ヘッド接触下の塗布型磁気メディアの表面形状

Surface profile of particulate media under head-media contact

若菜 重昭 小野田 恵一 鈴木 敦 岸根 延幸
花王（株）情報科学研究所

Shigeaki Wakana, Keiichi Onoda, Atushi Suzuki, Nobuyuki Kishine
KAO Co. Recording & Imaging Science Lab.

Surface profile of a magnetic recording medium and a magnetic recording head are rough when viewed on a microscale. When the head and the medium come in contact, the contact takes place at the top of the asperities. The real area of contact increases as the asperities of a particulate medium are deformed by a given head load. A larger real area of contact results in a higher coefficient of friction. Estimation of the real area of contact in the head-medium interface is very important as the real area of contact needs to be minimized for decreasing the friction and wear.^{1) 2)}

This paper presents the experimental techniques for not only measuring topography of magnetic media when the medium is loaded, but also the influence that the size and the number of the asperity contacts have on the real area of contact.

Key words

surface profile, particulate media, head-media interface, real area of contact

1. はじめに

磁気記録メディアと磁気ヘッドはそれぞれマイクロスケールの粗さを持っている。メディアとヘッドが接触するとき、接触は表面突起の頂点でおこる。塗布型メディア表面の突起はヘッド荷重によって押しつぶされ、真実接触面積の増加を引き起こし、摩擦、摩耗の増加につながる場合がある。^{1) 2)} しかしながら、その時の真実接触面積は、ヘッドとメディアの接触が極めて限定された界面での現象であるがゆえ、その評価が困難であった。本報はヘッドーメディア間の接触状態を簡単に測定できる方法と、1つ当たりの接触突起の平均接触面積と接触突起数の真実接触面積に与える影響について説明する。

2. 測定装置

(1) フロッピー・ディスク・ドライブ・ヘッド荷重による接触

Fig. 1に装置図を示す。この装置は市販のフロッピー・ディスク・ドライブ（以下FDDと略す）のヘッドアセンブリの固定側（side 0 側）のヘッドスライダの代わりに、ヘッドスライダと同等の厚みを持つスライドガラスを、取り付けたものである。このガラスと可動側（side 1）のヘッドスライダ（2レールスライダ、レールの寸法1mm×4mm）の間に測定するFDメディアをはさみ込む。ガラスと接触しているメディアの表面を、ガラスを介して、光学式非接触3次元表面粗さ計により測定することにより、実際にside 0のヘッドが存在したときの、ヘッドとメディアの接触状態を容易に推測できる。可動側のヘッドは、ジンバルプレート上に取り付けられ、ヘッド荷重は通常のFDDと同様にスプリングによって、136mNの荷重が加えられる。

Fig. 1 Schematic of experimental setup for measuring the surface profile of magnetic media deformed by the FDD head load

(2) 圧力可変による接触

Fig.2の装置は、磁気記録メディアの上にガラスを接触させ、メディアの下部からAirにより圧力を加えることができるものである。圧力は、レギュレータにより可変可能である。また、圧力測定の為の圧力計がライン中に備え付けられている。測定する磁気メディアは、圧力の漏れを最少減にするために設けられた内径6.5mmと23.1mmの2つのO-ring上に置かれる。2つのO-ringの間には口径1mmのAirの逃げがあり、圧力は常に内側のO-ringの内側のみに加わる様に設計されている。ガラスと接触しているメディアの表面形状を、ガラスを介して、光学式非接触3次元表面粗さ計を用いて測定することにより、ヘッドとメディアの接触状態を容易に推測できる。

Fig. 2 Schematic of experimental setup for measuring the surface profile of magnetic media deformed by air pressure

(3) 光学式非接触3次元表面粗さ計

今回使用した粗さ計は、光の位相差を利用した市販の光学式非接触3次元表面粗さ計で、光源として波長632.8nmのHe-Neレーザーを使用し、分解能は垂直方向0.5Å、水平方向0.7μm(測定視野0.18mm×0.18mm)である。

3. 測定サンプル

今回は研磨剤の粒径を変えたバリウムフェライト塗布型フロッピー・ディスクの2サンプルについて測定をおこなった。研磨剤の重量比及び潤滑剤等の配合物、及び製造プロセスは全て同じである。研磨剤の重量比が同じで粒径が異なるものが配合されているため研磨剤の粒子数はメディアAよりメディアBの方が多い。

Table 1 Sample media for measuring

Media	μ	D. A. (μm)	Ra (nm)	C. A. R (%)
A	0.21	0.6~0.8	12.3	5.8
B	0.17	0.1~0.3	12.2	4.0

表中、 μ は動摩擦係数で、FDD (TOSHIBA PD-211)を用いて以下の方法で測定した。

FDDのモーターに、強制的に値が既知のトルクを加え、モーター負荷電流IとトルクTの関係を調べる。これにより、フロッピー・ディスクの回転トルクが、モーター負荷電流の測定から求められる。

ヘッドロード時の回転トルクを $T_{load}(N \cdot m)$ 、ヘッドアンロード時の回転トルクを $T_{unload}(N \cdot m)$ とすると、ヘッドとディスクの表面の動摩擦係数 μ はside0とside1の平均値として次式で求められる。

$$\mu = (T_{load} - T_{unload}) / (2 \cdot r \cdot M)$$

$r(m)$ はside0とside1のトラック半径の平均値で、 $M(N)$ はヘッド荷重である。今回はトラック半径36.5mm、ヘッド荷重136mNで測定した。

また、表中のD. A. は配合されている研磨剤の平均粒径、C. A. Rは接触面積比(真実接触面積/見かけの接触面積)である。(ヘッドスライダの10点平均粗さ R_z が20nmであることより、ヘッドとメディアのかみ合わせを考慮し、最も高い頂点から深さ方向に20nmまでの平均線と平行な線で切った時の、断面の面積の測定面積に対する面積比を接触面積比とする。すなわち3次元データの負荷曲線で山頂から20nmの値である。Fig.3参照。)この表より研磨剤の粒径が異なっても、表面の中心線平均粗さ R_a は、ほぼ同じであることがわかる。またこれらのメディア表面の最大高さ R_{max} はメディアAで104.5nm、メディアBで105.9nmとほぼ同じ値を示す。

Fig. 3 Definition of real area of contact

Fig.4に上記2サンプルの3次元のプロファイルを示す。表面の形状がわかりやすいように横軸に比べて縦軸が250倍程度拡大してある。小粒径の研磨剤を配合したメディアBの方が大粒径の研磨剤を配合したメディアAより突起が鋭いことがわかる。これは研磨剤の粒径と粒子数が異なることにより、塗膜表面の形成が異なってくるためであると思われる。

Fig. 4 3-D surface profile of media A and B

4. 結果及び考察

(1) FDDヘッド荷重による接触

Fig. 1に示した装置にメディアを挟みこみ、スライドガラスの方向から接触状態を顕微鏡で観察した様子をFig.5に示す。写真中に点線で示した部分が2レールスライダによりメディアがガラス面に押し付けられている部分である。このスライダによりメディアに加わる見かけの圧力は17.0kPaの場合である。スライダにより押し付けられた部分につき0.18mm×0.18mmの範囲（写真中の実線範囲）毎に、数カ所の表面形状を測定した。

一箇所の測定面積（0.032mm²）に対する接触面積の比を縦軸に、同じ場所の中心線平均粗さRaを横軸にとったものがFig.6である。グラフでRaが小さい程、ヘッドにより強く押し付けられている

部分であることを示す。Raが小さい場所と大きい場所が存在するのは、ジンバル、スライダのテーパの影響が、接触の圧力の不均一性を生み出していると考えられる。このグラフより、2サンプルとも、ヘッド荷重によりメディアの表面は押しつぶされ、Raは6~7nm程度まで小さくなることがわかる。更に、同程度のRaを比較した場合、メディアBがメディアAよりも接触面積比が小さい。Raが最小の点を比較するとメディアBは24.8%(Ra6.4nm)、メディアAは47.5%(Ra6.3nm)と後者の方が明らかに大きいことがわかる。すなわち、粒径の小さいアルミナを配合したメディアBは、メディアがヘッド荷重により押しつぶされても、接触面積を少なく維持しているといえる。その結果が摩擦係数を低くしている一因であると考えられる。

Fig. 5 Photograph of the head-media interface as viewed by the optical microscope

Fig. 6 Contact Area Ratio vs. Ra at Several Locations

(2) 圧力可変による接触

次にFig. 2に示した接触圧力が可変可能な装置を用い、0.0～29.4kPaの範囲で圧力を変化させ測定を行った。圧力の増加に伴う接触面積比、接触突起1つ当たりの平均接触面積、接触突起の数の変化を調べた。

圧力が大きくなるに伴い、真実接触面積が増加する様子を2次元的に表わしたのがFig. 7(コンピュータによるグラフィック)である(視野寸法は0.18×0.18mm)。小さい粒径の研磨剤を配合したメディアBは、大きい粒径の研磨剤を配合したメディアAと比較して圧力を増加しても接触面積を小さく維持していることがわかる。

Fig. 7 Asperity-contact areas at different pressures

更に、図中に円で囲まれた部分を見ると、メディアAでは圧力0.0kPaでいくつかに分かれていた接触突起が、圧力2.4kPaでは結合していることが分かる。メディアBでは圧力0.0kPaで接触突起が存在していなかった部分に、圧力2.4kPaで新たに接触突起が出現していることが分かる。

Fig. 8は縦軸に接触面積比、横軸に磁気メディアに加えた圧力を示す。Fig. 8から分かるように小さい粒径の研磨剤を配合したメディアBは、大きい粒径の研磨剤を配合したメディアAと比較してどの圧力においても接触面積比は小さい。圧力を増加させるとメディアAは約2.5kPaで接触面積比は飽和するのに対してメディアBは約10.0kPaで飽和点に達する。

Fig. 9は磁気メディアに加えた圧力に対するRaの変化である。このグラフの圧力0.0kPaの値でTable 1に示したRaよりも小さくなっている値が存在するのは、メディア上にガラスを置いた時に、ガラスとの接触によりメディアが多少変形するためである。

ここで実際のFDDヘッドによる見かけの接触圧力は17.0kPa(1レール1mm×4mmの大きさの2レールスライダ、ヘッド荷重136mN)であることより、Fig. 8の圧力17.0kPaの点を読むと、メディアAで約50%弱、メディアBで約25%と読める。同様にFig. 9においても圧力17.0kPaの点を読むと、メディアA、メディアBともに約6.5nmと読める。これらはFig. 6のFDDヘッドにより接触圧力を加えた実験の接触面積比が最大となる場所の接触面積比、及びRaの値と一致する。このことは、FDDヘッドにより加わる接触圧力が場所によって変化し、そのため見かけの接触圧力以上になる場所の存在も有り得るが、その場所においても接触面積比、及びRaは圧力17.0kPaの値とほぼ同じであることを示している。これらはFig. 8において圧力17.0kPa以上では接触面積比が飽和し、Fig. 9においてはRaが6.5nm以下になりにくくなっていることから分かる。圧力を加えてもRaが6.5nm以下になりにくい理由は、加圧によりメディア表面の凸部のみが圧縮変形させられ、凹部の変形は少ないと考えると納得できる。

Fig. 10、11に圧力に対する接触突起1つ当たりの平均面積、接触突起数を、それぞれ示す。Fig. 10のプロファイルはFig. 8と類似していることがわかる。メディアAは約2.5kPaの圧力で接触突起の平均面積は急増しているが、メディアBの増加は少ないことがわかる。この理由はFig. 11よ

Fig. 8 Contact Area Ratio vs. Pressure

Fig. 9 Ra vs. Pressure

Fig. 10 Mean Asperity-Contact Area vs. Pressure

Fig. 11 Number of Contact Spots vs. Pressure

り理解できる。Fig. 11ではメディアAとメディアBでは全く異なるプロファイルを示していることがわかる。すなわち、メディアAは圧力の増加に伴い接触突起数は減少しているが、反対にメディアBは増加している。つまりメディアAは圧力の増加に伴い、隣り合った突起が結合してしまい1つ当たり突起の接触面積の増加を引き起こす。それに反してメディアBは圧力が増加するにつれて新たな突起と接触し1つ当たりの突起の接触面積を小さく保ち続ける。

Fig. 12、13は縦軸に接触面積比、横軸に1つ当たりの接触突起の平均面積、接触突起数をそれぞれプロットしたものである。Fig. 12より接触面積比の増加は接触しているそれぞれの突起の面積が増加することにより起こることがわかる。

Fig. 13より大きい粒径の研磨剤を配合したメディアAは接触突起数が少ないほど、接触面積が大きくなることわかる。これは近傍の突起が押しつぶされ、結合して1つ当たりの接触突起の平均面積が大きくなるためである。

Fig. 12 Contact Area Ratio vs. Mean Asperity-Contact Area

Fig. 13 Contact Area Ratio vs. Number of Contact Spots

5. まとめ

本報ではガラスと塗布型磁気メディアを接触させ、変形したメディアの表面形状を光学式3次元非接触表面粗さ計で測定した。メディアに加える荷重は直接FDDヘッドを使う方法と、Airによる加圧方法の2つを試みた。

その結果、

(1) FDDヘッドスライダ接触下での表面粗さRaは最も強い接触圧力が加わっている場所では6～7nm程度になることが確認できた。

(2) 研磨剤重量比は同じで粒径のみが異なるバリウムフェライト塗布型フロッピー・ディスクのメディアでは中心線平均粗さRaは同じだが、摩擦係数に差が出ることを確認した。小粒径の研磨剤を配合したメディアは、その摩擦係数が小さい。

(3) 研磨剤重量比は同じで、粒径が異なるバリウムフェライト塗布型フロッピー・ディスクのメディアのサンプルではFDDヘッドスライダ接触下で、Raは同じであっても接触面積比(真実接触面積/見かけの接触面積)に差があり、摩擦係数が異なる。

接触状態下での接触荷重増加による接触面積比の増加は、配合されている研磨剤重量比が同じ場合は研磨剤粒子径によって変わる。

また、その時の接触面積比の増加は、小さい突起の接触突起数が荷重と共に増加する場合と、近傍の突起が結合しながら増加する場合がある。

研磨剤の重量比が同じで異なる粒径の研磨剤を配合した場合は、小粒径の研磨剤を配合した方が接触面積比を低く抑えられることを確認した。

今後は、横方向の荷重及び磁気メディアの力学特性と相関づけながら検討を進めていく予定である。

6. 参考文献

- 1) Bhushan, B., "The Real Area of Contact in Polymeric Magnetic Media I: Critical Assessment of Experimental Techniques," ASLE TRANSACTIONS Vol.28,1,75-86. (1985)
- 2) Bhushan, B., "The Real Area of Contact in Polymeric Magnetic Media II: Experimental Data and Analysis," ASLE TRANSACTIONS Vol.28,2,181-197. (1985)