

640 Gバイトの大容量を実現した2.5型HDD

2.5-inch Hard Disk Drive with Large Capacity of 640 GB

黒沢 伸 坂田 浩実 阿部 敏明

■ KUROSAWA Shin ■ SAKATA Hiromi ■ ABE Toshiaki

従来、HDD（磁気ディスク装置）はノートPC（パソコン）のストレージ装置として用いられてきた。しかし近年、小型・大容量化が進み、AV機器や、モバイル機器、車載機器などへと用途が広がっている。

東芝は、2.5型以下の小型HDDに特化した開発で業界をリードしてきたが、今回、磁気ディスク2枚で業界最大クラスとなる2.5型640 GバイトのHDDを開発した。これは、面記録密度を817.9 Mビット/mm²まで高めたことで実現したものであり、このために、高記録密度に対応した磁気ヘッドと磁気ディスク、誤り訂正能力の高い低密度パリティチェック（LDPC）符号化・繰返し復号方式、及び風乱抑制を目的とした機構など新しい技術を開発した。また、ラッチ機構を新たに設計して耐振動性を向上させ、更にローパワーアイドル時の消費電力が0.55 Wという省エネ性を実現している。

With the accelerating reduction in physical size and increase in capacity of hard disk drives (HDDs), 2.5-inch HDDs are now installed in various types of equipment including notebook PCs, audiovisual equipment, and car navigation systems. Toshiba has remained a leader in this industry by focusing on 2.5-inch or smaller size HDDs.

We have now developed a dual-platter 2.5-inch HDD with a maximum capacity of 640 GB. This level of data storage capacity with an areal density of 817.9 Mbit/mm² has been achieved by our advanced head and media technologies, higher error correction capability with low-density parity check (LDPC) coding, iterative decoding, and a new mechanism for reduction of air turbulence.

In addition, this model features an advanced latch mechanism that enhances vibration robustness, as well as improved energy consumption efficiency due to the reduction of power consumption during low-power idling.

1 まえがき

2.5型HDDはノートPC向けとして進歩してきたが、近年には大容量化が進み、AV機器、モバイル機器、更に車載機器などへと用途が広がり、ストレージ装置の中核となるまでに成長している。特にAV機器では、テレビ番組を録画できる機能を搭載したPCや、フルHD（1,920×1,080画素）に対応したHDDレコーダ、増設型外付けストレージ装置などの家庭への普及が進み、大容量HDDの必要性はますます強くなってきている。一方、世界的な課題である環境性能を向上させるために、HDDに対しても、エネルギー効率を改善することが求められている。

このようなニーズに応えるため東芝は、小型、大容量、かつ高性能を目標に、2.5型以下の小型HDDに特化して開発を行ってきた。今回、磁気ディスク2枚で構成した、業界最大クラスの記録容量640 Gバイトを持つ高性能な2.5型HDD MK6465GSXを開発した。

ここでは、MK6465GSXの概要と、その高性能を実現するために開発した技術について述べる。

2 MK6465GSXの概要

MK6465GSXの主な仕様を、表1に示す。

表1. MK6465GSXの主な仕様

Main specifications of MK6465GSX 2.5-inch HDD

項目	仕様	
記録容量	640 Gバイト	
ディスク	2枚	
ヘッド	4本	
回転数	5,400 rpm	
平均シーク時間	12 ms	
インタフェース	シリアルATA 2.6/ATA 8	
インタフェース速度	3 Gビット/s	
面記録密度（代表値）	817.9 Mビット/mm ²	
線記録密度（代表値）	70.3 kビット/mm	
トラック密度（代表値）	11,635トラック/mm	
消費電力（ローパワーアイドル時）	0.55 W	
エネルギー消費効率	0.00086 W/(Gバイト)	
騒音	アイドル時	25 dBA
	シーク時	25 dBA
耐振動性	動作時（印加正弦波の半波幅2 ms）	9.8 m/s ²

高記録密度に対応した磁気ヘッドと磁気ディスクを開発し、信号処理方式には低密度パリティチェック (LDPC) 符号化・繰返し復号方式を採用することで、線記録密度 70.3 kビット/mm を実現した。また、厚いディスクの採用といった機構系の開発や、サーボ制御方式の改善などによってヘッド位置決め精度を向上させ、トラック密度 11,635 トラック/mm を達成した。これらにより、面記録密度 817.9 Mビット/mm² を得て、磁気ディスク 2 枚で 640 G バイトの容量を実現した。

また、トップカバーの形状を最適化することで、アイドル時とシーク時の騒音を 25 dBA に抑えた。更に、こまめな電力制御を行うことで省エネ化を図り、エネルギー効率 0.00086 W/(G バイト) を実現した。

3 面記録密度の向上

面記録密度を高くするためには、トラック密度と線記録密度の両方を同時に高める必要がある。トラック密度を高めるために記録ヘッドの磁極幅を狭くすると、記録磁界強度が弱くなり、線記録密度を高められない。その反面、線記録密度を高めるために磁気ヘッドの構造や材料を改善して記録磁界強度を強めると、隣接トラックへ漏れる磁界が強くなり、高トラック密度化を阻害する要因となる。このような磁気ヘッド特性と磁気ディスク特性のバランスを取り、更に信号処理方式を改善することで、高密度化を達成した。開発項目ごとの内容を、以下に述べる。

3.1 磁気ヘッドの開発

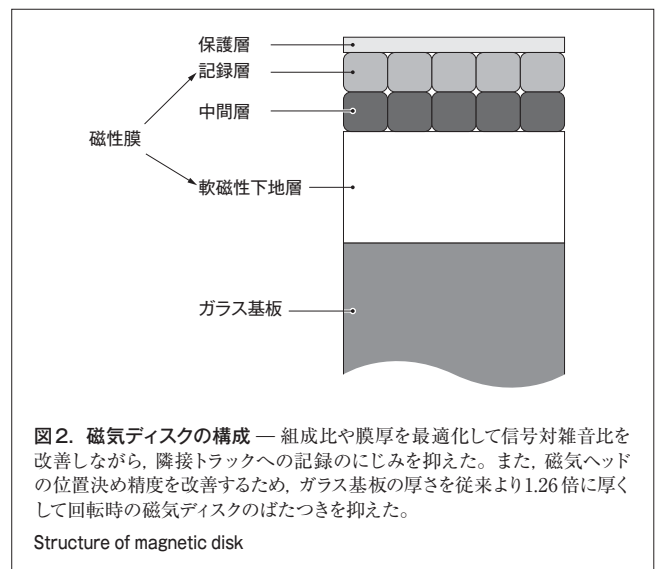
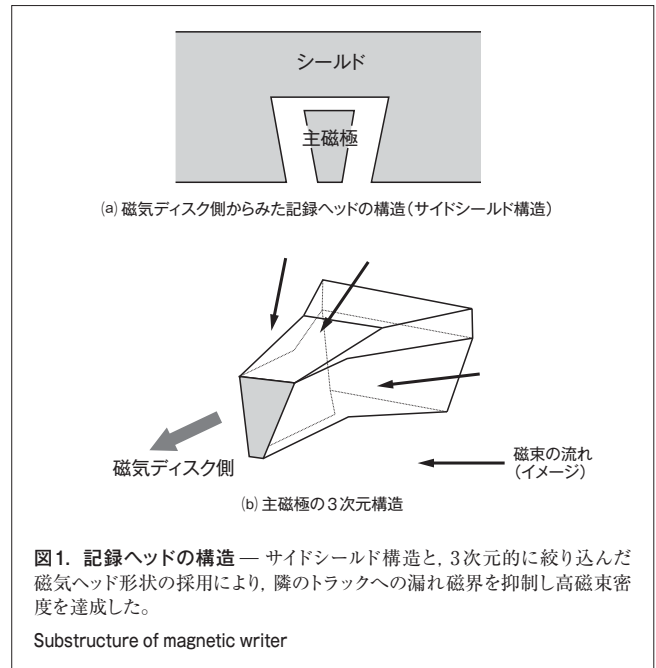
磁気ヘッドには、再生用と記録用のヘッドが積層されている。面記録密度を向上させるためには磁気ディスクに記録されるトラック幅を狭くする必要があり、これに対応するため、記録用ヘッドに対して次の改良を行った (図 1)。

- (1) トラックピッチを狭くすることで発生する磁界のにじみを最小限に抑制するため、記録ヘッドの主磁極の周りを磁気シールドで覆うサイドシールド構造を継承し、記録磁界を主磁極に集中させるために寸法を最適化した。
- (2) 狭いトラック状態でも十分な記録磁界強度を得るため、3次元的に絞り込む形状の主磁極を採用して磁束密度を高めた。

また再生用ヘッドについては、トラックを狭くした場合でも十分な出力を維持できるようにするためにトンネル磁気抵抗効果 (TMR) 素子に改良を加え、更に、分解能を改善するために、TMR 素子を挟み込む再生シールドの間隔 (ギャップ長) を狭くした。

3.2 磁気ディスクの開発

磁気ディスクの構造を図 2 に示す。磁性膜 (記録層と軟磁性下地層) 及び中間層に関しては、新規元素の添加などの大きな設計変更は行わず、組成比や膜厚を最適化して、信号対雑



音比を改善しながら隣接トラックへの記録のにじみを抑えた。また、回転時の磁気ディスクのばたつきを抑えて磁気ヘッドの位置決め精度を改善するため、磁気ディスクのガラス基板の厚さを従来の 1.26 倍に厚くした。この効果に関しては、4.2 節で述べる。

3.3 信号処理方式の開発

放送や通信の分野では、誤り訂正符号としてランダム誤りに対する訂正能力が非常に高いという特長を持つ、LDPC 符号化・繰返し復号方式が導入されている。今回開発した HDD では、この LDPC 符号化・繰返し復号方式を用いた信号処理方式を開発して適用し、線記録密度を向上させた。

更に、ビタビ復号^(注1)器の信頼性情報に基づいて誤り訂正

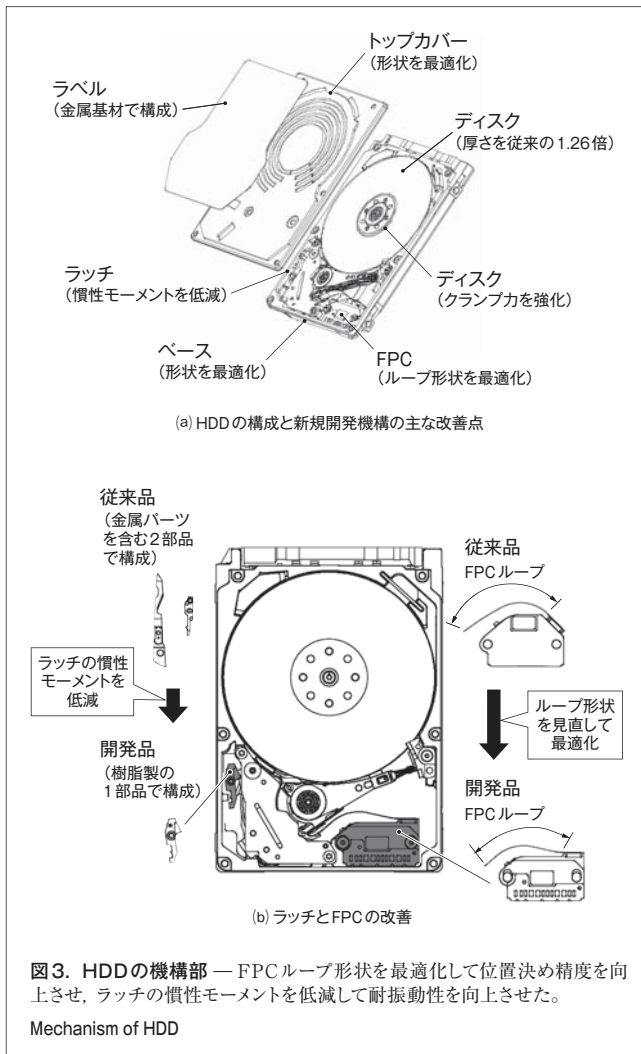
能力を向上させたリードソロモンECC（誤り訂正符号）を併用し、バースト誤り^(注2)に対する訂正能力も改善した。

4 高トラック密度化

4.1 機構系の新規設計

高トラック密度化が進むことにより、データを記録再生する際のヘッド位置決めには、従来以上に高い精度が必要になってきており、風乱と呼ぶ、HDD内部の気流による位置決め精度への影響も無視できなくなっている。また、HDDがモバイル機器にも広く搭載されるようになってきたことから、耐振動性の向上も求められている。

そこで今回は、HDDの質量や騒音特性を維持しながら、位置決め精度と耐振動性を向上させるため、**図3**に示す機構系を新たに開発した。



(注1) ビットに誤りがあっても、前後のビットから一番もっともらしいデータを推定して誤りを訂正する復号方式。
 (注2) 連続した複数のビットに発生する誤り。

4.2 位置決め精度の向上

磁気ディスクの厚さを従来の1.26倍にして剛性を上げ、また、FPC（フレキシブルプリント配線板）ループ形状を最適化して風乱及び従来機種での問題点を改善することで、位置決め精度を向上させた。厚いディスクによる位置決め精度向上の効果を**図4**に示す。

しかし、磁気ディスクを厚くすることで剛性が向上して、風乱によるディスクの振動振幅などの変位量が減少するというメリットがある反面、次のデメリットもある。

- (1) 回転体の質量が増加するため、装置全体の振動振幅が増加する。
- (2) カバーとディスクのクリアランスが減少し、騒音が増加する。

これらのデメリットを抑制するため、次の対策を行った。

4.2.1 ベースとディスククランプの設計変更 ベースは肉厚を増やしたりリブを設けることで剛性を向上できるが、これは装置自身が重くなってしまう可能性がある。このため、ベースの形状を最適化しながらその質量を減らすことで、従来機種の性能を維持するようにした。

また、質量が増えた磁気ディスクを確実に固定するため、クランプ力を増加させた。磁気ディスクの厚さが増加することでクランプスペースは減少するが、形状を最適化することで、限られたスペースでクランプ力を向上させた。

4.2.2 トップカバー形状の最適化 トップカバーの形状を最適化することで剛性を向上させてクリアランスの減少を補い、同時に静音化を実現した。更に、金属基材で構成した

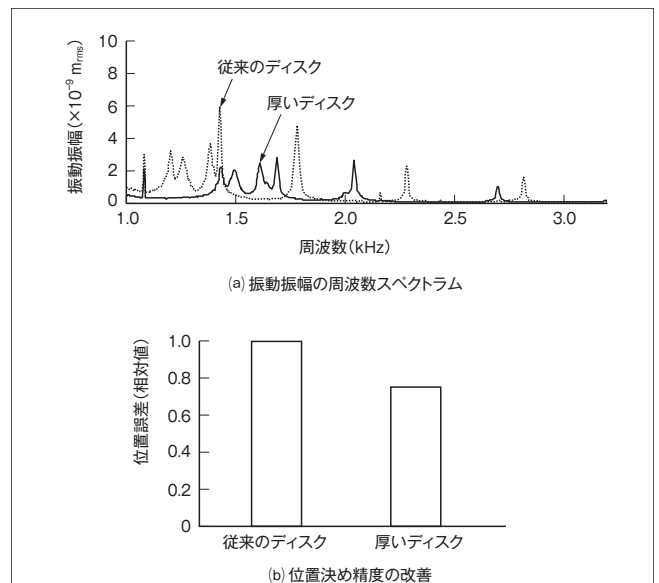


図4. 厚いディスクの採用によるヘッド位置決め精度の改善 — 厚いディスクを採用することで、ディスクの振動振幅が抑制され、位置決め精度が向上した。これらのデータは回転速度5,400 rpmで測定した。

Improvement of track misregistration by thicker media

新ラベルを開発してトップカバーにはり付けることで、静音性能を確保した。

4.3 耐振動性の改善

ラッチ機構は、現在主流のランプロード機構^(注3)では必須の技術であるが、この構造では通常フリーな状態で止まっているため、外から振動を加えられるとそれ自身が振動して装置の耐振動性能に影響を与えることが知られている。耐振動性を改善するには、構造を改善する方法やラッチ機構の基本特性である慣性モーメントを下げる方法がある。今回開発した新機構では、慣性モーメントを下げる方法を採用し、高い衝撃振動の下での耐振動性能の劣化を最小限に抑えた。

4.4 ヘッド位置決め制御技術

高トラック密度化には、機構系の開発に加えて、磁気ヘッドを目的のトラックに位置決めする制御技術の改善が重要であり、次の改善を実施した。

- (1) サーボパターン周波数の向上
- (2) ヘッド位置決め制御系の広帯域化
- (3) 追従すべきトラック形状の学習条件の拡大

これらを機構系の開発と組み合わせることで、トラック密度11,635トラック/mmを実現した。

5 環境性能の向上

5.1 エネルギー効率

HDDに使われているLSIは、ブロックごとに電力を制御できる構成となっているため、HDDの動作モードに応じて必要なブロックだけを動作させ、きめ細かな制御を行うことができる。この結果、ローパワーアイドル時^(注4)の消費電力を0.55 Wに低減し、エネルギー効率0.00086 W/(Gバイト)を実現した。

5.2 エクセレントECP^(注5)認定

今回開発したHDDでは、高いエネルギー効率やハロゲン・アンチモンフリー化など、業界トップクラスの環境性能を実現し、また、HDDとしては初めて、東芝グループ独自の環境効率指標であるファクターT^(注6)の数値5以上を達成した。これらの結果、MK6465GSXは、2009年度に東芝HDD製品として初の“エクセレントECP”に認定された。

(注3) 磁気ディスクが回転を停止しているときに、磁気ヘッドを、ディスク外周の外側にあるランプ上に停止させておく構造。回転が停止している間の耐振動性能を向上できる。

(注4) 磁気ディスクを駆動するモータは回転し、磁気ヘッドはディスク上から退避し、一部の回路が停止している状態。

(注5) 東芝グループの自主基準により、業界トップの主要環境性能を持つと認定された製品。

(注6) 製品価値ファクターと環境影響低減ファクターを乗じた総合的評価指標。

6 あとがき

今回、当社は、高記録密度に対応した磁気ヘッドや磁気ディスク、及びLDPC符号化・繰返し復号方式を導入するとともに、新機構の設計を行うことで、面記録密度を817.9 Mビット/mm²まで高め、磁気ディスク2枚で業界最大クラスの容量640 Gバイトを持つ2.5型HDDを開発した。また、新規設計のラッチ機構を備えることで耐振動性も向上させ、更に静音化と低消費電力化も達成した。

2.5型HDDは、容量、コスト、及び性能のバランスが取れた総合性能で優位性があり、今後もストレージ装置の中心的な役割を果たすことになると思われる。当社は、更なる高性能なHDDの実現に向けて、当社が持つ最先端の技術を生かし、業界に先駆けた大容量、高性能、そして高品質な製品の開発を引き続き推し進めていく。

文 献

- (1) 岡村博司, ほか, 高速回転7,200 rpmを実現した2.5型500 GバイトHDD. 東芝レビュー. 64, 7, 2009, p.56-59.



黒沢 伸 KUROSAWA Shin

東芝ストレージデバイス(株) ストレージデバイス設計第一部 第二担当グループ長。磁気ディスク装置の開発に従事。
Toshiba Storage Device Corp.



坂田 浩実 SAKATA Hiromi

東芝ストレージデバイス(株) ストレージデバイス設計第三部 第二担当グループ長。磁気ディスク装置の開発に従事。
Toshiba Storage Device Corp.



阿部 敏明 ABE Toshiaki

東芝ストレージデバイス(株) ストレージデバイス設計第一部 第九担当主務。磁気ディスク装置の開発に従事。
Toshiba Storage Device Corp.