低浮上状態におけるヘッド試験評価技術

佐藤 公紀(さとう きみのり) 片野 智紀(かたの とものり)

1 まえがき

ハードディスク装置(HDD)の記録密度は,年率30~ 60%で増加しており,2004年中には100Gbits/in²に達す る見通しである。記録密度を増加するには,磁気ヘッドと 磁気ディスクとの距離を近づけ,書込み・読込み分解能を 上げることが必要である。

図1に,記録密度と,ヘッドの浮上量(磁気ヘッドー磁 気ディスク間スペーシング)のロードマップを示す。実線 は後述するGH(Glide Height)試験での浮上量,破線は HDDに内蔵されているRW(Read Write)ヘッドの浮上 量を表す。記録密度100Gbits/in²に対応するには,RW ヘッドの浮上量を10nm以下に保つ必要がある。磁気 ディスク表面上に高さ数nmの突起があっても,走行して いる磁気ヘッドに衝突し,磁気ヘッドや磁気ディスクにダ メージを与える可能性があるので,突起欠陥に対する厳密 な管理が重要である。

富士電機では,製造した全ディスクに対して突起の検出 試験(GH試験)を実施し,磁気ディスクの良品判定を 行っている。これはGH ヘッド(突起高さ検出専用の試験 ヘッド。PZT(ピエゾ素子)センサを搭載したスライダと,





G

佐藤 公紀

磁気ディスク媒体の開発に従事。 現在,富士電機アドバンストテク ノロジー(株)デバイス技術研究所 グループマネージャー。計測自動 制御学会会員,日本機械学会会員。



片野 智紀

記録媒体の開発に従事。現在,富 士電機アドバンストテクノロジー (株)デバイス技術研究所主任研究 員。日本トライボロジー学会会員。

スライダを支えるジンバルばねから構成される〕を8nm 以下の高さで浮上させ,突起衝突時に発生するPZT出力 から,突起欠陥の有無を調べるものである(図2)。従来 は浮上量が10nmを超えていたため,スライダが安定に 浮上し,突起欠陥を高い精度で検出可能だったが,現在は コンタクト状態に近い低浮上状態にあるため,スライダと 磁気ディスクの接触頻度が増し,GH ヘッドの浮上安定性 確保が難しくなってきている。擬似コンタクト状態におけ るGH ヘッドの挙動を把握し,試験の安定性を保つべく開 発を進めている。

2 ヘッド挙動解析

擬似コンタクト状態における,GH ヘッドの挙動につい て評価解析を行った。





特 集 1

2.1 解析方法

図3に実験解析方法を示す。GH ヘッドを磁気ディスク 上で走行させ,スライダが磁気ディスクと接触しやすい環 境下(低いディスク回転数など)で,PZT 出力により接 触振動を検知し,同時に LDV(レーザドップラー振動計) によりスライダ流出端の振動を計測する。実験には35 イ ンチアルミディスクおよび30%サイズのGH ヘッドを用 いている。

2.2 解析結果

図4はスライダと磁気ディスクが接触したときのPZT 出力のスペクトラムである。500 ~ 600 kHz, 1,200 kHz 付 近にピークが見られるが,これらはスライダ構造自身のね じりモード,曲げモードの固有振動ピークに対応している と考えられる。スライダが磁気ディスクと接触状態にある ため,種々の振動モードを励起している。

図5は図4の低周波領域を拡大したものである。スライ ダと磁気ディスクとの接触状態を反映し,100kHz以下の ピークが確認できる。図6はLDVにより計測したスライ ダ振動と,このときのPZT出力とを同時計測した後,時 間スケールを合わせて表したものである。



図4 ヘッド接触時の PZT 出力スペクトラム



なお,同図で縦軸のスライダ振動は負側が磁気ディスク 面に近づく方向である。スライダの振動振幅は60~80 nm程度であり10nm以下のヘッド浮上量に比べ非常に大 きい。PZT出力と対比させると,スライダが磁気ディス ク面に近づいた極小点でPZT出力が励起されその後減衰

図5 ヘッド接触時の PZT 出力スペクトラム(低周波領域)



図6 ヘッド接触時のスライダ振動と PZT 出力信号



図7 接触時のスライダ振動スペクトラム



し,再び極小点で PZT 出力が励起される,ということを 繰り返している。

図7はスライダ振動のスペクトラムであり,50~60 kHz付近に図5と一致するピークが見られる。シミュレー ションの結果,このピークはスライダ空気軸受のピッチン グモード(前後傾き回転モード)に相当することが分かっ た。すなわち,スライダはピッチング方向の空気ばねに起 因して接触ー跳躍を繰り返す自励振動状態にあり,先のよ うな過大な振動振幅になったと考えられる。図6では,ス ライダ振動が極大,すなわちスライダ流出端が磁気ディス クから最も離れたところでもPZT出力が励起されている。 つまり,ピッチングの振動振幅が過大になり流入端および 流出端が交互に磁気ディスクに当たっていると推測される。

ヘッド種類と走行安定性

磁気ディスクの品質を向上させるには,前述の振動が継続する接触状態を回避し,GH ヘッドを安定的に走行させる試験条件について検討する必要がある。本章ではヘッド 種類とヘッド走行安定性の関係について,振動減衰性, ヘッド浮上姿勢の観点から解析を行いその影響について考察した結果を述べる。

3.1 振動減衰性

ヘッドの空気軸受振動における振動減衰性を,カリフォ ルニア大学バークレー校のコンピュータメカニカルラボラ トリー(CML)が開発したヘッド浮上シミュレータCML Air (ver. 6.5.1)を用いて解析を行った。解析ではスライ ダがバンプを乗り越えた状態を設定し,このときの応答振 動から減衰性を求めた。解析を行った3種類のヘッドの特 性を表1に示す。ヘッドA,BとヘッドCとではスライ ダサイズが異なり,ヘッドAとヘッドBとでは空気軸受 レール面の幅が異なる。実験によりその浮上安定性(振動 接触発生頻度)を確認したところそれぞれ差異が認められ た。

機械的振動における減衰は一般的に指数関数的であるため,シミュレーションで得られた応答振動から時定数 を 算出し振動減衰性の指標とした。解析結果から算出した ヘッドの時定数を図8に示す。同図では固有振動モードと の対応を取るため,横軸に固有振動数,縦軸に時定数を 取っている。同図からヘッドA,B(50%ヘッド)はヘッ ドC(30%ヘッド)よりも高い固有振動数および高い減

表 1	解析を行ったへい	ッド種類	とその特性

ヘッド	サイズ	空気軸受面 レール幅	試験周速	振動接触 発生頻度	ヘッド姿勢角 (µrad)	
					ピッチ	ロール
A	50%	10 mil	5.5 m/s	15%	92	1.4
В	50%	9 mil	7.5 m/s	5 %	100	1.7
С	30%	6.5 mil	10.0 m/s	2 %	253	- 0.3

衰性を持っており,スライダサイズによりヘッドの走行安 定的が異なることが分かる。例えば,ピッチングモードに ついてはヘッド C の時定数 はヘッド A,B の 1/5 程度 となっている。すなわち突起により励振されても速やかに 収束し,振動が継続するような接触状態になりにくいと考 えられ,表1に示した振動接触発生頻度の傾向と一致する。 一方,レール幅が異なるヘッド A,Bではその減衰性に差 が見られなかった。

3.2 浮上姿勢

表1にヘッドの浮上姿勢角をシミュレーションにより求 めた結果を示す。ピッチ角度で見ると、ヘッドCはヘッ ドA,Bよりも2倍以上大きいが、ヘッドA-B間でも レール幅の違いによりピッチ角に差異が生じている。図9 はフライングハイトテスタによりヘッドのピッチ角を、そ の周速度を変えながら実測した結果(平均値)である。表 1のシミュレーション結果と比較するとヘッド間の傾向は



図8 空気軸受固有振動モードと時定数

図9 周速とヘッド姿勢角



表2 同定パラメータ

パラメータ	値
<i>k</i> ₁	2.0 × 10 ⁻¹¹
1	0.2
n1	337,000
k2	1.0 × 10 ⁻¹³
2	0.01
n2	2,180,000
k ₃	5.0 × 10 ⁻¹⁵
3	0.005
n3	4,878,000
<i>k</i> ₄	3.0 × 10 ⁻¹⁵
4	0.008
n4	7,900,000
k5	2.0 × 10 ⁻¹⁵
5	0.02
n5	10,700,000

よく一致している。図9ではヘッドAとヘッドBとでは その周速度に対するピッチ角はほぼ等しいといえ,ヘッド A-B間のピッチ角が異なるのは試験周速の違いが表れた ものと考えられる。

以上の結果を表1に示す振動接触発生頻度と対比させる と、ピッチ角が大きいほど発生頻度が小さく、走行安定性 が高くなっている。この理由としては、次の二つが想定さ れる。一つは、浮上量すなわち流出端と磁気ディスクとの スペーシングが一定の場合、ピッチ角が大きいほど、スラ イダの重心が高く、スライダへの潤滑剤移着の影響が少な いというものである。もう一つは、スライダ流出端が磁気 ディスクに接触する際に、摩擦が発生し、これがスライダ 回転中心に対して偶力となり、その結果ピッチング振動が 誘発される、というものである。スライダのピッチ角が大 きいほど磁気ディスクとの接触面積が小さくなり、発生す る摩擦が小さくなるため、ピッチング振動が抑制されるも のと考えられる。

4 新しい GH 試験方法の検討

4.1 従来の GH 試験の問題点

GH ヘッドの浮上量が 10 nm 以上であれば,潤滑膜や磁 気ディスクの表面うねりによるスライダ振動の影響を受け ず,PZT センサ出力から突起の検出を高い精度で行うこ とができる。しかし浮上量が 8 nm を下回ると,潤滑膜の 一部がスライダに接触し始め,また磁気ディスク表面の微 細なうねりにより,スライダの姿勢や挙動が乱されるため, 機械振動の発生や,PZT のエレキノイズ影響が大きくな る。これにより,突起との衝突現象でないにもかかわらず, 衝突と同等の振幅を観測してしまい,誤った検出を引き起 こす可能性がある。図10は同一ヘッドを使い,2種類の周 速で浮上させた場合の,PZT 出力の周波数応答である。

図10 浮上量とヘッド高周波共振



周速が低い(つまり浮上量が小さい)場合には,700 kHz 以上の高周波成分が顕在化していることが分かる。

4.2 新しいGH 試験の考察

GH ヘッドを伝達関数 Hのシステムとして考える。ブ ロックの入力は衝撃力 F,出力は PZT 出力 Yである。従 来の GH 試験は,PZT 出力 Yをもとに行ってきたが,Y には GH ヘッドの動特性項 Hが含まれているため,GH ヘッドの固有振動による影響や,個体差による影響を大き く受ける。新しく提案する方式は,GH ヘッドの個体差の 影響を受けない衝撃力 Fで,評価するものである。衝撃 力 Fは,

ここで, *A*_I()は, ヘッドにインパルス入力 *I*(*t*)が加わったときの加速度をフーリエ変換したもの, *N*は 質量スプリングダンパ系の次数である。

4.3 パラメータの同定

式 3 の振動のパラメータ k_j , n_j , j ($j = 1 \cdot \cdot \cdot N$) は,以下の実験により求めることができる。

表面に, GH ヘッドの固有周期より十分短い(1/5 以下) 幅の突起を生成した, バンプディスクを用意する。例えば GH ヘッドの周速を 6 m/s, 同定したい GH ヘッドの固有 周波数を 800 kHz とすると, 突起幅は 1.5 µm 以下が必要 である。前記バンプディスク上に GH ヘッドを浮上させ, 突起にヒットしたときの PZT 波形を記録し, これをフー リエ変換して, A_I()の実験データ A_I()*を得る。



図 12 バンプ衝突時の PZT 出力



 k_{j} , n_{j} , jは A_{I} () と A_{I} ()* の二乗差が最小になるように決める。

図11はサイズ 50 % - 10 mil レール幅の GH ヘッドに対して,本手法を適用し,パラメータを求めた例である。 GH ヘッドの自由度は 5 とし,おのおのの共振パラメータ 図 13 バンプ衝突時の衝撃力



を表2のように決めた。共振周波数は, 複数のヘッドにおいて共通して共振点となる周波数を採用した。

ここで,試験対象となる磁気ディスク上において,突起 から衝撃入力 f(t)を受けたときの GH ヘッド加速度を a (t)とし,単位インパルス応答関数を h(t)とすると,

a(t) =	h(t -)). $f($	$\cdot f() d$	· ۵	Ľ,
a(l) -	n(i -	$) \cdot I($) a		٢,

式4をフーリエ変換すると,

~ .

4.4 実 験

7nmの突起に衝突させた場合について,衝撃力を求め, PZT 出力の SNR (Signal/Noise Ratio)と衝撃力の SNR を比較した。ここでは,PZT 出力,衝撃力とも,加算平 均によるフィルタリングを実施している。

図12,図13は7nmの突起に衝突させた場合のPZT出 力と,そのときの衝撃力である。衝撃力のSNR = 23.1dB であり,PZT出力のSNR = 20.0dBよりも優れている。 これは衝撃力のスペクトラムが低周波帯域に集中している ため,フィルタリングの帯域を適切に設定すれば,信号成 分に影響与えることなく高周波ノイズをカットできるため と推測される。

5 あとがき

現在,磁気ディスクの量産工程では,製造した全ディス クに対して,GH ヘッドを 8 nm 以下で浮上させ,突起の 検出試験を実施し,磁気ディスクの良品判定を行っている。 スライダと磁気ディスクとが擬似コンタクト状態にあるた め,スライダは外乱の影響を受けて,振動しやすく,突起 の検出精度を確保することが難しくなってきている。

GH 出力と LDV 出力を同時に測定することにより,浮 上量が 8 nm 以下でのスライダ挙動を調べた結果,スライ ダはピッチング動作により磁気ディスク表面と接触しなが ら走行していることを明らかにした。また,ピッチ角や振 動減衰性の異なる GH ヘッドを使って,浮上安定性を比較 した結果,ピッチ角の大きいヘッド,減衰係数の高いヘッ ドが,より安定に浮上できることを明らかにした。

さらにスライダ振動の影響を受けにくい試験方法として,

突起衝突時に発生する衝撃力から,突起欠陥の有無を調べ る新しい試験方法を開発した。本試験方法は PZT 出力の 大きさから求める従来試験方法に比べ, SNR を 3 dB 以上 改善できる。今後は,上記知見や技術を量産試験工程へ展 開し,試験の安定化,検出感度の向上を進めていく予定で ある。

参考文献

- Yamane, M. et al. 2-DOF Analysis of Friction-Induced Slider Vibrations in a Near-Contact Regime. The 2003 JSME- P/ASME-ISPS Joint Conference.
- 2 Sato, K.; Kikuchi, H. Specification of the bump on the hard disk surface by deviation of impulse force. 9 th Joint MMM / Intermag. GP-8, 2004, p.396.
- 3 機械工学便覧.A3 編「力学・機械力学」.日本機械学会編.1986.





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する 商標または登録商標である場合があります。