

複合作業機械の歴史と現状

長江昭充*、村木俊之*、山本博雅*

1. はじめに

製造業では、世界的に激しい競争が繰り広げられ、リードタイム(素材搬入から製品出荷までの所要時間)の短縮とコスト低減に対する要求が、年々厳しさを増している。そのために、限られた工場スペースの中で、需要変動にも柔軟に対応して、必要なものを、必要な時に、必要な量だけ供給できる生産システムの構築が切望されている。このような課題に対して、当社では複合作業機械を使った工程集約と高能率加工方法で対応しようとしている。

複合作業機械は、旋盤による旋削と、フライス、エンドミル、穴あけ、タップ加工などを行う5軸制御マシニングセンタの両方の機能を併せ持っているので、複数台の旋盤やマシニングセンタを必要とした加工工程を複合作業機械1台に集約できる。

ここでは、以上のような複合作業機械の発展の歴史を振り返るとともに、その構造とそれによって決まる加工対象部品の例を紹介し、最後に最近進められている新しい機能の追加例を紹介する。

2. 複合作業機械の歴史

複合作業機械は直接的には旋盤から発展してきた。すなわち、普通旋盤 → NC旋盤 → 複合旋盤 → 複合作業機械(旋盤型) → 複合作業機械(マシニングセンタ型)の順に発展してきた(図1参照)。複合旋盤と複合作業機械(旋盤型)の最大の違いは、そのミリング加工能力にある。複合旋盤の段階ではミリング用の主軸径が細く、小径のドリル、タップ加工に対応するための限られたミリング能力で十分とされていたが、複合作業機械(旋盤型)では、φ70mm以上の主軸径を持

ち、フライス、エンドミル加工にも十分に対応できるミリング能力が必要とされるにいたった。この程度のミリング加工能力を持たないと、後工程でのマシニングセンタによる加工が不可欠となり、工程集約が十分に図れないことが多いからである。

また、最近では複合作業機械(マシニングセンタ型)と称すべきものが出現してきた。これは、旋削加工終了後にマシニングセンタに載せかえていた非常に大径のワークの旋削・ミリング加工を複合化したもので、工程間での心出し作業が不要になることで、リードタイムを大きく短縮できる機械である。

3. 複合作業機械の構造と対象部品

複合作業機械(旋盤型)の典型的な構造を図2に示す。X、Y、Zの直進3軸と旋削主軸周りの回転のC軸、Y軸周りの回転のB軸の基本5軸構成となっている。

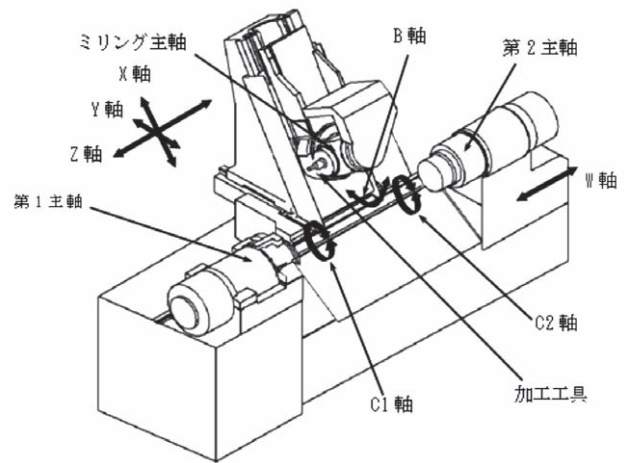


図2 複合作業機械(旋盤型)の構造

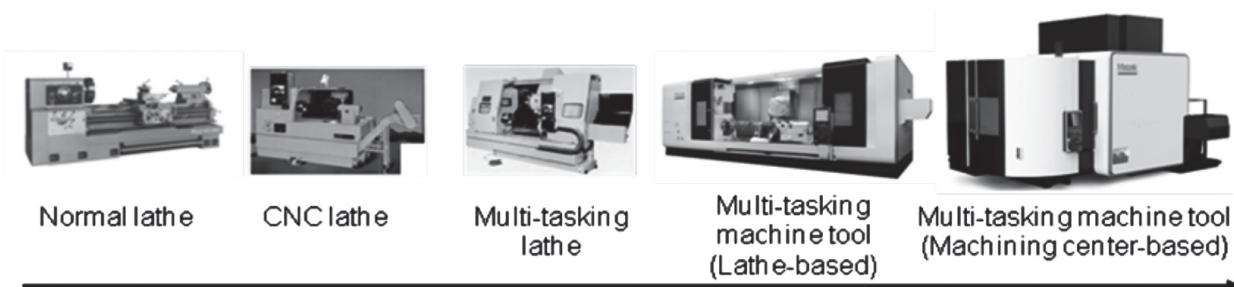


図1 複合作業機械の変遷

* ヤマザキマザック(株) (〒480-0147 愛知県丹波郡大口町竹田1-131)

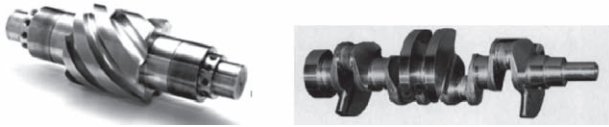


図3 複合作業機械（旋盤型）で加工する部品形状

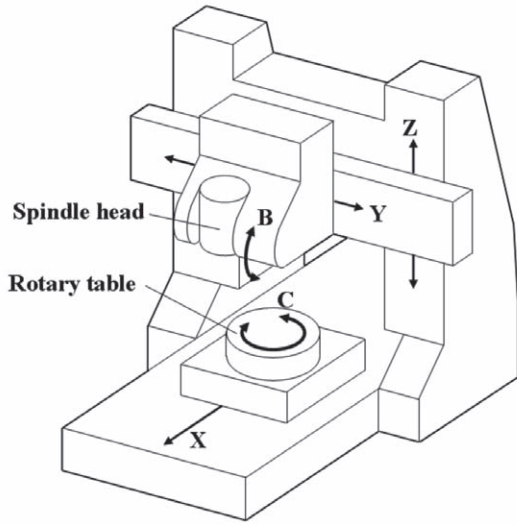


図4 複合作業機械（マシニングセンタ型）の構造



図5 複合作業機械（マシニングセンタ型）による加工例

さらに、第2旋削主軸を持てば回転軸は3軸構成となり、それがZ方向に移動するZ軸が加わる。さらに第2刃物台を有している場合には、そのZ、X軸移動が加わる。このような構造の複合作業機械において加工されるワークの代表例を図3に示す。

複合作業機械（マシニングセンタ型）の典型的な構造を図4に示す。

これは横型マシニングセンタのテーブル旋回の回転速度を600/min程度に増大させ、旋回可能にしたミリング主軸に取り付けた各種の工具で、旋削をはじめとする種々の加工を行えるようにしたものである。複合作業機械（旋盤型）の第2刃物台にあたるラム主軸を持つことで、ワーク内径の加工も可能としている。このような構造の複合作業機械において加工されるワークの代表例を図5に示す。

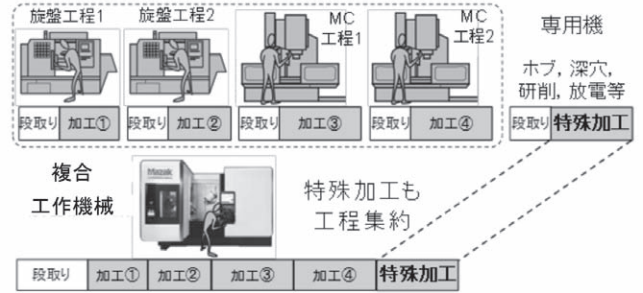


図6 特殊加工も含めて、複合作業機械による工程集約



図7 ロングボーリングバーによる深穴加工

4. 新しい機能の追加

これまで複合作業機械は、旋盤とマシニングセンタの工程を1台に集約する目的で開発されてきたが、近年機械の高機能化に伴い、従来は工程集約が困難とされてきた特殊な加工も複合作業機械に工程集約されてきた（図6参照）。一方で、被削材の方も難削材と呼ばれる高機能材料が増加しており、その加工時間の短縮が課題となっている。そこで高機能化が進む複合作業機械の特性を生かした、工程集約の事例と高効率加工法を以下に紹介する。

4.1 ロングボーリングバーによる深穴加工

航空機のランディングギア（車輪式の着陸脚）部品などでは、深穴のボーリング加工が要求され、それらの多くは、汎用機では加工困難な深さであるため従来は専用機によって加工されてきた。

この深穴ボーリング工程を、複合作業機械で加工するためのロングボーリングバーシステムを紹介する。このロングボーリングバーは、Y軸サドル下部に油圧でクランプされ、十分な剛性を確保できる構造となっている（図7）。深さ1000mm以上の深穴を加工可能なロングボーリングバーを、専用のストックに3本収納することができる。またボーリングバーの先端刃部が自動交換可能なものもあり、様々な加工形状にも対応できるシステムとなっている。

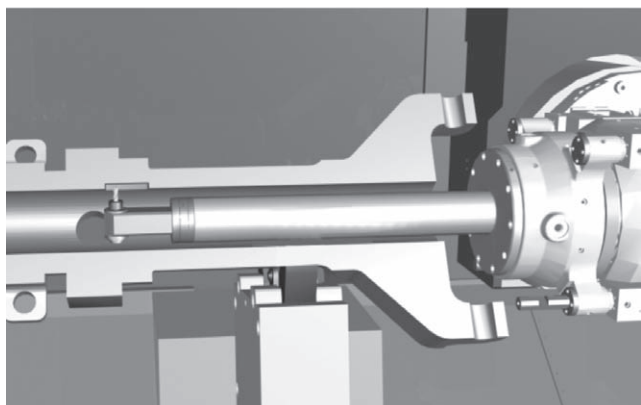


図8 高剛性特殊ツールホルダによる深穴ミリング加工

4.2 高剛性特殊ツールホルダによる深穴ミリング

深穴の内側部分にキー溝加工などのミリング加工が要求される場合、通常のアングルツールでは加工が困難である。このような深穴のミリング加工に対して、複合作業機械での工程集約を可能にする高剛性特殊ツールホルダを開発した（図8）。この高剛性特殊ツールホルダは、工具主軸端面の4箇所でクランプされて、深穴のミリング加工にも耐えられる剛性の高い構造となっている。この高剛性特殊ツールホルダも機内の専用ストックに収納され、工具主軸端面に自動で着脱される。

4.3 U軸ツールによるテーパボーリング加工

バルブ関連の部品では、テーパ穴（円錐状の先細穴）の内径加工において、シール性を高める目的で、ボーリング加工レベルの仕上げ面が要求される場合がある。通常、旋削主軸以外では、テーパ穴をボーリング加工することはできないが、U軸ツールという特殊工具により、このテーパボーリング加工が可能になる。U軸ツールとは、工具主軸の径方向に制御軸（U軸）を持ち、旋削用バイトを工具主軸で回転させながら、刃先を径方向に制御することができる（図9）。旋削主軸中心から外れた部分のテーパや曲面などの複雑な

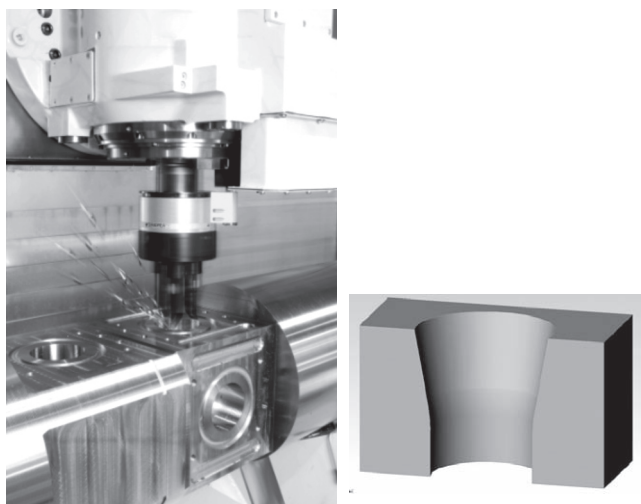


図9 U軸ツール（D'andrea社製 TA-C160）穴加工

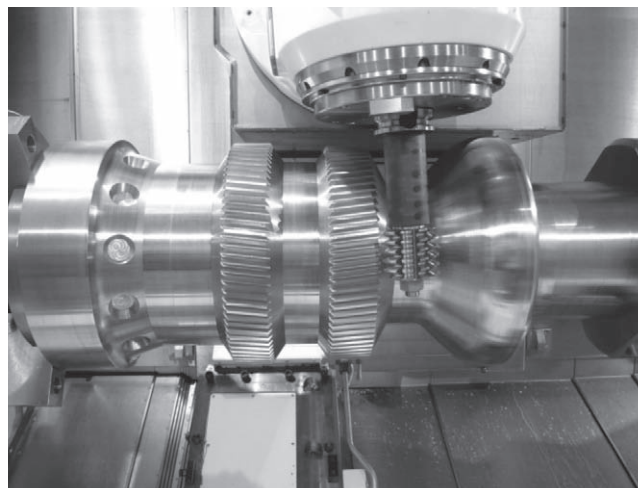


図10 旋削主軸・工具主軸の同期制御によるホブ加工

穴の内面を、U軸ツールによるボーリング加工で高精度に仕上げることができる。

4.4 ホブ加工

航空機、エネルギー、建設機械などの産業向けの駆動用シャフト部品にはギアがシャフトと一体化されているものが多い。それらのギア形状を削り出すホブ加工は、一般的にはホブ盤などの専用機で加工されているが、複合作業機械でも、旋削主軸と工具主軸を同期制御することで、このホブ加工を行うことができる（図10）。

4.5 タービンブレードの研削加工

航空機エンジンやガスタービン1機に、タービンブレードが数百～数千枚が必要とされ、その生産性向上および自動化が強く求められている。

これまでにもブロック材からブレードを削り出す切

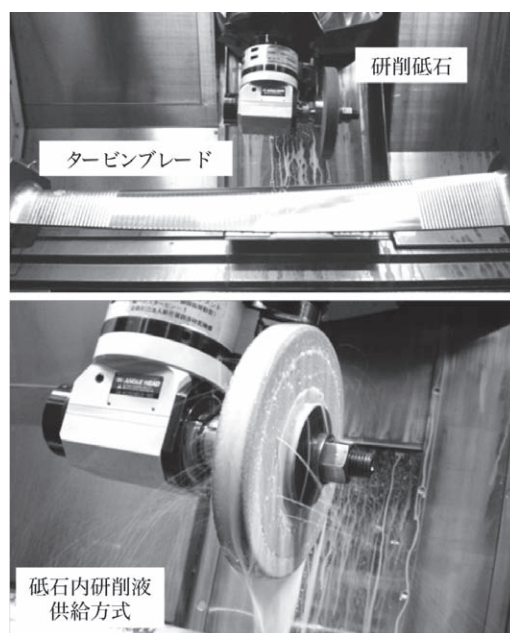


図11 タービンブレードの研削加工
（提供：東京農工大学，(株)ナサダ）

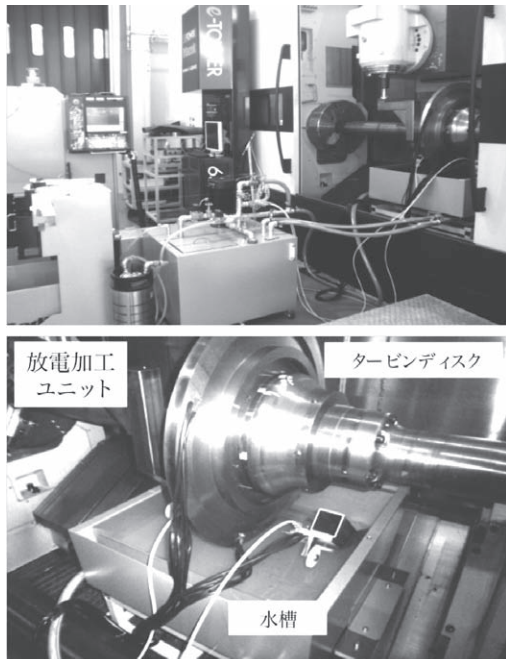


図12 タービンディスクの放電加工
(提供：東京農工大学, 千代田金属)

削加工において、複合作業機械を使った同時5軸加工は広く普及している。今後は、切削だけでなく研削加工も複合作業機械で行うことで、従来の作業者による研磨作業の自動化や、研削盤の工程も複合作業機械1台に集約可能になると期待される(図11)。また1台に全工程を集約することで、ブレード形状や生産量の変動にも柔軟に対応できるようになる。

更に、砥石内研削液供給方式により、砥石内部から研削液を供給することで、研削焼けや目詰まりを抑制し、より高精度な研削面が得られる¹⁾。

4.6 タービンディスクの放電加工

航空機エンジン用タービンディスクには、旋削、穴あけなどの切削加工に加えて、外周部に、ブレードを取り付けるための複雑な溝(クリスマスツリー形状など)を削り出すブローチ加工が求められる。このブローチ加工は、大型の専用加工機械と、専用のブローチカッタを必要とする。

これらのタービンディスクに必要な全加工を1台の複合作業機械に集約させるための、切削加工と放電加工の両方が可能な複合作業機械を図12に示す。この複合作業機械の内部には、水槽やワイヤーガイド装置等を有する放電加工ユニットが設置されている²⁾。機械と絶縁されて保持された工作物に対して、旋削、穴あけの切削加工を行うと共に、水槽に浸されたディスクの外周部に、放電加工で溝を削り出す。溝を1溝削るごとにディスクを回転させて溝の仕上げ加工を、工具主軸側のエンドミルで行う。1台の複合作業機械で、放電加工と切削加工を同時に行うことで、1日2個の生産が可能な連続無人加工システムを目指している。

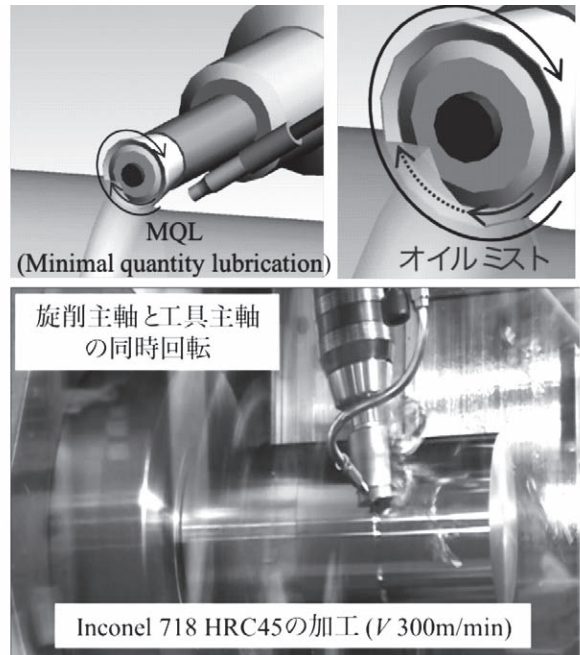


図13 ロータリ切削

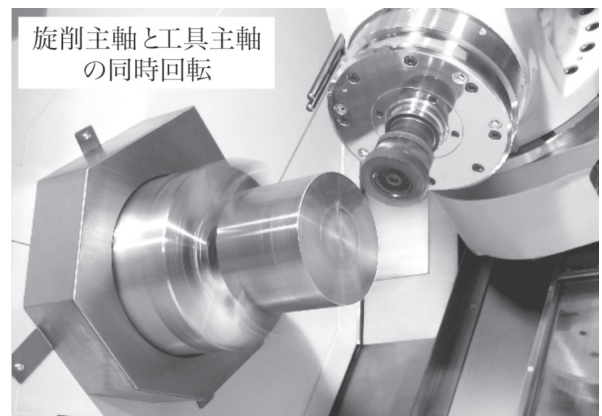


図14 ミルターニング加工

4.7 ロータリ工具を用いた切削加工

ロータリ切削とは、丸駒工具を工具主軸で回転させながら旋削加工を行う加工法である(図13)。加工中に工具を回転させて切削熱、摩耗を刃先全周に分散させることで工具寿命を短くすることなく高能率加工が可能となる。更に刃先へ、極微量のオイルミストを供給すると、オイルミストが工具回転によって工具と切りくずの境界面に供給されて摩耗や凝着が抑制される³⁾。これにより超耐熱合金Inconel 718 (HRC45) に対して、切削速度300m/minという、従来の10倍の高速切削が可能になると期待される。

4.8 ミルターニング加工

ミルターニング加工は、通常の旋削バイトではなくフライスカッタで旋削加工を行う(図14)。加工中にカッタが回転するため、ロータリ切削と同様に、空転時に刃先が冷却されて工具摩耗が抑えられる⁴⁾。また工作物を高速に回転させなくても、工具を高速に回転させることで高能率加工を実現できるため、断続重切

削やアンバランスな工作物で高い効果が期待できる。更に切りくずも確実に分断され、ドライ加工も可能になるなどメリットが多い。

ロータリ切削と、ミルターニング加工は高能率加工が期待されるが、両加工共に切削条件パラメータが多岐にわたり複雑であるため、最適な切削条件選定のために、切削現象の解明が求められている。

5. おわりに

本稿では、複合工作機械の歴史、構造から、最近の加工法や加工事例について紹介した。ここで紹介した機械の歴史については、後からまとめ直したものであり、実は素材から製品までのリードタイムをいかに短縮するかを検討してきた結果である。したがって、リードタイムの短縮を含めたお客さまからの強い要望事

項があり続ける限り、今後も複合工作機械の進化は進み、より一層の生産性の向上がはかれるであろう。

参考文献

- 1) 平成23年度 戦略的基盤技術高度化支援事業「ガスタービンエンジンの難削材複雑形状部品の加工技術の高度化の研究」研究開発成果等報告書
- 2) 平成23年度 戦略的基盤技術高度化支援事業「加工歪を生じない航空機タービンディスクのハイブリッド加工技術の開発」研究開発成果等報告書
- 3) 山本博雅、佐竹健太郎、笹原弘之、成田徹、堤正臣、村木俊之：駆動型ロータリ切削による難削材の高能率加工におけるMQLの効果、精密工学会誌77、3（2011）、316-321
- 4) OKUDA Toshihito, MURAKI Toshiyuki, NAKAYAMA Tatsuomi, OTA Minoru: Development of dry turn-milling with multi-blade cutter for alloy steels (Advanced machine tool)、Proceedings of LEM 21（2005）433-438