

モノづくりの技術

February 20, 2007

飛躍

No. 32

第6回生産加工・工作機械部門講演会報告

実行委員長 青山藤詞郎

第6回生産加工・工作機械部門講演会が2006年11月24日～25日の二日間にわたり、神奈川県湘南国際村の生産性国際交流センターにおいて開催されました。講演総数は156件で、16のオーガナイズドセッションに分かれて生産加工分野に関する最先端研究や技術開発に関する活発な講演と討論が行われました。200名を超える参加登録者があり、一部の講演室では立ち見が出てしまったことを、お詫び申し上げます。

前期部門長の土屋総二郎様（株）デンソー常務役員に「デンソーにおけるモノづくりと人づくり」と題して、また須藤雅子様（ファナック（株）R&Dソフト部門技師長）には「製造現場における最先端情報」と題して、特別講演をお願い致しました。いずれも、生産現場に密着した大変興味ある話題で、多数の聴講者の出席のもとに開催されました。また会期初日の夕方には、懇親会が開催され、会場において部門賞（部門功績賞、部門技術業績賞、部門研究業績賞、優秀講演論文表彰）の贈賞式が行われました。詳細につきましては、別にご報告させていただきます。

今回の部門講演会は、第3回の開催場所と同じ、湘南の海と富士山を一望できる葉山の高台に位置した施設で開催され

ました。宿泊施設が併設された研修施設で、交通の便等はまだ良くなく、周囲には民間の宿泊施設などがない陸の孤島のロケーションで、参加された皆様にはご不便をおかけすることがあったかと思えます。しかし、このような環境を逆に生かして、昼間の学術講演会につづいて、懇親会後の深夜までのフリートーキングに花が咲き、参加された皆様の間の交流がさらに深められたものと思えます。

生産加工・工作機械部門では、2年ごとに国際会議（LEM21）を開催してまいりました。今年は、国際会議の開催年にあたりますので、部門講演会は開催されません。国際会議の準備も進められており、第4回目にあたる次回は、福岡国際会議場（Fukuoka International Congress Center）において、2007年11月7日～9日の3日間の予定で開催されます。是非、LEM21において多数の発表をお願い申し上げます。

最後になりましたが、第6回部門講演会の開催にあたり、ご尽力頂いた、オーガナイザーの皆様、運営委員ならびに実行委員各位、参加者各位、事務局ほか多くの方々に厚く御礼申し上げます。



トピックス



部門カレンダー

○第6回生産加工・工作機械部門講演会報告

○部門賞受賞者からのメッセージ

部門からのお知らせ

○No.07-14 講習会—生産加工基礎講座—実習で学ぼう「切削加工、びびり振動の基礎知識」

○第4回JSME先端生産技術に関する国際会議
The Fourth International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21)

2007.3.15,16

No.07-14 講習会

—生産加工基礎講座—実習で学ぼう「切削加工、びびり振動の基礎知識」

会場：名古屋大学 ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー（名古屋市中千種区不老町）

<http://www.vbl.nagoya-u.ac.jp/>

2007.11.7～9

第4回JSME先端生産技術に関する国際会議

The 4th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21)

会場：福岡国際会議場

<http://www.2007lem21.jp/>

部門功績賞を授賞して

株式会社デンソー 常務役員
土屋総二郎

この度は、部門功績賞という名誉ある賞をいただき誠に光栄に存じます。大した貢献など何もしておりません私のようなものが、このような賞をいただいて良いものなのかと思いましたが、部門運営委員会で厳正に決めたことなので、ということでしたので大変恐縮しながら今回頂戴させていただいた次第です。

私と機械学会とのつながりは古く、1971年に学生員として入会させていただいた後、現在の会社に入社後も一度も退会することなく、ずっと継続して会員でありました。その間、機械学会には年鑑や論文集、講習会、見学会などでお世話になるばかりで大変感謝しております。私は若い頃から噴射ポンプなどの精密加工製品の加工技術や生産システムの開発を担当しておりまして、特に生産加工や工作機械関係ではいろいろな情報をいただくと共に、業務に役立たせていただきました。

このように機械学会と私の関係は、長年の間産業界における一会員ということでしたが、数年前からは東海支部の役員など学会の運営にも少し関係させて頂くようになり、その後、本生産加工・工作機械部門にも参画させて頂くようになりました。さらに本部門の部門長をやれというお話がありましてどうしたものかと迷いましたが、上にも書きましたように若い頃から大変お世話になった部門でもありましたので、いたらないとは分かりつつもお引き受けし83期の部門長をさせていただきました。

部門長の間は、運営委員の方々にお世話になる一方で何も出来ない間にあっという間に一年が過ぎてしまいました。特に各企画委員会や国際会議実行委員会の皆様の大変な活躍により、いろいろな企画が成功裏に行われましたことに心から感謝しております。

日本経済は1990年代の苦しい時期を乗り越えて、皆様ご承知のように「モノづくり」というキーワードのもとに現在は自信と繁栄を取り戻しつつあります。機械工学はこの「モノ

づくり」の広い範囲にわたる、それらの基礎を支える技術分野であります。その中でも生産工学・工作機械部門は「モノづくり」に直結する分野を担当しており、機械学会の中でも大変重要な役割を担っている部門であると思います。

近年中国、アセアンを中心に経済発展、とりわけ生産力の増大、発展が顕著であります。これらの国々では現在では、まだ労務費の安さなどを武器に戦っていますが、それと同時に若い世代の人々が、旺盛にモノづくりの技術を学んでいます。彼らの意欲と努力を見ていると、近いうちに必ずや良い技術者に育ち、現在の日本のモノづくりのレベルをキャッチアップしてくるであろうと思います。日本にとっても、アジアの国々が力をつけ、自立していくことは望ましいことであり、またその国の発展に貢献していくことは必要なことであります。

しかし、ここで重要なことは日本のモノづくりが現在のレベルで留まっていれば、いずれ必ず彼らアセアン諸国や中国に負けてしまうということです。

「モノづくり」は常に進化し続けていなければなりません。特に生産加工技術や工作機械などは、組立とは異なり製品の高度化や差別化に決定的な意味を持っています。ナノレベルの超高精度加工や微細部品の合理的な製造方法・設備は、新興諸国ではそう簡単に出来るものではありません。

これからのますます高度化、複雑化していく日本の「モノづくり」発展のためには、産・官・学がいかにかうまく連携できるかがキーポイントになってくると思います。その意味で学会活動も、ますます重要になって行きます。

私も全く微力ではございますが、機械学会、そして生産加工・工作機械部門の発展のために、今後ともお役に立てればと思っております。



研究業績賞「ナノスケール機械加工と化学エッチングを併用した 3次元極微細構造形成に関する研究」

富山県工業技術センター
川堰 宣隆

このたび、「ナノスケール機械加工と化学エッチングを併用した3次元極微細構造形成に関する研究」について、社団法人日本機械学会生産加工・工作機械部門の研究業績賞を頂きました。荣誉ある賞を頂きまして、大変光栄に感じております。本研究は、私が富山大学大学院理工学研究科において、博士後期課程在籍中に行ったものであり、ご指導、ご助言を賜りました恩師であります富山大学の森田昇教授に感謝申し上げます。また本研究は、論文の共著者でもある富山大学の山田茂助教授、高野登助手、大山達雄先生、産業技術総合研究所の芦田極氏、東京理科大学の宮本岩男教授、谷口淳講師、釜山大学のJeong Woo Park氏、千葉大学（現：(株)和井田製作所）の柴田浩一氏をはじめとした多くの方々のご指導、ご助言、ご協力により行われたものであります。この場をお借りして、厚くお礼申し上げます。以下に、受賞した研究の内容を簡単に説明させていただきます。

近年、MEMSなどに対する微細加工技術が急速な発展を遂げています。その加工方法は、主にフォトリソグラフィをベースにしたプロセスです。このため、複雑な3次元構造を形成しようとした場合、その形状に多くの制限があります。本研究室では、従来から走査型プローブ顕微鏡の一種である摩擦顕微鏡（FFM）機構を利用したナノスケール機械加工について研究を行ってきました。その実験を行う過程で、ナノスケール機械加工を行った単結晶シリコンをKOH水溶液でエッチング処理すると、加工部がエッチングマスクとして作用することを見出しました。同様に、イオンビームによりナノスケール加工を行った場合でも、この現象が生じます。本研究では、これらの原理を応用して、FFM機構やイオンビームによるナノスケール機械加工と化学エッチングを併用して、両者の特長を生かした高能率な3次元微細構造の形成法を提案・検証するとともに、その加工原理の究明について検討を行いました。

図1は、FFM機構を利用して垂直荷重350 μN で加工後、KOH水溶液でエッチング処理を行い作製した、幅6 μm 、高さ20nmの富山県形状の微細構造です。単結晶シリコンをナノスケール加工すると、表層の数nm～数十nmの領域がアモルファス相へと相転移します。この領域のKOH水溶液に対するエッチングレートが極めて小さくなるため、非加工部

とのエッチングレートの差を利用して、凸状の微細構造を形成することができます。一方、エッチング液としてフッ酸を使用した場合、逆にアモルファス領域のみが選択的にエッチングされ、凹状の微細構造が形成されます。すなわち、本微細構造形成法では、使用するエッチング液の種類によって、凸状、凹状の微細構造を選択することができます。また、研究を進めた結果、このアモルファス領域の厚さや密度は、加工条件によって変化することがわかりました。これを応用することで、加工条件によって加工部のエッチングレートを変化させることができます。

図2は、FFM機構を利用して、加工中に垂直荷重を5段階に変化させて加工後、KOH水溶液でエッチング処理を行い作製した階段状の微細構造です。垂直荷重の増加にともない厚いアモルファス層が形成されるため、加工部のエッチングレートが低下します。その結果、高さが5段階に変化した微細構造を作製することができます。図3は、集束イオンビームを利用して、ドーズ量を連続的に変化させてイオン照射後、フッ酸でエッチング処理を行い作製した、フレネルレンズ型の3次元微細構造です。ドーズ量の増加にともない、厚く、密度の高いアモルファス層が形成されるため、エッチング処理後に深い微細構造が形成されます。これらの原理を応用することで、様々な形状の3次元微細構造を作製することができます。

本微細構造形成法は、フォトリソグラフィのようなマスク作製プロセスを必要とせず、簡素で低コストな微細構造形成が可能です。さらに加工条件変化させることで、3次元微細構造の形成も可能です。これらの加工技術は、様々な分野において3次元微細構造の製造技術として有効な手段となりうると考えています。

今後は、今回頂いた賞を励みにして、社会、学会に貢献できるような研究を行っていきたいと思います。最後になりましたが、受賞に関しまして、生産加工・工作機械部門の関係各位にお礼を申し上げます。

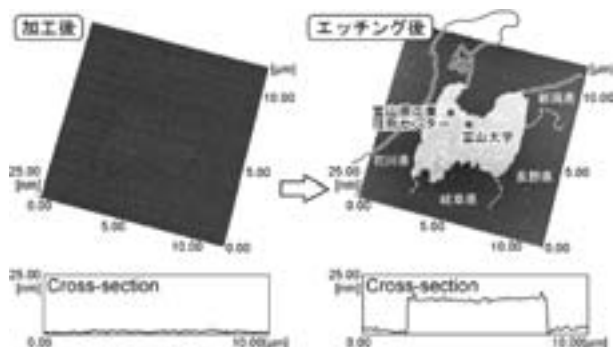


図1 エッチング処理前後の加工部の変化

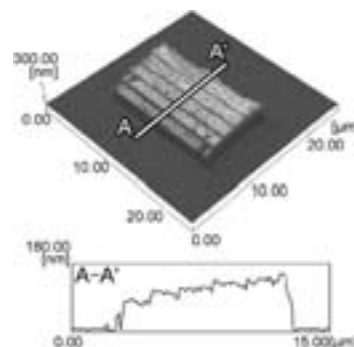


図2 階段状微細構造

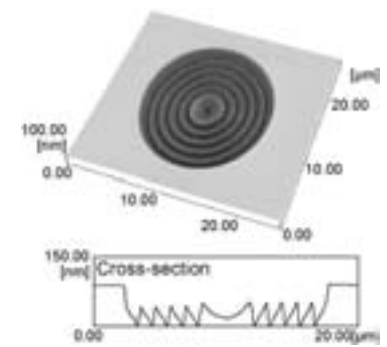


図3 フレネルレンズ型微細構造

技術業績賞「高集中度・電鍍工具製造技術の開発とマイクロ研削用工具への応用」

福岡工業大学工学部教授
仙波 卓弥

2006年11月24日と25日に葉山で開催された第6回生産加工・工作機械部門講演会の席で、「技術業績賞（高集中度・電鍍工具製造技術の開発とマイクロ研削用工具への応用）」を頂きました。先ず始めに、私共の仕事を評価して下さいました関係の諸先生方と、私共を導いて下さいました諸先生方に感謝申し上げます。その上で、評価頂きました仕事の内容について紹介させていただきます。

厳密には「高集中度・極微粒ダイヤモンド電鍍工具」と表現すべきところですが、この極微粒ダイヤモンド電鍍工具というのは、陰極に析出するニッケルの結晶粒で極微粒のダイヤモンド砥粒を固定化した砥石です。したがって、人類が誕生して以来モノづくりの道具として使ってきた砥石とその製造技術、といったオールドテクニックに対して科学技術が進化した今、名誉ある賞を頂くことができたということになります。

1996年、当時（株）牧野フライス製作所常務取締役R&Dセンタ所長でいらした佐藤真先生から、「金型の仕上げ加工に使える、減らない砥石が造れないですかね」というアドバイスを頂きました。このアドバイスが無ければ、あるいは当時の私に少なくとも今の経験があればアドバイスの有無にかかわらず、「減らない砥石を造る」といった無謀な仕事には手を出さなかったように思います。

今も未熟であることに変わりはありませんが、当時は遙かに未熟でしたので、この「減らない砥石」の開発にチャレンジ致しました。未熟ながらも市販の電着工具に対し、工具台金の表面にダイヤモンド砥粒が単層しか固定化されていないにもかかわらず意外と減り難い、という印象を持っておりました。そこで、減り難くしかも工具寿命が長い電着工具を造るため、ダイヤモンド砥粒を厚く電着したダイヤモンド電鍍工具を造るといった研究に着手した次第です。

図1に示したように、極微粒ダイヤモンド電鍍工具を成形

してマイクロ研削用の工具として使うためには、最低でも厚さが3 mm程度の電鍍工具を造る必要があると考えました。また、硬脆材料や高硬度材料に対してマイクロ研削加工を行い、超精密微細と呼ぶにふさわしい加工面を造るためには、集中度、つまり砥粒密度が高い極微粒のダイヤモンド電鍍工具を造る必要があると判断致しました。

そこで、「厚さが3 mm、長さが30 mmの極微粒ダイヤモンド電鍍工具を短時間で造るための工具製造技術を開発する」ことを研究目標に掲げ、1996年以降、継続して工具開発を行って参りました。工具開発を進める中で最も苦心したのは、電鍍工具を短時間で造ることができる高速電鍍技術¹⁾を開発することでした。厚さが3 mmの電鍍工具を4日間で造れるようになったのは2002年のことです。

2003年度以降、極微粒ダイヤモンド電鍍工具の耐欠損性を増すことに研究目標を移行し、アモルファス電鍍技術²⁾やダイヤモンド電鍍工具に対する合金強化技術³⁾の開発を進めました。その結果、2005年になって図2³⁾に示したように、P種超硬合金の抗折力とほぼ同じ比例限度を持つ、極微粒ダイヤモンド電鍍工具が造れるようになりました。大学だから許されたことにはなりますが、10年近く同じ石の上に座り続けたこととなります。

- 1) 仙波卓弥・富田直樹・藤井晋一, 高速・電鍍工具製造技術の開発, 日本機械学会論文集C編, Vol.69, No.679 (2003-3), p.217-223.
- 2) 仙波卓弥・笠 優, 高速・ニッケル/リン合金めっき技術の開発とマイクロ研削用工具への応用, 日本機械学会論文集C編, Vol.70, No.694 (2004-6), p.305-310.
- 3) 仙波卓弥・濱口元基・原田武志, 合金強化形ダイヤモンド電鍍工具の開発, 2005年度砥粒加工学会学術講演会, 講演論文集, D32 (2005), p.325-326.

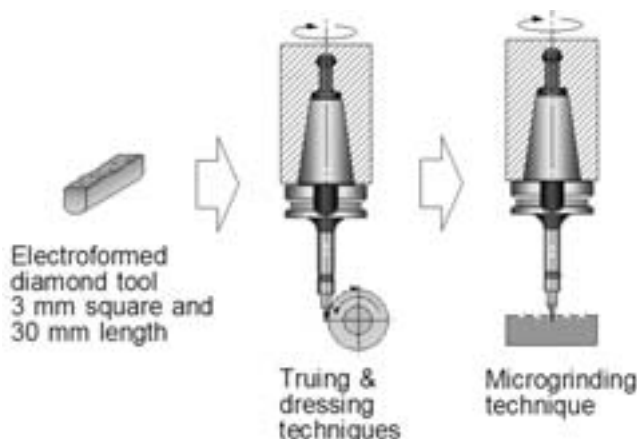


図1 極微粒ダイヤモンド電鍍工具とマイクロ研削加工への応用

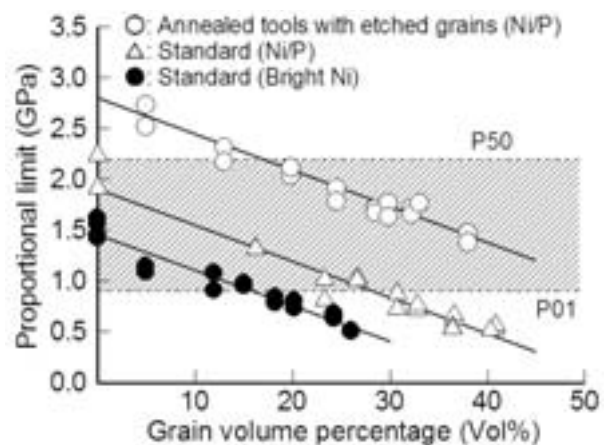


図2 極微粒ダイヤモンド電鍍工具の耐欠損性

優秀講演論文賞「SiC ウェハの高温メカノケミカルポリシング」

東海大学工学部
安永 暢男

2005年度年次大会において発表した「SiC ウェハの高温メカノケミカルポリシング」に対してはからずも優秀講演論文賞が授与されました。ご協力いただきました関係各位に心より感謝申し上げます。またこの度は、本ニュースレターへ受賞対象研究の紹介記事を書かせていただく機会を与えて頂きましたので、僭越ながら研究開発の経緯や研究内容について概要のご紹介をさせていただきます。

近年、産業機器や家電製品・電気自動車用パワーデバイスなどの分野でSiC単結晶基板の利用が広がりつつあります。SiC単結晶のほうが、現在の半導体産業の主流となっているSi単結晶に比べて熱伝導率が高い、電子移動速度が大きいの、高温でも安定して動作する、高電圧にも耐える、など多くの優れた特性を有しているためとされています。デバイスに利用されるSiC単結晶には高平坦・高平滑かつ無歪の超精密ポリシングが必要とされていますが、従来SiC研磨に適用されて来たダイヤモンド砥粒による機械的ポリシングではこれらの要求性能を満たすことは困難で、このダイヤモンドポリシングに替わる新たな超精密ポリシングとして、軟質砥粒によるメカノケミカルポリシング(MCP)が有効と考えられます。SiC単結晶用のMCP砥粒として Cr_2O_3 砥粒が有効であることが既に10数年前に東大の須賀先生から報告され、加工能率、加工精度ともに優れた特性が得られ、十分実用可能なことが確認されています。

こんな状況の中、SiC単結晶の育成から加工、デバイス製造まですべて自社内で賄おうと意気込んで研究開発を始めた某デバイスメーカーの研究者が筆者を訪ねて来られ、SiC単結晶の研磨にMCPを適用したいのだけれど、 Cr_2O_3 に替わる新たな砥粒を開発してもらえないかと要請されました。 Cr_2O_3 は化学的に安定で危険性のない材料であることは承知しているけれど、「クロム」というとどうしても「六価クロム」のイメージが払拭できないので、生産現場では Cr_2O_3 は使えないというわけです。そのような要請を受け、暫く思案して辿り着いたのが「 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 砥粒」でした。 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ については、既にサファイア用MCP砥粒として筆者らが、また Si_3N_4 用MCP砥粒としてはハネウェル社(米)がそれぞれ利用可能であることを見出しており、全く新しいMCP砥粒というわけではなかったのですが、SiC単結晶に対しての適用

例はこれまで報告されていなかったもので、ひょっとすると使えるかもしれないと直感的に思い浮かんだものです。

そんな折に、これもたまたま、今回の共同研究者である(有)チューブシステムの山本氏からダイヤモンドの高エネルギー研磨用の「高温研磨装置」を試作したいとの相談をいただきました。ダイヤモンドの高温研磨についてはやはり10数年前に東工大の吉川先生らが800℃以上に加熱可能な「熱化学加工装置」を開発されていましたが、密閉雰囲気を使うかなり大掛かりな装置でしたので、もっと小型かつ開放雰囲気中で使える装置を作れば実用装置になるのではないかと、というのが山本氏のアイデアでした。その話を聞いた途端に筆者は、もしこのような装置があるならば、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 砥粒によるSiC単結晶のMCPにも十分利用できるのではないかと直感しました。30年以上前にサファイアのMCPを研究していたときに、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 砥粒を使うと500℃程度の高温で加工能率が常温より1桁程度アップするという実験結果を得ていたことを思い出し、ひょっとするとSiC単結晶でも同じような効果が期待できるかもしれないと考えたわけです。MCPでは、高温の加工雰囲気ほど化学反応が促進され加工能率も向上する事が期待されるからです。

そんな経緯を経て山本氏が試作した高温研磨装置が図1です。150mmφの Si_3N_4 ポリシャの直下にヒーターを配し500℃までの加熱が可能な小型・簡易型の研磨装置で、これを用いて高木君(今回の論文筆頭者)やその前の院生山内君(現黒田精工)に実験を頑張ってもらい得られた結果の一つが図2です。 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 砥粒は常温では Cr_2O_3 砥粒にかないませんが、200℃以上の高温雰囲気中では Cr_2O_3 砥粒よりも高い加工能率を示し、 Cr_2O_3 砥粒に替わり得る性能を有することが分かります。今後はさらに詳細な実験データを積み重ねて加工条件の最適化を図る必要があります。また $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 砥粒よりもさらに有効な砥粒の探索や光触媒効果など雰囲気効果についても検討を進めて行く予定です。またSiC単結晶だけでなく、最近ニーズの高まりつつある新しい難加工機能性材料への適用も今後は視野に入れて研究を進めたいと考えています。

末筆ながら、本件に関して何かとお世話になりました生産加工・工作機械部門の関係各位に深甚の謝意を表します。

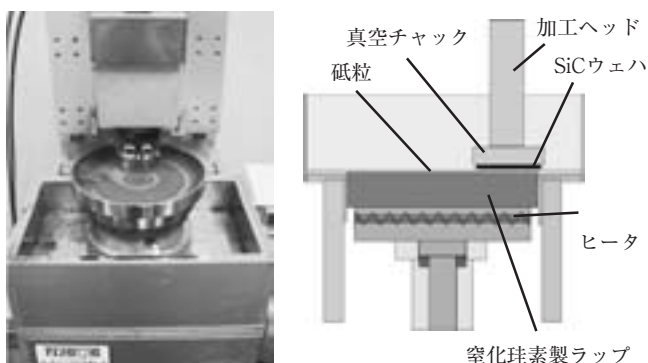


図1 高温研磨装置外観写真(左)と機構図(右)

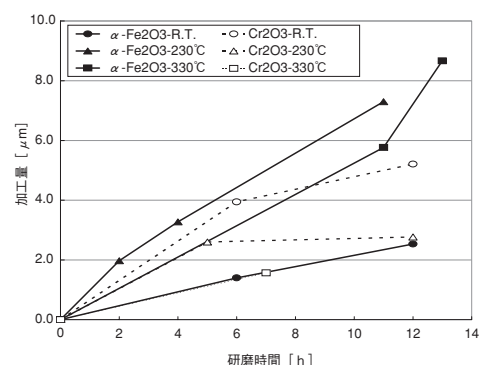


図2 高温研磨実験結果の一例

優秀講演論文賞「磁気援用加工法による円管内面のドリル加工穴の精密バリ取り」

宇都宮大学大学院工学研究科 日本学術振興会外国人特別研究員 鄒 艶華

この度、2005年度日本機械学会年次大会で発表した「磁気援用加工法による円管内面のドリル加工穴の精密バリ取り」に対して優秀講演論文賞を頂きました。このような栄誉をいただきましたことは大変光栄であり、私は日本に来てから8年間経ちますが、この間に全面的にご指導いただきました恩師の進村武男教授に感謝申し上げます。また、私を支えてくださった関係者各位にも深くお礼申し上げます。今回の受賞は私にとって、日本での8年間における様々な困難を乗り越えた努力が報われたものと思ひ、とても嬉しく感謝しております。ここでは受賞対象となりました研究への取り組みとその内容に関して報告させていただきます。

近年、様々な分野で切削や研削工程で生じたバリは色々なトラブルを発生させます。従来からのバリ取り工具の多くは部品の外面には適用できますが、小形部品の内側や細長い円管内面などの閉ざされた狭い箇所が生じたバリの除去には簡単には適用できません。本研究では、この社会ニーズに応えるため、従来から問題となっている内面のバリ取りに対して、新しい磁気バリ取り法の開発に取り組みました。

私は、これまで高能率・高精度加工を実現できる「磁性加工ジグ（永久磁石工具）を用いた磁気援用加工法」を研究しています。従来の磁性粒子のみを利用した場合に比べて数十倍高い加工力が得られ、厚さ10mm以上のステンレス鋼管の内面仕上げが実現できることを明らかにしました。さらに、磁性加工ジグの永久磁石端面に磁性粒子を磁気附着させ、磁性粒子を介して間接的に砥粒に加工作用を与える新しい磁気援用加工法を提案しました。そして、本加工法により、工作物の面精度と形状精度を同時に向上できることも明らかにしました。これら一連の研究成果をベースとして、本加工法が円管内面のドリル加工穴の精密バリ取りにも有効であると考

え、今回の円管内面のドリル加工穴の精密バリ取りに関する研究を行いました。

次に、内面の磁気バリ取りの加工原理について説明します。図1に、磁性加工ジグを用いた内面磁気援用加工法の模式図を示します。工作物の外側に設置した磁極により磁性加工ジグに高い吸引磁力（加工力）と相対運動力を発生させます。磁性加工ジグが磁極の回転運動によって磁極に追従回転し、磁性粒子を介して工作物との間に相対運動を発生します。研磨材スラリーを円管内部に供給し、磁性粒子から間接的に砥粒に加工挙動を与えて、精密仕上げを実現する方法です。図1の拡大図に示すように、ドリル加工により発生した円管内面のバリが磁性加工ジグ表面の磁性粒子の隙間に入り込み、バリは磁性粒子に押さえつけられながら曲げ加工を受けてバリの根元から除去されます。この点が、従来の磁性粒子利用法の加工機構と異なっています。



図2と図3に、円管内面のドリル加工穴の精密バリ取り実験の結果を示します。SUS304 ステンレス鋼管の外側から3mm径のドリルで穴明け加工しました。高さ163μmのバリが15分間の磁気バリ取り加工により、高さを1μmに減少させることができ、ドリル加工穴の精密バリ取りが実現できることを明らかにできました。今後は加工のメカニズムの解明と実用化を進めていきたいと考えています。

最後になりましたが、受賞に関しまして、生産加工・工作機械部門の先生方に厚くお礼申し上げます。

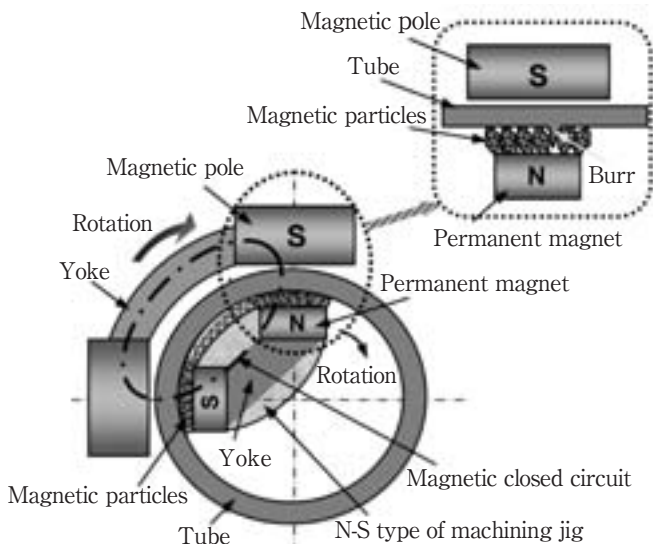


図1. ドリル加工穴の磁気バリ取り法の模式図

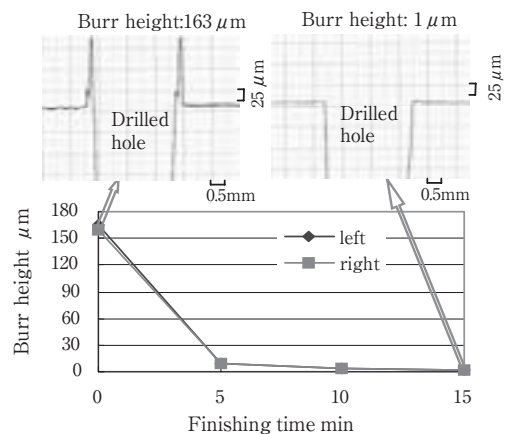


図2. バリ高さとのバリ取り時間の関係

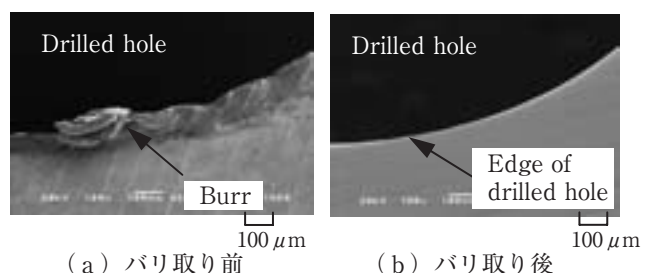


図3. ドリル加工穴の磁気バリ取りの加工前後のSEM写真

優秀講演論文賞「レジスト表面に対するAFM先端スタイラス形状の影響」

東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻
劉 淑杰, 長澤 秀一, 高橋 哲, 高増 潔

日本機械学会2005年度年次大会で発表した「レジスト表面に対するAFM先端スタイラス形状の影響」が生産加工・工作機械部門の優秀講演論文賞として表彰されました。このような栄誉を頂きましたことは大変光栄であり、研究を支えてくれた研究室のメンバーをはじめ、関係者に厚く御礼申し上げます。

近年、半導体産業分野において、微細形状のダウンサイジング化が急激に進んでいます。微細形状は通常半導体ウエハ上で、薄膜作製とエッチングの繰り返しで作製されています。ICチップの製作工程中レジストを塗布したウエハ上に、パターンマスクを通して光を照射することで、パターンを作っている露光工程があります。現状では露光エリアにおけるレジスト表面の凹凸の差は、最大で数十nmとなっていますが、この程度の凹凸でも露光時に影響し、パターンングが大きく変わってしまう恐れがあるため、レジスト表面の形状測定が強く望まれています。

図1は、先端直径10nm程度のAFMスタイラスを、0.5 μ Nの力でレジスト表面に押し込んだ際に形成された圧痕です。レジスト表面がAFMスタイラスの接触により、塑性変形する恐れがあることがわかります。そのため、AFMスタイラスの形状、力とそれを押し込んだ時に発生するレジスト表面の変形との関係を、解明することが重要となります。

そこで本研究では、AFM探針先端形状と荷重に対するレジスト表面変形を調べ、レジスト表面形状を高精度に計測するための条件を検討することを研究の目的としました。まず、理論的アプローチとして有限要素シミュレーションによる解析を行い、レジスト表面におよぼすAFMスタイラス形状の影響を調べました。

図2は、先端直径20nmのAFMスタイラスを、1.5nm押し込んだときの解析結果です。左図は最大押し込み時、右図は除荷過程後の、応力分布および変形状態を示したものです。最大押し込み時には、レジストの降伏応力600MPaを超える

750MPa以上の応力が生じ、その結果、除荷過程後に塑性変形量に相当する圧痕が確認されます。これからシミュレーションにおいても、AFMスタイラスによりレジスト表面が塑性変形する事が確認されました。

図3は、先端直径10nm, 20nm, 50nm, 100nmの4種類のAFMスタイラスにおいて、最大反力（押し込み力）と塑性変形量の関係を示したものです。先端直径10nmでは1 nN以下の押し込み量において、塑性変形が確認されましたが、先端直径100nmでは、10nNの押し込み力においても、塑性変形がほとんど生じず、先端直径の変化により、大きく塑性変形量が異なることがわかりました。これらの結果は、弾性限界内における反力、変位量を与えるHertzの式からの算出値と矛盾しないものでした。

以上のように、機械的接触を伴うAFMにより、レジスト表面形状を高精度に測定する条件を確立するために、有限要素シミュレーション解析による検討を行いました。AFMスタイラスを想定した押し込みシミュレーションの結果、測定力によってはレジストに塑性変形を生じさせてしまうこと、また、その特性は、先端直径により大きく異なることが確認されました。AFMによりレジスト表面形状を高精度に測定するためには、直径の大きなスタイラスが必要なことがわかりました。図4はレジスト表面を高速に測定するために、開発しているマルチボールカンチレバーAFMの概念図です。このような測定装置の開発により、所望の横分解能、測定時間を満たして、表面を傷つけない測定システムが開発できると考えています。

最後になりましたが、受賞に関しまして、生産加工・工作機械部門の関係各位に御礼申し上げます。

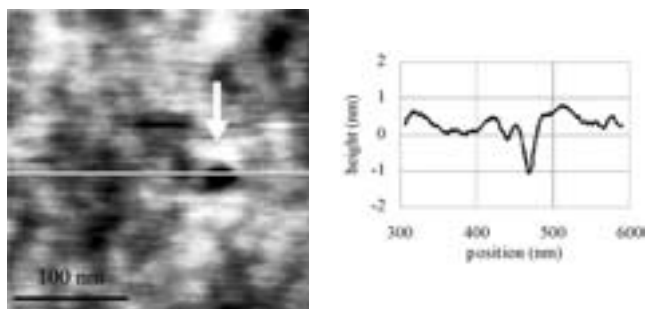


図1. AFMスタイラスによるレジスト表面の傷

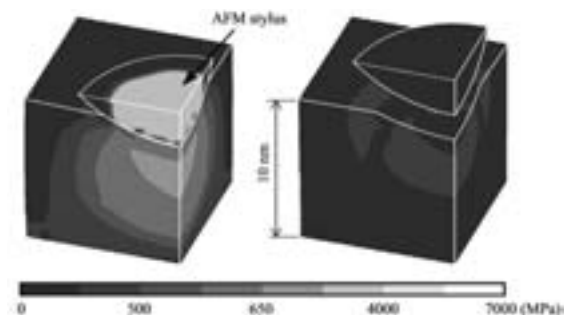


図2. シミュレーションによるレジスト表面の応力と変形

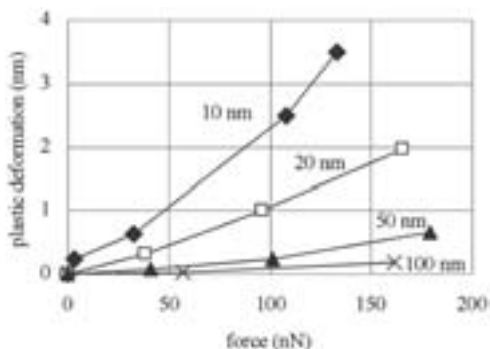


図3. AFMスタイラスの直径と塑性変形の関係

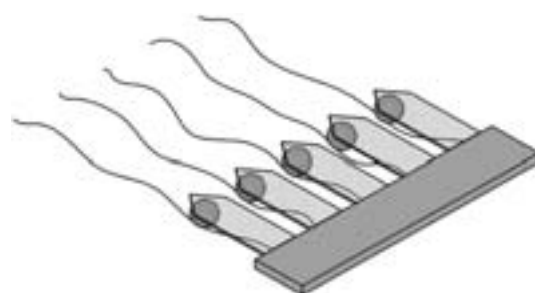


図4. マルチボールカンチレバーAFMの概念図

優秀講演論文賞「工作機械案内面のロストモーション特性とそのモデル化」

大阪機工株式会社 技術本部 技術開発部
柴原 豪紀

このたび、2005年度日本機械学会年次大会にて講演発表いたしました「工作機械案内面のロストモーション特性とそのモデル化」に対して優秀講演論文賞を頂きました。企業で研究・開発に従事しているものが、このような賞を頂けると思ひもよらず、大変光栄に存じております。本研究の遂行に当たって多大なご助言を頂きました大阪機工株式会社常務取締役幸田盛堂技術本部長に心より感謝申し上げます。また、研究に協力して頂きました技術開発部研究グループの皆様へ感謝申し上げます。ここでは、研究に至った背景と研究内容について少し触れさせていただきます。

弊社における立形マシニングセンタの主要機種は、すべり案内面を採用しており、その出荷台数は主力のVMシリーズで累計5,000台を越えています。送り速度の高速化にともないリニアガイドの採用が増加するなかで、すべり案内面を採用した弊社製マシニングセンタに依然として大きな需要があるのも、切削加工機であるマシニングセンタにおいては、まだまだすべり案内面に利点があるからと考えられます。そのような視点にたつて、すべり案内面をより有効に活用しようと考えたときに、すべり案内面の特性、特に加工精度・加工品位に影響を及ぼすロストモーション特性の精度補償を行うことを考え、その前段としてモデル化を行いました。

ロストモーション量は、正方向および負方向から位置決めしたときの平均値の差として定義され、すべり案内面においては、案内面の潤滑状態の変化から移動距離や送り速度によって変化することが知られています。この潤滑状態の変化の指標としてテーブルの浮上り量に着目して実験を行いました。浮上り量は、テーブル上面に設置したセラミック製直定規の垂直方向変位を静電容量型変位計で測定しました。図1は最大ロストモーション量（測定範囲内の最大値）からのロストモーションの減少量 Δlm と浮上り量 h の関係を示しており、両者の関係は近似式(1)で表されます。

$$\Delta lm = 1.6h^{0.5} \quad (1)$$

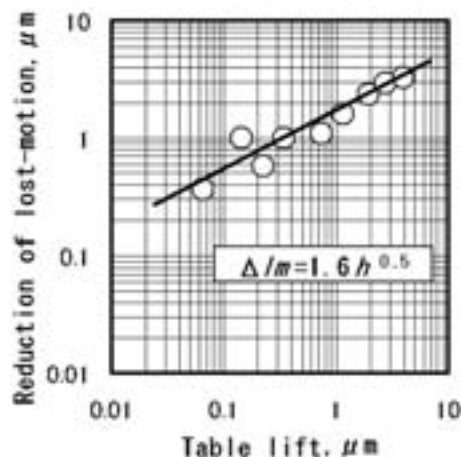


図1. ロストモーション減少量と浮上り量の関係

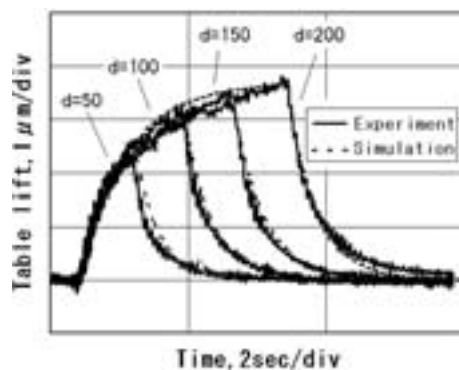


図2. 浮上り量の測定結果とシミュレーション

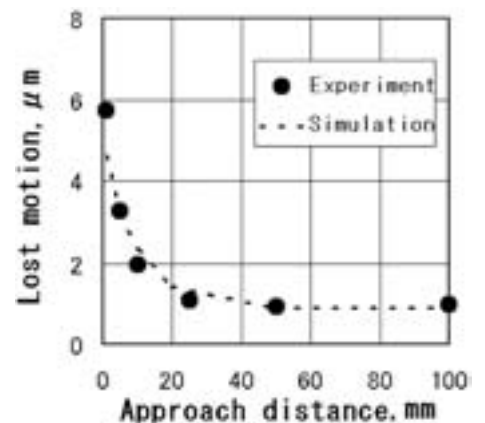


図3. 移動距離とロストモーションの関係

また、浮上り量 h と送り速度 v の関係は近似式(2)で表されます。

$$h = 0.0004(v - 349) \quad (2)$$

式(2)は送り速度349mm/minから浮上りを生じ、それ以下の速度では浮上らないことを意味しています。

これよりロストモーション量 lm は式(3)で表されます。

$$lm = lm_0 - 1.6h^{0.5} \quad (3)$$

ここで lm_0 は最大ロストモーション量を示す。

次に浮上り量の過渡特性について検討を行いました。移動距離 $d = 50 \sim 200$ mmの範囲で4000mm/minの送り速度をステップ状に与えた場合の浮上り量を図2に示します。移動距離が長く移動時間が大きくなるほど、浮上り量は増加する結果となっています。また、式(1)を考慮すると移動距離が長く移動時間が大きくなるほどロストモーション量は減少することになります。図2には浮上り量の増加過程を時定数0.65sec、減少過程を0.35secの一次遅れ系で近似したシミュレーション結果を測定結果と併記していますが、浮上り特性をよく表せています。この結果から、モデルの簡素化を考慮して浮上りの過渡特性を一次遅れ系で近似でき、式(2)で求めた浮上り量の一次遅れを計算し、最終的に式(3)からロストモーション量が推定可能となります。

図3は送り速度5,000mm/minで移動距離によるロストモーション量の測定結果と、式(2)、(3)を用いてロストモーション量を推定した結果を併記していますが、ロストモーション量の変化がよく表せているのがわかります。今後は、本手法を利用した精度補償法の実現に向けて研究を続けたいと考えております。

最後になりましたが、生産加工・工作機械部門の関係各位に受賞の御礼を申し上げます。

優秀講演論文賞受賞の御礼と当該研究のご紹介

大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻

石田 徹



この度、2005年9月19日（月）～22日（木）に電気通信大学にて開催された2005年度日本機械学会年次大会において講演いたしました「曲がり穴放電加工用管内走行機構の小型化」に対し、優秀講演論文賞をいただきました。このような榮譽に浴することができ、たいへん光榮に存じますとともに、共著者であり、ご指導ご助言いただきました師匠の大阪大学教授竹内芳美先生、本研究を精力的に推進してもらいました竹内研究室修士課程2年の中嶋大氏（現、サントリー（株））と近畿職業能力開発大学の北正彦氏に深く感謝申し上げます。加えて、本研究の遂行に陰日なたからご支援していただきました関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。この紙面上にて、受賞対象となりました講演論文の内容をご紹介する機会を与えていただきましたので、簡単ではございますが、以下に説明させていただきます。

現在、実用化されている除去加工法を利用して形成できる穴形状の中心軸は、加工法の一般的な適用方法を利用する限り、直線あるいはそれに近い形状しか実現できません。このような現状によって引き起こされる典型的な問題として、油空圧機器の作動流体供給管や金型の冷却管といった管路の配置問題があります。この問題は、一般にこれらの管路がドリル加工で形成されるため、中心軸形状が直線状の穴で構成せざるを得ず、自由に管路を配置できないというものです。この問題を解決するためには、中心軸形状が曲線状の穴すなわち曲がり穴の加工法を開発すればよいことになります。

このような加工を実現するため、図1に示すような長距離曲がり穴加工システムを構想しています。本システムは管内走行装置と方向制御装置から構成されていますので、両装置を並列に開発してきましたが、直径約20mmの曲がり穴を加工する仕様となっており、加工可能な曲がり穴を小径化するために装置自体の小型化が求められていました。そこで本研究では、直径約10mmの曲がり穴加工に対応できるように管内走行装置の小型化を行いました。

図2(a)に小型化する前の管内走行装置を示します。中心構造体として、段付軸と自在継手を交互に連結したものを

採用しています。その周囲には、両端に軸受が2個ずつ固定された板ばねが120°等配で、また、その前端には、直径19.0mmの球形をした電極が取り付けられています。図2(b)に小型化した管内走行装置を示します。この電極の直径は10.0mmとなっています。図2(a)と(b)は縮尺が同じであることから、管内走行装置の直径がほぼ半減していることがわかれると思います。小型化前後の装置の構造は基本的に同じですが、板ばねと軸受接合部を一体化したり、軸受の数を減少させることによって、機構を簡略化しつつも機能は維持したまま小型化を図っています。

小型化した管内走行装置が、曲がり穴内部において安定な放電加工および穴加工を実現できるかを調べるため、基礎的な加工実験を行いました。図3に実験装置を示します。図3(a)に示すように、擬似的な曲がり穴を製作し、それを被加工物の側面に固定したうえで、主軸に取り付けた小型化管内走行装置を擬似曲がり穴に挿入し、この状態から通常の方法と同様に放電加工を開始しました。擬似曲がり穴は、図3(b)に示すような曲線溝を加工したアクリル平板を2枚組み合わせて形成してあります。図3(c)に実際の実験装置を示します。実験の結果、小型化した管内走行装置においても安定した放電加工が実現され、かつ、穴加工が可能であることがわかりました。

今後は、管内走行装置のさらなる小型化、本研究で扱った管内走行装置と同じ機能を有しながらも構造の違う装置の開発とそれを利用することによる加工可能な曲がり穴の超小径化、方向制御機構の小型化と長距離曲がり穴加工システムの実現を目指す予定です。

最後に、この受賞の件でお世話になりました生産加工・工作機械部門の関係各位に心から深く感謝申し上げます。

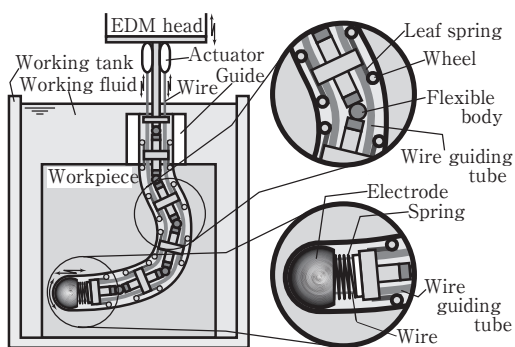


図1. 長距離曲がり穴加工システムの概念図

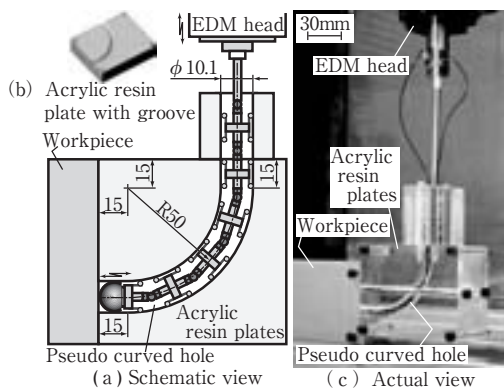


図3. 基礎加工実験に使用した装置

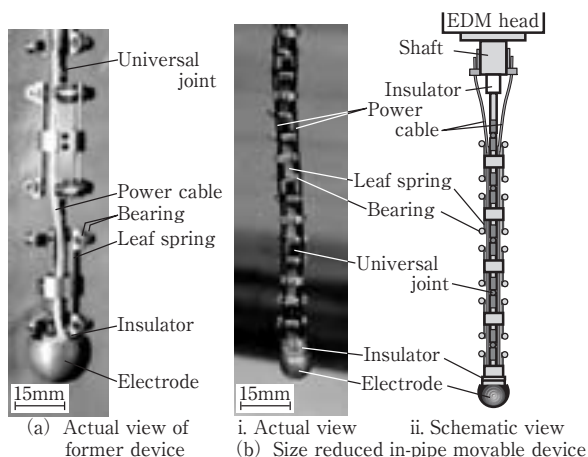


図2. 小型化前後の管内走行装置の比較

部門からのお知らせ

No.07-14 講習会

—生産加工基礎講座— 実習で学ぼう「切削加工，びびり振動の基礎知識」
(生産加工・工作機械部門 日本機械学会 東海支部 合同企画)

(協賛 精密工学会 東海支部)

開催日 2007年3月15日(木)，16日(金)
会場 名古屋大学 ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー4階
セミナー室〔名古屋市千種区不老町，電話(052)789-2500，名古屋市地下鉄名城線(4号線)「名古屋大学」
駅下車徒歩5分または東山線「本山」駅下車徒歩20分〕
(案内図：<http://www.vbl.nagoya-u.ac.jp/>の「アクセス」
をご参照ください)

趣 旨

切削加工は生産技術の中で最も重要な位置を占めるにもかかわらず，その基礎的な切削機構，特に実用的な3次元切削の機構については誤解が多く，これを学ぶ適切な機会がないのが実状です。また，生産現場においてしばしば問題となるびびり振動についても，切削加工と機械振動という異なる分野の知識が必要であることから，正しい理解を持つ技術者は少ないようです。本講習会では，こうした実用的な切削の機構と工作機械の振動問題について，第一線の講師陣による座学と実習を通して参加者に十分な理解と基礎力を身に付けていただくことをねらいとしています。受講対象としては，一般の生産技術者，工作機械や工具の設計開発技術者等を考えています。多数の皆様の参加をお待ち申し上げます。

題目・講師

「切削機構を理解しよう」

3月15日(木) 10:30～12:00 講習，
13:00～14:30 実習

まず，2次元切削におけるすくい角，摩擦角，刃先丸みの影響などについて，さらに傾斜切削における傾斜角の影響などについて概説します。その後，実用的な旋削加工とエンドミル加工について解説します。実習においては，講義で理解した上述の影響や加工プロセスを実際に体験し，理解を深めます。

名古屋大学 大学院工学研究科 教授 社本英二

名古屋大学 大学院工学研究科 講師 樋野 励

「機械の動剛性を測定しよう」

3月15日(木) 15:00～17:00 講習
3月16日(金) 10:00～11:30 実習

一般に，機械にとって動剛性は最も重要な性能の一つです。切削加工においても，機械構造の動剛性が低いほどびびり振動の問題が発生しやすく，このために加工能率や加工精度が低下したり，加工不能になることもあります。ここでは，こ

のように機械の振動問題に深く関わる動剛性の代表的測定方法として，インパルス応答法の基礎理論と実的な知識について学習，体得します。

名古屋大学 大学院工学研究科 講師 樋野 励

名古屋大学 大学院工学研究科 助手 鈴木教和

「再生型びびり振動を理解しよう」

3月16日(金) 12:30～15:00 講習，
15:30～17:00 実習

まず各種びびり振動の分類について簡単に説明し，その中で問題となることの多い再生型びびり振動について理解を深めます。従来，エンドミル加工時の再生型びびり振動のメカニズムを理論的に理解することは極めて難解でしたが，近年比較的容易に理解できることが分かってきています。ここでは，基礎的な旋削加工とより汎用的なエンドミル加工の際に生じる再生型びびり振動の基礎を，理論とシミュレーション，実体験に基づいて習得します。

名古屋大学 大学院工学研究科 教授 社本英二

名古屋大学 大学院工学研究科 助手 鈴木教和

定 員 12名，申込み先着順により満員になり次第締切ります。

聴講料 会員 46 000円，会員外 69 000円，学生員 20 000円，
一般学生 30 000円
教材1冊分含む。開催日の10日前までに聴講料が着金するようにお申込み下さい。
なお，上記講習料には傷害保険料が含まれています。教材のみの販売はいたしません。

申込方法 申込者1名につき，行事申込書(<http://www.jsme.or.jp/gyosan0.htm>)に必要事項を記入いただくか，(<http://www.jsme.or.jp/kousyu2.htm>)からお申込み下さい。

申込に関する問合せ先

生産加工・工作機械部門 担当職員 田中 克
電話 (03) 5360-3500 / FAX (03) 5360-3508 /
E-mail tanaka@jsme.or.jp

内容に関する問合せ先

名古屋大学大学院工学研究科 鈴木教和
電話 (052) 789-4491 / FAX (052) 789-3107 /
E-mail nsuzuki@mech.nagoya-u.ac.jp

The Fourth International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21)

第4回JSME先端生産技術に関する国際会議
(生産加工・工作機械部門/生産システム部門 合同企画)

開催日 2007年11月6日(火)～9日(金)(6日は登録とレセプションのみ)

会場 福岡国際会議場(福岡市)

目的 社会の情報化の進展, 安全・安心な社会の実現, 地球環境保護の重視, 製品の製造拠点の推移とコストの低減などに伴って, 「ものづくり」の基礎である生産・加工分野においてもその変化に対応した新しい視点での生産・加工技術, デジタルエンジニアリング, 製品のライフサイクル設計, などのイノベーションが要求されている. そのような中で, この国際会議で様々な技術情報や知恵を出し合って, 技術的・経営的・科学的な総合的な面から次世代のものづくりの方向性を議論することは意義深いと思われる.

ものづくりに関わる多方面の技術者, 経営者, 研究者の参加・講演発表をお待ちしております.

トピックス

会議には, 以下の先進的な技術分野が含まれます.

- ① 切削加工, 研削加工, 研磨技術(工具・ツーリング, 先端材料・難削材の加工, 高速加工など)
- ② 物理・化学的加工(レーザ応用加工, EDM, 電子/イオンビーム加工など)
- ③ 超精密加工・計測評価
- ④ ナノ・マイクロ加工・計測評価
- ⑤ 環境適応型加工
- ⑥ ラピッドプロトタイプング
- ⑦ 金型製造技術
- ⑧ 最新工作機械(複合加工, 多軸加工), 機械要素
- ⑨ 超精密位置決め, 制御技術
- ⑩ マイクロマシン(MEMS)
- ⑪ 生産システム技術(CAD・CAM, デジタルエンジニアリングなど)
- ⑫ 次世代生産システム(スケジューリング, CAPP, ライフサイクルエンジニアリングなど)
- ⑬ その他, 生産加工に関連する技術

公用語

会議の公用語は英語

発表申込

当会議名を標記し, A4一枚に, ①表題, ②発表者氏名, 所属(③勤務先名・所在地, ④電話・FAX番号, ⑤E-mailアドレス), および⑥400語の概要(研究目的, 結論, 意義,

過去の研究との比較, キーワードなど), ⑦発表希望分野名または分野番号を, 全て英語で記載し, pdfファイルにて下記3箇所に同時にお申し込みください。(交信ミス防止のための措置ですので必ず3箇所に送信願います.)

lem21.jsme@gmail.com

プログラム委員会 水垣善夫 九州工業大学
lem21-jsme@fit.ac.jp

九州委員長 仙波卓弥 福岡工業大学
onikura@mech.kyushu-u.ac.jp

実行委員長 鬼鞍宏猷 九州大学

締切日

講演概要締切: 2007年3月31日

仮採択通知(概要): 2007年4月30日

原稿締切(Camera-ready): 2007年5月31日

採択通知(Camera-ready): 2007年7月9日

校了原稿締切: 2007年8月6日

概要の採択通知と一緒に原稿の書き方を連絡いたします. 原稿は, 4頁または6頁です.

参加登録・登録料

登録料は, 50,000円/人(2007年8月6日まで), 学生20,000円/人です. この中には, プロシーディング代, 懇親会(バンケット)費が含まれます. 詳しくは, 下記のホームページにてお知らせいたします.

問合せ

詳細は下記へお問い合わせください.

実行委員長

鬼鞍 宏猷

E-mail: onikura@mech.kyushu-u.ac.jp

九州大学工学研究院知能機械システム部門

(〒819-0395 福岡市西区元岡744)

プログラム委員長

水垣 善夫

E-mail: mizugaki@mech.kyutech.ac.jp

九州工業大学工学部機械知能工学科

(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

ホームページ

本会議に関する情報はURL(<http://www.2007lem21.jp>)をご覧ください. 逐次情報を更新いたします.

編集後記

生産加工・工作機械部門ニュースレターNo.32をお送りします. 巻頭では部門長の青山藤詞郎先生に, 第6回部門講演会開催の報告をご執筆いただきました. また, 部門賞を受賞された皆様からのメッセージを掲載させていただきました. ご執筆いただいた皆様にはあらためてお礼を申し上げます. 部門からのお知らせでは部門に関連する行事を記しましたが, LEM21についてのご案内は今後URLで随時更新いたしますので, 是非ご参照ください. 多数の皆様の参加をお待ちしております.

なお, 広報委員会ではニュースレター, Webページ(<http://www.jsme.or.jp/mmt/>)の一層の充実を図るべく, 皆様からのご意見, ご感想をお待ちしております. 部門広報委員会(mmt-koho@jsme.or.jp)までお寄せください.

委員長: 浅川直紀(金沢大学), 幹事: 大淵慶史(熊本大学), 委員: 藤田武男(山口大学), 堀尾健一郎(埼玉大学), 清水保雄(信州大学)

Manufacturing&Machine Tool

No.32 冬季号 2007年2月20日発行
編集 生産加工・工作機械部門・広報委員会

発行者 (社)日本機械学会 生産加工・工作機械部門
印刷製本 (株)春恒社

未知への 挑戦。

めざしているのは、夢のあるモノづくり。
ジャパノクオリティをプライドに、ジェイテクトは、
未知への挑戦を続けます。
人と社会と環境の未来のために。

匠の技術で挑む、創りだす未来。



ステアリング
事業

ハブドライブシャフト
モジュール



駆動
事業



JAPAN QUALITY 匠



超低トルクターバーローラーベアリング



軸受
事業

CBN円筒研削盤



超精密自由曲面加工機



工作機械・
メカトロ事業

JTEKT

www.jtekt.co.jp

2006.12.11. 名古屋本社は「ミッドランドスクエア」に移転いたしました。

株式会社ジェイテクト

名古屋本社 / 〒450-8515 愛知県名古屋市中村区名駅4丁目7番1号 ミッドランドスクエア15階 tel. 052-527-1900
大阪本社 / 〒542-8502 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 tel. 06-6271-8451