

2.5 インチ型磁気ディスク装置 M5000 シリーズ

M5000 Series 2.5-inch Hard Disk Drives

森田 功
I. Morita

服部 正勝
M. Hattori

2.5 インチ型磁気ディスク装置として、AMR (Anisotropic Magneto- Resistive) ヘッドを使用した、ディスク 1 枚当たりの記録容量が約 1G バイトの M5000 シリーズ 3 機種を開発した。M5000 シリーズは、厚型 (17 mmH) の装置に 5 枚のメディアを実装する M5000, 薄型 (12.5 mmH) の装置にメディアを 3 枚実装する MV3000, および超薄型 (8.5 mmH) の装置にメディアを 2 枚実装する MT2000 から構成される。16/17EPR4 (Extended Partial Response Class4) 信号処理技術の採用、改良型の AMR ヘッドおよび低浮上用メディア、機構系の新規設計およびサーボ方式の改良により、1 mm²当たり 2.97 M ビットの高記録密度と、従来比で約 1.5 倍の容量増加を達成した。さらに、磁気ヘッド支持部を含む機構系を新規に開発することにより、従来機に対して耐振動・衝撃特性を改良した。

We have developed the M5000 series of magnetic disk drives with anisotropic magnetoresistive (AMR) heads. The M5000 series consists of three models: the M5000 (17 mmH) with 5 media, the MV3000 (12.5 mmH) with 3 media, and the MT2000 (8.5 mmH) with 2 media. Each model has about 1 GB of areal density. Another characteristic of this series is its high recording density (2.97 Mbits/mm²), enabled by the adoption of 16/17EPR4 (extended partial response class 4) signal processing technology, an improved AMR head, low-flying-height media, a newly designed mechanism, and an improved servo method. It has one and a half times the capacity of previous models. Vibration resistance and shock resistance are also enhanced by a newly developed head supporting mechanism.

1 まえがき

ノートブックパソコン (PC) やサブノート PC の市場拡大に伴う 2.5 インチ型磁気ディスク装置の需要拡大と、さらにマルチメディア技術の進展によるディスク装置の記憶容量の増加、耐衝撃性能に代表される信頼性、および軽量化に対する要求が、ますます強くなっている。

2.5 インチ型ディスク装置は、磁性材料、信号処理、エラーチェック技術、潤滑技術などの最先端技術により支えられている。特に、AMR ヘッド、ガラスメディアの電磁変換特性や信号処理技術の進歩による線記録密度の向上、装置の高密度、精密組立技術およびサーボ技術の進歩による位置決め精度の向上により、装置記憶容量は 1 年に 2 倍という著しいペースで増加している。

今回開発した M5000 シリーズは、AMR ヘッドとガラスメディアの特性向上、16/17 EPR4 信号処理技術の採用およびサーボ技術の改良により、従来比で約 1.5 倍の記憶容量を達成した。また、装置機構部を新規に設計し、かつヘッドサスペンションを改良することにより、耐衝撃特性を向上させた。特に超薄型モデルである MT2000 では、薄厚プリント基板およびDRAM インテグレーションコントローラの採用により、8.5 mm の装置厚さに 2 枚のメディアを実装し 2 G バイトの容量を達成した。

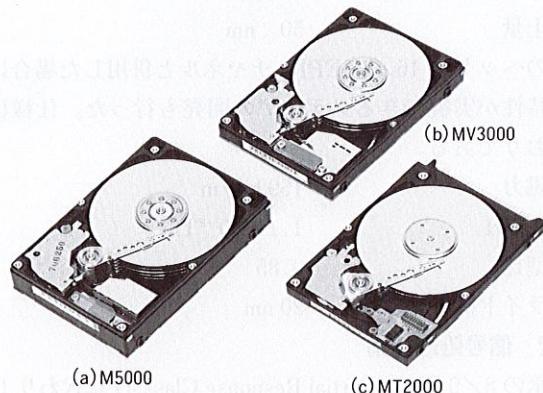


図 1. 2.5 インチ型磁気ディスク装置 M5000 シリーズ シリーズは、17 mm 厚で 5.1 G バイト(a), 12.5 mm 厚で 3.2 G バイト(b), 8.5 mm 厚で 2.1 G バイト(c)である。

External view of M5000 series 2.5-inch hard disk drives

図 1 に M5000 シリーズの装置を示す。

2 装置の概要と技術的特長

M5000 シリーズは、厚型で容量 5.1 G バイトの M5000、薄型で 3.2 G バイトの MV3000 および超薄型で 2.1 G バイトの MT2000 の 3 機種から成る。

表1. M5000シリーズの仕様
Specifications of M5000 series hard disk drives

| 項目 | 仕 様 | | |
|--------------------|---------------|--------|--------|
| モデル | M5000 | MV3000 | MT2000 |
| 記録容量(フォーマット時)(バイト) | 5.12 G | 3.24 G | 2.16 G |
| 磁気ヘッド数(本) | 10 | 6 | 4 |
| 磁気ディスク数(枚) | 5 | 3 | 2 |
| 線記録密度(ピット/mm) | 7.64 | | |
| トラック密度(トラック/mm) | 389 | | |
| ディスク回転数(回転/min) | 4,852 | 4,200 | 4,200 |
| 平均シーク時間(ms) | 13 | | |
| データ転送 | 内部転送(Mbps) | 88.2 | |
| 速度 | ホスト転送(Mバイト/s) | 33 | 33 |
| 変調方式 | 16/17 EPR4 | | |
| 消費電力 | リード時(W) | 3.2 | 2.8 |
| | スタンバイ時(W) | 0.35 | 0.3 |
| | | | |

表1にM5000シリーズの技術的仕様を示す。

2.1 第三世代AMRヘッド

1 mm²当たり2.97 Mピットの記録密度を実現するため、再生効率を改善した第三世代のAMRヘッドを採用した。このヘッドの仕様は次のとおりである。

| | |
|----------|---------|
| ライトギャップ | 0.35 μm |
| ライトポール幅 | 2.0 μm |
| MRトラック幅 | 1.6 μm |
| リードギャップ幅 | 2.0 μm |
| 浮上量 | 50 nm |

このヘッドを16/17 EPR4チャネルと併用した場合に最適な特性が実現できるメディアの開発も行った。仕様は次のとおりである。

| | |
|--------|---------------------------|
| 保磁力 | 159 kA/m |
| 磁化 Brt | 1.1 × 10 ⁻⁸ Tm |
| 角型比 | 0.85 |
| グライド高さ | 20 nm |

2.2 信号処理技術

従来の8/9 PR4(Partial Response Class 4)に代わり16/17 EPR4を採用することで、線記録密度を約20%向上させることができた。EPR4の伝達関数は次のように表される。

$$G(D) = (1-D)(1+D)(1+D)$$

ここで、Gは伝達関数、Dは遅延要素

EPR4では、高域の利得がPR4に比べて減少し、等価波形の高域雑音が抑圧される。このチャネルの特性に合う最適なヘッド、メディアを開発することで、メディア1枚当たり1.08 Gバイトの容量を実現できた。

2.3 耐振動・衝撃特性

M5000シリーズにおけるトラック密度をトラックピッチに換算すると約2.6 μmで、要求される位置決め精度は約

0.25 μm以下である。この精度で位置決めされた状態で正確なデータの読み書き動作を行うために、バランスを考慮したキャリッジ設計やサーボ系の改善を行った。

ノートPCやサブノートPCに使用される2.5インチディスク装置について、その扱われかたからディスク装置に衝撃が加わることが避けられない。したがって、動作および非動作状態での耐衝撃性能の向上に対する要求がきわめて強い。

M5000シリーズでは、耐衝撃性能を向上させるために次の技術施策を行った。

- (1) ヘッド一体化サスペンションの改良
- (2) 基台剛性の強化
- (3) キャリッジ系スペーサ類の形状見直し

図2にメディア3枚を実装するMV3000のキャリッジを示す。

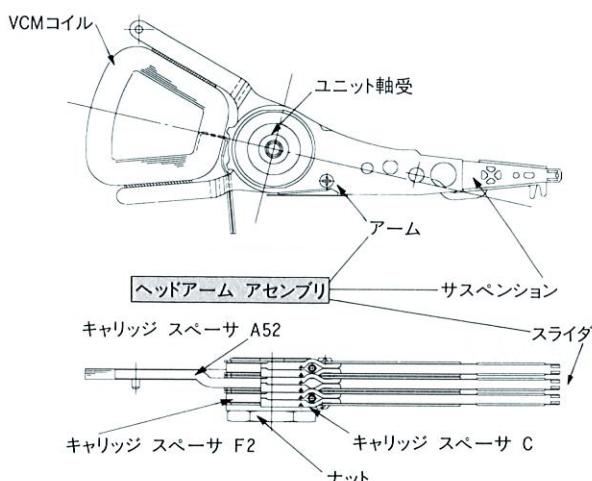


図2. 積層キャリッジの外形 ヘッドアームアセンブリにおけるサスペンションの軽量化と、アームおよびスペーサ形状の改良を行い、衝撃性を改善した。

Outline of stack type carriage

メディアとデータの読み書きを行う磁気ヘッド(スライダコア)を支持するサスペンションと、ステンレス製薄板アームを一体化したヘッドアームアセンブリを積層する積層キャリッジを従来モデルから採用している。非動作状態ではヘッドはメディアの回転による浮力を受けないために、ヘッドを支持するサスペンションが発生する力(押しつけ力)で静的にメディアに接触している。

この状態で装置が外部衝撃を受けた場合、衝撃加速度にヘッド(ヘッドスライダおよびサスペンション)質量を乗じた力がヘッドをメディアから引き離す方向に作用する。この力が押しつけ力を超えると、スライダはメディアから跳ね上がり(リフトオフと呼ぶ)、リフトオフが顕著である場合にはスライダがメディアに着地する際にメディアに傷を

つてしまふ。

すなわちリフトオフ特性を改善するためには、押しつけ力を大きくすること、またはスライダとサスペンションを合わせた可動体の質量を小さくすることが有効である。そのほかに、基台やアームの固有振動周波数も大きく影響する。

M5000シリーズでは、サスペンションの設計を見直すことにより可動体の質量を低減し、かつ十分な基台剛性を確保することにより、非動作時で $3,500\text{ m/s}^2$ の耐衝撃仕様を達成した。

2.4 DRAM インテグレーションコントローラ (MT2000)

MT2000は、8.5 mm の厚さに2枚のメディアを実装するため、プリント基板の面積を従来の2/3にしている。図3にMT2000用に開発したプリント基板の外形および実装状態を示す。

小さい実装面積に対応するため、使用するICの数を4個にする必要があった。このため、DRAM、ハードディスクコントローラ(HDC)、サーボ制御回路をインテグレーションしたチップを開発した。

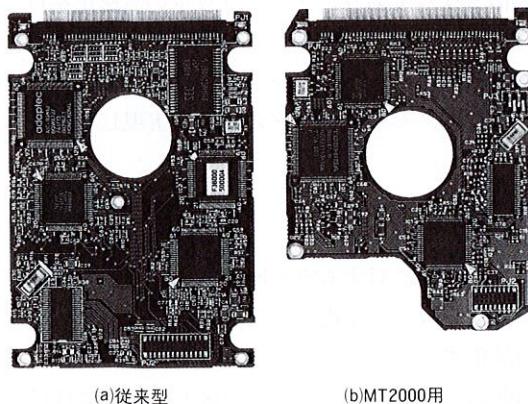


図3. 従来型プリント板とMT2000用プリント板の比較 MT2000では、DRAMインテグレーションコントローラの採用により、プリント板の面積を従来比で2/3にした。

Conventional and new printed circuit boards

2.5 超薄型高密度実装 (MT2000)

超薄型のMT2000では、8.5 mmの装置にメディア2枚を実装することにより、メディア1枚モデルである従来機のMT800に比べて約2.5倍の容量増加を達成した。

他モデルでは、プリント基板の大きさは装置外形である幅70 mm、奥行100 mmとほぼ同じ大きさであるが、DRAMインテグレーションコントローラの採用により基板を小さくし、削減した部分にキャリッジのVCM (Voice Coil Motor) 推力発生部を配置し、かつ推力発生源であるVCMマグネットの材質および形状を見直すことにより超薄型2枚実装を可能にした。

3 記録容量の向上

3.1 記録密度の向上

16/17 EPR4を使用した場合と8/9 PR4を使用した場合に線記録密度に対応するユーザデンシティとエラーレートの関係を図4に示す。

8/9 PR4では、線記録密度を上げユーザデンシティが2.4を超えるあたりから、エラーレートが設計仕様を超えるレベルになる。16/17 EPR4では、同一特性をもつヘッドやメディア系に対しても2.6程度までは使用可能範囲にある。また、高線記録密度を実現するため、従来に比べ細かく書き込み補正ができる方式を採用するなどの改良を行った。

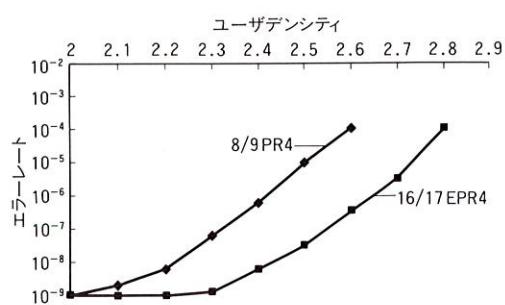


図4. ユーザデンシティとエラーレートの比較 16/17 EPR4の採用により、エラーレートを改善した。

Comparison of user density and error rate

3.2 エラー訂正

従来の機種では、3インタリープ3バーストのリードソロモンタイプのエラー訂正を使用していた。これに対して、16/17コードでエラー伝播(ば)が大きくなる点およびサーマルアスペリティ(後述)によるバーストエラーに対応するため、エラー訂正長を長くする必要があり、5インタリープ3バースト訂正が可能なリードソロモンタイプのエラー訂正方式を開発した。これにより、1バーストでの訂正長は最大113ビットとなり、サーマルアスペリティにより発生するバーストエラーを十分に訂正できるようになった。

3.3 ICインテグレーション

当社は、DRAM、サーボ制御およびディスクコントローラ回路を一つのICに集積した高度のコントローラを開発した。このICの構成を図5に示す。従来、これらの機能は三つのICで構成されていた。これを、メモリとロジックを混在させるという最新の半導体技術を利用してことで、サーボ制御およびディスクデータフロー制御のアーキテクチャを1チップ化することができた。

このICの特長は次のとおりである。

- (1) 1 Mビット DRAM バッファ内蔵
- (2) ATA-4 ホストインターフェース規格対応

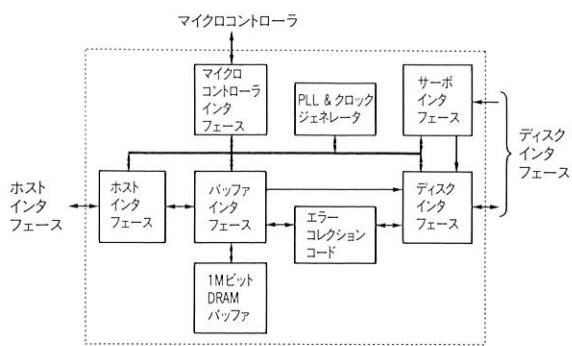


図5. DRAMインテグレーションコントローラの構成 DRAM, サーボ制御, およびディスクコントローラ回路を一つのICに集積した。

Configuration of DRAM integration controller

- (3) 5インターリープ3バースト
コレクションリードソロモンエラー訂正方式
- (4) エラーロギング機能
- (5) サーボデコード回路
- (6) セクタスキップ機能

以上のように、高機能ディスク装置を実現するための機能を一つのICの中に集積することに成功した。また、HDCのマルチベンダ化が可能となりコストダウンにも寄与した。

4 信頼性の向上

M5000シリーズでは、新たに次に述べる技術施策を採用することにより、装置の信頼性をさらに高めた。

4.1 耐衝撃対策

動作衝撃に対しては、従来機種と同様にプリント基板上に設置した衝撃センサが衝撃を検出した段階で、ライト動作を禁止する方式を継承している。非動作衝撃に対しては、2.3節に説明した機構設計上の改良を行い性能を向上させた。

4.2 耐ノイズ特性の向上

従来機種と同様に、装置取り付け孔を絶縁材料で形成し、ノイズ電流がシステムから流れ込まない構造にした。また、ホストとの間のインターフェース信号線のインピーダンスアンマッチにより発生するノイズを防ぐため、装置側にすべてのインターフェース信号に対しマッチングする終端素子を配し、高速転送によるノイズ防止を考慮した設計になっている。

4.3 トライボロジー技術の改善

装置記憶容量の増加に伴い、ヘッドとメディアの潤滑技術はますます重要になってきている。線記録密度を上げるために、今回のシリーズでは、動作中のヘッド浮上高さを従来比で約10%下げ、これに見合うメディアを新たに採用

した。特に、AMRヘッドでは、動作中の温度もしくは圧力などの環境変化により、ヘッドがメディアと接触するとサーマルアスペリティ(TA)と呼ばれるパルス上のノイズを発生し、装置信頼性を引き下げる。すなわち、ヘッド浮上高さを下げるためには、メディア面の粗さ、いわゆる突起高さを下げる必要がある。一方、突起高さを低くすると、非動作時のヘッドとメディアの吸着が起こりやすくなるため、メディアの潤滑剤を含めた表面性状を改良する必要がある。

さらに、装置内部の清浄度を上げることも必要で、M5000シリーズから、呼吸フィルタから内部に進入した有機ガスや酸性ガスを除去するために、ケミカルフィルタを採用し、信頼性の向上を図った。

5 高速化

Ultra-DMAモードをサポートしたこと、対ホスト間で最高33Mバイト/sの高速転送が可能になった。Ultra-DMA転送は、DMA転送の速度を従来の2倍に上げる技術である。また、ディスクとコントローラの転送速度も従来比1.2倍となっており、スループットの高速化を行った。

同時に、MV3000では、バッファRAMの容量を4Mビットとし、効率の高いキャッシュアルゴリズムと組み合わせることで、アクセススピードの向上を実現した。

6 あとがき

ディスク装置に対する容量増加の流れは、とどまるところを知らず、今後とも市場要求にマッチした製品をタイミングで商品化することはきわめて重要である。

今回開発した技術をベースに今後とも他社に負けない商品の開発を行う所存である。

文 献

- (1) 久野浩之, 他: 2.5インチ型磁気ディスク装置 1.35Gバイトシリーズ, 東芝レビュー, 50, 8, pp.591-594 (1995)

森田 功 Isao Morita

青梅工場 ディスク設計部主査。
磁気ディスク装置の開発・設計に従事。日本機械学会, 精密工学会会員。
Ome Works

服部 正勝 Masakatsu Hattori

青梅工場 ディスク設計部主査。
磁気ディスク装置の開発・設計に従事。
Ome Works