

学位被授与者氏名	ケオナムチャイ ヴァニサラ (KAEWNAMCHAI VANISARA)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 7 2 号
学位授与年月日	2 0 2 5 年 3 月 2 0 日
論文題目	Modeling and Control of Air Turbine Spindles Using Rotary Magnetorheological Damper for Enhanced Performance
論文題目 (英訳または和訳)	MR 回転ダンパーを用いたエアタービンスピンドルのモデル化と制御
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 朱 世杰 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 江口 啓 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 大山 和宏 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 宋 宇
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	本論文は回転型磁気流体 (MR流体) ダンパーを用いることで超精密加工に用いられるエアタービンスピンドルの性能向上を目指した研究である。特に回転速度が$500 [\text{min}^{-1}]$以下の低回転速度範囲における回転速度制御を改善することを目的とした。MR流体ダンパーの特徴は、印加する電流を調整することによって、適用される磁場によって抵抗トルクを制御可能であることである。この特性に着目し、低回転速度範囲での回転速度向上を実現するために、MR流体ダンパーをエアタービンスピンドルに組み込むこととした。 研究の方向性としては、MR流体ダンパーをエアタービンスピンドルシステムに組み込むことと、回転数とMR流体ダンパーの発生力を計測するためのホールセンサーが選定され、空気タービンスピンドルの回転速度計測システムの性能向上を実現することである。MR流体ダンパーが発生するトルクを測定する試験を行い、MR流体ダンパーの特性が検討された。 エアタービンスピンドルの回転数制御実験は、MR流体ダンパーが発生するトルクの影響を電流供給条件に基づいて評価するため、3つの異なる条件で実施された。具体的には、電流供給なし・定期的な電流供給・電流の能動的な制御である。実験結果から、電流供給を能動的に制御した場合のMR流体ダンパーが最も優れており、回転数は目標値に整定し、空気供給圧力および回転速度の変動は小さく抑えられていることを確認した。さらに、この条件ではエネルギー効率の面でも優れていることを確認した。 本論文の構成は以下の通りである。 第1章では、エアタービンスピンドルおよびMR流体ダンパーに関する研究背景と現状の問題点について述べた。 第2章では、使用された方向性、エアタービンスピンドルの制御システム、MR流体ダンパーの原理、ホールセンサーの構造について説明した。 第3章では、エアタービンスピンドルの制御に関して、装置校正・制御系・計測センサ・実験手順について説明した。 第4章では、エアタービンスピンドルと接続される回転型MR流体ダンパーの特性測定を行い、ダンパーの特性と空気タービンスピンドルの回転速度制御実験について述べた。 第5章では、空気タービンスピンドルシステムを用いた応用例を示した。 第6章では結論および今後の空気タービンシステムの改善に向けた議論を行った。
論文内容の要旨 (英文)	The dissertation presents the performance enhancement of an air turbine spindle by using a rotary Magnetorheological (MR) Fluid damper. The research aims to improve the rotation speed control of air turbine spindle, especially in the rotation speed range below $500 [\text{min}^{-1}]$. The MR fluid damper is characterized by its ability to control the resistance torque that depends on the applied magnetic field by adjusting the applied electrical current. According to this characteristic, the MR fluid damper is incorporated into the air turbine spindle in order to improve the rotational speed in the range of low speed.

	The research's direction is to enhance the performance of the rotation speed measurement system for an air turbine spindle by integrating it with MR fluid damper. To achieve the rotational speed control improvement, the Hall sensor was selected to measure the rotational speed and the torque that is generated by MR fluid damper. The characteristics of the MR fluid damper were studied by measuring and estimating the generated torque. The rotation speed control experiments of the air turbine spindle were conducted by evaluating the effect of the torque generated by the MR fluid damper based on the three electrical current supply conditions: no current supply, constant current supply, and controlled current supply. The experimental results showed that the MR fluid damper with the condition of controlled current supply has the best performance, with the rotation speed settling into the target value and the fluctuations of the air supply pressure and rotation speed are kept small when the rotation speed is the target value. Moreover, it was confirmed that the MR fluid damper has sufficient energy efficiency under the conditions. The following shows the structure of the dissertation. Chapter 1 presents the research background problem statement of air turbine spindle and MR-fluid damper. Chapter 2 describes the methodology used in this study, the control system of the air turbine spindle, the principle of magnetorheological fluid, and the concept of the Hall effect sensor. Chapter 3 explains the testing components, control system, measurement sensors, installation, and experiment procedure for controlling the air turbine spindle. Chapter 4 shows the characteristics of the MR fluid damper that connects with the air turbine spindle measurement and the rotational speed control experiment results of the air turbine spindle. Chapter 5 shows examples of applications using the air turbine spindle system. Lastly, Chapter 6 presents the conclusion and discussion to guide the future improvement of the air turbine system.
論文審査結果	この論文は回転型磁気流体（MR 流体）ダンパーを用いることで超精密加工に用いられるエアタービンスピンドルの性能向上を目指し、特に回転速度が 500 [min^{-1}]以下の低回転速度範囲における回転速度制御を改善することを目的とした。 MR 流体ダンパーの特徴は、印加する電流を調整することによって、適用される磁場によって抵抗トルクを制御可能であることである。この特性に着目し、低回転速度範囲での回転速度向上を実現するために、MR 流体ダンパーをエアタービンスピンドルに組み込むこととした。また、回転数と MR 流体ダンパーの発生力を計測するためのホールセンサーが選定され、空気タービンスピンドルの回転速度計測システムの性能向上を実現した。 エアタービンスピンドルの回転数制御実験は、MR 流体ダンパーが発生するトルクの影響を電流供給条件に基づいて評価するため、3 つの異なる条件で実施された。具体的には、電流供給なし・定常的な電流供給・電流の能動的な制御である。実験結果から、電流供給を能動的に制御した場合の MR 流体ダンパーが最も優れており、回転数は目標値に整定し、空気供給圧力および回転速度の変動は小さく抑えられていることを確認した。 これらの研究成果は、学術論文 2 編（うち第一著者 1 編）、国際会議発表 1 編（うち第一著者 1 編）、国内学会発表 2 編として発表されている。学位論文は 6 章から構成されている。第 1 章では、エアタービンスピンドルおよび MR 流体ダンパーに関する研究背景と現状の問題点について述べた。第 2 章では、使用された方向性、エアタービンスピンドルの制御システム、MR 流体ダンパーの原理、ホールセンサーの構造について説明した。第 3 章では、エアタービンスピンドルの制御に関して、装置校正・制御系・計測センサ・実験手順について説明した。 第 4 章では、エアタービンスピンドルと接続される回転型 MR 流体ダンパーの特性測定を行い、ダンパーの特性と空気タービンスピンドルの回転速度制御実験について述

	べた。第5章では、空気タービンスピンドルシステムを用いた応用例を示した。第6章では結論および今後の空気タービンシステムの改善に向けた議論を行った。 この論文は新規性があり、その研究成果は新しい機械加工技術として応用の価値もある。 以上のことより、学位審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。 2025年1月24日に行われた学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。 以上の結果から、学位審査委員会はケオナムチャイ ヴァニサラの最終試験の結果を合格と判定した。
主な研究業績	参考論文 5冊 (査読付き学術論文) 1. V. Kaewnamchai, T. Kato, and Y. Mihashi, "Dynamic Characteristics of Rotary Magnetorheological Fluid for Use with Air Turbine Spindle," International Journal of Hydromechatronics, DOI: 10.1504/IJHM.2024.10066216, 2024. 査読済掲載待中（印刷中） 2. T. Xie, T. Otsubo, A. Koyama, T. Kato, R. Yamashita, V. Kaewnamchai and T. Yazawa, "Breakage Detection Based on the Breakage Mechanism of Small-Diameter Drills," Advances in Science and Technology, vol. 139, pp. 51-57, 2024. (国際会議論文) (査読付き国際会議：第一著者1編) 1. V. Kaewnamchai, T. Kato, K. Kawakubo and K. Yamashita, "Magnetic Sensor Study for Improving Air Turbine Spindle Performance," Proceedings of the 11th JFPS International Symposium on Fluid Power, GS5-1-01, Hakodate, Japan (2021) (国内学会講演発表) 1. 三橋雄貴, 加藤友規, ケオナムチャイ ヴァニサラ, 原田元気. MR ダンパを用いた超精密加工用エアタービンスピンドルの低速回転領域に関する研究. 2023年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.48-50 (2023) 2. 川久保一希, 加藤友規, ケオナムチャイ ヴァニサラ, 山下和将, MR ダンパを用いた超精密加工用エアタービンスピンドルの回転数制御に関する検討, 2021年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.33-35 (2021)