

磁気ディスク11枚搭載で記憶容量30 Tバイト超を実現した3.5型ニアラインHDD

3.5-inch Nearline HDDs with Storage Capacity of Over 30 Tbytes by Stacking 11 Magnetic Disks

仲野 聡 NAKANO Satoshi 栗原 宏文 KURIBARA Hirofumi

近年、生成AIの普及や、クラウドサービスの利用拡大、バックアップ需要の増大などに伴い、データセンターの保存データ量は飛躍的に増加している。そのためストレージには、大記憶容量、低総保有コスト、及びT(テラ： 10^{12})バイト当たりの消費電力低減が強く求められる。これらの要件を満たすニアラインHDD(ハードディスクドライブ)は、ストレージとして重要な役割を担っている。

このような中、東芝ストレージ&デバイス(株)は、独自の磁束制御型マイクロ波アシスト磁気記録(FC-MAMR)技術を採用したヘリウム充填の3.5型ニアラインHDD M12シリーズを開発し、商品化した。耐久性に優れ薄型化が可能なガラス基板を新たに採用した磁気ディスクを11枚搭載することで、瓦記録(SMR)方式により30 Tバイト超の大記憶容量を実現した。

The volume of data stored in data centers has grown exponentially in recent years with advances in generative artificial intelligence (AI) and the growing use of cloud services, video streaming, and on-demand backups. Against this background, nearline hard disk drives (HDDs) continue to play a critical role in achieving higher storage capacities, lower total cost of ownership (TCO), and reduced power consumption per Tbyte.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has developed and released the M12 Series of helium-filled 3.5-inch nearline HDDs incorporating its proprietary flux control microwave-assisted magnetic recording (FC-MAMR) technology, with storage capacity of over 30 Tbytes achieved by stacking 11 magnetic disks, which feature thinner, highly durable glass substrates, and using shingled magnetic recording (SMR) technology.

1. まえがき

近年のデータ量増加に伴い、データセンターのストレージには記憶容量の継続的な向上が求められている。

このような要求に応えるため、東芝ストレージ&デバイス(株)は、従来機種である3.5型ニアラインHDD MG11シリーズに対して磁気ディスクを1枚追加し、当社として初めて11枚の磁気ディスクを搭載することで、30 Tバイト超の記憶容量を実現したM12シリーズを開発した。

M12シリーズでは、11枚の磁気ディスク搭載に伴い、部品点数が増加した。このため、塵埃(じんあい)発生抑制や、ガス吸着性能の向上、及びアウトガス低減による信頼性向上を目的として、部品設計変更を実施した。また、総出荷記憶容量の増加を目的に、データセンターで採用が拡大している可変記憶容量(Variable Capacity)方式に対応した。この結果、個々のHDDの記録・再生特性に応じて一定のデータ信頼性を担保した記憶容量での製品出荷を可能とした。SMR方式では30~34 Tバイトの記憶容量レンジで出荷し、市場が求める総出荷記憶容量の最大化を図る。

M12シリーズにおいて、11枚の磁気ディスク搭載を実現するため、性能改善や消費電力低減を図る新設計を多数適用した。ここでは、その中から従来型磁気記録(CMR)モデ

ルとSMRモデルでファームウェアを共通化するためのCMR・SMR共通化技術、磁気ディスク高密度積層技術、及びアウトガス低減による信頼性向上について述べる。

2. M12シリーズの概要

M12シリーズの主な仕様を表1に示す。M12シリーズはインターフェースとしてSATA(Serial Advanced Technology Attachment)3.5aを採用している。また、従来機種と同様に当社独自のFC-MAMR技術を採用した。SMRとCMRの両モデルをラインアップしている。SMRモデルはCMRモデルと記録方式が異なる。CMR方式はトラック間を空け、隣接トラックへの影響を回避している。SMR方式は、トラック間を縮小してデータを重ねるように記録するため記憶容量増加に有効である(図1)。従来機種のCMRモデルとSMRモデルでは記録方式の違いによりデータトラックピッチが異なるため、それぞれ異なるRRO(Repeatable Run Out: 繰り返し発生する位置誤差)補正データを用いてトラック位置を補正する必要があり、両モデルのファームウェアを共通化する上で障害となっていたが、共通に使用できるRRO補正データを採用して共通化した。更に、磁気ディスクには、ニアラインHDDとして初めて、耐久性に優れ薄型化が可能なガラス基板の磁気ディスクを採用した。

表1. M12シリーズ CMR・SMRモデル仕様

Specifications of M12 Series of CMR and SMR HDDs

項目	仕様	
型番	M12C28	M12S32
インターフェース	SATA 3.5a 6 Gビット/s	
記録方式	CMR	SMR
記憶容量	28 Tバイト	30~34 Tバイト
磁気ディスク枚数	11枚	
磁気ヘッド数	22本	
線記録密度(平均)	102.8 kビット/mm	97.4 kビット/mm
トラック密度(平均)	20.2 kトラック/mm	25.9 kトラック/mm
面記録密度(平均)	2,072 Mビット/mm ²	2,522 Mビット/mm ²
バッファサイズ	1,024 Miバイト	
回転数	7,200 rpm	
最大連続データ転送速度	270 Mバイト/s (typ.)	250 M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)	4.3 W	
外径寸法	101.6(幅)×147.0(奥行き)×26.1(高さ)mm	
質量	730 g(最大)	

Mi: メビ(2²⁰) typ.: 標準値

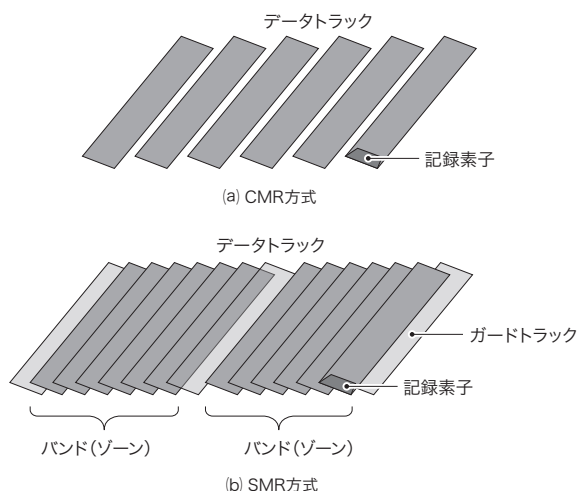


図1. CMRとSMRの記録方式の違い

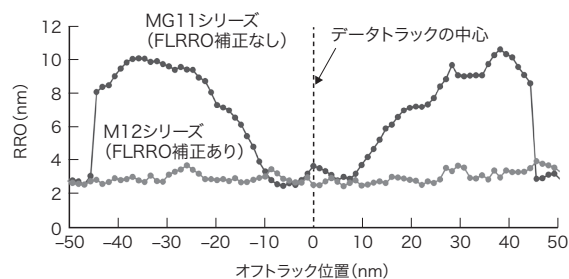
CMR方式は、隣接トラックへの記録干渉の影響を回避するため、トラック間を空ける必要がある。SMR方式はCMR方式と異なり、データを重ねるように記録して高トラック密度を実現する。トラック間を縮小するので記憶容量増加に有効である。

Differences between conventional magnetic recording (CMR) and SMR methods

また、ガラス基板の磁気ディスク採用に伴う関連部品の材料変更及び電気部品構成の最適化を行うことで、アイドル時の消費電力を低減し、1 Tバイト当たりの消費電力を従来比で27 %改善した。

3. CMR・SMR共通化技術

M12シリーズは、CMRモデルとSMRモデルに共通した



オフトラック位置: ヘッドがトラック中心からどれだけずれたかを表す量

図2. M12シリーズで採用したFLRRO補正の効果

M12シリーズでは、データトラック中心から離れた位置でもRROが小さいことが分かる。

Effect of full linear repeatable runout (FLRRO) correction applied to M12 Series

ファームウェアアーキテクチャーを新たに採用した。CMR・SMR共通化技術により両モデルの同時開発を可能としたことで、開発効率が向上した。また、磁気ディスク枚数の増加により、製品製造時の調整及び検査時間の増加が問題となるが、この技術により、各製品の調整途中の結果に応じて、いずれのモデルにも振り分け可能とすることで、生産性の改善を図った。

更に、サーボデータに付加しているRRO補正データについて、CMR・SMRモデル間で共通利用可能とするため、FLRRO補正(Full Linear Repeatable Run Out Correction: 繰り返し位置誤差補正の連続線形補間)方式を採用した。従来機種では、データトラックピッチ単位で偏心学習を行うため、データトラックピッチの異なるCMRモデルとSMRモデルの間でRRO補正データを共通に使用することが困難であった。これに対し、FLRRO補正方式はサーボトラックピッチを基準にした等間隔位置で偏心学習を行い、高分解能な偏心推定に基づいてRRO補正データを磁気ディスク上へ書き込む。これによりデータトラック中心に限らず、中心から離れた位置においても偏心補正の効果が得られる(図2)。その結果、データトラックピッチの異なるCMRモデルとSMRモデルでRRO補正データの共通化を実現した。

また、CMR・SMR共通化技術は、生産面における効率改善にも寄与する。記憶容量と記録素子幅の関係により、記録素子幅が目標値から外れた場合は記憶容量が低下する。CMR方式では、主に記録素子の幅が狭い場合は線記録密度が低下し、幅が広い場合はトラック密度が低下する傾向がある。一方、SMR方式では、トラックを重ねて記録するため、記録素子幅を広げた際のトラック密度低下の影響はCMR方式より小さい。線記録密度及びトラック密度の調整工程において、CMRモデルの仕様に沿った目標の固定記憶容量達成

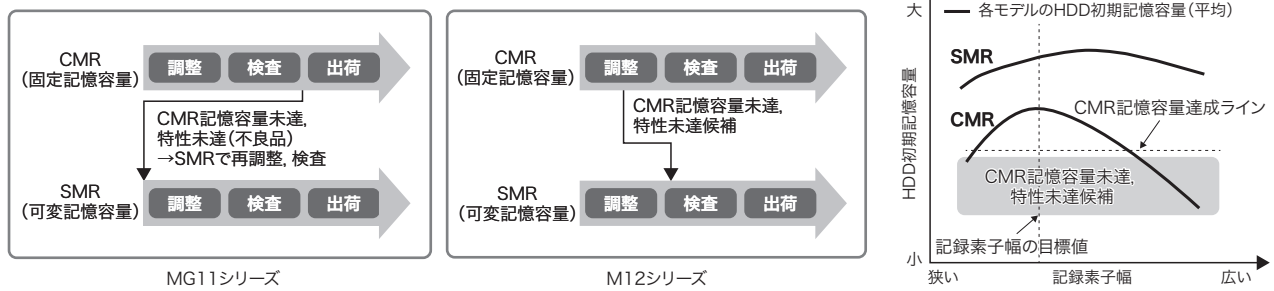


図3. CMR・SMRモデルの記憶容量最大化のための製造フロー

固定記憶容量であるCMRモデルに活用するHDDと可変記憶容量であるSMRモデルで活用するHDDに分け、CMRモデルの固定記憶容量に対して容量未達、又は特性未達になる候補のHDDは、製造工程の途中で、SMRモデルの可変記憶容量のモデルとして製造することで、出荷数量、記憶容量の最大化を図る。

Production flow of CMR and SMR HDDs to maximize their respective storage capacities

が困難な場合には、可変記憶容量出荷を主とするSMRモデルへ切り替えて製造することが可能となり、生産性の改善と総出荷記憶容量の最大化を図る（図3）。

4. 磁気ディスク高密度積層技術

3.5型ニアラインHDDのフォームファクター制約の中で、11枚の磁気ディスク搭載を実現するためには、磁気ディスク室内の高さ配分を全体最適化し、各要素の積層高さを低減する設計が必須となる。この開発では、磁気ディスクの薄型化に加え、HGA（Head Gimbal Assembly）・アクチュエーター（ACB）・スパーサーなどの主要部品を対象に、磁気ディスク間を構成する要素を系統的に見直した。具体的には、磁気ディスク厚を0.635 mm（10枚）から0.5 mm（11枚）へ変更し、同時にスパーサー厚を1.462 mmから1.396 mmへ薄型化して磁気ディスク間を再配分した。

HGAは、磁気ディスク11枚搭載に対応するベースプレート厚を従来機種の0.13 mmから3.5型HDD業界最薄^(注1)の0.1 mmへ低減した新しいかしめ設計を適用した。ベースプレート薄肉化に伴い、平面度を維持しながら、かしめに必要な凹凸形状を成型すると難易度が高くなる。そのため、部品寸法、かしめ推力、緩みトルク、デント（かしめ部変形）量などの関係について上下限評価を行い、量産成立性を確認した。これにより、HGA由来の積層高さを抑制しながら、11枚の磁気ディスク搭載の実現で要求される高さ方向マージン及びデータセンター向けHDDに求められる耐衝撃特性を確保した。

ACBでは、11枚の磁気ディスク搭載に伴い必要となる磁気ディスク隙間クリアランス確保のため、ACBアーム厚を0.80 mmから0.70 mmへ、かしめ部厚を0.5 mmから0.47 mmへ薄型化した。また、サスペンション側のリフトタブ

（注1） 2026年6月時点、当社調べ。

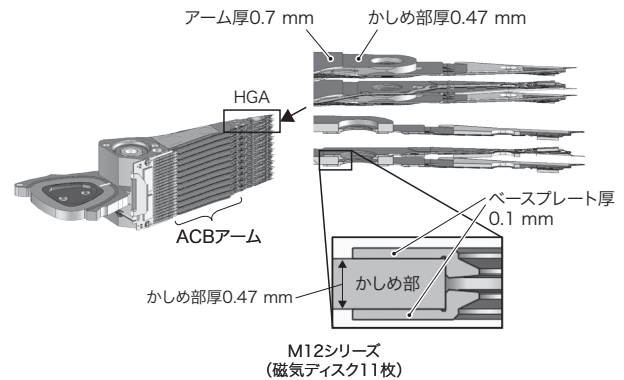


図4. M12シリーズのACBとかしめ部の詳細

アーム厚を0.7 mm、かしめ部厚を0.47 mm、ベースプレート厚を0.1 mmにすることで薄型にして、磁気ディスク11枚搭載を実現した。

Details of actuator and swage used in M12 Series

（ヘッド退避時にヘッドを持ち上げるための突起部）高さも磁気ディスク間変更に合わせて管理条件を適正化し、高さ方向の設計整合を図った（図4）。

また、ガラス基板の磁気ディスク採用に伴い、温度変化時の偏心（磁気ディスクずれ）抑制のため線膨張係数の整合が必要となる。そこで、ガラス基板の磁気ディスクに接するスパーサー・クランパー・スピンドルモーター（SPM）ハブ材料を、従来のアルミニウムからチタン及びSUS（ステンレス鋼）へ変更した。重量寄与が大きく耐衝撃性に効果のあるスパーサー（10枚）はチタンを、クランパー・SPMハブには成型性とコストを優先してSUSを、それぞれ採用した（図5）。

5. アウトガス低減による信頼性向上

長期稼働に伴って発生する有機ガス（ドライブ内のアウトガス）は、ヘッド汚れやヘッド浮上変化などの信頼性リスクに直結し得るため、材料起因の発生量低減とドライブ内での吸

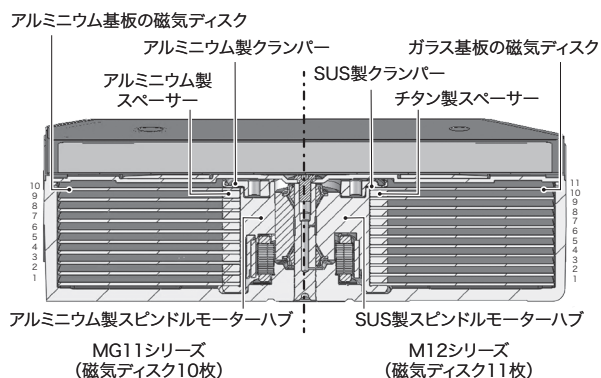


図5. MG11シリーズとM12シリーズのスピンドルモーター部断面の比較

11枚の磁気ディスク搭載を実現するため、ガラス基板の磁気ディスクを採用するとともに、積層部品の薄型化、及び各部品の材料変更を実施した。

Comparison of cross-sectional views of spindle motors in MG11 Series and M12 Series

着・除去の両面から対策を講じた。ここでは、(1)吸着材の強化、(2)流路設計の最適化、(3)樹脂・ゴムなどの材料置換、(4)潤滑剤(グリース)変更を組み合わせ、設計へ反映した。

(1) ARF (Adsorbent Recirculation Filter) を、ドライブ内の塵埃及びガスを捕集・吸着する循環フィルターとして、ベース筐(きょう)体の鋳物スロット部へ挿入する構成とした。ARFは従来機種 MG11 シリーズの循環フィルターに活性炭を追加し、外形も拡大して塵埃・ガス吸着性能の向上を図っている。

(2) ARFの保持スロット及び ARFへの流路は、(株)東芝総合研究所の流体解析による集塵・吸着効率の最適形状提案、及びベース筐体サプライヤーの流動解析結果も踏まえて設計した。これにより、鋳物での流路形状形成性を確保しつつ、パーティクルインジェクション試験後の磁気ディスクへのパーティクル付着量を、従来機種 MG11 シリーズ比で低減した。

(3) 材料置換として、デシカント(吸湿剤)フィルター部に ALF (Adsorbent Label Filter) を追加し、アウトガスの吸着機能を更に強化した(図6)。また、インナーstopperをポリウレタン系エラストマーから、アウトースtopperで採用実績のあるフッ素ゴムへ変更した。更に、磁気回路の VCM (Voice Coil Motor) スリーブ(筒状部材)を削除し、金属スタッド(支持部材)を追加する構成に変更し、アウトガス総量低減、及び各材料由来の特異成分除去を図った(図7)。

(4) ユニットベアリングのグリースとして、低アウトガスで、かつヘッドが磁気ディスクへ付着しにくいものへ切り替えた。また、塵埃・ガス吸着性能の向上、及びア

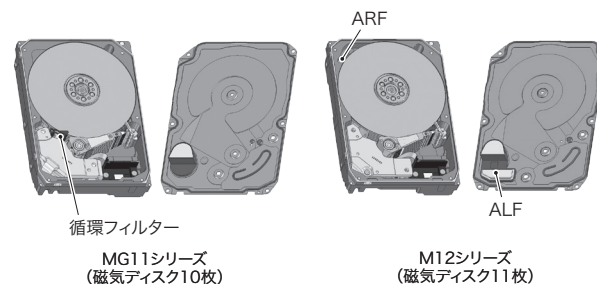


図6. ARFとALFのドライブ内配置

ARFはベーススロット、ALFはデシカントケースに貼り付けて配置している。

Positions of adsorbent recirculation filter (ARF) and adsorbent label filter (ALF) in M12 Series drive

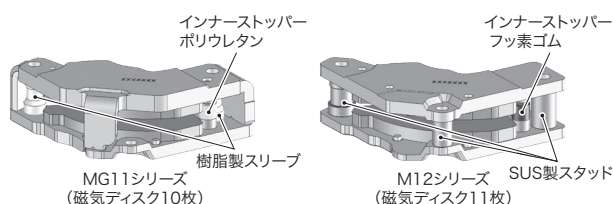


図7. インナーstopperとVCMスリーブの材料変更

インナーstopperはフッ素ゴム、VCMスリーブはSUS製スタッドへ置き換えている。

Changes in inner stopper and voice coil motor (VCM) sleeve materials from MG11 Series to M12 Series

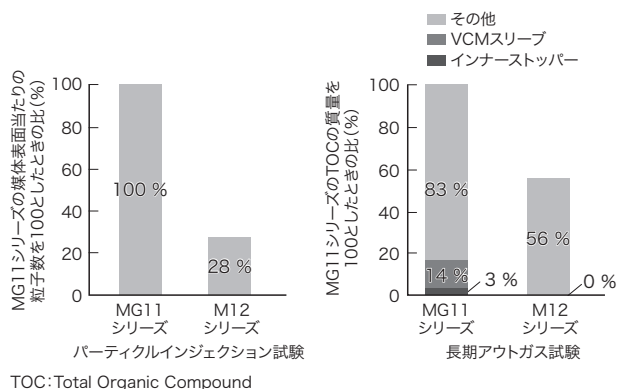


図8. パーティクルインジェクション試験と長期アウトガス試験

ARF採用、ALF採用、部品材料変更により、両指標の改善を実現した。

Results of particle injection and long-term outgas evaluation tests

ウトガスの発生源となる部品材料の変更を行うことで、M12シリーズは、MG11シリーズと比較して、発塵数は約70%、総アウトガス量は約40%低減した(図8)。

6. あとがき

当社は、今後HDDに対する更なる大記憶容量化の要求に

応えるため、面記録密度向上へのブレークスルー技術である MAS-MAMR(共鳴型マイクロ波アシスト磁気記録)やHAMR(熱アシスト磁気記録)をはじめとする新規記録技術の開発を推進している。これらの記録技術開発と並行して、磁気ディスク積層枚数の更なる増加にも取り組み、HDD単体当たりの記憶容量拡大を継続し、生成AIをはじめとする大記憶容量データの活用が進展する社会基盤の高度化に貢献していく。



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.



栗原 宏文 KURIBARA Hirofumi

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要素技術部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.