ビデオフロッピーにおけるヘッド媒体 浮上特性シミュレーション

Simulation of Spacing between Magnetic Head and Medium on Video Floppy

米田 弘・沢田 武

K. Yoneda, and T. Sawada

キヤノン(株)中央研究所, 厚木市森の里若宮5 (☎243-01)

Canon Research Center, Canon Inc.,

5, Morinosato-Wakamiya, Atsugi, Kanagawa, 243-01

The simulation of the spacing between a magnetic head and medium has been done to investigate the spacing characteristics for the head shape on a video floppy. In this simulation, the finite-element method is used to solve Reynold's equation and the equation of motion for the transformation of medium. Both the equations are discretized simultaneously. The following results were obtained by this analysis: 1) This method efficiently obtains a convergent solution despite the non-linearity of these equations. 2) The spacing has a tendency to be constant for the head protrusion. 3) The effect of the groove on the head surface is the same as that of the narrow track width of the head. 4) For actual use, sufficient depth and width of the groove are more than $2\text{ }\mu\text{m}$ and $5\text{ }\mu\text{m}$, respectively.

1. ま え が き

高速回転するフレキシブルな磁気ディスクに静止画像を記録するビデオフロッピーでは、ヘッド媒体間に微小かつ安定なスペーシングを実現することがむずかしい。特に、フレーム画像記録のために2チャンネルヘッドを使用することから、ヘッド幅が大きくなりスペーシングが増大する問題点を有する。そこで、良好なスペーシングを達成するために諸要因とスペーシングの関係を明らかにする必要がある。

Adams はフレキシブルディスク走行系の解析を行っているが、ヘッド走行面上のスペーシングについて十分な結果を示していない¹⁾。水川らは回転ヘッド記録機構について検討を行っているが、ビデオフロッピーの条件とは異なる²⁾。また、ヘッド媒体浮上特性のシミュレーションでは媒体の変形運動方程式とヘッド媒体間の潤滑方程式との連立解を求める必要がある。しかし、これまでの報告では両者を別個に解いていたために効率的ではなく不安定でもあった^{1)~3)}。

本報告では、まず有限要素法を用いて両方程式を連立させたまま離散化する手法を開発し、計算の効率化を図った。次に、本手法を用いてビデオフロッピー走行系におけるスペーシングの解析を行った。解析では主としてヘッド走行面形状の效果に着目し、面形状の各種要因(寸法、曲率、溝の存在)およびヘッド突き出し量とスペー

シングの関係を調べた。ただし、解析は全て定常状態でを行った。

2. 解析モデル

Fig. 1 にビデオフロッピー走行系の模式図を示す。磁気ディスクは外径 47mm 、厚み $40\text{ }\mu\text{m}$ で毎秒 60 回転する。磁気ヘッドはバックプレートの穴から突き出され、媒体を介して逆側にパッドを配置する。実際の系ではディスクはジャケットに収容されており、ジャケット内部のライナからも拘束を受ける。媒体が走行すると媒体とヘッド及びパッドの間に空気潤滑層が生じる。この潤滑層内圧力によってディスクが変形することによりスペーシングが形成される。今回の解析では、ヘッドと媒体が非接触の場合のみを扱う。

上記の系全体を忠実に解析するのは、計算量の増大、

Fig. 1 Schematic recording model of video floppy.

Fig. 2 Calculation model.

系の複雑さ、非検討要因の混入などの点で適切ではない。そこで、本検討ではヘッド走行面形状に着目し、パッド近傍のみをとり出した Fig. 2 の計算モデルを用いる。同図で、媒体の寸法はパッドの大きさに対応する。

本モデルで用いた近似は以下の通りである。

- (1) 媒体の回転運動を平行運動に置き換える。
- (2) 媒体の周囲を全て単純支持条件とすることでパッドの効果を代替し、パッド媒体間の潤滑層を省略する。
- (3) バックプレートおよびライナを省略する。

上記のモデル化は、ヘッド走行面形状を検討する目的に対しては許容されるものである。

3. 計算方法

3.1 基礎方程式

Fig. 3 に寸法のとり方を示す。座標軸は媒体の走行方向を x 軸、変形方向を z 軸にとる。 p は圧力、 p_a は大気圧である。また、 w は媒体の高さ（変位）、 h はヘッド媒体間のスペーシング、 h_0 は走行面形状を表す変数であり、これらには次の関係がある。

$$h = h_0 + w \quad (1)$$

解くべき方程式は次の 2 式である。

$$\begin{aligned} g(p, w) = & D_x \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + D_y \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \\ & + 2(D_1 + 2D_{xy}) \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} \\ & + \rho \left\{ -\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2 \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left(V_x \cdot \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right. \\ & \left. + V_x^2 \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right\} + c \cdot \left(-\frac{\partial w}{\partial t} + V_x \cdot \frac{\partial w}{\partial x} \right) \end{aligned}$$

Table 1 Parameters for calculation

Table 1. Parameters for calculation	
p ; Pressure between head and medium	unknown (pa)
h ; Separation between head and medium	$h_0 + w$ (m)
λ_a ; Molecular mean free path of air	0.064×10^{-6} (m)
p_a ; Ambient pressure	101325 (pa)
μ ; Air viscosity	0.1809×10^{-4} (pa.s)
v ; Medium velocity	6.0 (m/s)
w ; Deflection of medium	unknown (m)
D_x, D_y, D_{xy}, D_1 ; Flexural rigidity of medium	
$\begin{Bmatrix} D_x & D_y \\ D_1 & D_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E \cdot u^3}{12(1-\nu^2)} \begin{Bmatrix} 1 & 0 \\ \nu & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{Bmatrix} \frac{1}{(1-\nu)/2}$	
E ; Young's elastic modulus	0.49×10^{10} (pa)
ν ; Poisson's ratio	0.4
u ; Thickness of medium	40.0×10^{-6} (m)
ρ ; Mass of medium per unit area	0.065 (kg/m ²)
c ; Damping constant	0.0 (pa.s/m)

Fig. 3 Parameter setting.

$$-(p - p_a) = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} f(p, h) = & \text{div}(h^3 \cdot p \cdot \text{grad } p) + 6 \cdot \lambda_a \cdot p_a \cdot \text{div}(h^2 \cdot \text{grad } p) \\ & - 6 \cdot \mu \cdot \text{div}(p \cdot h \cdot \nabla) - 12 \cdot \mu \cdot \frac{\partial(p \cdot h)}{\partial t} = 0 \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、(2) 式は媒体の変形および運動を表す方程式³⁾、(3) 式はヘッド媒体間の潤滑方程式である⁴⁾。また、(2) 式の D_x 、 D_y 、 D_1 、 D_{xy} は Table 1 に示すもので媒体の曲げ剛性を表わす。他の変数の説明と今回の検討で使用した値も同表に示す。

(1) 式の関係から、 h と w のうち独立変数として w を選ぶと、(2)、(3) 式は媒体の変位 w とヘッド媒体間の圧力 p に関する連立偏微分方程式となる。

3.2 有限要素法による連立解法

(2)、(3) 式はガレルキン法⁵⁾によって離散化することができる。まず、未知数 w と p の近似関数 w^* 、 p^* を選ぶ⁶⁾。ここで、肩文字 * は近似関数であることを表す。次に、 w^* 、 p^* と同一の形状関数をもつ重み関数 ϕ_w^* 、 ϕ_p^* を用意する。(2)、(3) 式に重みつき残差法⁵⁾を適用すると以下の式となる。

$$\begin{aligned} \iint_R g(p^*, w^*) \cdot \phi_w^* dx dy + \int_\Gamma m_1 \cdot \phi_w^* ds \\ + \int_\Gamma m_2 \cdot \frac{\partial \phi_w^*}{\partial n} ds = 0 \quad (4) \end{aligned}$$

$$\iint_R f(p^*, h^*) \cdot \phi_p^* dx dy + \int_\Gamma m_p \cdot \phi_p^* ds \quad (5)$$

ただし、 R は解析領域、 Γ は境界、 ds は線積分を示す。 m_1 、 m_2 、 m_p は各々 (2)、(3) 式に課す境界条件である。(4)、(5) 式を重み関数 ϕ_w^* 、 ϕ_p^* の任意の値について成立させる条件が、ガレルキン法による離散化式となる。

今回の計算では一次三角形要素を採用し、両方程式に同一の分割を用いた。したがって、一節点 i における未知量は媒体の変位 w_i 、回転角⁶⁾ θ_{xi} 、 θ_{yi} と圧力 p_i の 4 種類である。

3.3 非線形収束方法

潤滑方程式の離散化式は、変位 w (スペーシング h) に対して 3 次式、圧力 p に対して 2 次式となり、非線形性を有する。そこで、非線形計算にはニュートンラフソ

ソ法を使用した。非線形計算における解の修正量は、次の方程式によって得られる。

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial G}{\partial w} & \frac{\partial G}{\partial p} \\ \frac{\partial F}{\partial w} & \frac{\partial F}{\partial p} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta w \\ \delta p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -G \\ -F \end{pmatrix} \quad (6)$$

ただし、 G 、 F は各々 (2)、(3) 式から得た離散化式を示す。また、 w 、 p は各々節点の未知量 w_i 、 θ_{xi} 、 θ_{yi} および p_i を代表する。 δw 、 δp は各々 w 、 p の修正量である。

ヘッド媒体間のスペーシングがサブミクロン程度と小さい場合には非線形性が激しく、ニュートンラフソン法をそのまま適用しただけでは収束しない場合がある。この場合には (6) 式の解をそのまま修正量として用いず、次式のように過小緩和する。

$$\begin{pmatrix} w^{m+1} \\ p^{m+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w^m \\ p^m \end{pmatrix} + \eta \cdot \begin{pmatrix} \delta w \\ \delta p \end{pmatrix} \quad (7)$$

ただし、 m は非線形反復回数、 η は緩和係数である。今回の例では η として最初 0.2 程度を与え、収束にしたがって 1.0 まで増加した。収束に要した反復回数は、0.1 μm 前後の微小スペーシング問題に対して 20~40 回であった。収束判定条件は、(6) 式で求めた修正量を前回の解の 10^{-4} 以下とした。

4. 解析結果

4.1 走行面曲率の検討

Fig. 4 にヘッド媒体間の圧力分布とスペーシング分布の例を示す。ただし、走行面は曲率 20 mm の球状、上面からみた寸法は幅、長さともに 0.5 mm である。ヘッド突き出し量は 200 μm であり、Fig. 2 の計算モデルにおいて媒体の支持高さに対する走行面先端高さで示す。この例では最大圧力が 1.5 気圧、最小スペーシングが 0.3 μm である。

Fig. 5 に、走行面曲率をパラメータとしてヘッド突き出し量に対する最小スペーシングの依存性を示す。同図によると、最小スペーシングは、ヘッド突き出し量のある範囲に対して一定となる特性を持つ。この範囲は走行面曲率によって異なるが、例えば曲率 20 mm では 100 から 250 μm の範囲である。この一定となるスペーシングを Sp_0 で表すと、 Sp_0 は安定に実現しうるスペーシング量と考えられる。また、 Sp_0 となるヘッド突き出し量の範囲は、走行面曲率が大きいほど狭く曲率 50 mm 以上では安定領域がない。Fig. 6 に Sp_0 と走行面曲率の関係を示す。 Sp_0 は曲率に比例して減少し、曲率 10 mm 以下ではヘッド媒体間で接触が生じる。

Fig. 4 Distributions of pressure and spacing on head surface (Head radius=20 mm, Head protrusion=200 μm).

Fig. 5 Head radius and spacing characteristics.

ヘッド突き出し量の増加に対して、最小スペーシングが Sp_0 からさらに減少する。この現象は、ヘッド突き出し量とともに潤滑層内の圧力分布が走行方向に移動し、圧力分布の正圧領域が走行面の退出側端部に達した時生じることが、圧力分布との対応からわかっている。

4.2 走行面寸法の検討

スペーシングの均一さを考慮して曲率 20 mm を選んだ場合、前節の結果によると、スペーシングは 0.3 μm 以下にならない。そこで、スペーシングを減少するために走行面幅を小さくした場合を計算した。

Fig. 7 に走行面幅と Sp_0 の関係を示す。ただし、走行面長さは 1 mm、曲率は 20 mm である。 Sp_0 は走行面幅にほぼ比例して減少し、走行面幅 140 μm で 0.1 μm 以下なる。

4.3 走行面溝の検討

フレーム画像用の 2 チャンネルヘッドでは 2 トラック分の幅として最低 160 μm を必要とするため、走行面幅はそれ以上にしなければならない。そこで、大きな走行面幅で微小スペーシングを実現するために、走行面上に溝を設けた場合を検討した。

Fig. 6

Fig. 6 Head radius and Sp_0 (Head dimension = 0.5 mm × 0.5 mm).

Fig. 7

Fig. 7 Head width and Sp_0 (Head radius = 20 mm, Head length = 1 mm).

Fig. 8 は、走行面幅および走行面溝の有無が異なる 3 種類の場合について、ヘッド突き出し量と最小スペーシングの関係を示している。走行面曲率は 20mm である。同図によると、溝を設けることは、走行面幅を小さくすることとはほぼ同等の効果をもつ。

次に溝の寸法について検討した。Fig. 9(a) は溝の深さと Sp_0 の関係を示す。ただし、溝の幅は 40 μm である。同図は溝の深さが 2 μm 以上で十分な効果のある事示している。Fig. 9(b) は、溝の深さ 5 μm の場合について溝の幅と Sp_0 の関係を示す。溝の幅 5 μm 以上でスペーシング減少の効果が表れている。

5. む す び

フレキシブルな媒体を使用する磁気記録走行系におけるヘッド媒体浮上特性のシミュレーションのための新しい解析手法を開発し、ビデオフロッピー走行系においてヘッド走行面の形状がスペーシングに及ぼす影響を検討した。

今回開発した解析手法の特長は以下の通りである。

- 1) すべて有限要素法で行っているの、分割データに粗密を設けるなどの有限要素法の利点を有する。
- 2) 媒体の変形運動方程式と潤滑方程式を連立させたまま離散化し、かつニュートンラフソン法を適用することにより、非線形反復回数を大幅に減少できる。
- また、上記計算手法を用いて行ったビデオフロッピー走行系の検討結果は以下のようにまとめられる。
- 3) ヘッド突き出し量に対してスペーシングは一定となる傾向を示す。
- 4) 走行面幅が 0.5 mm 角と広いとスペーシングは

Fig. 8 Minimum spacing and head protrusion (Head radius = 20 mm).

Fig. 9 Groove dimension and minimum spacing.

0.3 μm より小さくならない。

- 5) スペーシングは走行面幅にほぼ比例して減少する。
- 6) 走行面に溝を設けることは、走行面幅の減少とほぼ同じ効果をもつ。
- 7) 走行面に設ける溝は、深さ 2 μm 以上、幅 5 μm 以上で十分な効果を有する。

文 献

- 1) G. G. Adams: IBM. J. Res. & Dev., **24**, 512 (1980).
- 2) 水川, 小野: 日本機械学会論文集, **C-51**, 95 (1985).
- 3) 坂口: 電子通信学会技術報告, MR80-32 (1980).
- 4) A. Burgdorfer: Trans. ASME, **81**, 94 (1959).
- 5) B. A. フィンレイソン: 重みつき残差法と変分原理, 培風館 (1974).
- 6) O. C. Zienkiewicz: The Finite element Method, McGRAW-HILL (1977).

1985 年 12 月 28 日受理, 1986 年 2 月 27 日採録