

3.5 インチ 640 MB 光磁気ディスクドライブの開発

Development of 3.5 inch 640 MB Magneto Optical Disk Drive

村上 清貴* 宮城 信雄* 黒釜 龍司*
Murakami, Kiyotaka Miyagi, Nobuo Kurogama, Tatsuij

The new 3.5 inch Magneto Optical disk drive of 640 MB storage capacity is developed. The new pit-edge detection circuit is developed for the optimum data reproduction of various types of media, and the interpolate test write algorithm is developed to maintain data reliability and quick initialize time. The 3 level down ward compatibility is realized by the unique optical system. It remains in 1 inch height form factor size, and the power consumption is suppressed to 4.9 W.

1 はじめに

最近のパーソナルコンピュータ（PC）は、ほとんどマルチメディア対応となってきている。これらのPCユーザの間では大量の画像や音声データを記録・再生するためや、他者とのデータ交換のために、リムーバブルストレージデバイスに対する需要が増大してきている。

光磁気ディスクドライブ（以下MOドライブと呼ぶ）は、これらの要求に応えるための記憶装置として他方式にくらべて評価が高く、近年需要が飛躍的に増大してきている。

当社オプト事業部では従来より230 MB 3.5 インチ MOドライブを供給してきているが、市場ニーズに応え、記録容量を高めた640 MBモデルをセイコーエプソン株式会社と共同開発した。この640 MB MOドライブの主要技術について報告する。

Fig. 1 に OMD-7060 の外観を示す。

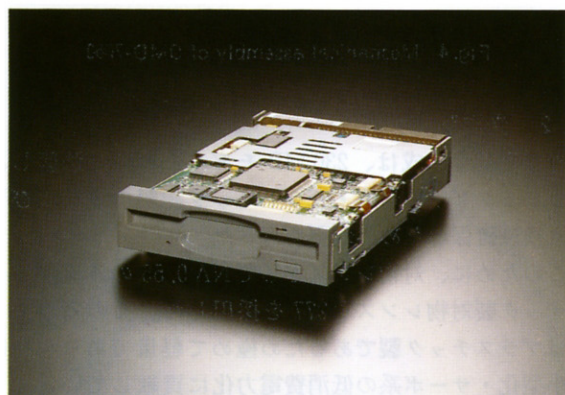


Fig. 1 OMD-7060

2 開発目標

3.5 インチ MO ディスクは従来より国際標準規格（ISO規格）に準拠しており、ユーザメリットについて配慮してきている。640 MBについても同様に規格化がされた。

当社では、過去の資産（データ）に対するユーザメリットを確保するために、下位互換性を、常識とされている1レベル（230 MB リードライト可能）から、2レベル（230 MB リードライト・128 MB リードライト）に拡大することを開発の主眼においた。

640 MB MOドライブ OMD-7060 の主要仕様を Table 1 に示す。

Table 1 Major specification of OMD-7060

128 MB Read/Write	○
230 MB Read/Write	○
540 MB Read/Write	○
640 MB Read/Write	○
DOW media Read/Write	○(230/540/640)
Average seek	28 ms
Disk rotation	3600 rpm
Burst transfer rate (Sync)	8.1 MB/sec.
Sustained transfer rate	750 KB/s(128 MB)
	3000KB/S(640 MB)
Power supply	+5 V single
Power consumption	4.9 W (Read/Write)
Operating Temperature	5-45 °C
Buffer memory size	2 MB
Interface	SCSI-1/2
Height	25.4mm
Width	101.6mm
Depth	146.0mm

* オプト事業部オプト開発グループ

3 ドライブシステムの構成

640 MB の記憶容量を達成するために要求される技術内容として、ビットエッジ記録・再生および狭トラックピッチ対応サーボおよび、市場ニーズを反映するための改善点としてオーバーライトメディア対応・ファームウェア SCSI 書き込み対応および SCAM 対応を盛り込み、システム設計を行った。

具体的には、基本的な光学系および機構部分は230 MBの現行モデルの構成を引き継ぎ、ビットエッジ記録再生および狭トラックピッチ対応部分に対する変更を加えた。

回路系については、サーボ系・リードチャンネル系を中心として、ほぼ全面変更となった。

Fig. 2 に OMD-7060 の外形図を示す。

また、Fig. 3 にシステムブロック図を示す。

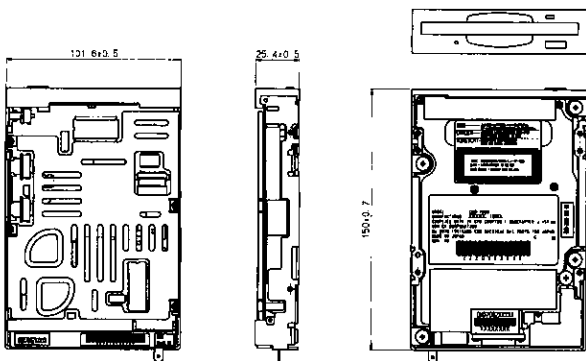


Fig. 2 Physical profile

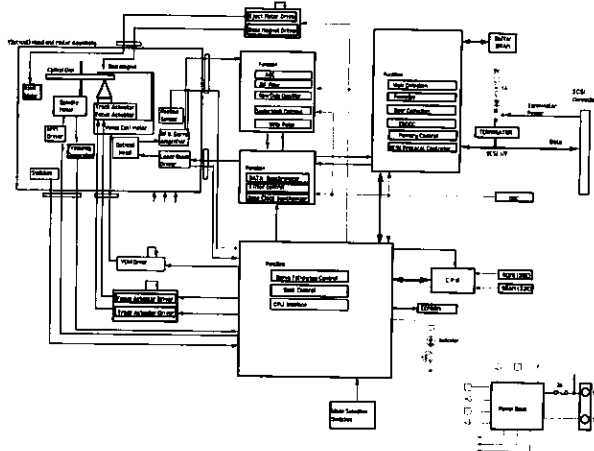


Fig. 3 System Block Diagram

3.1 機構系

機構系は基本的に 230 MB モデルの構成を踏襲した。さらに、スピンドルモータ駆動回路をモータ上からメイ

ン基板上に移し、発振回路の共通化を行うとともに駆動をセンサーレスタイプとし、コスト低減を図った。

薄型のスピンドルモータと、スピンドルモータの昇降によるディスクカートリッジのローディング機構は従来のものを踏襲したが、機械強度に変更を加え、回転制御回路をメインボードに移したことによる共振発生を抑制した。

また、バイアスマグネットについては永久磁石回転型を引き続き採用し、低消費電力を維持した。

キャリッジ・リニアモータは 230 MB モデルと同一のものを採用し、部品共通化のメリットを出した。

Fig. 4 に機構系の構成図を示す。

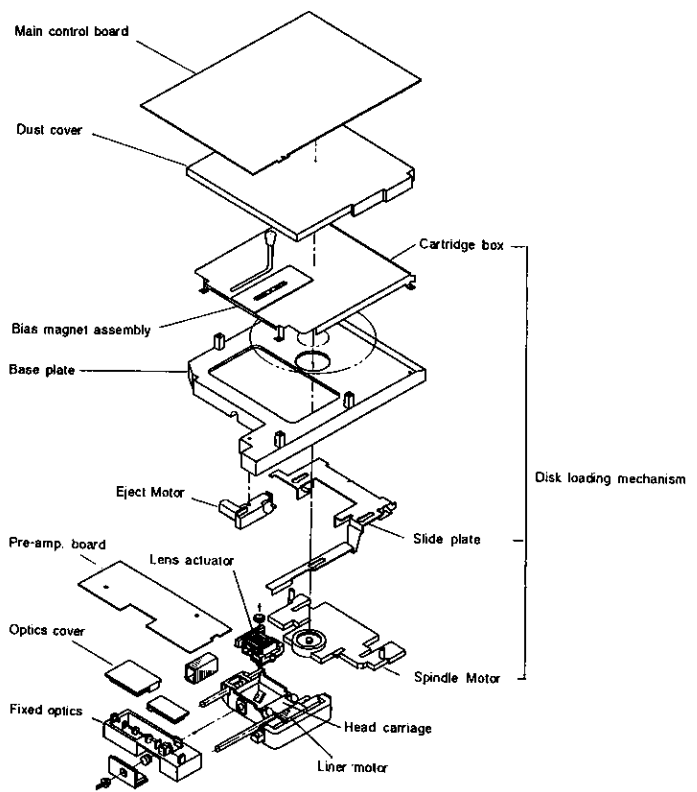


Fig. 4 Mechanical assembly of OMD-7060

3.2 光学系

光学系基本構成は、230 MB モデルのものを踏襲し、狭トラックピッチ対応・ビットエッジ記録再生および下位互換性確保のための変更を行った。

このために、対物レンズとして NA 0.55 の非球面プラスチック製対物レンズ T 277 を採用した。この対物レンズはプラスチック製であるため極めて軽量であり可動部の小型化・サーボ系の低消費電力化に貢献している。また、従来問題とされてきた複屈折についても、十分優れた特性が確認されている。

レーザダイオードには、波長 685 nm、最大出力 35 mW

のものを採用した。光学系のレーザ光利用総合効率としては、対物レンズ射出で34%を確保した。

対物射出スポット形状は、下位互換性を考慮して楕円形とし、さらに1.6 μm 、1.39 μm 、1.1 μm の可変トラックピッチに対応するための最適サイズを選んだ。

この結果として、実際のサイズを1.1 μm \times 1.2 μm としている。

MO信号の分離は、3ビームウォラストンプリズムで行っている。ウォラストンプリズムはミニディスクプレーヤにも採用されているように、光学系の低価格化に貢献している。また、性能としてもビットエッジ信号検出系に十分な特性を有している。

Fig. 5に光学系の構成を示す。

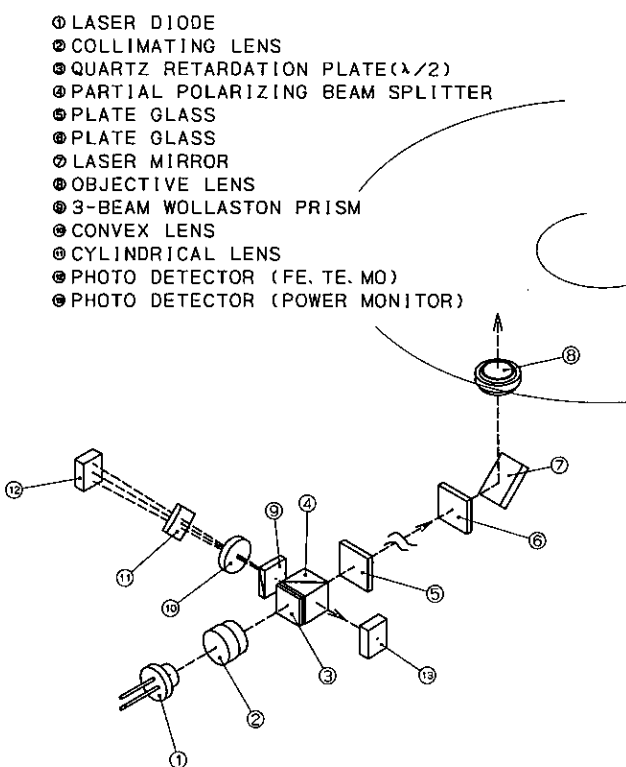


Fig. 5 Optical System

3.3 電気系 (ハードウェア)

電気系 (制御回路系) は、2枚の基板で構成されている。一方は、SCSI インターフェイスを含むメイン基板であり、他方はプリアンプを含むサブ基板である。このうち、サブ基板は、信号再生のために微小な光電流をノイズの混入をさけて増幅するためおよび高速でレーザを電流スイッチングする必要があるため光学ハウジング直上に設置し、フォトダイオードおよびレーザダイオードと最短距離で結線している。

また、レーザダイオード駆動系は、LIM-DOW (Light Intensity Moduration Direct Over Write) 方式ダイレクトオーバーライトに対応するための、パルストレイン

発光制御方式を採用した。この方式により、ダイレクトオーバーライトが可能となっているだけでなく、通常の540 MB、640 MB メディアに対する熱干渉による記録ジッタも低減している。

メイン基板は、640 MB 容量に対応するだけでなく、機能面で Windows 95 の Plug and Play における SCAM (SCSI Configured Automatically) 対応を盛り込んだ。このために自動復帰型のヒューズおよび SCSI-ID 自動設定機能を付加した。

一方、ファームウェアのオンボード書き換えは、ユーザメリットが大きいばかりでなく、さらに従来の OTP-ROM 交換方式に対してデバイスを廃棄する必要がないため、価格面で有利であるばかりでなく、環境保護のためにも有効である。この対応のためにフラッシュメモリーを採用しただけでなく、さらに SCSI インターフェイス経由でのオンボード書き込みを可能とした。

リードチャンネルとしては、ビットエッジ対応新 IC を開発した。この IC は、最高周波数 47 MHz で動作するが、消費電流を 160 mA に抑制しており、ドライブ自体の消費電力を抑えている。また、内部デバイザー設定範囲を広げ、128 MB、230 MB、540 MB、640 MB 全てのメディアの、全ての記録ゾーンに対して、従来3個必要であった発振器を1個ですませている。さらに、この発振器を CPU のクロックとしても利用しているため、システム全体のマスタークロックは1個ですまされている。

バッファメモリーサイズは、従来の 512 KB 標準からオプション 2 MB に拡張した。このメモリーは、リードアヘッドキャッシュおよびライトキャッシュに使用している。

CPU は、16 ビットバス幅、内部レジスタ 32 ビットのものを使用し、パフォーマンスレベルを確保した。

3.4 サーボ系

今回開発したドライブのメカニカルサーボ制御対象は、フォーカスアクチュエータ (FA) ・トラックアクチュエータ (TA) ・キャリッジアクチュエータ (CA) の3種である。

FA および TA は、板バネにより保持されたボイスコイルタイプであり、CA はベアリング支持のリニアモータタイプとなっている。

サーボ系への入力信号は、フォーカスエラー信号 (FE)、トラックエラー信号 (TE)、ポジションエラー信号 (PE) の3種となっており、これらの信号を演算して FA、TA、CA を駆動している。

サーボ系全体の構成を Fig. 6 に示す。

サーボ系は、まず、以下追従制御を行っている。

1. フォーカスサーボ: 常に安定したフォーカシング状態を維持する。
2. トラッキングサーボ: 常に安定してトラック追従をかける。

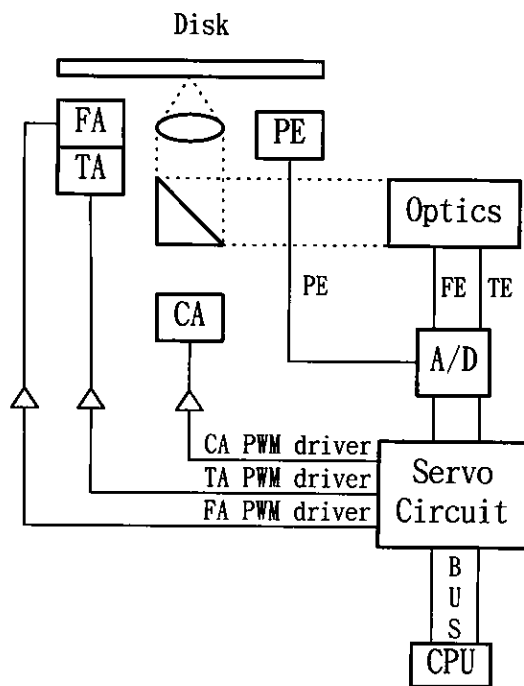


Fig. 6 Servo system block diagram

これは、FE、TE、PE 信号を位相補償した信号で FA、TA、CA を駆動することにより達成している。

また従来は、位相補償のみであったのに加え、今回は、積分要素を付加しトラック追従性能を上げた。この結果を Fig. 7 に示す。

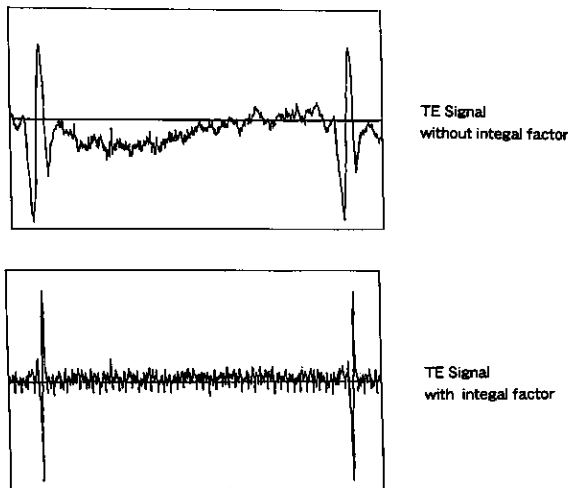


Fig. 7 Track Error Signal Comparison

サーボ系の受け持つもう一つの重要な動作は、シーク制御である。シーク制御は、対物レンズをラジアル方向に速やかに目標位置まで移動させる行為であるが、このために速度フィードバック方式をとった。

この制御ブロック図を Fig. 8 に示す。

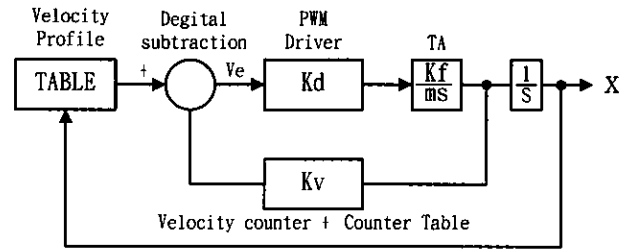


Fig. 8 Velocity servo block diagram

速度制御だけでは、シーク終了近く（目標トラック近傍）でのトラックサーボ引き込みに問題が生ずる。速度が遅くなり、制御分解能が低下するためである。このため、目標トラック1本前から制御を速度制御から位置制御に切り替えている。これにより、安定なトラックサーボ引き込みを実現した。

実際の平均シーク時間は、28 ms 以内を実現している。

また、トラックピッチの異なる3種のメディア（128 M-1.6 μm /230 M-1.39 μm /540 M-1.1 μm ）に対応するためのトラッキング、トラックジャンプ、シークの制御の切り替えはレジスタ設定変更のみで可能なようにした。

さらに、反射率の異なる種々のメディアに対して安定に動作するように、自動ゲイン制御機構も搭載している。

ハードウェアとしては、サーボ系はフルデジタルで構成した。このためにアナログ、デジタル混在 ASIC を開発した。この ASIC は、ロジックゲート規模で 50,000 ゲートレベルであり、アナログ系として AD コンバータ、DA コンバータ、コンパレータ等を内蔵している。機能としては、サーボ系の制御を行っているだけでなく、CPU インターフェイス・割り込み制御等の機能も同時に持たせており、集積化を高めるとともに、コスト低減に寄与している。

また、リードピッチ 0.4 mm の QFP パッケージを採用し実装密度を高め、4層基板片面実装実現のために貢献している。

3.5 ファームウェア

MO ディスクドライブ制御ファームウェアが持つべき機能は以下4点である。

- (1) SCSI インターフェイス制御
- (2) パフォーマンス管理
- (3) ディスクデータ制御
- (4) メカニズム制御

これらの各機能に対して即時応答性が要求される。また、これらの制御はコンカレントに行われる、すなわち多重処理が可能でなければならない。

これらを考慮し、ファームウェアの構造を Fig. 9 のように構築した。

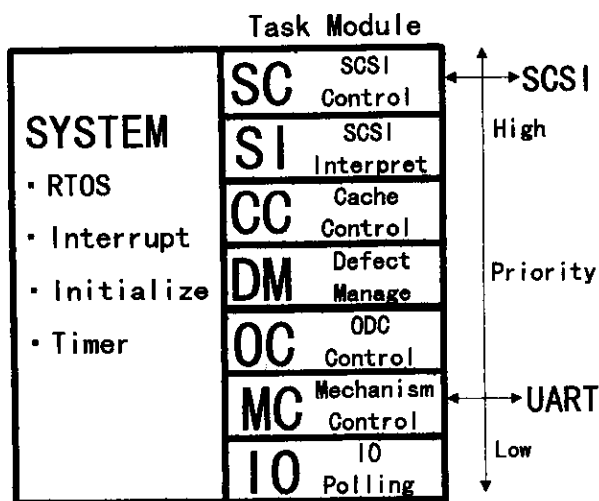


Fig.9 Firmware Configuration

3.5.1 リアルタイム OS

μITRON 仕様に準拠したイベントドリブン方式のリアルタイム・マルチタスク・オペレーティングシステム (RTOS) を開発した。サポートしている機能は、MO ディスクドライブに必要なタスク制御、同期通信、割り込み管理、メモリー管理、時間管理等、全40種類となっている。タスク切り替えオーバーヘッドは、ワーストでも 60 μs に抑えられている。

3.5.2 SCSI インターフェイス制御 (SC, SI)

SCSI インターフェイス制御およびコマンド解釈の処理を行う。タスクモジュールのうちで通常最優先順位に位置している。

また、ファームウェアのオンボード書き換え制御も行っている。

3.5.3 バッファメモリー管理 (CC)

ディスクバッファメモリーの割り当て管理を行う。具体的には、リードアヘッドキャッシュ、ライトキャッシュ、リードライトデータポイント管理を行う。

リードアヘッドキャッシュはバックグラウンドリーディング方式とし、SCSI インターフェイスランザクションへのオーバーヘッドを最小に抑えた。さらに、ハッシュアルゴリズムを採用し、DOS アプリケーションでのパフォーマンスレベルを上げている。

ライトキャッシュは、従来の毎回フラッシュタイプからバックグラウンドライト方式に進化させ、パフォーマンスレベルを向上させた。

3.5.4 ディスクデータ制御 (DM, OC)

MO ディスクメディア特有の欠陥処理を行うとともに、データリードライト回路を直接制御してデータの読み書きを行う。また、SCSI インターフェイス上へのデータ転送タイミングも制御している。

論理的なシーク制御も行うが、ソフトウェアサーボに近い制御も行っている。

3.5.5 メカニズム制御 (MC, IO)

サーボ制御、物理的シーク制御、レーザキャリブレーション制御等、メカニズムの制御を行う。また、ドライブの異常検出、ディスク排出スイッチの監視など、ドライブの状態監視も行う。パワーアップシーケンス実行中は、最優先順位に位置する。

これらのタスクによりディスクドライブとして十分な動作特性を確保している。

4 記録再生特性

4.1 記録・再生特性および下位互換性

記録再生特性として、特に 540 MB、640 MB でのビットエッジ対応と 128 MB でのライト下位互換性を両立させることは困難とされてきた。

ビットエッジ記録再生特性を確保するためにはスポットサイズを小さくする必要があり、128 MB ドライブでのデータリードのためにはスポットサイズを大きくしなければならないことが矛盾するからである。

これに対してスポットサイズを、タンジェンシャル方向に小さくラジアル方向に大きい、楕円形状にすることによって上記条件を両立させることに成功した。

記録再生特性評価結果の一部を Table 2 に示す。

実際には 128 M ドライブメーカー 5 社、230 M ドライブメーカー 5 社、メディアメーカー 8 社について温度クロス条件を含めてのエラーレート評価を行い、良好な結果を得ている。

Table 2 Read Write test results (Part)

Drive Write by	Drive Read by	Media Type	BER by Media		
			A	B	C
7060	128-A	128M	◎	◎	◎
128-A	7060	128M	◎	◎	◎
7060	230-A	128M	◎	◎	◎
230-A	7060	128M	◎	◎	◎
7060	7060	540M	◎	◎	◎
7060	7060	640M	◎	◎	◎

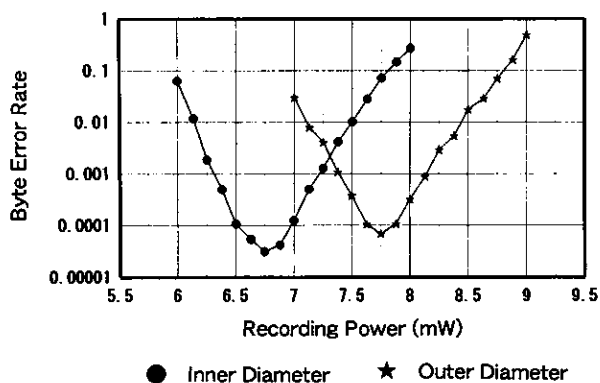
4.2 記録条件最適化

ビットエッジ記録に対しては、熱干渉の問題もあり、最適記録条件のマージンが狭い。オーバーライトメディアについての最適レーザパワーマージンは、通常メディアに対してさらに狭い。

これに対して安定したリードライト性能を確保し、さらに他ドライブとの互換性を維持するために高精度試し書きアルゴリズムを開発した。

記録条件を最適条件幅 (マージン) の中央に設定するための高精度化は、リードチャンネル IC にエラーレート拡大検出機能を盛り込むことにより実現した。

この機能を使った条件でのエラーレート測定結果の例を Fig. 10 に示す。



● Inner Diameter ★ Outer Diameter
Fig. 10 BER rate at test mode

Fig. 10 をみてわかるように、最適記録条件（最適記録レーザパワー）は、ディスクの内周（IN）と外周（OUT）で大きく異なる。内周、外周で同一レーザパワーで記録してしまうと、許容できないエラーレートになってしまうため、記録パワーをディスクの半径に従って最適化する必要がある。

従来は、このためにディスクの各ゾーンで試し書きを行っていた。

この方法だと試し書きのために時間がかかりすぎるという問題があった。

この問題を解決するために、試し書きは内周と外周の2か所のみで行い、間の各ゾーンに対する最適パワーは補間計算で求める方法を確立し、良好な結果を得た。

実際に各ゾーンで最適パワーを求めた結果と計算で求めた結果を、Fig. 11 に示す。

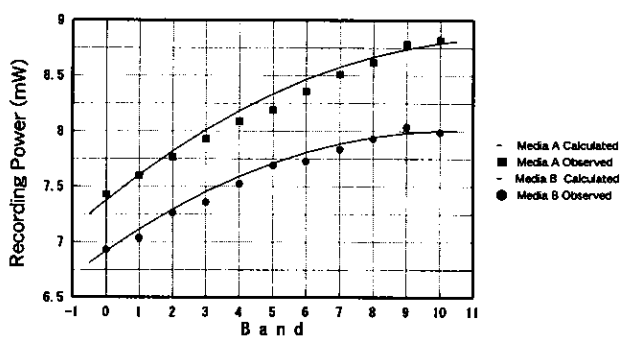


Fig. 11 Optimum recording power

5 まとめ

ISO 標準 640 MB 光磁気ディスクドライブを開発した。640 MB / 540 MB のメディアへの記録・再生だけでなく、230 MB・128 MB のメディアへの記録・再生をも可能とし、ユーザメリットを追求した。

さらに、ダイレクトオーバーライト機能も盛り込み、高速書き込みへの対応を行った。

このドライブがリムーバブルメディアのさらなる普及のために貢献することを期待している。

●参考文献

- 1) 渡辺満、瀧北守：“光ディスクドライブのアクティブ偏心補正” KONICA TECHNICAL REPORT VOL.6(1993)
- 2) 宮城信雄、村上清貴、黒釜龍司：“230 MB、1インチハイト光磁気ディスクドライブの開発” KONICA TECHNICAL REPORT VOL.8(1995)
- 3) 渡辺満：“光磁気ディスクドライブのデジタルサーボ” KONICA TECHNICAL REPORT VOL.9(1996)
- 4) 瀧北守：“光磁気ディスクドライブ制御ファームウェア” KONICA TECHNICAL REPORT VOL.9(1996)
- 5) Ken Sakamura: μ ITRON仕様書 Ver. 2.01.01.00 社団法人 トロン協会発行
- 6) ISO/IEC 10090
- 7) ISO/IEC 13963
- 8) ISO/IEC 15041