

メニスカス力を考慮したコンタクトスライダのダイナミクス解析

- 正弦波およびランダム表面うねりによる解析結果 -

Dynamics of an In-Contact Head Slider Considering Meniscus Force

- Results for Sinusoidal and Random Undulation Surface -

正 松岡 広成 (鳥取大) 正 福井 茂寿 (鳥取大)

正 加藤 孝久 (機械技研) 非 諏訪 正浩 (鳥取大学学生)

Hiroshige MATSUOKA, Tottori University, Minami 4-101, Koyama, Tottori

Shigehisa FUKUI, Tottori University, Minami 4-101, Koyama, Tottori

Takahisa KATO, Mechanical Engineering Laboratory, 1-2 Namiki, Tsukuba, Ibaraki

Masahiro SUWA, Student, Tottori University, Minami 4-101, Koyama, Tottori

Computer simulation of bouncing vibration and wear characteristics of an in-contact head slider was performed using 3-degrees-of-freedom (3-DOF) model of a head-suspension assembly, considering the meniscus force generated by the surface energy of the lubricant on the magnetic disk. As a result of the calculation for the sinusoidal undulation, it was found that an optimal surface energy exists from the view point of in-contact slider dynamics and wear characteristics. It was also found from the calculation for the random undulation that the effect of the surface energy of the lubricant becomes large in the case of small bouncing.

Key Words : Magnetic disk storage, Head disk interface, In-Contact Head Slider, Bouncing Vibration, Wear Characteristics, Meniscus Force, Surface Energy, Sinusoidal Undulation, Random Undulation

1. はじめに

ハードディスクの記録密度向上のため、現在様々な研究が行われている⁽¹⁾。現在のハードディスクの磁気ヘッドスライダは、空気膜を介して約50nm以下の浮上量が達成されているが、さらなる高記録密度化のためには浮上量の低減が必須であり、ニアコンタクトあるいはコンタクト方式といった新しいヘッド・ディスクインターフェース(HDI)方式が考案されている⁽²⁾。

この新しいコンタクトHDI方式では、コンタクトヘッドスライダと記録媒体が接触摺動するため、従来の空気膜浮上型ヘッドスライダとは全く異なる解析や設計が必要となる。浮上方式では、空気膜における発生圧力の特性格が主体となっていたのに対し、コンタクト方式では、固-液、固-固表面間相互作用を考慮した動的解析および設計が必要となる。

コンタクト方式における主な問題点は、ディスク表面のうねりや外乱によるスライダの跳躍、接触摺動によるディスクの摩擦である。これに対し、著者らはヘッド・サスペンションアセンブリを3自由度でモデル化し、表面間相互作用の一種であるメニスカス力を考慮してトライパッドスライダの跳躍挙動をシミュレーションにより明らかにした⁽³⁾。本研究では、この3自由度モデルを用い、メニスカス力を考慮してトライパッドスライダの跳躍および接触圧力による耐摩耗性の両面から、正弦波およびランダムディスク表面うねりに対するコンタクトスライダの動特性をシミュレーションにより解析した。

2. モデルおよび計算方法

本研究で用いたヘッド・サスペンションアセンブリのモデルをFig. 1に示す。跳躍方向(z)、ピッチ方向(θ)、ロール方向(ϕ)の3自由度について、それぞればねとダンパで構成されている。また、ディスクもばねとダンパで構成されているとした。ディスクのばね定数 k_d については文献(4)に詳しいのでここでは省略する。これら3方向についての運動方程式をそれぞれたて、Runge-Kutta-Gill法で数値計算を行う。なお、それぞれの運動方

程式、主な定数の値をTable 1に示す。その他の各定数については、文献(3)、(5)に詳しいのでここでは省略する。

また、コンタクトパッド、潤滑剤、ディスクの位置関係を4つの場合に分類し、パッドに働くメニスカス力および、パッドとディスクの接触力を考慮してそれぞれの場合の運動方程式をたて、これらを順次切り替えてシミュレーションを行った⁽⁴⁾。

3. 正弦波うねりに対する計算結果

正弦波うねりをもつ表面に対し、うねり周波数が大きくなるとスライダが跳躍運動を起こすことが知られている^(3,6)。ここ

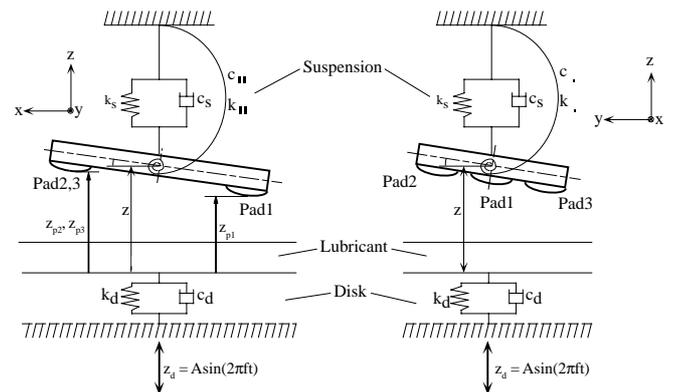


Fig. 1 3-degrees-of-freedom model of head-suspension assembly

Table 1 Value of parameters in the calculation	
mass of slider, m	0.91 mg
spring constant in z direction, k_s	2.41 N/m
damping ratio in z direction, ζ_s	0.0
moment of inertia in θ direction, I_θ	1.09×10^{-13} kgm ²
spring constant in θ direction, k_θ	1.11×10^{-4} Nm/rad
damping ratio in θ direction, ζ_θ	0.0
moment of inertia in ϕ direction, I_ϕ	2.73×10^{-14} kgm ²
spring constant in ϕ direction, k_ϕ	8.69×10^{-5} Nm/rad
damping ratio in ϕ direction, ζ_ϕ	0.0

で、跳躍臨界周波数 f_{cb} を、後端パッド1が初めてディスク面から離れるディスクうねり周波数 圧力臨界周波数 f_{cp} を、後端パッド1の接触圧力が初めて材質の降伏応力(本研究では40 MPa⁽⁶⁾)以上になるディスクうねり周波数、と定義し、これをコンタクトスライダの跳躍安定性および耐摩耗性の指標とする。

潤滑剤表面エネルギー γ による両臨界周波数 f_{cb}, f_{cp} の変化を Fig. 2 に示す。表面エネルギーの増加と共に、 f_{cb} は増加し、 f_{cp} は減少していることが分かる。これは、表面エネルギーが大きくなると、コンタクトパッドに下向きに働くメニスカス力が大きくなり、跳躍は抑えられるが接触圧力は大きくなるからである。

Fig. 2 に示すように、表面エネルギーに対して4つの領域に分かれるが、跳躍が起こらず、かつ、摩耗も起こらない部分を Fig. 2 に斜線で示している。この部分が安全領域であり、跳躍および接触圧力の両面から潤滑剤の表面エネルギー設計を行う必要があることを示している。また、この安全領域の中でも、最も高い臨界周波数を与える最適な表面エネルギーがあり、本研究で使用したモデルでは、 $\gamma = 25 \text{ mJ/m}^2$ 程度であることがわかる。

4. ランダムうねりに対する計算結果

次に、ランダム表面うねりに対する結果を示す。ランダムうねりは、移動平均法⁽⁷⁾によって生成した。これは、うねりのRMS値と無次元相関長さ λ^* でランダムうねりを生成できる。

無次元相関長さ λ^* とパッド1の最大跳躍量 Z_{1max} の関係を Fig. 3 に示す。 Z_{1max} が0以下であればパッドがディスクに追従している。ここで、 λ^* は正弦波うねり周波数 f と逆の関係にあり、 λ^* が小さいほどうねりが細くなる。従って、 λ^* が小さいと跳躍が大きくなり、大きいと跳躍が小さくディスクに追従していることがわかる。また、表面エネルギー γ が大きくなると、メニスカスによる吸引力が大きくなるため、追従性が良くなっていることが分かる。

さらに、このような計算結果から各パラメータの影響度を調べるため、跳躍量、接触圧力に対して回帰分析⁽⁷⁾を行い、回帰係数を求めた結果を Table 2 に示す。全計算結果では跳躍量が数百 nm に達するものも含まれているが、ここでは10nm以下のものを抽出した。これより、最大跳躍量に対してはうねりのRMS値が最も影響しており、次いで表面エネルギーであることが分かる。また、最大接触圧力に対しては、表面エネルギーが大きな影響を及ぼすことが分かる。従って、コンタクトスライダの

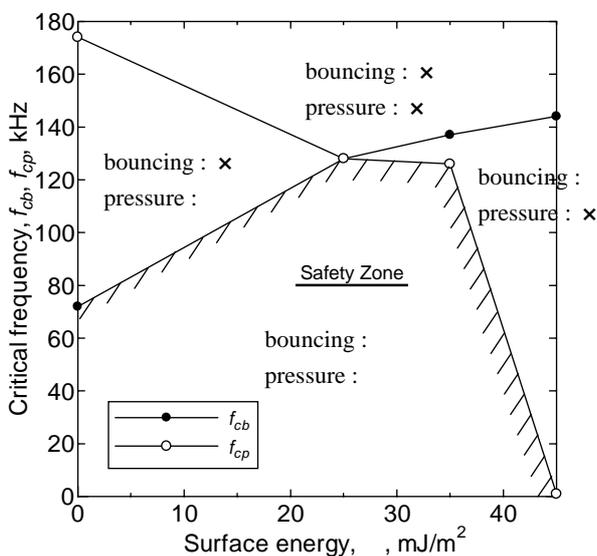


Fig. 2 Design condition for surface energy of liquid lubricant

設計に際して潤滑剤の表面エネルギーを考慮することは非常に重要であることが分かる。また、回帰係数の符号を見ると、荷重と表面エネルギーでは跳躍量と圧力に対する係数の符号が違っている。これは、Fig. 2のようにそのパラメータに対して跳躍と圧力の変化が逆になり、安全領域および最適値が存在することを意味している。

5. まとめ

正弦波およびランダム表面うねりに対するコンタクトスライダのダイナミクス解析を行い、表面エネルギーの重要性和最適値の存在を示した。

謝辞

本研究は、情報ストレージ研究推進機構(SRC)の助成により行われました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) Bhatia, C. S., Polycarpou, A. A., and Menon, A. K., *Proceedings of the Symposium on Interface Tribology Towards 100 Gbit/in²*, presented at the ASME/STLE Joint International Tribology Conference & Exhibition, 1999.
- (2) Hamilton, H., *Perpendicular Contact Recording on Rigid Media*, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 1994, Vol. 18, pp.171-178.
- (3) Kato, T., Watanabe, S., and Matsuoka, H., *Dynamic Characteristics of an In-Contact Headslider Considering Meniscus Force Part 1: Formulation and Application to the Disk with Sinusoidal Undulation*, *ASME Journal of Tribology*, to be published.
- (4) 松岡広成, 福井茂寿, 加藤孝久, 諏訪正浩, 「メニスカス力を考慮したコンタクトスライダのダイナミクス解析 - 追従性と耐摩耗性による制限要因の明確化 - 」, 日本機械学会 IIP2000 講演論文集, 2000, pp. 70-73.
- (5) Ono, K., Takahashi, K., and Iida, K., *Computer Analysis of Bouncing Vibration and Tracking Characteristics of a Point Contact Slider Model Over Random Disk Surfaces*, *ASME Journal of Tribology*, 1999, Vol. 121, pp. 587-595.
- (6) 飯田浩平, 小野京右, 「一自由度コンタクトスライダの接触力に及ぼすスライダ質量, 接触剛性および接触減衰の影響」, 日本機械学会論文集, 1998, C編, 第64巻, pp. 2894-2902.
- (7) 渡辺宗太, 「コンタクトスライダの追従性解析」, 東京大学修士論文, 1998.

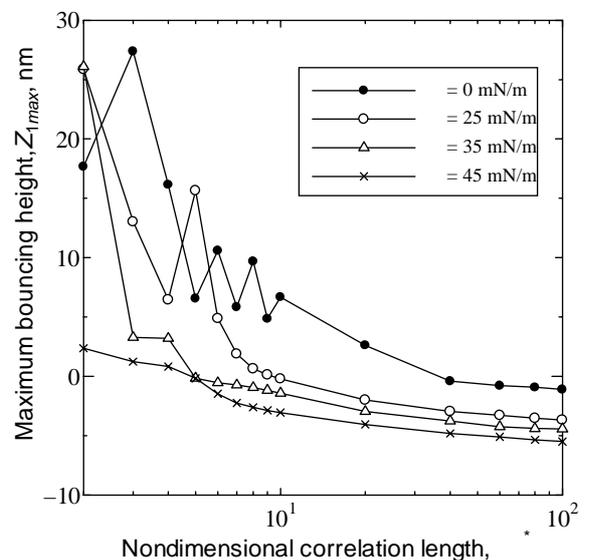


Fig. 3 Maximum bouncing height for random undulation

Table 2 Multiple regression coefficients for $Z_{1max} < 10 \text{ nm}$

	Maximum bouncing height	Maximum contact pressure
RMS value	3.37	0.067
Rotational speed	2.41	0.046
Correlation length	-2.03	-0.049
Contact damping ratio	-1.20	-0.031
Mass of slider	1.47	0.035
Load	-0.21	0.058
Surface energy of lubricant	-2.73	0.168
Thickness of lubricant	-0.25	0.005