コンタクト記録方式の潤滑剤設計

Lubricant Design for In-Contact HDI Systems

柳沢 雅広, 佐藤明伸, 安食 賢

NEC機能エレクトロニクス研究所

Masahiro Yanagisawa, Akinobu Sato, Ken Ajiki

NEC Functional Devices Research Laboratories

Abstract- In-contact recording systems are expected for magnetic disk drives with an ultra-high recording density. Design concept of lubricant systems for the in-contact systems is much different from that for flying HDI systems. Other than wear performances, lubricants with high surface energies suppressed the bouncing of contact sliders. Specifically, the bouncing height of 3nm was obtained by the combination of 30% contact sliders and MPBT lubricants. It was found that wear performance of MPBT was ten times larger than that of PFPE diol lubricant.

1. はじめに

近年、磁気ディスク装置の記録密度の増加が年率60%で急速に進行している。この伸び率が今後とも保持されたとすると、西暦2003年までには1平方インチ当たり20ギガビットの面記録密度が実用化されることになる。このような記録密度を達成するためには、記録生素子や磁性媒体および高精度位置決め技術の向上が不可欠であるが、特に重要な課題は磁気ヘッドと磁気ディスクの間隔(スペーシング)を微小化する技術である。現在、空気の動圧力により磁気ヘッドのスライダを浮上させる浮上方式において、分子気体潤滑解析法に基づく設計によりスライダの低スペーシング化が進められているが、25nm以下にスペーシングを下げようとする浮上マージンの減少により定常浮上時において完全非接触状態を保つことが困難となりつつある。そこで浮上スライダの後端(トレイリング端)を接触・追従させるニアコンタクト方式と浮上させ

ないように完全に接触させるコンタクト方式の2つが提案され研究開発が進められている¹⁾。

コンタクト方式では、スライダ、サスペンション、および磁気ディスク媒体などを含むHDI(Head-Disk Interface)技術に関し、浮上方式とは設計指針がかなり異なる。特に潤滑剤に関しては、浮上方式で要求される耐摩耗性だけでなく低スペーシング化についても貢献できる可能性を有している。

ここでは、低スペーシング化と機械的耐久性の観点からコンタクト方式の潤滑剤の設計に関して報告する。

2. コンタクト方式におけるスペーシング損失因子

Fig.1にコンタクト方式におけるヘッドと媒体のスペーシング損失因子を示す。

Fig.1 Spacing loss factors for contact HDI.

スペーシング損失として考えられるパラメータは、媒体厚(δm)を無視すると記録再生素子とスライダ表面の段差(リセス)(δr)、スライダ最大粗さ(zero to peak)(δhr)、スライダ保護膜厚(δhc)、跳躍量(δb)、媒体最大粗さ(zero to peak)(δmr)、潤滑膜厚(δl)、および保護膜厚(δmc)である。このうち機械的スペーシングに相当するものが跳躍量である。浮上方式では、機械的スペーシングをミナル浮上量とし、その変動量は考慮していない。また媒体粗さやスライダ粗さによるスペーシング損失はグライト高さとして組み入れられている。またコンタクト方式では、厳密に考えると粗さは接触時の弾性変形を考慮し、また潤滑膜厚も接触時の実効厚を適用すべきであるがまだその段階には至っていない。

3. コンタクト方式の潤滑剤設計

コンタクト方式に用いる潤滑剤の設計指針は、浮上方式とはTable1に示す様な違いがある。

Table.1 Lubricant design for flying and contact systems.

FLYING SYSTEM	CONTACT SYSTEM
UNSTABLE FLYING (ACCUMULATION TO SLIDER)	SUPPRESSED BOUNCING
WEAR PERFORMANCE (CSS, HEAD CRASH)	WEAR PERFORMANCE (DRAG, SEEK)
FRICTION PERFORMANCE (STICTION)	FRICTION PERFORMANCE (VIBRATION)

浮上方式では、潤滑剤はしばしばスライダに付着し安定な浮上を妨げることがあるためこれを防止する必要があるが、コンタクト方式では潤滑剤を安定接触の手段に利用することができる。また耐摩耗性に関して、浮上方式ではCSS(Contact Start Stop)の様な起動停止時やヘッドクラッシュの様な突発的な接触に対する耐久性が満足されれば良いが、コンタクト方式では連続的な接触やシーク動作に対して耐えなければならず潤滑剤に対しより厳しい性能が要求される。また浮上方式ではスティクションによる摩擦の増大が問題となるが、コンタクト方式ではむしろ走行時の摩擦振動を小さくする必要がある。このようにコンタクト方式の潤滑剤では、浮上を考慮しなくてよいので設計の自由度が広がることが最大の特長である。

4. 実験条件

Fig.2にコンタクトスライダとサスペンションからなるHGAの形状を示す。

Fig.2 Contact HGA with 30% slider.

長さ1.2mm、幅1.0mm、厚さ0.3mmの $Al_2O_3 \cdot TiC$ 製コンタクトスライダは、その表面に高さ $6 \mu m$ の3つの円筒形コンタクトパッドをイオンエッチングにより形成し保護膜なしで作製した。浮上方式のサスペンションを穴明け加工してバネ定数 $2.45mN/mm$ にしたものに先のスライダを接着しHGAを作製した。荷重は $1.47-20mN$ とした。

Table2 Surface energies of examined lubricants

LUBRICANTS	SURFACE ENERGY(mN/m)
POLY- α -OLEFIN (PAO)	29.0
POLYBUTENE (PBT)	31.0
POLYOXYPROPYLENE- MONOETHER(POP)	34.5
MALEIC ANHYDRIDE MODIFIED POLYBUTENE(MPBT)	45.0
PERFLUOROPOLYETHER- DIOL(PFPE DIOL)	24.0

潤滑剤は、Table 2に示すように一般に使われているPFPE Diolの他に表面エネルギーの異なる4種類を、超平滑(表面粗さ $R_{max}:7nm$)の2.5インチガラス基板ディスク(保護膜は水素添加無しのスputterカーボン膜)上に膜厚約5nmで浸せき塗布した。上記コンタクトシステムを用いて、毎秒8.6mの周速でスライダの跳躍量をレーザー干渉計により計測²⁾した。

耐摩耗性は、摩耗を加速するために直径0.3mmの球面ガラススライダと先の磁気ディスク媒体を用い、周速9m/sで定速しゅう動試験を行い、球面スライダの摩耗半径から摩耗量の時間変化を測定した。また30%コンタクトHGAをシークモードで摺動させ、パッドの高さをAFMで測定して摩耗を調べた。

5. 結果および考察

潤滑剤の跳躍量抑制効果は、液体のメニスカス力(F_m)とダンピングによるものと思われる。メニスカス力はスライダとディスクの接触が球と平面の場合、潤滑剤の表面エネルギーを γ 、球の半径を R とすると次式で、

$$F_m = 4\pi\gamma R \quad [1]$$

また平面同士の接触の場合、接触面積を A 、接触角を θ 、面間隔を h とすると、次式で表される。

$$F_m = (2A\gamma\cos\theta)/h \quad [2]$$

Fig.3に潤滑剤にPFPE Diolを用いたときのスライダ面積と摺動後24時間放置時の摩擦係数の関係を示す。

Fig.3 Coefficient of friction as a function of pad area.

メニスカス力は大きすぎるとスティクションを生じる原因となるが、接触パッドの面積を小さくすることによりスティクションを防止することができる。

メニスカス力は、スライダと磁気ディスクの間に引力として働くため、スライダの跳躍を押さえる作用が期待できる。Fig.4に潤滑剤を塗布したときの跳躍波形を潤滑剤無しの場合と比較して示す。荷重は1.47 mNである。

潤滑剤が無い場合は、跳躍量は10nm程度であるが、PFPE Diolにより6nm程度に減少させることができる。またMPBTを用いることにより、3nm程度の跳躍量が実現できた。これは浮上方式における平均隙間に換算すると1.5nmとなり、また磁気スパーシングは媒体

厚の1/2、リセスとスライダ保護膜厚をゼロとすると、スライダ最大粗さ(0-p) 3.5 nm、跳躍量 3 nm、潤滑厚さ 5 nm、保護膜厚さ 10 nm、および媒体最大粗さ(0-p) 3.5 nmの合計として25 nmに相当する。

Fig.4 Bouncing of sliders on lubricated disks.

先の[1]および[2]式で示すように静的なメニスカス力はスライダ面積と潤滑剤の表面エネルギーに比例する。しかし跳躍抑制として作用する動的メニスカス力は、それらのパラメータに対し等価的に働くことはないのでスティクション防止と跳躍抑制の相反する特性が満足できる。

跳躍量と潤滑剤の表面エネルギーとの関係をFig.5に示す。

Fig.5 Bouncing height as a function of surface energy.

PAO,PBT,POPおよびMPBTについては、跳躍量と表面エネルギーの間に直線的な相関があることが分かる。表面エネルギーは、極性官能基

によって増加するので官能基を有さないPAOやPBTのような潤滑剤よりも主鎖中に酸素を含むPOPまたは無水マリン酸の様な親水極性基を有するMPBTのほうが大きく跳躍減少効果も大きい。またPFPE Diolはこれらの炭化水素系潤滑剤の傾向からずれるが、これはPFPE Diolの粘度(20℃で90 cSt)にくらべ炭化水素系のそれが300 cSt程度と異なっているためである。

潤滑剤の耐摩耗性を球面ヘッドスライダで調べた結果をFig.6に示す。

Fig.6 Wear performance of lubricants.

球スライダの摩耗は、時間とともに徐々に増加していくが、ある時間から急激に増加する傾向が見られる。これは保護膜が急激に摩耗してディスク面に傷がつく時間と一致している。したがって耐摩耗性の評価基準として、暫増領域での摩耗量と急激に摩耗が始まる潤滑寿命がある。潤滑剤の被覆により摩耗量と潤滑寿命の両方が改善されることが分かる。またMPBTは、PFPE Diolに比べ摩耗量はそれほど変わらないが寿命が1桁延びることが分かった。

優れた耐摩耗性が確認されたMPBTと30%コンタクトHGAを用いて、シーク摩耗試験を行った結果をFig.7に示す。シークは、半径13-30mmの間を毎秒約3回の頻度で行った。

シーク時間を対数軸にとると、コンタクトパッドの摩耗は直線的に増加することがわかる。また荷重をパラメータにした時の摩耗の変化を見ると、荷重が小さくなるほど増加率は小さくなり、荷重が2 mNでは原子レベルでも摩耗は観察されず、5年(4.4×10^4 時間)に相当する期間においても摩耗が期待される。機械的信頼性に関して、すぐになじみ状態に達するオントラック摺動よりも常に新しい摺動面が現れて初期摩耗状態が継続するシークモードが最

も厳しいことから、上記の結果はコンタクトシステムの実用性を示すものである。なお、オントラックのドラッグ摩耗試験においては、媒体およびスライダの摩耗はAFMレベルでも観察されなかった。

Fig.7 Wear performance of 30% contact HGA on seeking mode.

荷重が軽くなると、弾性接触状態になり摩耗はゼロになりかつ寿命は理論的には無限大になる。Fig.6の球面スライダやFig.7の30%コンタクトスライダの荷重10-20 mNの場合は、摩耗が観察されるので弾性接触状態にはなっていないと思われるが荷重2mNの場合は、400時間程度の試験においても原子レベルで摩耗が観察されないことから、この場合は弾性接触状態にあり100倍の時間における寿命を推定することができる。

6. まとめ

コンタクトHDIシステムに用いられる潤滑剤の設計指針について、30%3ヘッドコンタクトHGAを試作し、跳躍量の抑制および耐摩耗性の観点から調べた結果以下の結論を得た。

- 1) 潤滑剤のメカス力によりコンタクトスライダの跳躍を減少させることができ、特に表面エネルギーの大きいMPBTにより3nm程度の跳躍量が得られた。
- 2) MPBTを用いたコンタクトシステムは、シークモードにおいても優れた耐摩耗性が確認された。

参考文献

- 1) H.Hamilton: J.Mag.Soc.Jpn.,15 (Suppl. S2), 483 (1991).
- 2) 佐藤明伸, 安食賢, 柳沢雅広, 第20回日本応用磁気学会学術講演会予稿集, 220 (1996).