

# 小型磁気ディスク装置の高速・高精度ヘッド位置決め技術

Head Positioning Servo Technologies for Small-Form-Factor HDD

谷津 正英  
YATSU Masahide

岩代 雅文  
IWASHIRO Masafumi

鈴木 博  
SUZUKI Hiroshi

小型磁気ディスク装置(HDD)では、最近、記録密度の伸びが著しい。扱われるファイルサイズも増大し、アクセス速度の短縮も強く求められている。このため、高速、高精度なヘッド位置決め技術の重要性が増している。

小型 HDD では、位置情報が記録トラック上に間欠的にしか埋め込まれていない。この間欠的な位置情報という制約の下で、高速なアクセス、高精度な位置決めを実現する点に、技術的な難しさがある。この制約の下で、高速なヘッド位置決めを実施する技術として、モデル追従制御と有限整定制御を組み合わせた方式を開発した。また、高精度なヘッド位置決めを実施する技術として、ディスク媒体の偏心によるトラック振れにヘッドを精度よく追従させる方式を開発した。

これらの方式を 2.5 インチ型 HDD に適用し、目標トラックへのヘッドの移動時間が短縮し、位置決め精度が改善されることを確認した。

On a small-form-factor hard disk drive (HDD), only 50 to 60 pieces of position information are available on a track for head positioning control. Most of the difficulties concerning quick and accurate head positioning arise out of this constraint. Head positioning technologies enabling higher performance and higher track density under this constraint have been competitively studied.

We have developed a new quick seek controller which incorporates a deadbeat controller into a model-following seek controller. We have also developed a new accurate head positioning controller, which, based on adaptive feedforward control, suppresses repeatable run-out error between the recording track and the head position.

Through experiments with these control methods using a 2.5-inch HDD, we confirmed that they effectively reduce seek time and improve head tracking accuracy.

## 1 まえがき

HDD の高記録密度化の進展は、1990 年代に入り年率 60 %以上で増加しており、当社が製造している 2.5 インチ型 HDD についても、装置の記憶容量はこの 1 年で 2 倍になった。

HDD は、精密機械、磁性材料、信号処理、電子回路、サーボ技術などの先端技術により支えられている。このなかで、サーボ技術は記録・再生ヘッド(以下、ヘッドと略記)を目標とするディスク上のトラックに移動し、位置決めする機構系の駆動技術である。

近年のコンピュータシステムの高性能化により、HDD には、記憶容量の増加に加えアクセス時間を短くすることが求められている。装置の記憶容量を増やすためには、使用するディスク枚数が同じであれば、データをより密に記録しなければならない。トラックの幅は狭くなり、ヘッドをより高精度に位置決めすることが必要となる。一方、アクセス時間を短くするには、目標トラックへのヘッドの移動時間を縮めることが重要であり、高速にヘッドを移動しなければならない。

ここでは、当社が開発した小型 HDD(図 1)の高速・高

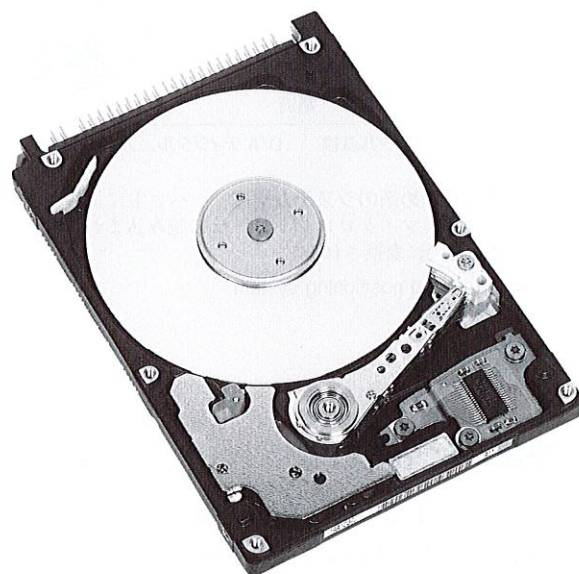


図 1. 小型 HDD 回転式の VCM(Voice Coil Motor)の先端に取り付けられたヘッドによって読み取られた位置情報で、VCM を制御する。

Small-form-factor HDD

精度ヘッド位置決め技術について述べる。



## 2 ヘッド位置決め系の構成

図2に小型HDDのヘッド位置決め系の構成を示す。この系の目的は、ヘッドを目的のトラックへ速く正確に移動させ、目標の範囲内に精度よく位置決めすることである。この系は、ヘッドが取り付けられたアクチュエータ機構部と、データを書き込み、読み出すためのディスク媒体と、制御装置であるマイクロコントローラを含む回路部から構成される。ディスク媒体には、同心円状に多数のトラックが形成されており、各トラックにはデータのほかにサーボ情報と呼ばれる磁気的な位置信号が記録されている。ヘッドはこのサーボ情報を読み取り、ディスク媒体を基準位置としたヘッド位置を検出することができる。ヘッドから読み込まれたサーボ情報は、マイクロコントローラに入力され制御に必要な演算処理を行い、VCMを電流駆動する。

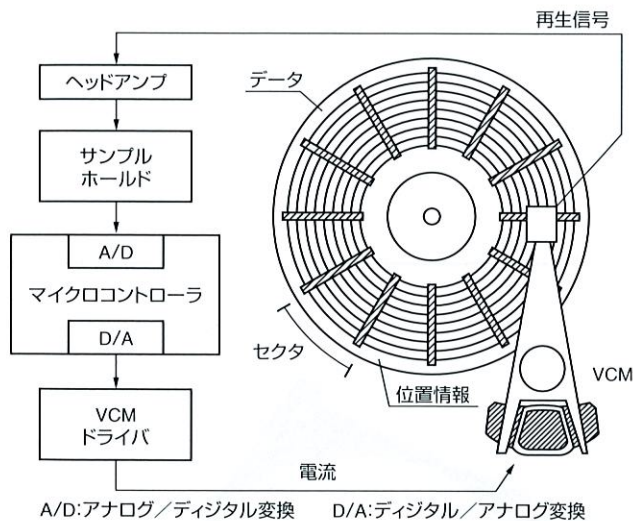


図2. ヘッド位置決め系のシステム構成 ヘッドによって読み取られた位置情報は、マイクロコントローラに読み込まれ、演算処理後にVCM駆動電流に変換される。

Configuration of head positioning system

## 3 高速シーク制御技術<sup>(1),(2)</sup>

目標トラックまでのヘッドの移動時間を短くするために、機械的にはVCMのマグネットの起磁力を高めたり、コイルの巻き数を増やすことや、アクチュエータの質量を減らすなどの努力がなされてきた。一方、サーボ技術としては、ヘッドを動かすための制御アルゴリズムの改善が進められてきた。小型HDDでは、マイクロコントローラによるデジタル制御を適用して、ヘッドの位置決め制御を行うことが一般的である。デジタル制御では、制御対象

の動きを一定のサンプル周期で観測し、プログラムで表現した制御器で操作する。アナログ回路では、構成することの難しい制御器をプログラムで実現し、高度なヘッド位置決め制御システムを設計することができる。ここでは、有限整定制御とモデル追従制御を併用した高速ヘッド位置決め技術について述べる。

### 3.1 有限整定制御とモデル追従制御の併用

デジタル制御には、有限整定制御と呼ばれる方式がある。この方式は、決まったサンプル回数で制御対象を目標まで移動する方式である。決まったサンプル回数は、制御対象の動きを差分方程式で表したときの次数に相当する。HDDのアクチュエータ機構部は、制御遅れ時間を考慮に入れると三次系になり、理想的には最小で3サンプルという短い時間でヘッドを目標位置まで移動できる。しかし、実際のHDDには、制御対象であるアクチュエータ機構部に加わる外力やVCMのゲインにばらつきがある。有限整定制御は、こうした外乱や制御対象の特性変化に弱く、実用的なヘッド位置決め系を構成することが難しい。

図3に有限整定制御とモデル追従制御を併用したヘッド位置決め系の構成を示す。モデル追従制御とは、数式モデルによって求めた理想的な位置軌道に制御対象の位置を追従させる方式である。図3に示すように、この方式はモデルの情報に基づき有限整定制御器の操作量を求める。モデルには外力やゲイン変動などの外乱が加わることはないので、つねに理想的な位置軌道を求めることができる。この理想的な位置軌道に実際の制御対象であるVCMのヘッド位置を追従させる。有限整定制御器で求めた操作量は実際の制御対象にも加えられる。外乱やゲイン変動による制御対象の軌道誤差は、これを減らすためのフィードバック制御器によって補正量を求める。このように有限整定制御器

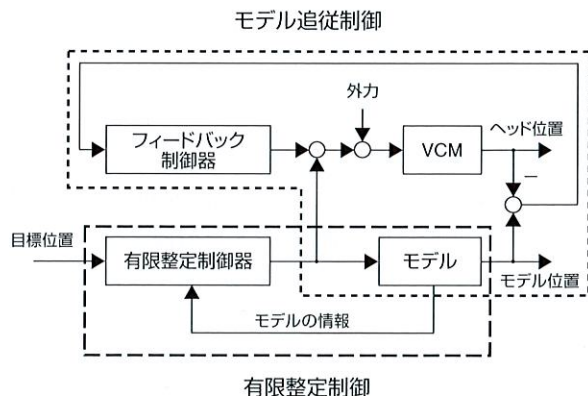


図3. 有限整定制御とモデル追従制御によるヘッド位置決め系 有限整定制御器により、数式モデルの理想的なシーク軌道を求める。この軌道に制御対象であるVCMのヘッド位置を追従させる。高速で外乱に強いヘッド位置決め系が実現できる。

Model-following deadbeat control diagram



を直接に制御対象に適用せず、モデルの理想的な位置軌道を求めることに利用することで、高速で外乱に強いヘッド位置決め系を実現することができる。

図4は、2.5インチ型HDDによる実験結果である。移動距離は1トラックであり、位置情報のサンプリング間隔は255 $\mu$ sである。およそ1msでヘッドは移動しており、目標トラックで残留振動もほとんど生じていない。

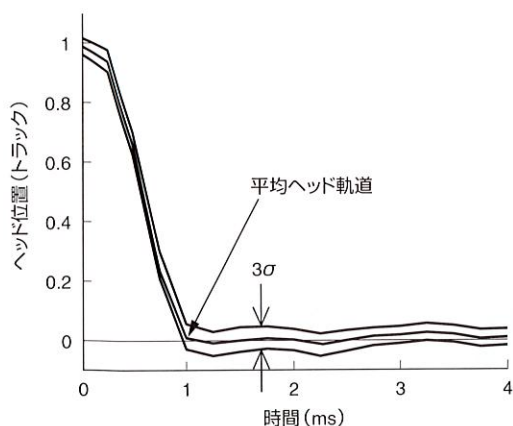


図4. 1トラックのヘッド移動軌跡 約1msでヘッドは移動しており、目標トラック上で残留振動もほとんど生じない  
1-track seek response

#### 4 高精度ヘッド位置決め制御技術

ヘッドの高精度なトラック追従を実現するためには、スピンドルモータの回転振動や、サーボ情報の信号品質(S/N)、制御アルゴリズムを改善することが必要である。ここでは、スピンドルモータの回転に同期した位置誤差を抑圧する高精度ヘッド位置決め方式について述べる。

##### 4.1 ディスク偏心成分の抑圧技術

ヘッドが追従しなければならないトラック中心は、ディスクの偏心による振れや、サーボ情報をディスクに書き込む際のスピンドルモータの振れ、スピンドルモータの回転振動などによって、つねに変動している。また、ディスクの偏心は、温度変化によるディスク形状のひずみや衝撃によるディスク取付け位置のずれによっても生ずる。

図5に、従来のフィードバック制御によるヘッド位置決め系を示す。従来のヘッド位置決め系で、ディスクの回転に同期した周期的なトラック変動を減らすためには、フィードバック制御器のゲインを上げ、抑圧率を高める必要がある。しかし、実際のHDDには、ヘッドを搭載しているアクチュエータ機構部に機械的な共振が含まれているために、単純にゲインを上げると発振してしまう。また、サーボ情報が間欠的にしか得られないシステムでゲインを上げ

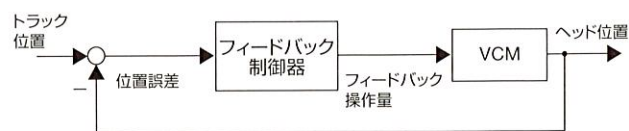


図5. フィードバック制御器によるヘッド位置決め系 サンプル周波数やアクチュエータ部の機械共振のために、フィードバックゲインを高めることが難しい。  
Feedback control system

ると、位相余裕が大きく減少して、かえって位置決め精度を悪化させる。そのため従来のヘッド位置決め系では、偏心成分に対する抑圧率を上げることができず、周期的な位置誤差が残ってしまう。

図6に、開発したディスクの回転に同期した周期的な位置誤差を抑圧する制御器(以下、同期圧縮制御器と略記)をもつヘッド位置決め系を示す。同期圧縮制御器は、従来のフィードバック制御器と並列に接続される。位置誤差から偏心成分を取り出す制御器と、偏心成分を抑圧する制御器から成る。偏心成分の抑圧のポイントは、位置誤差から偏心成分の大きさと位相を正確に検出することである。目的とする偏心成分を精度よく取り出し、これを抑圧するフィードフォワード操作量を求める。このように指定した偏心成分だけを検出・抑圧する制御器を設けることで、フィードバック制御器では抑圧することの難しい偏心成分による位置誤差を減らすことができる。温度変化や衝撃によって生ずるディスクの偏心成分の影響も受けにくくなる。

図7は、2.5インチ型HDDによる実験結果である。図7(a)は、従来法による実験結果であり、偏心成分による位置誤差が大きく残っている。図7(b)は、同期圧縮制御器を適用した実験結果である。偏心成分が十分に抑えられ、位置決め精度が向上している。

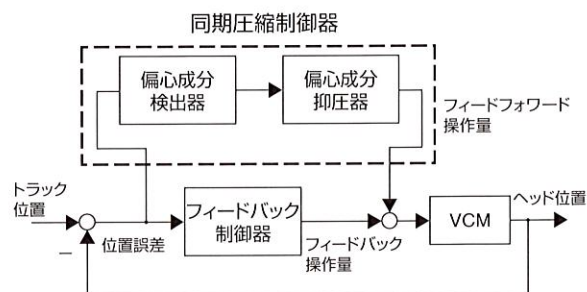


図6. 同期圧縮制御器による高精度ヘッド位置決め系 位置誤差から偏心成分を検出し、この偏心成分を抑圧するフィードフォワード操作量を求める。  
Repeatable run-out cancellation controller

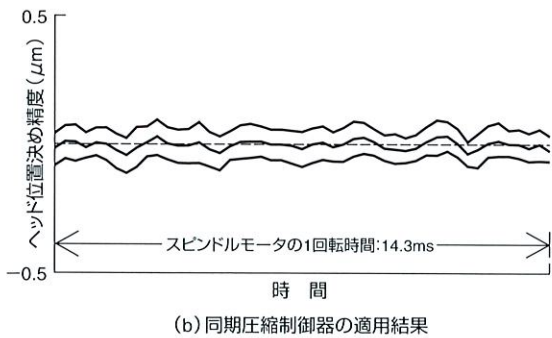
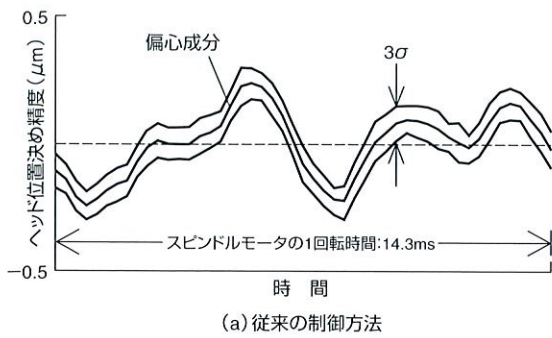


図7. ヘッドのトラック追従特性 同期圧縮制御器を適用することによって偏心成分が十分に抑えられ、位置決め精度が向上する。

Experimental results

## 5 あとがき

HDD に対する記憶容量の増加，アクセス時間の短縮要求は，ますます強くなると予想される。ここでは，高速なヘッドの位置決め技術として，モデル追従制御と有限整定

制御を組み合わせた方式について述べた。また，高精度なヘッドの位置決め技術として，ディスク媒体の偏心によるトラック振れにヘッドを精度よく追従させる方式についても述べた。

今後，HDD の基盤技術の一つであるサーボ技術の役割はさらに重要になる。小型 HDD の高速・高精度ヘッド位置決め技術の開発に引き続き取り組んでいく。

## 文献

- (1) 谷津正英，他．“モデル追従制御による HDD のシーク方式”．日本機械学会第 74 期通常総会講演論文集 (IV)．1997，p.410-411.
- (2) Iwashiro, M. et al. Time Optimal Track-to-Track Seek Control by Model Following Deadbeat Control. IEEE Trans. Magnetics. 35, 2, March 1999, p.904-909.



谷津 正英 YATSU Masahide

デジタルメディア機器社 光・磁気ストレージ開発センター 開発第一部主務。小型磁気ディスク装置の開発・設計に従事。日本機械学会会員。

Data Storage Development Center



岩代 雅文 IWASHIRO Masafumi

デジタルメディア機器社 光・磁気ストレージ開発センター 開発第一部。小型磁気ディスク装置の開発・設計に従事。計測自動制御学会会員。

Data Storage Development Center



鈴木 博 SUZUKI Hiroshi

デジタルメディア機器社 光・磁気ストレージ開発センター 開発第一部グループ長。小型磁気ディスク装置の開発・設計に従事。電子情報通信学会会員。

Data Storage Development Center