

ものづくりの技術

September 2017

デジタル変革

No. 52

部門長就任の挨拶

第95期部門長就任にあたって

株式会社 IHI 北出 真太郎

松村前部門長の後を引き継ぎ、第95期の部門長を拝命しました北出です。IoTやAIなど、ICTの高度化と活用が加速的に進む中で、「ものづくりを科学する」当部門の活動も大きく進展していく時勢と考えます。加えて生産加工・工作機械分野は、個別の学術分野だけでなく様々な物理現象、技術要素の複合・融合であり、機械技術分野の横糸的な存在です。このような状況を踏まえ、今期も更なる発展を目指して参りますので、皆様のご指導、ご鞭撻をお願い申し上げます。

最近のデジタル技術の進展には目を見張るものがあります。私が学生の時代には、高価なA/Dボードを8bit CPU コンピュータに挿入し、マシン語でプログラムを書いて計測システムを構成しました。あれから30年（正直に世代を

トピックス

○第95期部門長就任にあたって

北出 真太郎（株式会社 IHI）

○行事カレンダー

○技術レポート

「スムーズな段取りを実現する i セットアップ」

笠原 忠(株式会社牧野フライス製作所)

○部門講習会・セミナー開催報告

○部門優秀講演論文賞

「エンドミル加工における工作機械駆動系の挙動と切削力の時間領域連成シミュレーション」

「推定切削力を応用した不等ピッチターニングによるびり振動抑制」

「リアルタイム熱変位補正技術の開発」

○部門からのお知らせ LEM21 開催案内

明かします)、あらゆるものがネットワークにつながる IoT の時代が始まっています。2010年代を牽引してきた技術をSMACと言うことがあるそうです。Social, Mobile, Analytics, Cloudです。今後10年間は、これらにIoT, Machine Intelligence, Digitalization が加わり、更に5Gネットワークでつながることで社会全体が変化していくと言われてい



このような時代に、「ものづくりの技術」はどのように変わっていくのでしょうか。ソフトウェアの時代とは言え、ハードウェア無しの世界はあり得ません（映画マトリックスのハードウェアとシステムも誰かが作ったはずです！）。そして、ソフトウェアとハードウェアの境目が曖昧になっていく、両者が融合していくと想定できます。マーケットと「ものづくり」の時間・距離が限りなく短くなり、後発性の利益が最大限に活かされて新興国との競争が激化し、従来の優位性に安住はできません。属人的であったりノウハウの蓄積であったりしがちな「ものづくりの技術」も、デジタル技術により知識化、構造化、オープン化、高度化が一気に進んでいくのではないのでしょうか。

生産加工・工作機械部門は強固な産学連携のもと、地に足がついた「ものづくり」を支えていきました。上述のような潮流の中でも、大きな役割を果たしていくと確信しています。2015年の国際会議 Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21, 於京都市サテライトパーク) においては、193件の講演と311名の参加をいただきました。2016年の部門講演会（於名古屋大学）は講演120件、参加257名でした。機械学会年次大会でも基調講演とオーガナイズドセッションを開催しています。これらの講演の多くはデジタル技術をフルに活用して「ものづくりを科学」するも

カレンダー

期日	主催	名称	場所
2017年10月19日	日本機械学会 生産加工・工作機械部門	講習会「新しく発行された5軸マシンングセンタ精度試験規格」	DMG 森精機株式会社 名古屋本社 2F 会議室
2017年11月13日～17日	日本機械学会 生産加工・工作機械部門	The 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21)	広島国際会議場
2017年11月24日	日本機械学会 生産加工・工作機械部門	講習会「歯車加工の基礎と応用 — 自動車生産を支える歯車加工の最新技術—」	東京電機大学 東京千住アネックス

*日本機械学会 生産加工・工作機械部門が主催する講習会等の詳しい情報は、開催日の約1ヵ月前を目途に、部門のホームページ (<http://www.jsme.or.jp/mmt>) に掲載します。そちらもご参照ください。

のであり、物理現象や工学に根ざした IoT を先取りしているとも言えます。観察、計測、モデリング、シミュレーション、制御などの何れもが高度なデジタル技術を駆使しているのです。2017 年は広島国際会議場で LEM21 を開催します (11 月 13 日～17 日)。多くの皆様のご参加と活発な議論をお願いいたします。大学研究機関の皆様、産業界の皆様の更なる連携が進むと楽しみにしております。

足元の活動方針については、松村前部門長の活動方針を踏襲して参ります。(1)部門活性化、(2)部門活動の見える化、(3)部門活動の国際化です。まず部門活性化については、先に述べた国際会議 LEM21、部門講演会、機械学会年次大会を核として、講習会やセミナーも推進します。それらの内容については運営委員会で議論を重ね、当部門ならではの企画に仕上げていきます。2016 年度は 4 回の講習会を開催し、合計で 200 名超の参加をいただきました。産学双方の皆様が情報発信・収集、議論、連携する場として活用い

ただければ幸いです。

部門活動の見える化については、当ニューズレターやメール配信、共催行事などを活用していきます。当部門のホームページもご利用ください (google でのキーワードは、”JSME MMT” で大丈夫です)。国際化については継続的な取り組みが重要です。LEM21 の実績を積み重ねると共に、海外での情報発信と情報収集が活性化できればと考えます。輸外型産業の雄である、工作機械関連業界の皆様のグローバルな視点もお寄せいただきたく思います。

当部門の活動の歴史は 26 年です (委員会時代を含めると 40 年)。日本のものづくりの発展を支えてきた諸先輩に改めて敬意を表するとともに、これからのデジタル変革時代に挑んでいく部門でありたいと思います。今後とも、皆様のご参加、ご支援、ご指導をよろしくお願い申し上げます。

技術レポート

スムーズな段取りを実現する i セットアップ

株式会社牧野フライス製作所 笠原 忠

1. はじめに

近年の金型加工において短納期の要求はますます高まっており、金型加工の高能率が求められている。高能率化のためには、機械加工の時間短縮だけでは不十分であり、金型加工に関係する全工程にわたるリードタイムの短縮が必要である。本稿では金型加工に特有のワークの段取り作業に焦点をあてる。

2. 段取り時間の短縮

段取り時間がかかるのは 1 品ごとに形状が異なる金型ワークに対し、下記 2 つ作業を確実に行う必要があるためである。

- ①インジケータなどで通り出しや必要な測定を行う
- ②制御装置にテーブル上の状態を認識させる

①に対しては熟練したスキルを必要とせず、短時間で測定できる仕組みが必要であった。最新の制御装置プロフェッショナル 6 において段取り機能として開発された「i セットアップ」がそれを可能としている。測定プローブを主軸に持った状態で、オペレータが測定したいワークに対し、ジョグ送り操作で直接的にスタイラスを当てることによってワークの通りやワーク原点を測定するインターフェースである。

測定のために時間のかかるプログラム作成やワークの概略寸法などの数値入力は一切不要となる。操作盤下部に取り付けられた「j パネル」で軸動作、測定動作を行う (図 1)。

このパネルはブラインドタッチを可能とし、オペレータの意識を加工室に集中させることができる。安全に早く操作、段取りを行うため、測定プローブの Z が高い位置では速く、ワークの高さに近づくとゆっくり操作できるよう配慮されている。操作中に表示される i セットアップ画面は、段取りに必要な複雑な測定パターンもワンタッチで指令できるようになっている。測定内容と結果は一画面で見やすく、説明書が不要で直感的な操作と理解を可能としている (図 2)。



図 1 j パネル



図 2 i セットアップ画面

i セットアップは②の作業を自動的に行う特長を持つ。標準搭載されたリアルタイム干渉防止機能「コリジョンセーフガード」(図 3) はテーブル上の状態を正しく認識しなければ効果がない。

i セットアップの測定結果はコリジョンセーフガードと連携しているため、手入力不要でワークの位置や傾きといったテーブル上の状態をコリジョンセーフガードに反映させる

ことができる (図 4)。

3. まとめ

金型加工において、短納期の要求に応えるため段取り機能



図 3 コリジョンセーフガード画面

「i セットアップ」を開発した。引き続き、より簡単で早く安全な操作を可能とする機能開発を推進していく所存である。

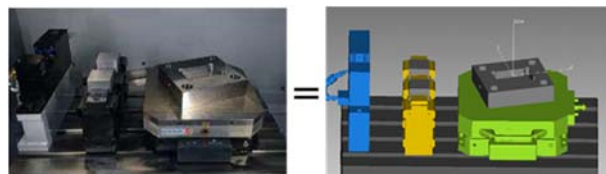


図 4 テーブル上とコリジョンセーフガードのモデル位置関係

部門講習会・セミナー開催報告

No. 17-41 講習会

『パワーデバイス用基板製造・加工技術の基礎と応用 —自動車への搭載に向けた技術動向—』開催報告

熊本大学 久保田 章亀

2017年6月9日(金)に生産加工・工作機械部門企画の講習会「パワーデバイス用基板製造・加工技術の基礎と応用—自動車への搭載に向けた技術動向—」を東京電機大学 東京千住アネックスにて開催しました。企業、大学の技術者・研究者 40名の聴講者にご参加いただき、盛況に開催できました。

現在、電力損失をより小さくできる SiC (炭化ケイ素) や GaN (窒化ガリウム) が次世代パワーデバイス用材料として注目されています。特に、環境対応車であるハイブリッド自動車 (HV)、電気自動車 (EV)、燃料電池自動車 (FCV) へ SiC や GaN 製のパワーデバイスが搭載されれば、各種モータ駆動や電力変換回路の小型化かつ高能率化が実現でき、自動車システムの大幅な小型化、軽量化、燃費改善が期待できます。しかしながら、次世代パワーデバイスが自動車に搭載されるためには、高信頼性、安全性、低コスト化が課題になっており、そのなかでも、ウエハの製造・加工における低コスト化と高品質化が強く求められています。

本講習会では、自動車用パワーデバイスの現状を踏まえながら、パワーデバイス用ウエハの製造・加工方法、加工装置の実用例を各分野でご活躍の講師の方々に講演いただきました。

午前、自動車用パワーデバイスの現状について、「環境対応車向けパワーデバイスの現状と次世代パワーデバイスへの取り組み」と題して、トヨタ自動車株式会社 戸田敬二氏に基調講演をいただきました。現行の第4世代のハイブリッド自動車プリウスやPHVシステム車の構成を紹介いただくとともに、SiC パワー半導体を搭載した公道での

実証評価についても解説いただきました。パワーコントロールユニットのサイズ 1/5、燃費 10 パーセント向上を実現した SiC デバイスを搭載した次世代環境車を 2020 年頃には本格普及させる目標で開発が進んでいることも紹介いただきました (図 1)。

続いて、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 加藤智久氏より「大面積 SiC ウエハの製造と加工」について解説いただきました。パワーエレクトロニクスの必要性、各種 SiC 結晶成長法の特徴について説明いただくだけでなく、6 インチや 8 インチサイズの大口径 SiC ウエハ加工における現状とその研究開発の必要性について、国プロにおける各種加工 (ワイヤーカット、機械研磨、研削、研磨) の研究成果をふまえて詳しく解説いただきました。

午後は、各分野で活躍されている企業の方を講師にお招きし、講演いただきました。最初は、株式会社岡本工作機械製作所 伊東 利洋氏より「パワーデバイス用基板の超精密研削・研磨装置とその加工実例」と題して、SiC、GaN ウエハの研削、研磨機による加工精度、加工能率についてのご提供いただきました。加工コスト低減に向けた加工工程の簡素化を装置、加工資材、加工条件などを総合的に考えて行うことが重要であることを知ることができました。

続いて、株式会社ディスコ 平田 和也氏より、「SiC 単結晶の超高速レーザースライス技術」と題して、従来にないレーザー加工によるインゴットスライス手法「KABRA」プロセスについて解説いただきました。レーザー照射にて SiC をシリコンとカーボンに分離させることで、照射点から面状に剥離の基点となる層を形成するという手法により、従来の

ダイヤモンドワイヤソーによる切断に比べ、大幅に短縮できることから生産性の劇的な向上が期待されます。

次に、株式会社サイコックス 河原 孝光氏より「イオン注入剥離法と表面活性化接合法の融合による貼り合せ SiC 基板：低コスト化とパワーデバイスへの適応」と題し、イオン注入剥離法と貼り合わせ技術についてわかりやすく解説いただきました。この貼り合わせ技術で作製された SiC ショットキーダイオードの IV 特性が、単結晶 SiC 基板上に作製した IV 特性とほぼ同等であることから、デバイスの大幅な低コスト化が期待されます。

次に、株式会社ミズホ 永橋 潤司氏より、「SiC/GaN 用超精密研削・研磨工具」と題し、ファインセラミックス、SiC や GaN 用の研削用に開発された複合砥粒砥石 SH 砥石による SiC や GaN の加工特性について、数多くの加工事例をもとに紹介いただきました。



図1 トヨタ自動車 戸田敬二氏による講演

最後に、東邦エンジニアリング株式会社 鈴木 辰俊氏より「CARE 法（触媒基準エッチング法）による SiC/GaN 基板の平坦化」と題し、大学で開発された化学的加工法 CARE 法の実用化に向けた取り組みについて紹介いただきました。フッ酸から水に溶媒を変更することによって、安全かつ低コスト化を図りながら、実用化を目指す産学での取り組みが印象的でした。

全体を通じて、聴講の皆様が講演中は熱心に耳を傾け、メモを取るなど真剣に取り組まれている様子（図2）が伺えました。また、各講演後の質疑応答や、講演会終了後に行われた技術質問会では、多くの活発な議論がなされ、技術の深堀だけでなく、人脈づくりも行うことができました。講習会の開催にあたり、関係者の方々には多大なご協力をいただきました。ここに改めて厚く御礼申し上げます。



図2 参加者の様子

部門共催企画の報告

東京大学第90回五月祭企画「Techno Factory」 (生産加工・工作機械部門 企画)

東京大学 平能 敦雄

機械系の学科ではどのようなことが学べるのかと同時に、エンジンなどの動作原理も紹介した。

特にスターリングエンジン展示では実際に動いているものを演示し、子どもも大人もその迫力に驚いている様子が見られた。

(2) 研究室展示

機械工学科、機械情報工学科の研究室に協力していただき、研究室の紹介や実演を行った。機械工学や情報工学の分野でどのような研究がされているのか、それらの研究がどのように役立っているかをパネルや実機を利用して紹介した。

(3) 体験型企画

2017年度はバスタブリッジ、歩行ロボット、サンドブラスト、製図・コンセプトスケッチ、電子部品を使ったアクセサリの5つを実施した。どの企画も非常に人気があり、定員がすぐに埋まった。自分の手を動かしてモノを作る経験は、来場者にとっても貴重な体験だったようである。

(4) 学生展示

学生が五月祭に向けて作った作品の展示のほか、ライントレースの体験を実施した。これらは五月祭に向けて学生が一から作品を作るもので、来場者のみならず、学生自身にとってもものづくりを自力で行う機会となった。

1. 日時

平成29年5月20日(土) 9:00~18:00

平成29年5月21日(日) 9:00~17:00

2. 会場

東京大学本郷キャンパス工学部2号館

3. 実施報告

「Techno Factory」では、学生が日頃学んだことを生かして作品を制作する学生展示や、来場者の方々に機械工学にまつわる物を作ってもらい体験してもらおう体験型企画などを実施した(図1)。特に本企画では来場者の方々に機械工学に関わることを体験していただくことで、身のまわりでよく見られる物には機械工学が深く関わっているということを伝えるだけでなく、小さな子どもでも楽しめるものを取り入れることで、小さい頃から興味をもってもらうということを目指した(図2)。

来場者に任意で回答していただいたアンケートでも、幅広い年齢層が満足するものが提供できたことが窺えた。以下に企画内容の概要を紹介する。

(1) 学生授業展示

東京大学工学部機械工学科・機械情報工学科の授業で学生が製作した作品を展示・実演した。具体的には、スターリングエンジン、ロボットやゲームの展示・実演を行った。

(5) その他企画・取り組み

展示会場の入り口に歯車のモニュメントを設置した。これは振り子の原理を利用し、歯車を回転させることに成功した。この他にも、クイズラリーや案内図の設置をし、来



図1 体験企画の風景

場者が広く会場を回ってもらい、多くの機械工学に触れられるよう工夫した。

最後に、ご協力いただきました全ての皆様に深謝申し上げます。



図2 展示に見入る来場者

部門優秀講演論文賞

エンドミル加工における
工作機械駆動系の挙動と切削力の時間領域連成シミュレーション

神戸大学大学院工学研究科機械工学専攻

野口 晋, 佐藤 隆太, 白瀬 敬一

数値制御工作機械による切削加工，とくにエンドミルによる加工では，断続切削による切削力の変動が加振力となって工作機械の主軸および送り駆動系に外乱として作用し，主軸回転速度や送り速度を変動させます．その変動は，切削速度や切取り厚さを変動させ，切削力に影響を及ぼすこととなります．よって，加工中の工作機械の挙動や切削力の変動を考えるためには，工作機械駆動系の挙動と切削力との関係を考慮する必要があります．

そこで本研究では，加工中に生じる様々な現象の解明に寄与することを目的として，工作機械駆動系の挙動と切削力との連成シミュレーション技術を開発しました．その概要を図1に示します．

開発された連成シミュレーション技術は，各軸を駆動する送り駆動系のモデル，主軸を回す主軸駆動系のモデル，そして工具と工作物との相対位置および工具切刃の位相角とから切削力を計算する切削力モデルとからなります．送り駆動系モデルによって計算される変位および送り速度と，主軸駆動系モデルによって計算される工具回転角度および回転数を切削力モデルに入力し，切削力モデルで各軸方向の切削力と切削トルクとを計算します．計算された各軸方向の切削力は，各軸の送り駆動系モデルに対する外乱力としてフィードバックされ，切削トルクは主軸駆動系モデルに対する外乱トルクとしてフィードバックされます．その結果，送り速度や主軸回転数が変動し，それが切削力モデルで計算される切削力に反映されます．この計算を微小な計算周期毎に行うことで，駆動系の挙動と切削力との連成シミュレーションを実現しました．本研究では，計算周期を0.1 msとして連成シミュレーションを行いました．

送り駆動系のモデルは，ボールねじを用いた送り駆動機構を2自由度系として表現した振動モデルと制御系のモデ

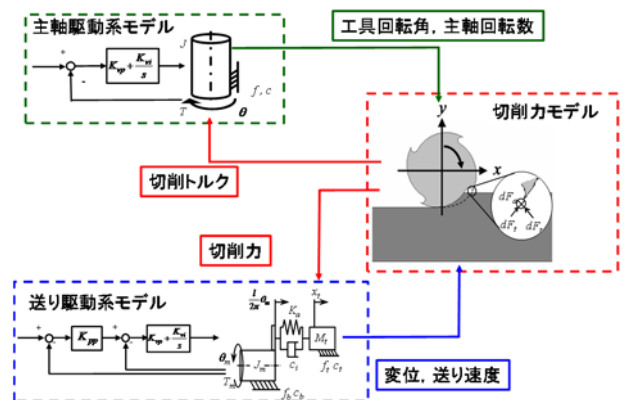


図1 連成シミュレーション技術の概要

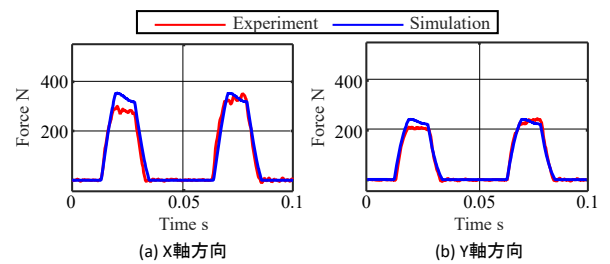


図2 切削力

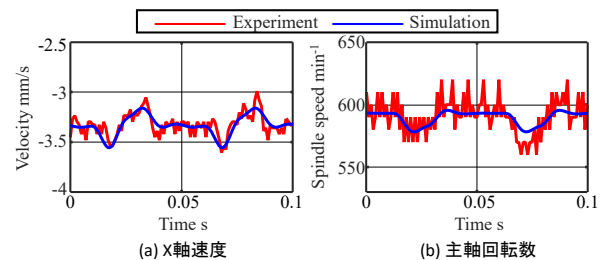


図3 駆動系の挙動

ルとからなり、主軸駆動系のモデルは、主軸ロータを1自由度系として表現した力学モデルに制御系のモデルを組み合わせたものとしました。実際には工具系の振動特性や機械構造の振動特性も加工中の挙動に影響を及ぼすことがわかっており、それらについても今後の研究にいて検討を進める予定です。

直径 10 mm のスクエアエンドミルを用いて、送り速度 200 mm/min で X 軸方向に外周刃加工を行ったときの切削力、X 軸速度、および主軸回転数の測定結果とシミュレーション結果を図 2 と図 3 に示します。このとき、軸方向切込み量を 8 mm、半径方向切込み量を 0.4 mm とし、主軸回転数を 600rpm とし、下向き削りで加工を行っています。切削力は水晶圧電式の切削動力計を使って測定し、X 軸速度および主軸回転数は、数値制御装置に対応したモニタリングソフトウェアを用いて、制御装置内部の情報を読み出して記録しています。

図からわかるように、速度や回転数の波形にみられる細かい変動成分を除いて、開発した連成シミュレーション技

術によって、切削力と駆動系の挙動の両方を的確にシミュレーションで表現できていることがわかります。

本研究成果は、2016 年 11 月に名古屋大学で開催された第 11 回生産加工・工作機械部門講演会で発表され、優秀講演論文表彰を受賞いたしました。身に余る光栄であり、ご関係の皆様へ深く感謝申し上げます。また、本研究は科学研究費補助金 基盤研究(C)15K05724 および基盤研究(B)26289018 により行われた研究の一部であるほか、実験に使用した工作機械は、MTTRF (Machine Tool Technologies Research Foundation) から貸与されたものであり、ご関係の皆様へ深く感謝申し上げます。

紹介させて頂いた連成シミュレーション技術については、現在も継続的に研究を進めており、切削力の計算にボクセルモデルを用いて工作機械の構造振動も考慮した連成シミュレーションを行うことで、びびり振動の表現にも成功しております。それらの結果についても追って報告させて頂く予定でありますので、今後ともご指導の程よろしくお願い申し上げます。

部門優秀講演論文賞

推定切削力を応用した不等ピッチターニングによるびびり振動抑制

慶應義塾大学大学院 門田 崇志 山田 雄基
 中村留精密工業株式会社 中西 賢一
 株式会社ピーマック・ジャパン 橋 純司
 東京工業大学 吉岡 勇人
 名古屋大学 鈴木 教和
 慶應義塾大学 柿沼 康弘

複雑形状部品の高効率かつ高精度な加工に対する要求を背景に、工作機械の多軸化、複合化が進められてきました。例えば、マルチタレット型の複合加工機では、二つの工具を用いて同時加工するパラレルターニングが可能で、生産効率の向上が図られてきました。一方で、パラレルターニングは、単一工具による旋削加工と比べ、加工プロセスが複雑になるばかりでなく、再生効果によるびびり振動が生じやすくなります。一般的なびびり振動の対策としては、モデルベースの事前予測による回避手法を施すのが主流です。Prof. Budak らは、回転軸方向のタレット-工具間のモデル化に基づき、パラレルターニングにおける安定限界線図の導出方法を提案しており、その有効性を明らかにしています。一方、モデルベースの事前予測はパラメータの同定精度に依存するため、加工時に生じるパラメータ変動により回避できないことも少なくありません。そのため、事前予測のアプローチに加えて、より確実にプロセスの安定化を図るためにはインプロセスでびびり振動を回避・抑制する手法も必要です。

そこで、本研究では、能動的なびびり振動抑制実現のために、びびり振動周波数と主軸回転数から工具間の最適ピッチ角差を算出し、そのピッチ角差で加工を行う不等ピッチターニング法を提案しました。また、びびり振動周波数

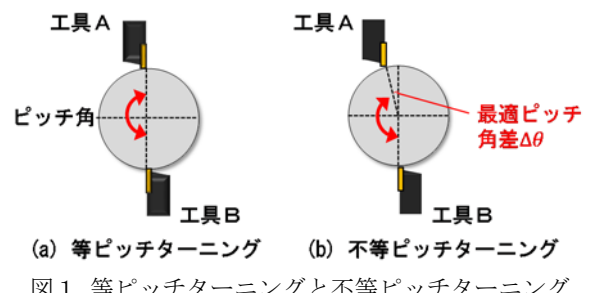


図 2 工作物表面の違い

は、加工機の制御系内に実装した切削力オブザーバにより常時監視します。つまり、付加的なセンサを用いることなく、工作機械自らが状態を認識し、それに応じてプロセス安定化する知的加工法です。

提案した不等ピッチターニングについてももう少し内容を紹介したいと思います。二つの工具を用いて上下から加工するパラレルターニングを行う場合、工具間の角度であるピッチ角を設定できます。このとき、工具を 180° 対称に配置せずに、ピッチ角を工作物半径方向にずらして行う加工を不等ピッチターニングと呼びます(図1)。このピッチ角を、振動周波数および主軸の回転速度から適切に選択することで、再生効果を打ち消すことを試みたわけです。パラレルターニングでは単一工具を用いた旋削とは異なり、工具Aによる動的な切削面積は工具Bによる前加工面が影響し、工具Bによる動的な切削面積は工具Aによる前加工面が影響します。それぞれの工具による前加工面の位相差が π の整数倍となるようにピッチ角差を設定すれば、再生効果を打ち消すことができるというわけです。

提案した不等ピッチターニングの有効性を評価するために、切削力オブザーバを実装したマルチタレット型複合加工機を用いて、長尺工作物に対して等ピッチ加工と不等ピッチ加工を行い、びびり振動の抑制性能を評価しました。

等ピッチ加工と提案した不等ピッチ加工を行った場合のびびり振動の時間-周波数解析を行ったところ、等ピッチ加工の場合、加工開始直後からびびり振動が発生し、その周波数は加工位置に応じて大きくシフトすることがわかりました。一方で、最適ピッチ角差により不等ピッチ加工を行った場合、等ピッチ加工中に発生したびびり振動は発生せずに、安定した加工を実現できていることがわかりました。図2に示す工作物表面の写真をみても、等ピッチ加工の場合、びびり振動による特徴的な斜めの縞模様ははっきりと見られるのに対して、不等ピッチ加工の場合、良好な加工面が得られています。以上の実験結果から、提案手法は、加工中にびびり周波数がシフトした場合にも、その状況に応じてインプロセスでびびり振動の発達を抑制でき、実用的に優れていることが実証されました。今後は、より複雑な複合加工法に関するプロセス制御技術に展開し、工作機械の知能化を進めていく計画です。

最後になりましたが、大変栄誉ある優秀講演論文賞を頂き、生産加工・工作機械部門の関係各位に心より感謝申し上げます。また、本研究は内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)革新的設計生産技術のプログラムの一環で行ったものであり、ここに謝意を表します。

部門優秀講演論文賞

リアルタイム熱変位補正技術の開発

株式会社ジェイテクト 桜井 康匡, 岩井 英樹, 佐々木 雄二, 平野 稔

工作機械において、「熱変位」は工具とワークの相対変位が発生し、寸法精度を悪化させる大きな要因の一つです。設置環境の温度変化や機械の発熱により、構造体に不均一な温度分布と、それによる熱応力が発生し、構造体および案内面が変形することが、その原因として挙げられます。特にコラムやベッドのような大型の構造体は、熱源からの熱伝導および周囲からの熱伝達による温度差を発生しやすく、寸法の大きさに比例して変形量も大きくなる傾向があります。この変形によって発生する工具とワークの相対変位(図1)をリアルタイムで高精度に推定し、加工点を補正することができれば、寸法精度の安定化につながり、生産性の向上が期待できます。本研究ではこのような構造体の熱変形を推定して工具位置を補正し、加工精度を安定化する技術の開発に取り組みました。

まず、構造体の温度をリアルタイムに測定し、加工点における熱変位を推定するため、多変量解析やニューラルネットワークによる推定を試みました。しかし、これらの手法は、推定手法の構築に利用した温度以外の予期せぬ温度分布に対しては、良好な精度を得ることはできません。そこで、構造体の形状や剛性等の物理的な特性を反映した推定が可能である有限要素法の適用を考えました。

有限要素法によりマイクロメートルオーダの精度で横形マシニングセンタの構造解析を行うには、コラム、ベッ

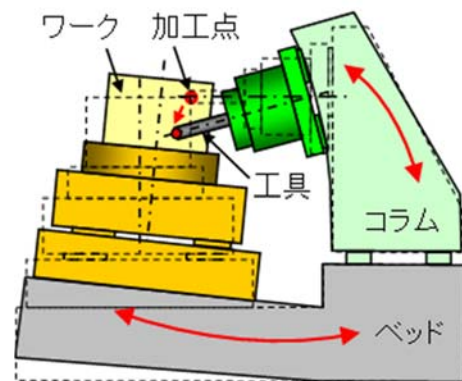


図1 マシニングセンタ熱変位の模式図

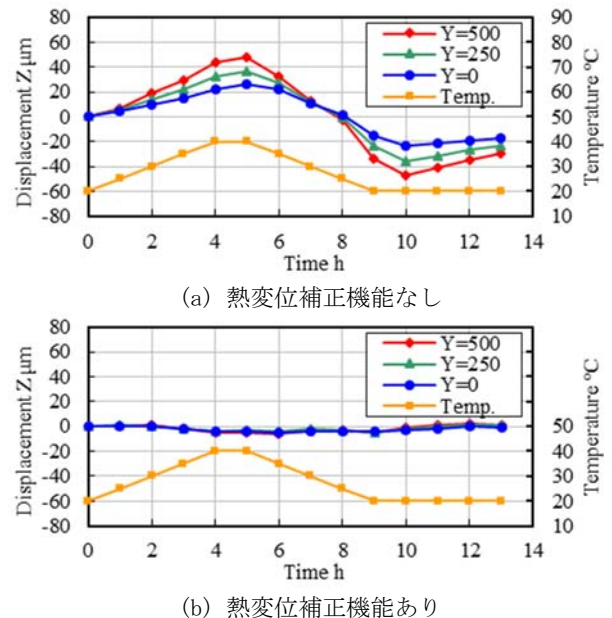
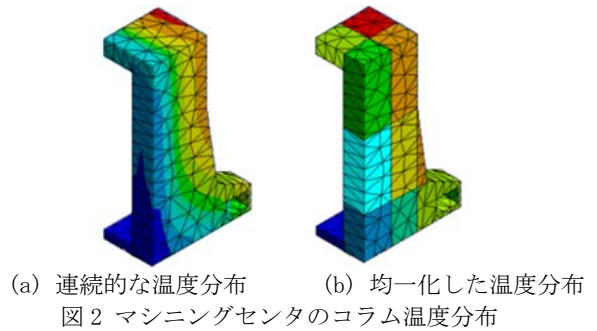
ド、周辺部品を合わせ、数万におよぶ節点が必要となります。しかし、このような多数の節点による、膨大な計算量を必要とする推定手法を工作機械のCNCに搭載し、リアルタイムに加工中の熱変位を推定することは困難です。また、有限要素法では全ての節点に対する温度情報が必要であり、工作機械に現実的に搭載可能な温度計の数に対して大きな乖離があります。そこで、有限要素法のメリットである形状による剛性の特性を維持したまま、少ない温度情報で熱変形を計算できる手法を考案しました。

開発した手法の特徴ですが、①通常では実施しない、時

間にかかる剛性マトリクスの逆行列の演算を事前に実施すること。②有限要素法のモデルを温度が均一な領域に分割し、測定した温度を定義すること(図2)。③コラムやベッドの案内面のような、加工点に寄与する位置にある節点のみを抽出し、変形を演算すること。以上の3点が挙げられます。これらの処理により、工作機械のCNCに搭載できない、数万×数万のマトリクスによる大規模な行列の演算を、数十×数十程度のマトリクスによる、小規模な演算にまで縮小することができました。一連の過程において、構造体の剛性を含む特性は、事前の行列の演算の中で失われることなく維持されることが大きな特徴です。これら①～③の処理により、工作機械のCNCに搭載しても1s以内の短時間で、リアルタイムに温度データから熱変位を推定できるロジックを構築することができました。

横形マシニングセンタの加工による検証では、室温が20℃変動する環境下で、加工点の熱変位を90%以上低減できました(図3)。本技術を工作機械に搭載することで、機械の長時間の使用においても安定した加工精度を確保でき、生産現場における作業者の負担軽減が期待できます。さらに、精度安定化のための空調の使用を抑えることにもつながるため、省エネにも貢献できる技術であると考えております。

最後になりましたが、本研究の優秀講演論文賞の受賞を大変光栄に思うとともに、生産加工・工作機械部門の関係各位に深く感謝申し上げます。



優秀講演論文賞として上記3編の他に、以下の論文も受賞しました。

水谷 雄大, 糸魚川 文広, 社本 英二, 中村 隆: 鋼の超音波振動切削におけるダイヤモンド工具の摩耗抑制機構に関する研究 -ダイヤモンド工具の摩耗に及ぼす真空度の影響-, 第11回生産加工・工作機械部門講演会, 2016

部門からのお知らせ

No.17-204

The 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21)
第9回JSME 先端生産技術に関する国際会議

開催日 2017年11月13日(月)～17日(金)
会場 広島国際会議場(広島市中区中島町1-5, 平和記念公園内)
協賛 日本機械学会中国四国支部, 公益財団法人工作機械技術振興財団, 公益財団法人精密測定技術振興財団, 公益財団法人マザック財団, 広島大学 革新的ものづくり研究拠点および研究大学強化促進事業, NSK メカトロニクス技術高度化財団, 三豊科学技術振興協会(一部予定)
目的 生産加工・工作機械部門と生産システム部門が共同企画として開催いたします先端生産技術に関する国際会議は、1997年にスタートして以来20年、第9回を数えることとなります。最新の

研究成果を国内外に発信し、国際平和都市広島で研究者交流を推進していただきたいと願っております。オーガナイザ各位のご協力のおかげで、以下のオーガナイズドセッションにおいて156件の研究発表が行われる予定です。

Advanced machine tool, Mechatronics and control technology	Nano/Micro measurement and intelligent instruments
Evaluation of machine tool performance	Environmentally conscious machining
Multi-axis control and Multi-tasking machining	Monitoring and control of machining process
Advanced machining technologies	Rapid prototyping technologies and additive manufacturing
Analytical advancement of machining process	Digital design and digital manufacturing (CAD/CAM)
Ultra-precision machining	Nano/Micro machining, Advanced manufacturing technologies
Grinding technology, New developments in abrasive finishing	Non-traditional machining
Electrical machining	Surface and tribology
Laser processing	Machine and mechanical elements
M4 processes	Manufacturing systems, supply chain and scheduling

プログラム (予定)

11月13日 (第一日) ウェルカムレセプション

11月14日 (第二日) 午前: 開会挨拶

基調講演 安達範久氏 (マツダ (株) 技術本部本部長)

「Mazda Monotsukuri Innovation」

基調講演 京極秀樹氏 (近畿大学工学部 教授)

「The research status and development trend of metal additive manufacturing technology」

午後: 一般講演

11月15日 (第三日) 午前: 基調講演 Prof. Kevin Chou (University of Louisville)

「Overview of ASME's Manufacturing Engineering Division, Manufacturing USA Program, and Metal Additive Manufacturing Research at UofL」

午後: 一般講演

懇親会 (ANA クラウンプラザホテル広島)

11月16日 (第四日) 午前・午後とも: 一般講演

11月17日 (最終日) 工場見学 (マツダ株式会社, IHI 株式会社)



安達 範久 氏



京極 秀樹 教授



Prof. Kevin Chou

参加登録・登録料

2017年8月15日以降 60,000円（正員）、65,000円（会員外）

この中には、プロシーディング代・懇親会参加費が含まれます。また、2件以上発表される場合には、2件目以降、別途各10,000円が必要となります。学生の場合、25,000円（学生員）、35,000円（一般学生）です。なお、追加のプロシーディングについては10,000円（正員）、15,000円（会員外）を申し受けます。



問合せ先 LEM21 実行委員会 lem21@ml.hiroshima-u.ac.jp

実行委員長 山田啓司

編集後記

生産加工・工作機械ニュースレターNo. 52をお届けします。北出部門長のもと、新しい運営委員会の体制がスタートしました。夏の号では例年、部門優秀講演論文賞を受賞された論文の紹介を、著者自身に書いていただいています。産・学での最新の研究の一端を読んでいただければ幸いです。2017年11月に広島で開催される、第9回 LEM21 も近づいてきました。多くの方々のご参加をお願いいたします。

広報・出版委員長：笹原 弘之（東京農工大）、幹事：茨木 創一（広島大学）、岩崎 孝行（(株) IHI）

Manufacturing & Machine Tool

No. 52 秋季号 2017年9月8日発行

編集 生産加工・工作機械部門・広報・出版委員会

発行者 一般社団法人 日本機械学会 生産加工・工作機械部門