磁気記録媒体の現状と展望

今川　誠（いまかわ　まこと）　　小沢　賢治（おざわ　けんじ）

1　まえがき

パソコン（PC）が普及し始めてからすでに20年余りが経過しているが，ブロードバンドの広がりに伴ってPCの使われ方も大きく変化してきた。これまでオフィスなどの室内環境で使われていたデスクトップ型から，持ち運びのできる薄型・軽量ノート型，サブノート型が主流となってきた。最近では1.0インチサイズの超小型ハードディスク装置（HDD）が市販され，その用途も従来のディジタルデータの取扱いから，映像，音楽，ゲーム用ソフトウェアを取り扱う総合エンターテインメント機器へと変貌を遂げつつある。現在，HDD市場に占める情報家電向けHDDシェアはまだ8％程度であるが，今後，映像，音楽を扱う家電機器への搭載が大きく伸びると期待されており，これに携帯電話への搭載が加われば，2008年にはモバイルおよび情報家電用途向けHDDが全体市場の半分を占めるようになるとの見方もされている。

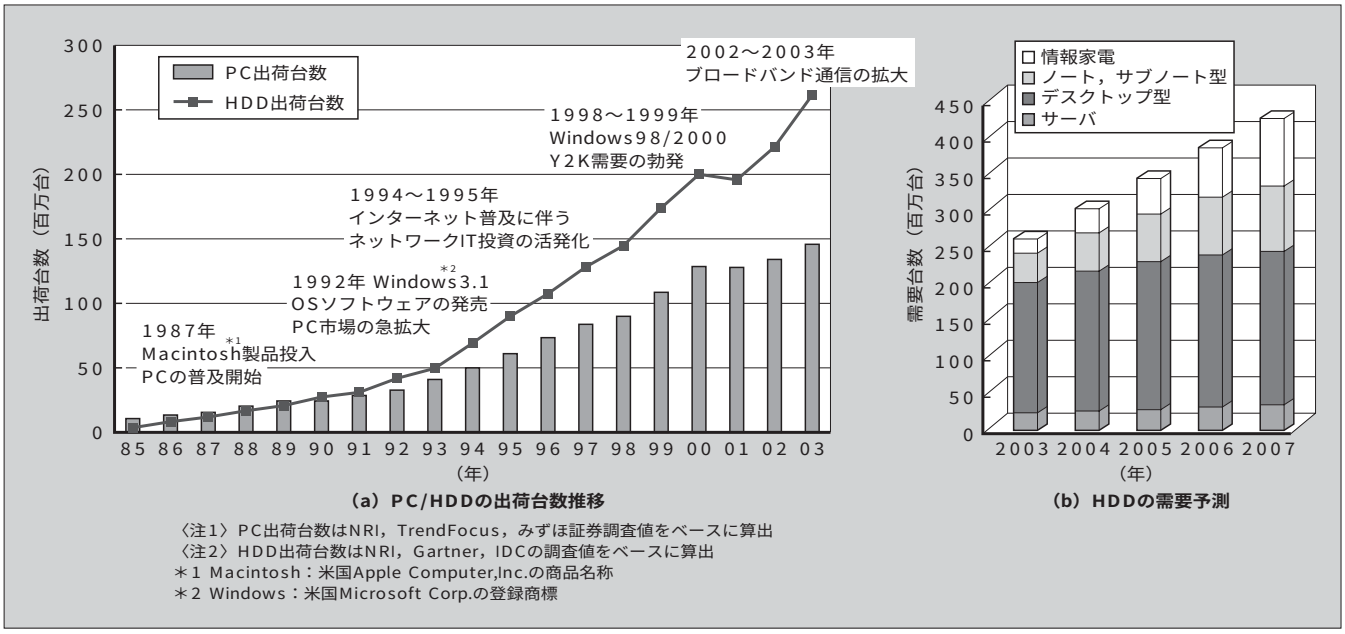
本稿では，今後も市場拡大すると期待されるPCおよびHDDの市場動向・技術動向について述べるとともに，富士電機の磁気記録媒体の技術開発状況と今後の展望について述べる。

2　PCとHDDの市場動向

図1(a)にPCが市販されてから最近までのPCおよびHDDの出荷推移を，**図1**(b)にHDDの需要予測を示す。社会状況の変化に伴って伸び率に変動があるが，ネットワーク社会およびブロードバンドの広がりとともに一貫して右肩上がりの成長を示している。このHDD市場の伸びを支えているのがノート型，サブノート型に分類されるモバイルPC市場であり，年率20～30％の伸びを示している。またサーバ機器およびデスクトップ型もモバイルPCほどではないが，堅調な需要に支えられて伸びている。

また，近年DVD（Digital Versatile Disk），ディジタル

図1　ワールドワイドPC/HDDの出荷推移とHDDの需要予測[(1),(2)]



（a）PC/HDDの出荷台数推移　　（b）HDDの需要予測

〈注1〉PC出荷台数はNRI，TrendFocus，みずほ証券調査値をベースに算出
〈注2〉HDD出荷台数はNRI，Gartner，IDCの調査値をベースに算出
＊1 Macintosh：米国Apple Computer,Inc.の商品名称
＊2 Windows：米国Microsoft Corp.の登録商標

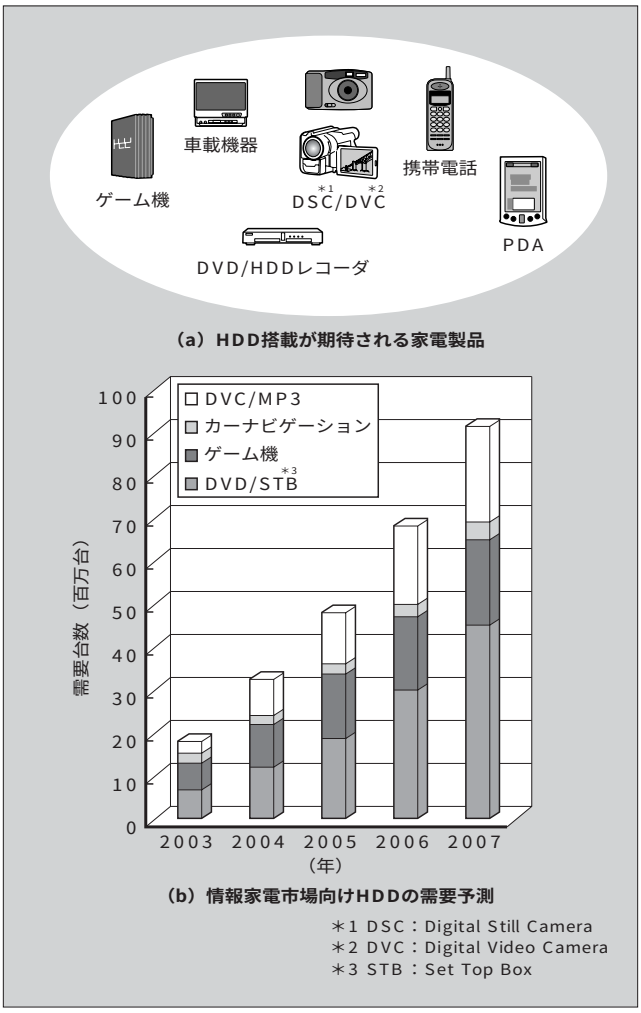
今川　誠

磁気記録媒体の次世代媒体開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)製品開発部長。

小沢　賢治

ガラス基板媒体の研究開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)製品開発部担当部長。

図２　情報家電市場向けの製品展開と需要予測[1]



ビデオカメラなどに代表される情報家電分野への適用が急速に伸びてきているが，HDD の搭載が期待される家電製品と今後の需要予測を**図２**に示す。2003 年の実績では 3.5 インチサイズの HDD が全体の 70 %近くを占めた。これまでゲーム機器市場向けが主用途であったが，2004 年夏に開催されるアテネオリンピックに向けて DVD/HDD ハイブリッド型プレーヤの新製品が続々と発表され，適用市場が拡大したことが特記される。2.5 インチサイズはカーナビゲーションへの搭載が，1.89 インチサイズ以下ではアップルコンピュータ社の iPod に代表されるミュージックプレーヤへの搭載が伸びている。今後，1.0 インチあるいは 0.85 インチといった超小型 HDD の製品系列の拡大が進むと，個人情報端末 PDA（Personal Digital Asistant）や携帯電話への搭載も視野に入ってくる。これまでこの分野のメモリは半導体メモリが主流であったが，HDD 高密度化技術の革新によって安価で大容量の HDD を供給することが可能となり，消費者にとって選択の幅を広げる魅力ある製品に育ってきている。特に携帯電話市場は，**図３**に示すとおり 2003 年実績ですでに 4 億台を超える市場規模があり，アジア，中国市場の拡大も考慮に入れると今後も大幅な需要拡大が見込まれる。これらの携帯機器に超小型 HDD が標準搭載されるようになれば，巨大な市場が新たに形成されると考える。

図３　携帯電話の需要予測（新規＋買換え）

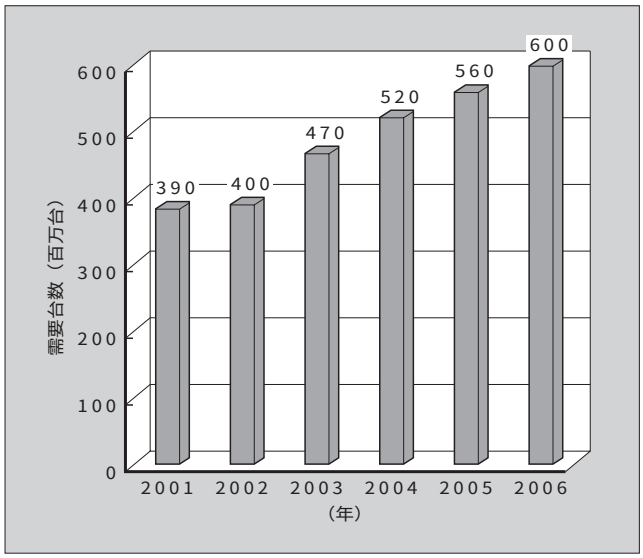
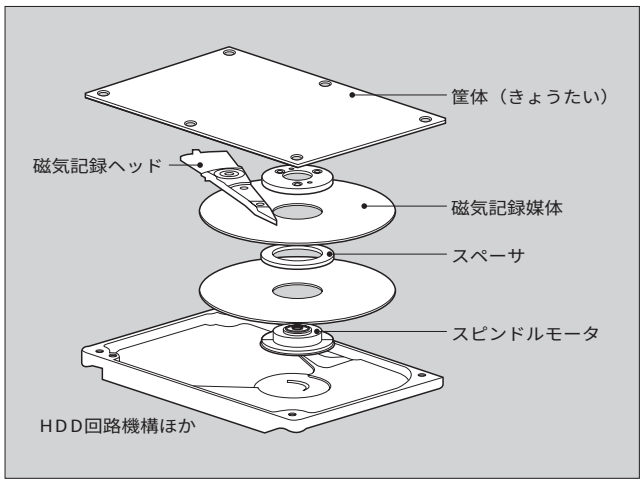


図４　HDD の主要構成部品



３　磁気記録媒体の技術動向

図４に HDD の主要構成部品を示す。HDD の大容量化技術は HDD の超精密メカニカルサーボ技術や回路設計を含めた信号処理技術のほかに，その構成部材である磁気記録ヘッド，磁気記録媒体，スピンドルモータなど，周辺機器の技術開発や量産技術の発展に負うところが大きい。最近まで年率 100 %の高密度記録を実現してきたのも，MR（Magnetoresistance），GMR（Giant Magnetoresistance）というヘッドの革新技術と磁気記録ビットサイズを微小化し，熱安定性と低ノイズを実現した媒体技術の組合せの結果であった。コンパクトで大容量を実現する高密度化技術の発展に伴い，音楽，映像，特に動画を取り扱う情報家電機器への搭載が加速されている。

一方で，**図５**に示すとおりこれまで年率 100 %で伸びてきた面記録密度は，長手磁気記録方式の限界点が近づくにつれ，最近では年率 40 ～ 50 %の伸びにとどまっている。

図５　面記録密度の伸び予測

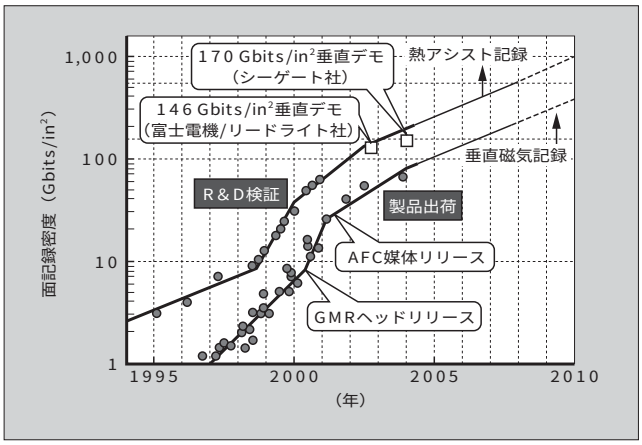
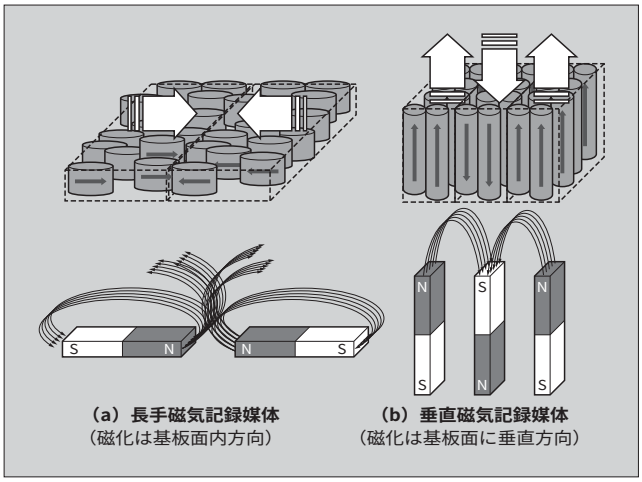


図６　長手・垂直磁気記録方式の比較



製品寿命もこれまでの半年から１年以内であったものが，2 年近くにまで伸びてきた。この面記録密度の伸びの停滞を打破する技術として，長手磁気記録方式に代わる垂直磁気記録方式の研究開発が活発化しており，各社とも実用化に向けて開発を進めている。

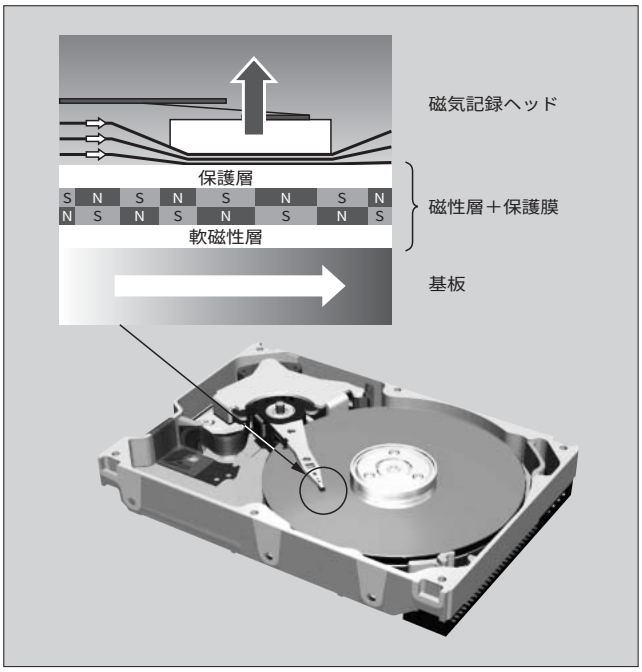
図６に従来の長手磁気記録方式と垂直磁気記録方式との比較を示す。長手磁気記録方式は，反磁界の影響で熱揺らぎ現象が大きくなり，記録ビットサイズの微小化に限界がある。これに対して垂直磁気記録方式は，垂直に磁化することで磁気記録ビットの微小化と熱安定性とを両立させることができ，長手磁気記録方式に比較してさらに高密度化することが可能となる。垂直磁気記録方式の実用化は 2006 年ごろと予測されているが，この方式の採用によって再び高密度化競争が激化することになる。

4　磁気記録媒体開発の現状

4.1　磁気記録媒体用基板技術

富士電機は，従来から磁気記録媒体用アルミ基板の開発，製造，販売を行ってきた。他社に先駆けて 80 G バイト製品を量産化したが，その支えとなったのが 80 G バイト仕様のアルミ基板技術である。基板側の技術的観点から一層の高密度化を図るためには，**図７**に示すようにヘッドが媒体面上を安定に浮上走行して記録再生することができるように微小うねりの低減と，表面欠陥の低減を図ることが必要であった。そのため基板加工に用いる研磨パッド，研磨砥粒および加工条件を最適に制御することで，欠陥の少ない，微小うねりが 0.1 nm 以下のアルミ基板を量産することに成功した。引き続き 3.5 インチサイズ１枚あたり 120 G バイト，160 G バイトの大容量磁気記録媒体の製品化を目指して，基板の特性向上に取り組んでいる。

図７　HDD でのヘッド浮上走行の模式図



磁気記録媒体用基板の分野では，モバイル用途に用いられるガラス基板媒体の需要が年々伸長し，その基材であるガラス基板が需要に追いつかない状況に至っている。基板加工に必要なポリッシュ加工設備能力が不足していることがその要因としてあげられる。富士電機はこれまでの豊富なアルミ基板加工技術と基板加工設備とを保有しており，今後ガラス基板加工分野に進出を果たすことで基板充足の体制を整える予定である。

4.2　長手磁性膜技術

磁性膜技術の中で特筆すべきは AFC（Anti-Ferromagnetic Coupling）構造媒体の実用化である。この技術は高密度化によって微小化された磁気記録ビットが使用環境の温度影響によって磁化反転を起こしてしまい，記録が消失するという，いわゆる「熱揺らぎ」を抑制するものである。**図８**に AFC 構造媒体の基本層構成を示す。富士電機では磁性層を２層構造とし，Ru 合金と組み合わせることで電磁変換特性と熱揺らぎ特性とのバランスを図っている。また，特性を極限まで発現するために，媒体構造全体を機能分離させて設計する考え方に基づき，下地層の多層膜化をはじめとしてスペーサ層，安定化層などの機能膜を積層する構造を採用している。80 G バイト製品では平均粒径が 7

nm レベルまで微細化されている。この多層積層構造スパッタ成膜技術では，数 nm 程度の薄膜の中で初期成長相の結晶配向をいかに制御し，均一に成膜するかが重要となる。

さきに長手磁気記録方式がそろそろ限界に近づいたと述べたが，これまで磁気記録の歴史はさまざまな限界を打破して発展してきた経緯がある。現在も MR/GMR に代わるヘッド技術として TMR（Tunneling Magnetoresistance）が提唱され実用化を迎えようとしている。TMR は MR/GMR に比較して感度が向上し，微小信号を検出する能力に優れるため，AFC 構造媒体を用いて磁気記録媒体磁性層の薄膜化，磁性粒子の微細化を図ることでさらに高密度化できる可能性がある。また，HDD の構成部材であるスピンドルモータ，アクチュエータ性能，回路ノイズなどの改善により，160 Gbits/in^2（3.5 インチサイズで 200 G バイト/枚）の面記録密度までは現行の長手磁気記録方式で実現できると考えている。

4.3　垂直磁性膜技術

160 Gbits/in^2 の面記録密度を超えるあたりから，垂直磁気記録方式が採用されると予測されている。垂直磁気記録方式が従来の長手磁性層構造と大きく異なるのは，ヘッドと対をなす軟磁性層を必要とする点である。通常の軟磁性層はその特性を発現させるために 200 nm 程度の膜厚を必要とする。通常のスパッタ法で成膜しようとすると，幾つものスパッタチャンバが必要となり，スパッタ装置の大型化とともにコスト的にも不利となる問題点を抱えていた。富士電機では基板事業で培っためっき技術を応用して，めっき手法による軟磁性層開発に取り組み，実用化のめどをつけた。この手法を採用することで，従来の長手磁気記録方式と同じスパッタ装置を用い，コストを抑制した垂直磁気記録媒体を提供することが可能となった。

富士電機の垂直磁気記録媒体は**図 9** の平面 TEM（透過電子顕微鏡）写真に示すとおり，グラニュラー構造を持つことを特長としている。磁性粒子を非磁性相で粒子状にパッキングすることで，磁性粒の分離性を高めるとともに磁性粒そのものの磁性を高く維持することで，微小サイズ記録でのノイズ低減と熱揺らぎ耐性を確保している。2006 年の製品化に向け，引き続き技術開発と性能検証に取り組んでいる。

4.4　ヘッドディスクインタフェース（HDI）技術

高記録密度を実現するためには，**図 10** に示すとおり磁気スペーシング（ヘッド素子と磁性層との距離）を小さくすること，磁気ヘッドが媒体上を低い浮上量で安定に浮上することが必要であり，媒体の表面技術ではカーボン保護膜と潤滑剤（ルブ）との組合せを最適化することが重要である。富士電機では機能分離の考え方を基に，CVD（Chemical Vaper Deposition）とスパッタのカーボン 2 層化技術を導入し，3 nm の薄膜で磁気スペーシングの低減と耐食性とを確保した。また，潤滑剤には PFPE（パーフルオロポリエーテル）混合潤滑剤を開発し，表面被覆率が高く，かつルブピックアップ（ヘッドへのルブ移着）の少ない信頼性の高い表面品質を実現した。今後ヘッドの浮上量はさらに低下し，媒体との接触を前提とした表面設計が重要となる。要求品質の高まりに応えるために，これまで以上に品質安定性に優れた超薄膜潤滑剤の開発および被覆率が高く均一に塗布する技術の開発に取り組んでいる。

一方で，従来用いてきた測定装置の分解能では欠陥検出が難しくなりつつある。**表 1** に媒体の記録容量の増加とともに，記録ビットが微細化していく様子を模式的に示す。記録ビットの微小化に伴い，許容される表面欠陥のサイズはどんどん小さくなり，表面品質を評価する測定技術の開発が不可欠となる。量産品の品質保証も含めて，どれだけ

図 8　AFC 構造媒体の基本層構成

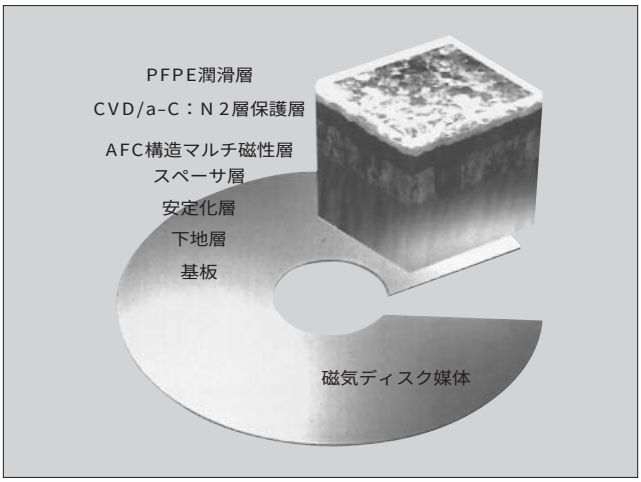


図 9　長手・垂直磁気記録媒体の結晶構造比較（平面 TEM 像）

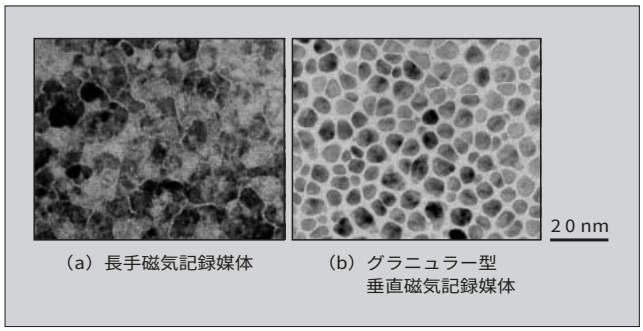


図 10　HDI 特性の開発課題

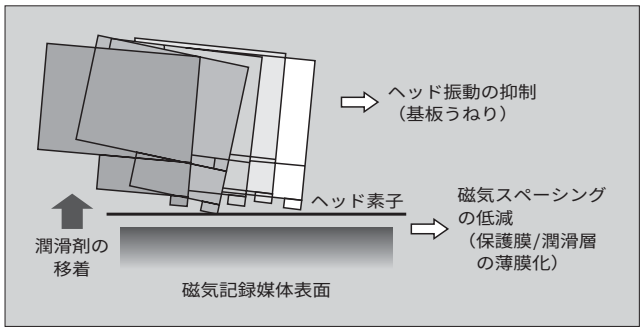
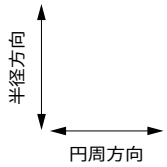


表１　磁気記録媒体の記録容量と記録ビットサイズの微小化

記録容量（3.5インチ換算）	80 Gバイト	120 Gバイト	160 Gバイト	240 Gバイト	320 Gバイト
面記録密度（Gbits/in^2）	63	94	140	200	250
磁気記録方式	長手	長手	長手	垂直	垂直
ヘッド浮上量（nm）	7.6	5	4	3.5	3
	0.037 µm	0.034 µm	0.032 µm	0.025 µm	0.023 µm

細かな欠陥を検出，排除する能力があるかが製品差別化の重要なポイントとなる。富士電機では基板，媒体の開発，製造技術にまつわる評価，測定技術に関して，最先端の評価技術の開発および評価装置開発に取り組んでいる。

5　あとがき

情報家電向け市場の拡大により，これまで以上に HDD 製品の需要は増加するとともに，HDD 製品の小型化に伴い高密度化技術への要求は一段と強まる傾向にある。使われ方の広がりに伴って一段と厳しくなる要求品質に応える技術の確立と低価格化の両立を目指して，今後も技術開発に取り組み特長ある製品を世に送り出していく所存である。

参考文献

(1)　IDC 社フォーキャスト資料．1998 ～ 2004.

(2)　TrendFocus 社年間レポート．1993 ～ 2004.

(3)　野村電子部品マンスリー．2002 ～ 2004.

(4)　日経エレクトロニクス「21 世紀を支えるディジタル記録技術最前線」．2001-7-30.

(5)　大月章弘．21 世紀の外部メモリを担う磁気記録媒体．富士時報．vol.76, no.7, 2003, p.415-420.

解　説　垂直磁気記録媒体関連用語

(1)　垂直磁気記録

垂直磁気記録方式は記録媒体を垂直（膜厚）方向に磁化することでデータを記録する方式で，記録密度が高くなるほど減磁が起きやすい面内記録方式とは逆に，密度が高いほど反磁界が減ってより安定な状態になり，熱揺らぎに対しても強いといわれている。

(2)　記録密度

トラック密度と線記録密度の積で求める。トラック密度は単位長さあたりのトラック本数であり，線記録密度は記録トラック上の単位長さ幅に記録できるビット数である。

(3)　熱揺らぎ

熱の影響で記録媒体の磁化方向が不安定になる現象である。記録密度を高めるほど顕著になる。

(4)　グラニュラー（granular）

意味は「粒状の」である。

(5)　磁気異方性定数（K_u）

磁性体の磁化方向が一定方向に向きやすくなる特性を磁気異方性という。異方性の強さを表す指標が磁気異方性定数である。

(6)　磁気クラスターサイズ（$D_{cluster}$）

記録媒体を交流消磁した後に観察される磁気的な固まりの直径と定義する。磁化が反転する最小の体積よりも 2.5 倍以上の大きさになるといわれている。

(7)　磁気力顕微鏡（MFM：Magnetic Force Microscope）

磁性探針を用いて磁場分布を観察することができる走査型プローブ顕微鏡。

e-Front runners

＊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。