

総論

JIMTOF2018に見る 機械要素の最新技術トレンド

東京大学 杉田 直彦*

*すぎた なおひこ：大学院 工学研究科 教授

はじめに

19世紀に熟練工が一品一様で生産していた形態は、20世紀に入り大量生産へと移っていった。その後、生産様式は大量生産から多品種少量生産となり、21世紀に入った今、マス・カスタマイゼーションへと移りつつある。生産ラインも専用の生産ラインからフレキシブル生産ライン、再構成可能生産ラインへと変化しつつあり、プッシュ型の生産からプル型の生産へと戻りつつある。ユーザーは、欲しいものを欲しいときに手に入れる時代であり、ユーザーごとのカスタマイズも要求される。このような時代の中で、加工機械に機械要素からの大きな変革が必要とされるタイミングとなっている。本稿では、第4次産業革命が提唱され、サイバー（Cyber）-フィジカル（Physical）システムが浸透しつつある中で、第29回日本国際工作機械見本市（JIMTOF2018）から透けて見える機械要素および工作機械の最新技術の方向性を紐解いていきたい。

歯車加工機、大型加工機に着目する

この第4次産業革命時代は、マス・カスタマイゼーション時代でもあり、グローバル競争が激化している。各企業は、消費者ニーズの多様化に着目し、それぞれのユーザーにカスタマイズした高

付加価値製品を製造する必要がある。その意味で、まず、歯車加工機および大型加工機に注目した。

1. 歯車研削盤

電気自動車が普及してエンジンの生産量が減少しても、歯車はなくなるといわれている。しかも、将来的に自動車メーカーは、現在の2倍の強度をめざしているともいわれている。そのため、自動車向けの歯車加工は、研削・研磨に対する要求がますます高まっている。この分野は、歯車研削盤の専門メーカーであるライスハウアーに挑む構図となっている。

JIMTOF2018において、ライスハウアーは、ローノイズシフトとポリッシュ研削を特徴とするRZ260を展示していた。また、グリーソンアジアは、ベベルギヤ用歯車研削盤Phoenix280Gの展示を行った。日本勢は、神崎高級工機が省スペース設置可能なGB150を、三菱重工工作機械がZE16Cを、三菱重工工作機械がZE16Cを展示した（図1）。三菱重工工作機械は、ゼロへの挑戦として、歯面のうねりゼロ、加工の



図1 ZE16C（三菱重工工作機械）

ムダ時間ゼロ、ダウンタイムゼロを謳っている。

2. ギヤスカイビング

歯車関連はグリーンソン、クリンゲンベルグを代表とするドイツ勢が強い。その中、近年、ギヤスカイビングが注目を集めている。加工法自体は100年前に提唱されていたものの、工具とワークの同期など複雑な制御が必要であるため、最近になって内歯車の加工で盛り上がりを見せている。この加工法は、工具寿命が課題で、各社解決に取り組んでいる。

たとえば、三菱重工工作機械は、仕上刃と荒刃を備えたスーパースカイビングカッタを提案している。唐津プレジジョンのGSV-45Nのように、自動車だけではなく、建設機械などの大型歯車も視野に入ると面白い。ジェイテクトは、GS200Hで、工程集約機能を継承しながら、画期的な小型化の実現により、自動車などに使用されるギヤの生産ラインへの組込みを狙っている(図2)。

3. 大型加工機

付加価値を高めるといって、大型加工機は大変興味深い。特に、自動車用プレス金型加工用の大型加工機の発展は目覚ましい。たとえば、オークマのMCR-S (Super) は、高速・高精度・高品位加工や豊富な主軸ヘッドを基礎として、レーザ技術との融合を図っている [図3 (a)]。

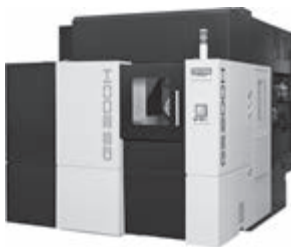


図2 GS200H(ジェイテクト)

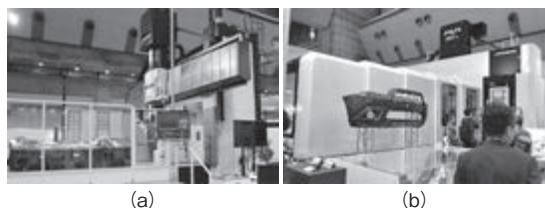


図3 大型加工機：(a) MCR-S (Super) (オークマ)、(b) MVR30Fx(三菱重工工作機械)

レーザ精密焼入れとLMD (Laser Metal Deposition) 方式の金属積層造形の両方に対応し、加工時間を大幅に短縮する。また、三菱重工工作機械のMVR30Fxは、熱変位に強い。主軸内部冷却機構や構造体の中を特殊な冷却媒体を通すことで、大型であっても気温変化の影響を受けにくい [図3(b)]。

IoTの現在位置

第4次産業革命、Industry4.0という言葉が一世を風靡してから数年が経った。当時、日本の企業は、重要性を認識しているものの、同様の取組みは以前より行っていたため、何を今さらという雰囲気が強かった。それでは、以前と何が変わっているのでしょうか。主として、この20年でコンピュータは進化し、小型化されたことが挙げられる。また、MEMS/NEMSの進化に伴い、安価で高性能なセンサも多く登場している。

1. AR(拡張現実)による段取り機能

牧野フライス製作所は、IMTS (International Manufacturing Technology Show) 2018で、工作機械に話しかけると、機械が作動する音声入力機能を紹介し、話題となった。JIMTOF2018では、AR機能を使った工具・加工ワークビジョンを展示している(図4)。図4(a)は、CAM上でシミュレーションした通りに加工ワークが置かれているかをチェックする機能で、ARを使って機械に取り込んだ加工ワークの3Dモデルを機内カメラの画像と照合する。図4(b)は、登録された工具が正しくセットされているか、カメラ画像で照合する機

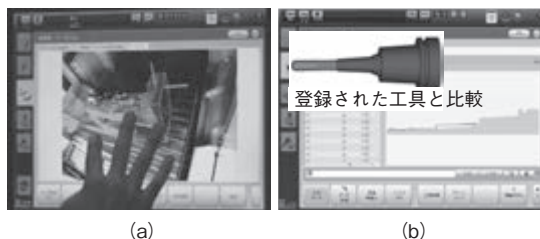


図4 工具・加工ワークビジョンシステム(牧野フライス製作所)：(a)ワーク位置調整、(b)工具形状確認

能である。“フルプルーフ”の機能として期待されている。

2. ロボットと工作機械の融合

オークマは、高性能NC旋盤の加工室内に多関節ロボットを干渉なくビルトインさせることで、従来のロボットでは不可能だった機械加工中の加工室内でのロボット動作を実現した [図5 (a)]。自動化セルを簡単に構成することで、時間外業務ゼロを支援する。ティーチング・インテグレータ不要で、ロボット操作の専門知識がなくても簡単操作、簡単立上げを実現した。

また、図5(b)に示すように、主軸の軸受診断を行う「AI機械診断(主軸)」を開発し、故障前にその兆候を知らせる予知保全を実現した。主軸交換の計画的な実施を可能とし、ダウンタイムを最小とする。ドリルの加工状態把握による、ドリル工具と工作物の損傷防止や工具費の大幅削減も実現している。

3. 人工知能(AI)の活用による高精度化

複合加工機の専門メーカーとして知られる中村留精密工業は、Y軸・ミーリング機能標準搭載のコンパクト6インチシングルマシンのSC-100を発表し、ロボットによるドアの自動開閉デモを行った [図6(a)]。

熱変形補償は、各社において古くから行われてきたテーマであるが、中村留精密工業では、ワークの寸法を基に、人工知能による機械学習によって学習モデルを作成し、ユーザーの使用環境に合

せた補正に調整するNT Thermo Naviを発表している [図6 (b)]。その他、機械-機械、機械-事務所をつなぐNT Smart Signや、高速ガントリローダGR-203の発表など、工作機械単体ではなく、生産ラインや工場全体をデザインする流れを感じさせた。

4. 機械要素とIoT

工作機械のIoT化において、機械要素のIoT化が非常に重要となる。工作機械をIoT化する主な目的の1つは、故障診断・故障予知であり、ボールねじや軸受などの機械要素の状態をいかに把握するかがカギとなる。JIMTOFは工作機械の見本市であるため、機械要素メーカーがなかなかクローズアップされにくいのが、各社テーマを持って展示を行っていた。

日本精工は、未来の工作機械プロジェクトと称して、機械要素メーカーから見た工作機械のあり方を示しており、非常に面白い取組みをしていた。NTNは、軸受軌道面周辺をセンシングすることにより、工作機械主軸の状態監視と、焼付きの未然防止を行う「センサ内蔵軸受ユニット」を開発し、発表した。また、シェフラーは、直動案内に加速度センサを組み込み、振動を測定する「Dura sense」を紹介するとともに、主軸内の軸受にセンサを組み込み、負荷や温度、振動を検出する「Spindle sense」を紹介した。

最先端技術のトレンド

1. 積層造形による工作機械の構造体

DMG森精機は、工作機械の構造体に対してト

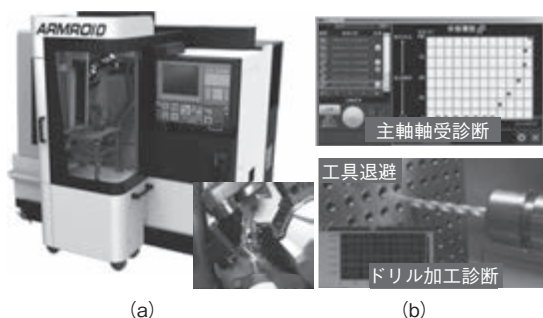


図5 ロボットとAIの活用(オークマ)：(a)ARMROID、(b)AI診断

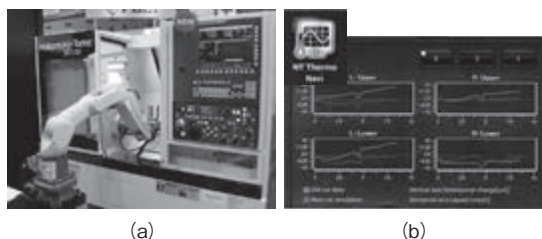
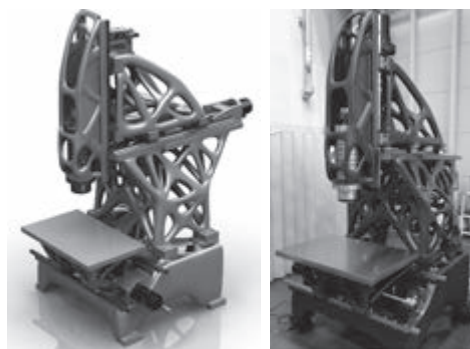


図6 人工知能の活用(中村留精密工業)：(a)SC-100、(b)NT Thermo Navi

ポロジ最適化を行い、積層造形機を用いて立形マシニングセンタを構築した(図7)。製作に用いた機械は、パウダーベッドタイプのLasertec30 SLMである。近年、各社が積層造形可能な工作機械をリリースしているが、主な用途が金型の補修や焼入れにとどまっておき、構造体への適用は、積層造形機の可能性を大きく広げる。積層造形機により、設計者は製造の制約を受けることなく自由な発想で設計開発が可能となる。そのため、積層造形機でしか実現できないような最適な形状で作られた機械は、最小限の重量で最大限の剛性を持つ理想の機械といえる。たとえば、冷却構造の最適化なども可能であり、今後の展開が期待される。



(a) (b)

図7 積層造形による構造体 (DMG 森精機) :
(a)CAD図, (b)開発機

2. 多方面への展開

多岐にわたるベクトルを示していたのが、ヤマザキマザックであった。2018年の十大新製品賞を獲得したUD-400/5Xは、構造体にミネラルキャストを用いており、構造体の高剛性化と減衰性を高めている [図8 (a)]。高速加工時における振動を抑制することが可能であり、スケールフィードバックや熱変位抑制機能と併せて超精密加工を実現している。積層造形機VARIAXIS j-600/5X AMには常に人だかりができていた。ブルーレーザを用いることで、銅の積層造形を可能としている [図8(b)]。マルチマテリアル化はこれからの重要なキーワードであり、レーザと工作機械の融合はますます進むであろう。

複合加工機では、歯車の加工パッケージを搭載したINTE-GREXe-1250V/8S AGなど、歯車加工と複合加工機の融合も進んでおり、専用機との切磋琢磨が予想される [図8 (c)]。同社は、レーザ加工機にも強みを持っており、OPTIPLEX 3015DDLは、波長900 nmのダイレクトダイオードレーザ(DDL)を用いている。従来の波長1080 nm付近のレーザに比べて、波長が短くなることで、より精密な加工が可能となる [図8 (d)]。レーザ加工機は、大出力時代となっており、業界の進行方向にも注視したい。そのほか、摩擦かく拌接合(FSW)機能を搭載したFJV-60/80FSWも展示され、工作機械とさまざまな機能との融合を示していた。

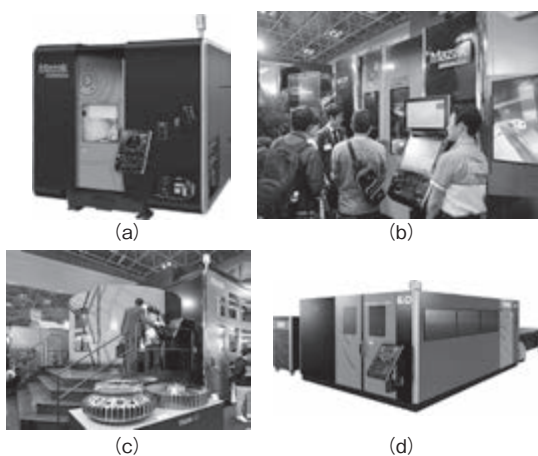


図8 多岐にわたる製品展開 (ヤマザキマザック) :
(a)UD-400/5X, (b)VARIAXIS j-600/5X AM, (c)
INTEGREX e-1250V/8S AG, (d)OPTI-PLEX 3015
DDL

3. トポロジー最適化の実現

従来の超精密研削盤は、精度を出すために基礎工事が必要であり、工場への導入に対するハードルが高い機械である。ナガセインテグレックスは、トポロジー最適化の実施により構造を見直し、3点支持の実現を果たした(図9)。従来構造では、機械本体の共振を防ぐために、6点以上の支持が必要であったが、3点支持を実現しながらも固有振動数は従来比3倍となり、テーブル最高速度は従来比2倍とした。そのため、基礎工事の必要もない。

また、機械全体を固定式カバーで密閉し、断熱