

磁気ディスク装置の高性能化を支える ヘッド位置決め制御技術

Head Control Systems Realizing High-Performance Hard Disk Drives

高倉 晋司

石原 義之

保中 志元

■ TAKAKURA Shinji

■ ISHIHARA Yoshiyuki

■ YASUNAKA Shigen

近年、磁気ディスク装置 (HDD) はパソコン以外に、ビデオカメラや薄型テレビ、カーナビゲーションなど様々な機器に搭載されるようになってきている。これに伴い、HDDには大容量に加えて高速性や静粛性といった性能が求められている。

このような要求に応えるため、東芝は、HDDのヘッド位置決め制御技術を開発した。短距離にヘッドを移動させるショートシーク制御技術では、HDDのデータ書込みと読み込みの速度を向上させると同時に低振動化も実現でき、長距離にヘッドを移動させるロングシーク制御技術では、ヘッドを移動させるときの静粛性を向上させることができる。

With hard disk drives (HDDs) now being installed in various types of equipment such as video cameras, car navigation systems, flat TVs, and so on, they have to provide not only large capacity but also high performance and low acoustic noise.

To meet these requirements, Toshiba has developed two new head control systems for HDDs: a short-span seek control system that can shorten data writing and reading times, and a long-span seek control system that can realize low-acoustic-noise HDDs.

1 まえがき

HDDは、1956年にIBM Corporationにより世界で初めて製品化され、24インチのアルミニウムディスク基板50枚を使用し、自動販売機1台ぐらいの大きさで約5Mバイトの容量を実現していた。現在では、当時の6,000万倍以上の記録密度が実現されており、2.5型や1.8型といった小型HDDはパソコンだけではなく、携帯音楽プレーヤーや、薄型テレビ、HDDレコーダ、ビデオカメラ、カーナビゲーションなどに搭載されるようになってきている。このようにHDDがパソコン以外に搭載されるようになるにつれて、大容量に加えて高速性や静粛性といった性能が従来よりも強く求められるようになってきている。

このような要求に応えるため、東芝はHDDのヘッド位置決め制御技術を開発した。ここでは以下の制御技術の概要と特長について述べる。

- (1) ショートシーク制御 記録と再生を行うデータトラックが数百トラック以下の近距離に集中している場合、短距離にヘッドを移動させるショートシークと呼ばれるシーク制御が実行される。HDDの高性能化のために、ショートシークの高速・低振動化が非常に重要である。従来のショートシーク制御では、加減速の変化が大きく高速・低振動化に限界があった。そこで、加速度指令電圧の変化率最小化と目標参照軌道の整形を同時に最適化する手法を開発した。
- (2) ロングシーク制御 数百トラック以上のシークでは、長距離にヘッドを移動させるロングシークと呼ばれるシーク

ク制御が実行される。ロングシークではショートシークに比べて非常に高速にヘッドが移動するため、ロングシーク中は位置情報にノイズを多く含みやすい。位置信号にノイズ成分が多く含まれると、加速度指令電圧がノイズの影響を受けて振動的になり騒音を発生させてしまう。そのため、シーク動作音を低減するにはシーク時の位置検出ノイズを考慮しなければならない。そこで、位置検出ノイズの影響を受けにくいロングシーク制御系を開発した。

2 HDDの構造と基本動作

HDDは、**図1**に示すように、主に、データを読み書きするヘッド、ヘッドを支持するアーム、データを記録するディスク、及びアームを動かすボイスコイルモータ (VCM) から構成されている。またHDDは、ディスク面上がセクタと呼ばれる複数のエリアに分割されており、このセクタの一部にサーボ情報がある。サーボ情報には、**図2**に示すように、ヘッド位置を検出するためのアドレスデータとバースト信号が記録されている。

ヘッドがこのサーボ情報のアドレスデータを読むことでトラック番号を検出し、バースト信号によりトラック内でのヘッド位置を高精度に検出できる。サーボ情報はセクタ数と回転数から決まる一定周期でA/D (Analog to Digital) インタフェースを通してマイクロプロセッサ (MPU) に読み込まれ、MPUはプログラムに書かれた制御則に従ってVCMに与える加速度指令電圧を計算している。計算で得られた加速度指令電圧は

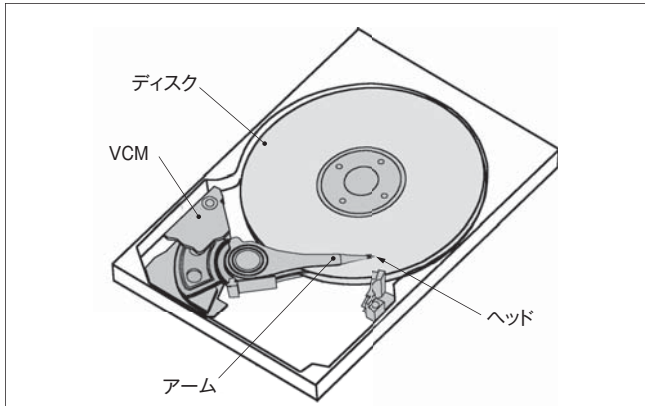


図1. HDDの構造 — HDDは、主に、アーム、ヘッド、ディスク、及びVCMから構成されている。
Structure of HDD

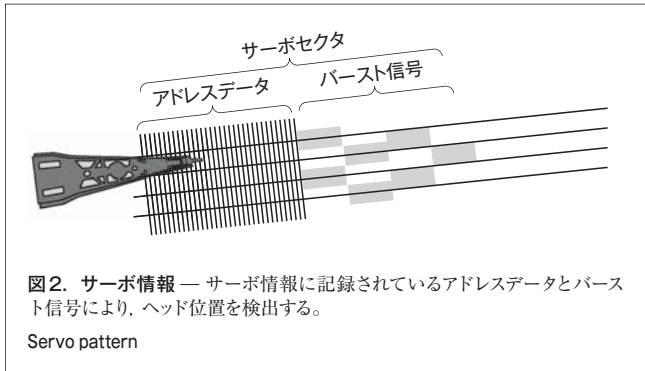


図2. サーボ情報 — サーボ情報に記録されているアドレスデータとバースト信号により、ヘッド位置を検出する。
Servo pattern

VCMドライバに与えられ、アームをディスク半径方向に高速に移動させて、ヘッドを所定のトラック中心に高精度に位置決めしている。

3 ヘッド位置の制御モード

HDDでのヘッド位置を制御するモードは、図3に示すように、ヘッドを高精度にトラック中心に設定する位置決め制御と、ヘッドを所定のトラックまで高速に移動させるシーク制御

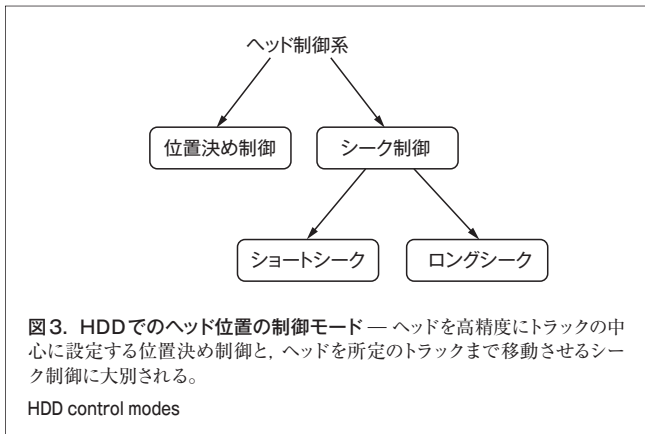


図3. HDDでのヘッド位置の制御モード — ヘッドを高精度にトラックの中心に設定する位置決め制御と、ヘッドを所定のトラックまで移動させるシーク制御に大別される。
HDD control modes

に大きく分けられる。更に、シーク制御は数百トラック以下のシークを行うショートシーク制御と、移動トラック数が数百トラック以上のシークを行うロングシーク制御に分けられる。HDDは、これらの制御モードを切り替えながら、ヘッドを所定のトラックまで高速に移動させ、高精度にトラック中心に位置決めしている。

4 シーク制御技術

シーク制御では、低振動で低騒音かつ高速に目標トラックまでヘッドを移動させることが要求される。そこで、VCMの機械共振を励起しにくい高速なショートシーク制御技術と、シーク時の低騒音化を実現させるロングシーク制御技術を開発した。

4.1 ショートシーク制御

ヘッドの移動距離が数百トラック以下の場合には、ショートシークと呼ばれるシーク制御が実行される。記録と再生を行うデータトラックが隣接している場合や近距離に集中している場合に頻りにショートシークが実行される。そのため、ショートシークの高速・低振動化はHDDの高性能化には非常に重要である。

ショートシーク制御では、あらかじめ計算しておいた加速度指令電圧とヘッド位置の目標参照軌道をプログラム内部の配列に保存しておき、シーク中にこのテーブル参照を用いてフィードフォワード制御を構成させていることが多い。ショートシーク制御には、目標トラックへより速く到達することと、位置決め制御系に切り替わった後のヘッド振動を抑制し書き込みエラーを防止することが求められる。

従来のショートシーク制御では、ヘッドの加速度指令電圧に上下限値を切り替えるBang-bang型入力が多く用いられてい

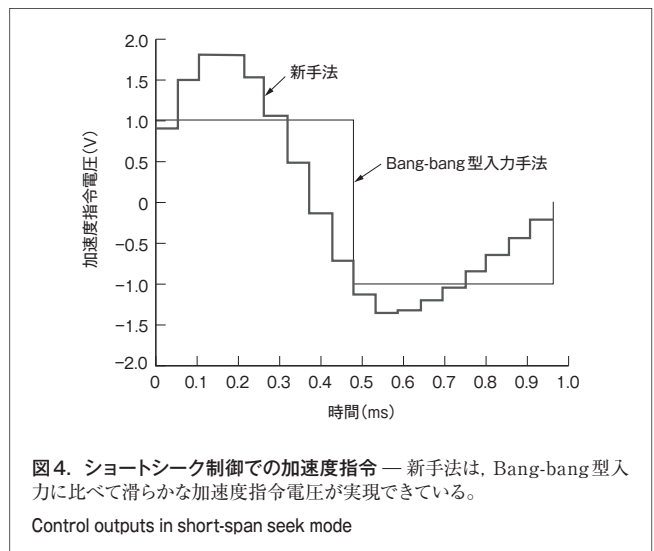


図4. ショートシーク制御での加速度指令 — 新手法は、Bang-bang型入力に比べて滑らかな加速度指令電圧が実現できている。
Control outputs in short-span seek mode

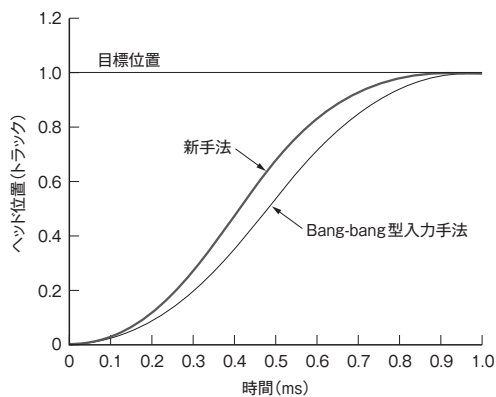


図5. ショートシーク制御での目標参照軌道 — 新手法は、Bang-bang型入力に比べて高速に目標トラックへ到達する目標参照軌道が実現できている。
Reference positions in short-span seek mode

た。Bang-bang型入力は設計が容易であり、かつ高速にヘッドを移動させることができるものの、加減速の変化が大きいためVCMの機械共振を励起しやすく、高速・低振動化に限界があった。そこで新たに、加速度指令電圧の変化率を最小にする最適化と、目標トラックへより高速に到達するための目標参照軌道の整形を同時に行うショートシーク制御技術を開発した⁽¹⁾。これにより、シークの高速化とVCMの機械共振励起による振動の抑制を両立させることができた。

加速度指令電圧及びヘッド位置の目標参照軌道について、今回開発したショートシーク制御と従来手法であるBang-bang型入力を比較し、その違いを図4、図5に示す。開発した手法では、加減速の変化が小さい加速度指令電圧と、より高速に目標トラックへ到達する目標参照軌道が実現されていることがわかる。

4.2 ロングシーク制御

ロングシーク制御は様々な移動距離のシークを実行しなければならないため、ショートシーク制御のようにテーブル参照を用いることができない。そこで、ロングシーク制御では、図6に示すように、VCMの動特性を表す数式から成り立つ観

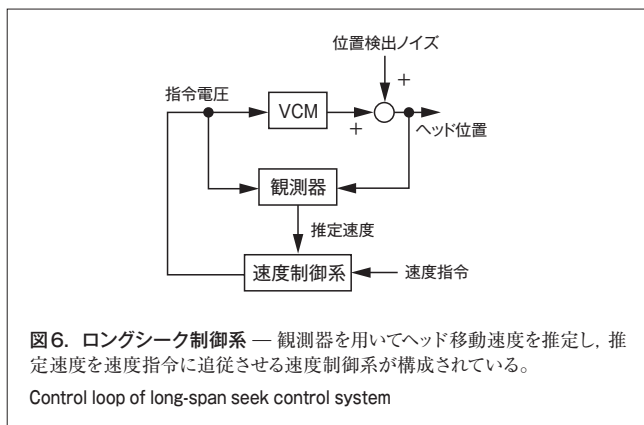


図6. ロングシーク制御系 — 観測器を用いてヘッド移動速度を推定し、推定速度を速度指令に追従させる速度制御系が構成されている。
Control loop of long-span seek control system

測器とヘッド位置を用いてヘッド速度を推定し、推定したヘッド速度を速度指令に追従させる速度制御系が一般的に構成されている。このような制御構造にすることで、様々な移動距離に応じた高速移動が実現されている。

ロングシーク制御ではヘッドの移動距離が長く、移動時間を短くするためショートシークに比べてヘッドを非常に高速に動かしている。そのため、ロングシーク中に得られる位置信号にはノイズ成分が多く含まれやすい。位置信号にノイズ成分が多く含まれると、加速度指令電圧がノイズの影響を受けて振動的になりやすくシーク時の騒音を引き起こしやすい。このようなことから、ロングシーク制御では位置検出ノイズの影響を考慮した観測器と速度制御系を構成することがポイントになる。

従来の観測器は、ヘッド移動速度を正確に推定するために観測器のゲインを常に高く設定しており、位置検出ノイズの影響を大きく受けていた。そこで、新たな観測器では、ヘッドが目標位置から遠く、高速に移動しているときはヘッドの移動速度を正確に推定する必要がないため、観測器のゲインを下げ、ヘッドが目標位置に近づき、移動速度が遅くなるにつれて観測器のゲインを上げて速度を正確に推定するようにする。

従来の速度制御系は、推定されたヘッドの移動速度を速度指令に追従させるために速度フィードバックゲインを高く設定する必要があり、VCMへの加速度指令電圧は位置検出ノイズの影響を受けやすい。そこで、速度フィードバックゲインを低くしても推定された速度が指令に追従できる新たな速度制御系を開発し、位置検出ノイズの加速度指令電圧への影響を低減した⁽²⁾。

このような方法により、位置検出ノイズの影響を小さくできる。従来のロングシーク制御系と新しいロングシーク制御系を用いた際のVCMの駆動電流と騒音のようすの違いを図7、

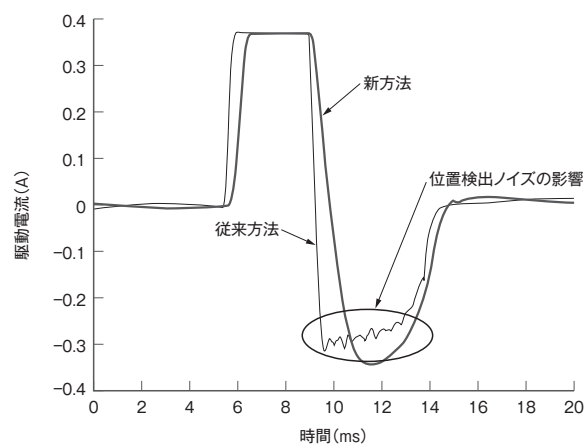


図7. ロングシーク制御での加速度指令 — シーク中の位置検出ノイズの影響を小さくできたため、従来方法よりも滑らかな指令が生成されている。
Control outputs in long-span seek mode

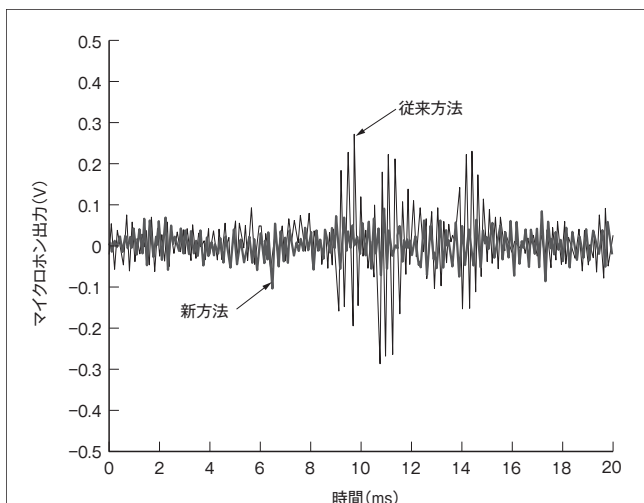


図8. ロングシーク制御での騒音 — シーク中の位置検出ノイズの影響を小さくできたため、従来方法よりも騒音を小さくできている。

Acoustic noise in long-span seek mode

図8に示す。新しいロングシーク制御では、シーク中の位置検出ノイズの影響を小さくできたため、従来方法よりも振動成分の少ない電流が生成され、ロングシーク時の静粛性が向上できることがわかる。

5 あとがき

HDDの高性能化を支えるヘッド位置決め制御技術の開発例として、高速なショートシーク制御技術と、動作時の静粛性を向上させるロングシーク制御技術について述べた。

今後、HDDがますます様々な機器に搭載されるようになることが考えられ、更なる高度なヘッド位置決め制御技術が必要となってくる。これからも様々なニーズに応えられるよう、研究開発を続けていく。

文献

- (1) 石原義之, ほか. “混合 $H\infty/H2$ /JERK 最小化制御による磁気ディスク装置のショートシーク制御”. 第51回自動制御連合講演会予稿集, 米沢, 2008-11, 計測自動制御学会, 2008, p.1242 - 1247.
- (2) 静かなHDDを目指したシーク制御システム, 東芝レビュー, 64, 3, 2009, p.42.



高倉 晋司 TAKAKURA Shinji

研究開発センター 機械・システムラボラトリー主任研究員。
HDDなどのメカトロ応用機器の研究・開発に従事。
電気学会, 計測自動制御学会, 日本機械学会会員。
Mechanical Systems Lab.



石原 義之 ISHIHARA Yoshiyuki

研究開発センター 機械・システムラボラトリー。
HDDなどのメカトロ応用機器の研究・開発に従事。
計測自動制御学会会員。
Mechanical Systems Lab.



保中 志元 YASUNAKA Shigen

研究開発センター 機械・システムラボラトリー。
HDDなどのメカトロ応用機器の研究・開発に従事。
Mechanical Systems Lab.