光ディスク装置におけるメカトロニクス技術

Mechatronics Technologies for Optical Disc Drives

早 山 徹*, 市 川 厚 司*
Toru HAYAMA Atsushi ICHIKAWA

Key Words: Data Processor, Precision Machine, Electronics, Application of Control, Mechatronics, Optical Disc

1. はじめに

最近大容量データファイル、イメージファイルとしての光ディスク装置、ビデオディスク装置、オーディオ用コンパクトディスク装置など光記憶、技術を応用した商品が急激に増えてきており、今後の成長が期待されている。従来は磁気ディスク装置、磁気テープ装置、ビデオテープレコーダ (VTR)、オーディオテープレコーダなど磁気記憶再生技術を使ったものが中心であり、これらが扱う情報量の増大や小形化の要求に対応して記憶の高密度化が進んできた。磁気記憶の高密度化においては磁気ヘッドとディスクやテープなどの媒体のクリアランスをサブミクロンオーダーの小さい値に安定に保つことが不可欠であり、ヘッドや媒体の摩耗や破壊、表面のよごれなどを含めたヘッドと媒体とのインタフェース技術が最大の課題になってきている。一方光記憶においては光ヘッドと媒体を非接触にできることが特徴であり、信頼性をそこなわずに高密度化が達成できる方式として期待されている。それにしても高密度化のためには光ヘッドと媒体の相対位置を精密に制御する必要があり、ここに高度なメカトロニクス技術が駆使されている。本稿では光記憶におけるメカトロニクス技術について紹介することにした。

2. 光ディスク装置の概要

光ディスク技術応用製品は表1に示すように多岐にわたっている。方式別に分けるとすでに書き込まれた情報を読み出すだけのものと、1回だけ書き込み可能なもの (追記形)、さらに書き込まれた情報を消去して新しい情報を書き込めるもの (消去可能形) とがある。読み出し専用光ディスクは原盤にレーザで情報を記録し、それをプラスチック円板に転写成形したディスクを再生する装置でオーディオ用コンパクトディスク、光ビデオディスク、CD ROM (Compact Disc Read Only Memory) などに用いられている。追記形は20 mW以上の強いレーザで円板の薄膜上にピットを形成することにより情報を書き込み、5 mW程

表1 光ディスク製品の種類

		デジタル	アナログ
読み出し専用形		○オーディオ用コンパクトディスク ○CD ROM	○光ビデオディスク
記録再生形	追記形	○追記形デジタルファイル	○ビデオ画像ファイル
	消去可能形文献 (1)	試作発表例 KDD, ソニー, 日立, シャープ, 三洋, フィリップス	発表例なし
	相変化	発表例なし	試作発表例 松下

○印は製品化されているもの

* 正員, (株)日立製作所機械研究所 (〒300 土浦市神立町502)。

度の弱いレーザを使ってピットの有無を検出することにより情報を読み出す。消去可能形には光磁気方式と相変化形方式の2種類がある⁽¹⁾。光磁気方式は磁性薄膜上の光スポットに比較して十分大きな領域に磁場を与えておき、しばらくした光スポットの当たった領域だけがその熱によって磁化される性質を利用した方式である。また読み出しは磁性薄膜の磁化された部分を光が通過または反射するときに偏光面が回転する、いわゆるファラデー・カー効果を利用して行われている。一方の相変化形方式は光の照射により材料内に相変化が生じ、それにとまって反射率が変わることを利用して記録再生を行うものである。

これらの光ディスク装置はそれぞれの特徴を生かして、少しずつ異なる技術で構成されているがその基本となるところは同じである。図1⁽²⁾に光ディスク装置の構成を追記形を例にとって示す。信号処理系からの書き込み信号はレーザ光源からのレーザの強度変化に変換され、光学系を通して光ディスク上の薄膜に照射される。光スポットの径はおよそ $1\mu\text{m}$ 程度であり、照射位置は高密度であればあるほど高精度を要し、光スポットのピッチがおよそ $1.6\mu\text{m}$ 程度であるので位置決め精度はおよそ $0.1\mu\text{m}$ を要する。また記録膜上に光スポットの焦点を結ばせるためのフォーカシング制御も重要で、その精度はおよそ $1\mu\text{m}$ 程度である。

一方読み出しの場合は一定の強度のレーザを書き込みの場合と同様な系で照射し、その反射光を光学系を介して光電変換素子で受けピットの情報として読み出す。

図1 光ディスク装置の構成

表2 光ディスクにおけるサーボ

動きの方向	サーボ種類	機能
R (ディスク半径方向)	ラジアル送り (アクセス) トラックフォロ ウイング	半径方向移動 トラック追跡
θ (周方向)	ディスク ジッタ	ディスク回転 同期取り
Z (ディスク法線方向)	フォーカス	焦点合わせ

光ディスク装置におけるサーボ系の機能をまとめて表2に示す。ラジアル送りサーボは目標のトラックにヘッドを移動させるためのもので、高精度でしかも高速の位置決めが要求される。トラックフォロウイングサーボは円板の振れまわりやトラックのまがり、装置の振動などの外乱に対し、ヘッドを正確にトラックに追従させるものである。

ジッタサーボはビデオディスクなどでディスクの回転変動がある場合画質劣化が生じるため、光ヘッドをディスクの周方向に動かして、それらを補償する目的で付加されている。ディスクサーボはディスクの回転を一定に保つ目的と、また機種によってはトラックの半径によらず周方向速度を一定にする方式をとっているものであり、その場合のトラックに応じた回転速度制御を行うことを目的としている。

フォーカスサーボはディスクの面ぶれ、うねり、あるいは振動などによるヘッドとディスクの相対変位を補償するためのもので、高密度記録再生のための微小光スポット形成ばかりでなく、トラックエラー検出のためにも重要である。

これらのほか光ディスクの要素技術としてディスクの薄膜材料およびその製造技術、読み出し専用ディスクの量産技術、レーザ光源技術、光学系技術、信号処理技術など極めて多岐にわたるが、本稿では紙面の都合で割愛し、ヘッドとディスクの相対位置決めを目的としたメカトロニクス技術を中心に以下述べることにする。

3. 光スポット位置決め技術

3.1 各種ディスクのトラック情報と検出方法

各種ディスクのトラック情報の形態と代表的な位置ずれ検出方法を分類して表3に示す。ビデオ

ディスクやオーディオディスクなど読み出し専用ディスクでは記録情報そのものがトラック情報を兼ねており、フォーカスエラー検出には非点収差方式、トラックエラー検出には3スポット方式が最も多く使われている。非点収差方式は図2に示すように非点収差光学系の二つの直交する焦線の間に4分割センサを設けたもので、フォーカスエラーによってセンサ部の光像が円から長円に変形することによる光量分布変化を検出する⁽⁴⁾。3スポット方式は図3に示すように中央のスポットで情報を読み出し、ディスク半径方向に少しずらして配置した二つのスポットの信号の差でトラックエラーを検出するものである⁽⁵⁾。

一方追記形の場合は半導体レーザの出力がディスクに情報を記録するのに必要なパワーに対し余裕が少ないため、1スポットですべての検出を行う。記録の際にも光スポットを正確に位置決めする必要があるため、案内溝を設けたディスクを用いるものが多い。トラックエラー検出には図4に示す回折光差動方式が多く用いられる。これは

零次光と±一次の回折光の和である溝からの反射光を2分割センサで受け、光スポットが溝の中心からずれた時に発生する両回折光間の強度のアンバランスを2分割検出器で検出するものである⁽⁶⁾。案内溝方式のディスクでは非点収差方式を用いるとフォーカスエラー信号はトラックエラーからの干渉を受ける。そのためナイフエッジ法⁽⁷⁾や像回転法⁽⁸⁾などを用いて干渉を低減した例が発表されている。

3・2 光スポット位置決め機構 光ディスク装置の動作中、フォーカスサーボ系は常に作動し、光スポットを合焦状態に保つ。一方トラックサーボ系は案内溝上に光スポットを常に追従させる。光スポットの位置決め機構とし種々の方式があるが、追記形光ディスクのヘッドを例として述べる。図5に示すようにヘッドはボイスコイル形リニアモータによって位置決めされる。しかし光スポットのトラック位置決め精度は $0.1\mu\text{m}$ 程度を要求されるため、これだけでは要求精度を達成することはむずかしい。そのためさらに微細な

表 3 各種ディスクのデータ、トラック情報と位置ずれ検出法の代表例

	情報形態	トラック情報	トラックピッチ	トラックエラー検出方式	フォーカスエラー検出方式
オーディオ用コンパクトディスク	凹凸	同左 (データと共通)	$1.6\mu\text{m}$	3スポット ヘテロダイン ⁽³⁾	非点収差 臨界角 ⁽³⁾
ビデオディスク	凹凸	同左 (データと共通)	$1.6\mu\text{m}$	3スポット	非点収差
追記形	濃淡	案内溝	$1.6\mu\text{m}$	回折光差動	ナイフエッジ 像回転
消去可能形	光磁気	磁化方向	案内溝	回折光差動 3スポット	像回転 非点収差
	相変化	濃淡	案内溝	—	—

図 2 非点収差方式フォーカスエラー検出法

図 3 3スポット方式トラックエラー検出法

図 5 追記形光ヘッドおよびヘッド移動機構の例
位置決めを行うための機構を必要とする。この微調整機構として図 6⁽⁹⁾ に示す三つの方式が考えられる。偏向鏡はいわゆるガルバノ鏡で、鏡の回転により光スポットを移動させる。これは、軽量、高剛性にできるため優れた応答性が必要な場合に適している。しかしその反面絞り込みレンズとして広い範囲にわたって収差が小さいものが必要である。また光スポットを光軸中心から移動させると戻り光が横に移動するため、回折光差動方式の場合、トラックエラー信号に誤差が出やすい問題がある。レンズ並進方式は、対物レンズを横に動かす方法でレンズ収差への要求は比較的ゆるく、戻り光の横移動の影響も偏向鏡方式に比較して一般的には小さい。フォーカス制御のためにレンズ

図 4 回折光差動方式トラックエラー検出法

方式	偏向鏡	レンズ並進	鏡・レンズ並進 (MALS)
駆動原理			
項目			
レンズ差	△	○	◎
戻り光の横移動	△	△	◎
可動部重量	◎	◎	○

図 6 トラック位置決め微調整機構

を光軸方向へ動かす必要があるため、本方式は必然的にレンズを二次元的に動かすことが必要となる。鏡・レンズ並進方式は光学的には最も望ましい方式であるが、可動部重量が増える問題がある。またレンズは鏡とともにトラック方向へ移動するほかに、フォーカス方向に動いてフォーカス制御をしなければならず、支持機構に高度の技術が要求される。

図 5 に示した例は偏向鏡方式のものであるが鏡駆動機構の一例を図 7 に示す。十字板ばねで鏡を回転支持し、両端のボイスコイルで回転させる⁽¹⁰⁾。支持ばねの回転中心上に可動部の重心を置いてあるため、ヘッドがアクセスする時に大きな加速度が加わっても鏡の回転は小さい。レンズ並進方式は大部分の読み出し専用機に使われており、ばね支持形とピン支持形がある。図 8 はばね支持形の例であり、レンズ保持部をボイスコイルでフォーカスおよびトラッキング方向に並進駆

動する。ここで示す例は4本のワイヤばねで支持するものであるが、平行板ばねで支持する方式もある。レンズ並進方式の場合、レンズ保持部が回転してトラック位置ずれを生じる場合があり⁽¹¹⁾、これを防ぐためフォーカスあるいはトラック方向の推力中心と重心を合わせるほかに支持ばねの共振抑制に種々の工夫がこらされている。図8の例は密着巻きしたコイルばねを用いて支持ばねにダンピング効果を持たせたものであるが、金属のワイヤあるいは薄板にゴムをコーティングする方法も多く用いられている。ピン支持形は図9に示すように潤滑性に優れたテフロン系樹脂をコーティングしたピンでフォーカス方向に案内し、ピンを中心としてレンズ保持体を回転させてトラック方向の移動を行う⁽¹²⁾。ピンとの接触を極力小さくするためにレンズの反対側にバランスウェイトを設けて重心を中央にし、ピンを中心として駆動コイルが対称に設けられている。この方式は支持ピンと重心が一致しているため、外部からの加速度の影響を受けにくい利点がある。

図7 偏向鏡の例

図8 レンズ並進方式二次元アクチュエータの例

読み取り専用機では3スポット方式などレンズからの戻り光が横移動しても影響されにくい位置ずれ検出方式を採用している。そのためディスクが100 μm 程度の偏心を持って回転していても、レンズ並進方式によるレンズ移動のみで情報トラックに追従し、ヘッド移動機構はほとんど静止状態で読み出しを行う。そのためヘッド案内機構の摩擦や振動に対する要求はゆるく、含油合金などの滑り軸受が使用されている。一方追記形の光ディスク装置ではレンズからの戻り光の横移動によるトラックエラー信号の誤差を抑制するために、振幅の大きい低周波成分はヘッド移動機構で追従し、残りの振幅は小さいが高周波の成分は微調整機構で追従する、いわゆる2段サーボ方式が取られることがある。図5は偏向鏡方式を用いたものの一例であり⁽¹³⁾、ヘッド移動機構は走行摩擦を低減し、かつ安定に走行するために玉軸受を用いた案内機構を用いている。レンズ並進方式の微調整機構を使用した例を図10に示す。この方式はレンズとヘッド本体の相対変位を検出し、ディスクの案内溝に追従しているレンズが常にヘッド本体の所定のところに位置するようにヘッド本体を制御するものである⁽¹⁴⁾。アクセス時に大きな加速度がヘッドに加わっても本方式ではレンズが振動しないため、高速アクセスに適した方式と言える。

以上に読み出し専用形および追記形光ディスクについて光スポット位置決め技術を説明したが、消去可能形の装置には追記形光ディスクの光スポット位置決め技術がそのまま使用できる。光磁気方式では反射光量変化が小さい利点があり、追記形では使用例の少ない3スポット方式によるトラ

図9 ピン支持回転形二次元アクチュエータの例

図 10 レンズ変位検出方式 2 段トラック位置決めサーボ系の例 (フレームはヘッド移動機構を意味する)

ックエラー検出や非点収差方式によるフォーカスエラー検出を行っている例がある⁽¹⁵⁾。

4. 今後の技術課題

光ディスクは交換可能の媒体でしかも高密度であるという長所を持つ反面、現状では磁気ディスクに比較して情報転送速度が低く、アクセス時間も長い。消去可能化技術の開発促進とともに情報転送速度の向上およびアクセス時間の短縮が、光ディスク発展のための主要課題となっている。

情報転送速度はレーザーパワーによって制限されている現状であるが、大出力半導体レーザーが開発されつつあるのでディスク回転速度の高速化による情報転送速度の向上が期待される。線記録密度の向上を考慮しても、磁気ディスクの転送速度に近づけるにはディスクの回転速度を現状の 2～3 倍に相当する毎分 1800 回転以上にすることが必要である。ディスクの回転速度の二乗に比例してディスクの面振れおよび偏心加速度が増大するため、フォーカスおよびトラックサーボ系の追従性を大幅に向上することが要求され、その実現のためにフォーカスおよびトラック位置決め微調整機構のよりいっそうの高剛性化と軽量化が必要である。

一方アクセス時間は加減速、整定待ち、トラック本数調整および回転待ち時間からなるが、回転

待ち時間はディスク回転速度で決まるので、残りの各時間を短縮することが必要になる。加減速時間短縮のためにヘッドを含むヘッド移動機構の軽量化とアクチュエータの高出力化が望まれる。特に磁気ヘッドに比較して大きいヘッド重量の大幅低減が重要である。整定待ち時間およびトラック本数調整時間については無視し得るほどに改善された例も報告されており⁽¹⁶⁾、解決されるのも遠くないと期待される。ヘッドの軽量化は分離形ヘッド⁽¹⁷⁾など方式的な工夫のほか、オーディオ用コンパクトディスクで行われているような各部品の改良による小形化と使用条件に合わせた位置決め機構の改良によって進められ取ると考えられる。

オーディオ用コンパクトディスクなどの読み取り専用形光ディスクが装置および媒体の低価格化で急速に普及したように、記録再生形光ディスクも小形・低価格化することによりパソコン用ファイルやオーディオ記録装置として広く使用されていくものと期待されている。読み取り専用形に比べて光学系や位置決め系の精度をより厳しく要求される記録再生形の光ディスク装置および媒体を小形・低価格化する上で、より高度のメカトロニクス技術を展開していく必要がある。更に将来に向けて光集積回路技術を応用した光ヘッドの研究が進められており⁽¹⁸⁾、現在の磁気ディスク装置と同様に複数のヘッドを使用した光ディスク装

置や小形光ディスク装置が実用化されると予想される

5. おわりに

光ディスク装置におけるメカトロニクス技術として光スポット位置決め技術を中心に述べた。光ディスク装置の位置決め技術は $0.01\mu\text{m}$ オーダの値を問題とする極めて微細なものであり、位置ずれ検出方式や位置決め機構に特徴あるものが数多く開発されている。とは言え位置決め技術の基本としては従来と何ら異なるものではない。従来光ディスクに関する機構面からの発表例が少ないが、機械力学などを中心として検討すべき課題が数多く存在しているおり、本学会を始め、各方面での発表を期待する。

光ディスクは成長を始めたばかりであり、非球面レンズなどの新光学部品の開発により高性能化するとともに幅広い分野に応用されていくものと考えられる。更に光集積回路技術の進歩とともに超小形光ヘッドが実現し、光ディスクが超小形から超大容量まで各分野の記憶装置やプレーヤにますます広く使用される日を期待したい。

最後に本稿執筆にあたり、資料を提供して頂いた当社中央研究所ならびに機械研究所の関係各位にお礼申し上げます。

(原稿受付 昭和 61 年 1 月 16 日)

文 献

- (1) 伏木, 日経エレクトロニクス, 365 (昭 60), 167.
- (2) 中山, エレクトロニクス, 28-5 (昭 58), 491.
- (3) 武者・ほか 5 名, テレビジョン学会技術報告, OPT 129 (昭 56), 7.
- (4) Bricot, C., ほか 2 名, *IEEE Trans.*, CE-22-4 (1976), 304.
- (5) Bouwhuis, G. and Burgstede, O., *Philips Tech. Rev.*, 33-7 (1973), 186.
- (6) 賀来・ほか 3 名, 第 30 回応用物理学会関係連合講演会講演予稿集, 7P-X-7 (昭 58-4), 89.
- (7) 大原・ほか 3 名, 昭和 56 年度電子通信学会全国大会講演予稿集, (昭 56-10), 1-221.
- (8) 中村・ほか 3 名, 第 30 回応用物理学会関係連合講演会講演予稿集, 7P-X-7 (昭 58-4), 89.
- (9) 浮田・金子, 電子通信学会誌, 66-8 (昭 58), 835.
- (10) 市川・ほか 2 名, 機講論, No. 840-8 (昭 59-8), 7.
- (11) 三枝・ほか 5 名, 文献(10)の 10 ページ.
- (12) 近藤・ほか 4 名, 三菱電機技報, 58-11 (昭 59), 742.
- (13) 前田・ほか 2 名, テレビジョン学会技術報告, ICS 63-7 (昭 58), 37.
- (14) 下生・ほか 2 名, 昭和 58 年度電子通信学会総合全国大会講演予稿集, 1605 (昭 58-4), 6-90.
- (15) 小林・ほか 4 名, 電子通信学会技術研究報告, MR 84-38 (昭 59), 11.
- (16) 稲田・ほか 2 名, 電子通信学会技術研究報告, MR 85-32 (昭 60), 17.
- (17) 前田・ほか 3 名, 第 45 回応用物理学会学術講演会予稿集, 13 a-E-5 (昭 59-10), 52.
- (18) 真・ほか 3 名, 電子通信学会論文誌, J 68-C-10 (昭 60), 803.