

ハードディスク装置 (HDD) の高記録密度化は年率 60% で進展し、ヘッドとディスク間のスペーシング (間隙) は数十ナノメートル (nm) レベルに突入している。この分野のトライボロジーはマイクロトライボロジーまたはナノトライボロジーと呼ばれ、nm オーダの保護膜・潤滑膜・表面粗さ形状の良否や摩耗・摩擦の現象解明が行われている。

現状のヘッド浮上方式の次の世代には接触記録方式が採用される可能性があり、当社では数百  $\mu\text{N}$  (数十 mg) の微小荷重下で摩耗が評価できる手法の開発、これを用いたマイクロ摩耗の低減技術開発、および実際の HDD で微小かつ安定な接触力を付与できるヘッドスライダの開発を進めている。

In recent years, the areal density of magnetic disk drives has been dramatically increasing at a rate of 60% annually, while the spacing between the transducer and disk has been reduced to a few tens of nanometers. Although flying heads are currently employed, a practical lower limit will be reached in terms of flying height and contact recording will be required in the future.

We have therefore developed a head wear evaluation technique with a small contact force (in the range of a few hundred mN) in order to investigate the mechanism of head wear. In addition, we have developed a head slider system which can achieve stable contact with a small contact force.

## 1 まえがき

HDD の高記録密度化の進展は、1990 年代に入り年率 60% で増加し、当社が製造している 2.5 インチ HDD (12.7 mm 厚装置) では 2000 年には装置容量が 20 G バイトに到達する見込みである。

HDD は機械、電子、材料などあらゆる技術の進展に支えられており、磁気記録高密度化の基本であるヘッドとディスク間のスペーシング低減にはトライボロジーの進展が大きく寄与してきた。

70 年代に導入された軽負荷容量の動圧空気軸受として使用する浮上ヘッドスライダ技術は、ヘッドの小型化、荷重の低減、軸受形状の高度化などの改良が加えられ、現在まで継承されている優れた技術である。一方、ディスク媒体も従来の塗布形のものから、金属薄膜磁性層の上にカーボンなどの薄い保護膜を形成し、その上にフッ素系の液体潤滑剤をコーティングしたものになり、また、ガラス基板の採用などにより、媒体の表面粗さも一桁(けた)程度小さくなってきている。HDD 記録密度の進展とともに、ヘッド浮上量は低下を続け、この 20 年間に一桁低下した。図 1 に今後の面記録密度とヘッドとディスクのすき間のトレンドを示す。現在は数十 nm の浮上量が実現されようとしており、今後のスペーシング低下を考慮すると浮上方式には限界があり、接触記録方式の検討が必要である。

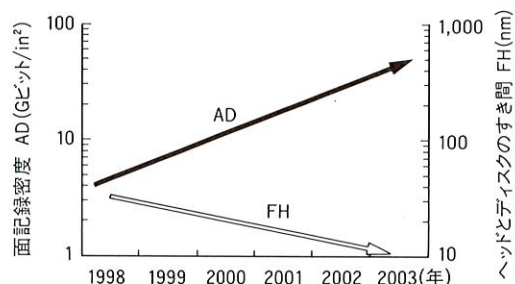


図 1. HDD 面記録密度とヘッドすき間のトレンド 記録密度の上昇とともに、ヘッドとディスクのすき間の低減が要求される。

Trends in HDD areal density and flying height

以下に、接触記録方式におけるヘッド摩耗低減技術、ヘッドスライダ技術について述べる。

## 2 ヘッド摩耗低減技術

接触記録方式では、ヘッドの摩耗の低減が大きな課題であり、接触力をできるだけ小さくする必要があるが、こうした条件下での摩耗のデータはほとんどない。そこで、ヘッドの摩耗量を評価する方法を開発してデータの蓄積を図るとともに、摩耗の低減に有効な方策を探った<sup>(1)</sup>。

### 2.1 接触条件の設定と摩耗評価用ヘッドの試作

接触条件としては、ヘッド素子の大きさや接触安定性を

考慮し、数十  $\mu\text{m}$  角程度の摺(しゅう)動部分が数百  $\mu\text{N}$  の荷重でディスクに接触し、5~10 m/s の速度で摺動する場合を想定した。摩耗評価用のヘッドには、試作や実験の容易さなどの観点から、シリコン製のビーム型ヘッドを採用した<sup>(2)</sup>。試作・検討の結果、ビームの寸法は、長さ 10 mm、幅 0.5 mm、厚み 0.05 mm、摺動チップの寸法は 50  $\mu\text{m}$  角とした。試作したヘッドの一例を図 2 に示す。また、材質の差が摩耗特性に及ぼす影響を検討するために、ヘッドの摺動チップ表面にアルミナとダイヤモンドライクカーボン(DLC)をコーティングして試験を行った。

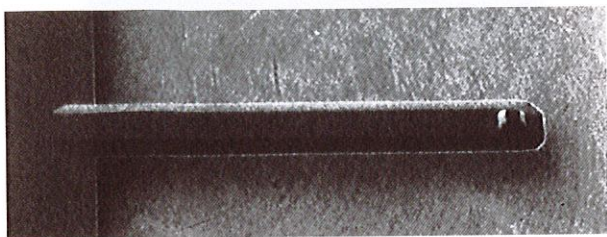


図 2. ビーム型接触ヘッド エッチングにより試作したシリコン製の摩耗評価用ヘッドを示す。

SEM photograph of beam type head

## 2.2 摩耗評価試験

摺動試験は、2.5 インチ HDD を改造してビーム型ヘッドを組み込んで行った。ヘッドの接触力は、半導体レーザー(LD)と位置検出素子(PSD)を組み合わせた傾斜計を用いて、ビームの撓(たわ)み角およびヘッドがディスクとなす角度を測定することにより設定した。

摩耗試験後のヘッドの形状を三次元形状測定装置で測定した例を図 3 に示す。

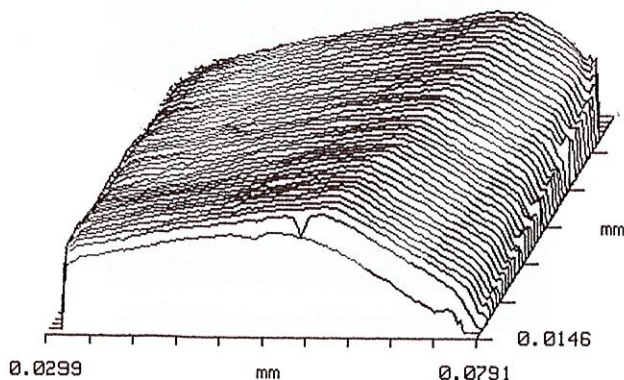


図 3. ヘッド摩耗形状の測定例 ヘッドの形状変化から摩耗体積を算出する。

Head wear profile measured by optical 3-D profilometer

## 2.3 摩耗試験の結果

荷重が摩耗量に及ぼす影響を調べるために、荷重を 50~630  $\mu\text{N}$  の範囲に設定して、摺動試験を行った。また、摺動距離が摩耗量に及ぼす影響を調べるために、摺動距離を 3,000~30,000 km の範囲に設定して摺動試験を行った。これらの結果、上記の荷重、摺動距離の範囲では、摩耗体積は荷重および摺動距離に比例しており、接触力を小さくするほど摩耗が小さくなること、短時間の摺動試験でも長時間の摩耗量が推定できることを確認した。

ヘッド材質の影響を明らかにするために、アルミナと DLC をコーティングしたヘッドを用いて摩耗量の比較を行ったところ、DLC の摩耗量はアルミナの約 1/4 と小さいことが確認された。この結果は、ヘッド摺動面を DLC コーティングにより保護することの有効性を示している。

次に、ディスクの表面粗さがヘッドの比摩耗量に及ぼす影響を調べるために、最大高さ ( $R_{\text{max}}$ ) が 25 nm, 15 nm, 5 nm のディスクと DLC をコーティングしたヘッドを組み合わせて摺動試験を行った(試験条件は同上)。この結果が図 4 で、ディスクの表面粗さを 25 nm から 5 nm に小さくすることで、ヘッドの摩耗量を約 1 桁低減できることがわかる。また、表面粗さは 5 nm と同一であるが、突起先端の平均曲率半径が異なるディスクを用いて試験したところ、突起先端の曲率半径を 3  $\mu\text{m}$  から 12  $\mu\text{m}$  に大きくすることで、ヘッドの比摩耗量を 1/4 に低減できることもわかった。これらの結果から、ディスクの表面粗さを小さくすることだけでなく、突起先端の曲率半径を大きくすることがヘッドの摩耗低減に有効な手段であることがわかる。

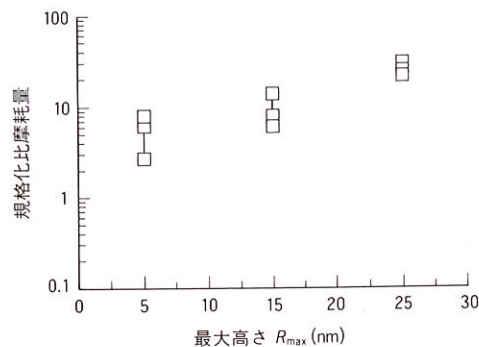


図 4. ディスク表面粗さとヘッドの比摩耗量 ディスクの表面粗さの低減で、ヘッドの摩耗量が低減される。

Effect of disk surface roughness on head wear rate

## 3 接触ヘッドスライダの開発

### 3.1 原理・設計

接触スライダで摩耗を低減させるためには、低い接触力

を安定に保つことがもっとも重要となる。それを妨げる要因としては、スライダの加工誤差、サスペンションの取付け誤差など種々の製造公差と、ディスク表面のうねりや装置に加わる衝撃に伴う動的な接触力の変動がある。これらの要因に対して、接触力を安定に保つための基本構造として、図5に示すような前方浮上、後方摺動のスライダを考案した。

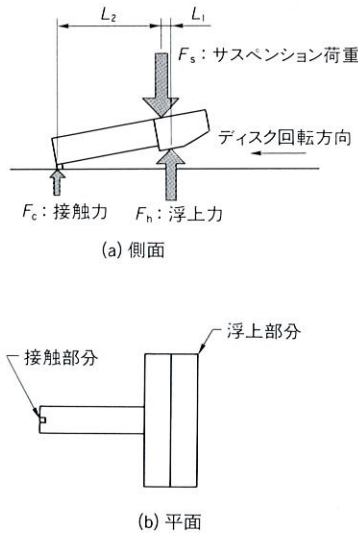


図5. コンタクトスライダの原理 サスペンション荷重を  $L_1 : L_2$  の比で接触力と浮上力に配分する。

#### Contact head design

このスライダの特長は、ディスクの回転により動圧を発生する浮上部の形状を、スライダ進行方向に短くし、浮上部と離れた位置に接触部を設けたことである。この形状では、上述の接触力変動要因が発生しても、浮上力の作用する位置が、ディスク進行方向に変動しにくい。したがって、サスペンションからスライダに加わる荷重  $F_s$  は、つねに  $L_1 : L_2$  の比で接触力  $F_c$  と浮上力  $F_h$  に正確に配分され、 $F_c$  は次の式で表せる。

$$F_c = \frac{L_1}{L_1 + L_2} F_s \quad (1)$$

観点を換えれば、種々の変動要因を浮上部で吸収することで低い接触力を安定に保つことをねらった設計である<sup>(3)</sup>。

### 3.2 実験の結果

この方式に基づく接触ヘッドスライダを試作し、機械的特性の検証を行った。ここでは、サスペンション荷重  $F_s$  を 2 mN、接触力  $F_c$  を 200  $\mu$ N とした。

接触部近傍の隙間変動の測定については、ガラスディスク上を走行する接触ヘッドスライダにレーザビーム（スポット径 20  $\mu$ m）を照射し、干渉光強度の時間変化から隙間変

動を算出した。図6の①に示す浮上部近傍では、隙間変動に換算して振幅 30 nm 程度の振動が観測されるが、ビーム照射位置を接触部に近づけるにつれて、振幅は小さくなり、図6の②に示す接触部近傍では、5 nm の変動に収まってい

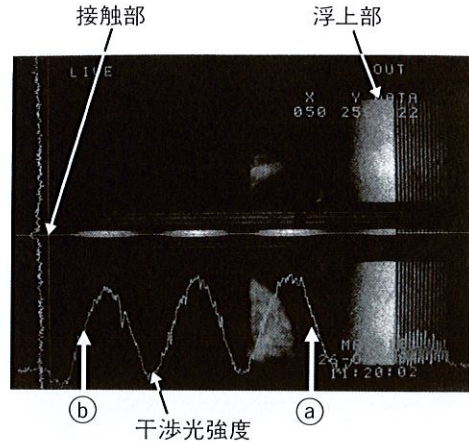


図6. ヘッドのすき間変動の測定 光干渉法により、低接触力で安定な摺動が実現していることを確認できた。

Head spacing fluctuations measured by interferometry

る。すなわち、スライダの振動モードは接触部を中心とするピッチング振動であり、低接触力下で安定な摺動が実現されていることが確認できた。

サスペンションについても、先端近傍に柔軟部をもつ設計を行い、取付け誤差（高さ、および角度）に伴う種々の変動を浮上部で吸収し、接触力を安定に保つ挙動を実験により確認した<sup>(4)</sup>。

これらの結果を踏まえ、実際に信号の記録再生が行えるヘッドスライダを試作した。図7に示す再生信号波形からも、安定に摺動走行していることが確認できた。

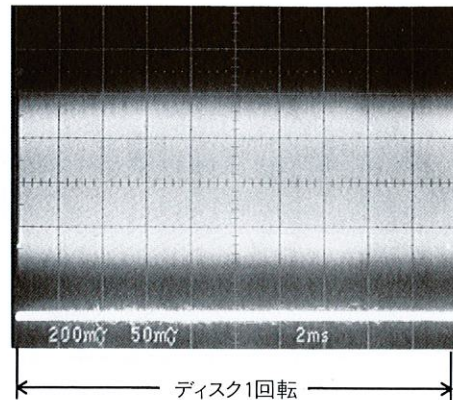


図7. 接触ヘッドの再生信号 良好なエンベロープにより、安定した摺動走行を確認できた。

Read back signal envelope (100kFCI)

## 4 あとがき

HDD 高記録密度化に伴いますます微小化が要求される、ヘッド低浮上化の究極である接触記録技術の要素技術開発を行った。21 世紀に到来する、1 平方インチ当り 20 G ビットの実現には接触記録技術が必要と考えられる。この記録密度が実現すると 2.5 インチ 1 枚で 10 G バイトを超える容量の HDD が商品化できる。今後も、高記録密度かつ高信頼性の HDD を目指したトライボロジーの研究開発を推進する所存である。

## 文 献

- (1) 谷本一石, 他. “コンタクトヘッドの摩耗に関する研究”, トライボロジー会議予稿集. 東京, 1998, (社)日本トライボロジー学会, p.358-359.
- (2) Tanimoto, K., et al. “A Study of Beam Type Contact Heads for HDDs”, Adv. Info. Storage Syst. 7, 1996, ASME, p.39-54.
- (3) Itoh, J., et al. “Development of Contact Recording Head for HDD”. IEEE Trans. Magn., 33, 5, 1997, p.3139-3141.

- (4) Sasaki, Y., et al. “Development of HDD Suspension for Contact Recording Head”. Adv. Info. Storage Syst. 9, 1998, ASME.



大坪 康郎 OHTSUBO Yasuo

マルチメディア技術研究所 開発第三部グループ長。  
HDD の研究・開発に従事。日本機械学会, 日本トライボロジー学会, 日本電子情報通信学会会員。  
Multimedia Engineering Lab.



谷本 一石 TANIMOTO Kazushi

マルチメディア技術研究所 開発第三部主務。  
HDD の研究・開発に従事。日本機械学会, 日本トライボロジー学会会員。  
Multimedia Engineering Lab.



伊藤 淳 ITOH Jun

マルチメディア技術研究所 開発第三部主務。  
HDD の研究・開発に従事。日本機械学会会員。  
Multimedia Engineering Lab.