2. 各種記録方式の最新技術

2-1. 磁気記録

2-1-2. HDD技術の進歩とその応用展開

鈴木 良[†], 西田 博[†]

キーワード ● 磁気ディスク装置, HDD, 磁気ヘッド, 垂直記録, 情報家電, iVDR, リムーバブルHDD

1 ま え が き

情報のデジタル化は文書から始まり、音楽、写真（静止画）、動画まで可能となった。

それまで主にコンピュータシステムのメインストレージとして進歩してきたHDDは、2000年以降、HDD価格の低下に伴い、ポータブルオーディオやHDDレコーダ製品など家電向け情報記録媒体として急速に应用範囲が拡大してきた。今や、HDD应用の家電製品はデジタル家電の代表的な商品に成長した。

本稿では、最新のHDD技術の概要を解説し、最近相次いで商品化されている家電向けHDDの紹介を行いたい。

2 HDD技術の進歩

2.1 HDDの歴史

磁気記録方式を情報の記録に用いたハードディスク装置（HDD）は、1956年にIBM社が世界で始めて製品化した¹⁾。HDDの特徴の中で最も重要なものは、装置の記録容量、すなわち記録密度であり、世界最初のHDD（RAMAC）のそれは約2kb/in²であった。記録密度はその後、年率30～40%、1990年代以降薄膜ディスク、磁気抵抗効果型ヘッド、デジタル信号処理技術などの開発により年率100%の勢いで向上した。その結果、現在では100Gb/in²クラス、記録容量500GBのHDDが製品化されるに至った。このような記録密度の進歩に伴って、装置の小型化も進んだ。

現在製品化されているHDDの大きさ（フォームファクタ：磁気ディスクのインチ直径で表す）と最大容量を表1に示す。2.5インチ以下のHDDは、携帯機器への搭載を前提とした設計になっている。これらの最大容量は、2～3年後には2倍になると考えられる。

表1 各フォームファクタにおける最大容量（2005年11月現在）

フォームファクタ	3.5型	2.5型	1.8型	1.0型	0.85型
最大容量 (GB)	500	120	60	8	4

[†]株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズ
"Progress of HDD Technology and Its Emerging Application" by Ryo Suzuki and Hiroshi Nishida (Hitachi Global Storage Technologies Japan, Ltd., Fujisawa)

図1 GMRヘッドとTMRヘッドの基本構造

2.2 最近の技術動向

HDDのキー部品である磁気ヘッドは、流体力学を利用して、高速（現在最高速のものは毎分15,000回転）で回転している磁気ディスクの上を10nm程度の高さで浮上し、記録と再生を行っている。現在の磁気ヘッドは記録用ヘッドと再生用ヘッドを集積化したものが使われている。記録ヘッドは磁気コアに薄膜化したコイルを巻いた構造になっている。コアの先端から出る磁界で対面する磁気媒体に情報を書込む。再生用ヘッド（図1）は、巨大磁気抵抗効果（Giant Magneto-Resistance effect: GMR効果）を使用して、磁気媒体から漏れ出る磁界を電気信号に変換する。GMRヘッドは磁化の向きが固定された磁性層と磁化の向きが自由に動く磁性層で導電性薄膜を挟んだ構造になっている。この多層構造に電流を流すと、導電性薄膜の膜厚が電子の自由行程よりも短いと、両側の磁性層と磁気的に相互作用をする。その結果、二つの磁性層の磁化の向きの違いにより電気抵抗が変化する。自由に動ける磁化は、磁気ディスクから漏れている磁界（漏洩磁界）によってその向きを変え、結果として電気抵抗が変化して、漏洩磁界の向き、すなわち情報の1と0が検知できる。これに対して、さらに高感度なトンネル型磁気抵抗効果（Tunneling Magneto-Resistance effect: TMR効果）^{2)～4)}を利用した再生ヘッドが最近実用化された。構造はGMRヘッドと類似であり、磁化の向きが固定された磁性層と磁化の向きが自由に動く磁性層からなるが、TMRヘッドでは導電性薄膜の代わりに絶縁性薄膜を挟んだ構造になっている。電極はそれぞれの磁性層に取り付けられ、絶縁性薄膜に対して電圧が印加される。絶縁性薄膜の膜厚が十分に薄く、絶縁層をトンネル電流が流れる。

その大きさは相対する磁性層の相対的な磁化の向きに依存するために、漏洩磁界を検出することができる。TMRヘッドの検出感度はGMRヘッドに比べて10倍程度大きく、その分微小なビットを検出することができる。

HDD誕生以来使われてきた方式は、面内記録と呼ばれ、図2 (a) に示すように、磁化の向きが磁気ディスクの面内にある。これに対して、より高密度化が可能な方式として図2 (b) に示す垂直記録方式が提案された⁵⁾。垂直記録用磁気ディスクでは、磁化は反磁界に打ち勝ってディスク面に対して垂直に向いている必要がある。また、磁気ヘッドを磁気ディスクに近づけるために、磁気ディスク表面は十分に平滑でなければならない。このような条件を満たすものとして、グラニューラ媒体が注目されている⁶⁾。磁気ヘッドに関しては、再生ヘッドに変更はない。記録ヘッドは、磁気ディスクに対して垂直方向の磁界を有効に発生させるためにシングルポール構造 (SPT) と呼ばれる構造をとるのが一般的である。SPTヘッドとともに磁気ディスク側に記録磁界を吸収する磁気下地層を設け、局所的に強い垂直成分を

生させるようになっている。その他、信号処理系に若干の変更が必要であるが、磁気ディスクとヘッドの技術が完成すれば、垂直記録への移行は容易である。すでに一部で垂直記録の実用化が始まっており、今後急速に垂直記録への移行が進み、これらの新しい技術の実用化により今後数年HDDの高密度化、大容量化は一層進むものと期待される。

さらに先の高密度化を支える技術として、トラック間の干渉を断ち切ったディスクリートトラック、記録媒体をビット単位で独立させたパターンドメディア、光磁気記録 (MO) とHDD技術の融合である熱アシスト記録⁷⁾ 等が研究されていて、将来の高密度化を支えている。

3 HDDの応用展開

3.1 デジタル家電用途の急拡大

HDDは、2002年ではほとんどがPC (パソコン) に使用されていたが、2005年にはその1/3が家電製品などPC以外 (Non-PC) の用途となった。今後、PC系の伸びは鈍化するが、Non-PC系は順調に伸びていくと予想されている⁸⁾。

3.2 HDDへの要求仕様の変化と対応HDDの商品化

HDDの仕様は、これまでPCメーカーの要求で決定されてきたが、最近、家電製品向けにその仕様を見直す動きが出てきている。表2に、主に家電製品向けに商品化されたHDDの主な仕様の一例を示す。以下、これらのHDDを例にとり、特徴と応用について述べる。

(1) DVD-HDDレコーダ向けHDD

テレビ放送録画を主な目的とするDVD-HDDレコーダは、ビデオカセットレコーダの後継商品としてヒット商品となった。デジタル放送の普及に伴い、ハイビジョン放送の録画、再生が一般的となり、大容量HDDの要求はますます強くなっている。主にDVD-HDDレコーダ向けのDeskstar

図2 面内記録と垂直記録の基本構造

表2 家電商品向けHDDの主な仕様 (日立グローバルストレージテクノロジーズ製)

型 式	Deskstar	Endurastar	Travelstar	Microdrive	Honeybee
項 目	7K500	J4K30	C4K60 Slim	3K8	D4K60-30
記憶容量	500GB	30GB	60/30GB	8GB	30GB
ディスク径	3.5インチ	2.5インチ	1.8インチ	1インチ	1.8インチ
ディスク枚数	5	1	2/1	1	1
ヘッド本数	10	2	4/2	2	2
平均シーク時間 (Read)	8.5ms	13ms	15ms	12ms	15ms
ディスク回転数	7,200rpm	4,172rpm	4,200rpm	3,600rpm	4,200rpm
動作温度	5~55℃	-20~85℃	5~55℃	5~60℃	5~50℃
動作衝撃 (印加時間)	55G (2ms)	250G (2ms)	600G (2ms)	400G (2ms)	500G (2ms)
非動作衝撃 (印加時間)	225G (2ms)	800G (1ms)	1,500G (1ms)	2,000G (1ms)	1,200G (1ms)
外形寸法	101.6×146.0×25.4mm	70×100×9.5mm	54×71×8/5mm	30×40×5 mm	80×67×10mm
質 量	0.7kg	107g	57/46g	13g	70gr
主な用途	DVD-HDD レコーダ, エントリーサーバ, ニアラインストレージ	カーナビゲーションシステム, カーオーディオシステム	ポータブルオーディオ, カムコーダ, ポータブルナビゲーション, デジカメ, サブノート, 電子手帳, 携帯電話	リムーバブル媒体 (iVDR規格準拠) 使用機器 (HDDレコーダ, テレビ等)	

注1) 太字は、各HDDの特徴となる仕様を示す。

注2) iVDR: リムーバブルHDDの標準規格, Information Versatile Disk for Removable Usageの略

7K500は、記録容量500GBで、ハイビジョン放送50時間の記録が可能である。動画の記録再生に便利なエラーリカバリ時間を制限できるといった機能も持つ。

(2) ポータブル機器向けHDD

HDDの小型化、軽量化、耐衝撃性能の向上により、ポータブル機器へのHDD採用が急速に広まった。Travelstar C4K60 SlimとMicrodrive 3K8は、ポータブル機器向けHDDの一例である。Travelstar C4K60 Slimは1.8インチ円板2枚で60GBの容量を実現し、動作時の衝撃耐力を600G（衝撃印加時間2ms）まで高めている。

また、Microdrive 3K8は1インチ円板1枚で8GBの容量を達成し、さらに非動作時の衝撃耐力2,000G（衝撃印加時間1ms）を実現している。また、オプションとして、落下センサを内蔵したバージョンも選択できる。動作時に“落下”を検知すると、直ちにヘッドを円板の外側に退避させる機能により、実質的に動作時の衝撃耐力400Gを2,000Gに高めることができる。

(3) 車載HDD

PC以外の用途として、HDDを本格的に採用した最初の家電商品はカーナビゲーションシステムであった。2000年の春に登場したHDDカーナビは、経路検索の速さと付随機能であったCD録音機能がユーザーに受け入れられ、急速に普及した。CDからDVDへと進化してきたカーナビゲーションシステムの情報媒体は、今ではHDDが一般的となった。

Endurastar J4K30は車載専用開発されたHDDである。車載HDDは動作環境温度範囲が -20°C ～ 85°C と広いのが特徴である。低温から高温まで広い温度環境で安定してヘッドを浮上させるために、ヘッド浮上量は一般PC向け製品よりも大きく設定している。高い浮上量は高記録密度記録を困難にさせるため、車載向けHDDの記録容量はPC向けHDDの容量の70%程度が普通である。また、低温での書込み動作を容易とするために、低温で記録媒体磁性体の保磁力が大きく上昇しないような特性の磁性膜を使用している。すなわち車載HDDはその容量を犠牲にすることにより、この広い動作環境温度を実現している。

(4) リムーバブルHDD

1980年以前のHDDシステムは、容量が1GB以下と比較的低容量であったため媒体を自由に交換できることが常識であった。しかし、その後HDDの大容量化が進んだこと、交換に伴うHDD障害防止目的のため、HDDをシステムに固定して使う方式に変化した。DVD-HDDレコーダもHDDは固定である。

PCと違い家電は5年、10年と使用される。大容量化が目覚ましいHDD進化の恩恵を享受するためにも手軽に最新HDDに交換できることが、ユーザーにとっても非常に便利な機能となる。また、メーカー側も、簡単にHDDを交換できることはメンテナンス性を高めることにも繋がる。

このような要求に応えるべく、リムーバブルHDDの標準

化を目指すiVDR (Information Versatile Disk for Removable Usage) ハードディスクドライブ・コンソーシアムが2002年3月に設立された。2005年10月3日現在、61社の会員企業が技術規格策定作業とその普及活動を行っている。これまでに2.5インチHDDを内蔵する「iVDR-Max」と1.8インチHDDを内蔵する「iVDR-Mini」が規格化されている。

製品例としてHoneybee D4K60-30がある。今後セキュリティ機能を持った「S-iVDR」の商品化も予定されている。

4 む す び

HDDはこれまで「コンピュータ文化」の中で成長してきたが、今後はデジタル家電への搭載が加速する。もはやHDDはテレビ文化の必需品となった。

日々増大する情報、これら大量の情報を高速にかつリーズナブルなコストで保存できる情報記録媒体としてHDDの優位性は当面揺るがないものと考えられる。したがって、かつてのVHSテープのようにユーザが簡単に入手できるような環境整備も急ぐ必要がある。今後、HDDをコンシューマ用品として低価格でかつ安定的に供給する責任をより強く感じている。

(2005年11月21日受付)

〔文 献〕

- 1) 例えば, R.L. Comatock and M.L. Workman, Chapter 2, in C. D. Mee and E. D. Daniel eds.: "Magnetic Storage Hand Book", New McRraw-Hill (1990), 岡村博司編著: "ハード・ディスク装置の構造と応用 -記録/再生の原理とメカニズム&インタフェース-", CQ出版
- 2) T. Miyazaki, and N. Tezuka: J. Magn. & Magn. Materials, L231, 139 (1995)
- 3) J.S. Moodera, L.R. Kinder, T.M. Wong and R. Meservy: Phys. Rev. Lett., 74, 3273 (1995)
- 4) 宮崎: "TMR効果が次世代のHDDとメモリーを生む", 日経エレクトロニクス, 771, 165-172 (2000年6月5日号)
- 5) S. Iwasaki and Y. Nakamura: "An Analysis of the Magnetization Mode for High Density Magnetic Recording", IEEE Trans. Magn., 13, pp.1272-1277 (1977)
- 6) T. Oikawa, M. Nakamura, H. Uwazumi, T. Shimatsu, H. Muraoka and Y. Nakamura: IEEE Trans. Magn. Pt1, 38, 5, 1976-1978 (2002)
- 7) H. Saga, H. Nemoto, H. Sukeda and M. Takahashi: Jpn. J. Appl. Phys., 38, 3B, 1839-1840 (1999)
- 8) 富士キメラ総研: 2005ストレージ関連市場調査総覧, P5 (2004年10月26日)

鈴木 良 1972年、早稲田大学大学院理工学研究科修士課程を修了、同年、(株)日立製作所に入社。磁気バブルメモリー、光磁気ディスク、HDDの開発に従事。2003年より、(株)日立グローバルストレージテクノロジーズに移動し、3.5型HDDの開発に従事。現在、同社執行役員、3.5C&C本部本部長。

西田 博 1973年、大阪府立大学工学部機械工学科卒業、同年、(株)日立製作所に入社、HDDの開発に従事。2003年より、(株)日立グローバルストレージテクノロジーズ、モバイルHDD本部にて、コンシューマ向けHDDのマーケティング開発に従事。iVDRハードディスクドライブ・コンソーシアム常任理事。