

世界最大記録密度 1 Tビット/in²を実現した 2.5型HDD

2.5-inch HDD with World's Highest Areal Recording Density of 1 Tbit/in²

中 洋之 阿部 隆夫

■ NAKA Hiroyuki

■ ABE Takao

東芝は、世界最大^(注1) 記録密度 1 T (テラ: 10¹²) ビット/in²の実現及びフォーマット効率の向上により、高さ 15 mm の装置に磁気ディスク 4 枚を搭載した 2.5 型 HDD (ハードディスクドライブ) として世界最大^(注2) 容量となる 3 T バイトの HDD MQ03ABB300 を開発した。

高記録密度を実現するために、磁気ヘッドに当社初となるデュアルヒータを搭載したことによる磁気ヘッドスペーシングの低減、磁気ディスクの磁気クラスタサイズ低減による SN 比 (信号対雑音比) の向上、読出しチャンネル技術の導入によるエラー訂正能力の向上、及び 2 段アクチュエータ (DSA: Dual Stage Actuator) サスペンション採用による位置決め精度の向上を行った。またこれらに加え、当社初となるゾーンサーボ技術の採用によりフォーマット効率も向上させることで大容量化を実現した。

Toshiba has developed the MQ03ABB300 four-platter 2.5-inch hard disk drive (HDD) with a capacity of 3 Tbytes, the largest capacity in the market for HDDs with a 15 mm height form factor. This was realized by achieving the world's highest areal recording density of 1 Tbit/in² and improving the formatting efficiency.

In order to attain such a high areal recording density, we developed the following technologies: a magnetic head equipped with dual heaters introduced for the first time in our 2.5-inch HDDs to reduce magnetic head spacing, reduction of the disk magnetic cluster size to improve the signal-to-noise ratio (SNR), an advanced channel technology to enhance error correction capability, and dual-stage suspension (DSA) to improve the head positioning accuracy. Furthermore, the adoption of zone servo technology for the first time in our 2.5-inch HDDs to improve formatting efficiency also contributed to the achievement of large capacity.

1 まえがき

これまで、2.5 型 HDD は、主にノート PC (パソコン) のデータ記憶装置として用いられてきた。近年、タブレットやクラウド PC の普及に伴い、ノート PC 向けの需要は減少傾向にある。その一方、大容量の動画や画像データを USB (Universal Serial Bus) 経由で容易に保存でき、持運びに便利な 2.5 型外付け HDD が急速に普及してきており、市場では、よりいっそうの大容量化が求められている。

今回、東芝は、この大容量化の要求に応えるため、世界最大記録密度 1 T ビット/in²の実現及びフォーマット効率の向上により、高さ 15 mm の装置に磁気ディスク 4 枚を搭載した 2.5 型 HDD として世界最大容量となる 3 T バイトの MQ03ABB300 を開発した。

ここでは、MQ03ABB300 の概要とともに、2.5 型 HDD として世界最大容量を実現するために開発した技術について述べる。

2 装置概要

今回開発した外付け HDD 向け 2.5 型 HDD MQ03ABB300

(注1) 2015 年 1 月現在、当社調べ。

(注2) 2015 年 1 月現在、2.5 型 HDD において、当社調べ。

表 1. 2.5 型 HDD MQ03ABB300 の主な仕様

Main specifications of MQ03ABB300 2.5-inch HDD

項目	仕様
記録容量	3 T バイト
磁気ディスク枚数	4 枚
磁気ヘッド数	8 本
線記録密度 (平均)	92.8 k ビット/mm
トラック記録密度 (平均)	17.7 k トラック/mm
面記録密度 (平均)	1,641 M ビット/mm ²
回転数	5,400 rpm
バッファサイズ	16 Mi バイト
平均シーク時間	12 ms
外形寸法	69.85 (幅) × 100.0 (奥行き) × 15.0 (高さ) mm
質量	180 g (最大)

Mi バイト: × 2²⁰ バイト

の主な仕様を表 1 に示す。

磁気ディスク 4 枚を高さ 15 mm の筐体 (きょうたい) に収め、面記録密度を当社比で従来の約 1.42 倍の平均 1,641 M ビット/mm² (1,059 T ビット/in²) に高密度化している。この大幅な高記録密度化は、磁気ヘッドに当社初となるデュアルヒータを搭載したことによる磁気ヘッドスペーシングの低減、磁気ディスクの磁気クラスタサイズ低減による SN 比の向上、読出しチャンネル技術の導入によるエラー訂正能力の向上、及び DSA サスベ

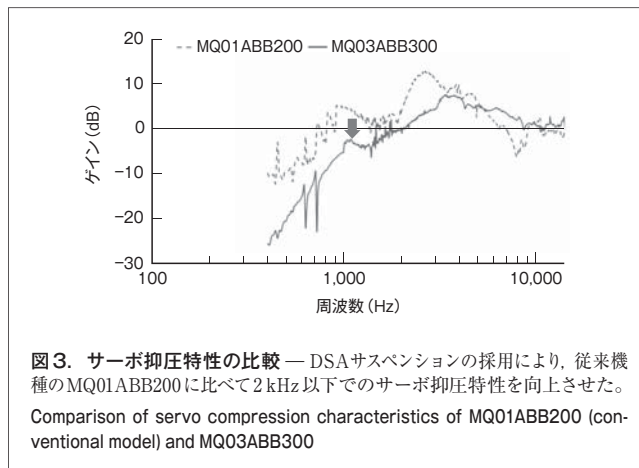
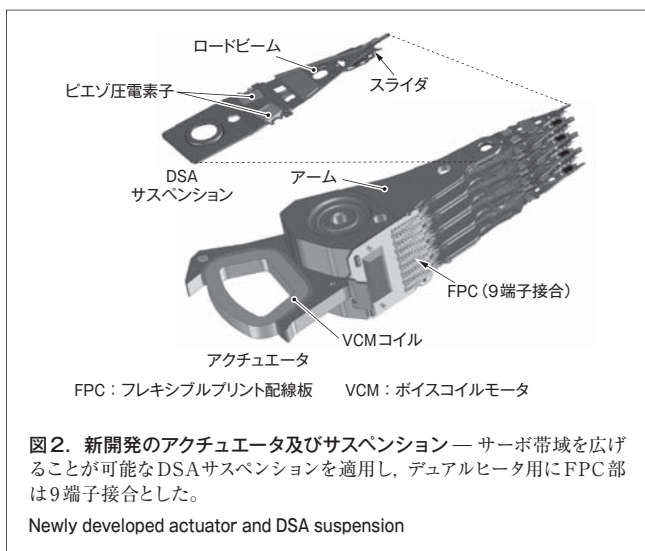
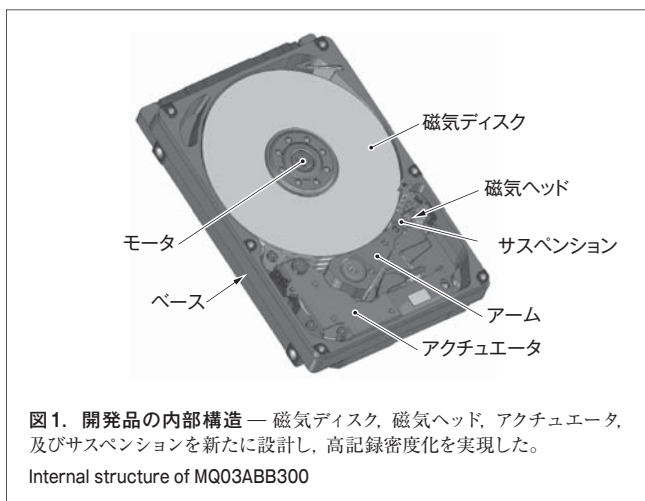
ンション採用による位置決め精度の向上により実現した。またこれらに加え、当社初となるゾーンサーボ技術の採用によりフォーマット効率も向上させ、3 Tバイトの大容量を実現した。

3 機構設計

開発した装置は、図1に示すように高さ15 mmの装置に磁気ディスク4枚と磁気ヘッド8本を搭載している。高トラック記録密度達成のために、磁気ヘッド近傍に精密駆動機構として piezo 圧電素子を追加した DSA サスペンションを採用した(図2)。また、デュアルヒータ搭載に伴い、磁気ヘッドの端子数を従来の8端子から9端子に増やしている。

DSA サスペンションの採用により、高さ15 mmの従来機種である MQ01ABB200 と比較して、2 kHz 以下の周波数領域のサーボ抑圧特性を向上させることができた(図3)。

この広帯域化によって、従来機種と比較して、位置決め誤差を約40%低減し、高トラック記録密度を達成した。



4 高記録密度化

開発した装置は、磁気ディスクの周方向に平均92.8 kビット/mmの線記録密度でデータを記録している。また、半径方向にはトラック記録密度17.7 kトラック/mmのデータシリンダを持っている。記録密度の向上は、線記録密度の向上とトラック記録密度の向上による。

線記録密度の向上のために、デュアルヒータ技術による磁気ヘッドスペーシング低減や、磁気ディスクの磁気クラスタサイズ低減による SN 比向上、読出しチャンネル技術の導入によるデータ符号誤り訂正能力の向上を行った。

トラック記録密度の向上のために、磁気ヘッドの書込み及び読出しコア幅低減や DSA サスペンションによる位置決め精度向上を行った。

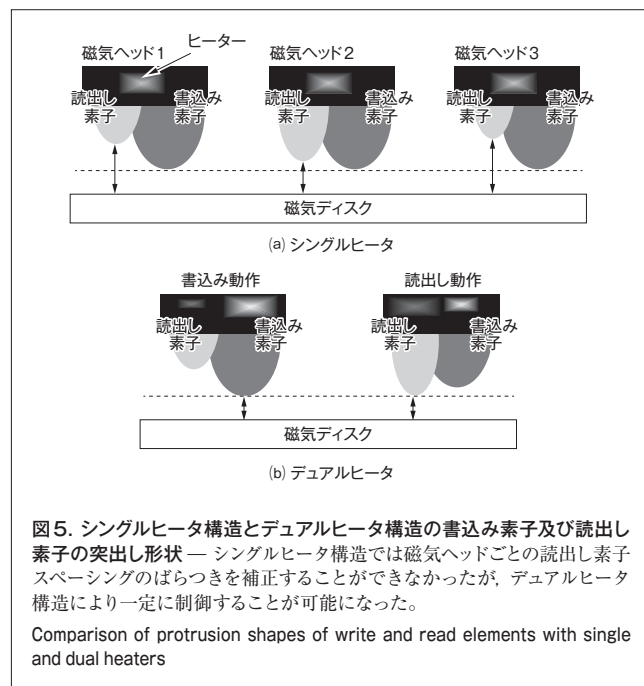
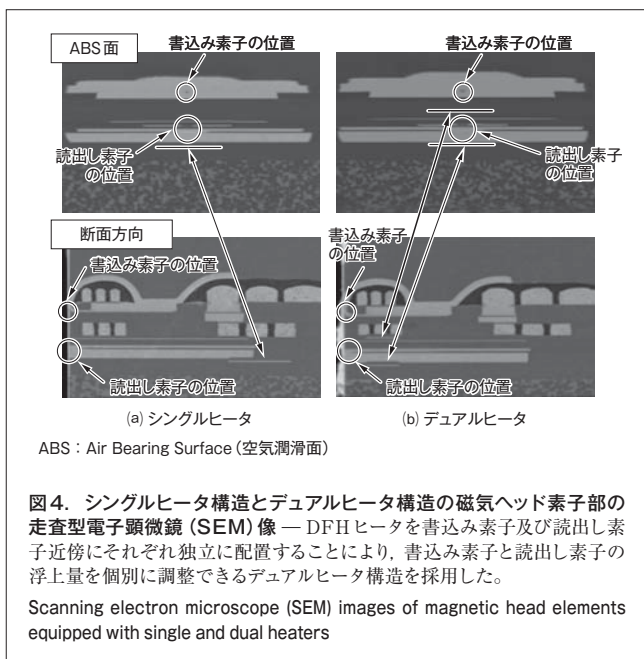
また、磁気ヘッドの書込みコア幅低減に伴い、磁気ディスクへの書込み能力(オーバーライト)が低下するため、磁気ヘッドスペーシングの低減、磁気ヘッド書込み素子構造の最適設計、及びヘッド特性に合わせた磁気ディスクの特性チューニングを追求した。更に、容量最大化のために、磁気ヘッドごとにデータエリア、トラック記録密度、及び線記録密度を最適化する技術も盛り込んでいる。

以下、開発した装置で達成した高記録密度のキー技術であるデュアルヒータによる磁気ヘッドスペーシング制御及び磁気ディスクの磁気クラスタサイズ低減について解説する。

4.1 デュアルヒータによる磁気ヘッドスペーシング制御

磁気ヘッドと磁気ディスクの間隔である磁気ヘッドスペーシングを低減する技術として、磁気ヘッド素子内部にヒータを配置し、電圧印加によりヘッド素子を熱膨張させて磁気ヘッドスペーシングをサブ nm オーダで制御する DFH (Dynamic Flying Height) 制御が使われている。

開発した装置では、DFH ヒータを書込み素子及び読出し素子近傍にそれぞれ独立に配置することで、素子の浮上量を個別に調整できるデュアルヒータ構造を採用した(図4)。



従来のシングルヒータ構造では、読出し時も書き込み素子が磁気ディスクにもっとも近い状態となり、読出し素子部のスペーシングを最適に設定できなかった。また、磁気ヘッド加工時のばらつきにより書き込み素子と読出し素子のスライダ面からの高さ(リセス)は一定ではなく、環境温度による熱膨張などで、磁気ディスクに対する読出し素子高さを一定に制御できなかった。

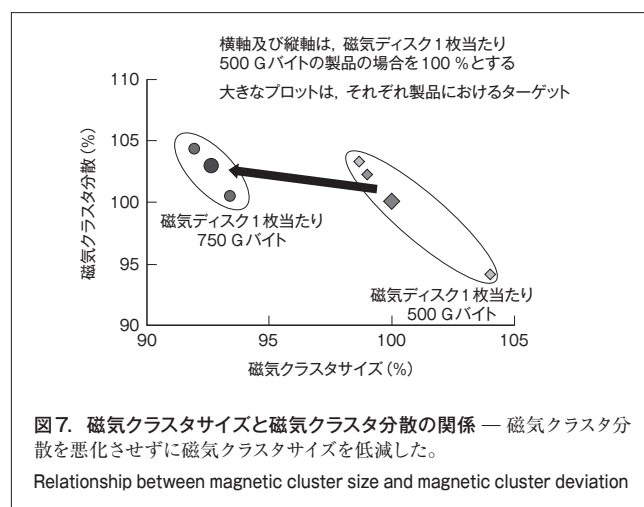
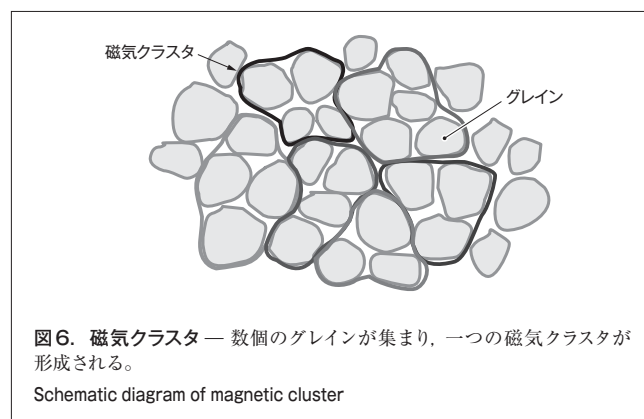
開発した装置では、書き込み時は書き込み素子部が最下点、読出し時は読出し素子が最下点となるように設計されており、磁気ディスクからの距離も一定になるように調整されている。デュアルヒータにより、書き込み時と読出し時それぞれで高さを制御することができ、最適なスペーシングを実現した(図5)。

また、磁気ヘッドスペーシングを一定に調整する技術にも向上を図った。その中の一つとして、磁気ヘッドプリアンプのDFHヒータパワー分解能を従来機種から4倍に向上させた。これにより、磁気ヘッドスペーシングばらつきを従来機種から60%低減し、低スペーシングを実現した。

4.2 磁気クラスタサイズ低減

記録密度の増加に伴い、磁気ディスクの1ビット内の結晶粒子数が減少する。SN比向上のためには、磁気反転しているビット間の境界において、磁気遷移品質の向上が重要となる。そこで、磁気的に反転できる最小ユニットである磁気クラスタ(図6)のサイズ低減及び反転磁界分散の低減を進めた。

磁気クラスタサイズ低減により磁気クラスタ分散が悪化する傾向がある。そのため、図7に示すように、磁気クラスタサイズを低減するとともに、磁気ヘッド側の書き込み素子部のデザイン最適化(狭ギャップ化など)により磁気クラスタ分散の悪化を抑えるなど、ヘッドとディスク間のマッチングを重視した設計を行った。また、磁気クラスタサイズの低減、熱揺らぎ、及び



書き込み能力はトリレンマの関係にあるため、それぞれの特性バランスを考慮した設計を行った。

5 フォーマット効率の向上

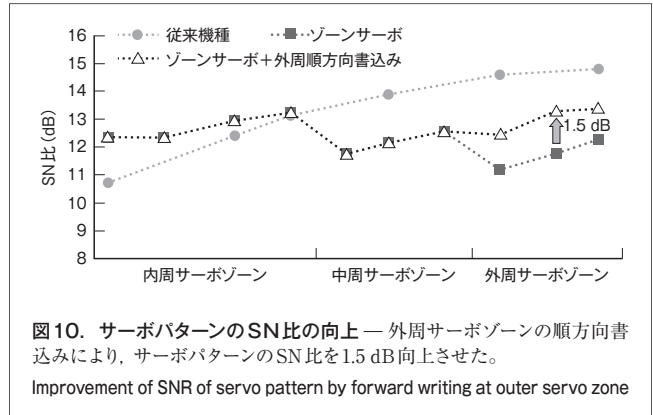
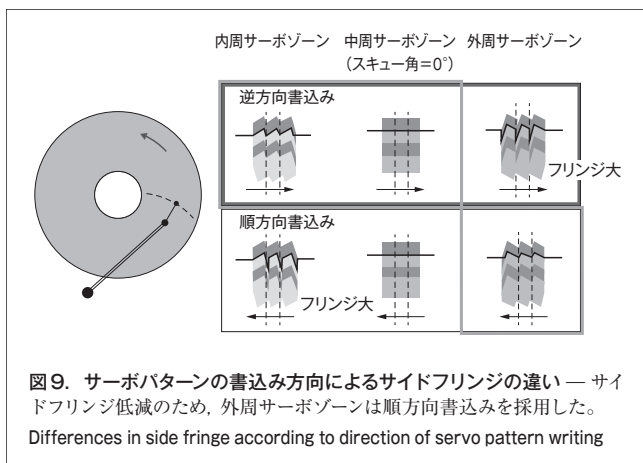
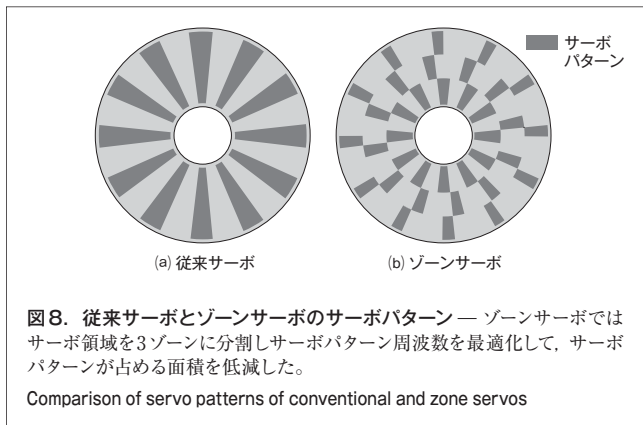
5.1 ゾーンサーボ

従来機種と開発した装置のサーボパターンの比較を図8に示す。従来機種のサーボパターン周波数は外周から内周まで単一周波数であった。そのため、線記録密度の高い内周側に合わせてサーボパターン周波数を設計する必要があり、外周から中周では必要以上にSN比を確保している状態であった。開発した装置では、ゾーンサーボとして3ゾーンを採用し、ゾーンごとにサーボパターン周波数を変えることでサーボパターンが占める面積を小さくすることが可能になり、データエリアのフォーマット効率向上に大きく寄与した。

トラック間を高速に移動するシーク制御の基本は、サーボパターンを復調した位置情報から目標位置への移動であるが、外周、中周、及び内周のサーボパターン周波数の相違によるサーボパターン未検出時の対応処理を、シーク制御、読出しチャンネル制御、サーボゲート制御において新規に開発することで、シークエラーレートを従来のサーボパターン（単一周波数）と同等レベルにした。

5.2 両方向サーボ書き込み

更に、サーボパターンの書き込み方向についても最適化を実施



した。従来機種は逆方向（内周から外周に向かう方向）の1方向だけでサーボパターンを書き込んでいたが、スキュー角によるサイドフリッジの影響により、外周側のサーボゾーンでSN比の低下が顕在化するという問題があった。開発した装置では、内周及び中周サーボゾーンを逆方向で、外周サーボゾーンを順方向で書き込むことで、サイドフリッジの低減を図った（図9）。これにより、外周サーボゾーンでのサーボパターンのSN比を、従来の逆方向書き込みに対して1.5 dB向上できた（図10）。

6 あとがき

世界最大記録密度1 Tビット/in²の実現及びフォーマット効率の向上により、高さ15 mmの装置に磁気ディスク4枚を搭載した2.5型HDDとして世界最大容量となる3 Tバイトを実現した。現行記録方式での限界と言われてきた1 Tビット/in²の実現により、今後もHDDの高記録密度化及び大容量化は進むと考えられる。

当社は、HDDの高記録密度化と大容量化に継続して取り組み、今後も業界No.1の大容量かつ高機能な製品を開発していく。

文 献

- (1) 楠本辰春 他. 高記録密度と耐衝撃特性を実現したモバイル向け2.5型HDD. 東芝レビュー. 66, 8, 2011, p.36-39.
- (2) 黒沢 伸 他. 記録容量1 Tバイトを実現した装置高さ7 mmのノートPC向け2.5型HDD. 東芝レビュー. 69, 11, 2014, p.46-49.



中 洋之 NAKA Hiroyuki

セミコンダクター&ストレージ社 ストレージプロダクツ事業部
HDD製品技術第一部参事。磁気ディスク装置の開発に従事。
Storage Products Div.



阿部 隆夫 ABE Takao

セミコンダクター&ストレージ社 ストレージプロダクツ事業部
要素技術第一部参事。磁気ディスク装置のサーボ開発に従事。
Storage Products Div.