3. CD-ROM ドライブ装置

正会員 小林 明†

1. ま え が き

CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory) ドライブ装置が登場して 10 年余り経過する。この間、CD-ROM 論理ファイルフォーマットの標準化¹⁾ パーソナルコンピュータ (パソコン) 用オペレーティングシステム (OS) の CD-ROM サポートあるいは、音声や動画といった時間軸の入った大容量データを扱うアプリケーションの増加などにより、CD-ROM がマルチメディアデータやソフトウェアの保存・流通・出版媒体として種々の分野で認知されてきた。これにともない、当初は限定されたアプリケーション向けであった²⁾ CD-ROM ドライブ装置は、パソコン市場向けに出荷台数を急激に伸ばしている。1995 年は全世界で

2000 万台以上の出荷が見込まれている。

ここでは、普及の牽引役となっているコンピュータ周辺装置としての CD-ROM ドライブ装置を中心に、構成、要素技術、将来動向を述べる。

2. CD-ROM ドライブ装置の構成と要素技術

CD-ROM ドライブ装置 (以下 CD-ROM ドライブと呼ぶ) は、ドライブメカニズム、ドライブコントローラならびにホストインタフェースとから構成されており、図 1 にその基本構成を示す。

図 1 において、光ピックアップにより読出された信号は RF シグナルプロセッサに入力され、光ピックアップサーボに必要なフォーカス/トラッキングエラー信号と EFM (Eight to Fourteen Modulation) デー

図 1 CD-ROM ドライブ基本構成図

† 株式会社東芝 マルチメディア技術研究所
 “CD-ROM Drive Unit” by Akira Kobayashi (Multimedia Engineering Lab., Toshiba Corp., Kawasaki)

写真1 ハーフハイトフォームファクタのCD-ROMドライブの外観

写真2 光ピックアップ駆動機構を含むメカニズムの外観

タ信号とが生成される。アクチュエータドライバは、サーボプロセッサにより処理されたサーボ信号により光ピックアップのアクチュエータを駆動し、レーザビームのフォーカスとトラッキングを制御する。CD-DA (CD Digital Audio) データプロセッサでは、EFMデータ信号の復調とCD-DA レイヤのエラー訂正が行われる。CD-DA ディスク再生時には、処理データを16ビットオーディオデータとしてDAコンバータに送り、CD-ROM ディスク再生時にはコンピュータデータとしてCD-ROM データプロセッサに送る。

CD-ROM データプロセッサは、CD-ROM データストリームのデコードとエラー訂正を行い、ホストインタフェースを経由してホストコンピュータに処理済みのデータを転送する。

マイクロコントローラは、ディスクデータ読出しにともなう光ピックアップの送り制御から処理済みのデータのホスト転送に至る、一連のドライブシステムの動作を統括制御している。

コンピュータ内蔵仕様ドライブの場合、上述のメカニズムとドライブエレクトロニクスは、フォームファクタがハーフハイト (146(W)×41.5(H)×203(D) mm) または1インチハイト (146(W)×24.5(H)×203(D) mm) と呼ばれる筐体に収納されている。

写真1にハーフハイトのCD-ROMドライブの外観を示す。

2.1 ドライブメカニズム

CD-ROMドライブのメカニズムは、光ピックアップ、光ピックアップ駆動部、ディスクローディング部、ディスクテーブルと一体化されたスピンドルモータ部とから構成されている。コンピュータ周辺装置であるため、独特の技術が使用されている。

(1) 光ピックアップ

CD-ROMドライブ用光ピックアップの光学系にはCDプレーヤと同様、開口数が0.45の対物レンズと波長780 nmの光源(レーザダイオード)が使用されている。フォーカス検出は非点収差方式である。トラッキング制御は安定した性能が得られる3ビーム方式が主流である。

信頼性確保、4倍速以上の高速再生、高速アクセスに対応するために、対物レンズ、フォトセンサ、レンズ駆動方式などに特別仕様の部品や構造を採用している。例えば、硬質プラスチック製対物レンズ、軸摺動方式の対物レンズ支持、 $I-V$ (フォト電流-電圧)変換アンプ内蔵フォトセンサ、軽量(15~20 g)・薄型(高さ10~12 mm)構造などである。

(2) 光ピックアップ駆動方式

高速アクセス仕様のCD-ROMドライブでは、リニアモータによる光ピックアップ駆動(ディスク半径方向の粗シーク)が一般的であるが、磁気回路強化や大電力駆動などの方法による高速アクセス性能の追求は、ドライブ重量の増加、大電力消費にともなう発熱増加、コストアップ等により、限界がある。

このため、低消費電力で磁気効率の高いブラシ付き直流モータを使用した平歯ギア駆動メカニズムが開発され、多くのCD-ROMドライブで採用されている。このメカニズムでは、駆動用直流モータに非接回転センサを取り付け、速度サーボを施している。その結果、リニアモータ駆動方式と同等で、スクリュウ駆動方式を大幅に上回る高速アクセス性能と低消費電力を実現している。写真2に、この方式を採用した光ピックアップ駆動部の外観を示す。高速送り時に、駆動モータ回転数が定格回転数(1800~2000 rpm)範囲内で所定のフルストローク送り時間が得られるようにギア比が設定されている。

(3) スピンドルモータ

スピンドルモータは、再生線速が一定となるようにデータ読出し位置に応じて回転数が変化する。現在、主流となりつつある4倍速ドライブの場合、スピンドルモータの回転数は、最内周読出し時に約2120 rpm、最外周読出し時に約800 rpmと、最大1320 rpmの回転数変化をする。同一のスピンドルモータで速度を増加させると、トルク不足によりアクセス位置に対応した回転数に達するまで回転数を制御する時間が長くなる。したがって、高速アクセス化のためにトルクアップしたスピンドルモータを採用し、高線速と高速アクセスの両立を図っている。

(4) ディスクローディング機構

傷などによる読取りデータの信頼性低下を防止するため、ディスクを保護・収納する統一規格のCDキャディ(Caddy)が開発され、ハイエンドCD-ROMドライブを中心にキャディローディング機構が採用されている。一方、普及型ドライブでは、CDプレーヤと同様の「ユーザフレンドリー」なトレイローディング方式が主流になっている。8 cm ディスクも12 cm 化アダプタを取付けることなく容易にローディングできる。トレイの開閉はローディングモータにより行う機構が一般的である。

トレイローディング方式ドライブの設置姿勢は水平が原則であるが、垂直にも対応しているキャディローディング方式ドライブとの設置姿勢の互換性を維持するため、垂直設置可能な製品仕様となる傾向にある。

2.2 ドライブコントローラ

ドライブコントローラは、サーボコントローラ、CD-DA データプロセッサ、CD-ROM データプロセッサ、アクセスコントローラおよびシステムコントローラから構成されている。これらの機能ブロックは2~3個のLSIに集積されている。

(1) サーボコントローラ

光ピックアップとスピンドルモータのサーボ回路の主要部分は、デジタル化される傾向にある。デジタルサーボの中核となるのが、ADコンバータ、デジタルイコライザ、DAコンバータである。サーボ系の設計パラメータである“周波数応答特性”、“オフセット”、“トラッキングバランス”等は、ローディングされるディスクと再生線速に最適な特性に自動調整される。デジタルサーボと自動調整により、サーボ調整用半固定抵抗器をなくせるとともに、高速再生時のプレイアビリティを1倍速時と同等に維持できる。

(2) アクセスコントローラ

平歯ギアによる光ピックアップ駆動方式では、送り

モータにホール素子を使用した位置・速度センサを取付けている。光ビームのトラック横断回数を計数する代わりに、位置・速度センサのパルス出力をカウントすることにより粗シーク精度を上げ、かつ速度成分を送りモータサーボ系にフィードバックすることにより加速・制動特性を向上させている。粗シーク時にアクセスコントローラに設定される速度プロファイルデータは、シーク目的アドレスとローディングされているディスクの記録線速/トラックピッチをもとに、マイクロコントローラによって生成される。

また、光ディスクドライブでは、精密シーク時の1トラックジャンプはオープンループ制御が一般的であるが、フィードバック方式によりシーク精度を向上できる。このようにして、ギア駆動方式でも目的アドレスへの高速・高精度アクセスが可能である。

(3) CD-DA データプロセッサ

CD-DA データプロセッサは、前述のサーボプロセッサとともに1チップLSI化されている。データの信頼性とアクセス時間短縮のために、次のような技術を採用している。

① CIRC(Cross Interleave Reed-Solomon Code)³⁾

エラー訂正能力を $C_1:2重/C_2:4重化$

② ビットクロック再生PLL回路のキャプチャレンジの広範囲化(中心周波数 $\pm 50\%$)

③ CD-ROM ディスク再生時、エラー訂正用バッファメモリに対する書込みと読出しをビットクロック基準とする

特に、②と③の機能を組合せることにより、再生線速が規定値に達する以前からデータの読出しが可能となり、アクセス時間を短縮できる⁴⁾。この方式は「可変線速読出し」等の呼称があり、スピンドルモータが低トルクであっても高線速読出しと高速アクセスを両立できるため、今後の4倍速を越えるCD-ROMドライブに対しては有効な方式である。図2に可変線速読出し方式の原理を示す。

(4) CD-ROM データプロセッサ

CD-ROM データプロセッサ部は以下の機能を持ち、ゲートアレイやスタンダードセル等によりLSI化され、「CD-ROM コントローラ」あるいは「CD-ROM デコーダ」として各種のLSIが供給されている。

- ・CD-ROM データストリームのデスクランブル
- ・CD-ROM 同期パターン検出/同期保護
- ・バッファメモリ制御
- ・CD-ROM レイヤのエラー検出/訂正
- ・外部デバイスへのデータ転送インタフェース
- ・マイクロコントローラインタフェース

図 2 可変線速読出しの原理図

CD-ROM エラー訂正では 2 系列のリードソロモン符号 P(26,24), Q(45,43) による⁵⁾ CIRC と CD-DA プロセッサから供給されるエラーポイントとにより P 系列 2 重/Q 系列 2 重の訂正能力を有するが、ハードウェアコスト低減のために、エラーポイントを使用しない P, Q 各系列 1 重の単一訂正が一般的に採用されている。また、CD-ROM XA アプリケーション (例えば Photo CD⁶⁾) のために、モード 2 フォーム 1 セクタのエラー訂正機能も有している。

CD-ROM ドライブでは、データアクセスの高速化のためにバッファメモリによるキャッシングが欠かせない。少なくとも最外周における最大回転待ち時間に対応するデータをバッファリングできる容量メモリ (1 倍速の場合 64 KB) が必要であるが、実際の製品では DRAM を採用した 128 KB から 1 MB のバッファが装備されている。

なお、上記の基本機能に加え、CD アプリケーションの多様化に対応して、音声付き電子ブックアプリケーション向けには CD-ROM XA ADPCM オーディオデコーダを、CD-G (CD Graphics) アプリケーション向けには Subcode R-W データエラー訂正機能を内蔵する場合もある。

(5) システムコントローラ

ドライブ制御の中核となるマイクロコントローラには、8 ビットあるいは 16 ビットマイコンが使用されている。マイクロコントローラは RAM とともに CD-ROM コントローラに集積した製品もみられる。

また、ファームウェアを格納する ROM にフラッシュ型 EEPROM を採用することで、ホストインタフェース経由でファームウェアをダウンロード後、オンボードプログラミングすることによりファームウェア

図 3 CD-ROM ドライブの SCS I インタフェースと SCS I バスへの接続

保守(修正・変更)が容易となる。

高速 CD-ROM ドライブの性能評価を左右する、デジタルビデオデータ再生に対応したバッファメモリ管理とローディングされたディスクのパラメータ (線速/トラックピッチ) を基準にしたアクセス制御が、ファームウェア設計上のポイントとなる。

2.3 ホストインタフェース

CD-ROM ドライブは、ホストインタフェースを介してパソコン等のホストコンピュータに接続されるが、採用されているホストインタフェースは SCS I (スカジと発音), ATARI (アタビと発音) およびベンダユニークインタフェースに大別される。

SCS I と ATAPI は標準化が進んでおり、電気的特性やコネクタ形状といった物理仕様からコマンドセットやバスプロトコル等の論理仕様までを明確に定義し、同種デバイス間の互換性維持を図っている。

ここでは、従来より CD-ROM ドライブに採用されてきた SCS I と、今後のパソコン内蔵用ドライブのホストインタフェースとして主力となりつつある ATAPI を説明する。

なお、ベンダユニークインタフェースは、ホスト側に専用インタフェースカードが別途必要なこともあり、ATAPI CD-ROM ドライブの普及により次第に市場から消えていくであろう。

(1) SCS I

SCS I (Small Computer System Interface) は、ANSI (American National Standards Institute) 規格として 1986 年に標準化された (SCS I-1 と呼ぶ)⁷⁾。1994 年には、SCS I-1 上位互換で機能拡張、高性能化、小型化を図った SCS I-2 が標準化されており、SCS I は小型コンピュータ用周辺機器インタフェース

図 4 ATAPI CD-ROMドライブのインタフェースとホストへの接続

表 1 ATAPI の転送方式と転送レート

(単位: MB/s)

	PIO	シングルワード DMA	マルチワード DMA
モード 0	3.33	2.08	4.17
モード 1	5.22	4.17	13.3
モード 2	8.33	8.33	—
モード 3	11.1	—	—

として広く普及している。

SCSI-2 では CD-ROM デバイスが定義され、CD-DA ディスク再生もサポートした専用のコマンドセットが規定されている⁸⁾。SCSI 内蔵といわれる CD-ROM ドライブのホストインタフェースには SCSI-2 が採用されており、図 3 に示すように、50 芯インタフェースケーブルを介して SCSI バスにターゲットとして接続される。バス上のデバイスは ID により識別される。不平衡ケーブルの場合、接続ケーブルの総延長は 6 m まで許容されており、コンピュータ内蔵用、外部接続用と、いずれの用途のドライブにも適用できる汎用性が高いインタフェース方式である。

SCSI-2 では、データ転送レートを最大 10 MB/s とする FAST SCSI と、データバス幅を拡張する WIDE SCSI という 2 種類の転送モードを導入しているが、CD-ROM ドライブでは 1 バイト幅データバスの SCSI-1 ベースの転送レート仕様である。最大転送レートは同期モードで 4~5 MB/s、非同期モードで 1.5~2 MB/s を仕様とする製品が多い。

SCSI バスフェーズは、コントローラ LSI に内蔵されたフェーズプロセッサにより高速に自動実行される方式が主流となっている。これによりマイクロコントローラの介在を最小限に抑え、プロトコルオーバーヘッドを最小化することができる。

(2) ATAPI

多くのパソコンには、ハードディスク (HDD) を用いたインタフェースである IDE (Integrated Device Electronics) インタフェース⁹⁾が装備されている。ATAPI (ATA Packet Interface) は、IDE インタフェースに CD-ROM ドライブを接続するためのインタフェースプロトコル規格である。

1993 年に提案された拡張 IDE インタフェース仕様¹⁰⁾¹¹⁾をベースに、米国の記憶装置の業界団体である SFF (Small Form Factor Committee) が標準規格を策定した¹²⁾。

ATAPI コマンドセットとコマンドフォーマットは、SCSI-2 の CD-ROM デバイスコマンドを継承している。各コマンドは 12 バイトの構成であり、これを 1 パケットとしてホストコンピュータから CD-ROM ドライブ内のレジスタに転送される。

ATAPI CD-ROM ドライブは 40 ピンのインタフェースコネクタを装備し、図 4 に示すように、フラットケーブルによりパソコン内の IDE コントローラに接続される。同一インタフェースには 2 ユニットまでの IDE HDD/ATAPI デバイスを接続 (マス/スレーブと識別) できる。

また、IDE/ATAPI インタフェースは 16 ビットデータバスであり、表 1 に示すように、ホスト転送レートは 13.3 MB/s までサポート可能である。現在までに商品化されている多くの ATAPI CD-ROM ドライブでは、PIO (Programmed Input/Output) モード 0 の仕様となっている。パソコンの内部バスの高速化にともない、PIO モード 3 (11.1 MB/s) の高速転送性能が求められている。

3. CD-ROM ドライブの仕様

光ピックアップ駆動にギア駆動方式を採用した、4 倍速 CD-ROM ドライブの製品仕様の一例を表 2 に示す。1 倍速モードのアクセス性能でも、リニアモータ駆動方式を採用した初期製品のアクセス性能を上回るとともに、消費電力が 7 W 以下と大幅に低減している。

表 2 4 倍速 CD-ROM ドライブの主要仕様

項 目	仕 様
平均ランダムアクセス時間	150 ms <300 ms> [†] <200 ms> ^{††}
平均ランダムシーク時間	120 ms <190 ms> [†] <160 ms> ^{††}
ホストインタフェース	SCSI-2
最大連続データ転送レート (4 倍速モード)	モード 1: 600 KBytes/s モード 2: 684 KBytes/s
バーストデータ転送レート	同期転送: 4 MBytes/s 非同期転送: 1.5 MBytes/s
データバッファ容量	256 KBytes
動作温度	5°C~50°C
電源電圧	+5 V±5% 0.5 A +12 V±5% 0.35 A
消費電力	最大 6.7 W
外形寸法	146(W)×41.5(H)×203 mm(D)
単体重量	1.1 kg

(†印: 1 倍速モード仕様 ††印: 2 倍速モード仕様)

4. CD-ROM ドライブの今後の動向と課題

現在, CD-ROM ドライブの主流は 2 倍速機から 4 倍速機へ移行しつつあり, 4 倍速機がデスクトップパソコンに標準搭載されるようになるのは,それほど時間を必要としないであろう。今後の CD-ROM ドライブは 6~8 倍速機の商品化がターゲットとなる。8 倍速機では, 光ピックアップが最内周に位置する場合のディスク回転数は 4000 rpm に達するため, メカニズムや信号処理に解決すべき課題が多く存在しており, その本格的な市場投入と普及は 1995 年末以降とみられる。

また, パソコン側はマイクロプロセッサの処理能力の向上に合わせて, 記憶装置用インタフェースの高速化や SCAM (SCSI Configured Automagically)¹³⁾ プロトコルサポートの OS 採用による周辺機器の組込み容易化を図りつつあり, CD-ROM ドライブ側も, パソコン側の進歩にタイミングを合わせた基本性能と機能の向上を求められている。

さらに, 市場は低価格化も求めており, LSI プロセスの微細化の進展に合わせたドライブエレクトロニクス部のシステムオンシリコン化と, 低コスト光ピックアップ開発がキーポイントとなる。

一方, 1994 年末から 1995 年初頭に, CD-ROM 比で 5~8 倍の大記憶容量を実現した再生専用 DVD (Digital Video Disk) 対応の光ディスク規格が相次いで発表された¹⁴⁾。長期的には, この DVD を応用した高密度光 ROM ディスクや光 ROM ディスクドライブ

に移行していくものと予想される。今後も蓄積されていく CD-ROM 資産を有効に活用できるように, CD-ROM 上位互換の高密度光 ROM ディスクシステム規格の標準化が課題となる。

5. む す び

以上, コンピュータ周辺装置用の CD-ROM ドライブについて概説した。一般家庭にも一体型パソコンやビデオ CD プレーヤのように, 組込み商品の形で CD-ROM ドライブの普及が始まっており, CD-ROM が音楽用 CD のように日常生活の中で, ごく普通に使用される時代になりつつある。より多くの人々が CD-ROM 関連技術の恩恵を享受できるようになれば, 開発に関わっている者としては望外の幸せである。

(1995 年 4 月 12 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) "ISO 9660 Information Processing-Volume and File Structure of CD-ROM for Information Interchange" (1988)
- 2) I. Roth, Judith Paris, 松島監修, 寺沢訳: "CD-ROM: エッセンシャルガイド", pp. 79-144, 丸善 (1987)
- 3) 土井, 伊賀: "ディジタル・オーディオ基礎理論と最新技術一", pp. 183-233, pp. 325-329, ラジオ技術社 (1982)
- 4) 中根, 前田, 稲川, 林, 島田: "読み出し線速が可変の 4 倍速 CD-ROM 装置を開発", 日経エレクトロニクス, No. 628, pp. 111-119 (1995)
- 5) (財)光産業技術振興協会監修: "光ディスク技術ハンドブック", pp. 108-113, 日経マグローヒル社 (1987)
- 6) Eastman Kodak Company, Philips Consumer Electronics B. V.: "System Description Photo CD Revision 0.9", pp. III-1 III-72 (Jan. 1992)
- 7) "ANSI X3.131-1986 Small Computer Interface (SCSI) 日本語訳, 日本規格協会 (1986)
- 8) Accredited Standards Committee X3: "Workig Draft Proposal X3T9.2 Revision 10: "Information Systems-Small Computer System (SCSI-2)" (July 11, 1989)
- 9) American National Standards Institute: "X3T9.2 79ID Information Technology-AT Attachment Interface for Disk Drives Revision 4a" (Apr. 19, 1993)
- 10) Western Digital Corporation: "Enhanced IDE Implementation Guide Revision 3.0" (July 9, 1993)
- 11) Western Digital Corporation: "IDE CD-ROM Proposal" (June 23, 1993)
- 12) Small Form Factor Committee: "ATA Packet Interface for CD-ROMs SFF-8020 Revision 1.2" (Feb. 24, 1994)
- 13) American National Standards Institute: "X3T9.2/93-109r5 SCSI Configured AutoMagically" (Sep. 30, 1993)
- 14) 高野, 原田: "ディジタル・ビデオ・ディスク マルチメディア時代に向けた日本の賭け", 日経エレクトロニクス, No. 630, pp. 87-100 (1995)

こばやし あきら
小林 明 昭和 49 年, 金沢大学工学部電子工学科卒業。同年, ティアック(株)に入社。昭和 56 年, (株)東芝に入社。以来, CD デジタルオーディオ, CD-ROM 応用システム開発に従事。現在, 同社マルチメディア技術研究所勤務。正会員。