

平成30年6月18日現在

機関番号：15101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14147

研究課題名(和文) 熱ほふく流を考慮した分子気体潤滑理論に基づくナノメータ浮上メカニズムの提案と解析

研究課題名(英文) Analysis of thermally induced levitation mechanism based on thermo-molecular gas film lubrication theory

研究代表者

福井 茂壽 (Fukui, Shigehisa)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・特任教授

研究者番号：40273883

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超微小すきまを介して対抗する平行平板や任意形状局面に温度分布が存在し、境界面における分子の反射の性質を決めるパラメータである「適応係数」が任意の場合を対象に、新たに気体温度のみを自由分子流の温度と仮定する「準自由分子流 t-MGL方程式」を提案し、その理論解析・数値計算によって、温度分布や適応係数の影響、あらには周囲気体(空気、ヘリウム)の影響を明らかにした。特に、「準自由分子流 t-MGL方程式」の静的および動的特性の数値解析手法を確立した。これらの研究成果は、近年開発が盛んな熱援用記録方式(HAMR)などの特性解析に有用である。

研究成果の概要(英文)： In the present research, the flying characteristics of a step slider flying in either air or He with a local temperature distribution of the disk are analyzed using the thermo-molecular gas-film lubrication (t-MGL) equation in the quasi-free-molecular flow region (quasi-free-molecular t-MGL equation: t-MGLqfm eq.). The gas temperature in the t-MGLqfm equation, τ_G , is assumed to be that in the free molecular limit, τ_{Gfm} , defined by temperatures and accommodation coefficients at the disk, τ_{W0} , α_0 , and those at the slider, τ_{W1} , α_1 , respectively. The decreases in static spacing for the slider flying in He are significant. Moreover, the spacing decreases as the accommodation coefficients of the disk, α_0 , decreases, that is, as the ratio of specular reflection increases. The spacing fluctuation caused by a running wavy disk varies according to both the ambient gas (air/He) and the boundary accommodation coefficients.

研究分野：気体潤滑理論

キーワード：分子気体潤滑理論 適応係数 熱ほふく流 準自由分子流

1. 研究開始当初の背景

マイクロ/ナノメカニズムでは、形状が非常に小さいことによって従来無視し得た力が顕在化する。この様な力の評価では、しばしば熱統計力学等の確率統計的な知見が重要となる。例えば、対象とする代表長さ h に比べ気体の分子平均自由行程が必ずしも無視できない場合、すなわちクヌッセン数 $Kn (= \lambda/h)$ が無視しえない場合には、分子気体力学 (希薄気体力学) の知見を用いる必要が生じてくる。

申請者 (福井) は、前所属 NTT 研究所の頃から長年この観点の研究を続け、コンピュータ用ハードディスク装置の浮動ヘッドスライダにおける超微小すきまの浮上圧力発生量の予測・設計を狙いに精力的に行い、分子気体力学の立場から求めた方程式 (分子気体潤滑方程式:MGL) を確立した。この方程式は $0.1 \mu\text{m}$ 以下の超微小すきまで浮上する超高密度記録用磁気ヘッドの特性解析・設計に、日本国内外の大学・主要企業で使われている。

本研究では、上記のマイクロナノ系に特有な熱流体現象である、境界壁の温度勾配の存在による「熱ほふく流 (Thermal creep flow)」に着目し、これを利用した全く新しい非接触浮上メカニズムの考案とその工学的展開を図るべく、挑戦的萌芽研究により申請するに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、マイクロ/ナノ領域でのみ現れる熱統計力学的な力学作用である「熱ほふく流 (Thermal creep flow)」を考慮した「分子気体潤滑 (t-MGL: Thermo-Molecular Gas-film Lubrication) 理論」に基づいて、新たに考案したナノメータ非接触保持メカニズムの作動性の静的および動的解析手法と作動特性を明らかにするとともに、超高密度記録用プローブ保持メカニズムとしての実現可能性を探求することである。

3. 研究の方法

本研究の期間を2年とし、すでに予備検討の進んでいる分子気体潤滑 (t-MGL) 理論に基づく解析を先行させ、これと相補的解析手段である改良 DSMC 解析 (DPMC 解析) による解析を進める。上記の2つの解析手法により、定量的な特性評価を図りつつ、温度印加による圧力発生量を浮上すきま量の計測により検証を進める。具体的には、平成28年度には境界面温度を考慮した MGL 理論 (t-MGL 理論) の再吟味と静的・動的解析、DPMC 解析の高精度解析の検討、平成29年度には、t-MGL 解析と DPMC 解析の比較等による作動性の確認および実験検証を進め、特性の総合評価を行う。

4. 研究成果

平成28年度では、超微小すきまを介して

対向する平行平板や傾斜平面に温度分布が存在し、境界面における分子の反射の性質を決めるパラメータである「適応係数」が任意の場合を対象に、自由分子流領域における気体発生圧力を与える分子気体潤滑方程式 (自由分子流 t-MGL 方程式) を用いて、以下の研究を推進した。

a) 超微小すきまに発生する静的圧力に及ぼす適応係数の影響:

自由分子流 t-MGL 方程式を用いて、気体膜の静特性を線形解析する手法を確立した。具体的には、スライダの傾きおよび印加温度 w を微小とした線形解析を行い、特に、上下面を拡散反射とした従来の場合 (基準状態) と比べ、上下面の適応係数によって与えられる等価適応係数によって与えられることを定量的に明らかにした。

b) 超微小すきまに発生する動的圧力に及ぼす適応係数の影響:

自由分子流 t-MGL 方程式に対して、超微小すきまの極限であるベアリング数無限大近似を適用し、動的発生圧力の解析を行った。具体的には、任意の印加温度 w を有しスライダ面が微小な振幅で並進運動 (スクイズ運動) する時に生じる動的圧力が進行波状となることを示し、その移流速度および波長が、静的圧力の場合 a) と同様に、等価適応係数に依存することを明らかにした。

上記 a), b) の結果は、超微小すきまに特有な流れに及ぼす境界面の分子の反射形態 (適応係数) の影響の基本特性を与えるものである。

平成29年度には、平成28年度の研究を高度化し、超微小すきまを介して対向する平行平板や任意形状曲面に温度分布が存在し、境界面における分子の反射の性質を決めるパラメータである「適応係数」が任意の場合を対象に、新たに「準自由分子流 t-MGL 方程式」を提案し、それによって温度分布、適応係数の影響、さらには周囲気体 (空気、ヘリウム) の影響を明らかにした。

a) 分子気体力学に基づく境界面温度と適応係数を考慮した潤滑理論の再検証:

<a-1> t-MGL 方程式の再検証とデータベースの整備: ボルツマン方程式に基づいて、逆クヌッセン数と境界面の適応係数を規定した場合の速度プロファイルを数値的に求め、さらに流量係数およびせん断応力係数を高精度に求めることにより、それぞれのデータベースを整備した。

<a-2> 数~数十 nm のすきまを対象に、気体温度のみを自由分子流の温度と仮定する、「準自由分子流 t-MGL 方程式」を構築・提案し、それによる特性解析を進めた。

b) 境界面の温度と適応係数を考慮した分子気体潤滑 (t-MGL) 方程式の数理的考察:

任意の温度分布形状を有する微小な印加温度に対して、まず点温度印加に対する発生圧力を求め (グリーン関数)、つぎに畳み込

み積分により全体の発生圧力を得る手法を新たに開発した(グリーン関数法)。

c) 準自由分子流 t-MGL 方程式を用いた静のおよび動的浮上特性の数値解析:

上記 b) に述べた、超微小すきまに対してより汎用的に用いることができる「準自由分子流 t-MGL 方程式」を用いて、静のおよび動的な特性解析の数値解析手法を確立し、適応係数の影響、周囲気体(空気、ヘリウム)を明らかにした。

これらの研究成果は、近年研究開発が盛んな熱援用記録方式(HAMR)や熱援用浮上すきま制御方式(TFC)の特性解析および設計に、非常に有益である。

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 0 件)

[学会発表](計 8 件)

(1) 浅田凌太、篠原郁哉、種岡純哉、前川覚、松岡広成、福井茂寿、「境界面の温度と適応係数を考慮した分子気体潤滑(t-MGL)解析 - t-MGL 特性の数理的考察 -」, 日本機械学会 情報知能精密機器部門 講演会 (IIP2018) (2018.3.14-15 (東洋大川越))

(2) 篠原郁哉、浅田凌太、種岡純哉、前川覚、松岡広成、福井茂寿、「境界面の温度と適応係数を考慮した分子気体潤滑(t-MGL)解析 - 有限幅スライダの静的および動的挙動解析 -」, 日本機械学会 情報知能精密機器部門 講演会 (IIP2018) (2018.3.14-15 (東洋大川越))

(3) 浅田凌太、篠原郁哉、前川覚、松岡広成、福井茂寿、「境界面の温度と適応係数を考慮した分子気体潤滑(t-MGL)解析 - 速度プロフィールに着目した t-MGL 静特性の解明 -」, 日本機械学会 中国四国支部講演会 講演論文集 (2018.3.7 (徳島大))

(4) 篠原郁哉、浅田凌太、前川覚、松岡広成、福井茂寿、「境界面の温度と適応係数を考慮した分子気体潤滑(t-MGL)ダイナミクス - スライダ-浮上姿勢における適応係数の影響」, 日本機械学会 中国四国支部講演会 講演論文集 (2018.3.7 (徳島大))

(5) 浅田凌太、篠原郁哉、前川覚、松岡広成、福井茂寿、「境界面の温度と適応係数を考慮した分子気体潤滑(t-MGL)解析 - 任意の温度分布に対する圧力・せん断応力解析 -」, 日本機械学会 2017 年度年次大会 講演論文集 (2017.9.3-6 (埼玉大))

(6) 浅田凌太、岡村祐輝、前川覚、松岡広成、福井茂寿、「境界面の温度を考慮した分子気体潤滑(t-MGL)解析 - 自由分子流 t-MGL 静特性における適応係数の影響 -」, 日本機械学会 2016 年度年次大会、2016 年 9 月 11 日~14 日、九州大学工学部(福岡市)

(7) 種岡純哉、岡村祐輝、前川覚、松岡広成、

福井茂寿、「境界面の温度を考慮した分子気体潤滑(t-MGL)解析 - 自由分子流 t-MGL ダイナミクスにおける適応係数の影響 -」, 日本機械学会 2016 年度年次大会、2016 年 9 月 11 日~14 日、九州大学工学部(福岡市) (8) S. Fukui, Y. Okamura, H. Matsuoka, "Thermo-molecular Gas-film Lubrication (t-MGL) Analysis in the Free Molecular Limit (Effects of Accommodation Coefficients on Static Pressure)", ASME(米国機械学会), Information Storage and Processing Systems (ISPS2016) (国際学会), 2016 年 06 月 20 日~21 日、Santa Clara, LA

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

http://www.damp.tottori-u.ac.jp/~lab2/index_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井 茂寿 (FUKUI Shigehisa)
鳥取大学・大学院 工学研究科 (現持続性社会創生科学研究科) 特任教授
研究者番号: 4 0 2 7 3 8 8 3

(2) 研究分担者

松岡 広成 (MATSUOKA Hiroshige)
鳥取大学・大学院 工学研究科 (現持続性社会創生科学研究科工学専攻) 教授
研究者番号: 1 0 3 1 4 5 6 9

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者 ()