

HDDの大容量化をけん引する瓦記録技術

Shingled Magnetic Recording Technologies for Large-Capacity Hard Disk Drives

下村 和人

■SHIMOMURA Kazuhito

情報インフラ社会は近年更に大きな変革を迎えつつある。これまで、世の中の情報はパソコン (PC) などを用いて個人が創り出すものが主であった。昨今、SNS (Social Networking Service) などの進歩に伴い、スマートフォンをはじめとする携帯端末からも膨大な情報が毎日創り出されるようになり、更には、センサなどからのデータも急速に増加している。2020年に世界で生成される情報量は、2013年の約10倍の44 Z (ゼタ: 10^{21}) バイトに達すると言われている。

これらの大量の情報を保存するために、HDD (ハードディスクドライブ) には更なる大容量化の要望が強く、東芝は新技術として有望な瓦記録 (SMR: Shingled Magnetic Recording) 方式の技術開発を進めている。SMR方式は、データを記録するときに屋根に瓦を葺く(ふく)ように前回記録したトラックの一部に重ねてデータを記録していくことで、記録ヘッドの幅を狭めることなく、トラック密度を高める技術であり、その実現のための長所を生かし、短所を補う様々な技術を開発した。

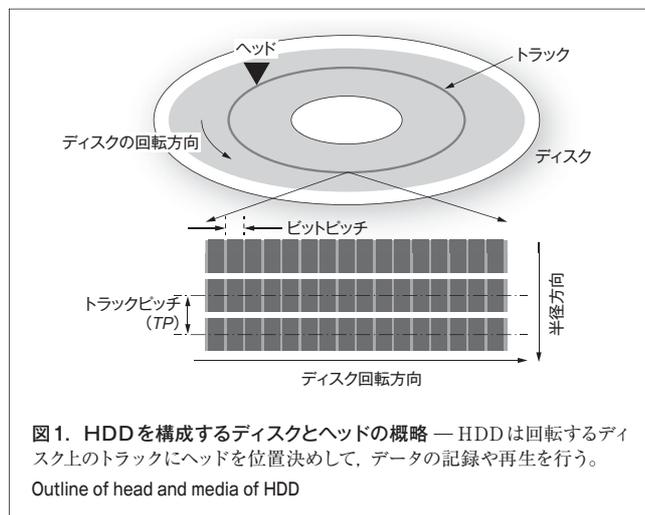
The information infrastructure society has been undergoing further major changes in recent years. Whereas most digital data were formerly created by individuals using PCs, the progress of social networks has led to the generation of huge volumes of data on a daily basis from smartphones and other portable terminals. Furthermore, the data produced by various sensors in the Internet of Things (IoT) has also been rapidly increasing. The total volume of data generated in the world in 2020 is projected to reach 44 zettabytes (ZB; $1 \text{ ZB} = 10^{21}$ bytes), 10 times the volume in 2013. Larger capacity hard disk drives (HDDs) are therefore required in the market to store these huge volumes of data.

To address this demand, Toshiba has been developing shingled magnetic recording (SMR) technologies. SMR HDD record data in a narrower track pitch than conventional HDDs by overwriting a part of the adjacent track that has been recorded, like shingling a roof, using a write head of conventional size. We are working to realize new technologies for SMR that strengthen its advantages and compensate for its weak points.

1 まえがき

世界で生成される情報量は爆発的に増加し続けており、2020年には2013年の約10倍の44 Zバイトに達すると言われている⁽¹⁾。これらの大量の情報を保存するために、HDD (ハードディスクドライブ) には更なる大容量化の要望が強い。従来、HDDはヘッドや、ディスク、SoC (System on Chip) などの主要部品の性能改善や新規技術の適用によって、年率15%に及ぶ記録密度向上トレンドを維持してきた。東芝は、こうした部品レベルの革新技术の開発を継続して行い、適切なタイミングで製品に取り込むことで、HDDの大容量化を進めている。一方、部品開発には時間とコストが掛かるため、情報インフラ社会の中で急速に膨大化していくデータを記録するというニーズにすばやく応えることが難しくなりつつあることも事実である。

このような背景のなか、HDDの記録密度を向上させる新たな記録方式として、高価な部品開発だけに頼らない瓦記録 (SMR: Shingled Magnetic Recording) 方式が注目を浴びている。SMR方式は、使用する部品はそのまま、トラックの構成や記録単位などを工夫することで記録密度を上げることができると、低コスト大容量のHDDに適している。



ここでは、当社が開発しているSMR技術について、その概要や今後の展望を含めて、従来記録 (CMR: Conventional Magnetic Recording) 方式と対比しながら説明する。

2 SMR方式の概要

HDDは、ヘッドをディスク上の所定のトラックに位置決め制

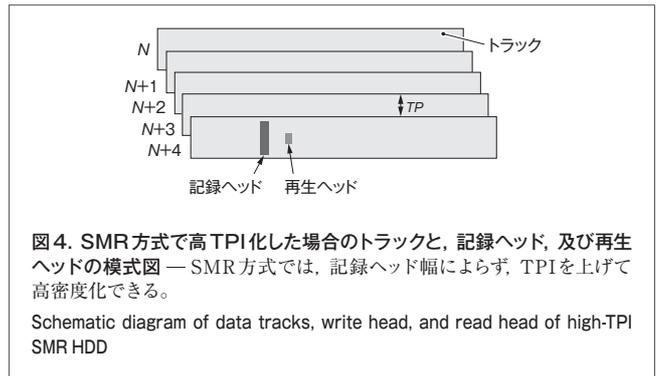
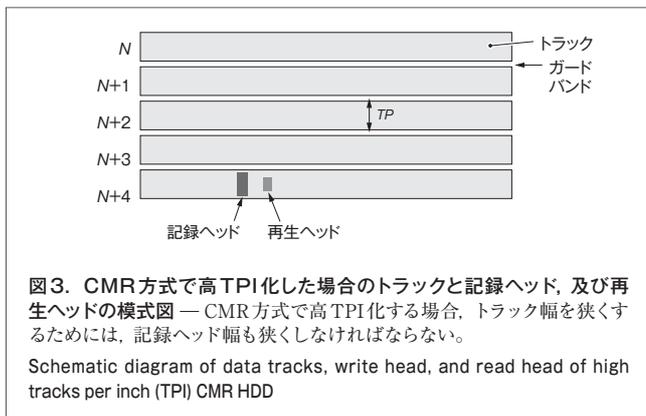
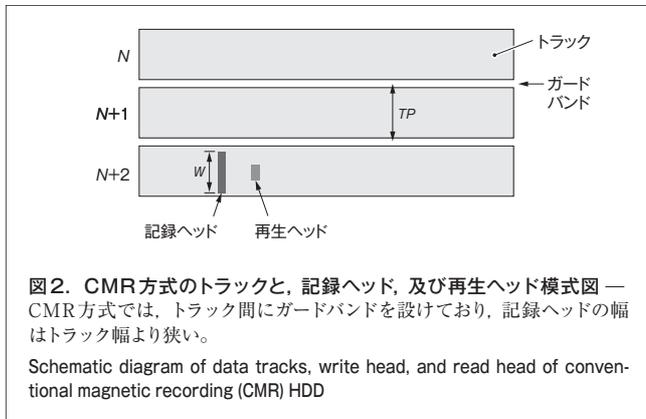
御し、データを記録及び再生する(図1)。

CMR方式のHDDはランダムアクセス性に優れており、任意のデータセクタに対して情報の記録や再生をランダムに行えるため、PC用途だけでなく、オンラインストレージとしても幅広く活用されている。CMR方式では、ランダムアクセスによるデータ記録を行っても、隣接するトラックのデータに悪影響が及ばないように、トラック間に所定の隙間(ガードバンド)を設けている。また、データ記録を行うヘッドの記録データ幅 W はトラックピッチ TP より狭く設計されている(図2)。

CMR方式のHDDの記録密度は、ディスクの円周方向のビット密度(BPI: Bit per Inch)と半径方向のトラック密度(TPI: Track per Inch)に依存する。記録密度を向上させるには、ヘッドとディスク双方の磁気特性を改善しヘッド幅を狭くして、より狭い TP の設計を行う必要がある(図3)。

しかし、現在のヘッドの記録データ幅は約50 nm程度まで狭くなっており、これ以下の幅では十分な記録能力を帯びなくなっている。これを解決する革新技術の研究も進んでいるが、ヘッドやディスクといった主要部品の開発にコストと時間を要する。

そこで、 N 番目のトラックに $N+1$ 番目のトラックを少しずらして重ね書きすれば、ヘッドを狭くしなくても狭い TP を実現でき、TPIを上げることができる。この重ね書きの動作が、屋根

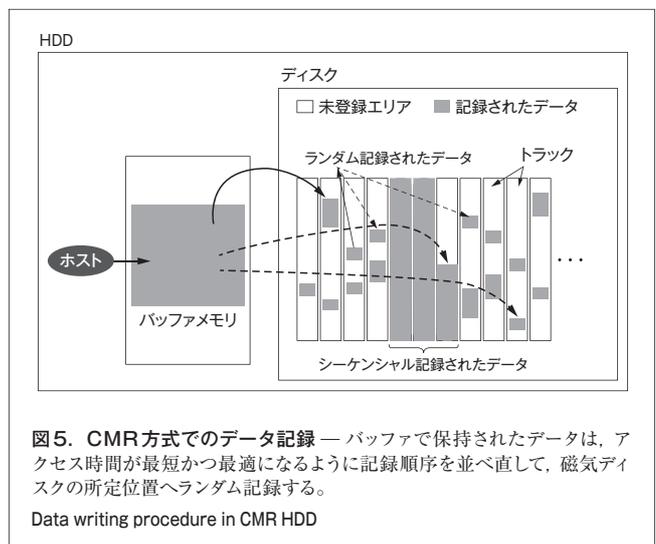


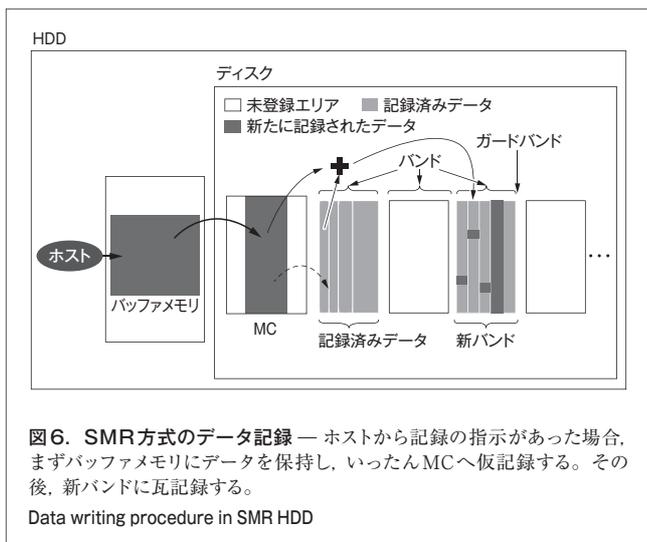
瓦を葺くように似ていることから“瓦記録”方式と呼ばれている(図4)。CMR方式と同様に、SMR方式でも TP は再生ヘッド幅の制約を受けるが、設計自由度はCMR方式より格段に高まる。

3 データ記録

CMR方式では、ホストから受信した記録データは、いったんバッファメモリに保持される。ディスク上の記録すべきアドレスがランダムでもシーケンシャルでも、コントローラファームウェア(FW)はアクセス時間が最短になるように記録データの順番入替え処理を行った後に、ディスク上の所定のアドレスへデータ記録を行う(図5)。

SMR方式では、瓦を葺くように連続してデータを記録するため、CMR方式のHDDの特長であるランダムアクセス性が損なわれる。これを改善するため専用の記録手順が必要となる。そこで、メディアキャッシュ(MC: Media Cache)とバンドの概念を取り入れた。バンドは、連続して記録を行うトラック群の最小構成グループとして定義され、このバンド内のトラックは連続して瓦記録される。一つのバンドと次のバンドの間に





は、ガードバンドを設けている。

ホストからデータ記録の要求が来ると、バッファメモリで受けた記録データを、ディスク上のMCと呼ばれる所定のエリアに仮記録する。MCに記録されたデータは、ディスク上のアドレスとしてシーケンシャルアクセスできるように再計算され、所定のバンドに互記録される。記録済みのデータを書き換える場合は、既に記録されたバンドの旧データを読み出し、MCにある書換え対象データとマージして、新バンドに互記録する(図6)。

当社はパフォーマンス向上のため、ホストから所定量以上の大きさのシーケンシャルデータの記録要求が来ると、MCを介さずに直接バンドに記録するアルゴリズムも開発した。

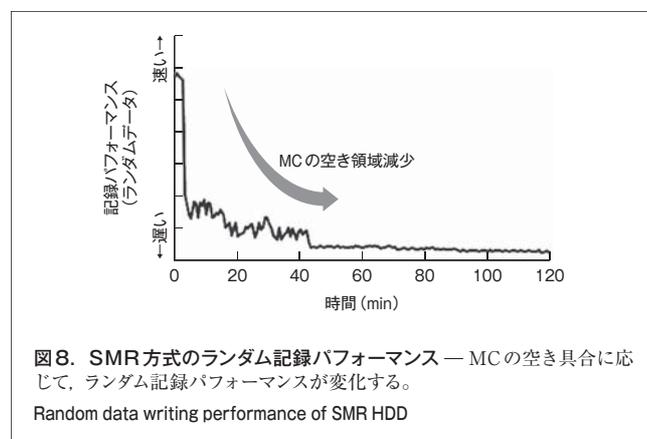
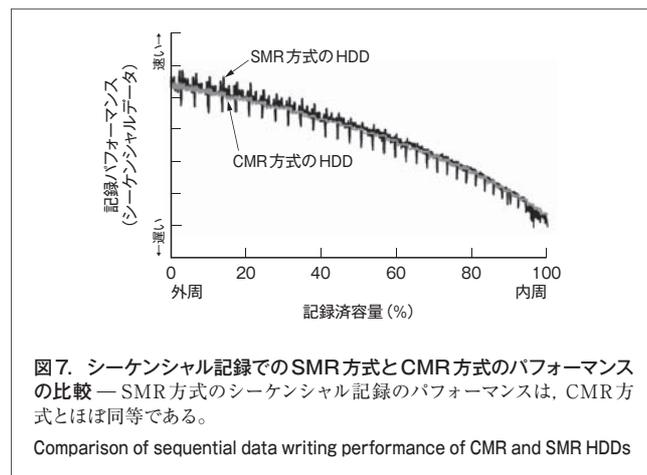
4 記録パフォーマンス評価

SMR方式を適用したHDD試作機の転送レートを評価した。SMR方式ではシーケンシャルデータとランダムデータで記録パフォーマンスが大きく異なるので、それぞれについて評価した。SMRのデータ再生時のパフォーマンスは、CMRと同等である。

まず、SMRとCMRの各方式で、ディスクの外周側からシーケンシャルデータを記録したときのパフォーマンスのグラフを図7に示す。連続した記録が基本となるSMR方式では、シーケンシャルデータ記録のパフォーマンスはCMR方式に匹敵し、遜色(そんしょく)ないことがわかる。

SMR方式が不得意なランダム記録では、MCの活用によりパフォーマンスを改善できる。ただし、ホストからのランダムアクセス数が多いと、時間の経過につれてMCの空き容量が減少し、パフォーマンスが低下する(図8)。

このように、SMR方式を採用したHDDはその構造上の特長から、大容量でシーケンシャルなデータの記録や再生が主体となるユーザーに最適と言える。



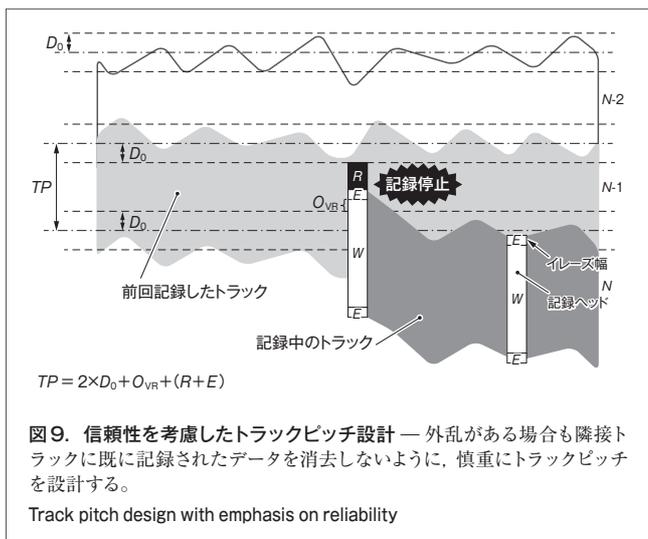
5 高TPI化と信頼性の両立

HDDでは、データ記録中に過度な振動や衝撃などの外乱が加わると、最悪の場合、隣接トラックのデータを消してしまう危険性がある。高TPI化を実現するSMR方式では、こうしたリスクを低減するために適切なTPの設計が必要になる。

データ記録時に、外乱により記録ヘッドが既に記録された隣接トラック方向に大きくずれ、隣接トラックのデータを消す可能性がある場合、すなわち、記録ヘッドの位置が、所定のしきい値 D_0 を超えて前週の隣接トラック方向にずれたとき、位置決め制御FWは記録停止を判断し、データの記録動作を中断することで隣接トラックのデータ消去を未然に防ぐ(図9)。 D_0 とTPは、式(1)の関係を保つように設計する。

$$TP = 2 \times D_0 + O_{VR} + (R + E) \quad (1)$$

ここで、 O_{VR} は外乱によりヘッドが D_0 を超えて継続移動し、隣接トラックデータの一部を消した場合でも、隣接トラックの再生品質に影響を与えない距離分のマージンである。また、 R は読取りヘッドの磁氣的再生幅、 E は記録のエッジ部に生じる磁氣的なイレース幅である。



TPを狭くして、高TPI化するには、 D_0 を小さくする必要があります。その一方で、不用意に D_0 を小さくすると記録停止が頻発し、記録時のパフォーマンスが悪化する。当社はパフォーマンスを悪化させずに、更なる高TPI化を実現するため、SMR方式の特長を生かした工夫を盛り込んでいる。

6 FWタイプと規格化

SMR方式は、データの特性によっては、CMR方式と比較して、必ずしもパフォーマンスが良いとは言えない場合があるが、SMR方式が今後のHDDの大容量化の鍵を握っていることも事実である。いかにしてSMR方式のHDDを使いこなすかという視点での検討が、HDDメーカーだけでなく、ストレージシステムのメーカーや、大規模データセンターのようなユーザーを含め、情報インフラ系の産業界で始まっている。

当社は、競合他社とともにSMR方式の規格化を進めている。情報技術規格国際委員会 (INCITS: International Committee for Information Technology Standards) の下部組織に SAS (Serial Attached SCSI (Small Computer System Interface))系規格を扱うT10やSATA (Serial Advanced Technology Attachment)系規格のT13があり、それぞれに、ZBC (Zone Block Command) やZAC (Zone-device ATA Command) といったSMR専用のコマンド規格が提案されている。

SMR方式のFWタイプには、DM (Drive Managed), HA (Host Aware), HM (Host Managed) の三つのタイプがある。DMは既存のファイルシステムで動作することが求められるタイプである。ホスト側からはCMR方式のHDDと同様に扱うことができるが、パフォーマンスはホストからのアクセス条件によって変化し、予測が難しい。一方、ホストがSMR方式の特長に適したHDDの動作を管理することで、安定したパフォーマンスを維持できるようにするタイプがHMである。HMを採

表1. SMR方式のFWタイプ

SMR firmware categories

分類	特徴
DMタイプ	ホストは、CMR方式のHDDのようにSMR方式のHDDを扱うことができる。ただし、パフォーマンスは、ホストからのアクセス条件により変動が大きい。CMR方式のHDDとの下位互換性がある。
HAタイプ	ホストは、SMR専用コマンドなどを活用して、記録動作を最適化できる。SMR専用コマンドの仕様違反があっても、SMR方式のHDDはコマンドを受け取り、可能な動作を行う。パフォーマンスは、ホストからのアクセス条件により変動が大きくなる場合がある。CMR方式のHDDとの下位互換性がある。
HMタイプ	ホストは、SMR専用コマンドなどを活用して、記録動作を最適化できる。SMRドライブは仕様違反のSMR専用コマンドは受け取らない。パフォーマンスの推定はある程度可能である。CMR方式のHDDとの下位互換性はない。

用するホストでは、ファイルシステムやカーネルにSMR方式のHDDを思いどおりに動作させるための新たな技術開発も進んでいる。DMとHMの中間に位置するのがHAタイプである(表1)。

7 あとがき

今後、顧客ニーズやアプリケーションに応じて、HDDの大容量化が加速するなかで、SMR方式のHDDは増えてくる。

過去、数十年もの間、CMR方式のうえて成り立ってきたHDDに、SMR方式を展開していくことで、キー部品のヘッドやメディアの設計ポイントにも変化が起こり、パフォーマンスを最大限に引き出すためのホスト側のファイルシステムも最適化されていくであろう。

SMR方式のHDDは、HDDサプライヤーをはじめ、システムメーカーやユーザーを含めて、様々な点でパラダイムシフトを起こし、膨大な情報が流れる情報インフラ社会の中に溶け込んでいくと考えられる。

当社は、次世代の大容量HDDに、これまで開発してきたSMR方式の技術を展開していく。

文献

- Turner, V. et al. "IDC's Digital Universe, The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things, Sponsored by EMC (2014-04)". IDC White paper #IDC_1672. IDC Homepage. <<http://idcdocserv.com/1678/>>, (accessed 2015-05-25).



下村 和人 SHIMOMURA Kazuhito

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。HDD の製品設計に従事。
Storage Products Div.