

位置決め精度の改善と広帯域化を実現する HDD用2段アクチュエータ

Dual-Stage Actuator for HDD Achieving High-Accuracy Positioning and Wide-Bandwidth Servo Control

佐々木 康貴 原 武生

■ SASAKI Yasutaka ■ HARA Takeyori

現在のHDD（ハードディスクドライブ）は、間隔が100 nmを切るデータトラック上に磁気ヘッドを正確に位置決めするとともに、別のデータトラックにわずか数m秒で移動できるような非常に高性能なアクチュエータ及びサーボ技術が要求されている。

今回東芝は、HDDの更なる記録密度向上に対応するため、 piezo (PZT: Pb (Zr, Ti) O₃) 素子を搭載したサスペンションを使用して2段アクチュエータ (DSA: Dual Stage Actuator) の試作を行い、従来の1段アクチュエータ (SSA: Single Stage Actuator) に比べて約30%の位置決め精度改善、及び1.7倍のサーボ広帯域化を実現した。

In the latest hard disk drives (HDDs), advanced high-performance technologies for the actuator and servo control are required in order to achieve not only accurate positioning control on data tracks with a pitch of less than 100 nm but also high-speed access onto another data track within a few microseconds.

To realize higher recording density of HDDs, Toshiba has developed a prototype dual-stage actuator (DSA) with piezoelectric elements (Pb [Zr, Ti] O₃: PZT) attached to the suspension. Experiments on the prototype DSA confirmed that it achieves an improvement of about 30% in positioning accuracy and about 1.7 times wider servo bandwidth compared with conventional single-stage actuators (SSAs).

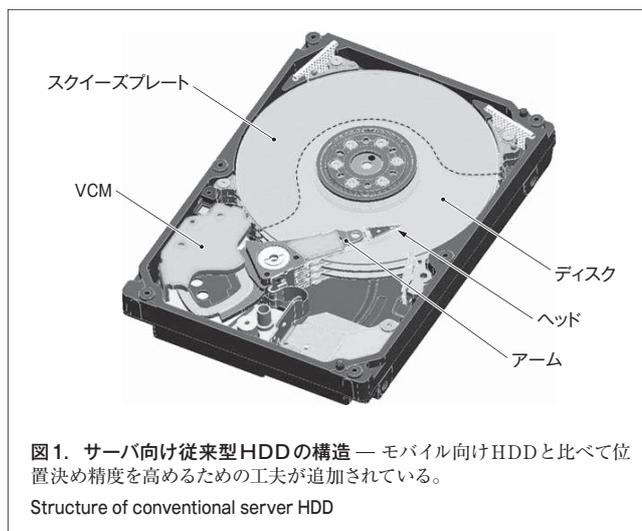
1 まえがき

近年の携帯端末の高性能化やクラウド化の流れにより、サーバ向けHDD（ハードディスクドライブ）の大容量化と高性能化の要求が一段と高まっている。サーバ向けHDDはディスクの回転数が一般に10,000～15,000 rpmであり、ノートPC（パソコン）などモバイル機器向けHDDの一般的な回転数である5,400～7,200 rpmに比べて高い。このため、ディスクの高速回転に伴って発生する空気流により磁気ヘッドが振動して位置決め精度が悪化しやすい。また高速アクセス性能に対する要求も高く、一般にモバイル機器向けHDDよりも高い制御帯域のアクチュエータが要求される。

これらの課題を解決するため、アクチュエータ全体を駆動するVCM (Voice Coil Motor) とは別に、磁気ヘッド近傍に別の精密駆動機構を追加した2段アクチュエータ (DSA: Dual Stage Actuator) が提案され、検討が進められてきた⁽¹⁾。しかしその一方で、従来の1段アクチュエータ (SSA: Single Stage Actuator) の性能アップやサーボ技術の向上などもあり、DSAの実際の製品への普及は進んでいなかった。ところがサーバ向けHDDに対する要求はますます高まり、従来型のSSAでは記録密度の向上に対応するのが難しくなりつつある。

そこで東芝は、サーバ向けHDDの更なる性能改善を目的として、piezo (PZT: Pb (Zr, Ti) O₃) 素子を搭載したサスペンションを使用してDSAを試作した。

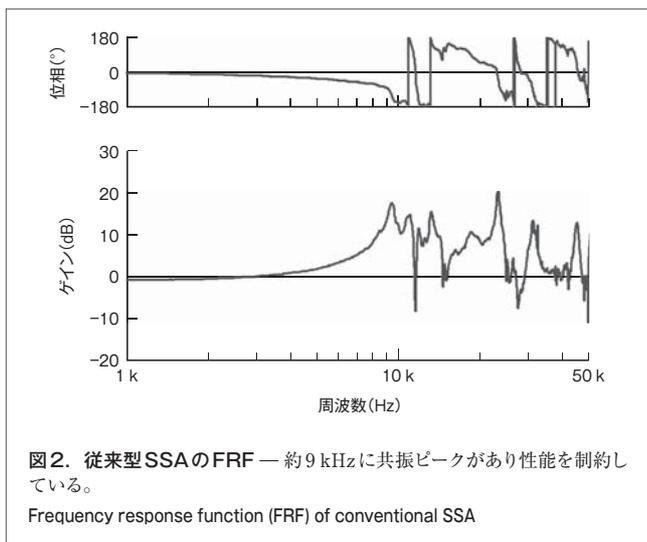
ここでは、試作したDSAに採用した機構設計及び制御技術



と、その評価結果について述べる。

2 2段アクチュエータの構成

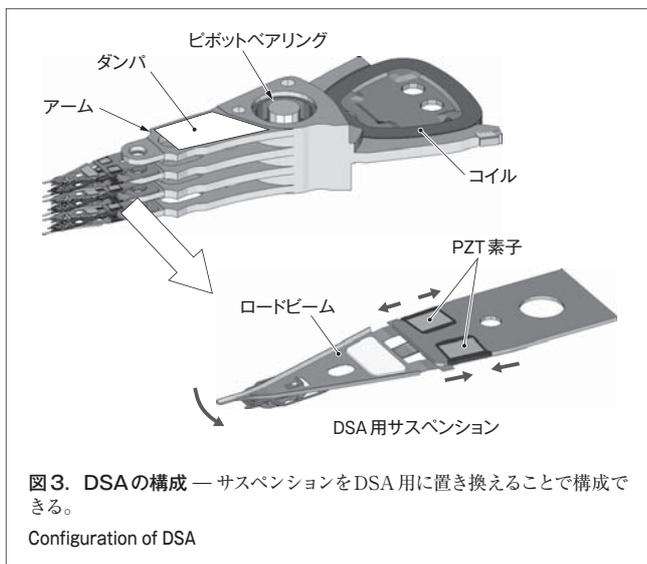
従来型のSSAを用いたサーバ向けHDDの構造を図1に示す。ディスクの高速回転に伴って発生する空気流により位置決め精度が悪化するのを抑制するため、破線で示すスクイーズプレートがディスク間に組み込まれている。また、高速アクセス時の残留振動を抑制するため、アームにはダンパ材が貼り付けられている。これらは一般にサーバ向けHDDだけに適用さ



れており、モバイル機器向けHDDでは使用されていない。

従来のサーバ向けHDDにおけるアクチュエータの周波数応答特性 (FRF: Frequency Response Function) を図2に示す。約9 kHzに主共振モードがあり、アクセス性能を向上させるためには、アクチュエータのFRFがより高周波数域までフラットであることが望ましい。しかし、この主共振モードは、アクチュエータの質量とピボットベアリングのバネ剛性で決まる共振周波数以上には向上させることができず、性能向上の限界が近づいていた。

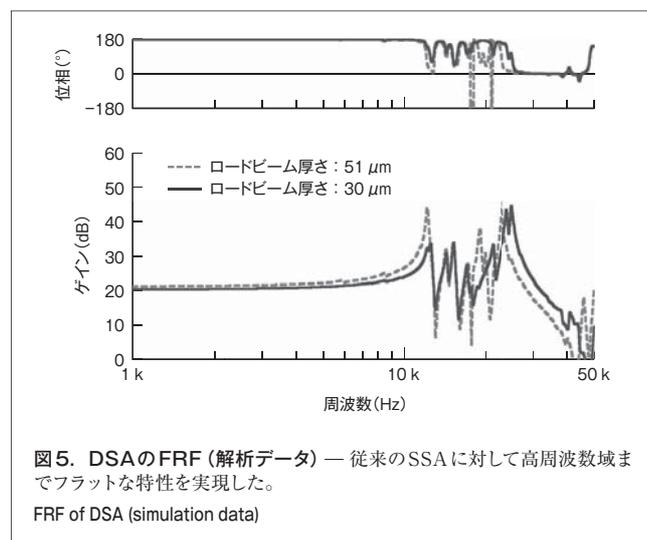
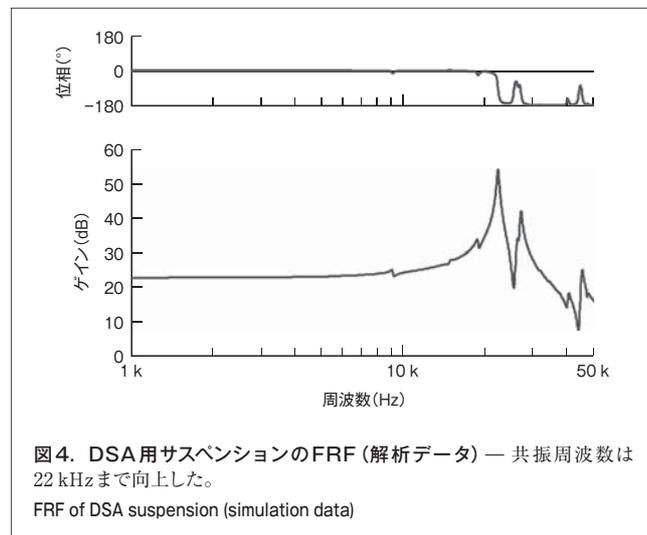
試作したDSAの構成を図3に示す。1段階目となる従来のVCM駆動のアクチュエータ先端に、2段階目となる共振周波数のより高いサスペンション駆動のアクチュエータ機能を付加したもので、より高精度で高速の性能を実現できる。DSA用サスペンションには二つのPZT素子が搭載されており、電圧を加えることで左右のPZT素子がそれぞれ逆位相で伸縮し、先端の



磁気ヘッドをトラック方向に変位させることができる。先端のロードビームだけを駆動させるため、駆動部の質量が小さく共振周波数を高く設計しやすい利点がある。

DSA用サスペンション単体での、PZT駆動時の磁気ヘッド部のFRFを図4に示す。図2の共振周波数が約9 kHzであるのに対し、約2.5倍の22 kHzという高い共振周波数となっている。

ただし、図4の特性を持つDSA用サスペンションを1段階目アクチュエータのアーム先端に搭載してPZT駆動させた場合、FRFは図5に示すように変化する。単体時のFRFにはなかった10 ~ 20 kHz前後の共振ピークが新たに発生しているのがわかる。破線はロードビームの厚さが従来のサーバ向けHDDと同じ51 μm の場合、実線は従来より薄い30 μm の場合である。DSA用サスペンションを駆動したことにより1段階目アクチュエータのアームがその反作用で励振されるためであり、軽量である30 μm のほうが反作用が小さいため、51 μm の場合に比べて



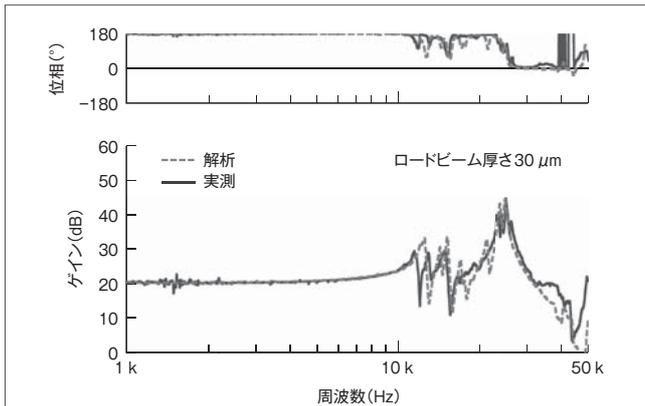


図6. DSAのFRF (実測) — 解析結果に近い良好な特性が得られている。
FRF of DSA (actual measurement)

ピークが10 dB以上低い。30 μm のピークレベルであれば、後述するDSA制御の工夫により、DSAの特性を十分に引き出すことが可能である。

これらの検討結果をもとに、厚さ30 μm のロードビームを用いて試作したDSAのFRF実測結果を図6に示す。解析結果に近い良好な特性が得られている。10 ~ 20 kHzの共振ピークが解析結果よりも低いのは、アームに貼り付けてあるダンパの効果と思われる。

3 2段サーボ

DSAを用いたヘッド位置決め制御を2段サーボと呼んでいる。従来の制御(1段サーボ)と2段サーボのそれぞれのブロック線図を図7に示す。DSAはVCMとミリアクチュエータ

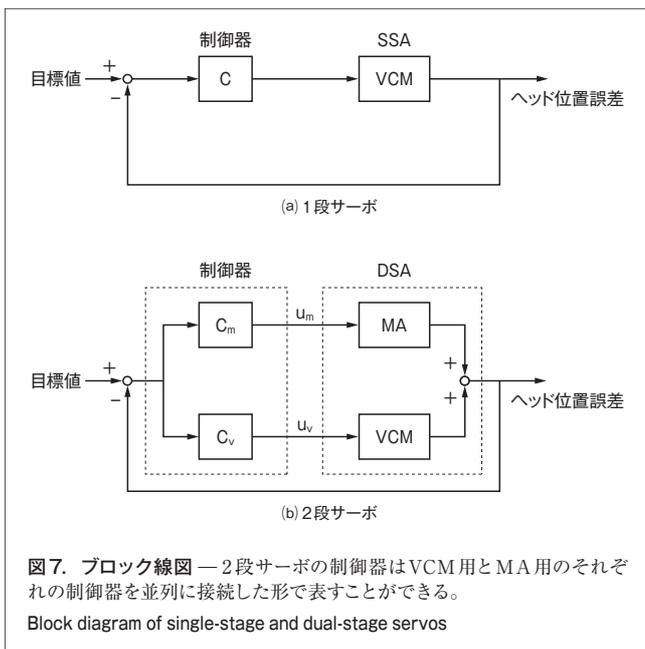


図7. ブロック線図 — 2段サーボの制御器はVCM用とMA用のそれぞれの制御器を並列に接続した形で表すことができる。
Block diagram of single-stage and dual-stage servos

(MA: Milli Actuator)が並列に接続され、ヘッド位置誤差はそれぞれのアクチュエータの出力が加算された値となる。制御器もVCM用とMA用のそれぞれの制御器 C_v 、 C_m を並列に接続した形で表すことができ、ヘッド位置誤差に基づいてそれぞれのアクチュエータに対する操作量 u_v 、 u_m を生成する。2段サーボでは、低周波数域を可動範囲の広いVCMで制御し、高周波数域を高速なMAで制御するようにそれぞれの制御器を設計する。これにより、VCMの低い共振周波数による制約を受けることなく、全体として広帯域の制御系を実現することができる。

2段サーボの開ループ伝達特性を図8に示す。制御帯域の目安となる、開ループ伝達特性におけるゲインのクロスオーバー周波数(ゲインが0 dBを横切る周波数)は約4 kHzとなっている。従来型のSSAで実現可能な制御帯域が約2.2 ~ 2.4 kHz程度であるのに対し、DSAにより約1.7倍の広帯域化が達成された。

感度関数のゲイン特性を図9に示す。これは、装置内の外

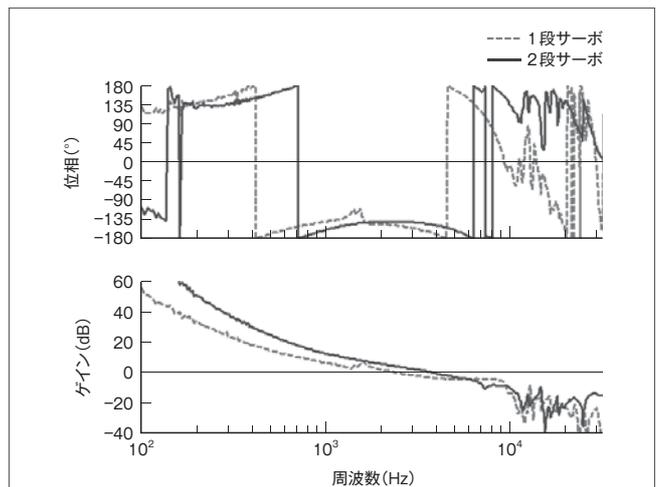


図8. 開ループ伝達特性 — 従来の1段サーボに対して約1.7倍の制御帯域を実現した。
Open-loop transfer functions of single-stage and dual-stage servos

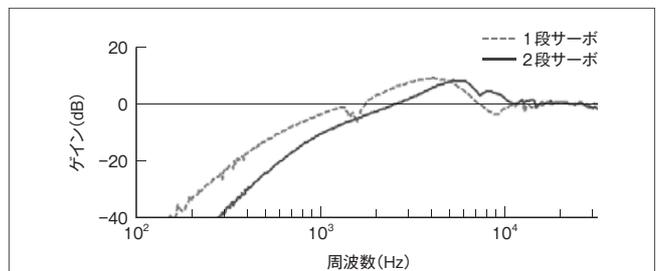
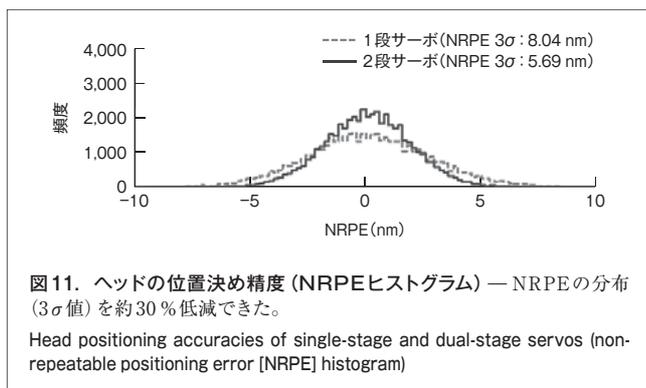
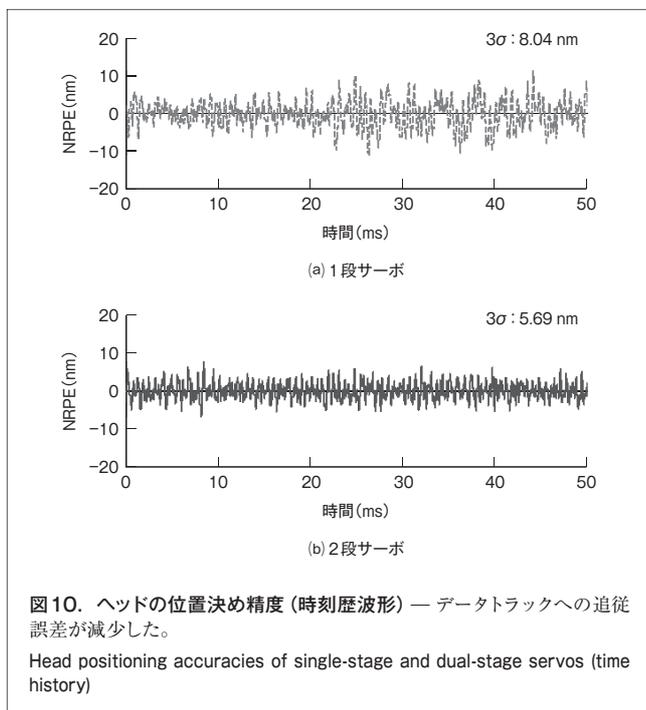


図9. 感度関数のゲイン特性 — 低周波数域で10 dB以上の圧縮率改善が見られた。
Gain characteristics of sensitivity functions of single-stage and dual-stage servos

乱成分がサーボ系によってどれだけ圧縮されるかの指標となる。制御系の広帯域化により、主として低周波数域の外乱成分が圧縮され、ヘッドの位置決め精度が改善される。

SSAとDSAそれぞれのヘッド位置誤差の時刻歴波形（時間軸に対する応答波形）を図10に示す。位置決め性能の指標として、データトラックへの追従誤差の回転非同期成分（NRPE: Non-Repeatable Positioning Error）が統計的にどれだけ改善したかを図11に示す。2段サーボ化により、従来方式に対してNRPEの分布（ 3σ 値）が約30%改善されていることがわかる。これは、現行より3世代先の装置に要求される位置決め精度に相当する。



4 あとがき

今回試作したDSAは、従来型のSSAに比べて位置決め精度及び制御帯域を大幅に改善できることを示した。現在、サーバ向けHDDの次機種への搭載に向けて実用性能を評価中である。

当社は今後も、高記録密度化に貢献できる高性能なアクチュエータや制御技術の開発を推進していく。

文献

- (1) Koganezawa, S. et al. Shear Mode Piezoelectric Microactuator for Magnetic Disk Drives. IEEE Transactions on Magnetics. **34**, 4, 1998, p.1910 - 1912.



佐々木 康貴 SASAKI Yasutaka

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 先行技術開発部グループ長。磁気ディスク装置の機構系の要素技術開発に従事。
Storage Products Div.



原 武生 HARA Takeyori

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 先行技術開発部参事。磁気ディスク装置のサーボ制御系の要素技術開発に従事。電気学会、日本機械学会、IEEE会員。
Storage Products Div.