

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420079

研究課題名(和文) 潤滑油の温度粘度変化を逆用した真円ジャーナル軸受の自励振動抑制制御システムの開発

研究課題名(英文) Development of Self-Excited Vibration Suppression System for Plain Journal Bearings Inversely Using Temperature-Viscosity Change

研究代表者

風間 俊治 (KAZAMA, Toshiharu)

室蘭工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20211154

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、主に潤滑油の粘度-温度特性に着目して、摺動部材の局所的な冷却または加熱により油膜の粘度等を制御することで、軸受の隙間における潤滑油に最適な圧力分布を発現させて、幅広い運転条件下で振動および騒音を低減させることの可能な滑り軸受の開発を目的とした。その考案を検証するための供試ジャーナル軸受を製作した。

供試軸受に装着したペルティエ素子の冷却加熱特性、軸受温度分布の制御性能、自励振動の発現条件などに関する予備実験を実施した。その結果を踏まえた、自励振動発生下における局所的な過熱冷却実験により、軸受ブッシュを局所的に冷却および加熱することで軸受の振動が大幅に低減される現象を確認した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is the development of hydrodynamic bearings to be able to suppress vibration and to reduce noise in a wide range of operating conditions, focusing mainly on the viscosity-temperature characteristics of a lubricating oil, controlling the viscosity of the oil by cooling and heating, and expressing an optimum pressure distributions in the oil film. The test journal bearing was developed to verify the feasibility of the idea.

The preliminary experiments including the cooling and heating characteristics of the Peltier devices mounted on the test bearing, the control characteristics of the temperature distributions, the expressing conditions of the self-acting vibration were conducted. Based on the experimental results, when the bearing bush was locally cooled and heated under the vibration conditions, we could find that the vibration was markedly suppressed.

研究分野：機械工学

キーワード：トライボロジー 機械要素 すべり軸受 流体潤滑 潤滑油 粘度

1. 研究開始当初の背景

ジャーナルすべり軸受は、蒸気タービンやガスタービンをはじめとする大型の産業機械から、ハードディスクドライブなどの小型のIT機器までの主軸受などとして用いられている。つまり、きわめて幅広い工業製品の回転軸を支持する、基本的かつ重要な機械要素に位置づけられる。故に、その高安定化ならびに高効率化は、安全・安心社会および低炭素・持続可能社会の実現に大きく貢献すると云える。

ジャーナル軸受のすべり速度は、ターボ機械に用いられる油潤滑のすべり軸受で 150 m/s、小径のすべり軸受で 200 m/s 以上にも達する [引用文献]。軸受の高速化は、オイルヒップやオイルホワールに代表される自励振動を付随し、機器やシステムの振動や騒音を招き、安定性を損なう。同時に、潤滑膜内部の液体の粘性散逸による温度上昇を引き起こし [引用文献]、潤滑油粘度の低下、流体負荷容量の減少、摩擦抵抗の増大から、損失の増大と効率の低下を誘引する。起動・停止時から高速運転時までの、無負荷・軽荷重状態から高負荷・高荷重状態までの、幅広い運転条件へ柔軟に適應する軸受の開発が待ち望まれていた。

真円ジャーナル軸受は、最も基本的な構造のすべり軸受に位置づけられる。形状が単純であるために比較的に設計、製作が容易であり、性能解析も相対的に簡便であるなどの利点が多い。ただし、オイルホワールやオイルヒップ(ウィップ)などの自励振動が生じ易く [引用文献]、これを回避するために、実機では軸受ブシュの形状を楕円弧や多円弧などに加工して、あるいは軸受面にティルティングパッドや部分円弧などを用いて、非真円を形成させている。こうした方法は、精度の高い加工や特殊な部品を要することのみならず、予め運転条件を想定あるいは限定して形状を製作せざるを得ず、必ずしも万策が講じられているとは云い難い。

なお、軸受の安定化を図る他の方法として、電気粘性流体を用いて電場を変化させる方法 [引用文献]、供給油温を制御する方法、供給油量を絞る方法 [引用文献] などが提案されている。しかし、これらの手法においても、解明すべき現象や解決すべき課題は多く残されている。

2. 研究の目的

本研究では、潤滑油の粘度 - 温度特性に着目して [引用文献]、摺動部材の局所的な冷却加熱で油膜の粘度を制御することにより最適な圧力分布を発現させて、幅広い運転条件下において、振動・騒音を低減させることの可能なジャーナル軸受の試作開発と実証研究を目指した。

本研究における取り組みは、隙間内部の局所に温度分布を能動的に与えることにより、任意の作動条件に対応してオンデマンドで

最適な状態に制御可能な軸受を開発することに焦点を定めた。使用する液体は一般の潤滑油を対象としており、特殊な液体を用いない。また、軸受形状は基本となる真円とする。これらは、環境、安全、信頼性、メンテナンス、ハザード、コストの観点からも、きわめて価値が高いものである。

3. 研究の方法

本研究では、3年度間にペルティエ素子搭載型ジャーナルすべり軸受の試作と実験を、振動抑制効果や最適運転制御に着目して実施した。初年度は供試軸受の設計・製作、実験装置の検討・改造、計測システムの考案・構築を、次年度以降は更なる検証実験を進めた。

図1および図2は、試作した、真円ジャーナル軸受試験機の模式図である。供試軸受の主な緒言は以下の通りであった。

軸受直径 50 mm、軸受幅 50 mm、半径すきま 0.025 mm とした。軸受ブシュは黄銅で、軸は炭素鋼で製作された。軸受ブシュは周方向に6分割された後、ポリオキシメチレン製シートを挟んで再度組み合わせることにより、軸受周方向 60°毎に熱的絶縁を施した。5個の空冷式ペルチェデバイス(素子寸法 20 mm × 20 mm、最大電圧 7 V、最大吸熱エネルギー 10 W)を、上面を除く各ブロック外周面に装着した。白金測温抵抗体 (PT100) を各ペルティエ素子面に装着して温度を計測した。非接触式のレーザ変位計 (測定距離 10 mm、繰返し精度 0.025 μm) により軸受の振動を計測した。

潤滑剤には、ISO VG22 のナフテン系原料油 (動粘度 22.1/3.65 mm²/s、@40/100) を用いた。供試軸受への給油は、自然落下方式とした。

軸受荷重は、ロードセル(定格容量 1 kN、固有周波数 1.75 kHz)を介して、軸受のブシュ部をねじ (M20) で吊り上げる方法で掛けた。また、軸の両端を転がり軸受で支持し、軸をサーボモータ (定格出力 400 W、定格回転速度 50 s⁻¹) で一定回転させた。

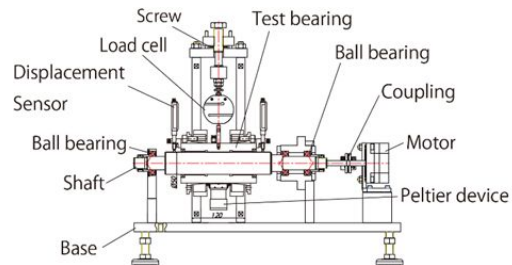


図1 試験装置

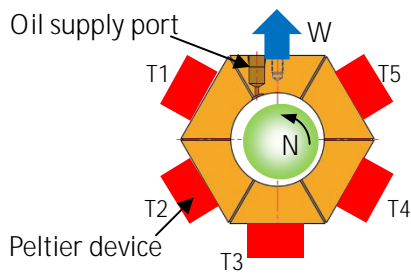


図2 軸受プッシュ部

4. 研究成果

以下、実験結果の一例を示す。図3には、複数のペルティエ素子により軸受プッシュに温度制御を施す前と後の周方向温度分布を示す。また、図4と図5は、それぞれ、その制御の前と後の軸受上下方向の振動の波形データである。実験条件は、軸回転速度 $N = 30 \text{ s}^{-1}$ 、軸受荷重 $W = 20 \text{ N}$ 、冷却箇所：T2, T3, T4、加熱箇所：T1, T5であった。

図3より、温度制御前の温度分布は、軸受周方向にほぼ一様であったが、個々のペルティエ素子に通電することにより、大きな温度変化と明瞭な温度分布が生じており、軸受プッシュに局所的な温度制御を実現できることが確認できた。さらに、温度制御前の図4と温度制御後の図5の振動波形を比較することにより、振動が大幅に減少したことを認めることができる。

図6と図7は、図4と図5のそれぞれの振動波形を周波数解析した結果である。図6より、軸回転速度の半分で軸が振動していたこと、つまり、オイルホワールが発生していたと判断できる。加えて、図6と図7を比べることで、温度制御によりこのオイルホワールが明確に抑制できていたことが分かる。

その他の条件についても、最高軸回転速度 40 s^{-1} および最高軸受荷重 100 N までのやや限定的な範囲内ではあったが、同様に、軸受プッシュの一部を冷却ならびに加熱して温度分布を与えることにより、自励振動を抑制する効果を見出しており、実験的に検証することができた。なお、加工精度や組立精度の影響、熱変形や弾性変形との関連性、詳細な数理モデルや数値解析の検討、大型装置や実機条件における試験などについては、今後の課題とされる。

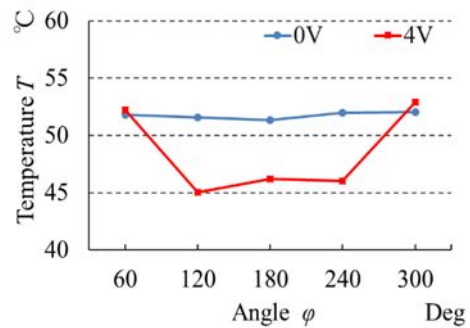


図3 温度制御前後の周方向温度分布 ($N = 30 \text{ s}^{-1}$ 、 $W = 20 \text{ N}$ 、冷却：T2, T3, T4、加熱：T1, T5)

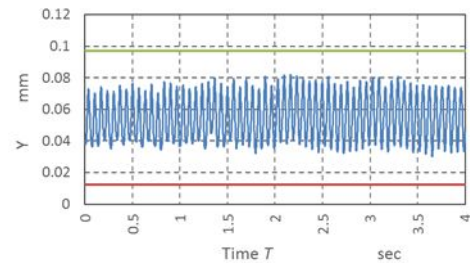


図4 温度制御前の軸受縦方向振動波形 ($N = 30 \text{ s}^{-1}$ 、 $W = 20 \text{ N}$ 、冷却：T2, T3, T4、加熱：T1, T5)

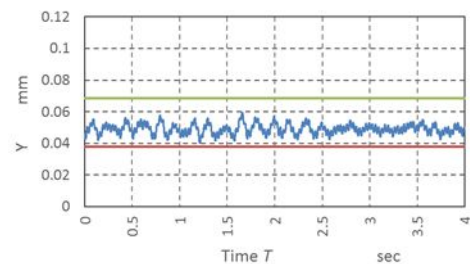


図5 温度制御後の軸受縦方向振動波形 ($N = 30 \text{ s}^{-1}$ 、 $W = 20 \text{ N}$ 、冷却：T2, T3, T4、加熱：T1, T5)

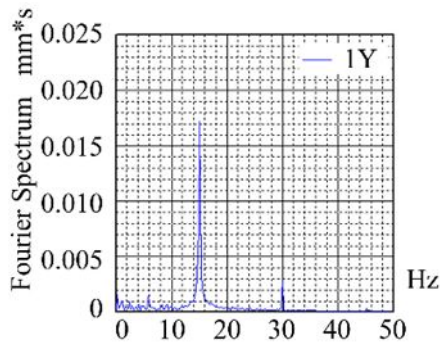


図 6 温度制御前の軸受縦方向振動波形の周波数解析結果 ($N = 30 \text{ s}^{-1}$ 、 $W = 20 \text{ N}$ 、冷却: T2, T3, T4、加熱: T1, T5)

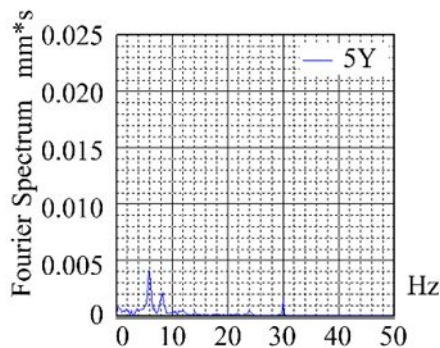


図 7 温度制御前の軸受縦方向振動波形の周波数解析結果 ($N = 30 \text{ s}^{-1}$ 、 $W = 20 \text{ N}$ 、冷却: T2, T3, T4、加熱: T1, T5)

<引用文献>

田中 正人、高速におけるトライボロジー、潤滑、33 巻、2 号、1988、84 - 89

Khonsari, M. M., A Review of Thermal Effects in Hydrodynamic Bearings, Part II Journal Bearings, ASLE Transactions, 30 巻、1 号、1986、26 - 33

Singhal, S. and Khonsari, M. M., A Simplified Thermohydrodynamic Stability Analysis of Journal Bearings, Journal of Engineering Tribology, Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Vol. 219, No. 3, (2005), 225 - 234

是永 敦、佐々木 信也、安藤 泰久、小野 京右、液晶潤滑ジャーナル軸受の静特性に及ぼす電極配置の影響、トライボロジスト、50 巻、4 号、2005、360 - 367

橋本 巨、落合 成行、スターブ潤滑を利用した小口径ジャーナル軸受の安定化法、トライボロジスト、53 巻、4 号、2008、267 - 274

風間 俊治、齋藤 圭佑、成田 幸仁、花島 直彦、粘度制御式ジャーナル軸受の開発、トライボロジー会議 2013 春 東京 予稿集、USB、D11

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

T. Kazama, N. Tanimura, Y. Narita, and N. Hanajima, Vibration Suppression of a Journal Bearing Using Temperature Control: A Preliminary Experiment, Memoirs of the Muroran Institute of Technology、査読有、Vol. 65, 2016, 31 - 34

<http://hdl.handle.net/10258/00008607>

T. Kazama, Improving the Static Characteristics of Hydrodynamic Bearings Using the Viscosity-Temperature Relations of Lubricants, Mechanical Engineering Letters、査読有、Vol. 2, 2016, 15-00699 (8 pages)

DOI: 10.1299/mel.15-00699

〔学会発表〕(計 4 件)

風間 俊治、谷村 直紀、成田 幸仁、花島 直彦、温度制御による真円ジャーナル軸受の振動抑制に関する検証実験、日本設計工学会 2015 年度秋季研究発表講演会、E09、2015、179 - 180 (2015.10.10、北海道大学、北海道札幌市)

風間 俊治、潤滑油粘度の温度依存性によるすべり軸受の静特性制御の可能性について、日本機械学会 2015 年度年次大会 DVD-ROM 講演論文集、2015、G1100204 (2015.9.16、北海道大学、北海道札幌市)

N. Tanimura, T. Kazama, Y. Narita, N. Hanajima, Preliminary Experiment of Vibration Suppression of Journal Bearing by Temperature-Viscosity Control, Abstract Book of MIER2015, 2015, p. 16 (2015.5.30、室蘭工業大学、北海道室蘭市)

谷村 直紀、風間 俊治、成田 幸仁、花島 直彦、温度粘度制御によるジャーナル軸受の振動抑制試行実験、日本機械学会北海道支部 第 53 回講演概要集、2014、121 - 122 (2014.9.27、室蘭工業大学、北海道室蘭市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mmm.muroran-it.ac.jp/~kazama/journal-j.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

風間 俊治 (KAZAMA Toshiharu)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20211154

(2)研究分担者

成田 幸仁 (NARITA Yukihiro)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90431519

(3)連携研究者