

報告日 2018 年（平成 30 年） 6 月 30 日
報告者 金沢工業大学 工学部 機械工学科 講師
林 晃生

1. 研究概要

(和文)

(1)課題名（日本語）

超精密工作機械用ウォータドライブスピンドルの加工精度向上を目的とした
回転数制御系の開発および熱的安定化手法の検討

(2)研究者氏名 林 晃生, 金沢工業大学 工学部 機械工学科, 講師

(3)研究概要（日本文）

超精密工作機械にはナノメートルオーダーの高い加工精度が求められており、そのスピンドルを支える軸受には静圧軸受が用いられ、作動流体には空気や油が主に使用されている。本研究ではこの静圧軸受の作動流体に、「水」を用いた「水静圧軸受」を備えた工作機械用装置の開発および性能評価を行っている。

工作機械の加工精度の安定および向上のためには加工中のスピンドル回転数を一定に保つ必要がある。また、超精密工作機械用のスピンドルにおいて、熱的安定性の向上は不可欠である。そこで本研究では「ウォータドライブスピンドルの回転数制御および熱的安定化手法の検討」を行い、その加工精度の安定および向上を目指す。

(4)キーワード 水静圧軸受, 超精密工作機械, ウォータドライブスピンドル,
回転数制御, 熱的安定性

(英文)

(1) **Research title** Development of rotational control system and study on thermal stabilization method for processing accuracy improvement of water driven spindle for ultra-precision machine tools

(2) Name of researcher with title of position

Akio Hayashi, Assistant Professor, Kanazawa Institute of technology, Department of Mechanical Engineering, College of Engineering

(3) Summary

Recently, further precise machining and motion accuracy are required for the ultra-precision machine tools that machine these parts. Thus, the water-driven spindle, which is equipped with water hydrostatic bearings and a water-driven

mechanism, was developed for ultra-precision machine tools. In order to stabilize and improve the machining accuracy of the machine tool, it is necessary to keep the spindle rotation speed during machining. In addition, the improvement of thermal stability is indispensable. Thus, "Study on control of the rotational speed and the thermal stabilization method of the water driven spindle" is carried out to aim at stability and improvement of machining accuracy.

(4) Key Words Water hydrostatic bearings, Ultra-precision machine tool, Water-driven spindle, Rotational speed control system, Thermal stability,

2. 本研究の意義・特色

本研究では、静圧軸受の作動流体に水を用いた水静圧軸受を備えたウォータードライブスピンドルの加工精度向上を目的としている。水は非圧縮性流体であることから、空気を用いた場合よりも高い軸受剛性を得られ、さらに、油よりも低粘度であることから粘性抵抗による動力損失が小さく、粘性抵抗に起因する発熱を抑えられる。さらに、本スピンドルでは静圧軸受の作動流体である水をロータの内部に形成された曲がり形状を有する流路にも供給し、水の動力を回転トルクに変換する機構に利用している。この駆動原理により、外部の電動モータを必要とせず、装置自体のコンパクト化だけでなく、外部動力からの発熱の影響を排除することができる。加えて、作動流体を供給する流路がスピンドル内に多く設けられていることから、潤滑流体や駆動媒体として使用する水自体がクーラントとしての役割も兼ね備えている。

しかしながら水静圧軸受は注目が高まっているものの、その実用化は少ないのが現状である。本研究の成果により、水静圧軸受を備えた工作機械スピンドルの加工精度が向上し、その有用性を示すことで、超精密加工機のさらなる発展が見込まれる。

3. 実施した研究の具体的内容、結果（本文）

添付資料（実施内容）にて報告いたします。

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

中尾陽一，神奈川大学 工学部 機械工学科 教授

5. 研究実施時期

2016年（平成28年） 4月1日から 2018年（平成30年） 3月31日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

・ 投稿論文

- (1) ウォータドライブスピンドルの熱的安定性の評価, 林 晃生, 中尾 陽一, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.856, 2017
- (2) Rotational speed control system of water driven spindle considering influence of cutting force using disturbance observer, Akio Hayashi, Yohichi Nakao, Precision Engineering, 51 (2018) 88-96

・ 学会発表

2016 年度

- (1) Measurement and evaluation of temperature change of water driven spindle, Akio Hayashi, Yohichi Nakao, Proceedings of ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress & Exposition
- (2) 高速高剛性水静圧スピンドル開発を目的にした熱的安定化設計, 矢口翔, 柴田悟史, 林晃生, 中尾陽一, 日本機械学会 関東学生会第 55 回学生員卒業研究発表講演会
- (3) ウォータドライブスピンドルの温度測定と評価, 林晃生, 中尾陽一, 第 11 回生産加工・工作機械部門講演会
- (4) 水静圧スピンドルの温度変化の測定, 桐ヶ谷怜, 林晃生, 中尾陽一, 第 11 回生産加工・工作機械部門講演会

2017 年度

- (5) Fundamental study on thermal stability of micro milling spindles supported by water hydrostatic bearing under non-spindle rotation, Thubasa Yaguchi, Akio Hayashi, Yohichi Nakao, Proceedings of The 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century
- (6) 水静圧軸受において発生するスピンドルの温度変化の検討, 桐ヶ谷怜, 中尾陽一, 林晃生, 2017 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集,
- (7) マイクロフライス加工用水静圧スピンドルの温度変化 (第 1 報, 非回転時の温度変化), 矢口翔, 林晃生, 中尾陽一, 日本機械学会 2017 年度年次大会講演論文集

7. 内外における関連研究の状況

これまでも超精密工作機械で使用される静圧軸受において、熱変形抑制のための作動流体の温度制御は積極的に行われており、例えば油静圧軸受においては作動油の供給温度制御に加えて圧力変動も抑制することで、機体温度変化の抑制を向上可能なことが示されている (鈴木他, 2009)。さらに、油よりも低粘度で高速回転に適した空気静圧軸受においても、高い主軸回転数に伴う発熱の影響は大きく、熱変形の解析から抑制まで従来にも数多く研究が行われてきている (例えば, 三島他, 1993, 吉岡他, 2004, Yoshioka et al.,

2006, 大石, 松崎, 2005).

研究申請者らは水静圧軸受および駆動機構を有するウォータードライブスピンドルを開発および性能を評価しているが、田村らは、ウォータードライブスピンドルと類似した機構をもつ空気静圧軸受およびエアタービンを備えたエアスピンドルについて、その冷却機能を評価している (Tamura et al., 2014). さらに空気と水のハイブリッド型軸受が提案されるなど (吉本他, 2007) 水静圧軸受は注目が高まっているものの、その実用化は少ないのが現状である.

8. 今後の発展に対する希望

静圧軸受および回転動力の作動流体に水を用いることで、従来の静圧軸受よりも高い剛性を備えつつ、熱的安定性にも優れた性能を有するスピンドル開発が可能である. 本研究では外乱オブザーバを加えた回転数制御系を設計することで、加工精度の向上を図った. さらに、その熱的安定性を評価し、水静圧軸受が工作機械スピンドルの熱変形抑制に有効であることを示した.

今後は提案した数学モデルにより、水およびスピンドル各部の温度変化をシミュレーションすることで、スピンドルの熱変形抑制を目的にした温度制御システムを開発する. これにより、工作機械スピンドルの熱変形を制御することで、超精密加工における加工精度の更なる向上が期待できる. 将来、水静圧軸受の実用化に向けて研究を進めていく所存である.

公益財団法人 油空圧機器技術振興財団 様から本研究助成をいただいたことにより、これらの研究テーマにおいて多くの研究成果を得ることができ、国内外の学会において発表させていただいた. ここに深く感謝の意を表する.