

小型・大容量 HDD の開発動向

Trends in Development of Compact, Large-Capacity Hard Disk Drives

北川 勝喜

■KITAGAWA Katsuyoshi

ハードディスク装置 (HDD) は小型・大容量化が進むことで、従来のコンピュータの外部記憶装置から AV 機器やモバイル機器、車載機器へと用途が広がっている。

東芝は 2.5 型以下の小型 HDD に特化し、小型・大容量化において常に業界をリードし続けてきた。HDD の面記録密度は、垂直記録方式をはじめとする磁気記録技術の進化により、今後も年率 30 % 程度の伸びが期待でき、2010 年には 2.5 型で 640 G バイト、0.85 型においても 30 G バイトの容量となることが予測される。当社は、このように HDD の小型・大容量化を推し進めることで、当社が提唱する gigastyle™ コンセプトのキーデバイスとして発展させていく。

The continuous trend of increasing storage capacity and decreasing size of hard disk drives (HDDs) has resulted in an expansion of their applications, from that of a storage medium for desktop computers to more mobile, consumer-oriented applications such as digital video recorders, portable music players, and car navigation systems.

Toshiba has specialized in sub-2.5-inch, small-form-factor HDDs and has consistently led the industry in storage capacity and size reduction. With innovations such as perpendicular magnetic recording (PMR) technology, an annual increase of 30 % in storage capacity is expected, to realize 640-gigabyte 2.5-inch drives and 30-gigabyte 0.85-inch drives by 2010. These technological trends mean that HDDs will continue to play a vital role in Toshiba's "gigastyle™" concept.

AV・モバイル機器の キーデバイス HDD

従来、コンピュータの外部記憶装置という用途が主であったハードディスク装置 (HDD) は、携帯オーディオプレーヤや HDD レコーダへの搭載を機に、様々な AV 機器やモバイル機器へとその適用範囲が広がっている。東芝においても、あらゆる AV・モバイル機器に大容量 HDD を搭載することで、いつでもどこにでも持ち歩いて高品質の映像や音楽を楽しめる gigastyle™ という新たなコンセプトのもと、ニューライフスタイルの実現を目指している。

このような流れの背景には、年々進む HDD の小型化と大容量化があることは言うまでもなく、HDD は AV・モバイル機器のキーデバイスとして、その役割がますます重要視されてきている。

ここでは、当社における小型・大容量 HDD 開発への取組み、技術の動向、及び AV・モバイル機器への応用展開

1967 年	HDD の製造開始 (14 型)
1983 年	8 型の量産開始
1984 年	5.25 型の量産開始
1987 年	3.5 型の量産開始
1990 年	2.5 型の市場へ参入 (業界初のガラス基板メディア採用)
1991 年	業界最大記憶容量の "2.5 型, 130 M バイト" を量産開始
1993 年	厚さ 12.5 mm で業界最大記憶容量の "2.5 型, 262 M バイト" を量産開始
1998 年	業界初の "GMR ヘッド" を搭載した 2.5 型の量産開始
2000 年	業界初の "2.5 型, 15 G バイト/枚" の量産開始 業界初の "1.8 型" (2 G バイト, PC カードタイプ) の量産開始
2001 年	業界初の "2.5 型, 20 G バイト/枚" の量産開始
2002 年	業界初の "1.8 型, 10 G バイト/枚", "2.5 型, 30 G バイト/枚", "2.5 型, 車載タイプ" の量産開始
2003 年	業界初の "1.8 型, 20 G バイト/枚" の量産開始
2004 年	業界初の "0.85 型" の開発を発表 業界初の "垂直磁気記録方式" (1.8 型, 40 G バイト/枚) の製品化を発表
2005 年	業界初の "0.85 型" の量産開始 業界初の "垂直磁気記録方式" (1.8 型, 40 G バイト/枚) の量産開始

図 1. 東芝の HDD 開発の歴史 — 小型・大容量化に向けて、常に技術で業界をリードしてきた。
History of HDD development in Toshiba

について述べる。

東芝における HDD 開発の歴史

当社の HDD 開発の歴史を図 1 に示す。1967 年の 14 型 HDD の製造開始に始まり、1983 年には 8 型、1984 年には 5.25 型、1987 年には 3.5 型の量産を

開始し、1990 年に 2.5 型の市場に参入して以降は、2.5 型 HDD に特化した。更に、2000 年に業界初の 1.8 型 PC カードタイプの量産開始、2005 年にはやはり業界初の 0.85 型の量産開始と続き、HDD の小型化に関して常に業界をリードしてきた。

また、記憶容量の面では、1990 年に

HDDの小型・大容量化技術



図2. 東芝のHDD製品— 2.5型, 1.8型, 0.85型の3サイズがラインアップされている。
Toshiba HDD products

HDDの面記録密度向上のトレンドを図3に示す。このようにHDDは、面記録密度を伸ばすことで大容量化を進めてきた。面記録密度を高めるには、線記録密度の向上（磁気ディスクのトラック内のデータビット数を増やす）とトラック密度の向上（磁気ディスク内のトラック本数を増やす）が必要となる（[囲み記事参照](#)）。

そこで、HDDの小型・大容量化の原動力となっている各要素技術の動向と開発状況について以下に説明する。

これらの要素技術が開発され投入されることにより、HDDの面記録密度は今後も継続して年率30%以上の伸び

業界初のガラス基板メディアを採用し、1998年にGMR（巨大磁気抵抗効果）ヘッドを採用した2.5型HDDの量産を開始、また、2004年には垂直磁気記録方式を採用した1.8型の製品化を発表して翌2005年に量産を開始するなど、高密度記録技術でも業界をリードし、その時々々の最高記憶容量機を先行して提供してきた。

1977年から製造を開始したMK100F（14型／12 Mバイト）と2005年から量産を開始したMK4001MTD（0.85型／4 Gバイト）を比較すると、約30年の間に容量が約333倍、直径が約1/16、重量が約1/3,000となっている。

当社のHDDの製品例を図2に示す。当社の2.5型シリーズの最大記憶容量

は120 Gバイト、1.8型シリーズでは最大80 Gバイト、0.85型シリーズでは最大4 Gバイトとなっている。

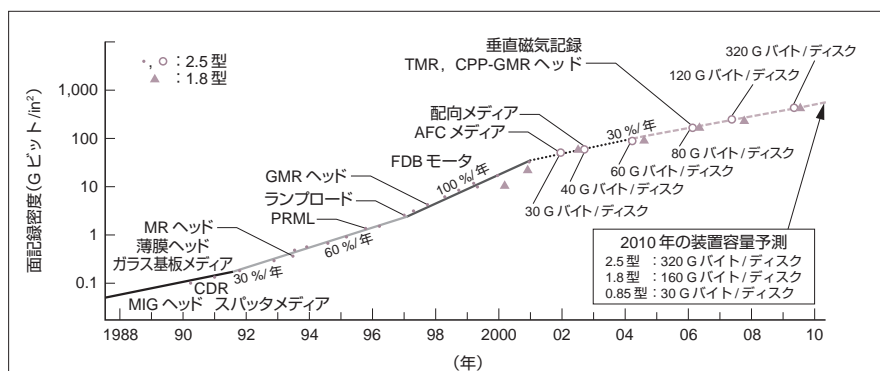
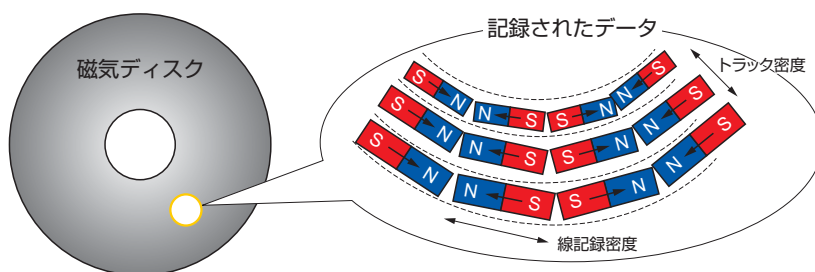


図3. HDDの面記録密度のトレンド— 磁気記録技術の発展により、近年でも年率30%の記録密度向上がなされている。

Trends in HDD areal density

面記録密度

HDDは、記録密度を向上させることで装置の記憶容量を上げていく。一般に記録密度は、ディスクの単位面積当たりの記録ビット数を表す面記録密度で表現される。ディスク上のデータは同心円状に形成されたトラックに記録されることから、面記録密度は、トラックに沿った方向の単位長さ当たりの記録ビット数を表す線記録密度と、ディスク半径方向の単位長さ当たりのトラック本数を表すトラック密度の積で計算される。



面記録密度 = 線記録密度 × トラック密度
 面記録密度 : ビット/in² (bps_i) 又は ビット/mm²
 線記録密度 : ビット/in (bpi) 又は ビット/mm (bpmm)
 トラック密度 : トラック/in (tpi) 又は トラック/mm (tpmm)

* 磁気記録においては、長さの単位としてインチ (in) を用いるのが一般的である。

が期待できる。その場合、2010年時点での記憶容量は、0.85型(搭載磁気ディスク枚数:1枚)で30Gバイト,1.8型で320Gバイト(同:2枚),2.5型で640Gバイト(同:2枚)と予測される。

■ 磁気ヘッド技術

1980年代において主流であったMIG(Metal In Gap)ヘッドから、次第に薄膜ヘッドに置き換わり、1994年ごろに再生ヘッドにMR(磁気抵抗効果)膜を用いたMRヘッドが登場した。これと後述する信号処理技術の改善により、それまで年率30%の伸びであった面記録密度が60%の勢いで上昇した。更に、GMRヘッドの採用及びその特性改善により、1998年から2000年代初頭にかけて、面記録密度は年率100%という大きな伸びを示した。なお、現行のGMRヘッドには、水道の蛇口のように電子の流れをコントロールすることから名前の付いた、スピナルブ型のGMR膜が採用されている。

今後も記録密度を高めていくためには、より高感度の再生ヘッドが必要となる。この点に関して、TMR(トンネル磁気抵抗効果)膜を用いたTMRヘッドと、GMR膜に対して垂直に電流を流すタイプのCPP(Current Perpendicular to Plane)型GMRヘッドの開発が進められている。また、面記録密度を向上させるためにはトラック幅の狭小化も重要であり、今後、更なる微細加工

技術の開発が必要となる。

■ 磁気ディスク技術

面記録密度を向上させるにはビットサイズを小さくする必要があり、磁気ディスクの記録層を構成する磁性粒子をより微粒子化し、信号のノイズを低く保つ必要がある。しかし、微細化することで熱エネルギーに対する磁性粒子の磁気エネルギー余裕が小さくなり、記録したデータが周囲の熱によって消えてしまう、いわゆる熱揺らぎ現象が問題となり、面記録密度の向上が困難になる。

こうした状況のなか、近年の磁気ディスクでは、高い密度で安定な記録磁化を維持できるように、磁性粒子の磁気エネルギーを大きくする記録磁性層の開発や、積層化した複数の磁性層を互いに反平行に結合させることで磁的に安定な状態を作る、反強磁性結合ディスク(AFCディスク)の開発により記録密度の改善がなされてきており、面記録密度の伸びは年率30%程度を維持している。しかしながら120Gビット/in²を超える領域においては、AFCディスクでも安定な記録磁化を維持することは困難になってきている。

そこで新たに投入された技術が垂直磁気記録方式である。面内磁気記録方式と垂直磁気記録方式の構造を図4に示す。記録信号がディスク面内に並んだ磁石として記録される面内磁気記録方式に対して、垂直磁気記録方式では

磁石がディスクに垂直な方向に立てて記録される。

垂直磁気記録方式は、東北大学名誉教授の岩崎俊一博士により1975年に発明された。記録密度が高くなるほど隣接する信号磁石が互いに強め合うため、磁化転移付近における減磁界が小さくなり、高い記録密度で信号を記録するのに有利となつて、熱揺らぎ現象に対してもより安定な記録状態を保つことができる。

更に面記録密度を向上させるための磁気ディスク技術として、記録トラック間に溝を掘ることで、隣接するトラック間の影響を減らしたディスクリットトラックや、非磁性体の中に磁性粒子を規則正しく並べ、磁性粒子の相互作用を減らしたパターンドメディアなどの開発も進められている。

■ 信号処理技術

1990年代に入り、それまで主流であったピーク検出方式に代わって、再生信号のS/N比(信号と雑音の比)が低くてもビット誤り率を小さくする信号処理技術として、PRML(Partial Response Maximum Likelihood)方式が急速に普及した。これは、符号間干渉を意図的に与える方法によって波形を整えるPR方式と、データ間に相関をもたせて記録したデータの列からもっとも確からしいデータ列を検出するML方式(ビタビ復号)を組み合わせ

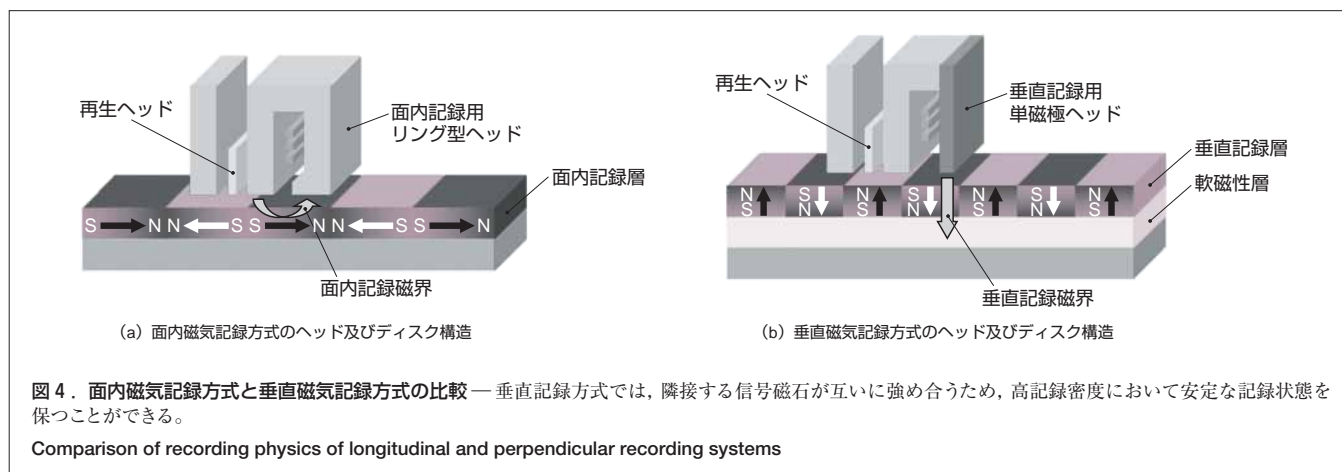


図4. 面内磁気記録方式と垂直磁気記録方式の比較 — 垂直記録方式では、隣接する信号磁石が互いに強め合うため、高記録密度において安定な記録状態を保つことができる。

Comparison of recording physics of longitudinal and perpendicular recording systems

た検出方式である。

更に近年では、ビタビ復号のエラーを訂正するポストプロセッサ機能を追加するなどの改善が進められている。

■ ヘッド位置決め制御技術

面記録密度の向上には、磁気ヘッドを目的のトラックに正確かつすばやく位置決めする技術も重要となる。HDDの機構部の構成を図5に示すが、HDDでは磁気ディスク上に書き込まれたサーボ信号を読み取ることで磁気ヘッドの位置を検出し、磁気ヘッドをトラック方向に移動させるためのボイスコイルモータ(VCM)をフィードバック制御することで磁気ヘッドの位置決めを行っている。

位置決めを悪化させる要因としては、外部からの振動・衝撃や空気流によって磁気ディスク自身が振動するディスクフラッタ、キャリッジに空気流が当たることで引き起こされる励振力、及びスピンドルモータの軸受振動が挙げられる。

一般にフィードバック制御系では、制御帯域を広帯域化することで性能を向上させることができる。しかしながら、HDDではフォーマット効率の点からサーボ信号のサンプリング周波数を上げることが困難であり、機構系の共振周波数を高くすることにも限界がある。こういった理由から、サンプリング周波数を等価的に高くして位置決め精度を

高めるマルチレート制御方式や、HDDに加わる外乱振動を検出しその影響を予測して対応する制御方式、及び追従するべきトラックの形状を学習して繰り返し現れる成分をフィードフォワードで制御する方式、といったインテリジェントな制御が適用されている。

■ 機構技術

ヘッドの位置決め精度を高めるうえで、外乱となる振動の発生を抑えることがポイントとなる。近年のHDDでは、磁気ディスクを回転させるスピンドルモータの軸受として、流体動圧軸受(FDB)が採用されている。FDBはボールベアリングに対して格段に振動が低減され、位置決め精度の向上におおいに貢献した。なお、FDBの採用により、軸受部からの騒音発生もほとんどなくなり、HDDの動作音が低く抑えられている。

VCM、キャリッジ、サスペンションといった機構部品の共振周波数が低い場合、ヘッド位置決め制御系の制御帯域を広帯域化することは困難となる。そこで機構部の共振周波数ができるだけ高くなるような設計をするのはもちろん、振動モードを最適化することで機構部の振動がヘッド位置決め制御系に与える影響を少なくするという設計も行われている。

また、2.5型以下の小型HDDは携帯

機器に搭載されることから、耐振動・耐衝撃特性の向上が求められる。これらの点に関しては、基台やサスペンションなどの最適設計が進められている。

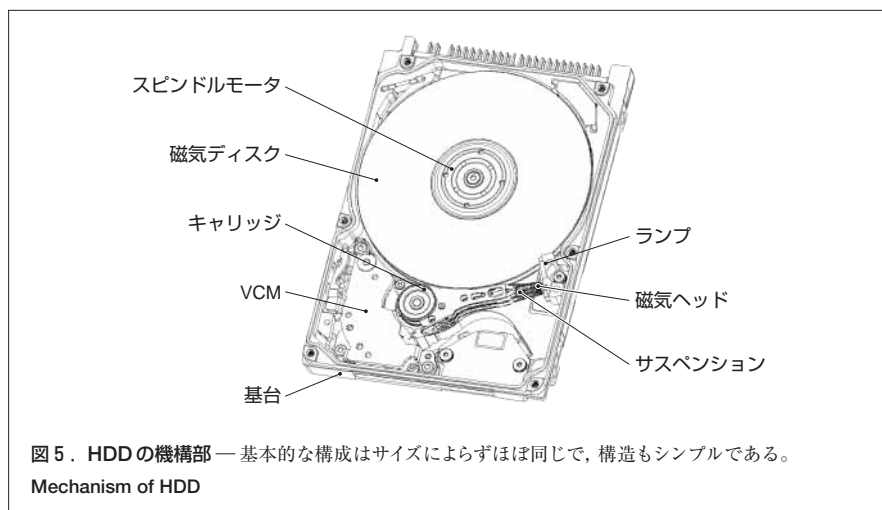
市場が広がる小型HDD

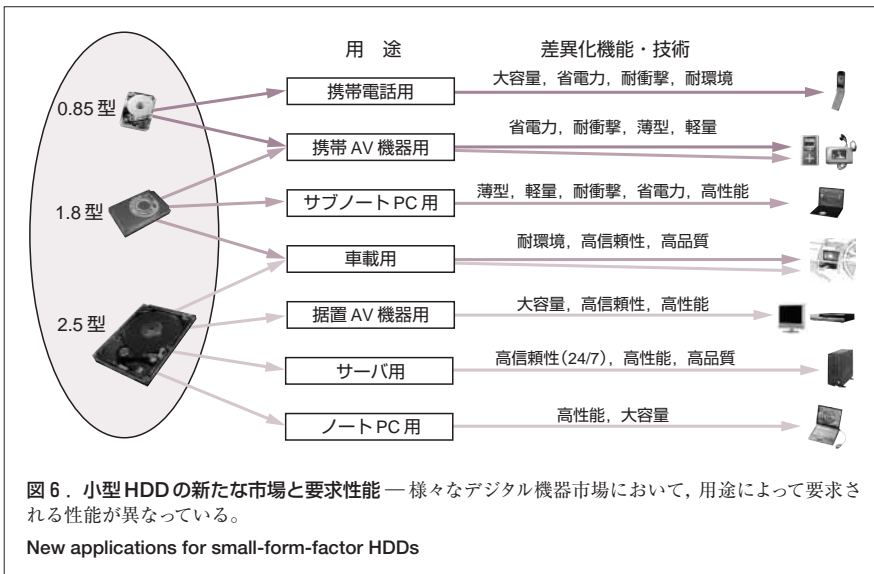
小型HDDの容量が大きくなることで、それぞれのサイズの特長を生かした新たなデジタル機器市場が形成されてきているが、用途によってHDDへの技術要求も異なっている(図6)。

小型HDDと3.5型HDDの性能比較を図7に示す。小型化が進むにつれて、体積、重量、消費電力、耐衝撃特性といったモバイル機器に要求される性能が格段に改善されていることがわかる。特に0.85型では、超小型であるというメリットはもちろんのこと、耐衝撃特性と消費電力の改善により、携帯電話やHDDムービーカメラ(gigashot[®])などのモバイル機器への搭載が期待されている。

当社の0.85型HDD(記憶容量4Gバイト)を携帯電話に搭載すると、MPEG-4(Moving Picture Experts Group phase 4)動画データの4時間分をはじめとして、多くのコンテンツを記録できることになる(図8)。更に、近い将来、垂直磁気記録方式が採用されると、8~10Gバイトまでの記憶容量の増加が見込まれる。また、0.85型を搭載したUSB(Universal Serial Bus)メモリも登場しており、フラッシュメモリに対するビットコスト(1ビット当たりのコスト)の優位性を保つことで、更なる市場の開拓が期待される。

1.8型HDDの主な市場はモバイルパソコン(PC)と携帯オーディオプレーヤである。しかしHDDの容量が大きくなるに従って、携帯オーディオプレーヤでも、デジタルカメラで撮影した画像やCDジャケットの写真などを表示できる機能が追加されるようになってきている。また、将来的には、HDDレコーダに蓄積した映像コンテンツを持ち運ん





で閲覧するといった用途を見据え、動画再生機能を携帯オーディオプレーヤに搭載する動きも始まっている。更に、新しい市場として、デジタルビデオカメラへの搭載も始まっている。

2.5型HDDの主な市場はノートPCであるが、カーナビゲーションシステムの分野でも搭載が広がってきている。また、記憶容量の増加と信頼性の向上を進めることで、エンタープライズ(サーバ向け)分野やHDDレコーダといった、3.5型が使用されている市場への適用も広がると思われる。

gigastyle™のキーデバイスを目指して

gigastyle™コンセプトに基づいた商品開発に向けて、HDDの小型・大容量化が不可欠である。

情報ストレージ技術は、ユビキタスネットワーク時代を支える重要な技術であり、HDDは容量、コスト、スピードのバランスにおける優位性から、ストレージ機器の中心的な役割を演じているが、大容量化を推し進めることで、今後もその役割は変わらないものと思われる。

これに対応するため、当社も磁気記録技術の更なる進化を推し進めてgigastyle™事業を後押しするとともに、2.5型以下のHDDで業界No.1を目指していく。

文 献

- (1) 山本耕太郎, ユビキタス機器にも搭載される小型磁気ディスク装置, 東芝レビュー, 60, 7, 2005, p.15-18.
- (2) 岡村博司, ハード・ディスク装置の構造と応用, 東京, CQ出版, 2002, 263p.



北川 勝喜

KITAGAWA Katsuyoshi

デジタルメディアネットワーク社 青梅デジタルメディア工場 磁気ディスク設計部グループ長。磁気ディスク装置の設計・開発に従事。日本機械学会会員。Ome Operations - Digital Media Network

