

氏 名	ひら やま とも こ 平 山 朋 子
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3733 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Basic Studies on Performances of Small-Sized Oil-Lubricated Spiral-Grooved Journal Bearings (小形油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受の作動特性に関する基礎的研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 久 保 愛 三 教 授 垣 野 義 昭 教 授 松 久 寛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、情報通信分野などにおける超高密度の情報記憶装置の実現とその信頼性に直接関わる小形精密機器用スピンドルに適するものとして、近年、ハードディスクドライブなどに適用されつつある油潤滑スパイラル溝付軸受を対象とし、実用に際して発生する諸問題を解決するために、実験、解析の両面から軸受の作動特性を検討したものである。本論文は5章より構成されている。本論文の主な内容と得られた成果は以下のとおりである。

第1章は緒言で、スパイラル溝付軸受に関するこれまでの研究と、近年、油潤滑スパイラル溝付軸受がハードディスクドライブ用に多く採用されつつあることの背景について述べている。過去のスパイラル溝付軸受に関する研究は気体軸受に関するものがほとんどで、油潤滑の軸受に関する研究は少なく、ハードディスクドライブスピンドル用等の小形精密機器に用いられる軸受のように、高速回転で軸振れに対して極めて高い精度が要求される油潤滑軸受については、過去の研究からはその性能解析や設計に関する十分な知見が得られない。そして、軸受すきま内に発生するキャビテーションの影響、油漏れのメカニズム、油のせん断による温度上昇の程度などを明確にすることが極めて重要であることを指摘している。

第2章では、油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受を対象とし、軸受すきま内に発生するキャビテーションが軸受特性に及ぼす影響を詳細に検討している。すなわち、実機に採用されている軸受の幾何学的形状に忠実に対応して、軸受溝のスパイラル形状とそれに連続する外周部における溝なし平滑面の存在という境界条件を正しく考慮するほか、潤滑油膜内でのキャビテーション発生が軸受性能に及ぼす影響を物理的に矛盾なく考慮することのできる油膜等価流れ条件を採用して、軸受すきま内の圧力分布を解析するモデルを提案している。このモデルによる解析結果は、キャビテーションの発生を無視した解析結果とは大きく異なり、油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受の性能を解析あるいは設計するには、キャビテーションの油膜内発生 の考慮が不可欠であることを示している。また、[平滑・山形スパイラル溝・平滑]の幾何学的面形状を持つ軸受のすきま内のキャビテーション発生状態を可視化して把握するため、実機を比例拡大した装置を製作し、それを用いた実験で理論解析結果の妥当性を検討している。その結果、キャビテーションが安定的に発生する領域は、申請者の提案した軸受解析モデルによって得られるキャビテーションマップと非常によく一致することが確認され、提案した理論の妥当性が実証されている。さらに、軸受の静特性および動特性に関するパラメータスタディを行い、キャビテーションの発生の影響を考慮に入れた解析によって、これを考慮しないときに比べて、軸受剛性は大きく、減衰係数は小さく、また、Half-frequency whirl (二分の一回転周波数の軸振れ回り) に対する軸受の安定限界がより安定側に見積もられることを示している。あわせて、軸受すきま内に発生するキャビテーションが軸受のその他の特性に及ぼす影響の傾向やその程度をも明確にしている。

第3章では、油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受の油漏れ現象に対する軸受の自己シール性に関して詳細な検討を行っている。すなわち、まず、軸受側端からの油漏れ現象を引き起こす要因として、スピンドル軸の平行変位と角度変位が軸受すきま内の油に働く力にアンバランスを引き起こすことを考えている。また一方、これに対抗して軸受すきま内に潤滑油を保持する力が存在するが、この力の発生要因として、軸受両端のテーパ部における表面張力差と、潤滑油端面が軸受すきま

内に入り込んだときのスパイラル溝の実効的な長さの変化を挙げて解析している。そして、これら潤滑油に働く軸方向力の釣り合いの条件をもとにして、軸受すきま内の気液境界面の位置を推定するモデルを提唱し、そのモデルの妥当性を実験により確認している。このモデルに基づく解析により、油漏れ現象に対する軸受の自己シール性のメカニズムと、油漏れに対する軸受の安定作動条件を明確にしている。

第4章では、軸受すきま内の油膜と軸および軸受に数値熱流体解析を適用して、油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受の作動時温度特性を把握できるモデルを構築し、このモデルにより得られる理論解析結果が、実験による油膜温度測定値とよく一致することを示している。ついで、軸受の温度特性に関与する、軸受形状や作動条件のパラメータである、基準ベアリング数、半径すきま比、熱伝達率、軸受厚さ等を変化させて解析を行い、軸受の温度特性は軸受性能に関与する全てのパラメータの影響を比較的大きく受けるが、その中で最も強い影響を及ぼすのは、半径すきま比と熱伝達率であることを示している。

第5章は結言で、本論文で得られた成果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、情報通信分野などにおける超高密度の情報記憶装置の実現とその信頼性に直接関わる小形精密機器用スピンドルに適する油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受を対象とし、実用上の諸問題に関して、実験、解析の両面から検討したもので、主な内容は以下のとおりである。

- 1) 軸受すきま内でのキャビテーション発生の影響を物理的矛盾なく考慮することのできる油膜等価流れ条件を油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受の解析に適用するモデルを提案し、軸受の特性を解析するシミュレータを開発している。また、軸受すきま内のキャビテーション発生状態を可視化する実験を行い、シミュレーションの結果を評価し、この種の軸受を設計するには油膜内におけるキャビテーションの発生を考慮した本モデルが非常に適していることを確認している。さらに、軸受の静特性、動特性に関するパラメータスタディを行い、軸受の安定限界に関する新しい知見を得ている。
- 2) ハードディスクドライブ用等の軸受にとってきわめて重要である軸受端からの油漏れ現象を検討できるモデルを提案している。すなわち、潤滑油を軸受すきま内に保持する力として、軸受両端のテーパー部における表面張力差と、潤滑油端面が軸受すきま内に入り込んだときのスパイラル溝実効長さの変化を考え、ジャーナルの平行変位と角度変位が軸受すきま内の油に作用する力にアンバランスを生むという油漏れ要因を油膜圧力分布から明らかにし、軸受が潤滑油を軸受すきま内に保持することのできる安定限界の算出法を示している。
- 3) 軸受すきま内油膜、軸および軸受に数値熱流体解析を適用した軸受の温度特性解析法を開発し、その解析結果の妥当性を実験により確認している。このことにより、小形精密機器用スピンドルの軸受にとってのもう一つの大きな問題である発熱と温度上昇の状態の把握が可能となった。また、軸受の温度特性に関与する多くのパラメータの中でも、半径すきま比と熱伝達率が油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受の熱特性に最も著しい影響を与えることを明らかにしている。

以上要するに本論文は、ハードディスクドライブなどの小形精密機器用スピンドルに近年適用されつつある油潤滑スパイラル溝付ジャーナル軸受の、性能解析法、設計法の基礎を構築したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年1月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。