

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2023

課題番号：17K06093

研究課題名（和文）温度・変位制御機能と高い熱的安定性を有する超高速高剛性水静圧スピンドルの開発

研究課題名（英文）Development of high-speed spindle with pressurized bearings achieving improved thermal stability

研究代表者

中尾 陽一（Nakao, Yohichi）

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：00260993

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：医療、エレクトロニクス、自動車分野などで増している微細形状を有する超精密部品の高精度加工を実現するために、本研究課題では、工作機械に取り付ける回転軸、すなわちスピンドルシステムの開発研究を実施した。特に、加工中の各種発熱量の変化によって発生するスピンドルの熱変形は、加工誤差に直結することを研究の大きな課題として、熱的特性について実験ならびに3次元解析モデルによる解析手法により、開発スピンドルの温度、変形性能を研究した。さらに、温度制御システムによるスピンドルの温度一定化の実現を図った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、3種類の冷却構造を有するスピンドルを開発した。さらに、開発スピンドルに対する基礎実験と3次元モデルによる解析を実施し、スピンドル各部における各種熱的特性を明らかにした。特に、温度変化を予測できるだけでなく、熱変形形態も詳細に明らかにした。一連の検討プロセスは、様々な機械システムの熱的特性を評価する際に利用できると思われる。

さらに、本研究では、独自のフィードバック温度制御システムを用いてスピンドル温度の安定化を実現した。この技術は、スピンドルに限らず様々な機械、電気システム等の温度制御に適用できるものである。

研究成果の概要（英文）：In order to realize high-precision machining of ultra-precision parts with fine shapes, which is increasing in the medical, electronics, automotive, and other fields. This research project focused on the development of a rotating mechanical system, namely spindle system, to be mounted on a machine tool. In particular, the thermal deformation of the spindle caused by changes in the amount of heat generated during machining is directly affect to machining errors. Thus, the temperature and deformation performance of the developed spindle were investigated through experiments and analysis using a three-dimensional analytical model. Furthermore, a reduction of spindle temperature change was achieved using a developed temperature control system.

研究分野：工作機械の高性能化、特に高い熱的特性を有する機械システム開発や制御システム開発

キーワード：工作機械 スピンドル 温度制御 熱的性能 静圧軸受 冷却

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

微細形状を有する各種部品の超精密加工に関する需要が、医療、エレクトロニクス、自動車分野などで増している。マシニングセンタによる在来加工分野においても、微細形状を有する小型金型の加工要求が増加している。この種の加工実現には、熱的安定性にすぐれた高速スピンドルが必要であった。高い回転精度には、静圧軸受を備えたスピンドルが必要である。また、高い熱的安定性の実現には、スピンドル内部に適切な冷却機構を備えたスピンドルが必要不可欠になっていた。

さらに、スピンドルの運転条件の変化に伴う発熱変動は、スピンドル温度を変化させ、ひいてはスピンドルの熱変形を発生させる問題があった。これに対しては、新しい温度制御手法によって発熱の変動によらず、スピンドルの温度変化を抑制する技術開発が求められていた。

2. 研究の目的

本申請課題は、微細形状を有する金型を含む各種精密部品の加工用途に適した、高い熱的安定性を有するスピンドル開発を目指して実施したものである。具体的には、スピンドル回転数変化や、環境温度の変化時においても、スピンドルの初期温度が保たれるようにスピンドルの基本設計を行う。さらに、申請者が考案したチラーの温度制御性能を超える高精度高応答水温制御系に加え、スピンドル温度のフィードバック制御機能を具備させることによって、従来にない高性能スピンドルシステムの実現を図るものである。

3. 研究の方法

本研究の主な内容は、熱的安定性にすぐれた温度制御機能等を有するスピンドルを開発することであり、これに関連してスピンドルに設ける冷却構造の適切な設計およびその評価、その熱的特性評価を実施することである。さらには、この冷却構造を利用して、外部に備えた温度制御システムによってスピンドル温度を制御することである。

以上の研究を実施するために、開発スピンドルを用いた実験と 3 次元ソリッドモデルを用いた熱流体解析を行うことが本研究の主たる方法となっている。

4. 研究成果

以下に本研究成果の主要なものをまとめる。

(1) 開発スピンドルの熱的特性の評価

開発スピンドルに対する基礎実験を行い、スピンドル各部における各種熱的特性を測定した。具体的には、温度、伝熱による総熱流束、放射伝熱による熱流束の測定を実施した。さらに、これらの測定結果から、対流熱伝達による熱流束を、これらの測定結果から算出できるようにした。次に、スピンドルに供給した水の供給部と排出部の温度測定を行った。

以上の測定結果から、開発スピンドルの熱的特性を検討した上、測定結果を境界条件として、3次元熱流体解析によりスピンドル内部の温度分布、さらには各部の熱変形を求めた。

図1～3は実験結果と3次元熱流体解析から求めたスピンドルの温度分布であり、スピンドル内に設けた3種類の冷却構造によるスピンドル温度分布への冷却効果、さらには最終的な温度分布に及ぼす影響を詳細に検討できるようになった。

図4にはスピンドル各部の熱変形状態の解析結果を示す。一連の解析結果から、冷却条件による加工精度に影響するスピンドルの回転軸方向並びに直交方向の熱変位を明らかにした。

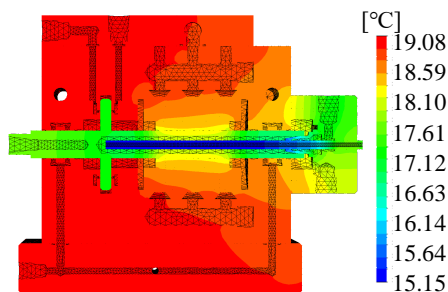


図1 軸心冷却による冷却効果

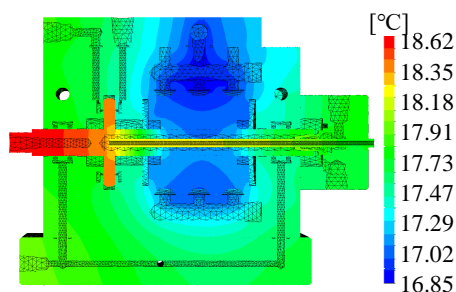


図2 モータ冷却による冷却効果

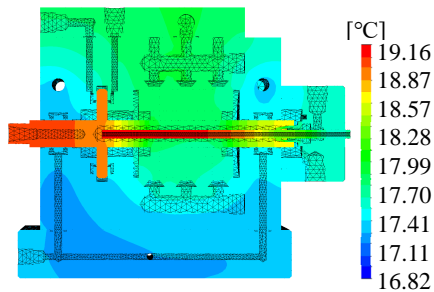


図3 ケーシング冷却による冷却効果

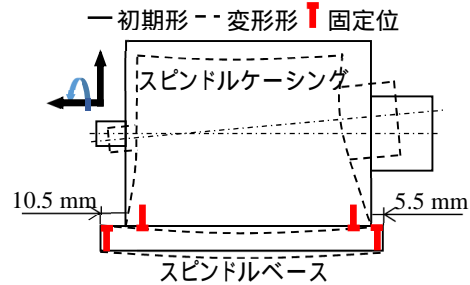


図4 3次元モデルによる熱変形状態の解析

以上の結果から、スピンドルの発熱による各方向の熱変位を抑制するために必要なスピンドル内に3種類の冷却構造の冷却条件を独立して制御することによって、各方向の熱変位を抑制可能なことを示した。

(2) 温度フィードバック制御技術の確立

先行研究において、研究代表者が考案、開発したスピンドル等に適用できる温度フィードバック制御システムを利用したスピンドル温度制御の検討を行った。スピンドルに対する温度フィードバック制御実験を実施し、その制御性能を検討した。

その結果、スピンドルの回転数変化による温度変化は、一般的なチラーによる冷却の場合には、例えば、図5に示すように、1°C程度の温度変化が発生する場合においても、開発した温度制御システムを用いた場合には、過渡的に0.3°C程度の温度変化が発生したが、定常的な温度変化は効果的に抑制できることが示された。

さらに、図6に示すように、スピンドル設置環境に温度変化がある場合、チラーからの供給冷却液温度において、0.8°C程度のスピンドルの温度変動が存在する場合にも、フィードバック温度制御機能によって、スピンドル温度の変動は0.2°C程度に抑制できることを明らかにした。さらに、図7に示すように、使用するチラーからの冷却液温度が変動する場合のスピンドル温度変化を検討した。その結果、チラーだけを使用した場合には、スピンドル温度が0.35°C程度変動する場合でも、開発システムを利用すると、温度変動を0.05°C程度の過渡的な変動に抑制できることを明らかにした。すなわち、最適な冷却構造を備えたスピンドルに、フィードバック温度制御を適用することにより、スピンドルの温度変動、ひいては熱変形を抑制し、高い加工精度実現に効果があることを示した。

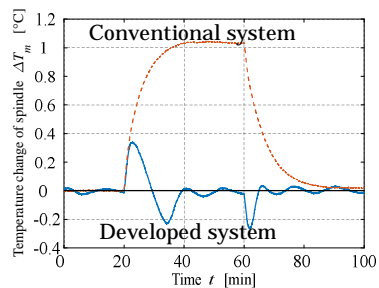


図5 回転数変化によるスピンドル温度変化

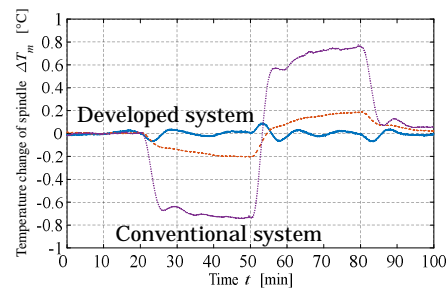


図6 環境温度変化によるスピンドル温度変化

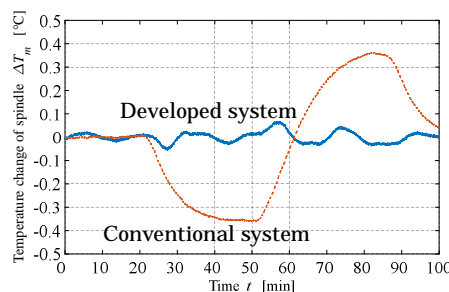


図7 チラー供給温度変化によるスピンドルの温度変化

(3) 軸心冷却の新構造提案

従来からも軸心冷却は、スピンドルやボールねじなどに採用されているものであるが、本研究では、開発スピンドルのために、新しい軸心冷却構造を考案した。この冷却構造による冷却性能を3次元熱流体解析により検討した。特に、スピンドルの回転数による冷却効果の変化を検討した結果、今後、最適な冷却構造を設計することにより、効果的な冷却性能が得られる可能性があることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Dmytro Fedorynenko, Yohichi Nakao	4. 巻 80
2. 論文標題 Evaluation of thermal stability of ultra-precision water-lubricated spindle	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 127-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2022.12.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 楠山, 中尾, 川瀬, 金澤, 石川, 余語	4. 巻 66
2. 論文標題 SiCウェーハのロータリ研削における加工特性 : 砥粒貫入角度を用いた評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 砥粒加工学会誌	6. 最初と最後の頁 408-413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shumon Wakiya, Yuto Nakagawa, Jumpei Kusuyama, Yohichi Nakao	4. 巻 PDF
2. 論文標題 Fundamental analysis on thermal characteristics of micro-positioning system using piezo element for micro-milling spindle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Preceeding of The 19th International Conference on Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 PDF
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shumon Wakiya, Jumpei Kusuyama, Dmytro Fedorynenko, Yohichi Nakao	4. 巻 PDF
2. 論文標題 Fundamental evaluation of cooling characteristics of cooling structures of high-speed aerostatic bearing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Preceeding of ASPE Annual Meeting	6. 最初と最後の頁 PDF
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Kusuyama, M. Tanaka, B. Kawase and Y. Nakao	4. 巻 XXXIV15
2. 論文標題 Theoretical Derivation of Mean Cutting-Point Space of Grinding Wheel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Manufacturing Technology	6. 最初と最後の頁 70-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小高勢也, 川瀬美真, 楠山純平, 中尾陽一	4. 巻 64
2. 論文標題 工作機械用温度制御システムの開発と制御性能の基礎的評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 砥粒加工学会	6. 最初と最後の頁 208-213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11420/jsat.64.208	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 楠山純平, 小松奏絵, 橋本匠海, 棚田耀介, 中尾陽一	4. 巻 64
2. 論文標題 ビルトインモータスピンドルの最適冷却条件に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 砥粒加工学会	6. 最初と最後の頁 254-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11420/jsat.64.254	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Kusuyama, B. Kawase, Y. Nakao, M. Kanazawa and K. Ishikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 PROPOSING A NEW EVALUATION METHOD IN SI WAFER ROTARY GRINDING	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the JSME 2020 Conference on Leading Edge Manufacturing/Materials and Processing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/LEMP2020-8601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hozumi Kanabe, Shumpei Ikushima, Jumpei Kusuyama, Yohichi Nakao	4. 巻 -
2. 論文標題 Basic study of temperature prediction model for machine tools	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of American Society for Precision Engineering 35th Annual Meeting	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hozumi Kanabe, Shumpei Ikushima, Jumpei Kusuyama, Yohichi Nakao	4. 巻 -
2. 論文標題 Fundamental investigation for measuring heat transfer coefficients using simplified model of machine tool components	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 18th International Conference on Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shumon Wakiya, Satsuki Yamazaki, Jumpei Kusuyama, Dmytro Fedorynenko, Yohichi Nakao	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental investigation on effect of shaft-bore cooling structure on thermal stability against heat generation due to aerostatic bearing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of American Society for Precision Engineering 35th Annual Meeting	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yohichi Nakao, Rei Kirigaya, Dmytro Fedorynenko, Akio Hayashi, and Kenji Suzuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Thermal Characteristics of Spindle Supported with Water-Lubricated Hydrostatic Bearings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 602-609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2019.p0602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Dmytro Fedorynenko, Rei Kirigaya, Yohichi Nakao	4. 巻 May
2. 論文標題 Dynamic characteristics of spindle with water-lubricated hydrostatic bearings for ultra-precision machine tools	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 187-196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2020.02.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yohichi Nakao, Daiki Fukui, Satsuki Yamazaki, Jumpei Kusuyama, Dmytro Fedorynenko	4. 巻 -
2. 論文標題 Fundamental Investigation of influence of air compressibility on displacement control performances of aerostatic bearings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 19th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 560-561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yohichi Nakao, Tsubasa Yaguchi, Dmytro Fedorynenko and Jumpei Kusuyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of shaft-bore water flow cooling of high-speed spindle supported with water-lubricated hydrostatic bearings on thermal stability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ASME-JSME-KSME 2019, 8th Joint Fluids Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Seiya Kodaka, Bima Kawase, Jumpei Kusuyama and Yohichi Nakao	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of temperature control system for machine tools	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 34th Annual Meeting of ASPE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shumon Wakiya, Satsuki Yamazaki, Jumpei Kusuyama, Dmytro Fedorynenko and Yohichi Nakao	4. 巻 -
2. 論文標題 Fundamental analysis on thermal characteristics of high-speed aerostatic spindle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 34th Annual Meeting of ASPE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中尾陽一, 坂田脩, 林 晃生, 寺島岳史	4. 巻 62
2. 論文標題 Zr基金属ガラスに対する単結晶ダイヤモンド切削による鏡面加工の試み	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 砥粒加工学会誌	6. 最初と最後の頁 211-218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yohichi Nakao, Rei Kirigaya, Tsubasa Yaguchi and Akio Hayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Temperature characteristics of spindle supported with water-lubricated hydrostatic bearings	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 18th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 pdf
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Satsuki Yamazaki, Dmytro Fedorynenko and Yohichi Nakao	4. 巻 -
2. 論文標題 Fundamental Design Study on High-speed Aerostatic Spindle with Water-Cooling Function	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of 33rd ASPE Annual Meeting	6. 最初と最後の頁 pdf
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akio Hayashi, Yohichi Nakao	4. 巻 51
2. 論文標題 Rotational speed control system of water driven spindle considering influence of cutting force using disturbance observer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 88-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 林 晃生, 中尾陽一	4. 巻 83
2. 論文標題 ウォータードライブスピンドルの熱的安定性の評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 17-00268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計43件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 脇谷 趣聞, 楠山 純平, Dmytro Fedorynenko, 中尾 陽一
2. 発表標題 高速小径空気静圧スピンドル用軸心水冷構造の設計と効果
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 脇谷 趣聞, 山口 大貴, 楠山 純平, 中尾陽一
2. 発表標題 高い熱的安定性を実現する超精密工作機械用高性能スピンドルシステムの開発
3. 学会等名 IMEC2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 篤史, 鈴木 優太, 楠山 純平, 中尾陽一
2. 発表標題 粒度と集中度を用いた最大高さ粗さの予測
3. 学会等名 砥粒加工学会ATF2023
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石田 凌大, 中尾 陽一, 楠山 純平, 脇谷 趣聞
2. 発表標題 ビルトインモータスピンドルの高精度フィードバック温度制御
3. 学会等名 精密工学会春季大会第30回学生会員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内山 元喜, 中川 雄登, 脇谷 趣聞, 楠山 純平, 中尾 陽一
2. 発表標題 微細形状創成用マイクロミーリングスピンドル工具の微小変位制御システムの開発
3. 学会等名 精密工学会春季大会第30回学生会員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大寺 颯人, 金子 拓海, 脇谷 趣聞, 楠山 純平, 中尾 陽一
2. 発表標題 スピンドルの熱変形予測のための機械学習モデルの検討
3. 学会等名 精密工学会春季大会第30回学生会員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠山純平, 中尾陽一, 川瀬美真, 金澤雅喜, 石川一政, 余語政輝
2. 発表標題 SiCウェーハのロータリ研削における加工特性
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口大貴, 金子拓海, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 冷却水の高精度温度制御によるビルトインモータスピンドルの熱的安定化
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋直樹, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチックの加工における新しい切りくず収集方法の開発
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 脇谷趣聞, 楠山純平, Fedorynenko Dmytro, 中尾陽一
2. 発表標題 軸心水冷機構を有する高速空気静圧スピンドルの熱的安定性に関する研究
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古浦太庸, 楠山純平, 中尾陽一, 和田弘光, 鈴木直彦, 金子義幸
2. 発表標題 ビルトインモータスピンドルの冷却構造設計
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金邊穂純, 生島竣平, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 工作機械の統合的温度予測モデルの基礎的研究
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川瀬美真, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 六角柱モデルによる砥石の作用砥粒数および平均砥粒間隔に関する基礎的研究
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 脇谷趣聞, 山崎颯生, 楠山純平, D. Fedorynenko, 中尾陽一
2. 発表標題 スピンドルの回転数増加に伴う冷却効果の検討
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田村健昇, 山口大貴, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 熱的安定性に優れた高速水静圧スピンドルの基本設計
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小高 勢也, 川瀬 美真, 楠山 純平, 中尾 陽一
2. 発表標題 工作機械用温度制御システムの開発と制御性能の基礎的評価
3. 学会等名 2019年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楠山純平, 小松奏絵, 橋本匠海, 棚田耀介, 中尾陽一
2. 発表標題 ビルトインモータスピンドルの最適冷却条件に関する研究
3. 学会等名 2019年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小高 勢也, 川瀬 美真, 楠山 純平, 中尾 陽一
2. 発表標題 冷却水温制御による工作機械用スピンドルの温度制御の試み
3. 学会等名 日本機械学会, 第13回 生産加工・工作機械部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中道之助, 川瀬 美真, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 半導体材料の高効率高精度ロータリ研削
3. 学会等名 砥粒加工学会ATF2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 生島竣平, 小高勢也, 楠山 純平, 中尾 陽一
2. 発表標題 工作機械の熱的特性の解明を目的とする熱伝達率と放射係数の測定実験
3. 学会等名 砥粒加工学会ATF2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠塚祐希, 福井大樹, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 空気静圧軸受の変位制御系における負荷変動に対する制御特性
3. 学会等名 砥粒加工学会ATF2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福井大樹, 篠塚祐希, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 空気圧サーボ弁による空気静圧スラスト軸受のフィードバック変位制御系の性能評価 (第一報, 外一定負荷に対する補償性能)
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部 第57期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田村健昇, 山口大貴, 金邊穂純, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 超高速水静圧スピンドルの基本設計
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部 第57期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口大貴, 田村健昇, 楠山純平, 中尾陽一
2. 発表標題 熱的安定性を考慮した超高速水静圧スピンドルの基本設計
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第59回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小高勢也, 中尾陽一
2. 発表標題 軸心冷却構造を備えたスピンドルの熱的特性の検討を目的にした模擬装置の試作
3. 学会等名 砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎颯生, 谷本和馬, 脇谷趣聞, 中尾陽一
2. 発表標題 軸心水冷機構を備えた空気静圧スピンドルの熱的特性の基礎的検討
3. 学会等名 精密工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎颯生, 脇谷趣聞, 楠山純平, Dmytro Fedorynenko, 中尾陽一
2. 発表標題 熱的安定性向上を目的とした軸心水冷機構を有する高速空気静圧ビルトインスピンドルの基本設計
3. 学会等名 日本機械学会 北陸信越部 第56期 総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井大樹, 山崎颯生, 中尾陽一, 楠山純平
2. 発表標題 空気静圧軸受の変位制御の実験的基礎研究
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川瀬美真, 中尾陽一, 小高勢也
2. 発表標題 工作機械用スピンドルのための水温制御システムに関する基礎的研究
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金邊穂純, 田村健昇, 中尾陽一, 楠山純平
2. 発表標題 超高速水静圧スピンドルの基本設計
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村健昇, 金邊穂純, 中尾陽一
2. 発表標題 超高速水静圧スピンドルの熱的安定性の基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 脇谷趣聞, 山崎颯生, 中尾陽一, 楠山純平
2. 発表標題 軸心冷却構造を備えた高速空気静圧スピンドルの設計
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yohichi Nakao, Yasumasa Yamada and Akio Hayashi
2. 発表標題 Feasibility study on nano tracking control of axial displacement of spindle using hydrostatic thrust bearings
3. 学会等名 17th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yohichi Nakao, Satoshi Shibata and Akio Hayashi
2. 発表標題 Controls of pitching and straightness error motion of water driven stage during feed motion
3. 学会等名 JFPS International Symposium on Fluid Power (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsubasa Yaguchi, Akio Hayashi and Yohichi Nakao
2. 発表標題 Fundamental study on thermal stability of micro milling spindle supported by water hydrostatic bearings under spindle rotation
3. 学会等名 32th ASPE Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rei Kirigaya, Akio Hayashi, Dmytro Fedorynenko, and Yohichi Nakao
2. 発表標題 Measurement of dynamic characteristic of hydrostatic spindle against radially applied forces
3. 学会等名 32th ASPE Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsubasa Yaguchi, Akio Hayashi and Yohichi Nakao
2. 発表標題 Fundamental study on thermal stability of micro milling spindle supported by water hydrostatic bearing under non-spindle rotation
3. 学会等名 The 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢口 翔, 林 晃生, 中尾 陽一
2. 発表標題 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)
3. 学会等名 日本機械学会2017年度年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 桐ヶ谷 怜, 林晃生, 中尾陽一
2. 発表標題 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
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山崎 颯生, 中尾 陽一
2. 発表標題 流量制御弁による空気静圧軸受の変位フィードバック制御の試み
3. 学会等名 日本機械学会 北陸信越部総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神山 奨, 中尾 陽一
2. 発表標題 単結晶ダイヤモンドによる難削材量の鏡面過去法に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会 関東学生会第57回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小高 勢也, 中尾 陽一
2. 発表標題 工作機械の高性能温度制御の実現を目指した冷却流体の温度制御システムの研究
3. 学会等名 日本機械学会 関東学生会第57回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武笠 孝之, 桐ヶ谷 怜, 中尾 陽一
2. 発表標題 水静圧スピンドルの温度特性の基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会 関東学生会第57回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神奈川大学工学部中尾研究室
http://www.mech.kanagawa-u.ac.jp/lab/nakao_lab/

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関