム | (株)日立建設設計主任技師 | 中島 登 |
| (2) シリコン結晶の過去、現在、未来 | 信越半導体（株）磯部研究所研究主幹 | 阿部 孝夫 |
| (3) 次世代LSIプロセスにおけるリソグラフィ技術 | 超先端電子技術開発機構（ASET）研究室長 | 東條 徹 |
| (4) 次世代デバイス実現のためのプラナリゼーション・ポリシング/CMP技術 | (株)東芝半導体生産技術推進センター主務 | 小寺 雅子 |
| (5) 次世代デバイス化技術の展望と課題 | 三菱電機（株）ULSI開発研究所技師長 | 出水 清史 |
| (6) 総合討論（司会 埼玉大学 土肥 俊郎） | | |

定員：100名（申込先着順）

聴講料：会員 20 000円（学生員 7 000円）、会員外 30 000円（一般学生 10 000円）、いずれも教材1冊分代金を含む。

申込み方法：会誌1998年3月号会告148ページの行事申込書に必要事項を記入いただき、代金を添えてお申込み下さい（担当職員 遠藤貴子）。

「工作機械高速化の鍵を握る新技術」

開催日時：1998年11月27日（金）（10：30～17：00）

会場：日本精工（株）精機技術センター6F大会議室（群馬県前橋市鳥羽町78、電話027-254-7712）

【JR上越・信越新幹線高崎駅乗換えJR上越線又は両毛線新前橋下車（高崎から2駅目）徒歩約15分、タクシー約4分】

趣旨：工作機械の高速化が一段と進展し、高速化により従来不可能であった高硬度材の加工や磨きレスの加工が可能になりつつある。また、部品加工時間も大幅に改善できる可能性がある。本講習会では、従来技術の改善によってどこまで高速化が可能か、また、新しい機構やアクチュエータの採用によってどこまで高速化が実現できるか、現状の技術と将来動向について、代表的な企業の技術者が解説する。工作機械の設計技術者だけでなく、工作機械ユーザにとっても価値ある情報が得られるものと確信する。なお、本講習会では、日本精工㈱の前橋工場の見学も予定されているので、関心ある皆様の多数のご参加を期待する。

題目・講師：

- | | | |
|-------------------------|--------|-------|
| (1) 転がり軸受による主軸高速化の課題 | 日本精工 | 米山 博樹 |
| (2) 磁気軸受スピンドルの現状と今後の展開 | セイコー精機 | 太田 眞土 |
| (3) ボールねじ送りによる高速化の現状と課題 | 日本精工 | 宮口 和男 |
| (4) リニアモータによる高速・高精度化 | 豊田工機 | 飯田 亘 |
| (5) パラレルメカニズムによる送りの高速化 | オークマ | 中川 昌夫 |
| (6) 見学会（16：00～17：00） | | |

定員：130名（申込先着順）

聴講料：会員 21 000円（学生員 7800円）、会員外 31 000円（一般学生 11 000円）、いずれも教材1冊分代金、昼食を含む。

申込み方法：会誌1998年3月号会告148ページの行事申込書に必要事項を記入いただき、代金を添えてお申込み下さい（担当職員 遠藤貴子）。

Production Engineering

No.16 夏季号 1998年9月10日発行

編集兼 生産加工・工作機械部門

発行者 広報委員会

発行者 日本機械学会
生産加工・工作機械部門

印刷製本 ㈱春恒社