

氏名	おおくば とし ふみ 大久保 俊 文
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2335 号
学位授与の日付	平 成 2 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	薄層気体潤滑条件下で作動する動圧スライダ軸受の研究

論文調査委員 (主査)
教授 森 美郎 教授 矢部 寛 教授 赤松 映明

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、超微小浮上すきまで作動する浮動ヘッドスライダについて、微小すきまの精密な測定手法およびスライダと媒体の接触検出手法を開発し、浮動ヘッドスライダの浮上特性に及ぼす種々の作動条件の影響を解明したもので、8章から成っている。

第1章は序論で、研究の背景、研究の目的および各章における研究の内容の概要について説明している。

第2章では、気体の分子平均自由行程がスライダの静特性に及ぼす影響を顕在化するため、ヘリウムおよび減圧ヘリウム環境中において、軽荷重かつ圧縮性定数の影響の少ない小形スライダを用い、分子平均自由行程に起因する浮上すきまの減少率が65%、クヌッセン数が約3までの領域で実験を行い、修正レイノルズ方程式に基づく計算結果との精密な比較を実施し、局所クヌッセン数あるいは平均クヌッセン数を導入して検討している。さらに、第3章に述べる高精度な測定系により、最小浮上すきま0.03 μm 、クヌッセン数8までの実験を行い、修正レイノルズ方程式による浮上特性の予測精度を検討している。

第3章では、浮上すきまの精度測定法として、可視レーザを微小なスポットに集光して照射し、すきまに対応して変化する干渉光の強度を光電検出する光学系を構成し、測定誤差の原因となるレーザ光源の出力変動の抑制、走行面・スライダ浮上面の反射特性の影響の詳細な評価を行い、さらに、機構振動が測定系に及ぼす影響を補償するなど、高精度で短時間に自動測定する手法を示している。また、この測定系を用い、スライダ走行面に人工的に設けた矩形溝、矩形状突起を通過する時の過渡応答を測定し、動特性測定の範囲を実験的に検討している。なお、別途フォトリフレクタを用いた小形で簡易な浮上すきま測定系を構成し、十分実用に耐える性能を有することも示している。

第4章では、各種外乱に対する浮動ヘッド機構の動特性について、従来、評価が十分でなかった支持機構の動特性をも含めて精密に検討し、実用装置の作動条件下では測定が困難な動特性については、機構ごとに測定した振動スペクトラムを処理する間接的な評価法を示している。さらに、0.1 μm 定常浮上すきまにおいて、約2倍の高さの矩形状突起を通過させ、空気膜の非線形・大変位応答を検討し、これらの実験結果と修正レイノルズ方程式に基づく計算結果を比較している。

第5章では、スライダの浮上特性に及ぼす表面あらさの影響について、まず一次元面あらさを有する無限幅スライダに対する圧縮性流体の場合の平均すきま近似解と直接解を比較して近似精度を調べ、ついで有限幅スライダに関して、規則的に分布する平行あらさ、直交あらさおよび2次元あらさを有するスライダの実験を行い、平均すきま理論に基づく計算結果と比較することにより、平均すきま理論の妥当性を明らかにしている。

第6章では、ヘリウム—空気混合気体中でのスライダの浮上特性について、混合気体を気体分子運動論に基づいて算定した等価な分子平均自由行程、等価な粘度を有する単一気体とみなすことによって、一次、二次のスリップ流れを考慮した修正レイノルズ方程式およびボルツマン方程式に基づく一般化潤滑方程式による解析を行い、実験結果と比較検討している。

第7章では、スライダと媒体の接触の精密な検出・評価法として、接触コンダクタンス法を導入し、表面に導電化処理を施した実媒体と高速応答・高インピーダンス性能を有する接触信号検出系を用いて接触特性の評価を行い、従来の音響弾性波検出法と比較して従来法の精度についても検討している。

第8章は総括で、本研究によって得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

磁気ディスク装置において、微小すきまで作動する浮動ヘッドの設計には、薄層気体潤滑に特有な分子平均自由行程の影響の解明、精密な追従性の評価などが重要な課題であり、そのためにはすきま測定の高精度化が前提となる。従来浮上すきまの測定は主として白色光干渉法によっており、直読可能なすきまは $0.15\mu\text{m}$ 程度までで、動特性の測定も困難であった。本論文は新たに微小すきまの精密な測定手法を提出し、動特性を含めた浮動ヘッドスライダの浮上特性を明らかにしたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 浮上すきまにおいて微小スポットに集光した可視レーザの干渉光強度を光電検出し、多重干渉を考慮するとともに、光学特性の変動をコンピュータ処理により補償し、高精度で短時間に自動測定する方法を確立した。測定可能な絶対すきまは $0.03\mu\text{m}$ 、分解能は $0.0013\mu\text{m}$ である。さらに、走行面に形成した矩形溝、矩形突起をスライダが通過するときのすきま変動の測定から、サブミクロン浮上すきまにおいて 100kHz 以上の広帯域に亘る動特性が測定可能であることを実証した。

2. 分子平均自由行程の影響について、最小すきま $0.03\mu\text{m}$ 、クヌッセン数8までの範囲で浮上特性の精密な測定を行い、この範囲までスリップ流れモデルによる修正レイノルズ方程式により、実用設計上、十分な精度で浮上特性の予想が可能であることを明らかにした。

3. 実用装置に搭載される浮動ヘッドスライダ機構に関し、想定される各種の外乱に対する精密な動特性評価法を示し、装置の各機構部の許容振幅・許容加速度の基準を与えた。また、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の微小な平均浮上すきまにおいて、このすきまを上回る高さの突起を通過する時の非線形・大変位過渡応答の測定を可能ならしめ、これらの実験結果より修正レイノルズ方程式がスライダ動特性の設計・予測にも適用可能であることを示した。

4. 表面あらさの影響について、まず矩形断面を有する一次元あらさの平均すきまに基づく近似解析結

果が、無限幅スライダの場合の直接解析結果とよく一致することを確認し、次に、従来未確認であった規則性のある一次元および二次元あらしを有するスライダの浮上実験を行い、算術平均すきま、調和平均すきまをあらしの特性に応じて混合して用いる混合平均すきま理論の近似解析結果が実験結果と一致することより、平均すきま理論の適用の妥当性を実証した。

5. 混合気体を作動流体とする場合について、混合気体を等価な分子平均自由行程、等価な粘度を有する単一な気体とみなす評価手法を提案し、これを用いて、一次、二次のスリップ流れを考慮した修正レイノルズ方程式、ボルツマン方程式に基づく一般化潤滑方程式による解析結果と実験結果を比較し、ボルツマン方程式による結果が実験と定性的によく一致すること、一次スリップのモデルは多少ずれる傾向のあること、および二次スリップのモデルは近似式としての精度が不十分であることを明らかにした。

6. 表面を導電化処理した薄膜媒体と高インピーダンスで高速応答性を有するパルス増幅回路を用い、スライダの接触特性を高精度で測定できる固体接触コンダクタンスの高感度検出手法を作成した。これにより、完全な気体潤滑が推定される場合にも、スライダと媒体との確率的な接触が存在すること、接触頻度は近似的に走行速度のべき乗関数で表現できることを明らかにした。

以上を要するに本論文は、磁気ディスク装置における浮動ヘッドスライダの微小浮上すきまの精密測定法を開発し、すきまの微小化に伴って発現する種々の作動条件の影響を詳細に検討して浮動ヘッドスライダ機構の設計に有力な指針を与えたもので、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成2年1月17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。