

トレンド

データ社会の進展を支えるHDDの技術動向と東芝グループの取り組み

Trends in and Toshiba Group's Approaches to Latest Technologies for HDDs Supporting Progress of Data Society

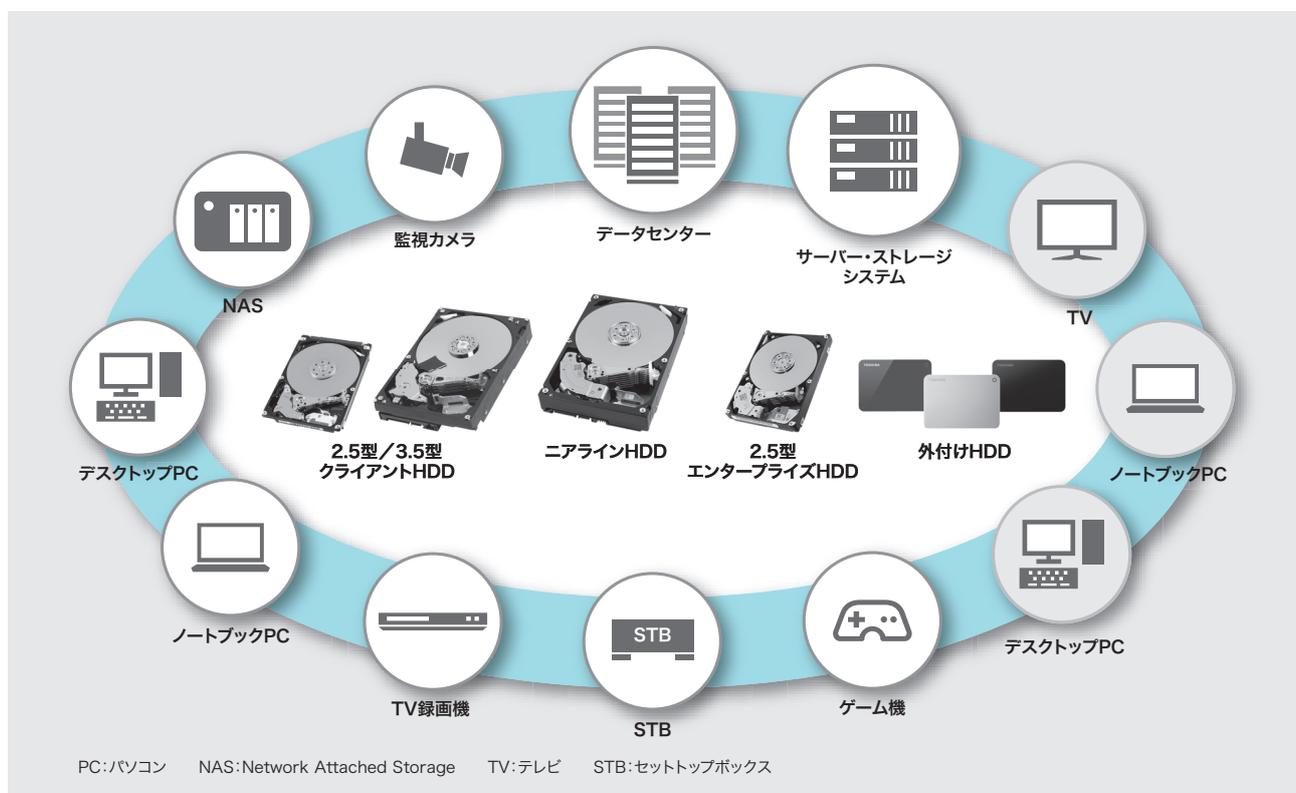
山本 耕太郎 YAMAMOTO Kotaro

本格的なデータ社会の到来によって、世界中で生成・収集されるデータ量は指数関数的に増加するとともに、蓄積されたデータの価値もこれまで以上に高くなっている。この飛躍的に増大するデータを経済的・効率的に保存・活用する上で、ハードディスクドライブ(HDD)の果たす役割は大きい。HDDは、TCO (Total Cost of Ownership)^(注1)の優位性から、データセンターや監視カメラ市場の拡大などに貢献すると期待されている⁽¹⁾。

東芝グループは、エネルギーアシスト記録方式などの様々な革新的技術を適用した大容量HDD製品の開発・提供で、データ社会の推進に大きく貢献している。

The volume of data generated and collected in various situations worldwide has been exponentially rising in recent years with the advent of a full-fledged data society, increasing the value of accumulated data to unprecedentedly high levels. With this as a background, hard disk drives (HDDs) hold promise as a means of economically and efficiently storing and utilizing these large volumes of data due to their advantage in terms of total cost of ownership (TCO), and further broadening of their applicability in the data center and surveillance camera markets can be expected.

The Toshiba Group has been actively focusing on the development and expansion of large-capacity HDD products through the application of innovative technologies such as assisted recording technologies, with the aim of significantly contributing to the progress of the data society.



特集の概要図。データ社会に向けた東芝デバイス&ストレージ(株)のHDD製品群

Types of HDD products developed by Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation toward progress of data society

(注1) コンピューターシステムの導入費用(初期投資コスト)から、保守・運用・維持費用(ランニングコスト)までを含む総コスト。

1. 拡大するストレージデバイス市場とHDD

近年、最先端の学術研究から様々なビジネス、社会サービスに至るまで、データの分析とその活用が推進され、人々の生活や社会に大きな変化が起きている。また、一般にもデジタルトランスフォーメーション(DX)として、認識が広まりつつある。DX推進の主要な要素は、ビッグデータ、AI、IoT (Internet of Things) であり、DX推進のために、より大量のデータを蓄積・処理することが求められている。また、蓄積されたデータの価値も、これまで以上に高まっている(特集の概要図)。

データを蓄積・保存するストレージデバイスとして、SSD(ソリッドステートドライブ)、HDD、テープが広く用いられているが、それぞれのデバイスは異なる特徴を持っている。その代表例として、DRAMを含めたメモリーデバイスにおける、単位容量当たりのコストと性能指標であるレイテンシー(ホストシステムがデータ転送要求を出してから、デバイスが結果を返送するまでの時間)の比較を、図1に示す。

DRAMは、良好なレイテンシー性能を持っているため、様々なシステムの主記憶装置として広く用いられている。しかし、データ保持に電力が必要な揮発性メモリーであるため、データの保存には外部にSSD、HDD、テープなどの不揮発性メモリーが必要になる。

HDDは、データの書き込み・読み込み時に、ヘッドを対象トラックへ移動させるシーク時間、トラック上の対象となるデータ領域がヘッドの位置まで来るのに必要な回転待ち時間があるため、SSDに比べてレイテンシーは約100倍大きい。

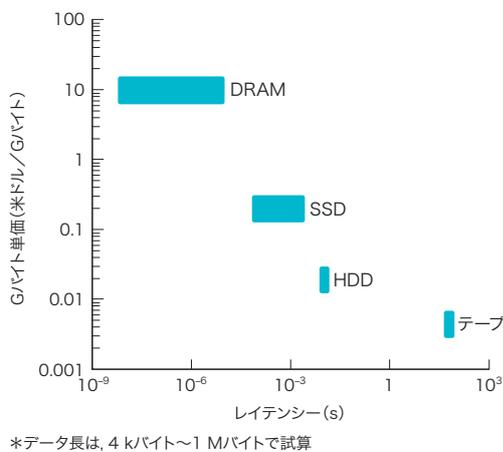


図1. メモリーデバイスのレイテンシー・容量当たりのコスト比較

DRAM, SSD, HDD, 及びテープの各メモリーデバイスは、それぞれ異なる特徴を持っている。

Comparison of memory device costs per GB of capacity vs. latency

い。しかし、単位容量当たりのコストを比較すると、SSDより1/10ほど安価である。

テープは、HDDより安価であるものの、対象データにアクセスするにはテープの早送り・巻き戻しが必要なため、平均レイテンシーは最も大きい。

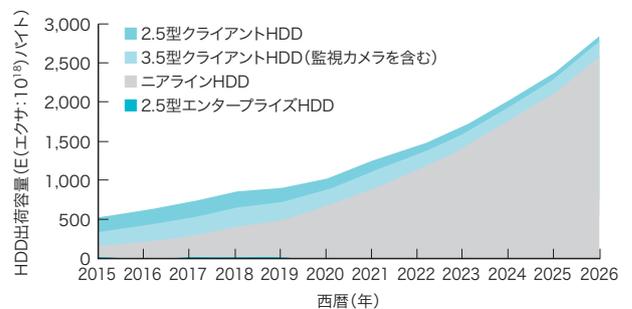
このようにSSD、HDD、テープは、それぞれ異なった特徴を持っているため、ストレージデバイス市場において、SSDはより高いI/O (Input/Output) 性能(データの書き込み・読み出し性能)若しくは容量コストよりもモビリティやコンパクト性が重要なシステム、HDDはより経済的に大量のデータ保管が必要な主ストレージシステム、テープはディザスタリカバリー(災害復旧)やシステム障害に対するバックアップなど、ストレージシステムの用途・目的によってすみ分けており、今後もこのすみ分けは続くと考えられる。

次に、HDD出荷容量の推移を、図2に示す。HDDは、今後もストレージデバイス市場の需要増大により、TCOの優位性から主にデータセンター向け大容量HDDを中心に市場が拡大するが、監視カメラ市場向けHDDも拡大していくと予測されている。

2. HDDの技術推移

HDDは、磁気記録技術や、信号処理技術、サーボ制御技術、メカ構造解析技術、流体工学技術、トライボロジー技術など様々な分野の最先端技術が詰め込まれ、進化を続けている^[2]。HDDが誕生してからの主な技術革新の変遷を、図3に示す。

世の中にHDDが初めて登場したのは1956年であるが、そのときの記憶容量は5 Mバイトであった。現在のニアラインHDDの記憶容量は20 T (テラ: 10¹²) バイトに達し、各分野の様々な革新的技術が取り込まれ、65年間で記憶容量が約4百万倍、記録密度は約6億6千万倍となった。

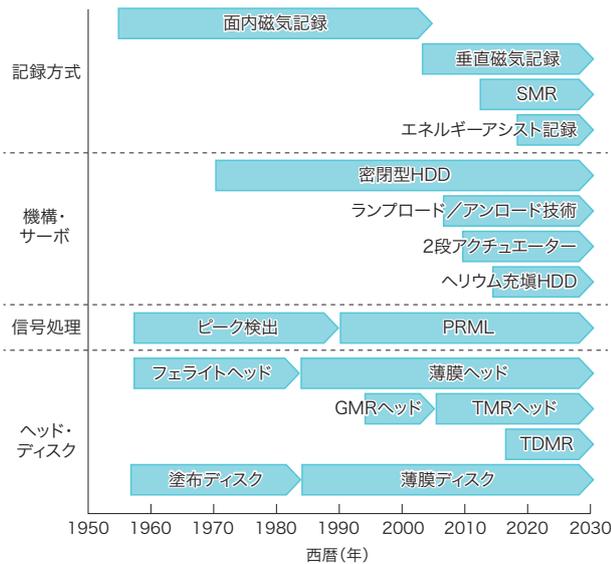


*東芝デバイス&ストレージ(株)の委託に基づき(株)テクノ・システム・リサーチが調査

図2. HDD出荷容量の推移

HDDの出荷容量は、ニアラインHDDを中心に今後も増加していく。

Global trends in HDD capacity shipments



PRML: Partial Response Maximum Likelihood
 GMR: 巨大磁気抵抗効果 TMR: トンネル磁気抵抗効果
 TDMR: Two Dimensional Magnetic Recording (2次元磁気記録)

図3. HDDの技術推移

HDDは、様々な分野の革新的技術により進化を続けている。

Trends in technologies for HDDs

HDDがストレージデバイスの主流であり続ける理由は、市場の変化に呼応して、技術革新を繰り返して記憶容量の増大、及び単位容量当たりのコスト低減を続け、魅力あるストレージデバイスとしての位置を維持してきたからである。

図3に示すように、HDD誕生から約50年間は、記録方式として磁気ディスクの磁性層の磁化が、面内方向に配置されている面内磁気記録方式を用いていた。しかし、記録密度の向上とともに、高い記録密度によって発生する磁性粒子間の減磁界と熱安定性の問題が、立ちはだかった。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、記憶容量の増大、高記録密度化のために、磁気ディスクの磁性層の磁化をこれまでの面内方向から垂直方向に配置した垂直磁気記録方式HDDを、世界に先駆けて2005年に商品化した⁽³⁾。従来の面内磁気記録方式での高い記録密度によって発生する磁性粒子間の減磁界と熱安定性の問題を克服し、近年の記録密度の向上に貢献してきた。

ただし、現行の垂直磁気記録には、約1.6 Gビット/mm² (1.6 Gビット毎平方ミリメートル)の記録密度において、①データの書き込みやすさ(Writability)、②信号対雑音比(SNR: Signal to Noise Ratio)、③熱的安定性(Thermal Stability)の三つを同時に成立させることが難しくなるトリレンマの壁があり、この壁を乗り越えるための種々の新技術が実用化されてきている。

その一つが、瓦記録(SMR: Shingled Magnetic Re-

cording)である。SMR技術は、コンシューマー市場向けHDDとしては2013年に実用化され、今後データセンター向け大容量HDDへの適用も進んでいくと考えられる。

また、更なる大容量化と高記録密度化を達成するために、エネルギーアシスト記録技術の研究が、幾つかの異なる方式で進められている。東芝グループは、信頼性に優れたマイクロ波アシスト記録(MAMR: Microwave Assisted Magnetic Recording)技術の開発を進めており、2021年にMAMR技術の一つであるFC-MAMR(Flux Control-MAMR)を採用したMG09シリーズとして、記憶容量18 Tバイトを実現したHDD製品を発表した。今後も、MAMR技術を更に発展させ、大容量HDDでデータストレージ市場のTCO向上に貢献していく。

機構技術の革新として、当社が2017年に発表した記憶容量14 TバイトのMG07シリーズは、これまで空気であったHDD内をヘリウムで充填した。ヘリウムは、空気よりも分子の質量が小さいため、ディスクを高速回転させても風の乱れが少なく、ヘッドを支えるサスペンションやディスク自体の揺れを低減できる。これにより、アクチュエーターの位置決め性能が向上し、高記録密度化が可能となった。更に、消費電力を低減する効果もあり、ディスク搭載枚数の増加による大容量化を実現した。ヘリウム充填HDDは、データセンター市場を中心に採用されている。現在のニアラインHDDにおけるディスク搭載枚数は最大9枚であるが、更なるディスク搭載枚数の増加も検討されている。

一方、HDDの制御基板であるプリント基板の面積は、ディスク搭載枚数の増加もあり、年々小さくなっている。信号処理技術の進化により、SoC(System on a Chip)など電子部品の信号線数が増えるとともに、データ転送レートの向上などにより電子部品の熱密度も高くなり、高度な実装技術も必要になってきている(この特集のp.24-28参照)。

3. SMR技術

SMRは、垂直磁気記録におけるトリレンマの壁に対して、幅広く書き込みやすいヘッドを用い、屋根瓦をふくようにデータを重ね書きして高記録密度を達成する技術である。SMRは、垂直磁気記録のヘッド・ディスクをそのまま活用し記録容量を増大させる技術として、MAMR技術に先駆けて実用化された。

しかし、書き込むデータが重ね書きできるようにホストシステムからHDDに送られないと、レイテンシーが従来のHDDと比べて悪化する。SMRはHDDの記録容量を増大させ、TCOを向上させる魅力的な技術であり、情報技術規格国際委員会(INCITS: International Committee for Infor-

表1. SMR技術の2方式の特徴比較

Comparison of features of two types of shingled magnetic recording (SMR) technologies

SMR方式	仕様	得失	市場
ドライブマネージド SMR	HDDはホストシステムからのランダムな書き込みデータを、内部のキャッシュなどを利用して並べ替え、SMRのゾーンに書き込む	<ul style="list-style-type: none"> • 現行ファイルシステム、ソフトウェアの利用が可能 • HDDはランダムなデータ書き込み時に、レイテンシーが不安定 	PC、外付けUSB HDD、STB、DVR、監視カメラ
ホストマネージド SMR	ホストシステムがライトデータを重ね書きできるように発行し、HDDはSMRのゾーンに書き込みデータを直接書き込む	<ul style="list-style-type: none"> • HDDは直接SMRゾーンにデータを書き込むことができ、レイテンシーが安定 • ホストシステムは書き込みデータを重ね書きできるように、ファイルシステムあるいはソフトウェアの新規開発が必要 	データセンター

USB : Universal Serial Bus

mation Technology Standards)では、ホストシステムからSMRに合わせて書き込みを行えるように、SMR用の新コマンド仕様の標準化が行われた。その結果、現在SMRには新コマンドを必要としない①ドライブマネージドSMRと、新コマンドを活用する②ホストマネージドSMRの2方式が存在する。

SMR技術の2方式の比較を、表1に示す。PC（パソコン）、外付けHDD、STB（セットトップボックス）、DVR（デジタルビデオレコーダー）、監視カメラの市場では、ドライブマネージドSMRが既に採用されている。

ドライブマネージドSMRでは、HDDはホストシステムからの書き込みデータをメディア上の内部キャッシュに一時保存し、周辺データと結合した上で重ね書きできるように並べ替えて、データを書き込む。これにより、既存のOS（基本ソフトウェア）、ファイルシステム、ソフトウェアで動作が可能となっている。当社は、拡大する監視カメラ市場向けに、ドライブマネージドSMR技術を採用した最大記憶容量6 TバイトのDT02-Vシリーズを2021年に製品化し、市場拡大に貢献していく（この特集のp.16-19参照）。

一方、データセンターなどのサーバー・ストレージシステムでは、複数台のHDDにデータを分散して書き込むことでデータの冗長性を持たせて、データの信頼性・安全性を確保している。このようなシステムでは、1台のHDDのレイテンシー悪化がシステム全体の性能に影響を及ぼすため、レイテンシー性能が重要視されている。したがって、一部のデータセンターでは、ホストマネージドSMRの新しいSMRのコマンドを活用したファイルシステムとソフトウェアを開発し、ホストマネージドSMR技術の採用が始まってきた。ホストマネージドSMRでは、ホストシステムが書き込むデータを重ね書きできるように整合させており、従来のHDDと変わらないレイテンシー性能を得ることができる。今後、ホストマネージドSMRは、TCOの優位性からデータセンターでの採用拡大が進むと考えられる。この市場に対応するため、当社は、SMR技術を採用した記憶容量20 Tバイトのニアライン

HDDのMA09を2021年に発表した（同p.11-15参照）。

4. 垂直磁気記録からエネルギーアシスト記録へ

SMRは、従来のヘッドとディスクを用いて記録密度を向上させる技術であるが、記録密度の向上は15～20%である。更なる高記録密度化を達成しHDDの容量を増大させるためには、狭いトラックヘッドの書き込み性能を向上させる必要がある。

東芝グループは、この課題に対してMAMR技術の開発を進めてきた。MAMRには、ヘッド書き込み性能を向上させる2方式の記録原理がある。その書き込み性能向上のメカニズムを、図4に示す⁽⁴⁾。

MAMRのヘッドは、記録ギャップ内にスピントルク発振素子（STO：Spin Torque Oscillator）が埋め込まれている。このSTOの発振ベクトルが、図4(a)に示すように発振素子面内で発振回転する場合は、この回転によるマイクロ波磁界がディスクの磁性粒子を強磁性共鳴させ、書き込みをアシストする。この効果が、MAMRの第1のアシスト原理であり、MAS-MAMR（Microwave Assisted Switching-MAMR）と呼ばれている。また、発振ベクトルが図4(b)に示

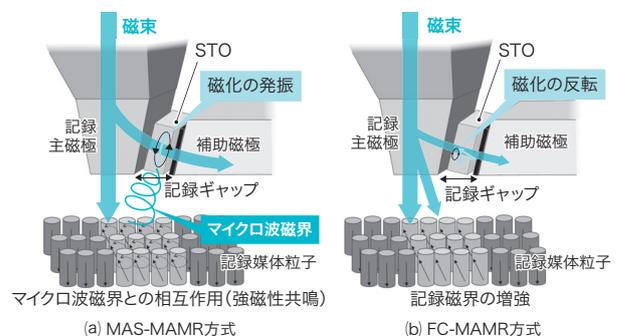


図4. MAMRの2方式の書き込みメカニズム

MAMRには、二つの記録原理が存在する。

Recording mechanisms of two types of microwave-assisted magnetic recording (MAMR) technologies

すように、書き込みによるギャップ内磁界のベクトルと反対方向になる場合は、ギャップ磁束を低減させる働きをして、書き込み磁極からはより多くの磁束をディスク方向に向けることができる。この効果がMAMRの第2のアシスト原理であり、FC-MAMRと呼ばれている。当社は、このFC-MAMR原理を適用して、記憶容量18 Tバイトの記録容量を達成したMG09シリーズを2021年に発表した（この特集のp.7-10参照）。

東芝グループは、更なる高記録密度化が期待されているMAS-MAMRの研究も進めている（同p.20-23参照）。

5. 今後の展望

今後もデータ社会の進展とともに、世界で蓄積・保存されるデータの需要は、指数関数的に増加すると考えられる。東芝グループは、様々な新しい技術を基に、それぞれのストレージ市場に魅力的なHDDを供給し続け、データ社会の推進に貢献していく。

文 献

- (1) 山本耕太郎, 吉森 崇. CPSを支えるストレージ・半導体技術における東芝グループの最新動向. 東芝レビュー. 2019, **74**, 6, p.2-7. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2019/06/74_06pdf/a02.pdf>, (参照 2021-08-04).
- (2) 山本耕太郎. ハードディスク装置の変遷と応用. 電気学会誌. 2012, **132**, 2, p.97-100.
- (3) 東芝. “垂直磁気記録方式を採用した磁気ディスク装置の世界初の商品化について”. プレスリリース(2004.12.14). <<https://www.global.toshiba/jp/news/corporate/2004/12/pr1401.html>>, (参照 2021-08-04).
- (4) Takeo, A. et al. "Extended Concept of MAMR and Its Performance and Reliability". The 31st Magnetic Recording Conference (TMRC 2020), Virtual Meeting, 2020-08, IEEE. 2020, C1.



山本 耕太郎 YAMAMOTO Kotaro
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
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.