

TDMR 技術を適用してCMR方式で業界最大の記憶容量 16 Tバイトを実現したニアライン向け3.5型HDD

Nearline TDMR HDDs with Industry's Largest Capacity of 16 Tbytes

阿部 将和 ABE Masakazu 原 武生 HARA Takeyori

クラウドサービスの普及などにより、データセンターなどで大容量HDD（ハードディスクドライブ）の需要が高まり、HDDの高記録密度化と大容量化が加速している。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、2019年1月にCMR (Conventional Magnetic Recording) 方式で業界最大容量^(注1)の16 T(テラ: 10^{12}) バイトを実現したニアライン向け3.5型HDD MG08シリーズを製品化した。16 Tバイトという記憶容量をCMR方式で実現するため、当社初となるTDMR (Two Dimensional Magnetic Recording : 2次元磁気記録) 技術を採用した。更に、記録ヘッドの構造変更によるデータ記録能力の向上や、磁気ディスクの材料変更による再生信号品質の向上、磁気ヘッドと磁気ディスク表面間のスペーシング制御技術の改良、サーボ制御技術及びサスペンションの改良によるヘッド位置決め精度の向上などにより、大容量化を実現した。

With the fast-growing prevalence of cloud services, the volume of data generated is increasing. This, in turn, is creating expanding demand for large-capacity hard disk drives (HDDs) for data centers.

To meet this industry requirement, Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation released the MG08 series of 3.5-inch nearline HDDs in January 2019. The MG08 series has achieved the industry's largest capacity of 16 Tbytes for a conventional magnetic recording (CMR) HDD. In order to increase the recording density, we applied two-dimensional magnetic recording (TDMR) technology for the first time in our HDDs. In addition, this series incorporates many other innovations to increase recording density, including improved head architecture, an optimized media material to enhance the signal quality, enhanced spacing control between the head element and the media surface, and improved servo control technology and suspension to improve the head positioning accuracy.

1. まえがき

クラウドサービスなどの普及拡大に加え、監視カメラシステムやAI市場の拡大、5G(第5世代移動通信システム)を活用した自動運転技術の開発などにより、世の中で生成されるデータ量が加速度的に増加している。こうした背景から、3.5型の大容量HDDの需要が増大しており、特にデータセンター用のニアライン向けHDDの需要が高まっている。

このようなニアライン向けHDDの大容量化への要求に 대응するため、今回、東芝デバイス&ストレージ(株)は、3.5型ニアライン向けHDDとして第8世代、He(ヘリウム)充填機種として第2世代となるMG08シリーズを開発した。MG08シリーズは、TDMR技術の採用や、ヘッド位置決め精度の向上、主要部品の設計最適化などにより、CMR方式としては業界最大の記憶容量16 Tバイトを達成した。加えて、サーボ制御技術や、データの記録順を最適化するリオーダーリング技術などの改良により、高パフォーマンス化を実現した。

(注1) 2019年1月現在、高さ26.1 mmの3.5型HDDとして、当社調べ。

ここでは、MG08シリーズの概要とともに、業界最大容量のHDDを実現するために開発した技術について述べる。

2. 装置概要

今回開発したニアライン向け3.5型HDD MG08シリーズの主な仕様を表1に示す。

インターフェースとして、SATA (Serial Advanced Technology Attachment)-3.3とSAS (Serial Attached SCSI (Small Computer System Interface))-3の2種類をラインアップした。従来機種のMG07シリーズと、磁気ヘッドの本数及び磁気ディスクの枚数は同じまま、記憶容量を約14%増やすため、線記録密度及びトラック密度の増大を実現し、面記録密度(平均) $1,770$ Mビット/mm²を達成した。また、高パフォーマンス化により、最大連続データ転送速度262 Mi (メビ: 2^{20}) バイト/sを実現した。更に、低消費電力化で電力消費効率^(注2)を最大約18%向上させており、ストレージシステムの省電力化に貢献できる。

(注2) ローパワーアイドル時の消費電力を記憶容量で除したものの。

表1. ニアライン向け3.5型HDD MG08シリーズの主な仕様

Main specifications of MG08 series 3.5-inch nearline HDDs

項目	仕様	
	MG08ACA16TA MG08ACA16TE	MG08SCA16TA MG08SCA16TE
インターフェース	SATA-3.3	SAS-3
インターフェース速度	6 Gビット/s	12 Gビット/s
記憶容量	16 Tバイト	
磁気ディスク枚数	9枚	
磁気ヘッド数	18本	
線記録密度(平均)	102.7 kビット/mm	
トラック密度(平均)	17.2 kトラック/mm	
面記録密度(平均)	1,770 Mビット/mm ²	
バッファサイズ	512 Miバイト	
回転数	7,200 rpm	
最大連続データ転送速度	262 Miバイト/s (typ.)	
MTTF	2,500,000 h	
消費電力(アイドル時)	4.00 W	4.46 W
外形寸法	101.85 (幅) × 147.0 (奥行き) × 26.1 (高さ) mm	
質量	720 g (最大)	

MTTF: 平均故障時間

3. 機構設計

当社は、業界標準規格である高さ26.1 mmの3.5型HDDの筐体(きょうたい)内に、世界で初めて^(注3)9枚の磁気ディスクと18本の磁気ヘッドを搭載したHe充填機種として、MG07シリーズを製品化した。今回開発したMG08シリーズは、MG07シリーズの筐体をベースに、TDMR用ヘッドとその関連部品を搭載した(図1)。

TDMR用ヘッドは、再生ヘッド素子を二つ備えているた

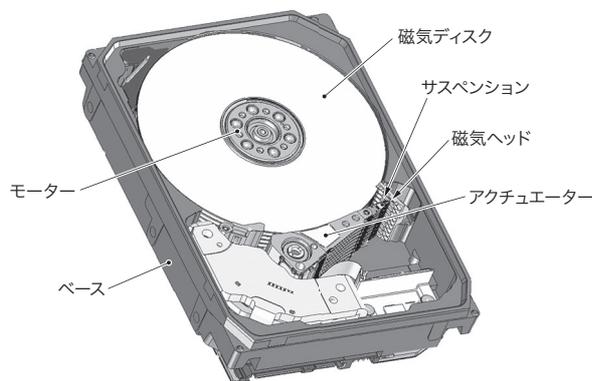


図1. MG08シリーズの内部構造

磁気ヘッドや、磁気ディスク、アクチュエーター、サスペンションなどを新たに設計し、業界最大容量の16 Tバイトを実現した。

Internal structure of MG08 series

(注3) 2017年12月現在、高さ26.1 mmの3.5型HDDとして、当社調べ。

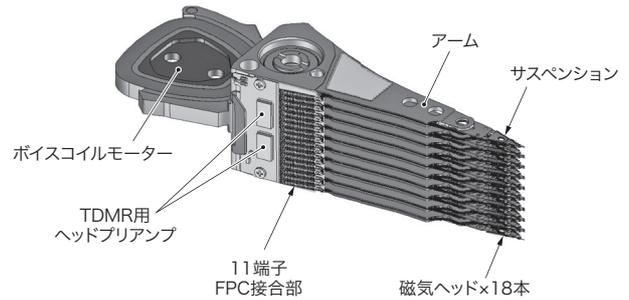


図2. 開発したTDMR用アクチュエーター

TDMR用のFPCと、高いヘッド位置決め精度を実現したサスペンションを実装したアクチュエーターを、新たに開発した。

Actuator newly developed for TDMR

め、ヘッドからヘッドプリアンプにつながる端子数は、従来の9端子から11端子に増えた(図2)。このため、磁気ヘッドとヘッドプリアンプにつながるFPC(フレキシブルプリント配線板)接合部の微細化や、FPCの回路パターン細密化、接合条件の最適化などを行い、従来機種と同一サイズのTDMR用アクチュエーターを実現した。

また、高記録密度化を達成するために、磁気クラスターサイズの微細化と低磁気スペーシングを可能にした磁気ディスク、及び共振特性を向上させて高いヘッド位置決め精度を実現したサスペンションといった主要部品を開発した。更に、高データ転送レート化及び高性能化に合わせて、放熱設計を最適化した。

4. 高記録密度化

MG08シリーズは、磁気ディスクの円周方向に線記録密度(平均)102.7 kビット/mmでデータを記録している。また、半径方向にトラック密度(平均)17.2 kトラック/mmのデータトラックを持っている。面記録密度(平均)1,770 Mビット/mm²は、線記録密度及びトラック密度の向上により実現した。

通常、高記録密度化を達成するためには、記録ヘッド素子及び再生ヘッド素子のサイズを小さくする必要があるが、ヘッド素子の幅を狭くすると磁気ディスクへの記録能力は低下し、再生信号品質が低下する。また、データトラックの間隔が狭くなると、隣接するデータトラックからのデータ干渉が増大し、再生信号品質を低下させるという問題があった。そこで信号品質を向上させるために、TDMR技術を採用した。

また、高トラック密度化するために、高いヘッド位置決め精度を実現した。

更に、記録ヘッド素子の構造変更によるデータ記録能力

の向上や、データ記録信号に対するビット単位での出力振幅を最適化することによる記録品質の向上、磁気ディスクの材料変更による再生信号品質の向上、磁気ヘッドと磁気ディスク表面間のスペーシング制御技術の改良、データフォーマット効率の向上などを行って、大容量化を実現した。

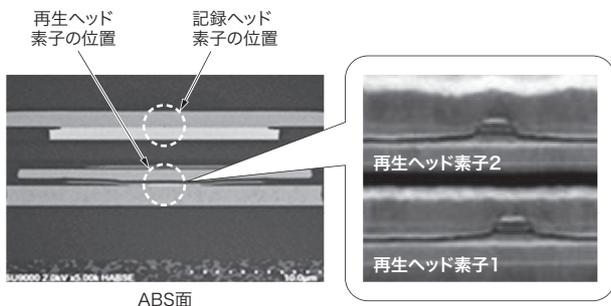
以下に、大容量化を実現した主要な技術である、TDMR技術による高記録密度化、及びヘッド位置決め精度の向上による高トラック密度化について、詳しく述べる。

4.1 TDMR技術による高記録密度化

TDMRは、磁気ディスク上のデータトラック内に配置されている同一セクターから同時に取り込んだ2種類の信号を処理して、データを再生する技術である。

従来の磁気ヘッドが、記録ヘッド素子一つと再生ヘッド素子一つで構成されていたのに対して、TDMR用磁気ヘッドは、記録ヘッド素子一つと再生ヘッド素子二つを備えたヘッド構造を持つ(図3)。拡大図のように、二つの再生ヘッド素子は、磁気ディスクの円周方向に並べて配置されている。

このTDMR用磁気ヘッドの二つの再生ヘッド素子から取り込んだ2種類の信号の特性は、それぞれの再生ヘッド素子の特性により異なる。また、磁気ディスクから取り込む信号は、データトラックと再生ヘッド素子の相対的な位置関係によって、異なったノイズ量と時間的なずれを持っている。このため、2種類の信号は、同一セクターから取り込んでも異なるものになる。これらを、ヘッドプリアンプ及びリードチャンネルで補正し、更に2次元等化器で信号処理することで一つのデータとして再生する(図4)。2次元等化器では、相関度が高い目的トラックの信号成分を強調し、ノイズとなる隣接トラックからのデータ干渉を低減することで、再生信



ABS: Air Bearing Surface(空気軸受け面)

図3. TDMR用ヘッド素子部の走査型電子顕微鏡(SEM)像

磁気ディスクから同時に2種類の信号を取り込むために、再生ヘッド素子を二つ備えている。

Scanning electron microscope (SEM) images of magnetic head elements

号品質を向上させることができる。

このTDMR技術を使うことで、線記録密度とトラック密度の向上が可能になり、高記録密度化を実現できる。

4.2 ヘッド位置決め精度の向上による高トラック密度化

高トラック密度化を実現するためには、高いヘッド位置決め精度が要求される。ヘッド位置決め制御性能の一つの指標となるのが制御帯域である。MG08シリーズでは、サーボサンプリング周期の短縮とアクチュエーター共振特性の向上を行うことで、制御帯域(圧縮周波数帯)を従来機種に比べて約14%広げた。

HDDのサーボサンプリング周期は、磁気ディスク上に磁化パターンとして等間隔に配置したサーボ情報の数と回転数によって決まる。この周期を短くすればサーボ制御動作を高速に実行でき、制御性能の向上につながる。そこで、サーボ情報の数を増やして、サンプリング周期を従来機種に比べて約13%短縮した。

一方、単にサーボ情報の数を増やすだけでは、磁気ディスクに占めるサーボ情報領域の面積が増加し、データを記録できるエリアを減少させることになるので、一つのサーボ情報当たりの領域長を最小化することが重要である。そこで、サーボ情報の一部を複数の領域に分散配置して一つのサーボ情報当たりの情報量を減らすとともに、ファームウェアでサーボ情報を再構成する技術を採用して、データ記録エリアの増大を図っている。この技術は、2.5型HDDのMQ04シリーズで採用したが、MG08シリーズへの適用にあたっては、分割方法を理論的に最適化して再構成のアルゴリズムを見直すことで、更なるデータ記録エリアの増大と信頼性の向上を実現した。

また、MG08シリーズは、サスペンション部に搭載しているマイクロアクチュエーターを用いた2段サーボ技術を採用しているが、更に制御性能を向上させるため、マイクロアク

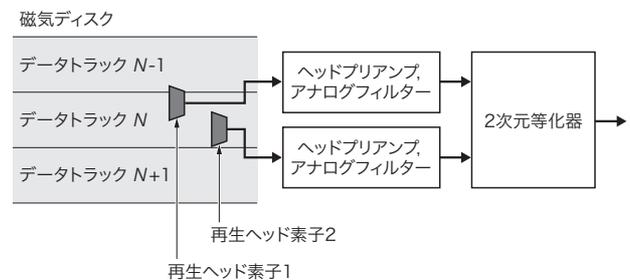


図4. TDMRによるデータ再生のイメージ

二つの再生ヘッド素子から取り込んだ2種類の信号に対して2次元等化処理を施すことで、再生信号品質を向上させることができる。

Schematic diagram of TDMR technology

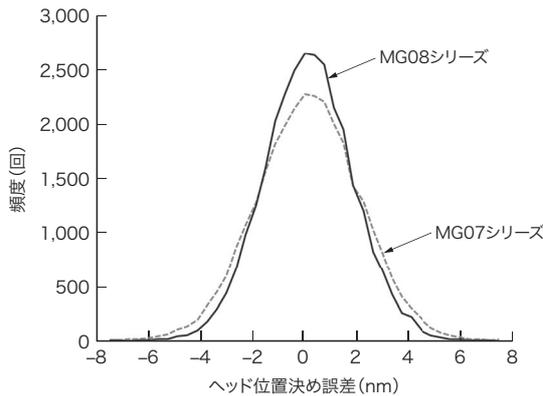


図5. ヘッド位置決め精度の比較

従来機種のMG07シリーズに比べMG08シリーズでは、ヘッド位置決め精度(位置決め誤差の分散)が約10%向上することを確認した。

Comparison of head positioning accuracy

チュエーターの共振特性を向上させた。従来機種をベースに設計を最適化して、主としてサスペンションやヘッド支持部のねじれモードなどに起因する高周波領域の共振特性の向上を実現した。これにより、従来機種よりも広い周波数帯で外乱を抑圧する制御器の設計が可能になった。

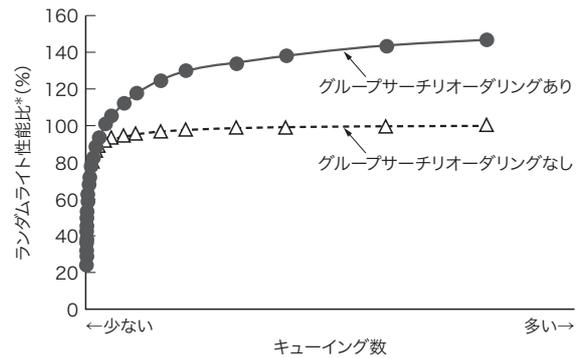
この結果、ヘッド位置決め精度は従来機種と比較して約10%向上しており(図5)、高トラック密度化に大きく貢献することができた。また、HDDは、振動などが過酷な環境に置かれるケースが増えており、このような場合でも安定な動作が可能になる。

5. 高パフォーマンス化

高線記録密度化により、データトラック1周内に収めることができるデータ量を増大させたことで、MG08シリーズでは従来機種に対して最大連続データ転送速度が約6%向上した。

また、ランダムライト性能の向上策として、内部のキューイング^(注4)数の増大とリオーダーリング制御の改良を行った。一般的に、単にキューイングするコマンドを増やすだけではリオーダーリングでコマンドサーチする(処理の順番を決める)時間が増加するため、ランダムライト性能の向上にはつながらない。そこで、HDD全体のデータ記録エリアを物理位置でグルーピングし、物理位置の近いコマンドをまとめて管理するグループサーチリオーダーリングを開発した。リオーダーリング時に、実行中のコマンドと同じグループに属しているコマンドから処理を実行することで、コマンドサーチを効率化し、ランダムライト性能の向上を実現した(図6)。

(注4) ホストシステムからの複数のコマンド発行に対して、磁気ディスクへのデータ記録実行順に並べた待ち行列。



*グループサーチリオーダーリングなしでの最大性能を100%とする

図6. ランダムライト性能の評価結果

グループサーチリオーダーリングにより、キューイング数を増やした場合のランダムライト性能が向上した。

Results of evaluation of random write performance by group search reordering

6. あとがき

TDMR技術の採用、ヘッド位置決め精度の向上、主要部品の設計最適化などにより、CMR方式で業界最大容量となる16 Tバイトのニアライン向け3.5型HDD MG08シリーズを開発した。ニアライン向けHDDの大容量化は、今後も更に進むと考えられる。

当社は、CPS(サイバーフィジカルシステム)テクノロジー企業として、引き続き市場の拡大が見込まれる大容量のニアライン向けHDDを製品化し、顧客ニーズに応える製品を積極的に展開することで、情報化社会の基盤強化に貢献していく。



阿部 将和 ABE Masakazu
東芝デバイス&ストレージ(株)
ストレージプロダクツ事業部 HDD製品技術部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



原 武生 HARA Takeyori
東芝デバイス&ストレージ(株)
ストレージプロダクツ事業部 先行技術開発部
電気学会・日本機械学会・IEEE会員
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.