

CMR方式で22 Tバイトの大容量を実現したニアライン向け3.5型HDD

Nearline 3.5-inch HDD Achieves 22 Tbyte High Capacity via CMR

川島 修 KAWASHIMA Osamu 仲野 聡 NAKANO Satoshi

近年、行動ターゲティング広告や生成型AIなどに代表されるIT技術の発展で、あらゆる情報が価値を持つようになり、膨大な情報を蓄積するストレージの需要が指数関数的に増加し、ストレージデバイスとして大記憶容量かつ高性能なHDD（ハードディスクドライブ）の需要がますます高まっている。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、HDDの大容量、高性能、及び高信頼性のニーズに対応し、新たな面密度改善技術、高速位置決め技術、及びデータ保護技術の適用で、CMR（従来型磁気記録）方式で記憶容量22 T（テラ： 10^{12} ）バイトのニアライン3.5型HDD MG10Fシリーズを製品化した。

In recent years, developments in information technologies such as behavior targeting and generative artificial intelligence (AI) have resulted in information of all types becoming valuable commodities. This in turn has triggered exponential growth in demand for storage devices capable of housing a vast amount of information, with increasing demand for higher capacity, higher performing hard disk drives (HDDs).

To meet the need for high-capacity, high-performance, and highly reliable HDDs, Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has applied new surface density improvement technologies, high-speed positioning technologies, and data protection technologies to achieve a 22 Tbyte nearline 3.5-inch HDD in the MG10F series of products using conventional magnetic recording (CMR).

1. まえがき

スマートフォンの普及により、世界人口の半数以上がネットワークを介した商取引を行う現在、個人の行動の追跡による行動ターゲティング広告がマーケティングの主流となってきた。このため、ネットワーク経由で収集された情報が大きな価値を持つものになり、現在もあらゆる手段で情報の収集と蓄積が行われている。更に近年、生成型AIの機能向上により、より自然な応答が可能なAIが登場し、それを利用したビジネス機会も開拓されている。しかし、より人間に近い応答を可能とするAIの実現に向けては、更なる学習データ収集による応答精度改善も求められている。

このような市場環境下における旺盛なストレージ需要に対応するため、東芝ストレージ&デバイス(株)は、従来機種と同じ筐体（きょうたい）サイズ、かつ同じ磁気ヘッド本数・磁気ディスク枚数で、記憶容量を改善した、22 Tバイトニアライン3.5型HDD MG10Fシリーズを、2023年に開発した。MG10Fシリーズは、第2世代アシスト記録技術を採用した磁気ヘッドを採用し、CMR（従来型磁気記録）方式で従来機種（MG10シリーズ）に対し、記憶容量を10%改善するとともに、新たなサーボ制御方式として相対位置制御方式を採用することでアクセス性能を改善した。更に、データ保護機能であるトラックECC（Error Check and Correct）方式

の効果をより充実させるため、バックグラウンドでパリティーを書き込むBPW（Background Parity Write）機能を適用することで、データの信頼性向上を実現した。ここでは、このMG10Fシリーズの新規適用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 MG10F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のそれぞれを持つモデルをラインアップした。従来機種のMG10シリーズと同じ磁気ヘッド20本及び磁気ディスク10枚の構成で、記憶容量を増やすため、線記録密度及びトラック密度を増大させ、面記録密度（平均）を1,880 Mビット/mm²に高めた。また、最大連続データ転送速度は、272 Mi（メビ： 2^{20} ）バイト/sを実現した。

3. 記録密度改善技術

HDDの磁気記録技術における年間当たりの面密度増加率は年間で約6%（CMR方式）で推移している。各種アシスト記録方式（熱アシスト記録やマイクロ波アシスト記録など）による将来的なブレイクスルーが期待されているものの、現世代での適用は時期尚早であり、MG10Fでは、様々な小

表1. ニアライン向け3.5型HDD MG10Fシリーズの主な仕様

Main specifications of MG10F series 3.5-inch HDDs for nearline storage

項目	仕様	
型番	MG10AFA22TA MG10AFA22TE	MG10SFA22TA MG10SFA22TE
インターフェース	SATA-3.3 6 Gビット/s	SAS-3 12 Gビット/s
記憶容量	22 Tバイト	
磁気ディスク枚数	10枚	
磁気ヘッド数	20本	
線記録密度(平均)	99.2 kビット/mm	
トラック密度(平均)	19.1 kトラック/mm	
面記録密度(平均)	1,880 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	272 Miバイト/s (typ.)	
MTTF(平均故障時間)	2,500,000 h	
消費電力(アイドル時)	4.51 W	4.96 W
外形寸法	101.85(幅) × 147.0(奥行き) × 26.1(高さ) mm	
質量	720 g(最大)	

大きな改善を積み重ねることで前世代(MG10シリーズ)から10%の記録密度向上を達成している。この改善の中で代表的なものとして、磁気ヘッドにおける第2世代アシスト記録技術の採用がある。

HDDに用いられる記録ヘッドの先端には、記録主磁極と補助磁極があり、記録主磁極内で発生する磁束の大半は、対向する記録媒体方向に向かう記録磁界となり、一部の磁束は補助磁極との記録ギャップに漏洩(ろうえい)してギャップ磁界となる。

MG10Fシリーズで採用した第2世代アシスト記録技術は、図1に示すように、記録ギャップ部に非磁性の金属を挿入し、補助磁極から記録主磁極方向にバイアス電流を印可している。そして、このときに発生する誘導磁界によって記録主磁極の周波数特性を改善することで、特に書き込み幅の

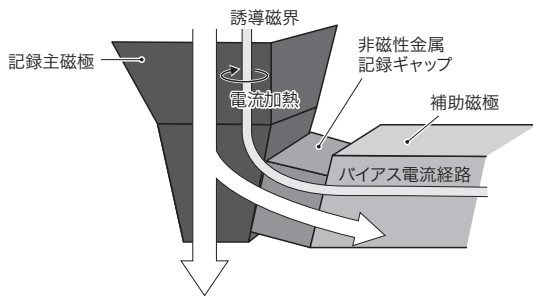


図1. 第2世代アシスト記録ヘッドの物理構造

記録主磁極と補助磁極の間の記録ギャップ部に非磁性金属を挿入し、バイアス電流を印可することで、記録主磁極の周波数特性を改善する。

Physical structure of second-generation assisted recording head

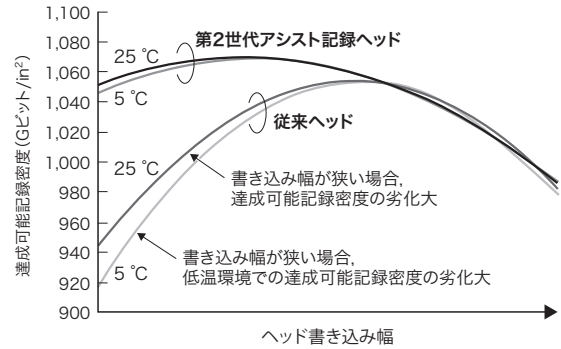


図2. 第2世代アシスト記録ヘッドと従来ヘッドとの記録密度の比較

特に狭書き込み幅の領域で、第2世代アシスト記録ヘッドの記録密度改善が確認できる。

Comparison of recording density on second-generation assisted recording heads and conventional heads

狭い記録ヘッドでの書き込み能力を改善し、狭トラック幅での記録密度の向上を実現している(図2)。

また、記録ギャップ部に非磁性金属材料を挿入するというシンプルな構造のため、記録ヘッドの製造プロセスも従来プロセスが流用でき、製造コストも従来の記録ヘッドと同等に抑えることを実現している。

4. 高速位置決め技術

記録密度の継続的な改善により、HDD1台当たりの記憶容量は年々増加しているが、HDDの構造的な制約として、ランダムアクセス性能(シーク動作によるヘッドの移動時間)は、容量増加の割合に対して、それを充当するだけの十分な改善ができておらず、単位容量当たりのランダムアクセス性能、特にキャッシュの効果の薄い、全領域に対するランダムリードアクセス性能は、年々悪化していく傾向にある。

アクセス性能向上のためには、目標位置に記録ヘッドを移動させるシーク動作を高速化する必要がある。特に長距離シーク動作では、目標位置近傍での記録ヘッド位置決め不安定さに起因する残留振動が、アクセス時間の短縮の妨げとなっている。残留振動の低減には、より広帯域な位置決め制御が可能なマイクロアクチュエーター(MA)をいかに早い段階から動作開始させられるかが重要な要素である。

従来技術であるボイスコイルモーター(VCM)のフィードフォワード制御では、目標位置に対する記録ヘッドの位置を判断した後、MA制御を開始していた。その場合、MAの可動範囲には制限があるため、目標位置から1トラック以内でようやくMA制御への切り替えが可能となるが、これだとスムーズなMA制御への切り替えができず、残留振動が悪化していた。

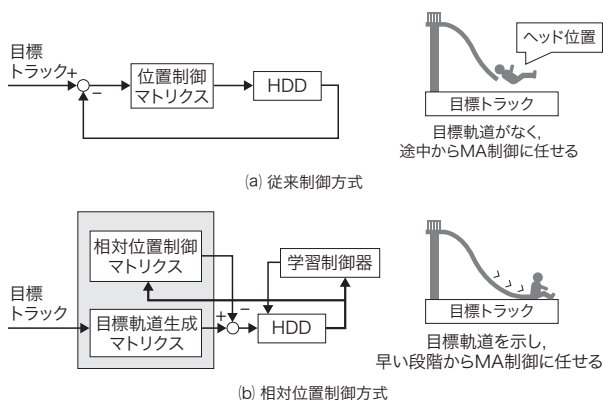


図3. 相対位置制御方式の概略

あらかじめ生成した目標軌道に追従させるオブザーバー追従方式を適用することで、MA制御を早いタイミングで開始できる。

Overview of relative position control

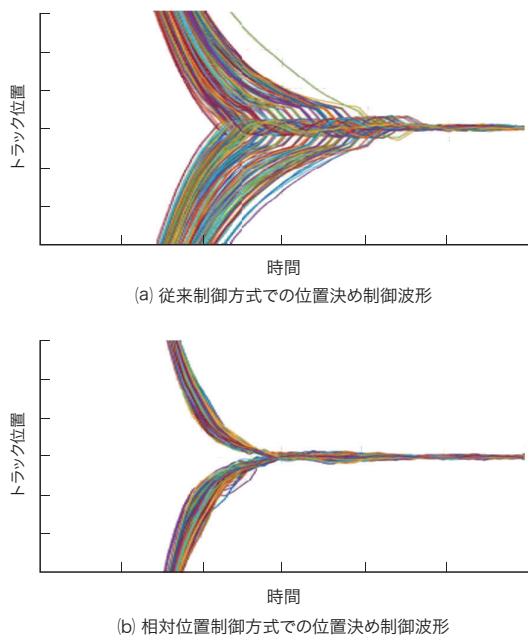


図4. 従来制御方式と相対位置制御方式での位置決め精度の比較

相対位置制御方式において、位置決め波形のばらつきが改善されていることが確認できる。

Comparison of positioning accuracy on conventional control and relative position control

MG10Fシリーズで採用した相対位置制御方式では、VCM電流の変化が滑らかなような目標軌道をあらかじめ生成し、この目標軌道に記録ヘッド位置を追従させるオブザーバー追従方式を適用している。そして、MA制御の開始を従来の目標位置と記録ヘッドの位置差分ではなく、目標軌道と記録ヘッドの位置差分とすることで、MA制御開始のタイミングを早められる(図3)。

これにより、従来方式より残留振動を抑制でき、平均シーク時間を2.1%短縮し、ランダムアクセス性能の1.2%改善を実現した(図4)。

5. データの信頼性改善技術

記録密度の向上に伴い、記録媒体上のデータの信頼性確保も、HDDとしての大きな課題である。従来のHDDは、エラー訂正符号や、各種リトライ(再書き込み、再読み出し動作)によるデータの復元を行っているが、HDD内部に存在する微小な粒子が記録ヘッドと記録媒体の隙間にかみこむことで、記録媒体に微小な傷などの欠陥が後発的に発生し、これらのデータ復元手段では救済できない場合もある。記録密度が向上することで、このような傷の影響も相対的に大きくなってきており、近年では、データの信頼性確保が更に難しくなっている。

データの信頼性低下に対する対策として、ストレージシステムで採用されるRAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disks) 技術と同様に、記録トラック上に冗長なデータを配置することで、任意の読み出しエラー箇所を復元できるトラックECC方式がHDDでも採用されている。特に、HDDへの書き込み動作において、常に記録トラックを全て更新するSMR (Shingled Magnetic Recording) 方式を採用しているHDDでは、データの記録と同時に冗長データの更新も常に行われるため、データ保護機構として非常に有効な手段となる。

しかし、MG10Fシリーズで採用しているCMR方式では、記録媒体上の任意のセクターをランダムに記録する方式であるため、冗長データの更新を通常動作時に行うことは、性能低下などの悪影響を及ぼすため容易ではなく、データ保護機構としては、十分な効果を得ることが難しかった。

MG10Fシリーズは、この課題を克服するため、HDDがホストからのコマンドを保持していない期間(アイドル期間)を利用して、ユーザーからは認識されない状態(バックグラウンド状態)での、冗長データの更新を行うBPW機能を実装した。

HDDの記録媒体上では、データは同心円状に配置されるトラック単位で記録されている。各トラックにはユーザーデータとは別に、そのトラック上の任意のセクターで誤り訂正を目的とした冗長セクター(パリティセクター)を記録する。各トラックのパリティセクターは、図5に示すように、トラック単位で有効及び無効を示すフラグを備えており、トラック上の任意のセクター(ただしトラック全てのデータの場合を除く)への書き込み動作が発生すると、同フラグは無効化される。

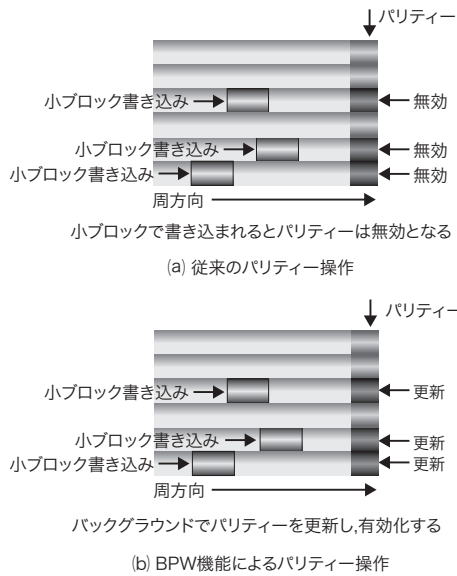


図5. BPW機能

バックグラウンドでパリティの更新・有効化を行うことで、不良HDDの救済確率が向上する。

Background parity write (BPW) function

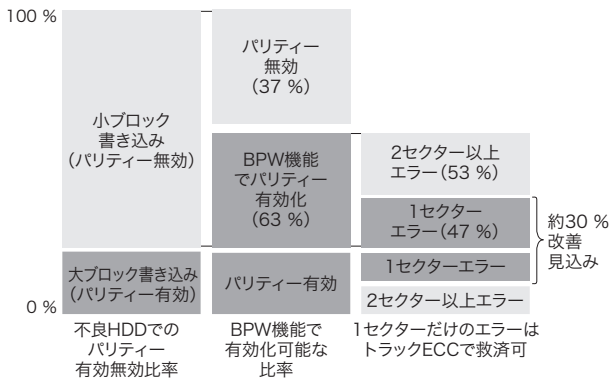


図6. 不良HDD救済に対するBPW機能による改善効果試算

BPW機能によるパリティセクターの有効化で、フィールドでの不良顕在化を救済できる。

BPW function improvement effect calculation for salvaging defective HDDs

従来のHDDでは、1トラック全てのデータを書き換えるタイミングでだけ、パリティセクターが有効化されていた。

MG10Fシリーズで採用したBPW機能は、HDDがホストからコマンドを受けていないアイドル期間を利用して、パリティセクターが無効化されているトラックに対して積極的にパリティセクターの復元と有効化を行う。

過去に、顧客のニアラインHDD採用評価で不良となったHDDのログ分析を行った。書き込みコマンド内の小ブロック頻度とアイドル期間の分布状況から、BPW機能によ

るパリティセクターの更新及び有効化による救済確率を試算した結果、HDD上の全トラック当たりのパリティセクターが有効となっている比率は63%であった。一方、不良HDDにおけるパリティセクターで救済可能なエラーセクター数“1”の割合は47%であったため、単純な試算では、 $63\% \times 47\% = 30\%$ の不良HDDが救済可能となる(図6)。

6. あとがき

近年、ますます加速が推測されるストレージ容量増加への対応として、様々な新規改善技術を採用したMG10Fシリーズを製品化した。

今後も、当社はHDDの大容量化の要求に継続的に応えていくため、更なる技術開発を推進し、高度情報化社会の発展と、データを活用した社会基盤の変革に貢献していく。



川島 修 KAWASHIMA Osamu
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応用技術部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



仲野 聡 NAKANO Satoshi
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.