

20 Tバイトの大容量を実現したニアラインHDDの低消費電力化技術

Technologies to Reduce Power Consumption of 20 Tbyte Nearline HDDs

石井 幸治 ISHII Koji 佐藤 巧 SATO Takumi

インターネットとクラウドサービスの普及により、企業や個人の情報の保存と発信を行うデータセンター事業の拡大が続き、ニアライン市場向けに大記憶容量HDD（ハードディスクドライブ）の需要が高まっている。記録密度を向上し大容量化を推進することが情報化社会への貢献となる一方、温室効果ガスの排出量を削減してカーボンニュートラルに対応するには、長期にわたってデータセンターで稼働するHDDの消費電力を抑えることが大きな課題である。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、米国を中心とした顧客ニーズに応じて、SDGs（持続可能な開発目標）に配慮した記憶容量20 T（テラ： 10^{12} ）バイトのニアライン3.5型HDD MG10シリーズを開発した。MG10シリーズには、機構設計、シーク制御設計、及び電気設計を最適化して消費電力を抑える技術を適用した。

The expansion of data center businesses, which are playing a key role in the storage and transmission of corporate and personal information due to the dissemination of Internet and cloud services, is driving demand for large-capacity nearline hard disk drives (HDDs). The larger capacity of such HDDs accompanying increases in recording density is expected to contribute to further progress of the information society. On the other hand, suppression of the rising power consumption of HDDs operating in data centers for prolonged periods is an important issue from the viewpoint of attaining carbon neutrality through the reduction of greenhouse gas emissions.

In response to customer demand for compliance with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly in the United States, Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has now developed the MG10 series 3.5-inch nearline HDDs with a storage capacity of 20 Tbytes. By incorporating technologies for optimizing their mechanical design, seek control design, and electrical design, the MG10 series HDDs achieve reduced power consumption per terabyte compared with predecessor products.

1. まえがき

インターネット通信やクラウドサービスの普及など、本格的なデータ社会の到来に伴い、米国を中心とした顧客からデータセンター向けに、記憶容量が大きいニアラインHDDの需要が高まっている。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、記憶容量20 Tバイトのニアライン3.5型HDD MG10シリーズを、2022年に開発した。MG10シリーズは、FC-MAMR（Flux Control-Microwave Assisted Magnetic Recording：磁束制御型マイクロ波アシスト磁気記録方式）技術の採用と筐体（きょうたい）へのヘリウム充填などにより、10枚の記録ディスク搭載を実現して、CMR（従来型磁気記録）方式で20 TBを達成した。HDDの記憶容量を大きくすると、情報量当たりの資源材料を削減できるため、SDGsへの配慮につながる。

大記憶容量化が社会への貢献となる一方で、長期にわたりデータセンターで連続稼働するニアラインHDDにとって、消費電力を抑制して、温室効果ガスの排出量を抑えることも、カーボンニュートラルの実現に向けた重要な課題であ

る。MG10シリーズは、機構設計、シーク制御設計、及び電気設計を最適化する技術の適用で消費電力を抑えて、従来製品に比べて記憶容量当たりの消費電力を低減した。

ここでは、MG10シリーズの低消費電力化技術について述べる。

2. ニアラインHDDの大記憶容量化

HDDの大記憶容量化には、FC-MAMR技術などにより記録密度を高める方法と、搭載する記録ディスク枚数を増やす方法がある。

当社は2017年に、当社として初のヘリウム充填により、高さ26.1ミリの筐体に世界で初めて^(注1)9枚の記録ディスク搭載を果たし、CMR方式での記憶容量14 Tバイトを実現したニアライン3.5型HDD MG07シリーズを開発した（表1）。その後、高記録密度化により、9枚の記録ディスク搭載で、16 TバイトのMG08シリーズ、18 TバイトのMG09シリーズを開発した。MG09シリーズでは、世界で

(注1) 2017年12月8日現在、当社調べ。

表1. ニアライン3.5型HDDの仕様比較

Comparison of specifications of MG10 series 3.5-inch nearline HDDs and those of predecessor models

シリーズ名	MG07	MG08	MG09	MG10
記憶容量 (Tバイト)	14	16	18	20
記録ディスク枚数 (枚)	9			10
磁気ヘッド数 (個)	18			20

初めてFC-MAMR技術を採用して、記録密度を高めた。

更に2022年、MG10シリーズで記憶容量20 Tバイトを実現した。MG10シリーズの大きな特徴は、記録ディスクを10枚実装したことである。

3. MG10シリーズの低消費電力化技術

3.1 HDDの構造と動作

HDDは機構部と電気回路部で構成される。

機構部には主に、情報を記録する記録ディスク、記録ディスクを回転させるスピンドルモーター、磁気ヘッドを搭載したアクチュエーターブロック、及びアクチュエーターブロックを駆動するボイスコイルモーターがある(図1)。ボイスコイルモーターと、磁気ヘッド近くにあるピエゾマイクロアクチュエーターを協調動作させることで、記録ディスク上のトラックへのシーク及びトラッキング動作を行う。ここでは、ボイスコイルモーターとピエゾマイクロアクチュエーターを合わせて、アクチュエーターと呼ぶ。

電気回路部には、SoC (System on a Chip) や、SVC (Servo Controller)、メモリーなどの電子部品が実装されている。SoCは、インターフェースを介してホストシステムとの情報やり取りを行うHDC (Hard Disk Controller) や、計算と制御を受け持つCPU、ホストシステムからのデータ

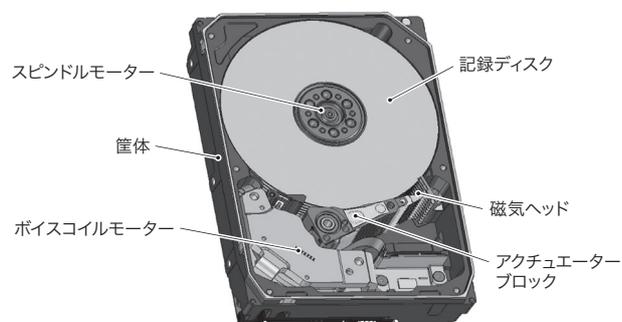


図1. MG10シリーズの機構部

機構部で電力消費が大きいのは、スピンドルモーターとボイスコイルモーターである。

Internal structure of MG10 series

をエンコード／デコードして磁気ヘッドとやり取りするリードチャンネル、内部メモリー、ロジック回路などから構成される。SVCは、スピンドルモーターの回転制御、及びアクチュエーターのシークとトラッキングの制御を行う。

HDDの電力消費要素は主に、記録ディスクを回転させるスピンドルモーター、アクチュエーター、及び電気回路部、の三つがある(図2)。ランダムリードライト動作の際にはアクチュエーターを頻繁に動作させる必要があるため、アクチュエーター動作が消費電力全体の約38%を占める。また連続リード動作の際には、隣接トラック間のシーク動作に限定されるため、アクチュエーター動作の占める割合は小さく、一方でリードチャンネルなど電気回路の占める割合が消費電力全体の約45%になる。これら三つの要素について、消費電力の削減を行った。

3.2 機構設計の最適化

記録ディスク枚数が9枚から10枚になったことに伴って、アクチュエーターブロックのアーム本数は、10本から11本に増加した(図3)。従来と同じ設計のアームを使用すると、

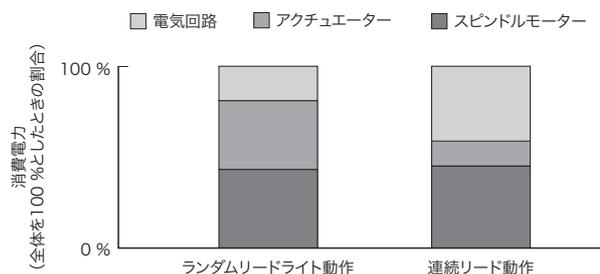


図2. MG10シリーズの動作モード別の消費電力構成

ランダムリードライト動作では、頻繁にシークするのでアクチュエーターでの消費電力が大きく、連続リード動作では、リードチャンネルなど電気回路の消費電力が大きい。

Power consumption of three elemental technologies of MG10 series

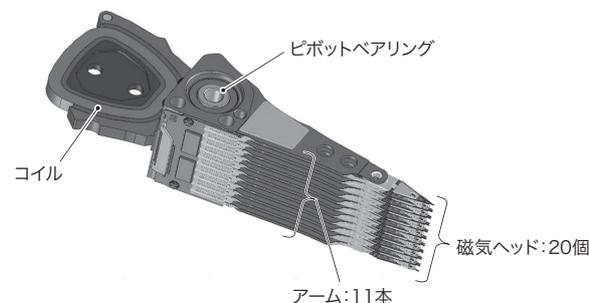


図3. MG10シリーズのアクチュエーターブロック

MG10シリーズは、アーム本数が少なかったMG09シリーズと同等のシーク性能を保つため、アーム厚さを最適化した。

Actuator block of MG10 series

本数が増えた分の質量が増加し、ピボットベアリングを中心とした回転動作のイナーシャが大きくなるため、同等のシーク性能を得るためには大電流が必要になる。そこで、アーム厚さの最適化によりイナーシャの増加を抑えて、電流値は変えずに従来と同等のシーク性能を達成した。

しかし、磁気ヘッド数が18個から20個に増加することで、磁気ヘッドと記録ディスクの間の気体摩擦による損失が増加し、消費電力が増える。これを相殺するため、スピンドルモーター部及び筐体の設計を見直した。

スピンドルモーターが回転する際に発生する負荷には、軸損と風損の二つがある。軸損とは、回転軸と固定軸受けの間の摩擦で発生する損失である。風損とは、回転体の周囲気体との抵抗で発生する損失である。記録ディスク数を10枚に増やしたので、9枚のときと同じスピンドルモーター設計では軸損と風損が増加し、消費電流の増大につながる。そこで、スピンドルモーターの設計パラメーターの最適化により、軸損の増加を抑えた。また、風損については、媒体外周部と周りの壁面を近づけて損失を削減するため、筐体の壁面を隙間部分に対して延長するように、設計を見直した(図4)。

これらの最適化の結果、軸損と風損を合わせて7%改善して気体摩擦の影響と相殺し、機構部として従来と同等の消費電力を実現した。

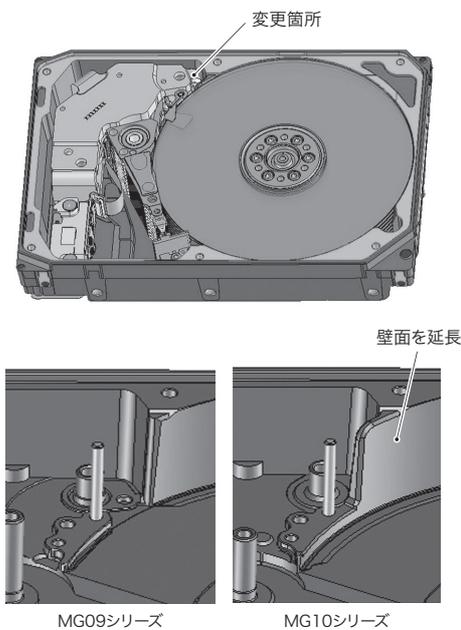


図4. MG09シリーズとMG10シリーズの筐体構造の比較

MG10シリーズは、記録ディスクの周りの壁面をMG09シリーズより延長し、風損の影響を低減した。

Comparison of base cast structure of MG09 series and MG10 series

3.3 シーク制御の最適化

ボイスコイルモーター制御には、リニア制御と呼ばれる直流制御と、PWM (Pulse Width Modulation) 制御の二つの電流制御方式を組み合わせて使用している。リニア制御方式は、滑らかに電流値を変化させて、ボイスコイルモーターを高精度に動作させることができる。一方でPWM制御は、高速スイッチングで電流のオン/オフを切り替えて、オンの時間を変化させることで制御する方式であり、駆動回路の損失が小さく、消費電力を抑えられるというメリットがある。高速シーク動作中は精度よりも消費電力低減を優先してPWM制御を用い、高精度の位置決めが必要なトラッキングの際はリニア制御を用いる。

今回、PWM制御によるシーク後のリニア制御への切り替えを、従来に比べてターゲットトラックの近くで行うようにして、リニア制御の時間を短くした(図5)。これを実現するために、シーク残留振動低減技術を適用して、ターゲットトラックに近づく際のシーク速度の収束を改善した。このように、PWM制御を延長して、リニア制御の時間を短くすることで、シークの際の消費電力を7%低減した。また、PWM制御のスイッチング動作を高速化してオン時間中のエネルギー利用の効率化を図り、シーク動作の消費電力を1%低減した。

3.4 電気設計の最適化

リードチャンネルは、LDPC (Low Density Parity Check) によるエラー訂正技術を採用しており、膨大な計算をリアルタイムに実行するために大きな電力を使用する。また、MG08シリーズ以降では、磁気ヘッドに実装した二つのリード素子からの再生波形を合成することでノイズを除去するTDMR (Two Dimensional Magnetic Recording) 技術を採用したため、二つの再生信号処理が必要であり、消費電力が増加する。

MG10シリーズのSoCは、MG09シリーズより微細化したプロセスを適用して、消費電力を20%低減した。

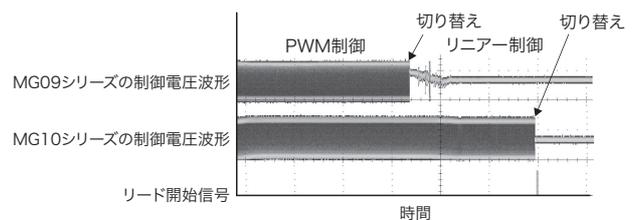


図5. MG10シリーズのアクチュエーター制御電圧波形

MG10シリーズは、シーク時のPWM制御からリニア制御への切り替えをリード開始直前まで延長することで、消費電力を低減した。

Waveform of actuator control voltage of MG10 series

3.5 処理能力の向上と記憶容量当たりの消費電力の低減

MG10シリーズは、大記憶容量化だけでなく、データ処理能力の向上も図った。ホストシステムから受領した複数コマンドの実行順序を並べ替えて、全体としての処理能力を向上させるコマンドキューイングのアルゴリズムを高度化して、単位時間当たりの処理能力を1%改善した。アルゴリズムの高度化に伴い消費電力が増加したが、3.2～3.4節で述べた消費電力低減分の一部をこれに充てた。

MG10シリーズは、記録ディスク枚数や磁気ヘッド個数を増やしたことによる消費電力の上昇を抑えて、処理能力向上も図りながら、記憶容量当たりの消費電力をMG09シリーズに比べて約11%低減した(図6)。

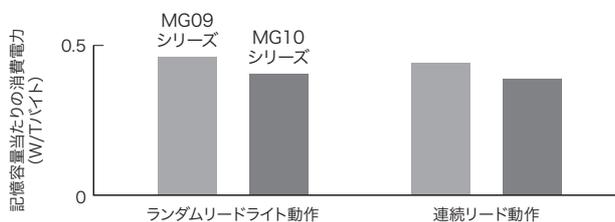


図6. MG09シリーズと開発したMG10シリーズの記憶容量当たりの消費電力比較

MG10シリーズは、低消費電力化技術の適用と記憶容量を増やしたことで、MG09シリーズより記憶容量当たりの消費電力を削減した。

Comparison of power consumption per terabyte of MG09 series and MG10 series

4. あとがき

MG10シリーズは、低消費電力化技術の適用により、消費電力を抑えて20Tバイトの大記憶容量を実現した。

今後もニアラインHDDは、3.5型の外形サイズを維持したまま大記憶容量化を推進することで、情報量当たりの資源材料を削減してSDGsに配慮するとともに、消費電力を抑える新たな技術の開発によりカーボンニュートラルの実現に貢献していく。



石井 幸治 ISHII Koji
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
ストレージプロダクツ設計生産統括部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



佐藤 巧 SATO Takumi
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
ストレージプロダクツ設計生産統括部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.