

HD DVD システムの機構・サーボ技術

Mechanical and Servo System Technologies for HD DVD Drives

米澤 実

■ YONEZAWA Minoru

HD DVD 規格は、DVD との高い互換性を持った次世代 DVD の規格である。ドライブについても、DVD・CD ドライブで培った位置決め機構とサーボ技術（以下、機構・サーボ技術と略記）が適用でき、波長 405 nm のレーザにも対応した 3 波長互換型光ディスクドライブの現実的な解が、この規格によって提案されていると言える。

東芝は HD DVD ドライブを搭載した HD DVD プレーヤを試作し、従来の DVD ドライブと親和性（技術の互換性）が高い機構・サーボ技術の有用性を確認した。

HD DVD is the next-generation DVD, whose systems are compatible with the DVD systems. The mechanical and servo technologies for HD DVD drives can also be realized based on the mechanism and technologies adopted in conventional DVD drives.

Toshiba has developed a prototype HD DVD player equipped with an HD DVD drive and verified the performance of the drive. The results of the verification proved the applicability of the mechanical and servo technologies of conventional DVD drives.

1 まえがき

HD DVD は、再生専用型では 1 層当たり 15 G バイト、2 層で 30 G バイト、そして書換え型では 1 層で 20 G バイトの情報を収録するディスクの規格⁽¹⁾である。DVD の 3～4 倍となるこうした大容量・高密度化は、ディスクの線密度とトラック密度を上げることによって実現されており、波長 405 nm の青紫色半導体レーザを開口数 (NA) 0.65 のレンズで集光して形成される光学スポットで情報が記録・再生される。NA が 0.6 の DVD システムと同様に、対物レンズとディスクの距離が 1 mm 程度確保できるため、衝撃などの影響は従来の DVD ドライブと同様であり、スリム型ドライブが実現できる。また、ディスク表面でのスポット半径は、DVD の場合と比較しても 70% 程度に小さくなるだけであり、表面の傷やほこりなどの影響もほぼ同等である。このように、HD DVD 規格は、従来の DVD 規格との互換性が非常に高く、ドライブの機構・サーボシステムは、従来技術の延長で実現可能である。

もちろん、高密度化を実現するには精度の高い機構・サーボ技術は必要となってくる。線密度の向上には、PRML (Partial Response Maximum Likelihood) に代表される信号処理回路が大きく寄与しているが、DVD の約 2 倍となるトラック密度の向上にはトラッキング機構とトラッキングサーボシステムの特性向上が求められる。また、記録・再生用信号の品位を確保するため、フォーカス誤差精度は DVD の約 3 倍高くなった。更に、ディスクへのレーザ入射光軸が傾くことによって発生するコマ収差をチルト補正機構によって補正

し、光学スポットの品位を良好に保たなくてはならない。HD DVD システムでは、このような要求に応えるため、高次共振周波数の高いアクチュエータや広帯域制御技術、及びチルトアクチュエータが必須となる。しかし、いずれも従来の DVD・CD ドライブでも必要とされる要素部品と要素技術であり、HD DVD システムにおいても機構・サーボ技術への要求の方向性は変わっていないのである。

このように HD DVD ドライブの機構・サーボ技術は、従来の DVD・CD ドライブのそれと親和性の高い技術である。ここでは、今回開発した HD DVD ドライブの試作モデルでの機構・サーボ技術を中心に、その適用状況について述べる。

2 HD DVD の要求仕様

ドライブに求められる位置決め精度の比較を行うため、HD DVD-ROM を例にとり、HD DVD 規格として提案されているディスクの基準サーボ規格を、DVD-ROM の場合と比較して表 1 に示す。また、同様にチルト関連の規格を DVD と比較して表 2 に示す。

HD DVD では DVD の数倍の高い位置決め精度が求められるが、位置決めサーボシステムが DVD 相当の特性で実現できるように、外乱要因となるディスク特性の規格をやや厳しくしている。特に面ぶれ特性は、従来の DVD 製造ラインでの実績と照らしながら、実現可能な範囲で最大許容値を抑えるように設定されており、DVD の 2/3 の 200 μm 以内という規格になった。このように面ぶれ特性の規格を厳しくする

表1. DVDとHD DVD基準サーボ関連規格の比較

Comparison of reference servo specifications of HD DVD-ROM and DVD-ROM

項目	規格	
	DVD-ROM	HD DVD-ROM
ユーザーデータ容量	4.7 Gバイト/層	15 Gバイト/層
トラックピッチ	0.74×10^{-6} m	0.40×10^{-6} m
ラジアル方向の偏心率	50×10^{-6} m	30×10^{-6} m
許容トラッキング残差	0.022×10^{-6} m	0.014×10^{-6} m
トラッキング制御帯域	3.9 kHz	4.5 kHz
面ぶれ量	0.3×10^{-3} m	0.2×10^{-3} m
許容フォーカス残差	0.23×10^{-6} m	0.08×10^{-6} m
フォーカス制御帯域	2.7 kHz	4.9 kHz

表2. ディスクのチルト関連規格の比較

Comparison of disc tilt specifications

項目	規格			
	DVD-ROM	DVD-RAM	HD DVD-ROM	HD DVD-Rewritable
ラジアルチルト: α 角(°)	± 0.80	± 0.70	± 0.80 (1枚のディスク 全面で) 0.50_{p-p} (ディスク回転 1周内で)	± 0.70 (1枚のディスク 全面で) 0.50_{p-p} (ディスク回転 1周内で)
タンジェンシャル チルト: α 角(°)	± 0.30	± 0.30	± 0.30	± 0.20

p-p: 最大値と最小値の差分

ここで、ディスクのチルト特性も所定範囲内に制限することができる。このチルト特性は、ディスクの線方向を軸としたラジアルチルト特性と、半径方向を軸としたタンジェンシャルチルト特性で規定されるが、それぞれ全周での最大値と1周内の変化量で規定されている(表2)。HD DVD-ROMにラジアルチルトとタンジェンシャルチルトが存在したときの、エラーレートの測定結果を図1と図2に示す。横軸は、光ディスクに対するレーザ入射光軸と反射光軸との角度(α 角)で、入射光軸に対する光ディスクの傾きを示す指標である。ディスク回転1周におけるチルト量として、規格で規定した値の範囲であれば、良好なエラーレートが得られることがわかる。

また、ビットエラーレートが 3×10^{-4} となるチルト量をマージン限界ととらえると、1周内の許容チルト量規格の2~3倍はあり、マージンも十分であるといえる。

さて、このような位置決め精度を実現する機構・サーボ技術だが、面ぶれや偏心という光ディスクドライブ特有の大きな外乱を抑圧し、DVDの数倍の位置決め精度を実現する基準サーボの規格は、フォーカス制御、トラッキング制御共に帯域5 kHz程度である。ドライブとしては、5 kHzをやや超える帯域を確保するように制御系を設計すればよく、従来のDVD・CDドライブと事情は大きく変わらない。このため、制御対象となる位置決め機構の実現も容易である。また、

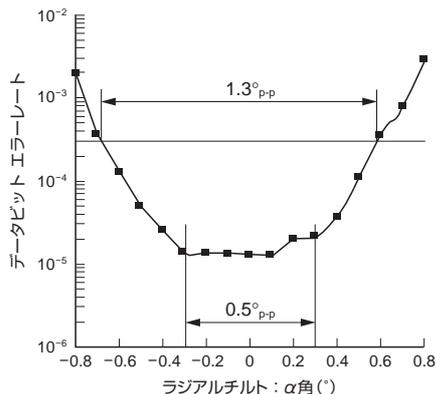


図1. ラジアルチルトとエラーレートの関係(測定結果) — ディスク規格を満足するラジアルチルト量であれば、十分なビットエラーレートを得ることができる。

Dependence of error rate on radial tilt

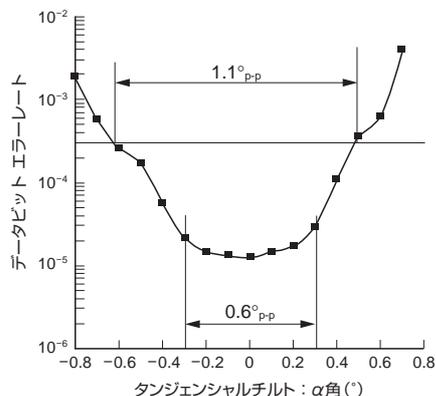


図2. タンジェンシャルチルトとエラーレートの関係(測定結果) — ディスク規格を満足するタンジェンシャルチルト量であれば、十分なビットエラーレートを得ることができる。

Dependence of error rate on tangential tilt

チルト制御については図1と図2で明らかなように、表2に示す規格いっぱいのチルトがあっても1周内のチルトは補正する必要がなく、後述するようにディスクの取付けなどによって発生する直流(DC)的なチルトを補正すれば、コマ収差の影響を十分許容範囲内に抑えることが可能である。

3 HD DVDシステムの機構・サーボ技術の実用化状況

今回開発したHD DVDドライブの試作モデルの機構部を図3に示す。また、このドライブを内蔵したHD DVDプレーヤの試作モデルを図4に示す。このドライブのスピンルモータとPUH(Pick Up Head)送り機構は、DVD・CDドライブと同様の機構を採用している。対物レンズを支持するレンズアクチュエータは、フォーカス、トラッキング、ラジアル

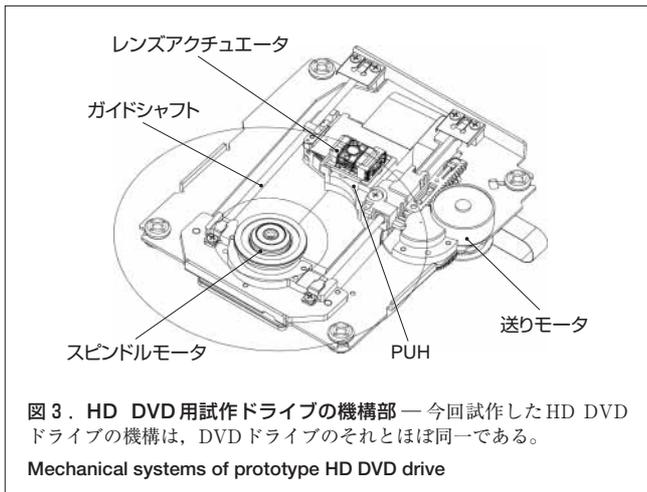


図3. HD DVD用試作ドライブの機構部 — 今回試作したHD DVDドライブの機構は、DVDドライブのそれとほぼ同一である。

Mechanical systems of prototype HD DVD drive



図4. HD DVDプレーヤの試作モデル — 試作ドライブが搭載されたHD DVDプレーヤとHD DVDディスクである。

Prototype HD DVD player

チルトの3軸に対物レンズの位置決めが可能なワイヤ支持型3軸レンズアクチュエータである。このドライブの機構・サーボ技術について説明する。

3.1 スピンドルモータ

スピンドルモータは、磁気エンコーダを搭載し回転速度検出が可能なタイプを用いている。HD DVDの1倍速の回転周波数はDVD-RAMなどの1倍速の回転周波数とほぼ同一であり、16倍速にまで対応できる昨今のスピンドルモータであれば、出力、精度共にHD DVDドライブとしても十分適用可能である。スピンドルモータの制御は、ROMの場合、ディスク半径位置に応じて回転線速が一定となるようにCLV (Constant Linear Velocity) 制御される。これは、ディスクからの再生信号を用いて回転速度を検出し、それが所定の速度となるように追従する制御である。記録系ディスクでは、半径位置に応じて複数のゾーンに分け、回転数一定で制御される。こうした制御は、すべてDVD・CDドライブと同様であり、従来技術での対応が可能である。

3.2 送り機構

この試作ドライブでは、PUH送り機構として平ギヤを組み合わせた駆動力伝達機構を採用し、DCモータで駆動している。DCモータには回転速度検出用の磁気エンコーダが搭載されており、マイナーループで速度フィードバックをかけてダンピングを稼いだ状態で、半径方向のアクセス動作とトラッ

キング中のPUH送り動作が制御される。アクセス動作は、速度検出用のエンコーダ出力を位置情報に読み替えて概略変位を算出しながら、目標位置が近くなるとディスク上のトラック横断情報を用いて正確な相対位置を検出し、位置決め制御される。速度制御が基本のDCモータであり、また、バックラッシなど駆動力伝達機構の非線形性もあって、正確な位置決めは不得意な面がある。このため、近年のDVDドライブでは、正確な位置決めが可能な位置制御型のステッピングモータの使用例も多く見られる。基本的にはどちらのモータを用いてもHD DVDの規格を満足する制御系は設計可能だが、特にコンパクトな設計が要求されるスリムドライブでは、ステッピングモータが有利である。

3.3 レンズアクチュエータ

レンズアクチュエータは、図5に示す3軸レンズアクチュエータを採用しており、対物レンズ保持体は、6本のワイヤで支持されている。このようなワイヤ支持型レンズアクチュエータは、対物レンズを平行リンク機構で変位させることにより、ディスク上の光学スポットを変位させる。フォーカス方向とトラッキング方向という、互いに直交する2軸に変位可能な2軸レンズアクチュエータは、従来のCDドライブやDVDドライブなどで一般的である。今回の3軸レンズアクチュエータは、ラジアルチルトについても、物理的に対物レンズを傾けることで、レーザー入射光軸に対して傾いたディスクとの相対チルトを補償することができる。

こうしたアクチュエータへの要求は、表1に示したような高精度位置決めを高い制御帯域で達成するため、高次共振周波数を高く実現することであった。また同様に、DC駆動感度や加速度感度なども、各種外乱を抑圧して高い位置決め精度を実現するには不可欠である。ただしこうした要求は、

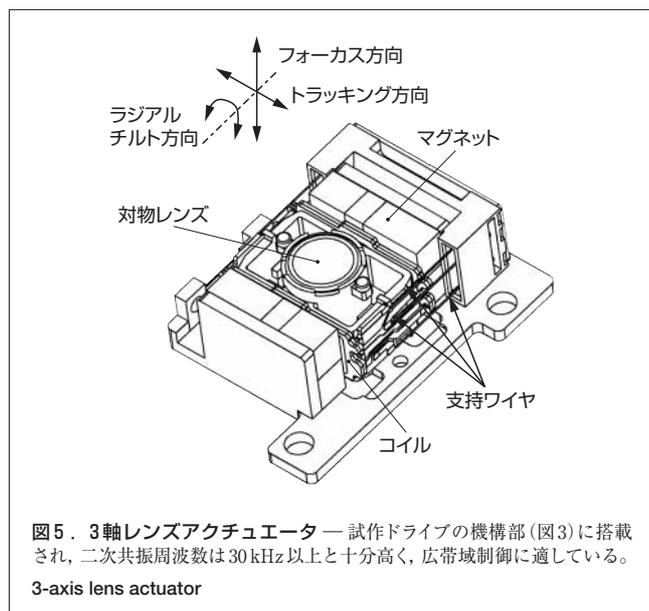


図5. 3軸レンズアクチュエータ — 試作ドライブの機構部(図3)に搭載され、二次共振周波数は30 kHz以上と十分高く、広帯域制御に適している。

3-axis lens actuator

高倍速DVD・CDドライブでも同様にあり、この要求に応えられるアクチュエータの開発が進んできた。3軸レンズアクチュエータも、記録型DVDドライブなど向けに開発され実用化されている。

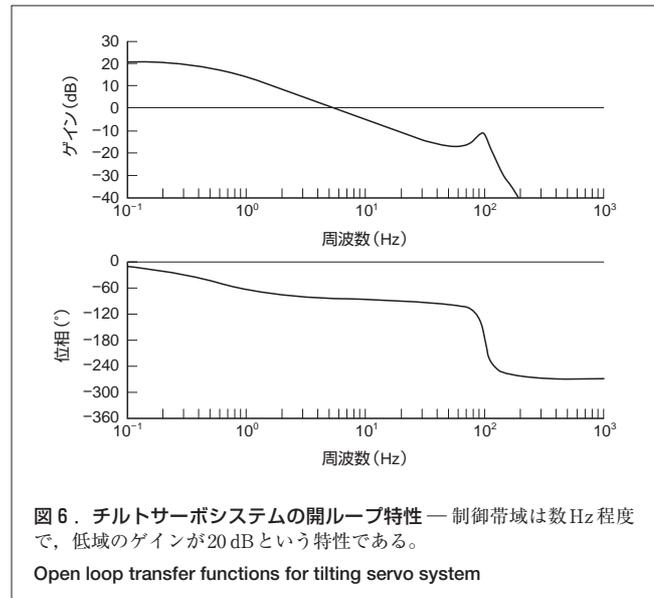
ワイヤ支持型レンズアクチュエータは、これらの要求を満足するように設計可能なアクチュエータである。レンズの軽量化や対物レンズ保持体の小型化によって、高い高次共振周波数や高い加速度感度を実現できる。また、磁束密度の高い磁石の適用や磁気回路の工夫なども、駆動感度の向上を助けている。この試作ドライブのレンズアクチュエータのフォーカス方向とトラッキング方向の主共振周波数は45 Hz程度で、二次共振周波数は30 kHzを超える。このように高倍速DVDに対応できるアクチュエータであれば、HD DVD規格を満足するディスクに十分対応できるフォーカス・トラッキング制御システムが設計可能である。

3.4 チルト機構と制御

このレンズアクチュエータはラジアルチルト機構を備え、そのチルト特性は、DC的なチルト制御が実現できる特性である。チルト量を検出してチルトサーボをかける場合と、ディスクからの再生信号を用いてチルト制御する場合について説明する。

3.4.1 チルト検出結果によるチルトサーボ 外乱量としてのチルト情報が得られれば、このチルト量の影響を抑えるように対物レンズを傾けるチルトサーボが採用できる。図1の結果を見ると、ラジアルチルトがディスク1周当たり0.5°程度発生しても、これを補償する必要はないが、そのチルト変動の中心をエラーレート最適となるチルト量に制御する必要がある。このためにはDC的なチルトサーボで十分で、ディスク1回転当たりで変動するラジアルチルトに追従する必要はない。アクチュエータのラジアルチルト方向の主共振周波数が100 Hz程度の場合、ディスクのチルトを補償するチルト制御系を設計すると、例えば図6のような開ループ特性が考えられる。制御帯域は、最外周でのディスク回転数以下の帯域であるが、DC的なチルトについては外乱としてのチルト量を1/10程度に抑えることが可能な制御系である。

3.4.2 ディスクからの再生信号によるチルト制御 ROMディスクや既に情報が記録されているディスクの場合、ディスクからの再生信号を用いてエラーレートが最適となるようにチルト制御することも可能である。例えばディスク挿入時に、半径位置に応じて補正すべきチルト量を再生信号の品位を見ながら記憶し、PUHの現在位置に応じて記憶した目標値を出力するようにチルト制御を行うことができる。このようなチルト制御系は非常に簡便で、従来のDVD・CDドライブでも利用されている方式である。このようにHD DVDドライブのチルト機構と制御も、従来技術の延長で実現可能なものである。



4 あとがき

HD DVD規格に対応した光ディスクドライブは、従来のDVD・CDドライブの機構・サーボ技術をベースに設計可能な装置である。チルト制御が必須となり、フォーカス制御とトラッキング制御の許容位置決め誤差は厳しくなるが、装置全体の設計としては、DVD・CDドライブで培った思想に基づいた設計が可能な規格であるといえる。

機構・サーボ技術の観点からは、3波長互換ドライブ装置やノートパソコン用スリムドライブ装置の実現性は非常に高く、HD DVDシステムで実現する高品位映像を安価に身近で楽しみたいというユーザーの要求や期待に合致していると考えられる。許容精度が厳しくなることによって、装置のばらつきやディスク特性のばらつきに対するロバスト性が更に求められるのは事実だが、制御システムでの調整自動化や学習によって、ロバスト性を向上させる技術を開発し、ユーザーの期待に応える商品開発をサポートしていく。

文献

- (1) Kashiwara, Y. "Measure to evaluate readout signal quality for the system using PRML". Optical Data Storage 2004. B.V.K.Vijaya kumar and Kobori, H. Monterey, 2004-04. The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE). SPIE, 2004. p.71 - 82. Apr. 2004.



米澤 実 YONEZAWA Minoru, D.Eng.

デジタルメディアネットワーク社 コアテクノロジーセンター 光ディスク開発部グループ長、工博。光ディスク装置のシステム開発に従事。日本機械学会、電気学会会員。Core Technology Center