

ダイレクトドライブモータによる 5 軸加工機の高速度高精度化

1. 5 軸加工機の動向

近年、5 軸加工機や複合加工機へのニーズが急速に高まっている。5 軸加工機のメリットは、主に「工程集約」と「加工精度の向上」を実現できることである。つまり、複数の機械を渡り歩いて加工されていたワークが、一台の機械で加工できるようになることが評価されている。

例として工作機械見本市 JIMTOF に出品されたマシニングセンタに占める 5 軸加工機の割合が、2000 年はわずか 8.2%であったものが、2006 年には約 4 倍の 34.2%に増加し、ユーザからの注目を集めていたことから、そのニーズの高さがうかがえる。5 軸加工機は、一般的に 3 軸の直線軸と 2 軸の回転軸により構成される。直線軸の送り機構については、NC 制御装置、サーボモータ、送りねじの技術進歩により、高速・高精度化が進み、最高速度は 50m/min 以上、加速度は 0.5G 以上、位置決め精度は 5 μ m 以下の加工機が普通となった。最近ではリニアモータを用いた 100m/min、1G 以上の高速機も発表されている。いっぽう、回転軸の駆動方法は、依然としてウォームギヤなどによる減速機構を用いる方法が一般的であり、回転速度は数十 min^{-1} 程度、ギヤのバックラッシュにより位置決め精度に限界がある、などの状態が続いていた。これは、直線軸と回転軸を同期させる必要がある曲面加工時は、形状に追従するために、折角の直線軸加速性能などを回転軸の送り性能に合わせなければいけないことを意味し、5 軸加工機の高速度化を妨げる要因であった。この直線軸と回転軸の性能アンバランスをなくすために、ダイレクトドライブモータを自社開発、5 軸加工機に搭載し評価した。

2. ダイレクトドライブモータ

ダイレクトドライブモータ（以下、DD モータ）は、減速機構を使わずにテーブルなど回転を出力する軸に直結される。このため、モータに必要なトルクは大きくなるが、ギヤ歯面の磨耗を考慮する必要がなく、回転速度を上げやすい。また、減速機などの中間伝達機構がないためイナーシャも小さく、高加速を得ることが可能となる。さらに、バックラッシュがないため高

精度な位置決めが可能である。必要なトルクを確保するために、ロータの直径は従来モータの数倍と大きくなるが、ロータシャフト部は中空とすることができる。この中空部分に、回転軸のブレーキ機構や配管など配置に利用することができるため、回転軸ユニットとしてはコンパクトになる（図 1）。また、構造がシンプルなため、部品点数が減り、メンテナンス性や組立時間短縮にも効果的である。表 1 に 400mm 角テーブルサイズの機械での、ウォームホイールギヤ方式と DD モータ方式の性能比較を示す。現在では、大型機用に直径約 1000mm、最大トルクが 20 000Nm の大型機用 DD モータや、旋削加工が可能な最高回転数が 1 200 min^{-1} の DD モータも自社開発し、実用化している。

3. DD モータを採用した 5 軸加工機での加工評価

図 2 に、直径 700mm、高さ 350mm のワークに対応した 5 軸加工機を示す。本機の B 軸と C 軸に 14.6kw、5kw の自社開発 DD モータを搭載した。C 軸には 1 200 回転可能な DD モータも開発、旋削加工も可能な仕様も準備した。テーブルと直線軸の同期性能を評価するために、NAS 規格 979 による実切削試験を行った。これは、同時 5 軸で円すい形状を加工し、円すい面の真円度を評価する。従来、真円度が 10 μ m 以上であったのが、3.11 μ m と同時 2 軸加工における真円切削精度と同等の結果を得ることができた（図 3）。図 4 に示すバルブ部品は、旋盤とマシニングセンタの 4 工程で 1 950 秒掛かっていた加工が、旋盤加工可能な DD モータを搭載した 5 軸加工機により 1 050 秒となり、製作時間が 46% 短縮された例である。

4. 今後の取組み

5 軸加工機や複合加工機の割合が増加している中、DD モータは、ボールねじが発明されたときと同様のインパクトがあり、回転軸に DD モータを搭載する機械は増加していくと推測する。今後も直線軸と同様に、回転軸の高速化や精度向上追求が必要で、DD モータの冷却技術、高速高精度で回転する大径ベアリングの開発、高精度なブレーキ技術開発、製造法を含めたコ

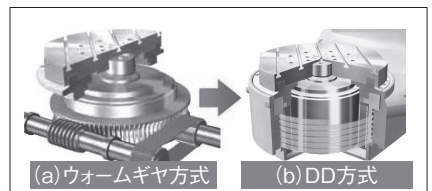


図 1 ウォームギヤ方式とダイレクト・ドライブ方式

表 1 ウォームギヤ方式と DD 方式の性能比較 (当社内比較・(株) 森精機製作所)

	DD モータ	ウォームギヤ
テーブルサイズ	400mm×400mm	
モータ出力	3.5Kw	2.1Kw
回転数	100 min^{-1}	22 min^{-1}
位置決め時間	0.43s/90deg. 0.58s/180deg.	0.85s/90deg. 1.52s/180deg.
角加速度	50 rad/s^2	12 rad/s^2
部品点数	30	60
組立時間	900min	1 200min

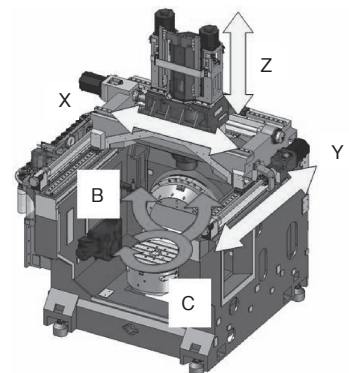


図 2 5 軸加工マシニングセンタ NMV5000DCG



図 3 円すい加工 (NAS 規格 979)

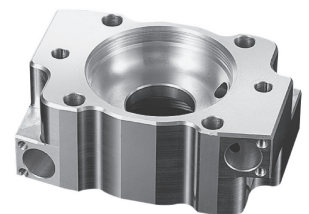


図 4 バルブ部品

スト削減などが課題となり、取り組んでいるところである。

(原稿受付 2008 年 1 月 29 日)

〔高山直士 (株) 森精機製作所〕