

# 小径エンドミル加工用ハイブリッド主軸に関する研究

## Study on hybrid spindle system for milling with small end mill

尾田 光成

Mitsunari ODA

### 1. はじめに

本論文は、高精度な切削加工を行う小径エンドミル加工における象限突起とびびり振動発生の低減を目的とし、その解決のために新たに玉軸受と磁気軸受で支持されるハイブリッド主軸を提案し、ハイブリッド主軸のモデル実験機を用いて、磁気軸受の電磁力の制御による象限突起とびびり振動発生の低減の効果についてまとめたものである。転がり軸受、特に玉軸受は安価で信頼性も高いため、マシニングセンタの主軸として一般に広く用いられている。磁気軸受は位置制御機能があり、主軸の回転中心のオフセット量、主軸系の剛性や減衰を電磁力により制御することが可能である。象限突起は、工作機械の送り軸が方向を反転する時に発生する運動誤差により生じる加工誤差であり、送り軸で象限突起を補正する方法が数多く研究されているが、この運動誤差が環境の変化や時間経過により変化するため、送り軸による補正のロバスト性が課題とされている。びびり振動は、小径エンドミル加工において発生し易く、加工精度や加工能率、また工具寿命にも影響するため、びびり振動の発生を抑制する方法が数多く研究されているが、抑制できる主軸回転速度が限定されるなどの課題がある。

### 2. 実験及びシミュレーション結果

象限突起に対しては、ハイブリッド主軸のモデル実験機を用いて磁気軸受の電磁力の PID 制御によりエンドミル工具先端での象限突起形状のトレースを行い、象限突起の大きさは 1/3 以下に低減できる可能性があることをシミュレーションと実験により確認した。また、びびり振動に対しては、電磁力を受けるケイ素鋼鉄円筒部と小径エンドミル先端部に集中質量を持つ 2 自由度の振動系でモデル化し、磁気軸受の電磁力による状態フィードバック制御系を構築した。この制御系を適用しない場合と適用した場合の小径エンドミル先端でのコンプライアンスの計算値を求め、極配置法により求めた状態フィードバック係数により、コンプライアンスの特性を任意に設定できることを示した。さらに、エンドミル工具先端のコンプライアンスを打撃試験により求め、状態フィードバック制御により、コンプライアンスのピーク値は大きく低下し、びびり振動の発生が大幅に抑制される可能性があることを確認した。

### 3. まとめ

提案するハイブリッド主軸は、象限突起とびびり振動発生の低減に効果があり、マシニングセンタの高精度化、高能率化に寄与し、最終的には工業製品の生産性向上、生産コスト削減、性能向上に貢献できると考える。

---

学位授与日 2017 年 9 月 12 日

株式会社 牧野フライス製作所 先行開発部