

# MITSUBISHI 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.66 No. 6

6  
1992

## 光記録技術特集



## 光記録技術特集

### 目次

#### 特集論文

光磁気ディスク技術の過去・現在・未来……………	1
内山 晋	
光記録技術の展望……………	2
梅田義明・菅原 宏	
大容量化技術……………	6
伊藤 修・乙武正文・名井康人・島元昌美	
光ディスク装置用レーザ光源……………	11
島 顕洋・有本 智・石森 彰・入江 満・宇多小路 雄	
光変調オーバライト光磁気ディスク……………	16
深見達也・徳永隆志・中木義幸・堤 和彦・伊藤正也	
90mm 光ディスク装置におけるドライブ制御技術……………	21
吉本恭輔・清瀬泰広・小川雅晴・小柳公之・中根和彦・古川輝雄	
90mm 光ディスク装置用 LSI……………	26
阪口康則・中島輝也・児玉幸夫・香川仁志・小林 洋・中根和彦	
分離方式リライタブル光ヘッド……………	31
竹下伸夫・唐木盛裕・藤田輝雄・尾崎 寛・田所通博	
CD-R 用光ピックアップ……………	35
篠田昌久・吉原 徹・中村恵司・松野雄史・佐藤拓磨	
130mm 光ディスク装置……………	39
林 成男・近藤潤一	
光ディスク媒体の信頼性評価技術……………	43
土橋 勝・浅川益雄・進藤紘二・羽島一夫・都出 結花利	
光ディスク応用装置……………	49
本吉健郎・上野 昇・尾崎 稔	

#### 普通論文

特注形乗用エレベーター“ACCEL-AI”……………	55
大窪正一・宮西良雄・富所 誠・山崎幹弘・金森 修	
“MELFANET” 光ディスクファイリング機能付き ファクシミリ情報通信システムの構築……………	60
岡本俊也・高柳 勉・野村信夫	
マルチメディア文書処理システム DOCMSTAR 登場……………	64
土田泰治・池田信之・桜井 宏・難波 奈須夫・大坪邦彦	
大規模高速回路シミュレータ MICS……………	68
谷沢元昭・石川多恵・小崎左智子・池田三喜男・小谷教彦	
並列推論マシン PIM のアーキテクチャ……………	74
中島克人・益田嘉直・中島 浩・近藤誠一・武田保孝・村澤 靖・小森隆三	

#### 特許と新案

光磁気記録再生装置、空調換気装置……………	81
端子台……………	82

#### スポットライト

気中変電所故障点標定システム……………	79
空転再粘着制御 VVVF インバータ装置……………	80
(株)長大本社殿納め土木設計 EOS システム……………	(表 3)

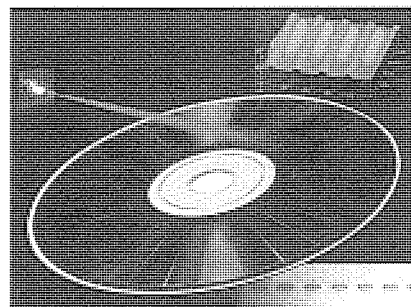
### 表紙

#### 光磁気記録

写真中央は光磁気ディスクの外観。  
写真左上は超小型グリーンレーザ。半  
導体レーザ励起固体レーザ (YAG; 波長  
1,064nm) と第 2 高調波発生 (SHG) 素子  
によりグリーン光 (532nm) を発生してい  
る。このような短波長光源の開発は記録  
密度の向上にとって不可欠である。

写真右上は大容量化のために開発した  
スタンプ表面の走査型トンネル顕微鏡  
(STM) 像である。写真を横切っている  
山の部分が 1.2  $\mu\text{m}$  ピッチで形成された  
案内溝で、案内溝間には管理情報を示す  
ビットが作られている。

写真右下は光変調オーバライト 4 層膜  
媒体に記録された微小ビット。ビットの  
輪郭はこの媒体が高密度化に有効である  
セルフシャープニング効果をもつことを  
示している。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、  
国際単位“SI”〔SI 第 2 段階(換算値方式)  
を基本〕を使用しています。ただし、保  
安上、安全上等の理由で、従来単位を  
使用している場合があります。

## アブストラクト

### 光記録技術の展望

梅田義明・菅原 宏

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 2～5

高密度、高信頼性、媒体可換という特長をもつ光記録技術は、記憶装置産業の中に光ディスクという製品を産み育ててきた。これを更に大きく発展させるには、特長を生かしたアプリケーションの開発、媒体や記録フォーマットの標準化を前提として、大容量化・高速化・小型化・低消費電力化という技術開発が望まれる。

### 90mm 光ディスク装置用 LSI

阪口康則・中島輝也・児玉幸夫・香川仁志・小林 洋・中根和彦  
三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 26～30

ISO 規格準拠90mm 光磁気ディスク装置に適合する半導体キットを開発した。130mm 光ディスク装置で蓄積した技術を基盤とし、LSI の統合と高性能化を図った。ODC (Optical Disk Controller) 部は、誤り訂正、変復調、SCSI (Small Computer System Interface) コントローラの3チップに集約し、ODC 内蔵化を容易にした。光ピックアップ部と ODD (Optical Disk Drive) 部は、ノイズの低減とパワーセーブ機能による省電力化に主眼をおいた。

### 大容量化技術

伊藤 修・乙武正文・名井康人・島元昌美

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 6～10

光ディスクの大容量化のため、狭ピッチマスタリング技術及び信号処理技術を開発した。レーザ露光装置のスポット径を縮小し、溝幅を20%狭小化した。実験と解析から、溝形状の最適化を行い、1.2 $\mu$ m ピッチの可能性を得た。前後縁独立検出方式及び記録パルス幅補正方式の開発により、マークエッジ記録方式で高密度化の目処がついた。可変クロック周波数技術の併用により、現行機の3.6倍の容量向上の可能性がある。

### 分離方式リライタブル光ヘッド

竹下伸夫・唐木盛裕・藤田輝雄・尾崎 寛・田所通博

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 31～34

3.5インチハーフハイトサイズの90mm 光磁気ディスク装置用の分離方式リライタブル光ヘッドを開発した。アクセス性能の向上を目的として、従来一体形であった光ヘッドを半導体レーザ、レンズ等から成る固定光学系と対物レンズアクチュエータを含む可動部に分離し、アクセス可動部の軽量化を実現した(当社従来比70%減)。また、高性能小型対物レンズアクチュエータの開発と併せてディスク回転数3,000r/min に対応可能な光ヘッドを実現した。

### 光ディスク装置用レーザ光源

島 顕洋・有本 智・石森 彰・入江 満・宇多小路 雄

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 11～15

光ディスク装置の高性能・高機能化のため、光源には高出力化と短波長化が求められている。高出力光源として波長780nm、定格出力50mW の高出力半導体レーザを開発した。さらに、短波長化した高出力光源を得るために、670nm の半導体レーザの高出力化を図った。次世代短波長光源として、半導体レーザ励起の固体レーザと波長変換素子を用いたグリーンレーザ (532nm) を超小型化し、再生に必要な光出力を得た。

### CD-R 用光ピックアップ

篠田昌久・吉原 徹・中村恵司・松野雄史・佐藤拓磨

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 35～38

記録が可能な CD (Compact Disc) 規格であるオレンジブックに対応した CD-R (CD-Recordable) 用光ピックアップを開発した。直接集光方式という簡素な光学系でありながら、8mW の記録パワーを実現し、さらに半導体レーザの仕様変更で2倍速記録への対応が可能である。また、対物レンズ位置センサによってトラック追従の安定化と高周波重畳回路によるレーザノイズの抑圧が図られ、信頼性の高い記録再生特性を実現している。

### 光変調オーバーライト光磁気ディスク

深見達也・徳永隆志・中木義幸・堤 和彦・伊藤正也

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 16～20

独自に創成したコンセプトに基づき、光変調オーバーライト可能な光磁気ディスクを開発した。このディスクを用いて記録再生実験を行い、記録磁界及びレーザパワーに対する実用上十分なマージンが得られることを確認した。また、マークエッジ記録や狭トラック化に対応できる特性をもち、次世代で要求される高密度化にも適応できる。さらに、テスト記録方式を開発し、ドライブ装置や媒体のばらつきにかかわらずに高品質で安定な記録が可能になった。

### 130mm 光ディスク装置

林 成男・近藤潤一

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 39～42

書換え形及び追記形の ISO 規格に準拠した130mm 光ディスク装置は、ライブラリユニットへの搭載を考慮した設計になっており、ロード／アンロード、シーク動作に対し、高い耐久性をもっている。また、この装置は媒体上の制御情報トラックのデータで記録・再生の動作パラメータを調整するので、広範囲の媒体に対応可能である。また、バッファメモリ部でのデータ誤り発生に対する誤り検出機構をもち、データ信頼性を向上させている。

### 90mm 光ディスク装置におけるドライブ制御技術

吉本恭輔・清瀬泰広・小川雅晴・小柳公之・中根和彦・古川輝雄  
三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 21～25

パソコン等の外部記憶装置用に小型軽量・大容量の90mm 書換え形光ディスク装置を開発した。3.5インチのハーフハイトサイズでコントローラも内蔵する。ISO 規格案準拠の光ディスク媒体を使用し、記憶容量は127M バイト／枚である。7.25Mbps の高速データ記録、平均42ms 以下の高速シークを実現しつつ、パワーセーブ機能によって徹底的な低消費電力を可能とした。

### 光ディスク媒体の信頼性評価技術

土橋 勝・浅川益雄・進藤紘二・羽島一夫・都出 結花利  
三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 43～48

光ディスクはコンピュータ用大容量記録媒体として注目され、ISO 規格の整備の進行とともに、その市場が拡大しつつある。

このような状況において、光ディスク媒体の寿命など信頼性について明確にする必要があり、各方面で試験方法も含め、検討されている。

ここでは、当社の光ディスク駆動装置との関係において、各種媒体の信頼性試験方法と評価結果について報告し、信頼性試験方法の標準化の一助としたい。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 26~30 (1992)

## LSIs for 90mm Optical Disk Drives

by Yasunori Sakaguchi, Teruya Nakajima, Yukio Kodama, Hitoshi Kagawa, Hiroshi Kobayashi & Kazuhiko Nakane

The corporation has developed a set of three LSIs for implementing controllers for ISO-standard 90mm optical disk drives. Based on the corporation's 130mm optical disk-drive technology, three LSIs perform all major controller functions, including error correction, modulation and demodulation and SCSI control. The chipset makes it possible to manufacture drives with internal controllers. The chipset also reduces noise and power consumption associated with optical pickups and optical disk drives.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 2~5 (1992)

## Trends in Optical Recording Technology

by Yoshiaki Umeda & Hiroshi Sugahara

Optical recording technology, with its high information density, high reliability, and removable media, has led to the appearance of optical disk drives within the memory equipment industry. Further technical improvements, such as higher speeds, smaller dimensions, and lower power consumption, will lead to greater development of this technology once applications capable of utilizing its features are developed and media and recording formats are standardized.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 31~34 (1992)

## A Split-Type, Rewritable Optical Head

by Nobuo Takeshita, Morihiro Karaki, Teruo Fujita, Hiroshi Ozaki & Michihiro Tadokoro

The authors have developed a split-type head for 90mm rewritable drives. Most optical components, including the laser diode and its lens, have been affixed to the drive base, leaving the objective-lens actuator as the only movable optic component. This improves access time by reducing the weight of the movable optics by 70% compared to the corporation's previous single-unit head for 130mm rewritable disks. The head design, used with a new high-performance compact objective-lens actuator, will be suitable for disk speeds of 3,000rpm. The average access time for the new head is 55ms.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 6~10 (1992)

## Technologies for Large-Capacity Optical Disk Memory

by Osamu Ito, Masafumi Ototake, Yasuhito Miyoi & Masayoshi Shimamoto

Narrow track-pitch mastering and signal-processing technologies required for high-capacity optical disk storage have been developed. The spot size of the laser-beam etching mechanism has been reduced, and the groove width narrowed by 20%. The groove shape has been optimized, and the potential for a 1.2 $\mu$ m track pitch has been demonstrated. The authors propose to achieve higher recording densities by developing independent leading and trailing edge detection and recording pulse-width compensation methods, using them to implement mark-edge recording. These technologies, used in combination with a modified constant angular-velocity method, will support recording densities 3.6 times greater than current optical disks.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 35~38 (1992)

## An Optical Pickup for CD-R Applications

by Masahisa Shinoda, Toru Yoshihara, Keiji Nakamura, Takeshi Matsuno & Takuma Sato

An optical pickup has been developed that meets Orange Book specifications for CD-R systems. The pickup realizes 8mW recording power despite its simple direct-focusing optics, and it can be modified for double-speed recording simply by a change in the laser diode specifications. Use of an objective-lens position sensor results in more stable tracking, and a high-frequency circuit reduces the noise of the laser diode. These innovations result in highly reliable recording and playback characteristics.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 11~15 (1992)

## Laser Light Sources for Optical Disk Drives

by Akihiro Shima, Satoshi Arimoto, Akira Ishimori, Mitsuru Irie & Takeshi Utakouji

Light sources having high power and short wavelengths are required to realize excellent performance in optical disk drives. The authors have developed a miniaturized laser diode-pumped, solid-state green (532nm) laser using intracavity frequency doubling. As a next-generation light source, this laser provides sufficient optical output for disk read operations. Other developments include a 50mW high-power laser diode with a wavelength of 780nm and an improvement in the power output of a laser diode with a shorter wavelength, 670nm.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 39~42 (1992)

## A 130mm Optical Disk Drive

by Shigeo Hayashi & Jun'ichi Kondo

A rewritable optical disk drive with highly reliable loading, unloading and seek mechanisms designed to support integration with a library unit has been developed for use with 130mm ISO-standard rewritable and write-once optical media. Capable of reading prerecorded information from the control track (defined by ISO), the drive optimizes operating parameters for a wide variety of media. An error detection circuit in the buffer memory unit contributes to improved data reliability.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 16~20 (1992)

## Overwrite-Capable Magneto-optic Disks Using Light-Intensity Modulation

by Tatsuya Fukami, Takashi Tokunaga, Yoshiyuki Nakaki, Kazuhiko Tsutsumi & Masaya Ito

A new magneto-optic direct-overwrite method has been developed that tolerates wide variations in magnetic field strength and laser power. The method is applicable to high-density recording schemes using mark-edge recording and a narrower track pitch. A test recording method has also been developed that enables consistent high-quality recording.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 43~48 (1992)

## Reliability Testing of Optical Disk Cartridges

by Masaru Tsuchihashi, Masuo Asakawa, Koji Shindo, Kazuo Hajima & Yukari Toide

Optical disk memories continue to gain popularity as high-capacity storage devices for computers in the wake of the establishment of ISO standards for optical disk formats and characteristics. To enable the continued development of these memories in the market, it is necessary to make clear the lifetime and reliability of optical disks. Investigations addressing this issue, including test methods, are underway at media manufacturers and research institutes. The authors present reliability testing methods used at Mitsubishi Electric and the results obtained, with the aim of contributing to the standardization of reliability testing.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 21~25 (1992)

## A 90mm Optical Disk-Drive Controller

by Kyosuke Yoshimoto, Yoshihiro Kiyose, Masaharu Ogawa, Kimiyuki Koyanagi, Kazuhiko Nakane & Teruo Furukawa

A compact, large-capacity optical disk drive employing 90mm rewritable media has been developed for auxiliary storage applications in personal computers and workstations. The drive, including controller, fits within the form factor of a 3.5-inch hard disk drive. The drive employs ISO standard optical disk media capable of storing 127MB. Progress is being made toward realizing high-data-rate recording (7.25Mbps) with an average seek time of under 42ms. Furthermore, power-saving features have been introduced to reduce power consumption.

## アブストラクト

### 光ディスク応用装置

本吉健郎・上野 昇・尾崎 稔

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 49～54

光ディスク装置は、近年の情報化時代に新しく投入された外部記憶装置である。大容量、カートリッジ交換及び長期保存という特徴を生かし、自動交換機構と組み合わせた“光ディスクライブラリ装置”，静止画像，音声及びコードデータ等を同一ディスクに入出力し，検索機能を向上させた“イメージインタフェース装置”，磁気テープ装置の制御コマンドで光ディスクライブラリ装置を磁気テープ装置のように使用する“MTエミュレータ装置”について述べる。

### マルチメディア文書処理システム DOCMASTAR 登場

土田泰治・池田信之・桜井 宏・難波 奈須夫・大坪邦彦

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 64～67

マルチメディア文書処理システム DOCMASTAR の開発を完了し，4月から発売を開始した。

DOCMASTAR は，文書作成ツールとして，文章・表・幾何学図形・ラスタイメージ・グラフ・CAD 図形編集ツールを提供している。また，レイアウトツールにより，編集した各メディアを文書の任意の位置に配置できる。

### 特注形乗用エレベーター “ACCEL-AI”

大窪正一・宮西良雄・富所 誠・山崎幹弘・金森 修

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 55～59

近年，ビルはインテリジェント指向を強め，エレベーターにも高機能化・高性能化が求められている。また，今日では人間の個性や感性も重要視される気運にあり，意匠デザインの多様化及び高級化に対する要求が高まっている。当社では，この要求にこたえるため，“快”という開発コンセプトの下に，快適性を向上した新シリーズの特注形乗用エレベーター “ACCEL-AI” を開発し，1992年1月に発売した。

### 大規模高速回路シミュレータ MICS

谷沢元昭・石川多恵・小崎左智子・池田三喜男・小谷教彦

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 68～73

LSI 設計の効率化を図る上で，回路シミュレーションは必要不可欠なツールである。近年の素子の高集積化に伴い，シミュレータの取り扱うべき回路規模が大きくなり，より高速なシミュレータの開発に対する要求が高まっている。今回，我々はスーパーコンピュータ上でのベクトル演算を利用した高速回路シミュレータ MICS<sup>(注)</sup>を開発し，当社の従来のものに比べて約 6 ～10倍の高速化を達成した。

(注) MICS : Mitsubishi Circuit Simulator

### “MELFANET” 光ディスクファイリング機能付き ファクシミリ情報通信システムの構築

岡本俊也・高柳 勉・野村信夫

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 60～63

ファクシミリメールシステム “MELFANET” を基に，光ディスクオートチェンジャ・ワークステーションを接続した大容量光ディスクファイリングシステムを構築した。ファイリングは，G4FAX を用いて高速・高精細に行え，登録済文書は既設の G3FAX から電話網を介し，PB ボタンで検索キーを指定することで，オペレータの介在なく容易に取り出せる。ここでは，この機能，特長及び今後の課題について述べる。

### 並列推論マシン PIM のアーキテクチャ

中島克人・益田嘉直・中島 浩・近藤誠一・武田保孝 ほか

三菱電機技報 Vol. 66・No. 6・P 74～78

第五世代コンピュータプロジェクトの最終成果として，大規模知識情報処理を目指した並列推論マシン PIM を開発した。PIM では拡張性の高い分散メモリ型のアーキテクチャとなっており，並列論理型言語 KL1 用に設計された要素プロセッサを，自動ルーチング機能を備えた二次元ネットワークにより，最大256台まで接続することができる。KL1 では並列プロセス間の同期や通信が自然に記述できるため，並列プログラミングが大変容易になる。



# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 64~67 (1992)

## DocMASTAR : The Latest in Multimedia Document Processing Software

by Taiji Tsuchida, Nobuyuki Ikeda, Hiroshi Sakurai, Nasuo Namba & Kunihiro Otsubo

The corporation has developed DocMASTAR multimedia document processing software and has been marketing it since April 1992. DocMASTAR has tools for text generation, for editing of text, tables, vector and raster graphics, data-driven charts, and for the import of CAD drawings. It also has layout tools allowing multimedia objects to be placed at any position within the text.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 49~54 (1992)

## Applications of Optical Disks

by Takeo Motoyoshi, Noboru Ueno & Minoru Ozaki

Optical disk drives are the latest mass-storage devices to debut in the recent information technology boom. The article discusses three applications that exploit the high capacity, removable media format, and long storage life of optical disk media: an optical disk library employing an automatic media storage and transfer unit; an image interface unit that reads and writes still color images, audio segments and digital data on the same disk and features improved retrieval capabilities; and a magnetic tape drive emulator unit that enables access to an optical disk library using the same commands used to operate a magnetic tape drive.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 68~73 (1992)

## MICS: A Large-Scale, High-Speed Circuit Simulator

by Motoaki Tanizawa, Tae Ishikawa, Sachiko Ozaki, Mikio Ikeda & Norihiko Kotani

The use of circuit simulation technologies is essential to efficient design of LSI devices. Growing integration scales place heavy demands on simulation software, creating a need for development of faster simulation systems. The authors have developed a supercomputer-based circuit simulator capable of simulating large VLSI devices. It operates 6-10 times faster than the corporation's previous circuit simulators.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 55~59 (1992)

## New Accel-AI Series Elevators

by Shoji Okubo, Yoshio Miyanishi, Makoto Tomidokoro, Mikihiro Yamazaki & Osamu Kanamori

Elevators with improved performance and more sophisticated control systems are in demand for integration in intelligent building systems. There is also demand for more varied and satisfying aesthetic design. The corporation has developed a series of Accel-AI elevators to meet these needs, placing an emphasis on rider comfort. The series has been commercially available since January 1992.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 74~78 (1992)

## The Architecture of the Parallel Inference Machine

by Katsuto Nakajima, Kanae Masuda, Hiroshi Nakashima, Seiichi Kondo Yasutaka Takeda, Yasushi Murasawa & Ryoza Komori

In the course of Japan's Fifth-Generation Computer Project, a parallel inference machine (PIM) was developed to support research on large-scale, knowledge-information processing. The PIM is a scalable distributed-memory multiprocessor, in which up to 256 processing elements are connected by a two dimensional array with automatic routing capabilities. A concurrent language called 'KLI' enables parallel programming without specifying explicit inter-process synchronization and communication. Programs written using KLI have proven to operate efficiently on the PIM.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 66, No. 6, pp. 60~63 (1992)

## An Optical Disk Image-Filing System for the MELFANET Facsimile Network System

by Toshiya Okamoto, Tsutomu Takayanagi & Nobuo Nomura

The authors have integrated an optical disk image-filing system with a large-capacity automatic media storage and transfer unit into the MELFANET facsimile network. A G4 facsimile unit is used as an input device to enable rapid, high-resolution scanning of document pages to be filed. Stored documents can be output on existing G3 facsimile units through public or private telephone networks by specifying the document reference key using a touch-tone handset. The article introduces the system functions, features, and future development objectives.

## 光磁気ディスク技術の過去・現在・未来

今から25年前の1967年、初めて国際会議に出席の機会を得てアメリカに渡りました。会議終了後、各地の大学や企業の研究室を貪欲に見学しましたが、当時アメリカで光磁気(MO)記録に大きな関心が寄せられているということを知りました。特に、たまたま訪れたハネウェル社では、D. チェンさんの所でホットな研究を進めている現場を見ていささか興奮を覚えるとともに、ガスレーザを用いた大型装置を見て実用化は難しいのではないかと疑念を抱きました。それから2～3年の間に、ヨーロッパや日本でもMO記録の研究が盛んになりましたが、1972年に試作されたハネウェルの装置が十分な性能を示さなかったことから、第1期のMOメモリの研究は終わりを告げました。

IBM社では、磁気バブルへの利用を目指してGdCo膜の研究を進めていましたが、その中でこれがMO記録にも利用できることが指摘されました。しかし、更に優れた媒体としてTbFeを見出し、第2期のMO記録研究の黄金時代をもたらしたのは、大阪大学とKDDの功績であると考えています。1980年、KDD研究所により半導体レーザを搭載した小型のMOディスク装置が試作され、これを契機に多数の企業が参加した本格的な開発競争が始まりました。しかし、第一世代の装置が市販品として登場したのは昭和63年から平成元年で、関係者は平成元年は光磁気元年と言っています。

現在13cmディスク1枚当たりの容量は0.6ギガバイト、単位メモリ装置の大きさはおよそ10×20×5(cm)と大変に

名古屋大学  
先端技術共同研究センター長  
工学部電子工学科 教授

内山 晋



コンパクトなものです。MO開発にかかわった一人として、名古屋大学先端技術共同研究センターにもMO文書ファイルを購入しましたが、4年間の重要文書を全部記録しても5%程度しか利用しておらず、容量の大きさを肌で感じています。しかし、第一世代の装置のため、特にソフトが未成熟と私は思っていますが、平均シーク時間が50～100msと、ハードディスクに比べて遅いとの批判を受けています。さらに最近では、ハードディスク装置の寸法がむしろMO装置より小型になってきました。

このような現状から、作動速度の向上と記憶密度の増大に向けて、多数の研究や開発が進められています。前者の研究は専ら企業で推進され、ディスク回転速度や光ヘッドの軽量化あるいは分割によるヘッドアクチュエータ速度の向上などのほか、特にオーバーライトに関して多数の提案があります。それは、これだけで作動速度は3倍になるからです。この技術には、磁界変調法などの装置側と、多層構造媒体など媒体側に工夫を加える二つの方法があります。三菱電機では特に4層媒体というユニークな方法を提案されており、その将来性が各方面から注視されています。オーバーライトには、各社がそれぞれ独自の技術を開発していますので、規格の統一は容易なことではないと思います。ディスク専門メーカーは装置メーカーの動向に従う必要がありますが、独自路線を歩むことが可能な総合メーカーの三菱電機に、一日も早い高速の第二世代装置の完成を期待するものです。

## 光記録技術の展望

梅田義明\*  
菅原 宏\*\*

## 1. ま え が き

1 $\mu$ m 径程度に絞り込んだレーザビームで情報の記録及び再生を行う光記録技術は、高密度記録と媒体可換という特長から、コンパクトで信頼性の高い大容量記憶装置への適用が期待され、それが計算機用コードデータ、画像、文章等のファイル用光ディスク装置として結実した経緯については、既に前回の特集で報告したとおりである<sup>(1)</sup>。

その後も、光記録技術の進歩は着実に進展し、光ディスク装置の高性能化、又は表1に示すように、製品の多様化へと至っている。そこで、前回の特集報告以降の技術進歩について概説するとともに、光ディスク装置への期待と、技術開発動向に基づく今後の発展方向について展望し、最後に規格化動向について紹介する。

## 2. 当社光ディスク技術の現状

前回の特集では当社の130mm 追記形光ディスク装置・媒体及び光磁気方式書換え形光ディスクの要素技術について報告したが、ここでは、それ以降に製品化した130mm 書換え形、90mm 書換え形、130mm 追記形／書換え形両用光ディスク装置に適用した開発技術について述べる。

## 2.1 高 速 化

光ディスク装置における情報記録再生の高速化のため、高速ディスク回転によるデータ転送速度の向上及び光ヘッドの高速位置決め(シーク)によるアクセス時間の短縮を図った。前者の実現のためには、記録用レーザダイオード(LD)の高出力化が必要であり、波長780nm、出力35mWのLDの実用化により、回転数2,400r/minの130mm 書換え形光ディスク装置を製品化した。後者の実現のためには、光ヘッドの軽量化、光ヘッド移動用リニアモータ駆動力の増強、改良トラックカウント方式の開発等によってシークの高速化を行い、平均アクセス時間48msを達成できた。また、装置サイズが小さいため、リニアモータの駆動力に制限を受ける90mm 書換え形光ディ

スク装置では、光ヘッド構成部品のうち対物レンズ系のみを移動させる分離方式ヘッドを開発した。これにより、移動部質量を大幅に低減し、平均アクセス時間52msを達成した。

## 2.2 コンパクト化

光ディスク装置は接続システムの標準スロット中に装着されて使用されることが多いため、装置サイズを標準寸法内に収めることが要求される。そこで、各種機構系、光ヘッドの小型化を行うとともに、制御回路のLSI化により、130mm 光ディスク装置ではSCSI 接続回路を含めてフルハイトサイズ(146×82.6×203(mm))に収めた。小型サイズの90mm 光ディスク装置では、分離方式ヘッドの採用とともに、さらに集積化を高めてLSI チップ数の削減を行い、SCSI 接続回路を含めてハーフハイト(101.6×41.3×146(mm))に収めた。

## 2.3 高信頼性化

光ディスクは、記録媒体とヘッドとの機械的接触がなく、ディスク上に付着するダストもレーザビームの非焦点位置にあるため、磁気ディスク等に比較してデータ記録再生信頼性の高いことが特長である。この信頼性をより一層高めるべく、次のような方策を施した。

まず、ディスク媒体については、ポリカーボネート樹脂基板と他の構造材との間の摩擦発じん(塵)とダストの静電吸着を防止、低減するため、基板表面に保護コートを設けた。また、特に使用環境条件が多様と考えられる90mm 光ディスク装置では、装置内の冷却風流路を光ヘッド及びディスク媒体空間から隔離し、この空間へのダストの侵入を防止する

表1. 主な記録可能光ディスク装置製品

装置種類	ディスク径 (mm)	記録容量 (Mバイト)	転送速度 (Mbps)	平均アクセス時間 (ms)
追記形光ディスク装置	130	594(両面)	7.4*	48*
	300	2,500~7,000(両面)	5~18	150~180
書換え形 光ディスク装置	90	128(片面)	7.25*	52*
	130	594/652(両面)	7.4*	48*
追記形／書換え形両用 光ディスク装置	130	594/652(両面)	7.4*	48*
CD-R 装置	120	540(片面)	1.2	350~800

注 \*は当社製品仕様値



構造とした。

130 mm 追記形／書換え形両用光ディスク装置では、データ転送処理部にも誤り検出・保護機能をもつデータパスプロテクション方式を採用し、SCSI インタフェース以降の光ディスクコントローラ内部のデータ誤り率を低減することにより、データ転送信頼性を極めて高いものとしている。

一方、データ保存信頼性については、130 mm 追記形及び書換え形光ディスク媒体の長期間加速劣化試験を行い、高温・高湿という悪環境条件下でも10年以上の長保存寿命を保証できることが統計的に確認された。

## 2.4 高機能化

書換え形光ディスク装置に使用される光磁気ヘッドは、直線偏光のレーザビームをディスク媒体に照射し、記録膜の磁化方向によって変化する反射光の偏光面の方向を、2成分に分けた光の強度差変化として検出して記録データの再生を行っている。原理的には、追記形光ディスク媒体の記録データも2成分の光の強度和をとれば検出できるので、特別の機能付加なしでも追記形／書換え形両用の光ディスク装置は可能である。しかし、両光ディスク媒体はそれぞれ特有の記録再生特性をもっているため、いずれの媒体でも最適条件で記録再生を行うべく、媒体記載のコントロールトラック情報を読み取り、媒体に合わせたきめ細かい記録再生条件の設定が自動的にできる130 mm 追記形／書換え形光ディスク装置を開発、製品化した。これを使用すればデータの修正や変更を要する用途には書換え形光ディスク媒体を、データの永久保存や証拠保全を要する用途には安価な追記形光ディスク媒体という使い分けが可能となる。

コンピュータのネットワーク化の進展に伴い、光ディスク装置もネットワーク端末として使用されることが多くなってきている。そこで、90 mm 光ディスク装置ではSCSI-2インタフェース対応にするとともに、コマンドキューイングのサポート機能ももたせ、複数のホストコンピュータに対して効率的に動作できるようにしている。

## 3. 今後の展開方向

### 3.1 光ディスクの適用分野

光ディスクは、媒体可換・大容量・高信頼性という特長から大容量記憶装置としての市場成長が期待され、ここ数年の金額ベース年間生産量は約30%の着実な伸びを示している。しかしながら、HDD、FDDと比較して、その絶対額はそれぞれ約1/40、1/9程度であり、依然として記憶装置の主役の座は磁気ディスクに占められている。

その主な原因としては、光ディスクの特長を生かせる用途の未開拓と光ディスク使用環境の未整備が考えられ、その結果、大容量ファイルやバックアップシステム等に用途が限定されていた。

最近に至って、光ディスクの特長への認識の高まり、光デ

ィスクを必要とする用途の顕在化、光ディスクを適用するための環境の整備等、光ディスク普及の条件が一斉に整い始めてきている。そのため、当面、肥大化が進むアプリケーションソフトウェアやOSの配布とマルチメディアデータの交換用媒体としての用途が開けつつある。今後、光記録の高信頼性の面を含んだ光ディスクの特長を生かした用途開発が更に進むものと期待される。

さらに、光ディスクのコストと機能のより一層の向上を図る技術開発と、可換媒体普及の条件となる媒体の標準化活動が進むとともに、HDD、FDD、それに今後の展開が期待されているフラッシュメモリも含めて、それぞれの特長を生かす(棲)み分けが行われる中で、外部記憶装置としての光ディスクの地位が確立するものと思われる。

### 3.2 技術動向

上記、光ディスクの適用分野及び磁気ディスクやICメモリ等の他の記憶装置との関係を考慮すると、今後の光ディスク装置に要求される技術的方向は、用途によって優先度は変わるにしても、大容量化・高速化・小型化・低消費電力化に要約される。表2にこれらニーズに対応する開発課題及びその開発の中心となる要素技術を示す。表中、2～3年後に成立が予定されている次世代ISO規格に適用されると予測される技術を“次世代要素技術”，実用化がそれ以降になると思われるものを“将来要素技術”として示した。

大容量化については、次世代ISO規格では表に示した要素技術を総動員して、現状の2～3倍の記憶容量増大が行われると見られる。ここでMCAV (Modified Constant Angular Verocity) とは、ディスク上の外周に行くほど記録密度が低下する現在の記録法を改良して、記録半径にかかわらず記録密度をほぼ一定にする記録方式である。次世代から先の容量増大を実現するには、いずれもブレイクスルーを必要とするものの、多くの要素技術が研究されており、中でも非線形光学材料のSHG (第2次高調波発生) を利用した短波長光源 (記録膜上のレーザビームスポット径が小さくなる。) の実用化には大きな期待が寄せられている。

高速化については、装置一ディスク間のデータ転送速度の現状が約0.9Mバイト/秒であり、これをまずは現状の5.25"又は3.5"HDD並みの4Mバイト/秒程度にいかにつづけるかが課題である。大容量化のためにMCAVと高線記録密度を利用すれば必然的に平均データ転送速度は大きくなるが、同時に回転数も上げて転送速度を更に大きくすることが望まれる。また、書換え形の光磁気ディスク装置はディスクの1回転で消去、次の1回転で記録する方式であるため、磁気ディスクに比べて動作原理的に記録時転送速度が遅いという問題がある。これを消去過程なしで旧データの上に新データを直接記録するのがオーバーライトであり、光変調方式と磁界変調方式との開発が行われている。磁界変調方式は記録膜に近接した磁気ヘッドが必要なため、両面媒体に対しては光

表 2. 光ディスクの技術開発動向

ニーズ	開発課題	次世代要素技術	将来要素技術
大容量化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MCAV</li> <li>• 線記録密度向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高速データ処理 LSI</li> <li>• 新記録変調方式</li> <li>• マークエッジ検出方式</li> <li>• 記録／再生信号波形補正</li> <li>• 高 CN 比記録膜</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 並列信号処理プロセッサ</li> <li>• 超解像光ヘッド</li> <li>• 短波長 LD</li> <li>• パーシャルレスポンス信号処理</li> <li>• ビタビ復調方式</li> <li>• SHG 短波長光源</li> <li>• 短波長対応記録膜</li> <li>• 適応型イコライジング方式</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• トラックピッチ減少</li> <li>• 多重記録</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 狭トラックピッチマスタリング</li> <li>• 狭トラックピッチ基板成形</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ガードレス記録方式</li> <li>• 超狭トラックピッチマスタリング</li> <li>• 多重波長記録膜</li> <li>• 波長可変 LD</li> </ul>
高速化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高速ディスク回転</li> <li>• 高速シーク</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高出力 LD</li> <li>• 高感度記録膜</li> <li>• 高速誤り制御方式</li> <li>• 高速トラッキング制御方式</li> <li>• 高速データ処理 LSI</li> <li>• 軽量光ヘッド／キャリッジ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 超軽量光ヘッド</li> <li>• 集積化光ヘッド</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• オーバライト</li> <li>• マルチチャネル記録</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 光変調オーバライト記録膜</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• マルチビームヘッド</li> <li>• 並列信号処理プロセッサ</li> </ul>
小型化	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 回路基板縮小</li> <li>• 超小型光ヘッド</li> <li>• 超小型機構系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高集積化 LSI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 集積化光ヘッド</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 低電力ヘッド駆動</li> <li>• 5V 単一電源化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 軽量光ヘッド／キャリッジ</li> <li>• PWM 駆動</li> <li>• 5V 動作 LSI</li> <li>• 低電圧動作 LD／光センサ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3V 動作部品</li> </ul>

変調方式を採らざるを得ない。片面媒体に対しても、今後、ラップトップ、ノートブックパソコン等への内蔵を考慮した場合、ドライブの薄形化、低消費電力化、耐衝撃性の観点からは光変調方式が有利である。また将来的には、マルチビーム光ヘッドによるマルチチャネル記録により、転送速度を一挙に数倍増加させることも可能となろう。

アクセス時間の短縮は、光ヘッドの移動をいかに高速に行うかという課題になるが、そのために光ヘッド移動用リニアモータを単純に強化化するのでは、ドライブの小型化、低消費電力化という要求には反する。光ヘッド又はその一部を薄膜集積化によって超軽量化することが将来的には期待される。

光ディスク装置の小型化は主として薄形化という要請が強く、130 mm 光ディスク装置は現在のフルハイトからハーフハイトへ、90 mm 光ディスク装置はハーフハイトから 1 イ

ンチハイトへというのが次の要請であろう。しかし、90 mm は 130 mm に比べてディスクカートリッジ厚さが 5 mm 薄いという以外に、より薄くなるという本質的な要素はない。したがって、アクセス時間はある程度犠牲にした上で機構系の薄形化を図り、電気系は LSI 化を高度に進めて回路基板面積を小さくすることが必要である。

低消費電力化については、特にパソコン等への内蔵が期待される 90 mm 光ディスク装置で要求が強い。この場合、同時に低電圧駆動化も望まれるので、5V 又は 3V 単一電源で動作する要素部品の開発が必要となる。

#### 4. 標準化動向

光ディスクの標準化は ISO/IEC JTC 1 SC 23 委員会を中心に、これまで 130 mm 追記形と書換え形媒体について国際

規格を完成している。90 mm 書換え形媒体も既に国際規格の技術的内容はほとんど合意がとれており、近いうちに完成する見込みである。130 mm 光ディスクは各社が製品化を急いだこともあり、国際標準化の本来の目的である媒体互換性は十分とは言えないのが実情である。しかし、国際規格を作ることにより、光ディスク装置及び媒体の製品化に当たってその設計ガイドを与え、光ディスク産業の成長に寄与したことは否めない。より一層の媒体互換性が要求される 90 mm 光ディスクの標準化を機に、これらの経験を踏まえ、互換性実証の委員会活動が行われるようになったのは、FDD 並みの互換を目指すという観点から好ましいことである。

また、光ディスクの大容量化の動きに対応して、130 mm、90 mm 書換え形媒体の記録容量を 2～3 倍に増した次世代国際標準化の検討が開始されている。

以上の標準化はあくまでも物理的互換性のみを対象としているが、ISO/IEC JTC 1 SC 15 委員会では光ディスクへのデータ記録における論理フォーマットの国際標準化活動を 1991 年から開始し、原案も完成している。これが実施されれば、異なるシステム間でのデータ互換が可能となり、光ディスクの普及を促進するものと期待される。

## 5. む す び

究極の外部記憶装置としての期待を集めて光ディスクが登

場して久しい。しかし、主にその後の磁気ディスクの分野での目覚ましい技術の進歩もあって、これまでのところ、光ディスクは必ずしも初めの期待に沿ってきたとはいえない。これは、これまで、光ディスクの特長を生かした有効なアプリケーションが不足していたことによると思われる。

最近に至って、光ディスク媒体標準化活動の成果が出てくるとか、光ディスクをサポートする汎用プラットフォームが登場するなど、ようやく、光ディスク普及の条件が整いつつある。

前後して、アプリケーションソフトや OS の配布、マルチメディアデータの交換といった、大容量、媒体可換という光ディスクの特長を生かした用途が顕在化しつつある。今後、上記に加えて、高信頼度、低ビットコストといった特長をも生かした、多岐にわたる用途開発が加速することが期待される。

そのためには、同時に、光ディスクをより一層高機能、低コスト、小型にするための技術開発活動と、適正な標準化活動の展開が求められよう。

## 参 考 文 献

- (1) 光ディスク特集, 三菱電機技報, 62, No. 7 (1988)

# 大容量化技術

伊藤 修\* 島元昌美\*  
乙武正文\*\*  
名井康人\*\*\*

## 1. ま え が き

光ディスクはコンピュータ用の交換可能な大容量外部記憶装置として期待されている。これまでに、径130mmのライトワンス機、同径のリライタブル機、さらに1991年には径90mmリライタブル/ROM両用機の第一世代光ディスク装置及び媒体が市場に投入されるに至った。これら第一世代光ディスクの記録容量は130mmで片面300Mバイト、90mm(実際には86mm)で128Mバイトである。スーパーフロッピーとしては十分大容量であるが、ハードディスクの大容量化に伴う大容量・高速バックアップ装置への要求、大容量のソフト及びマニュアルの大量配布への要求、大容量データ、イメージ情報等の記録に対する要望の高まりから、更に大容量化が求められている。

光ディスクの大容量高密度化を達成する主な技術として、

- (1) 光スポットの縮小(短波長化)
- (2) 狭ピッチマスタリング技術
- (3) 大容量信号処理技術

がある。数年後には、これらの技術を使って、2～3倍容量の第二世代機が期待されている。また、将来、ランド・グルーブの両方に記録することによるピッチ半減化、媒体多層化、周波数多重化等の技術により、更に大容量化が進むものと予測されている。

上記の主な技術の中で、短波長化についてはこの特集号の別の論文で述べる。ここでは、当社が開発している狭トラックピッチを実現するマスタリング技術、大容量信号処理技術について述べる。

## 2. マスタリング技術

狭トラックピッチ化とは記録を行う単位であるトラックのピッチを小さくして記録密度の向上を図ることである。図1にCCS(Composite Continuous Servo)フォーマット光磁気ディスクの断面構造を示す。図1内のグルーブやプリピットの形状はドライブでのサーボ特性、プリピット再生信号特性や光磁気信号特性に直接的・間接的に関係する<sup>(1)</sup>。したがって、狭トラックピッチ化にはこのグルーブやプリピットをトラックピッチに応じた形状にするためのマスタリング技術の開発が必要である。

グルーブやプリピットは、図2に示したマスタリング工程の中核をなすレーザ露光装置を用いて形成する。ここでは、

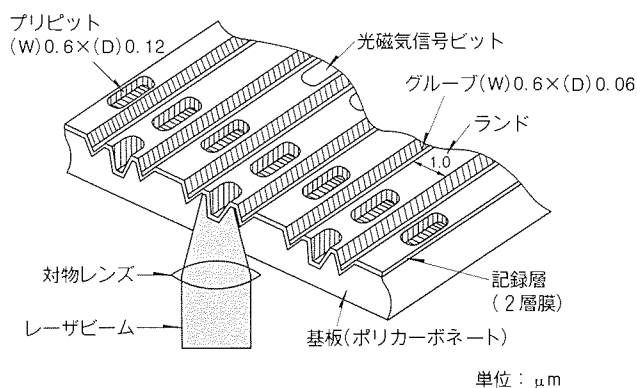
光ディスクのトラックピッチを1.2μmと想定して行ってきたマスタリング技術の開発状況について述べる。2.1節はレーザ露光装置でのレーザ集光技術を中心とした細かいグルーブやプリピット形状を作るための光学シミュレーションと実験結果について、2.2節はベクトル回折理論によるグルーブやプリピット形状と再生信号特性とのシミュレーションと実験結果をそれぞれ述べている。

### 2.1 プリフォーマットの形状

対物レンズに入射するビームの一部を遮光することにより、集光スポット径を減少させることは超解像として知られている<sup>(2)</sup>。ビームの位相を一部変更させても同様の効果が得られることをシミュレーションによって確認し、狭トラックピッチ用のグルーブやプリピットの形成のために、この技術をマスタリング工程に適用することを図った。

図3に、ビームの一部を遮光する遮光フィルタ及び位相を変化させる位相フィルタを用いて行った実験結果とシミュレーション結果の比較を示す。集光スポット径は、シミュレーション、実験ともにビームの走査方向に積分した強度プロファイルから求めたビーム径を用いた。なお、シミュレーションはフレネル回折に基づく波動光学理論を用い、位相フィルタはビームの位相変化量が半波長になるものを用いた。両フィルタとも実験結果とシミュレーション結果は非常に一致しており、試作したフィルタが設計どおりの効果を上げていることが確認された。

このフィルタ実験に平行して、グルーブ形状に大きな影響をもつフォトレジストの特性改善も図ってきた。図4は新フォトレジストとフィルタを用いて1.2μmトラックピッチで



注 プリピット：セクタ番地や誤り訂正コード情報があらかじめ記録されている。

図1. 光磁気ディスク断面構造

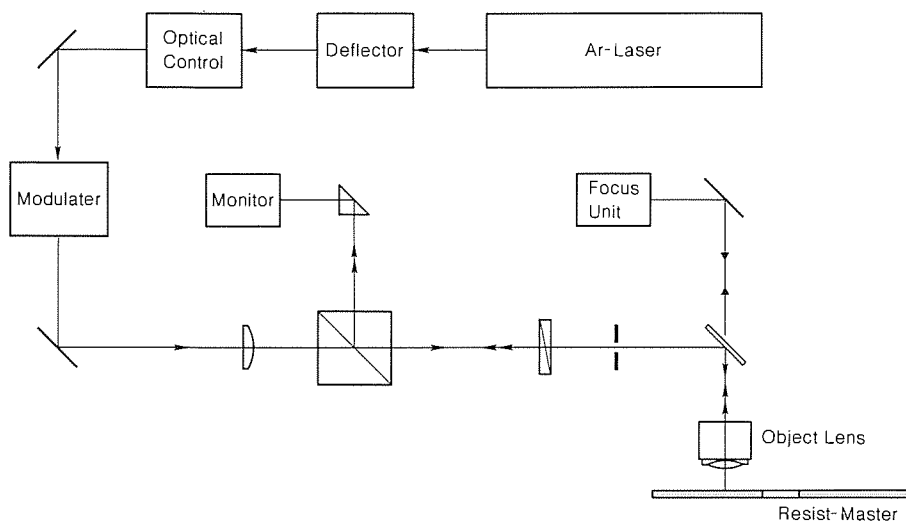


図2. レーザ露光装置の光路

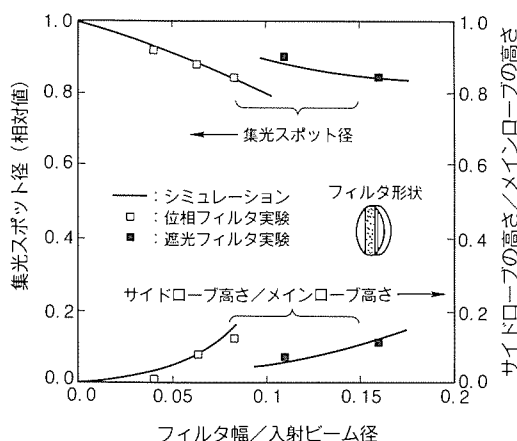


図3. 集光ビーム形状のシミュレーション結果と実験結果の比較

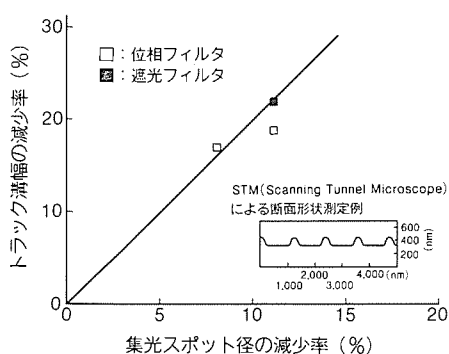


図4. トラック溝幅の減少

カッティングした結果を示す。この結果、グループ幅は従来に比較して約20%減少させることができた。この値はトラックピッチの縮小率(25%)にほぼ近い値である。また、この範囲では、フィルタを使用したときの集光ビーム径で見られたサイドローブはカッティング後のグループには発生しないことも確認している。

## 2.2 プリフォーマットの再生信号特性

光ディスクでのトラッキングサーボ等で使用する信号は、レーザ光をグループに照射したときに生じる回折現象を利用したものである。当社では直線偏光レーザ光を用いる書換え形光磁気ディスクでのサーボ信号等の解析のためにレーザ光を電磁波すなわちベクトル量として取り扱うベクトル回折理論<sup>(3)</sup>に基づいた独自のシミュレーションソフトを開発し、そのシミュレーションソフトを用いて狭トラックピッチ化での最適なグループ形状やプリピット形状の割り出しを行っている。

図5はグループ深さを段階的に変化した媒体を用いて測定したプッシュプル信号・溝横断信号とこのシミュレーションでの計算結果とを比較したものである。両者の傾向はよく一致しており、このシミュレーションはサーボ信号の解析に有効であることが分かる。

上記シミュレーションを用いて、トラックピッチ:1.2 $\mu$ m, レーザ光波長:680nmを想定して計算した結果を図6(a)(サーボ信号), 図7(a)(プリピット信号)に示す。図6(b)及び図7(b)は比較のために示した第一世代光ディスク(トラックピッチ:1.6 $\mu$ m, レーザ光波長:780nm)での計算結果である。

トラッキングサーボはプッシュプル信号又はプッシュプル信号を和信号で割ったデバイディッドプッシュプル信号を用いて行う。図6のPP(Push Pull)はトラックを横断させた時のこれらの信号の振幅値、CTS(Cross Track Signal)はトラックの横断方向をみるための和信号の振幅値、そしてランド反射率 $\Gamma$ は信号を記録するランドの広さ等を示す値であり、これらの値の範囲はドライブ側との取り扱いによって定められる。一般に光ディスクグループ形状の設計に当たっては、次のようにするのがよいとされている。すなわち、グループ深さはプッシュプル信号を優先してPPが最大値となる点に、グループ値はサーボ信号が確保される範囲で、かつプリピット信号等を考慮して総合的にそれぞれ設定する。図6, 図7は1.2 $\mu$ mピッチ光ディスクでのサーボ信号・プリピット信号が第一世代に比べて厳しくなることを示している。

## 3. 信号処理技術

光ディスクの大容量化のために、線記録密度を向上させる信号処理技術として、マークエッジ記録再生方式を開発している。

従来のマークポジション記録再生方式とマークエッジ記録再生方式の原理を図8に示す。マークポジション方式は、ディスク上の記録マークの存在に変調後のデータ“1”を対応さ

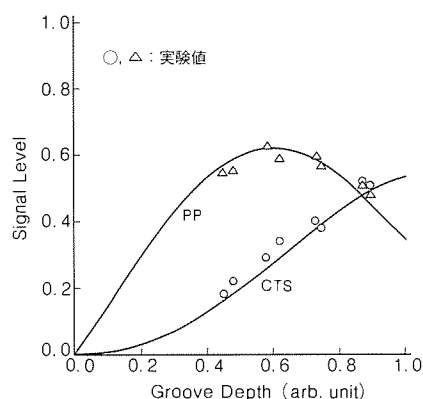
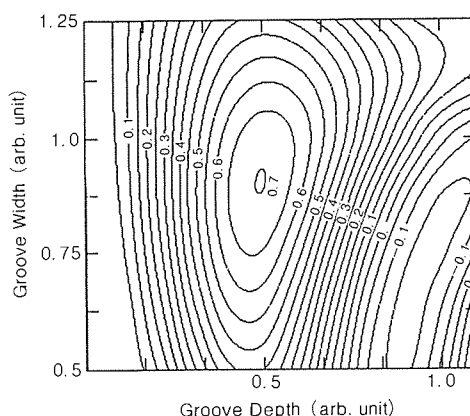
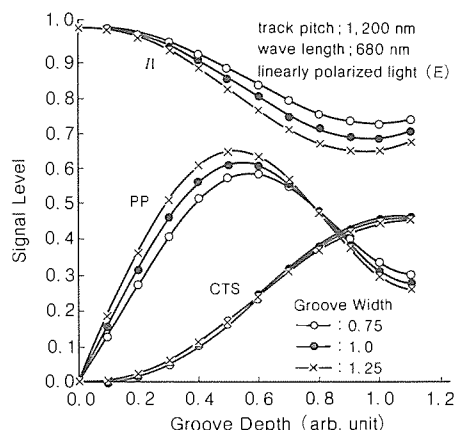


図5. サーボ信号のシミュレーション結果と実験結果の比較

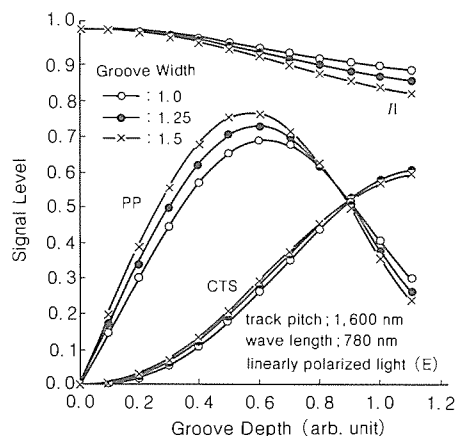


(a) 1.2 μm ピッチ光ディスク

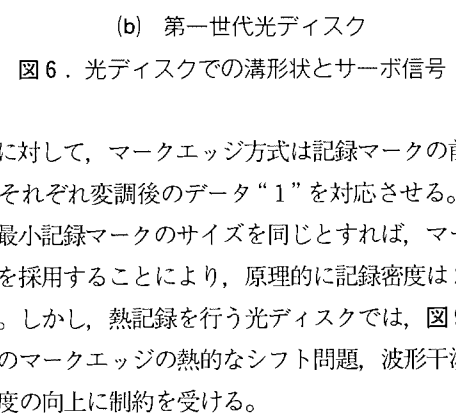


(b) 第一世代光ディスク

図7. 光ディスクでのピット形状とピット信号



(a) 1.2 μm ピッチ光ディスク



(b) 第一世代光ディスク

図6. 光ディスクでの溝形状とサーボ信号

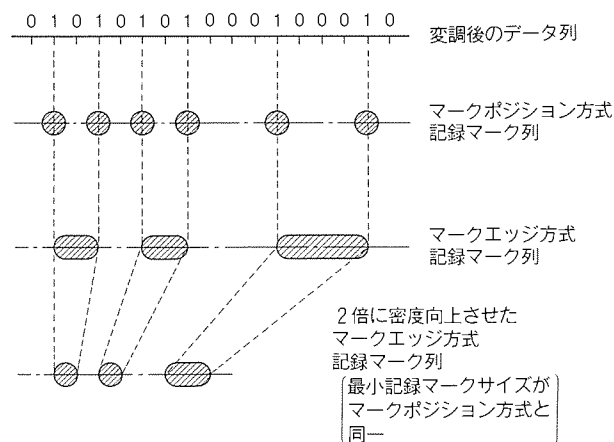


図8. マークポジション方式とマークエッジ方式の原理

せるのに対して、マークエッジ方式は記録マークの前縁及び後縁にそれぞれ変調後のデータ“1”を対応させる。したがって、最小記録マークのサイズを同じとすれば、マークエッジ方式を採用することにより、原理的に記録密度は2倍に向上する。しかし、熱記録を行う光ディスクでは、図9に示す2種類のマークエッジの熱的なシフト問題、波形干渉等から、記録密度の向上に制約を受ける。

マークエッジ記録で特に問題となるエッジのシフト問題に対して、再生信号のエッジ独立検出法及び記録パルス補正法を開発している。

図9から、記録パワーが最適値からずれた場合でも前縁間及び後縁間の距離はほぼ保存されていることが分かる。図10に、再生信号の前縁と後縁を一連の検出データとして取り扱ったときの再生信号ジッターと、両方のエッジを独立し



て取り扱ったときの再生信号ジッターを示す。この図から、両方のエッジを独立で検出することにより、記録パワーの多少のずれに対してジッターの増加はほとんど見られず、DC的なエッジシフトの影響が除去できることが分かる。

次に、記録パターンに依存したAC的なエッジシフトに対して、記録パルス幅を記録パターンに応じて補正した。補正前後のエッジシフト量の変化を図11に示す。記録パルス幅補正により、記録パワー7mWですべてのパターンのエッジシフトが最小化されていることが分かる。

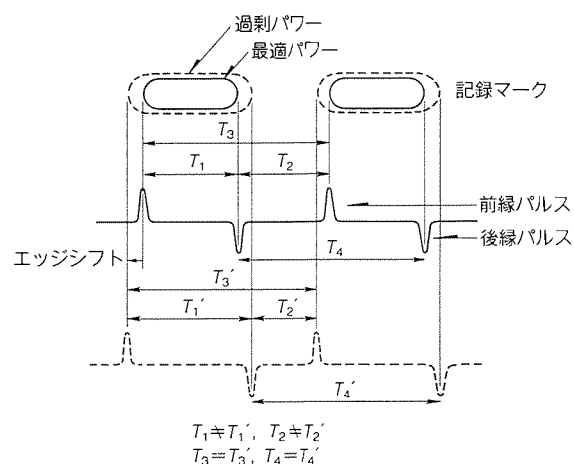
以上述べたエッジの独立検出法及び記録パルス幅補正法を採用した場合のマークエッジ記録再生方式に対する位相マージンを図12に示す。マークポジション方式に対して線記録密度が1.8倍向上するビット長 $0.56\mu\text{m}/\text{ビット}$ で、マージンは30%である。今後、波形等価を行えば、マージンは更に拡大でき、実用になるものと考えられる。

面記録密度を向上させる信号処理技術として、アクセス時間を考慮しつつ、内周と外周の記録密度を同一にして容量増大を図るMCAV (Modified Constant Angular Velocity)方式がある。半径方向にゾーン分けし、内周に対して外周ゾーンのクロック周波数を上げることで、一定回転数で外周の記録密度向上を図る。図13にゾーン数をパラメータとして、使用半径範囲に対する記録容量の関係を示す。最外周に対する最内周の半径比をCAV方式と同じ0.5としたとき、無限ゾーンで第一世代機のCAV方式に比べて容量が1.5倍に向上する。16ゾーン以上に分割すれば、ほぼ上限の1.5倍が容易に確保できる。

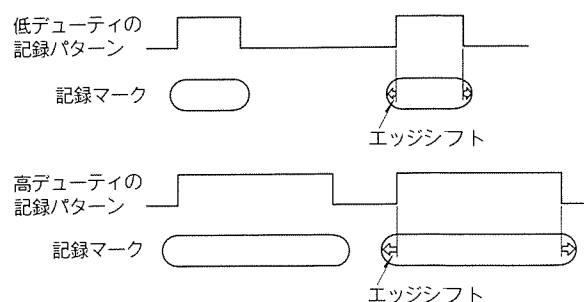
#### 4. む す び

これまでの検討結果から、第一世代機に対する容量増大の

予測値を参考として表1に示す。表から、130mm光ディスクで容量は現行機の3.6倍、すなわち片面1.2Gバイトを達成できる可能性がある。今後、記録波長等の条件を同一にして、これまでに述べた技術を組み合わせて、容量を検討する



(a) 記録パワー変化によるエッジシフト



(b) 記録パターン変化によるエッジシフト

図9. マークエッジの熱的シフト

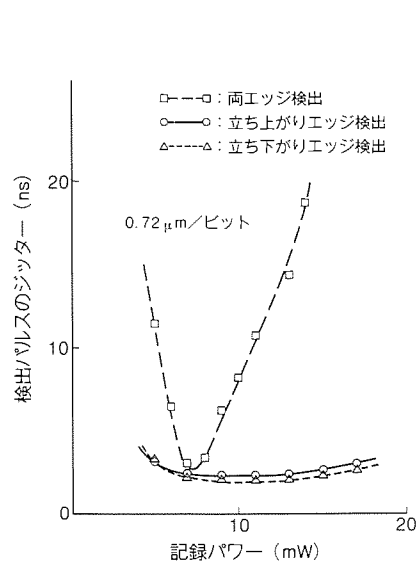
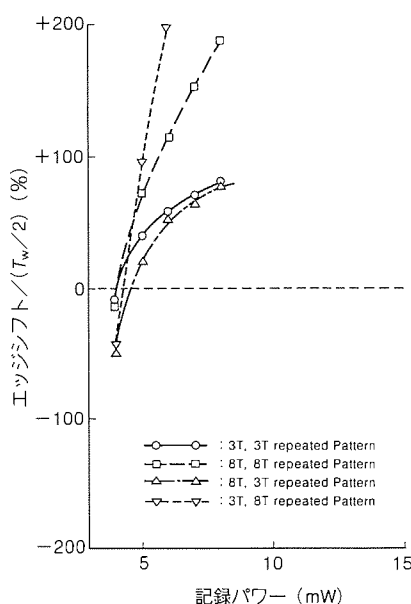
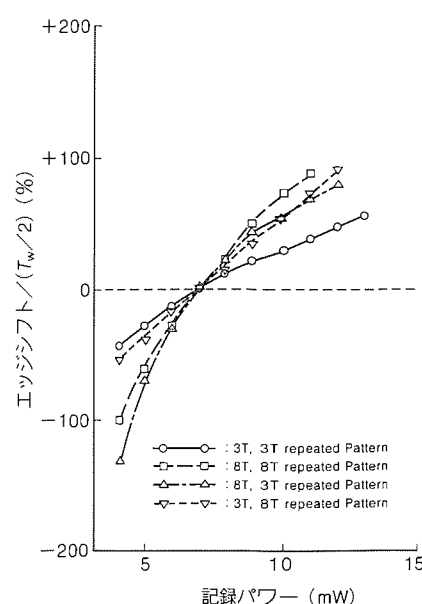


図10. 記録パワーに対する再生検出パルスジッターの関係



(a) 記録パルス幅補正がない場合



(b) 記録パルス幅補正をした場合

図11. 記録パルス幅補正の効果

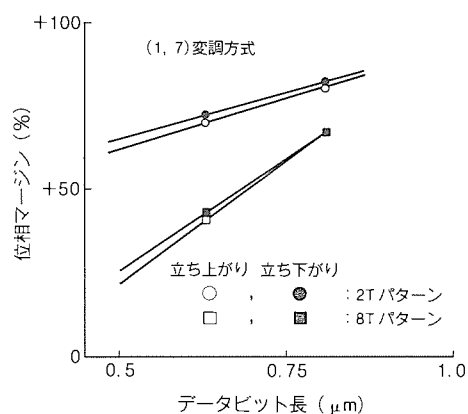


図12. データビット長に対する位相マージンの関係

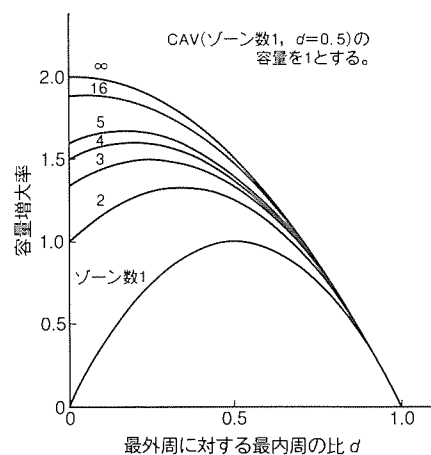


図13. MCAV 方式の容量増大率

とともに、互換性の確保、ROM 媒体の実現性、次世代国際規格を考慮した開発を進める予定である。

### 参考文献

- (1) 土橋 勝, 岡田和夫, 公文 潔, 広田哲也: 追記型光ディスク, 三菱電機技報, **62**, No. 7, 558~561 (1988)
- (2) Osterberg, H., Wilkins, Jr., J. E.: The Resolving Power of a Coated Objective, J. Opt. Soc. Am, **39**, 553~557 (1949)
- (3) Miyazaki, Y., Manabe, K.: An Analysis of Scattering Characteristics of a Beam Wave from Pits with

表1. 130mm 光ディスクの容量増大の可能性

項 目	現行 ISO 規格に対する容量増大率
トラックピッチ1.2 μm	×1.33
マークエッジの記録再生方式	×1.8
MCAV 方式	×1.5
計	3.6 倍

Arbitrary Shapes on Optical Disks, Proc. Int. Symp. on Optical Memory, 1989, JJAP, **28**, Supplement 28-3, 109~113 (1989)

# 光ディスク装置用レーザ光源

島 顕洋\* 入江 満+  
有本 智\*\* 宇多小路 雄+  
石森 彰\*\*\*

## 1. ま え が き

光ディスク装置の実用化が進むに伴い、データの記録再生速度と記録密度を高めた高性能・高機能光ディスク装置への要求が高まってきた。

データの高速記録再生などの高性能化の手法として、光ディスクの回転速度を高速化する方法がある。この方法をとるためには、より短時間で記録・消去を行う必要があるため、光ディスクの記録面上での光パワーを高めることが課題とされている。したがって、光源となるレーザの高出力化が非常に重要である。従来からのコンパクトディスクに代表される再生専用装置ではレーザの光出力として5mW程度、現行の書換え形光ディスク装置では少なくとも30mWの出力が要求されており、記録速度の高速化には50mW以上の出力が望まれている。

一方、記録密度の向上には、光ディスク上に集光された光スポットの大きさ(径)を小径化することが課題となる。光スポット径( $\omega$ )は、光源の波長( $\lambda$ )、対物レンズの開口数(Numerical Aperture : NA)を用いるとおおよそ $\lambda/NA$ で与えられるため、光源の波長( $\lambda$ )を短くすることが小径化による記録密度の向上に有効となる。図1に光源の波長と記録密度の関係について示した。光源波長を現行の800nm近傍から700nm以下の可視光域へと短波長化を図ることによって2～3倍の記録面密度の向上が期待でき、500nm帯では情報量の多いハイビジョンビデオディスク等の用途にも対応できる。半導体レーザ(Laser Diode : 以下“LD”という。)を光源として用いる場合、これまでに用いられたⅢ-V族化合物半導体では600nm程度(赤色)までの短波長化が可能で

ある。それ以下の緑・青色帯域までの短波長化にはⅡ-VI族半導体を用いたLDが必要となるが、現在、基礎的な研究が行われている段階であり、実用化までにはまだかなりの年月が必要とされている。

一方、LD又はLD励起固体レーザの赤外光出力を、非線形光学素子の第2高調波発生(Second Harmonic Generation : 以下“SHG”という。)により、1/2波長である青・緑帯域へ変換する技術が活発に研究されている。特に、LD励起固体レーザを用いたグリーンレーザは、既に十分な出力のものが開発されているため、注目を浴びている。これら光ディスク装置の高性能・高機能化に要求されるレーザ光源の出力と波長の位置付けを図2にまとめた。

このような背景を踏まえ、当社では次世代光ディスク装置用レーザ光源として、現行780nmLD(定格出力=30mW)の高出力化(定格出力=50mW)、発振波長の短波長化( $\lambda=670$ nm)、さらにLD励起固体レーザの共振器内部にSHG素子を用いたLD励起グリーンレーザ( $\lambda=532$ nm)の開発を進めてきた。

この報告では、780nm帯高出力LDの基本特性と信頼性、670nm帯赤色LDの発振特性と高出力化、及び超小型LD励起グリーンレーザの構成と基本特性について述べる。

## 2. LDの高出力化、短波長化

この章では従来から光ディスク装置用光源として用いられてきたLDの高出力化、短波長化としてはほぼ実用化にめど(目処)がたった780nm帯の50mW級高出力LDと、現在高出力化を進めている670nm帯赤色LDについて紹介する。

### 2.1 LDの基本構造

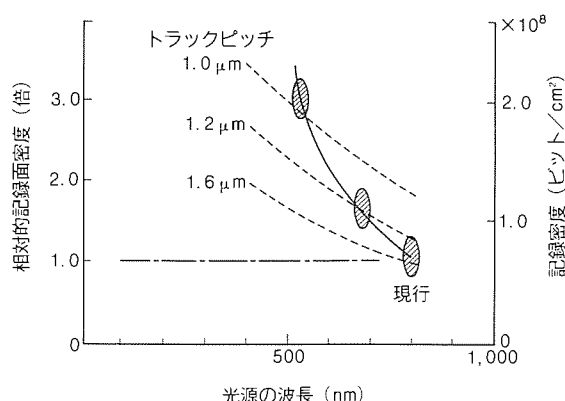


図1. 光源の波長と記録密度

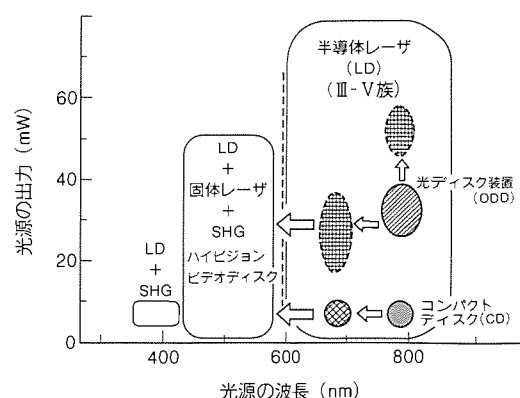


図2. 次世代光ディスク装置用レーザ光源

780 nm 帯 LD 及び 670 nm 帯 LD いずれも図 3 に示すような構造をもっている。この構造では LD 結晶の内部に設けられた幅数  $\mu\text{m}$  のリッジと呼ばれる光導波路領域に電流が狭く(窄)され、図中の幅約  $3\mu\text{m}$  の発光領域に電流と光が集中し、低動作電流でモードの安定したレーザ発振が得られるようになっている。

この構造は n 型の GaAs 基板上に、MOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition) と呼ばれる Å オーダーの制御性で結晶成長が可能な成長法によって形成される。光を効率良く取り出すために、光を出射する前端面には低反射膜が、後端面には高反射膜がコーティングされている。なお、共振器長は 780 nm LD の場合  $350\mu\text{m}$ 、670 nm LD の場合は  $650\mu\text{m}$  とした。780 nm LD と 670 nm LD には各々の波長に合ったバンドギャップエネルギーをもつ半導体材料をヘテロ接合部に用いる必要があり、780 nm LD には AlGaAs 系の材料を、670 nm 帯 LD には AlGaInP 系の材料を用いている。ヘテロ接合部の材料組成及び活性層構造等の詳細については各 LD 別に後述する。

## 2.2 780 nm 帯高出力 LD

一般に AlGaAs 系の LD では、電流を増やして光出力を上げていくと、瞬時に劣化したり寿命が著しく短くなるといった問題点がある。これは LD 内で発生する高い光密度によって自らの端面を溶解することに原因があるとされている。従来は活性層が単一層からなる DH (Double Heterostructure) 構造と呼ばれるものが広く用いられてきた。この場合、端面劣化を防止するためには活性層厚を薄くし、活性層内の光密度を低減することによって高出力化する試みが一般的であった。当社でもこの手法で 30 mW 程度の高出力 LD<sup>(1)</sup> を実用化してきたが、更に光密度を低減して高出力化しようとすると逆に発振しきい(閾)値電流の上昇を招き、寿命を悪化させることが分かった。

今回報告する 50 mW 級の高出力 LD は、活性層に光密度を低減しても DH 構造に比べ閾値電流を小さく維持できる三重の量子井戸構造<sup>(2)</sup>を採用することにより、良好でかつ安定な高出力特性を得られるようにしている。

### 2.2.1 780 nm LD のヘテロ接合部構造

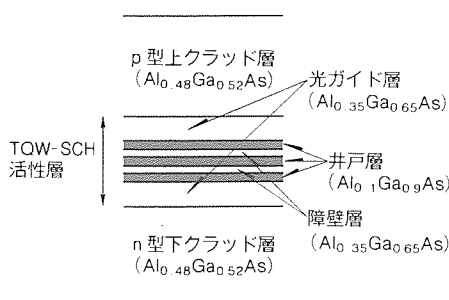


図 4. 780nmLD のヘテロ接合構造の  
拡大図

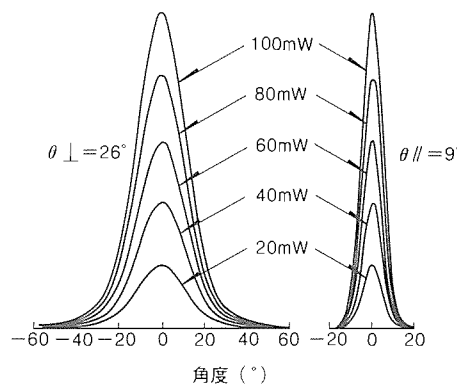


図 5. 780nmLD の遠視野像

図 4 に上下クラッド層及び活性層からなるヘテロ接合部の構造を示す。活性層に多層の AlGaAs 薄膜からなる TQW-SCH (Triple Quantum Well Separate Confinement Heterostructure) と呼ばれる構造が用いられているのが特徴である。厚さ約  $100\text{\AA}$  の  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  からなる三重の量子井戸層 (TQW 層) が活性領域であり、各層は Al 組成の高い障壁層によって分離される。これらの井戸層のもつ量子効果により、LD の発振閾値電流を低く維持できるとともに 780 nm 帯の光を発する。TQW 層の上下に位置する光ガイド層は量子井戸層内の光密度を調整する層であり、この層を構成する AlGaAs 層の Al 組成比を大きくするか、又は層厚を薄くすることで、活性層からクラッド層への光のしみ出しを増やして光密度を低減できる。

### 2.2.2 780 nm LD の高出力特性と寿命

光ディスク装置での記録・再生では、ディスク上に照射されるレーザビームが常に単一スポットである必要があり、そのためには光源である LD が常に安定な基本モードで発振することが不可欠である。図 5 は LD から出射されるビーム広がり角の光出力依存性を示したものである。活性層に対して垂直方向のビーム広がり角  $\theta_{\perp}$ 、平行方向のビーム広がり角  $\theta_{\parallel}$  はそれぞれ  $26^{\circ}$ 、 $9^{\circ}$  であり、いずれも 100 mW の光出力まで安定である。このことは LD が安定な基本横モードで動作していることを示している。また、室温での発振波長は 50 mW、動作時で 785 nm であった。

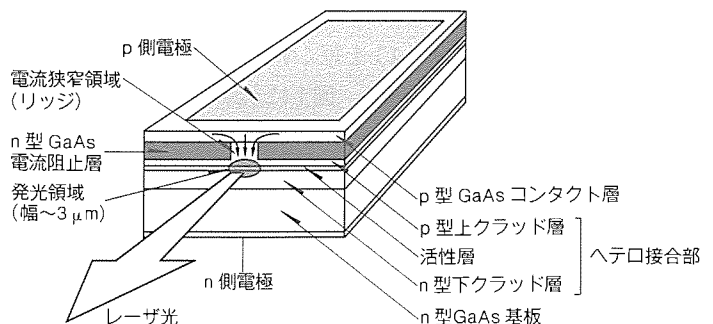


図 3. 光ディスク装置用 LD の基本構造

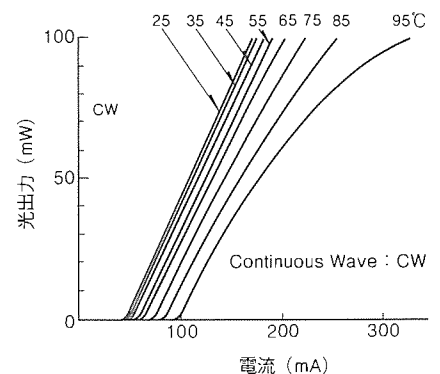


図 6. 780nmLD の光出力-電流特性の  
温度依存性

光ディスク装置内では様々な電子部品の発熱によって50℃以上の温度に達する場合がある。このような高温下でも所望の50 mW以上の光出力が安定にLDから出射されなければならない。図6は光出力—電流特性の温度依存性を示したものである。この図から高温下でも少なくとも50 mWまでは実使用上問題のない良好な直線性が保たれ、50 mWでの動作電流も実用範囲である200 mA以下に抑えられていることが分かる。さらに、95℃の環境温度でさえ100 mWの光出力が得られている。

LDの破壊レベルを確認するために室温での光出力—電流特性を測定した。図7に示すように実使用出力の2倍である100 mW以上の光出力でも安定に動作し、破壊レベルが約170 mWに達したのも得られている。なお、閾値電流は48 mAである。

最後にLDの信頼性を確認するために行った60℃、50 mWの条件下での定光出力寿命試験の結果を図8に示す。2枚のLDウェーハからランダムに7素子ずつ合計14素子のLDを抜き取って試験を行っている。いずれの素子も劣化することなく安定に1,000時間以上動作している。

以上に述べたように、波長が780 nmで従来の光出力(30 mW)より約1.7倍高い50 mWのLDが、特性・信頼性で高

性能光ディスク装置の光源として実用レベルに達したことを確認した。また、特性の均一性についても良好であることを確認している。

## 2.3 670 nm 帯赤色 LD の高出力化

670 nm 帯の赤色 LD でも、高出力化の方法としては、前述したように活性層の薄膜化による光密度の低減によってLD端面の損傷を防ぐ方法が採られることが多い。しかし、AlGaInP系結晶を材料とする赤色LDでは活性層を薄膜化した場合、活性層に電子を閉じ込めるポテンシャル障壁(クラッド層と活性層のバンドギャップ差)がAlGaAs系材料に比べて小さいために、電子が活性層からクラッド層にあふ(溢)れ出すオーバフロー現象が顕著に現れる。その結果、閾値電流の著しい増加を招き、高温で高出力動作可能な赤色LDを実現することが非常に困難であった。

今回の報告では上記の問題を解決するために、電子を閉じ込めるエネルギー障壁を実効的に大きくできる多重量子障壁<sup>(3)</sup>及び閾値電流低減に有効なひずみ(歪)活性層<sup>(4)</sup>を670 nmLDに適用した結果について述べる。

### 2.3.1 670 nmLD のヘテロ接合部構造

図9に活性層付近のヘテロ接合部の構造を示す。n型及びp型クラッド層はAlGaInP、活性層はGaInPを用いており、AlGaInP(障壁層)とGaInP(井戸層)で構成された多層超格子構造である多重量子障壁(Multiple Quantum Barrier: MQB)がp型クラッド層と活性層の間に挿入されている。

MQBの基本的な原理は量子力学的現象に基づいており、超格子構造によって形成されるエネルギー障壁で電子波が反射される現象を利用したものである。今回報告するLDでは、11.5 ÅのAlGaInP障壁層及び17 ÅのGaInP井戸層の超格子構造10ペアからなるMQB構造を採用している。

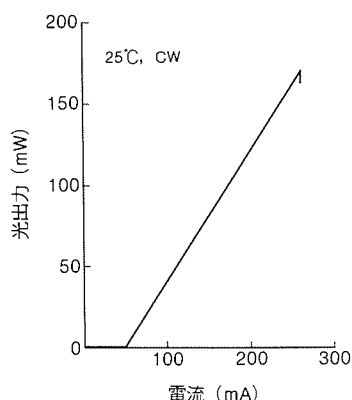


図7. 780nmLDの光出力—電流特性(室温)

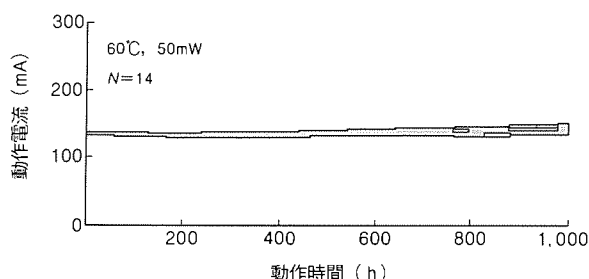


図8. 780nmLDの寿命試験結果

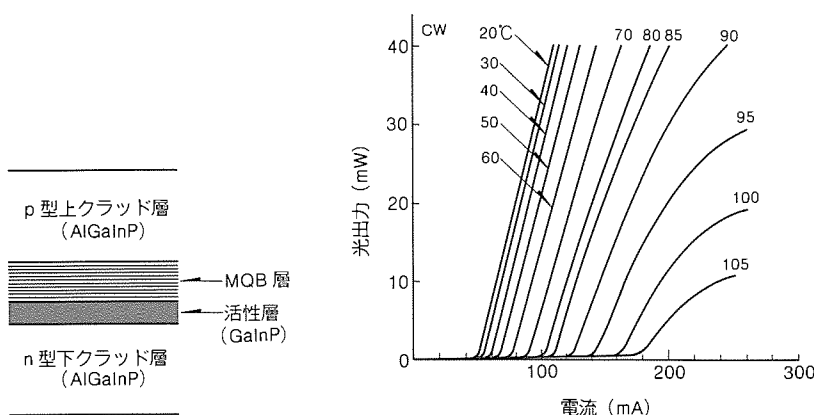


図9. 670nmLDのヘテロ接合構造の拡大図

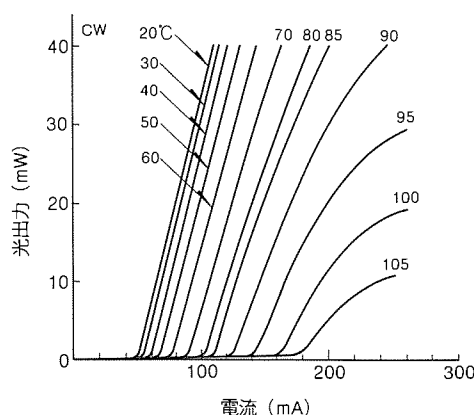


図10. 670nmLDの光出力—電流特性の温度依存性

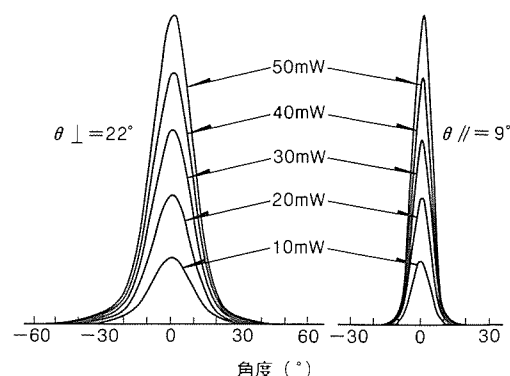


図11. 670nmLDの遠視野像

以上のようなMQBを導入した上で、LDの高出力化を図るためGaInP活性層は150~200Åまで薄膜化し、かつ更なる閾値電流低減効果を得るために圧縮ひずみ(GaInPの格子定数を基板のGaAs結晶より0.35~0.45%大きくする。)を加えている。

### 2.3.2 670 nm LD の高出力特性

これまで発振さえ困難であった薄膜活性層をもつLDにMQB及びひずみ活性層を導入することで、低閾値電流での発振を可能にすることができた。図10は試作したLDの光出力-電流特性の温度依存性を示したものである。室温での閾値電流は約50 mAと低いものが得られている。また、90℃まで40 mWの光出力が維持され、105℃でも10 mW以上の出力が得られるなど、高温における特性も著しく改善される結果を得た。

図11はこのLDのビーム広がり角の光出力依存性である。 $\theta_{\perp}$ は22°、 $\theta_{\parallel}$ は9°で、いずれも50 mWまで安定に基本モード発振が得られていることが分かる。なお、30 mW出力時の発振波長は678 nmであった。

以上のように、670 nm帯の赤色LDは、記録密度を高めた書換え形光ディスク装置の光源に必要な光出力及び基本性能を満足しているものと考えられる。

## 3. 超小型 LD 励起グリーンレーザ

LD励起グリーンレーザは固体レーザの一種で、レーザ媒質としてネオジウム(Nd)を含んだYAG(Yttrium Aluminum Garnet)などの結晶を用いている。図12に示すように、励起光源として波長が808 nm付近のLDを用いて1,064 nmの赤外レーザ光を発振させ、さらに共振器内に置かれたKTP(KTiOPO<sub>4</sub>:チタン酸りん酸カリウム)などの第2高調波発生素子によって532 nmのグリーン光を発生する。図1で示したように、このようなグリーン光源の使用によって3倍程度の記録面密度の向上が期待できる。

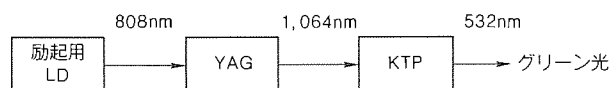


図12. LD励起グリーンレーザの波長

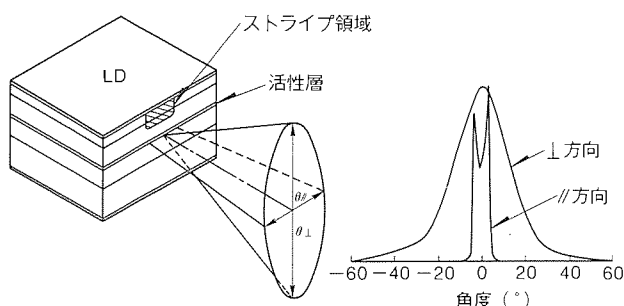


図13. 励起用LDの構造とビーム遠視野像

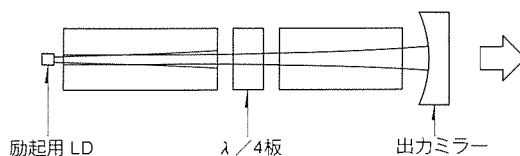
ここで励起光源として用いる高出力LDは、前述の光ディスク装置用のLDとは異なり、ストライプ領域の幅を数十μm以上に広げたものである。そのため、基本横モードは得られていないが、発光面積の拡大によって1 W以上の高出力化を実現している。

一般にこの種の高出力LDでは図13に示すように活性層に対して垂直方向のビーム広がり角が大きい<sup>(5)</sup>。このため、従来のLD励起固体レーザでは、集光レンズによって励起光を固体レーザ媒質に集光照射し、レーザ発振に使われる狭い領域を高密度に励起して高効率の発振を実現している。

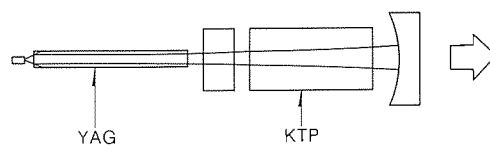
LD励起グリーンレーザを光ディスク装置へ適用するためには、LDと同程度の大きさにまで小型化することが望ましい。従来のLD励起グリーンレーザでは、集光レンズ系を小さくすることが小型化を図る上での課題となっていた。

当社では集光レンズ系を用いない新しい励起方式を考案し<sup>(6)</sup>、直径10 mm、長さ17.5 mmというこれまでにない超小型のグリーンレーザを実現した。この励起方式では、励起光源となるLDチップを薄い板状の固体レーザ媒質に近接配置し、励起光が広がる前に固体レーザ媒質に入射させる。LDの活性層に対し、垂直な方向に広がる励起光を全反射を利用して固体レーザ媒質内に閉じ込めることにより、狭い領域を強く励起し、効率良く基本モードの発振を実現している。

図14に超小型グリーンレーザの構成を、図15に外観を示す。固体レーザ媒質として、Nd濃度1原子%、厚み0.5 mm、幅2 mm、長さ5 mmのYAG結晶を用い、金属のブロックに接着固定した。レーザ共振器は、それぞれ赤外レーザ光の波長1,064 nmに対して全反射コーティングを施したYAG結晶の励起光入射側端面と曲率400 mmの出力ミラーで構成した。ミラー間隔は12 mmである。共振器内には第2高調波発生のためのKTP結晶、及び共振器内での偏光制御による出力安定化のためのλ/4板を配置した<sup>(7)</sup>。YAGレーザの基本波である赤外レーザ光は薄板状YAG結晶の内部をストレートに通っている。この赤外レーザ光をKTPにより、1/2の波長のグリーン光(波長532 nm)に変換し、出力ミラ



(a) 上面図



(b) 側面図

図14. 超小型グリーンレーザの構成



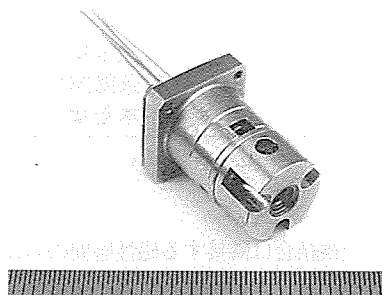


図15. 超小型グリーンレーザの外観

ーから取り出している。集光レンズに加え、従来用いられていた全反射ミラーをなくすことにより、共振器の大幅な簡素化を実現した。

図16に出力特性を示す。半導体レーザからの励起光440 mW に対し、グリーン光出力4.4 mW を得ている。このレーザは、形状、出力とも再生専用光ディスク装置の光源としての仕様を満たしている。

#### 4. む す び

次世代光ディスク装置や高精細ビデオディスク等に要求される種々のレーザ光源について報告した。ここで述べたレーザ光源を用いることにより、以下に示す光ディスク装置の高性能・高機能化を図ることができる。

##### (1) 780 nm 帯高出力 LD

光ディスク上の光スポット強度を約50%向上させることができ、光ディスク回転速度の高速化が可能となり現行光ディスク装置のデータ転送速度を向上できる。

##### (2) 670 nm 帯赤色 LD

現行 LD の電氣的・光学的特性を保持した状態で約20%程度の光スポットの小径化を図ることができ、狭トラックピッチの光ディスクの採用等と併せて、現行光ディスクの2倍以上の高密度化が達成できる。次世代高密度 ODD やビデオディスク用光源として期待される。

##### (3) 超小型 LD 励起グリーンレーザ

最大50%程度の光スポットの小径化を図ることができ、狭トラックピッチの光ディスクの採用等と併せて、現行光ディスクの3～5倍以上の高密度化が期待される。ハイビジョン用ビデオディスク、高精細画像ファイルなどの光源として有望視されている。

今後、光ディスク装置用レーザ光源として複数の並列記録再生を可能とするマルチビーム LD や光導波路型 SHG 素子等で LD 光を直接波長変換する青色光源、更にはⅡ-VI族を用いた緑・青色 LD などに対する要求が高まってくるものと予想される。

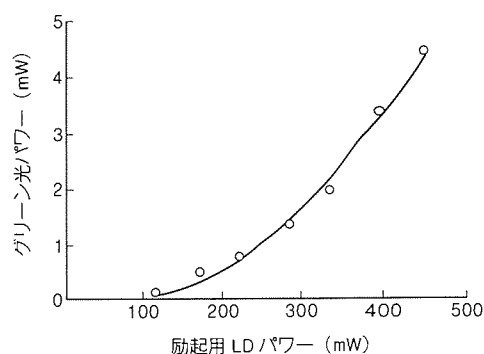


図16. 超小型グリーンレーザ出力特性

#### 参 考 文 献

- (1) Ohta, Y., Yagi, T., Kagawa, H., Tamari, K., Kashimoto, Y. : 780 nm High Power Laser Diode Fabricated by Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) Technique, SPIE Proceedings, Laser-Diode Technology and Applications II, **1219**, 134~137 (1990)
- (2) Yamashita, S., Nakatsuka, S., Uchida, K., Kawano, T., Kajimura, T. : High-Power 780 nm AlGaAs Quantum-Well Lasers and Their Reliable Operation, IEEE, J. Quantum Electron., **27**, 1544~1549 (1991)
- (3) Takagi, T., Koyama, F., Iga, K. : Design and Photoluminescence Study on a Multiquantum Barrier, IEEE, J. Quantum Electron., **27**, 1511~1519 (1991)
- (4) Yablonovitch, E., Kane, E. : Reduction of Lasing Threshold Current Density by the Lowering of Valence Band Effective Mass, IEEE, J. Lightwave Technol. **LT-4**, 504~506 (1986)
- (5) Shigihara, K., Nagai, Y., Karakida, S., Takami, A., Kokubo, Y., Matsubara, H., Kakimoto, S. : High-Power Operation of Broad-Area Laser Diodes with GaAs and AlGaAs Single Quantum Wells for Nd : YAG Laser Pumping, IEEE, J. Quantum Electron., **27**, 1537~1543 (1991)
- (6) Ishimori, A., Yamamoto, T., Uchiumi, T., Yagi, S., Shigihara, K. : Pumping Configuration without Focusing Lenses for a Small-Sized Diode-Pumped Nd : YAG Slab Laser, Optics Lett., **17**, 40~42 (1992)
- (7) Oka, M., Kubota, S. : Stable Intracavity Doubling of Orthogonal Linearly Polarized Modes in Diode-Pumped Nd : YAG Lasers : Optics Lett., **13**, 805~807 (1988)

# 光変調オーバーライト光磁気ディスク

深見達也\* 堤 和彦\*\*\*  
徳永隆志\*\* 伊藤正也\*\*  
中木義幸\*\*

## 1. ま え が き

書換え可能な光ディスクである光磁気ディスクは大容量で媒体交換可能なファイルメモリとして熱い期待がかけられてきたが、第一世代のディスクがようやく離陸し、立ち上がったところである。光磁気ディスクが今後飛躍的に普及、発展するためには、記憶容量の増大とともに記録速度の向上がポイントである。光ディスクは大容量ではあるが、磁気ディスクに比べると記録のスピードが遅い。その原因の一つは、第一世代の光磁気ディスクでは、情報の書換えに消去と記録の二つの過程が必要で、オーバーライト（重ね書き）ができないからである。そこで、次世代の光磁気ディスクとしては2～3倍の記憶容量で、かつ磁気ディスク並みの記録速度の達成を目指して研究開発が活発化している。

オーバーライトは記録速度を高速化するための必ず（須）技術であり、この報告では、当社が開発中である交換結合4層膜媒体を用いた光強度変調方式オーバーライト技術<sup>(1)～(4)</sup>について述べる。この方式は、 $2.4 \times 10^5 \text{ A/m}$  [3kOe] 以上の大きな磁界を発生させる初期化磁石<sup>(5)</sup>を必要とせず、したがって現在実用化されている第一世代の光磁気ディスク装置の構成をほとんど変えることなくオーバーライトが可能となり、高密度記録にも対応できる。この方式の基本概念・構成・性能について述べるとともに高密度化に対する考察と記録方式についても言及する。

## 2. ディスク構成とオーバーライト記録の原理

この方式のディスク構成を図1に示す。誘電体層にサンドイッチされた記録膜は、当社が独自に開発した交換結合4層

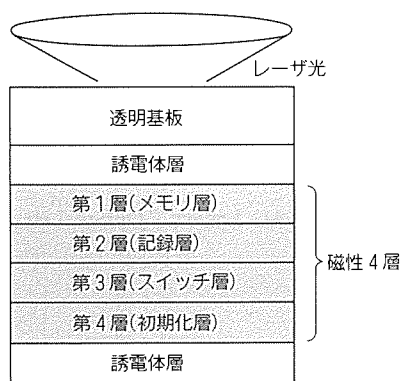


図1. 光変調オーバーライトディスクの構成

膜からなる。交換結合は隣接する磁性層間のみに働き、隣接する磁性層内の磁性スピン方向を平行にするように作用する。各磁性層は基板側から、メモリ層、記録層、スイッチ層、初期化層という。まず、各磁性層の特徴について簡単に述べる。

記録された2値情報（デジタル情報）は、最終的にメモリ層の磁性スピン方向の上下として記憶される。また、メモリ層のキュリー温度は記録層と比較して低い温度に設定してある。

記録層、スイッチ層、初期化層の3層は光変調オーバーライト記録を可能にするために設けられている。初期化層は極めて高いキュリー温度をもっているため、記録時や保存時にスピン反転することはない。例えば、成膜直後に電磁石などによって初期化層の磁性スピンを一様に上向きに磁化しておけば、半永久的に上向きのスピン方向を保持する。

スイッチ層のキュリー温度は、4磁性層中最も低く設定されている。レーザ照射により、そのキュリー温度以上に加熱されると、スイッチ層は磁性を失い隣接層との交換結合が消失し、スイッチ層を介して初期化層から記録層へ働いていた交換結合も切断される。すなわち、スイッチ層の存在は、初期化層から記録層へ働く交換結合を温度によってスイッチングする役割をもっている。

次に、オーバーライトの原理を図2を用いて説明する。光変調オーバーライト記録では、記録されるデジタル情報の“0”と“1”に対応して、照射されるレーザの強度が低パワーと高パワーに変調される。記録前には、図2(A)に示すようにメモリ層以外の3層のスピンはすべて上向きになっている。これに低パワーが照射され磁性層の温度が上昇すると、メモリ層

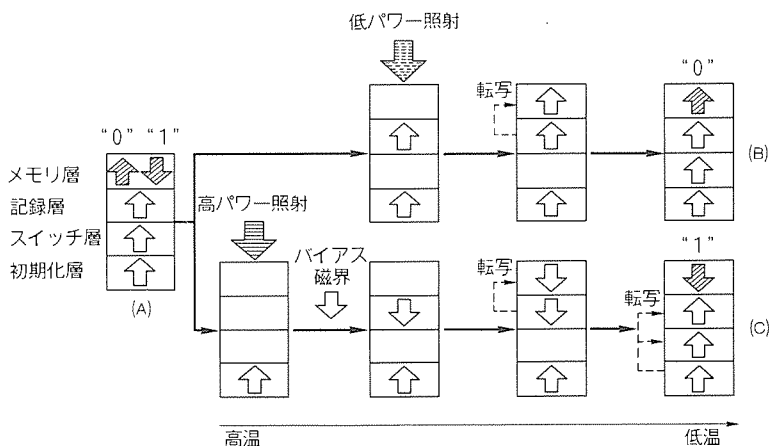


図2. 光変調オーバーライトのメカニズム

のスピンの方向を維持しようという力は急速に弱まる。その結果、メモリ層のスピンは記録層からの交換力によって上向きになる(図2(B))。

他方、高パワーの照射によって磁性層の温度は記録層のキュリー温度近傍まで上がる。そして、下向きに印加されたバイアス磁界により、記録層スピンは下向きに磁化される。このとき、スイッチ層によって初期化層から記録層へ働く上向きの交換力は遮断されているため、小さなバイアス磁界でも良好な記録が可能である。さらに、冷却時に記録層のスピンはメモリ層に転写される。磁性層の温度がスイッチ層のキュリー温度以下になると、初期化層から記録層へ働く上向きの交換力が働き始め、記録層のスピンは上を向く。しかし、この温度ではメモリ層は十分に安定になっているため、記録層からの交換力に打ち勝って下向きの磁化方向を維持する(図2(C))。

このように低パワー照射時にメモリ層の磁性スピンは上向きに、高パワー照射時に下向きになり、良好なオーバーライトが行われる。

### 3. 基本特性

光変調オーバーライト光磁気ディスクは、案内溝付きの基板の上に誘電体膜、交換結合4層膜、保護膜を順次スパッタ法によって形成後、メモリ層以外の層の磁化スピンを一方向にそろえるために電磁石により、 $\sim 1 \times 10^6 \text{ A/m}$  [数 kOe] の磁

界を膜面垂直方向に印加して初期化を行った。

記録再生特性は表1に示す条件で測定した。この記録再生条件による記録磁界特性と記録レーザパワー特性を測定した。図3は、記録レーザパワー(高パワーと低パワー)を一定として、記録磁界を変化させたときのCN比(Carrier-to-Noise Ratio: 狭帯域のSN比)の変化を示している。図4は、記録磁界を一定として、高パワーと低パワーを変化させたときのCN比の変化を示している。これらの結果から、光変調オーバーライトディスクが実用上十分な記録磁界及び記録レーザパワーに対するマージンをもっていることが分かる。

さらに、 $10^6$ 回の繰り返しオーバーライトにおいてもCN比の変化はなく(図5)、繰り返し書換えに対する信頼性も確認した。

なお、今回の記録再生特性の測定に利用した装置は、第一世代のISO規格準拠の当社製装置(ME5E1)を、光変調オーバーライトが可能になるようにレーザ変調制御部を改造したものである。また媒体は、ISO規格内の記録レーザパワー10mWで実用上十分なCN比が得られており、第一世代のISO規格準拠の装置にわずかの改良を加えるだけで光変調オーバーライトが達成できることも確認できた。

### 4. 高密度化への展望

光ディスクの高密度化に対しては、①トラックピッチを狭くすることによる高TPI化、②記録マーク長を短くすることによる高BPI化、③マークエッジ記録方式の採用<sup>(6)</sup>、④MCAV記録方式の採用、等が考えられている。ここでは光強度変調オーバーライト技術に特有な課題であるマークエッジ記録方式及び高TPI化について述べる。

#### 4.1 マークエッジ記録方式

現在実用化されている光磁気ディスク装置は、記録マークの中心位置で情報を表すマークポジション記録方式を採用している。これに対して記録マークの両端で情報を表すマークエッジ記録方式採用により、最大で2倍の記録密度化が可能になる。図6に光強度変調オーバーライト媒体と第一世代ISO

表1. 記録再生条件

高パワー	( $P_H$ )	$\sim 11.0 \text{ mW}$
低パワー	( $P_L$ )	$\sim 5.0 \text{ mW}$
再生パワー	( $P_R$ )	$\sim 1.5 \text{ mW}$
バイアス磁界	( $H_{EXT}$ )	$4.8 \sim 10^4 \text{ A/m}$ [ $\sim 600 \text{ Oe}$ ]
記録周波数		4.93 MHz
パルス幅		47 ns
基板回転数		2,400 r/min
記録半径		30 mm

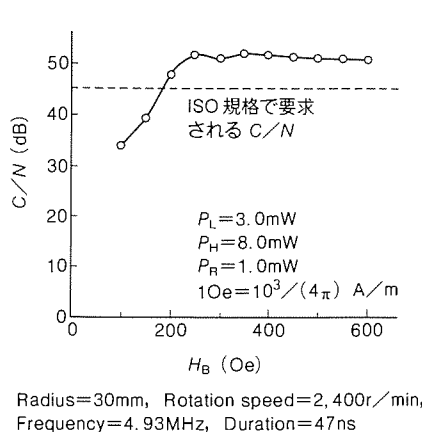


図3. CN比の記録磁界依存性

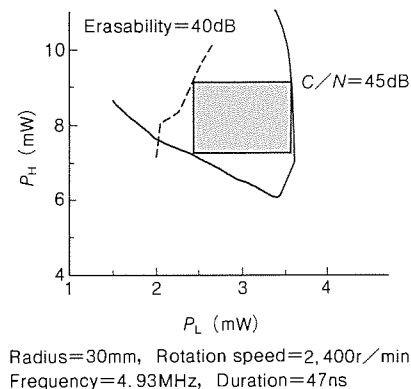


図4. CN比の記録パワー(高パワー、低パワー)依存性

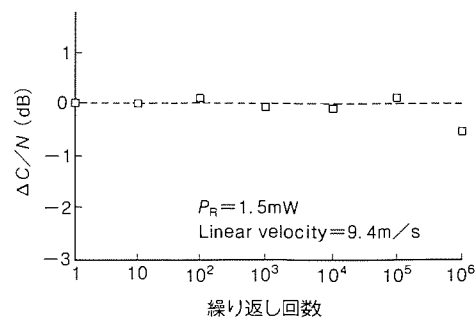


図5. 繰り返しオーバーライト回数に対するCN比の初期値からの変化

準拠媒体のCN比と消去比に対するエッジジッターマップを示す。ここで示したエッジジッターは、立ち上がりエッジ及び立ち下がりエッジを独立に検出した値の平均値である。この図に見られるように、光強度変調オーバーライト媒体は消去比が20dBにおいてもエッジジッターの劣化はわずかで、消去比の低下に対するエッジジッターの悪化は第一世代ISO準拠媒体よりも小さい。このため、光強度変調オーバーライト媒体はエッジ記録方式に適していることが分かる。この現象は光変調オーバーライト記録方式に特有なセルフシャープニング効果に起因している<sup>(7)</sup>。

図7に全面記録状態(高パワー消去状態)の上に高パワーのレーザで記録したときの偏光顕微鏡写真を示す。図に見られるように、記録されたマークの周辺は必ず消去状態になっており、これがセルフシャープニング効果である。高パワーで記録した周囲は先に述べたハイプロセスが生じる温度には達していないが、ロープロセスが生じる温度に昇温しているため生じる効果である。このように記録マーク周囲には消し残り信号が存在しないため、記録マークエッジは鮮明になりエッジジッターは小さい。

## 4.2 高TPI化

高TPI化を図る際には、①読出し時の隣接トラックからのクロストークの問題、②トラックサーボの問題、③熱クロストークの問題、等がある。①、②については光ディスク一般の課題であるため、ここでは熱クロストークについて考察する。

熱クロストークとは、記録を行うときにレーザ光により、記録媒体に与えた熱が隣接トラックにまで拡散して隣接トラックに記録されている記録情報に影響を与えることをいう。図8にトラックピッチの異なる基板を用いたときの熱クロストークの影響を示す。縦軸のCN比変化量は、 $0.75\mu\text{m}$ 長マークの信号の隣接トラックに、10回オーバーライト記録を行ったときの前後の変化量である。マークポジション記録に対応した白丸印はトラックピッチ $1.0\mu\text{m}$ に至るまで変化なく、熱クロストークの影響が現れていないことが分かる。また、マークエッジ記録に対応した×印においても、トラックピッチ $1.2\mu\text{m}$ に至るまで変化が見られない。

ここに示した結果では、隣接トラックの記録マークはレーザ連続照射を行っているが、例えばパルストレイン記録方式<sup>(8)</sup>等を用いると更に良好な結果が得られることが期待される。次世代光ディスクとして、トラックピッチは例えば $1.3\sim 1.4\mu\text{m}$ が考えられており、光強度変調オーバーライト方式でも、セルフシャープニング効果が存在するにもかかわらず、高TPI化は熱クロストークに関して問題はないことが分かる。

## 5. 記録方式

この章では、光変調オーバーライト媒体を用いた光ディスク

装置で、媒体感度分散、周囲温度変化に適応して、常に最適記録パワーを自己検知し、高信頼性を確保する記録方式について述べる。

この方式は、3値レーザ強度制御回路、再生信号エンベロープ検出機、特性参照表、テスト信号発生機、しきい(閾)値判定機、温度検知器を用い、装置立ち上げ時に、媒体のあらかじめ定められた領域に記録パワーを走査して試し記録(テスト記録)し、再生レベル値と環境温度を監視、記録特性を求めて、装置自身で最適記録パワーを自動設定するものである。

### 5.1 テスト記録方式

オーバーライト記録では、安定に記録できる高パワー $P_H$ 、低パワー $P_L$ の条件は、より低い読出しパワー $P_R$ と競合し、 $P_L$ は $P_H$ と $P_R$ の間に挟まれ、その範囲は狭くなる。媒体側は媒体間や温度特性が誤差をもち、ドライブ側はレーザ制御

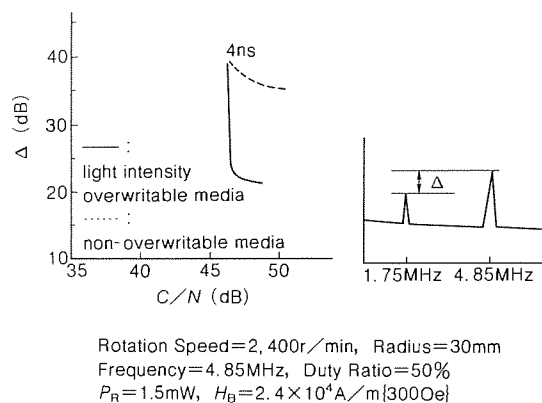


図6. CN比及び消去比( $\Delta$ )に対するエッジジッター(4ns)の等高線

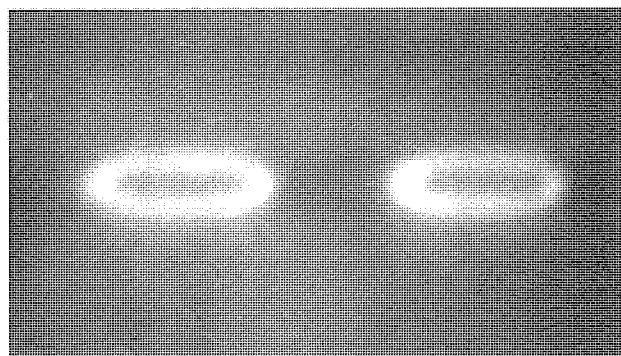


図7. セルフシャープニング効果を表す偏光顕微鏡写真

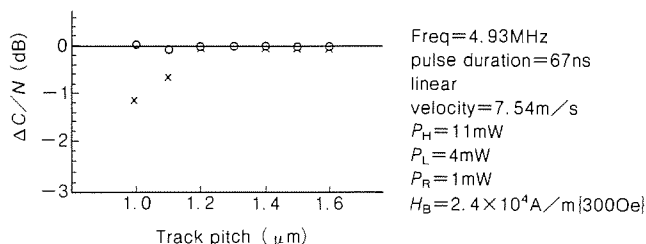


図8. 熱クロストークのトラックピッチ依存性

回路の設定精度が主に誤差をもち、最適値は一般に未知である。テスト記録方式は、媒体感度特性をドライブを使って調べ、媒体ドライブ系としての記録許容範囲を求め、最適値を算出するものである。したがって、装置間誤差や媒体感度誤差分は最小となり、許容範囲は拡大する。テスト記録方式は、媒体感度には無関係に最適公称値とそのマージンが決定できる特長をもっている。

図9にこの方式を用いた自動最適パワー決定方式のブロック図を示す。手順は、オーバーライトに対するパワー記録特性( $P_H$ ,  $P_L$ を二次元走査する。)を求め、再生信号レベル(値が高いところではCN比に対応する。)に対して閾値を設定し、許容範囲を求め、その中央値を算出して最適 $P_H$ ,  $P_L$ とするものである。実データの記録は、この値を用いて行う。

## 5.2 最適値算出

媒体に照射された $P_H$ ,  $P_L$ は熱に変換され“1”又は“0”を記録する。光変調オーバーライト媒体で、第2層(記録層)のキュリー温度 $T_{C2}$ が“1”か“0”のスピニング方向を決める高閾値となり、第1層(メモリ層)への転写が行われる温度 $T_{COPY}$ が低閾値となる。第4層(初期化層)のキュリー温度 $T_{C4}$ は、最適値を決めるパラメータにはならず、広域の絶対定格を与える。 $P_H$ の閾値は $T_{C2}$ で決まるパワー $P_{TH2}$ ,  $P_L$ の閾値は $T_{COPY}$ で決まるパワー $P_{TH1}$ となる。媒体上のトラックに沿ったらせん(螺旋)軸上に一次元座標(半径方向にはランド部中心)を採り、テスト信号の $P_H$ 期間長を $L=v\tau$ ( $v$ :線速,  $\tau$ : $P_H$ 時間),  $P_L$ 部を $S$ , 再生ビームの $e^{-1}$ 径を $\sigma$ ,  $\beta=1/(\sqrt{2}\cdot\sigma)$ , 誤差関数を $\text{erf}(\ast)$ とすると、等再生レベル値輪郭線(等高線)群は

$$\frac{1-\eta/P_H}{1-\text{erf}(\beta L)/2}+k=1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{1-\eta/P_H}{\text{erf}(\beta S)/2}+k=1 \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $k=P_L/P_H$ ,  $\eta=P_{TH2}$ ,  $P_{TH1}$ で表される $\alpha(=1-P_0/P_H)-k$ 平面上の直線群になる<sup>(9)(10)</sup>。

ここで $P_0$ は表示上の原点に対応する。温度と記録パワーとキュリー温度の関係を概念的に説明したものを図10に、

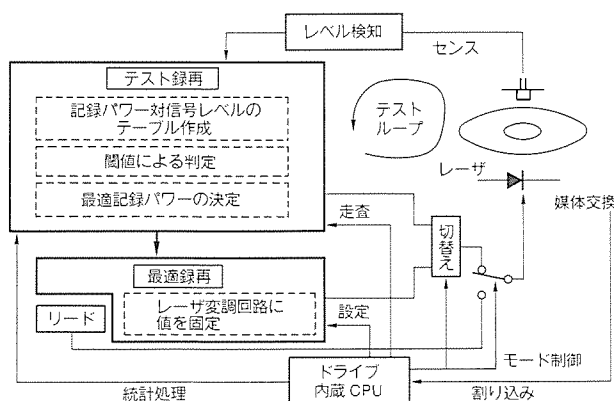


図9. 自動最適パワー決定方式のブロック図

記録特性として写像された $\alpha-k$ 平面上で対応する境界線(再生レベル=0)の直線群を図11に示す。

図10で記録が安定に行われ、規定再生閾値を越える再生レベルが得られる場合は、|ケース①|かつ|ケース②, ③, ④, ⑤, ⑥でない。を満たす $P_H$ ,  $P_L$ の組である。この領域を $\alpha-k$ 領域で求めると、図11の①の太線内領域Aとなる。図の $l_1$ から $l_6$ は以下の条件の境界線である。

- ①: “1”記録かつ“0”記録
- ②:  $P_H$ で“0”記録
- ③: “1”記録かつ $P_H$ 周辺部“0”記録(セルフシャープニング)
- ④: 全“1”記録
- ⑤: 全“0”記録
- ⑥: 非記録

次に、ある基準を基に、A内に代表値を求める。“より厳しい条件の低パワー側でマージンができるだけ大きくなり、可能な限り高パワーを低く抑える。”という基準を設定すると、以下の手順で代表値が決まる。

$l_1$ ,  $l_6$ の規定再生閾値分だけ中に入った直線の交点から水平線を引き、 $l_2$ から同量中に入った直線との交点を求め、その中点を求める。次に $l_2$ ,  $l_6$ の中線に沿って、先ほどの中点距離を $\alpha$ 軸に変換した分だけ高域に上がった点を取り、代表値すなわち記録パワーの最適値とする。図12にこれらの点と線との関係を図示する。 $k$ 値の $\alpha$ 軸への変換は、 $\alpha=1-C/k$ ( $C$ :比例定数)で表される双曲線群で行う。

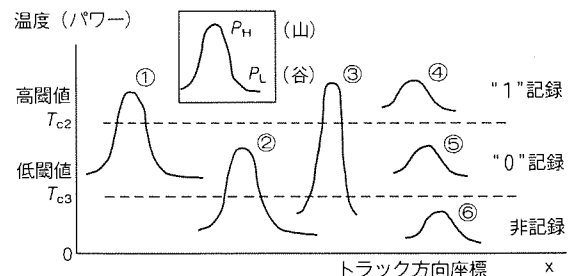


図10. 温度(記録パワー)とキュリー温度との関係の概念的な説明

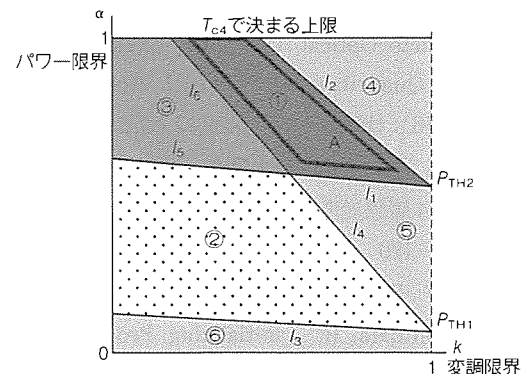


図11.  $\alpha-k$ 平面上に写像された境界線(再生信号レベル=0)の直線群

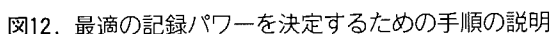
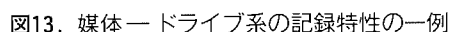


図9に示した方式を用いて測定した媒体ドライブ系の記録特性例を図13に示す。なお、測定の都合上、ここで用いた媒体は3章、4章で用いたものとは異なっている。縦軸 $\alpha$ 方向は、ドライブ最高パワーで規格化してある。この図では、等高線群の再生レベル値115がCN比45 dBに相当し、横軸は $k$ 値線形座標(2点鎖線)、 $P_L$ 値斜形座標(点線)で表現されている。試料媒体の最適値は、5.2節の順に従えば、 $P_L = 5 \text{ mW}$ 、 $P_H = 12 \text{ mW}$ となる。

交換結合4層膜ディスクは簡素なドライブ装置構成で光変調オーバーライトを可能にし、コードデータ記録を行うために十分な記録再生特性をもっている。さらに、マークエッジ記録や狭トラックピッチ化にも耐え得る特性をもち、第二世代の光磁気ディスクに要求される高記録密度媒体として期待されている。また、ドライブ装置や媒体のばらつきがあっても、テスト記録を用いることで常に最適な記録条件を選択することができ、高品質の記録を安定に行うことが可能になった。

- (1) Fukami, T., Nakaki, Y., Tokunaga, T., Taguchi, M., Tsutsumi, K. : Novel Direct Overwrite Technology for Magneto-Optical Disks by Exchanged-Coupled RE-TM Quadrilayered Films, J. Appl. Phys., **67**, 4415~4416 (1990)
- (2) 中木義幸, 深見達也, 徳永隆志, 田口元久, 堤 和彦 : 交換結合 4 層膜光変調記録媒体, 日本応用磁気学会誌, **14**, 165~170 (1990)
- (3) Nakaki, Y., Fujii, Y., Fukami, T., Tokunaga, T., Tsutsumi, K., Shibata, H. : Initializing Process on Direct Overwrite Method using Exchange-Coupled Quadrilayered Magneto-Optical Film, IEEE Trans. Magn., **26**, 1900~1902 (1990)



- 三菱電機技報・Vol. 66・No. 6・1992



# 90mm 光ディスク装置 におけるドライブ制御技術

吉本恭輔\* 小柳公之\*  
清瀬泰広\* 中根和彦\*  
小川雅晴\* 古川輝雄\*\*

## 1. ま え が き

光ディスク装置がコンピュータ用大容量記憶装置として、ディスク直径 130 mm の追記形で初めて市場に出てから約 4 年、130 mm の書換え形が出てから約 3 年になる（当社も同時期に発表している<sup>(1)</sup>）。この間、ワークステーションを中心として、徐々に、光ディスク装置が主にハードディスクのバックアップ用として使われだした。しかし、装置メーカー間、媒体メーカー間の互換性がなく、標準的な論理フォーマットもない状態で、大容量バックアップ以外の用途が見いだせないため、広く普及するに至っていない。

一方、90 mm 光ディスクの仕様が、ISO 規格案の審議を経て決定される段階にきた。各社から一斉に光ディスク装置の出荷が開始されている。130 mm での経験を生かし、互換性を最優先にして仕様が決定され、ディスクや駆動装置が設計されたため、物理的に高い互換性が確保されている。また、心配された論理フォーマットの互換性も、パソコンの DOS に 90 mm 光ディスクの論理フォーマットが標準的に組み込まれるなど、見通しは明るい。外部記憶装置としての光磁気ディスクとその駆動装置も、ようやく CD-ROM と肩を並べることのできるハードウェア環境条件が実現しつつあり、一気に市場が拡大する可能性が高い。

今回、ここに紹介する 90 mm 光ディスク装置は、上記 90 mm 光ディスク ISO 規格に準拠したディスクを取り扱うことのできる装置である。用途を主にパソコンの外部記憶装置に限定し、フロッピーディスクとハードディスクの中間層をねらった。従来用途はもとより、将来のマルチメディア時代における新規用途への道を開く装置であるとの位置付けから、“小型軽量”“安価”“高速”“高信頼性”“省電力”“互換性”“ROM 対応”の 7 点に着目し、製品の基本コンセプトとして開発を進めてきた。

## 2. 90 mm 光ディスク装置の特長<sup>(2)</sup>

開発した 90 mm 光ディスク装置は、次のような特長を備えている。

- (1) 各種 LSI を独自開発することにより、SCSI (Small Computer System Interface) を含めて、3.5 インチハードディスク装置のハーフハイトサイズ (幅 101.6×高さ 41.3×奥行 146.0 (mm)) に収めている。
- (2) 次世代パソコンにも対応可能なように、ホストインタフェースとして SCSI-2 をサポートしている。
- (3) 同期転送により、対ホストのデータ転送が最大 5.3 M バイト/秒と非常に高速である。
- (4) 対ディスクのデータ転送が 7.25 M bps と高速である。
- (5) 平均シーク時間が 42 ms と高速である。
- (6) 動作時 4.9 m/s<sup>2</sup> の高耐振性能である。
- (7) ROM ディスクに対応している。
- (8) 動作時の平均消費電力が 10 W 以下と低消費電力である。
- (9) オートパワーセーブ機能がある。

この 90 mm 光ディスク装置の主な仕様を表 1 に、外観を図 1 に示す。装置全体のブロック構成を図 2 に示す。装置は、機能上、対ホスト及び対ディスクインタフェースのため各種 LSI を制御する Optical Disk Controller 部 (以下“ODC”という。) と、ディスクの回転やヘッドアクセスを実行する Optical Disk Drive 部 (以下“ODD”という。) からなる。

本稿では、上記 ODC の機能を、ドライブ制御技術を軸にして述べる。

表 1. 90mm 光ディスク装置の主な仕様

項 目	仕 様
ディスク規格	ISO/ANSI (ドラフト) 準拠
記憶容量、セクタ長	127 M バイト/枚, 512 バイト/セクタ
ユーザートラック数 (欠陥管理領域を含む)	10,000 本
ホストインタフェース	SCSI-2, SCSI-1, SASI
コントローラ	装置内蔵
データ転送速度 (SCSI 同期転送)	5.3 M バイト/秒 (最大)
データ転送速度 (SCSI 非同期転送)	2.5 M バイト/秒
データ転送速度 (ディスク上)	7.25 Mbps
ディスク回転数	3,000 r/min
平均アクセス時間 (SCSI 上)	55 ms 以下
平均シーク時間 (ディスク上)	42 ms 以下
エラー訂正方式	RS/LDC
ビットエラーレート (誤り訂正後)	10 <sup>-12</sup> 以下
シークエラーレート	10 <sup>-6</sup> 以下
使用電源、消費電力	+5V/+12V, 10W
寸 法 (H×W×D), 質量	41.3×101.6×146.0 (mm), 650 g 以下

### 3. ODC の構成と特長

ODC の機能は、以下の5点に大きく分けられる。

- (1) 電源 ON 直後に自己診断を行う。
- (2) カートリッジ挿入により、データの記録再生ができる状態までドライブを起動する。起動する際に、ドライブパラメータの自己校正も実行する。
- (3) ホストからのコマンドを解釈実行するとともに、データの送受信を行う。
- (4) ホストからのアクセスが一定時間とだえと、ドライブの各種パラメータの自己校正を実行したのち、パワーセーブ状態に移行させる。
- (5) ドライブの状態をモニタし、異常があれば、直ちに回復させる。

以下に各々の特長を述べる。

#### 3.1 自己診断機能

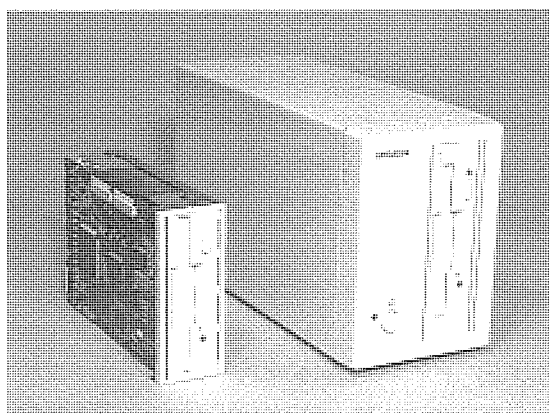


図1. 90mm 光ディスク装置の外観

- (1) 光ディスク装置としての信頼性が確保されているかどうかを診断する機能である。自己診断内容としては、ROM のサムチェックや RAM (トラックバッファ含む) のライトリードチェック、LSI のレジスタチェック、誤り訂正 LSI (以下“EDAC”という。)<sup>(3)</sup> の機能チェックなどである。特に、EDAC については、LSI 自身がもつ自己診断機能だけでなく、実際にトラックバッファからチェック用データを転送し、訂正機能の確認をして、より信頼性を高めている。
- (2) ベンダーコマンドを使用することにより、上記自己診断機能を個別に起動することや、さらに詳細な自己診断が可能であり、後述する自己校正機能を同様に個別に起動することと組み合わせることにより、装置の組立工程の大幅な自動化が可能である。

#### 3.2 ドライブ立ち上げ機能<sup>(4)</sup>

カートリッジ挿入完了を確認後、自己校正を含め平均2.5s の短時間で起動を完了させる。この高速起動を実現するため、以下の機能を開発した。

##### (1) 高速フォーカシングサーボ引込み

図3にフォーカシングサーボ系の引込み動作アルゴリズムを示す。図4にフォーカシングサーボ系の引込み動作波形を示す。レンズを下げ始めてから媒体面に光スポットの引込みが完了するまで約57ms である。

##### (2) 高速サーボセンサ校正<sup>(5)(6)</sup>

フォーカシング/トラッキングオフセット、サーボ外れ検出レベル、再生信号レベル等の自己校正を500ms 以内に実行する。図5にトラッキングオフセット校正アルゴリズムを示す。専用のデジタルIC により、トラックジャンプ時のトラッキングエラー信号波形の最大値と最小値を検出できる。

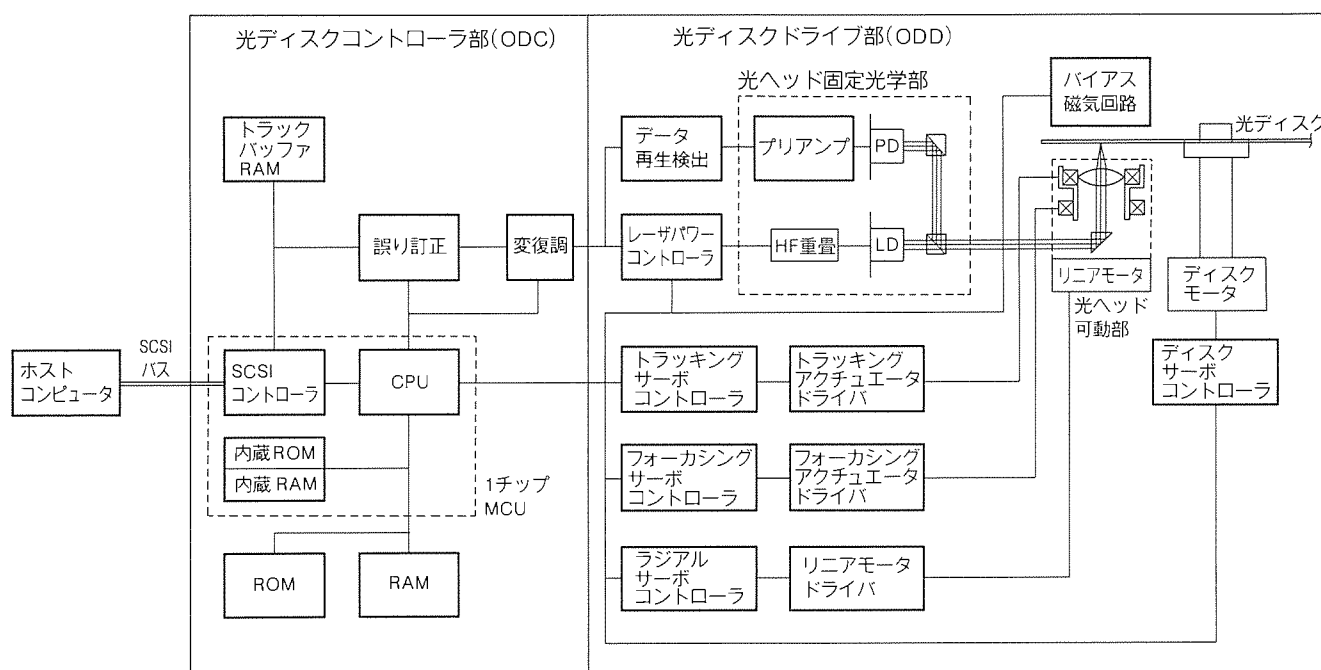


図2. 90mm 光ディスク装置全体のブロック構成

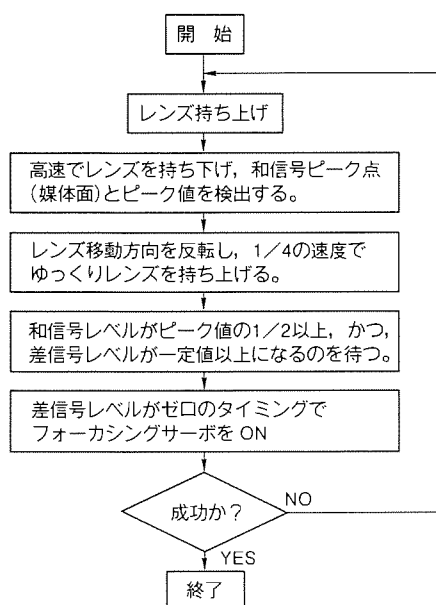


図3. フォーカシングサーボ引込み動作アルゴリズム

### (3) 高速記録パワー校正<sup>(7)</sup>

挿入されたディスクのコントロールトラックデータに基づいて、独自の手法に基づいて計算することにより、記録パワーの校正を高速化している。また、ドライブ自身のライトマージンを拡大することによって、図6に示すように、広い記録パワーマージンが確保されている。図中に記録パワー対C/N比、及びジッターの特性を示す。記録パワーの標準値8.4 mWに対して、6.3 mW以上でCNRが48 dB以上、5.7 mW以上で再生信号ジッターが4 ns以下となり、25 %以上のディスク感度変化に対しても高いデータ信頼性が得られている。

### 3.3 ホストインタフェース機能

ドライブ立上げ後は、ホストからのコマンド着信を最優先で処理することにより、高速化を図っている。また、効率的なデータ管理を実現するため、トラックバッファ内の論理アドレスを分割管理することにより、高速応答性能を実現している。

トラックバッファの容量は128 Kバイトであるが、これを16 Kバイト単位(セル)の8分割で管理することで、トラックバッファ全体を使うような大きなブロックだけでなく、16 Kバイト未満の小さなブロックを不連続に読み出してもキャッシュがヒットするという特長がある。読み出し時に読み出すデータ量は基本的にはセル単位である。したがって、コマンドで指定されているデータ領域以外の領域は先読み領域となる。先読み動作は以下の場合には中断される。

- 先読み領域に論理アドレスのグループの境界が存在する。
- 先読み動作中に読み出しエラーが発生する。
- 先読み動作中にホストからコマンドが発行される。

図7を用いて読み出し時のトラックバッファ管理を動作シーケンスに従って示す。

(1) 読み出しコマンドを受信して各セルのキャッシュ情報を確

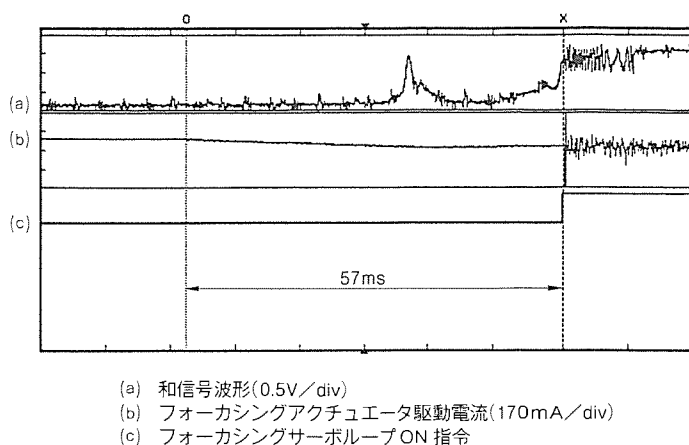


図4. フォーカシングサーボ引込み動作波形

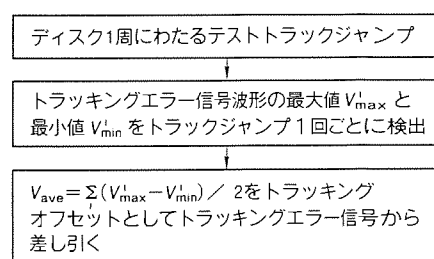


図5. トラッキングオフセット校正アルゴリズム

認しながら光ディスクからデータを読み出す。

- (2) コマンドで指定された領域(R1)に対し、光ディスクから読み出すセル単位のデータ量(D1)を求め、データを読み出す。このとき先読み領域はP1となる。
- (3) セル0, 1のキャッシュ情報として各セルの先頭論理アドレスとブロック長を登録する(C1)。
- (4) コマンドとしてセル0内で登録されている論理アドレスからの読み出しコマンドを受信したとする(R2)。
- (5) セル0, 1のキャッシュ情報からH2がヒットしているので光ディスクから読み出すデータは、D2となる。ただし、P2は先読み領域である。
- (6) セル2にデータを読み出し、セル0, 1, 2のキャッシュ情報を登録する(C2)。

以上が読み出し時のバッファ管理法であるが、書き込み時のデータも管理しているため、書き込んだデータを読み出すような場合に対しても高速な応答が可能である。

また、この光ディスク装置はSCSI-2規格対応で光ディスク装置用のコマンドセットをサポートしているのはもちろんのこと、コマンドのキューイングもサポートしている。従来のSCSI-1規格ではホストからのコマンドに対して実行終了のメッセージを返送するまで次のコマンドを受信してはならないとされていた。コマンドキューイングのサポートによってホストからのコマンドを複数個受信可能となり、ホストが複数の場合にも効果的に動作できるようになった。この光ディスク装置では、各ホストごとに10個までのキューイング

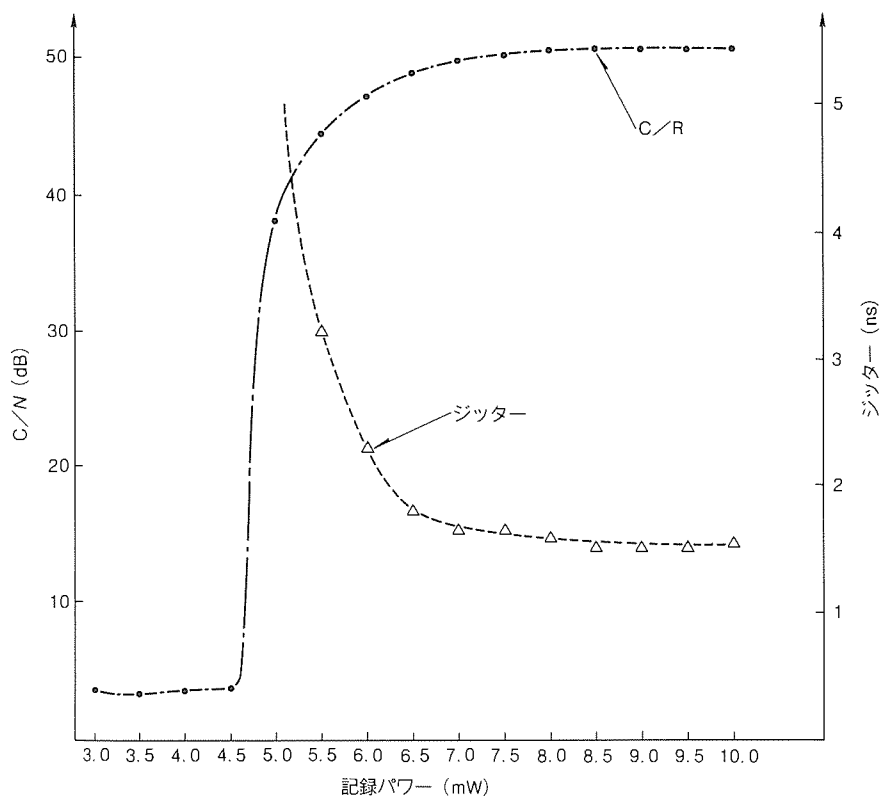


図6．記録パワーマージン特性

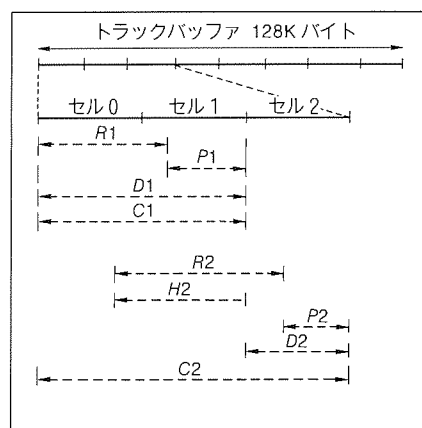
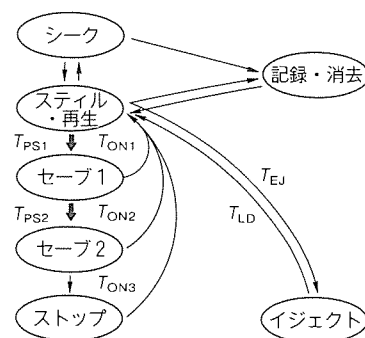


図7．読み出し時のトラックバッファ管理



$T_{PS1}$  : = 5 秒後  
 $T_{PS2}$  : = 5 分後  
 $T_{ON1}$  : < 0.01 秒  
 $T_{ON2}$  : < 0.3 秒  
 $T_{ON3}$  : < 2.5 秒  
 $T_{LD}$  : < 2.5 秒  
 $T_{EJ}$  : < 6 秒

↓ : 自動パワーセーブ機能による  
 ↑ : コマンド・マニュアル操作による

図8．ODD 動作モード間の状態遷移

バッファをもち、最大70個のコマンドがキューイング可能である。

### 3.4 パワーセーブ機能

ホストからのコマンド着信を管理し、コマンド実行後、一定時間コマンドがこない場合は、ドライブをパワーセーブモードに移行させる。図8にパワーセーブに関するODDの動作モード間の状態遷移図を示す。このパワーセーブモードからの復帰時間が、直接、次のホストのコマンド実行時のオーバーヘッドとなるため、できるだけ短い時間が望ましい。このため、ホストプログラムからみて復帰時間が無視できる程度の時間で復帰するパワーセーブ1（フォーカスサーボのみの状態）と、人が待ち時間をストレスと感じない程度の時間で復帰するパワーセーブ2（ディスクのみ回転している状態）の2段階に分けている。パワーセーブ1は、ユーザーの操作の合間にもこまめにパワーセーブするとともに、それをユーザーには意識させないモードとし、全く使用しなくなったと判断される5分経過すると、ディスクサーボ系以外をすべてパワーセーブすることにより、消費電力を一気に2.5 Wまで下げている。

また、この2.5 Wのパワーセーブでも、復帰時間は約300 msと高速である。図9に復帰時の信号波形を示す。

### 3.5 ドライブ異常監視機能

以下のような監視機能をもっており、リードライト中に異常が発生すれば、直ちにリードライトを中断し、異常状態を正常復帰させたのちに、リードライトを継続することにより、

コンピュータの外部記憶装置として十分な信頼性を確保している。

- (1) フォーカスサーボ及びトラッキングサーボロックはずれ監視機能

フォーカスサーボエラー及びトラッキングサーボエラーを常時デジタルモニタ回路でモニタし、ロックはずれを検出する機能である。特に、トラッキングサーボについては、溝形状のばらつきにも、高い信頼性で動作するように起動時及び適時自己校正している。

- (2) 反射光量レベル監視機能

ディスクからの戻り光量に相当する信号のレベルを常時監視することにより、光学系の異常やフォーカスサーボはずれを検出している。

- (3) 各種ハードウェア異常モニタ機能

その他、アクセス暴走検出、トラック横断検出、半導体レーザーパワー異常検出などの各種ハードウェア異常検出を割り込み処理として受け入れ、迅速な対応を可能としている。

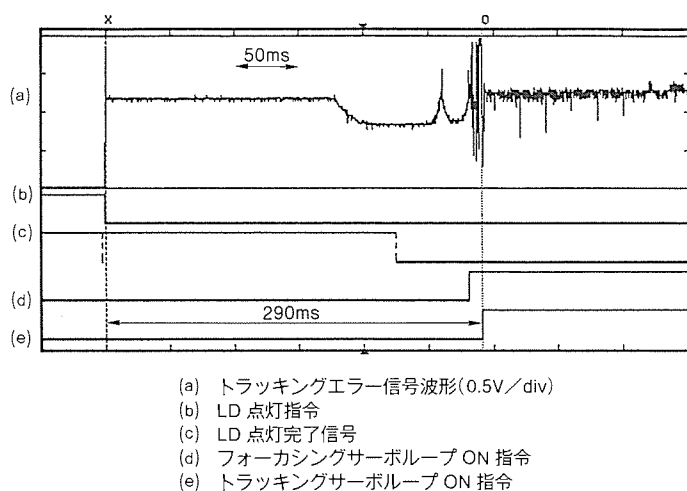


図9. パワーセーブモードからの復帰動作波形

#### 4. む す び

以上、今回新たに開発した90mm光ディスク装置について、主にドライブ制御の観点から、その高速・高信頼性・低消費電力に寄与した技術を紹介した。この装置は、3.5インチハードディスクと同じサイズに、これからのマルチメディア時代における、特にパーソナルユースに十分対応可能な容量と高速性を初めて満足できるレベルで組み込んだ、パソコン用の外部記憶装置であると考えている。この装置をきっかけとして、光ディスクが次世代のフロッピーディスクとして位置付けられることを願い、今後は、更に薄型化、高速化、大容量化していきたい。

なお、この開発に御協力いただいた関係各位に、感謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- (1) 岡田和夫, 服部通宣, 小西直行, 本吉健郎, 山本 哲: 追記型光ディスク装置, 三菱電機技報, 62, No. 7, 574~577 (1988)
- (2) 中根和彦, 小川雅晴, 小倉 学, 吉本恭輔, 清瀬泰広, 古川輝雄: 90mm 書換え形光ディスク装置, 三菱電機技報, 65, No. 11, 1137~1142 (1991)
- (3) 森 信太郎, 児玉幸夫, 吉田英夫, 井上 徹, 清瀬泰広: 光ディスク用誤り訂正LSI, 三菱電機技報, 65, No. 2, 200~205 (1991)
- (4) 田中邦麿, 古川輝雄, 伊藤 修, 久保高啓, 中田正矩: 書換え型高性能光記録技術, 三菱電機技報, 62, No. 7, 578~581 (1988)
- (5) Yoshimoto, K., Ogawa, M., Ito, O., Tanaka, K.: Compensation Method of Focusing Servo Offset of Optical Disk Drives, SPIE, 1316, 30~34 (1990)
- (6) 吉本恭輔, 伊藤 修, 田中邦麿: 光ディスク駆動装置のサーボオフセット補正方式, テレビジョン学会誌, 44, No. 10, 1398~1402 (1990)
- (7) Shimamoto, M., Yamada, K., Watanabe, I., Nakajima, Y., Ito, O., Tanaka, K.: On Interchangeability of Optical Disk Topical Meeting on Optical Data Storage, Technical Digest Series, 5, 226~229 (1991)

# 90mm 光ディスク装置用 LSI

阪口康則\* 香川仁志\*  
中島輝也\*\* 小林 洋\*  
児玉幸夫\* 中根和彦\*\*\*

## 1. ま え が き

光ディスク装置は、大容量でメディアの可搬性及び可換性をもった記憶装置として注目されている。特に、90 mm の ISO 規格準拠の光ディスク装置は小型化により、パソコン本体に内蔵される記憶装置として大きな市場が期待されている。当社は他社に先駆け、この次世代光ディスク装置の本命とされている 90 mm 光ディスク装置を実現するための LSI 及び半導体キットを開発した。

本稿では、この 90 mm 光ディスク装置用半導体キットにつき、そのシステム構成と主要品種の特長について述べる。

## 2. システム構成

全システムのブロック図を図 1 に示す。大きくは、光ピックアップ部、ODD (Optical Disk Drive) 部、ODC (Optical Disk Controller) 部の三つに分けられる。

半導体の開発に当たっては、高速データ処理をあくまで追

及しつつ、チップの統合と小型パッケージ採用による装置の小型化、及びパワーセーブ機能をもたせることなどによる省電力化に特に留意した。

## 3. 光ピックアップ部

### 3.1 高周波重畳モジュールと半導体レーザ

光ディスク装置で情報の記録・再生・消去機能を実現させるキーデバイスである半導体レーザ (LD) は次のような特性が要求されている。

- (1) 記録・消去時の高出力特性
- (2) 再生時の低雑音性 (雑音：光出力のゆらぎ)

一般に、これら二つの特性は LD 設計上相反する傾向にある。そのため、光ディスク装置では記録・消去時に十分な出力が得られる高出力 LD を用い、再生時にはその駆動電流に数百 MHz の高周波を重畳することによって雑音発生を抑圧する手法が用いられている。雑音抑圧効果は光路長 (LD とディスク間の距離) と重畳周波数の関係によって影響を受け

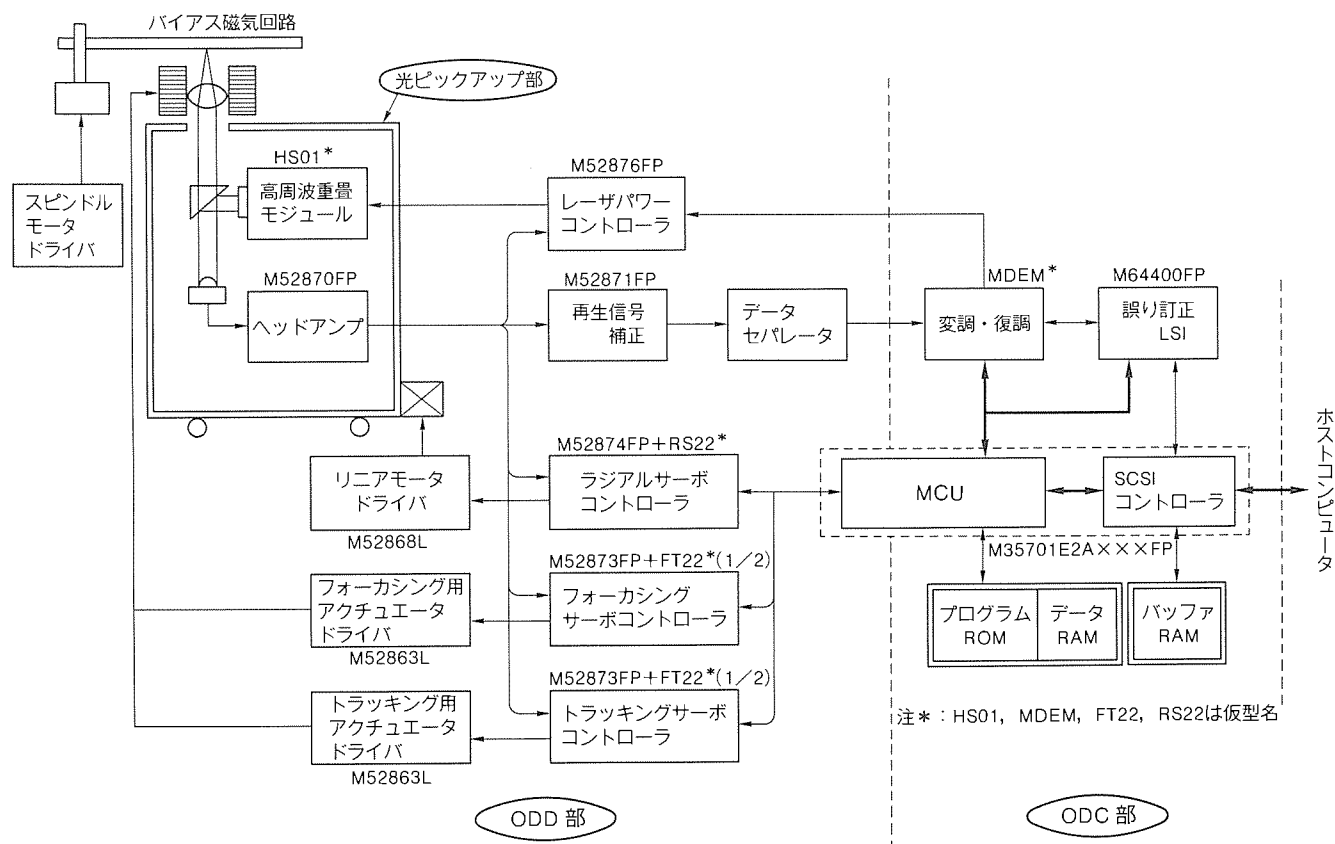


図 1. ODD システムブロック図



る。一方、光ヘッドはその軽量化のため分離光学系が主流となる傾向にあり、当社では広い光路長範囲で安定した低雑音特性を得る必要から重畳周波数を300 MHzに設定したコンパクトな高周波重畳モジュールを開発した。その発振器にはECL マルチバイブレータ方式を採用したシリコンチップを用い、安定な高周波重畳を実現している。また、LDは小型化に対応するため、径5.6 mmパッケージを採用した波長785 nm (標準)・最大定格出力35 mWのML60111 Rを新たに開発し、製品ラインナップを充実させた。図2に同モジュールと小型LDの外観を示し、図3にはML60111 Rとの組合せによる雑音特性例を示す。

### 3.2 ヘッドアンプ (M52870FP)

光センサであるフォトダイオードで検出された信号電流は一般に微弱で、ヘッドアンプには低雑音・高利得・広帯域が求められる。そこで、バイポーラプロセスを用いオペアンプ形式による電流電圧変換増幅器を回路構成の基本とした結果、入力換算雑音 $2.0 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$  (最大)を達成した。また、種々の光ディスク (光磁気ディスク、光ROM ディスク等) に対応するためには広いダイナミックレンジが必要条件となる。これには増幅器の利得設定を外部抵抗で行えるようにしたことに加え、外部制御信号によって2段階の利得が選択可能な回路方式の導入で対応した。

このICは、特に微弱な信号を取り扱うことになる光磁気ディスクに対し、CN比の点で有利なフォーカシングサーボ(FS)とトラッキングサーボ(TS)を個々の光センサで行う方式を対象とした構成になっている。データ(RF)信号はFS信号とTS信号の加減算によって作り出し、差動形式で出力する。また、レーザパワーモニタセンサ(MS)用に変換抵抗外付け形の電流電圧変換増幅器を同一チップに集積した。

## 4. ODD部

### 4.1 再生信号補正 (M52871FP)

ヘッドアンプからの出力信号は、ディスクの種類や光ヘッドのばらつき又は内外周の違いなどの要因で大きく変化する。記録データを忠実に再生するためには、この信号振幅を一定にする必要がある。一般に、一定振幅を得るのにAGCアン

プを使うが、ここでは広ダイナミックレンジを確保するため、AGCアンプに加え2段の利得可変アンプを設けた。初段は光ピックアップ部の信号ゲインの差を吸収するための利得設定可能な(4~18 dB)アンプ、2段目は光ディスクの種類や内外周で異なる信号振幅の補正と記録時の回路飽和の防止を目的としたアッテネータ(0~30 dB)である。このアッテネータは外部からの5ビットの各種モード情報により、高速に減衰量設定ができる。AGCアンプはディスクの反射率やトラック位置の変動、光ヘッドの環境変化などの要因を-6~+8.5 dBのゲイン範囲で吸収する。

AGCアンプの出力信号を微分してマークセンター位置を検出している。なお、雑音が多い場合には擬似パルス混入のおそれがあるため、レベル検出によって得られる概略ビット位置信号で微分検出信号をマスクした。

このICには上述のデータ検出機能のほか、セクタマーク検出機能とドロップアウト検出機能をもたせた。ドロップアウト検出信号はレベル検出によって得ている。この信号は内部でAGCアンプを制御するとともに外部回路を制御できる。

### 4.2 レーザパワーコントローラ (M52876FP)

光ディスク装置光源の半導体レーザはALPC (Automatic Laser Power Controller) で駆動している。ALPCはレーザ自身又は光学系に生じる環境変化や劣化による特性変動を補償するようにレーザ駆動電流を制御し、DC及びパルス出力パワーを定値制御する機能をもつ。

再生用のDCパワーはフィードバック方式で制御し、記録パルスパワーと消去パワーは、テストパルス方式で制御している。図4にテストパルス方式によるレーザ駆動電流の制御方法を示す。レーザ出力パワーのモニタ点で、記録ゲート信号開始直前の再生パワーレベル( $P_{\text{READ}}$ )と、テストパルス発光中のパワーレベル( $P_{\text{TEST}}$ )とをサンプリングする。その差を、プリセットしたリファレンスレベルと比較して、レーザの駆動電流対出力パワー特性を推定し、最適記録パワー( $P_{\text{WRITE}}$ )の出力に必要な駆動電流を求める。

これら一連の制御を高速・高精度に行うため、レーザ出力モニタ用には高速オペアンプを使用し、記録パワー系の演算

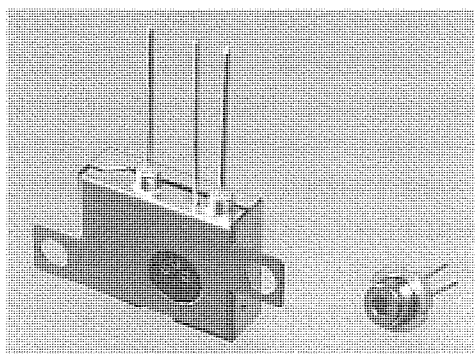


図2. 高周波重畳モジュール(左)とレーザダイオード

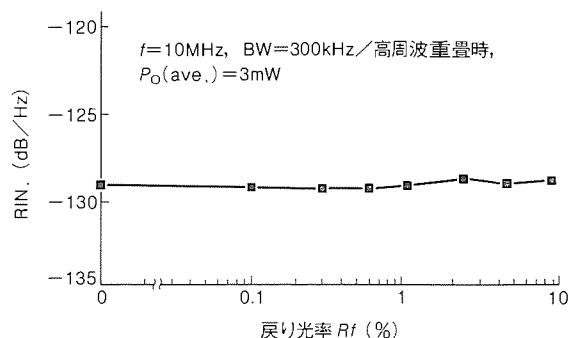


図3. 相対雑音強度対戻り光率  
(ML60111R 実装時)

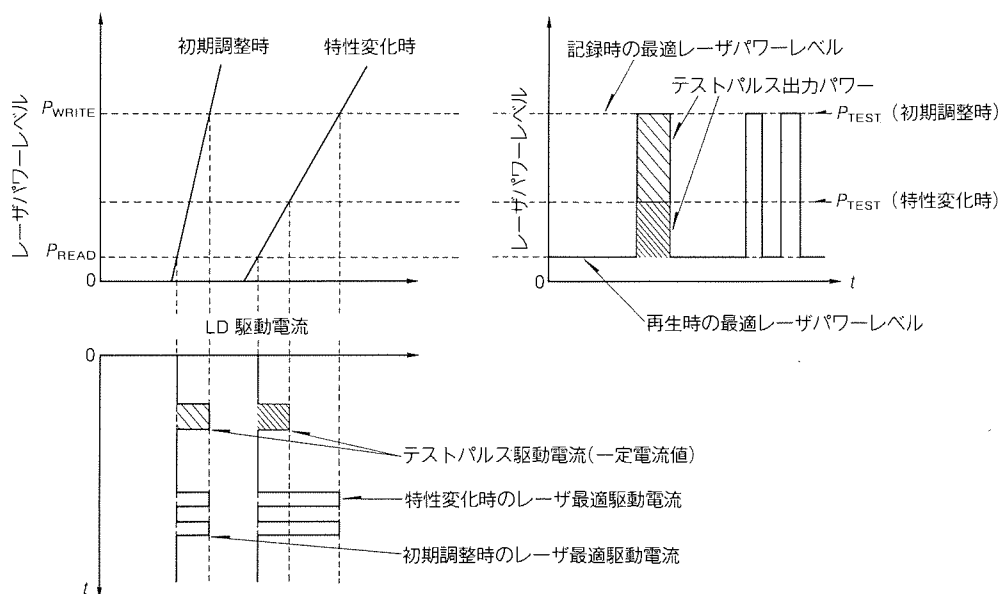


図4. テストパルス方式によるレーザーダイオード電流制御

回路は、クロック周波数10 MHzの8ビット逐次比較形A/D変換器・8ビットD/A変換器・高速ECL回路で構成した。記録パワーは、CPUバス直結可能なポートを通じて8ビットD/A変換器で設定する。また、記録パルス変調用として差動電流スイッチドライバを備えている。

このICは、パワーセーブ機能ももち、パワーセーブ時は消費電力を73 mWに抑えられる。

#### 4.3 サーボ系

光ヘッドのサーボ系は、フォーカシングサーボ、トラッキングサーボ、ラジアルサーボの3種類がある。

フォーカシングサーボは、レーザービームの焦点を1  $\mu\text{m}$ 以下の精度で常にディスク上に合わせるためレンズアクチュエータを制御する。トラッキングサーボは、1.6  $\mu\text{m}$ のトラック幅に対して0.1  $\mu\text{m}$ 以下の精度でレンズアクチュエータを制御する。ラジアルサーボは、目的トラックまで速度を制御しながら高速に光ヘッド搭載のリニアモータを駆動する。

今回の開発では、トラッキングサーボとフォーカシングサーボの制御系の構成が似ているため、この二つのサーボ用LSIは共用として開発し、これとは別にラジアルサーボ用として計2種類のアナログ処理用LSIを開発した。また、これらのLSIをコントロールするロジックLSIを同時に開発した。図5にサーボ系ブロック図を示す。

##### 4.3.1 フォーカシング/トラッキングサーボ

記録・再生等で信号強度等が異なるサーボ信号のアナログ処理では、広いダイナミックレンジと高精度が特に重要である。そのため、プログラマブルにゲイン調整が可能な録再ゲイン切替回路と、各種ゲイン切替回路を用いた。これらは、低オフセットのオペアンプ形式の回路で構成し、さらに主要なブロックでは外付けによる調整を可能とした。その他、入力サーボセンサ信号を総反射光量で規格化する8ビット逐次

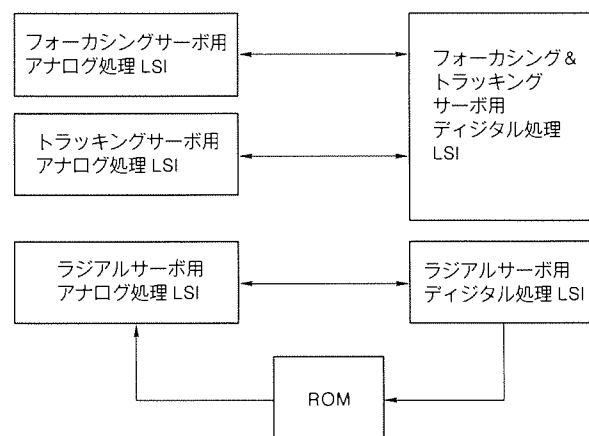


図5. サーボ系ブロック図

比較形A/D変換回路のロジック部は高速ECL回路で構成し、10 MHzクロックでの動作が可能である。また、パワーセーブ機能を付加し、パワーセーブON時には定電流源を停止し、待機時の低消費電力化を行う。図6に、フォーカシング/トラッキングサーボ用アナログ処理LSIの主要ブロック図を示す。

##### 4.3.2 ラジアルサーボ

アクセス時間はラジアルサーボ方式に大きく依存する。ラジアルサーボ回路機能の最大の特徴は、130 mm光ディスク装置でも既実績のある、外部スケールレスのダイレクトアクセス方式に対応している点である。これは、光スポットがトラックを横断する速度及びトラック横断数を検知しながら、同時にROMからタイムシェアリングで速度プロフィール及び検出速度を読み出し、光ヘッドの移動速度を制御しながら光スポットを目的トラックに直接位置決めする方式である。この方式に対応したアナログ処理用LSIは、ROMからの速度プロフィール情報と検出速度情報を入力する二つの8ビット

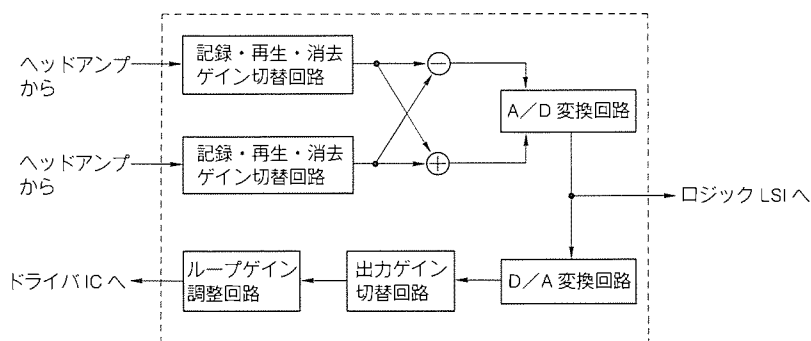


図 6. フォーカシング/トラッキングサーボ用アナログ処理 LSI(M52873FP)主要ブロック図

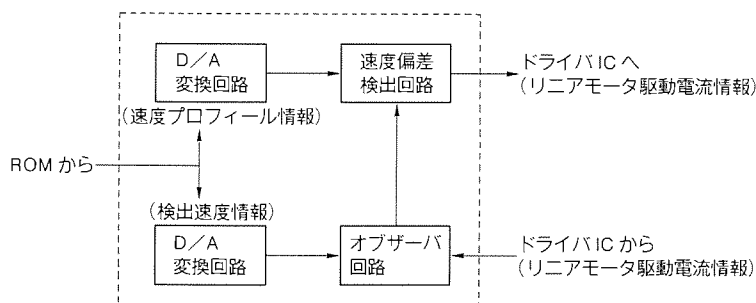


図 7. ラジアルサーボ用アナログ処理 LSI(M52874FP)主要ブロック図

ト D/A 変換器、さらに検出速度用 D/A 変換出力結果と、リニアモータ駆動電流情報を入力とし、より正確な速度を推定するオブザーバ回路や速度偏差検出回路等で構成した。また、高精度設計をするため低オフセットのオペアンプ形式回路の採用や、D/A 変換器では仕上がり精度が良くばらつき発生の少ない LSI パターンレイアウトを行った。その他、速度制御、T/S-R/S 結合トラッキング制御、ODD 待機の各モードごとにパワーセーブ機能の切替えを可能にすることで低消費電力化を実現した。図 7 に、ラジアルサーボ用アナログ処理 LSI の主要ブロック図を示す。

## 5. O D C 部

ODC 部は、誤り訂正 LSI、変復調 LSI 及び SCSI 専用コントローラの 3 チップで構成した。SCSI 専用コントローラは、その MCU ブロックで、ODD 部を含むシステム全体を制御できる。

### 5.1 誤り訂正 LSI (M64400FP)

M 64400 FP は 130 mm 及び 90 mm ISO 規格の連続サーボ方式に準拠した誤り訂正を実行する<sup>(1)</sup>。この LSI ではリードソロモン符号の復号に最適であるユークリッドアルゴリズムを適用し、外部制御ソフトウェアによらない制御プログラムの内蔵、及びシンδροーム回路やガロア体演算回路などのハードウェア化を行い、誤り訂正に要する処理の高速化を図った。一例として、90 mm 512 バイト/セクタのフォーマットに対する最大所要訂正時間は 325  $\mu$ s 以下を確認した。

一方、セクタバッファを内蔵してシステム設計を容易にし、さらにバーストエラーに対する訂正能力を向上させるべくイレージャ訂正も可能とした。

また、この LSI の開発では、1.0  $\mu$ m CMOS スタンダードセル設計方式を適用し、プログラム ROM 及びガロア体変換テーブル ROM、ワーキング RAM、セクタバッファについては ROM/RAM ジェネレータを用いてレイアウトの自動発生を行い、設計工期の短縮化を図った。図 8 に、M64400 FP のチップ写真を示す。

### 5.2 変復調 LSI

ISO 規格準拠のフォーマットに対応した記録データの生成及び再生データの復調を行うため、変復調 LSI (MDEM) を開発した。MDEM には変復調機能に加え、入力される再生信号から各種 IC に必要な制御用信号を発生する機能ももたせ、周辺 IC の統合を図った。

MDEM のブロック図を図 9 に示す。

パッケージは 0.5 mm ピッチの 128 ピン

QFP を採用した。主要機能を以下に記す。

- (2, 7) RLL (Run Length Limited) 変調符号の変復調
- セクタマーク検出信号及びアドレス正常検出信号を出力
- 現在アドレスの確認
- ドライブ評価用単一パターン (3T, 8T, 3-8T) の出力
- マスタクロックの 3 分周, 4 分周クロック出力

### 5.3 SCSI 専用コントローラ

当社高性能 MCU MELPS 7700 シリーズの一貫として、SCSI 専用回路を内蔵した SCSI 専用コントローラを開発した<sup>(2)</sup>。高性能 16 ビット MCU に高機能専用回路を内蔵する手法を開発し、MCU と専用回路を融合することにより、高速で複雑なプロトコル処理及び高速データ転送を実現した。また、SCSI 部の基本的な制御プログラムを基本ソフトウェアとして開発し、上位のアプリケーションソフトウェアの負荷を大幅に低減した。さらに、バッファメモリ (外付け) は 1 M バイトまで拡張でき、データキャッシュとしても使用可能である。

## 6. む す び

以上説明してきたように、世界最高速の誤り訂正機能をもった誤り訂正 LSI (M64400FP) を始めとする ISO 規格準拠 90 mm 光ディスク装置適合の半導体キットを開発した。

さらに、大容量でリムーバブルな光ディスクがその特長を

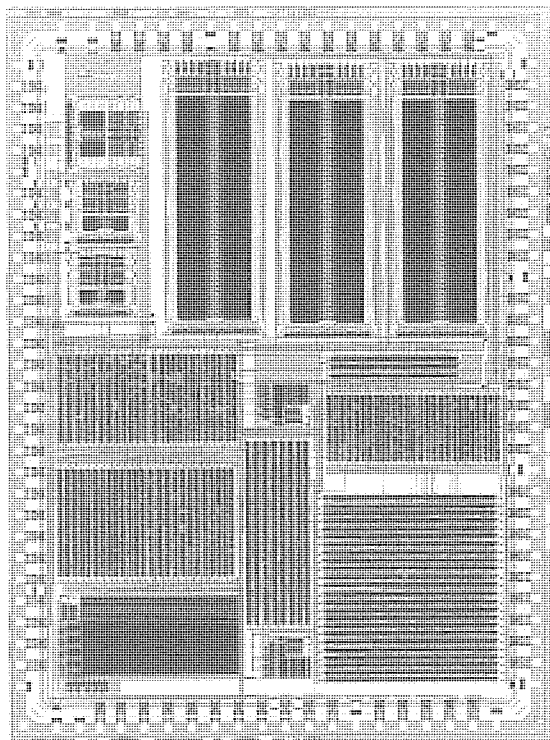


図 8 . 誤り訂正 LSI(M64400FP)チップ写真

生かせるアプリケーション分野で普及するためには、更なる大容量化・高速化などの性能向上が不可欠である。既に、次世代光ディスクの規格策定の作業が進められている。規格化には、MCAV (Modified Constant Angular Velocity) 方式、マークエッジ記録、オーバーライトなどの要素技術が盛り込まれると予想している。今後はそれらの要素技術に対応した半導体の開発に取り組んでいきたい。

最後に、この半導体キットを開発するに当たり、多大なる御支援御指導をいただいた関係各位に深く感謝する。

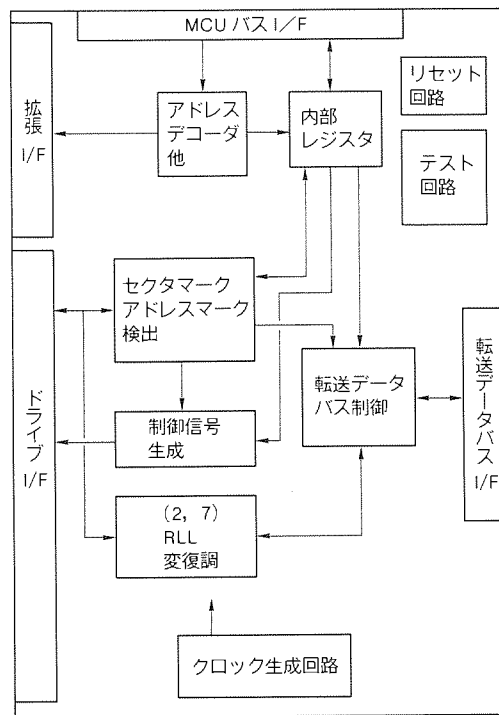


図 9 . 変復調 LSI(MDEM)ブロック図

## 参考文献

- (1) 森 信太郎, 児玉幸夫, 吉田英夫, 井上 徹, 清瀬泰広 : 光ディスク用誤り訂正 LSI, 三菱電機技報, **65**, No. 2, 200~205 (1991)
- (2) 堀 俊彦, 須田真二, 小林 洋, 遠藤茂行, 川嶋健司 : SCSI 専用コントローラ, 三菱電機技報, **66**, No. 2, 214~220 (1992)

# 分離方式リライタブル光ヘッド

竹下伸夫\* 尾崎 寛\*\*\*  
唐木盛裕\* 田所通博\*\*\*  
藤田輝雄\*\*

## 1. ま え が き

光ヘッドは、コンピュータ用コードデータ等の記録再生を目的とした録再可能光ディスク装置に搭載される、光学系・機構系・電気系の技術が集約されたキーパーツである。

当社は、ライトワンス形光ヘッド(MW-5H1, 130mm用)、リライタブル形光ヘッド(ME-5H1, 130mm用)の開発を行い、既に数多くの光ヘッドの生産を行ってきた<sup>(1)(2)</sup>。

光ディスク装置に対するユーザーからの要求としては、アクセス時間の短縮、データ転送レート的高速化、小型・薄形・低価格化等が挙げられる<sup>(3)</sup>。今回我々は、これらの要求を実現することを目的とし、ハーフハイトサイズ(幅101.6mm×高さ41.3mm×奥行146.0mm)の90mm光磁気ディスク装置対応の分離方式リライタブル光ヘッドを開発した<sup>(3)</sup><sup>(4)</sup>。表1に光ヘッドの主な仕様、図1に光ヘッドの外観を示す。

## 2. 光ヘッドの構成<sup>(5)</sup>

従来の130mm光磁気ディスク装置用の光ヘッドは一体形と呼ばれる方式を採用しており、半導体レーザ等の光学部品と対物レンズアクチュエータを一体に構成し、光ヘッド全体を光ディスクに対してアクセスさせる方式であった。ところが、ハーフハイトサイズの90mm光磁気ディスク装置の大きさは、従来の130mm光磁気ディスク装置と比較して体積比で25%となるため、光ヘッドも小型・薄形化とともに、

表1. 光ヘッドの主な仕様

項 目		仕 様
型 名		ME-3H1
半導体レーザ	型 名	ML-64110R(当社製)
	最大光出力 (mW)	35(CW)
	発振波長 (nm)	785
対物レンズ	開口数	0.53
	作動距離 (mm)	1.25
信号再生方式		差動再生法
フォーカスセンサ方式		フーコー法
トラッキングセンサ方式		プッシュプル法
光ヘッド構造		分離方式
対物レンズアクチュエータ		軸摺動回転方式
質 量	固定部 (g)	約30
	可動部 (g)	約30(リニアモータ含む)

アクセス性能を向上させるために可動部の大幅な軽量化が必要であった。今回開発した分離方式光ヘッドでは、これらの要求を実現することを目的として開発を行った。

分離方式光ヘッドとは、光ビームが平行光となる部分で光ヘッドを2個の部分に分割した方式である。つまり、半導体レーザ、ビームスプリッタ、レンズ、光検知器等の光学部品とそれらを保持するヘッドベース、ホルダ等の機構部品から成る固定部は光ディスクに対してアクセスさせず、集光スポットの位置制御を行う対物レンズアクチュエータを含む可動部のみを光ディスクに対してアクセスするように構成した光ヘッドである。

分離方式の採用により、可動部質量の大幅な低減(当社従来比70%減)を実現し、この光ヘッドを搭載した90mm光磁気ディスク装置で平均シーク時間42msを可能とした。

## 3. 光 学 系

図2に光学系の構成を示す。半導体レーザから出射された光は、コリメータレンズによって平行光に変換され、固定部から出射される。この平行光は可動部内の反射ミラーによって反射され、対物レンズにより光ディスク上に光スポットとして集光される。つまり、固定部と可動部は平行光により、光学的に接続されている。

従来の130mm光ディスク用光ヘッドには半導体レーザからの出射光の有効利用を目的として、だ(楕)円形状の強度分布をもつ出射光をほぼ円形の強度分布に整形するビーム整形光学系を採用していたが、コリメータレンズの配置精度が厳しく、コリメータレンズの位置調整が必要であった。今回開発した光ヘッドでは、組立性の向上、コスト低減を目的と

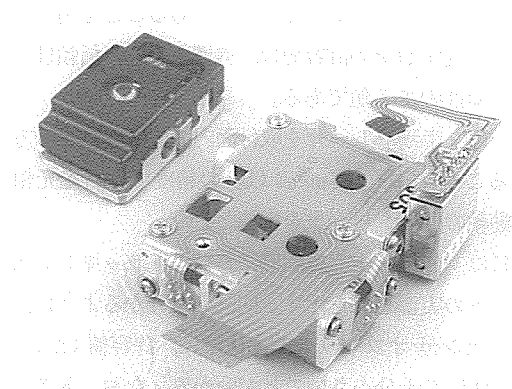


図1. 光ヘッドの外観

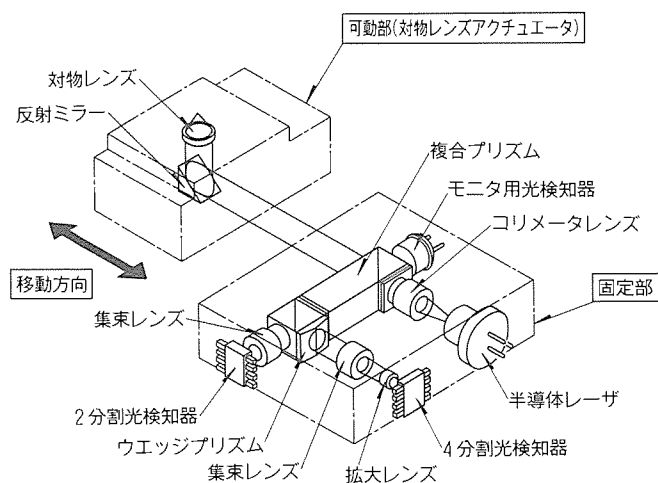


図2. 光ヘッドの光学系

して、高出力半導体レーザ (35 mW 級) の使用と集光光学系の最適化により、構成が簡素でコリメータレンズの位置調整が不要な直接集光光学系を実現した。

フォーカシングセンサ系にはディスクアクセス時の案内溝外乱に対して有利なフーコー法を、トラッキングセンサ系には構成が簡素なプッシュプル法を採用している。いずれのセンサ方式も、従来の130 mm 光ディスク装置用光ヘッドに採用している方式である。

分離方式光ヘッドにおいては、アクセス時に固定部と可動部の相対位置関係が変動するため、固定部からの出射光光軸と光ディスクから反射され固定部に再入射する反射光光軸との間に光軸ずれが発生しやすい。図3に分離方式光ヘッドにおける光軸ずれ発生メカニズムの事例を示す。図に示す光軸ずれ $d$ は、出射光光軸と可動部移動軸の間の角度ずれ $\theta$ の要因により発生するものである。この光軸ずれは、プッシュプル法トラッキングセンサに悪影響を与え、センサ上にオフセットを発生させる。今回、分離方式光ヘッドを実現するに当たっての最大の課題は、この光軸ずれの低減であった。

我々は、まず、光軸ずれ発生要因の中で、図3の要因が支配的であることを光路解析や実測から明らかにした。次に、この光軸ずれの許容値をサーボ系、光学系及び機構系の仕様から計算と実測によりトータルシステムとして決定し、結果として角度ずれ $\theta$ の許容値が数mradあることを明らかにした。この角度ずれ $\theta$ の許容値は、機構系精度、信頼性の点からみて量産性のある値である。

実際には、半導体レーザを取付面内で位置調整する方式を採用することにより、1 mrad 以下の精度で出射光光軸と可動部移動軸の間の角度調整を可能とした。

図4には、光ヘッド完成状態におけるトラッキングセンサオフセットの実測結果を示す。同図から分かるように、トラッキングセンサオフセットの変化量は、許容値 ( $\pm 0.05 \mu\text{m}$  以内) に対して十分小さいことが分かる。なお、トラッキングセンサの調整は中周位置で行うため、中周位置でのトラッ

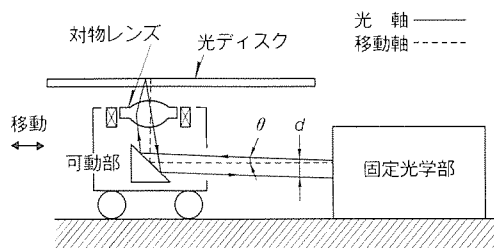


図3. 分離方式光ヘッドにおける光軸ずれ発生メカニズム

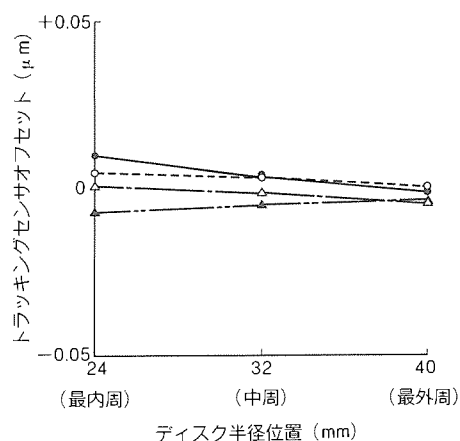


図4. トラッキングセンサオフセットの実測結果

表2. 対物レンズアクチュエータの主な仕様

項 目	フォーカシング方向	トラッキング方向
可動量 (mm)	$\pm 0.45$	$\pm 0.2$
高域発生加速度 ( $\text{m}/(\text{s}^2 \cdot \text{A})$ $ G/A $ )	600 [61]	390 [40]
高域共振周波数 (kHz)	30以上	30以上
高域共振ピーク量 (dB)	25以下	25以下
消費電力 (W)	約0.4	約0.4
対物レンズ位置検出器	あり (トラッキング方向)	
質 量 (g)	約11	
外形寸法 (mm)	(H) 11.8 × (W) 18.5 × (D) 31.5	

キングセンサオフセットはほぼ0となっている。

#### 4. 対物レンズアクチュエータ<sup>(6)</sup>

表2に今回開発した対物レンズアクチュエータの主な仕様、図5に主要部斜視図を示す。

対物レンズアクチュエータの方式としては、アクセス時に対物レンズ傾きや不要振動が発生しにくい軸しゅう (摺) 動回転方式を採用しており、表面にふっ素系樹脂をコーティングした支持軸、内面を鏡面研磨したアルミ製軸受、ポリカーボネート樹脂を成型した可動ホルダ等によって構成している。

支持軸軸径の小径化 (径1.5 mm)、対物レンズの非球面ガラスモール化等により、支持軸に対する対物レンズの偏心量を低減し、対物レンズアクチュエータの可動部分の小型・

軽量化を実現し、対物レンズアクチュエータ全体の質量も約11 gまで軽量化した(当社従来比 約30%減)。

また、薄形化を目的として可動ホルダ自体を薄形化するとともに、反射ミラーを可動ホルダの直下に近接して設け、光軸から上側の高さを低減した(光軸以上の高さ8.5 mm)。結果として、90 mm 光ディスク用の幅の狭いカートリッジ窓に対応可能で、高速回転ディスクにも対応可能な小型高性能対物レンズアクチュエータを実現した。さらに、トラッキング方向の周波数特性上に現れるばね共振周波数(約60 Hz)のピークを低減するために、対物レンズの速度を検出する位置センサを搭載している。

図6に今回開発した対物レンズアクチュエータのフォーカシング方向及びトラッキング方向の周波数特性実測結果を示す。フォーカシング方向、トラッキング方向ともに30 kHzまで共振のない良好な周波数特性が得られた。また、消費電

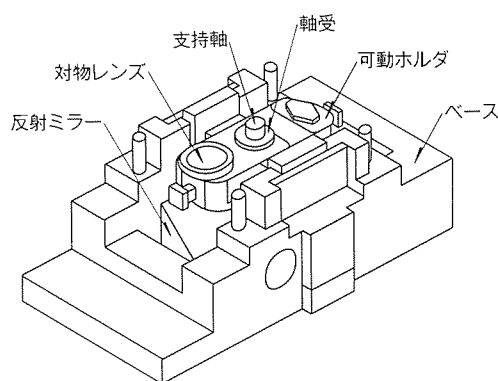
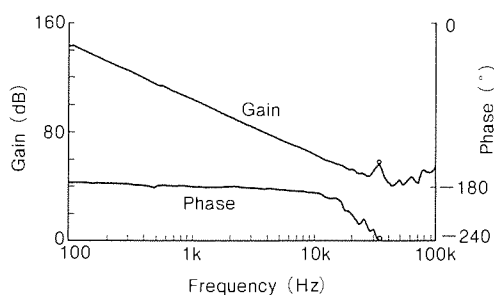
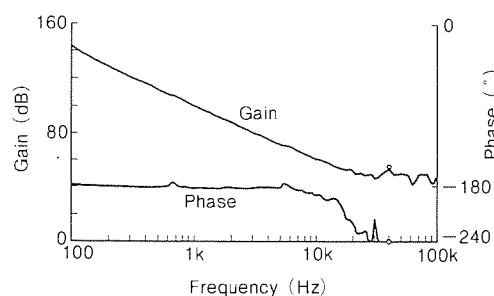


図5. 対物レンズアクチュエータの主要部斜視図



(a) フォーカシング方向



(b) トラッキング方向

図6. 対物レンズアクチュエータの周波数特性

力低減を目的として、フォーカシング方向とトラッキング方向のコイル駆動効率を高めることによって駆動力向上を行い、フォーカシング方向高域発生加速度  $600 \text{ m}/(\text{s}^2 \cdot \text{A})$  {61 G/A}, トラッキング方向高域発生加速度  $390 \text{ m}/(\text{s}^2 \cdot \text{A})$  {40 G/A}を実現した。消費電力実測値は、標準ディスクを用いて評価した結果、フォーカシング方向・トラッキング方向ともに約0.4 Wであった。

## 5. 記録再生特性及び信頼性評価

### 5.1 記録再生特性

図7に記録再生時の最高キャリア周波数である3 Tパターンの再生CN比(Carrier to Noise Ratio)特性の実測結果を示す。ディスク回転数3,000 r/min, ディスク最内周( $r=24 \text{ mm}$ )でのCN比は約50 dBであり、良好な特性が得られた<sup>(5)</sup>。

### 5.2 信頼性評価

光ヘッドの信頼性を確認するために、下記の条件で耐環境試験(温度・振動・衝撃)を実施し、フォーカシングセンサ特性、トラッキングセンサ特性、再生信号特性等の再生性能の変化を調べたが、試験前後で特性に変化は見られなかった。また、分離方式光ヘッド特有の固定部と可動部の相対位置ずれの評価も併せて行ったが、図8に示すように試験前後でディスク半径位置に依存したトラッキングセンサオフセット量に変化は見られなかった。

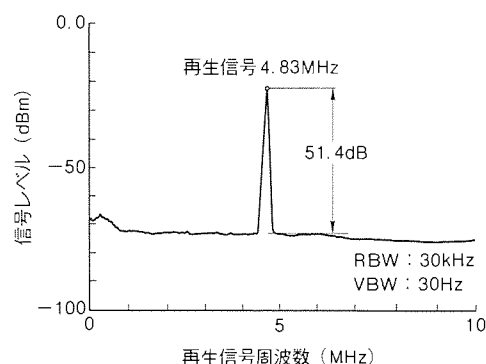


図7. 光ヘッドの再生特性

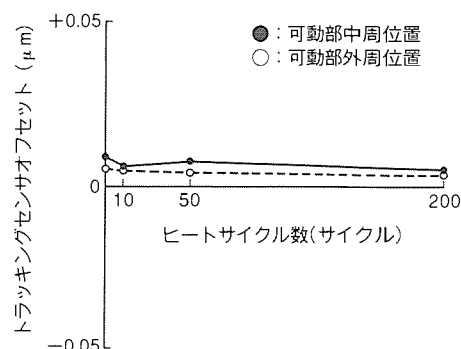


図8. トラッキングセンサオフセットの信頼性特性

- (1) 保管・輸送時の温度試験
  - (a) 高温保管 (+65℃)
  - (b) 低温保管 (-40℃)
  - (c) ヒートサイクル (+25℃→+65℃→+25℃→-40℃→+25℃を1サイクルとする6時間/サイクルの試験を200サイクル, 計1,200時間)
- (2) 使用時の温度試験
  - (a) 高温動作 (+55℃)
  - (b) 低温動作 (+5℃)
- (3) 振動・衝撃試験
  - (a) 加振条件 (加速度  $20 \text{ m/s}^2 \{2 \text{ G}\}$ , 加振方向 X, Y, Z, 周波数 10~120 Hz, sin 波)
  - (b) 衝撃条件 (加速度  $780 \text{ m/s}^2 \{80 \text{ G}\}$ , 衝撃方向 X, Y, Z)

## 6. む す び

分離方式光ヘッド及び高性能小型対物レンズアクチュエータについて検討を行った。半導体レーザを位置調整することにより分離方式光ヘッドを実現する場合の課題であるトラッキングセンサオフセットを低減するとともに, 支持軸の小径化, 対物レンズの非球面ガラスモールド化等により対物レンズアクチュエータを小型・高性能化し, 薄形で量産性及び信頼性の高いハーフハイトサイズの90 mm 光磁気ディスク装置用光ヘッドを開発した。

今後, 光ディスク装置の市場規模は年々拡大するとともに,

小型・薄形・高性能化への要求がますます強くなると予想される。今回の開発で培った技術を生かすとともに関係部門の連携を強化し, 光ヘッドの開発に取り組む所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 藤田輝雄, 篠田昌久, 竹下伸夫, 入江 満, 小柳公之: 光ディスク用高性能光ヘッド, 三菱電機技報, **62**, No. 7, 570~573 (1988)
- (2) Fujita, T., Kime, K.: Optical and Mechanical Design of Magneto-Optical Disk Heads, Technical Digest of Optical Data Storage Topical Meeting TuA2, 55~58 (1992)
- (3) 木目健治朗, 小川雅晴: 分離ヘッドで小型・高速, 日経メカニカル, No.368, 98~106 (1992)
- (4) 唐木盛裕, 竹下伸夫, 入江 満, 藤田輝雄, 尾崎 寛, 田所通博, 木目健治朗: 90 mm 光磁気ディスク用分離形光ヘッドの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, **91**, No. 485, 7~12 (1992)
- (5) 中根和彦, 小川雅晴, 小倉 学, 吉本恭輔, 清瀬泰広, 古川輝雄: 90 mm 書換え形光ディスク装置, 三菱電機技報, **65**, No.11, 1137~1142 (1991)
- (6) 竹下伸夫, 木目健治朗, 中村恵司: 光ディスク装置用高性能小形レンズアクチュエータの開発, 1991年度精密工学会秋季大会講演論文集, 413~414 (1991)



# CD-R 用光ピックアップ

篠田昌久\* 松野雄史\*\*  
吉原 徹\* 佐藤拓磨\*\*  
中村恵司\*

## 1. ま え が き

1982年に世の中に登場したCD (Compact Disc) は、その高音質性、操作性の良さ、豊富なソフト等の要因によって大きな発展を遂げてきた。また、音楽用途のみならず、計算機用データの提供を目的としたCD-ROM やマルチメディアを指向したCD-I といったCD ファミリーを拡大してきた。しかし、これまでのCD 機器はいずれも再生専用のものであった。

1990年、記録できるCD 規格としてオレンジブックが標準化<sup>(1)(2)</sup>され、CD-R (CD-Recordable) を正式名としてCD ファミリーが拡大された。CD-R はCD フォーマット化された音楽信号やコードデータをユーザーが自由に記録できるということだけではなく、記録されたディスクが家庭に広く普及しているCD プレーヤーでそのまま再生できるという大きな特長をもっている。このために、

- (1) 音楽愛好家によるオリジナルディスクの作成
- (2) 記念講演やセレモニーの収録
- (3) カタログ類のディスク化やプレゼンテーションツール
- (4) 写真アルバムのディスク化
- (5) CD-ROM 等の原盤カッティングチェック

などの様々な用途が考えられ、今後の市場展開が期待されている<sup>(2)(3)</sup>。また近々、民生用オーディオレコーダーとして登場する予定であり、従来のCD プレーヤーの高級機種はすべてCD-R レコーダーにとって替わるものと期待している。

当社はこれまでCD プレーヤー用の光ピックアップ<sup>(4)(5)</sup>、計算機用光ディスク装置の追記形と書換え形光ヘッド<sup>(6)</sup>を開発・製品化してきた。そして今回、これまで培ってきた光

ピックアップ・ヘッド技術をもとに、CD-R 用の光ピックアップの開発・製品化を行った<sup>(7)</sup>。

この光ピックアップは基本的には従来の追記形光ヘッドと同様の構成・性能であるが、CD-R ディスクに対して安定した記録再生及び市販品CD (以下“CD-DA”という。)の再生が行える特長をもっている。本稿ではこのような特長を中心にCD-R 用光ピックアップを解説する。

## 2. 光ピックアップの構成

### 2.1 全体構成

図1に光ピックアップの外観、図2に構成、表1に主な仕様を示す。光学系はピックアップベース上に構成されており、ピックアップベースはキャリッジに支持される構造となっている。このキャリッジを介してディスクのラジアル方向の送りが行われる。キャリッジを含めた光ピックアップの高さは23mm と薄く、キャリッジを含めた質量は72g と軽量である。

### 2.2 集光光学系

光源には中心波長785nm、最大光出力35mW の当社製半導体レーザを用いた。半導体レーザは放射角の分布をもっており、同じ光学系ならば放射角の狭いレーザほど光の利用効率を高くできる。そこで、このレーザの放射角分布と、CD-R ディスクの記録に必要な対物レンズ光出力が4mW から8mW である点を考慮して、レーザの最も頻度の高い放射角値で8mW (CW) 以上の光出力が得られること、さらにはこれより狭い放射角のレーザを用いることによって、ディスクの高回転数化に対応できる光出力が得られることを目標

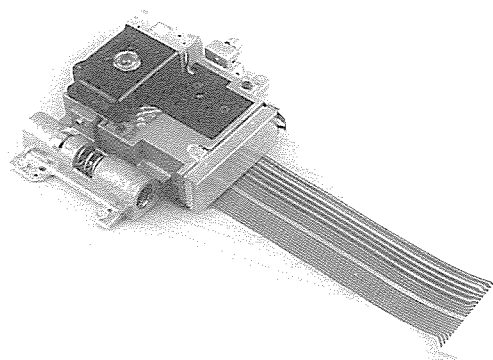


図1. CD-R 用光ピックアップの外観

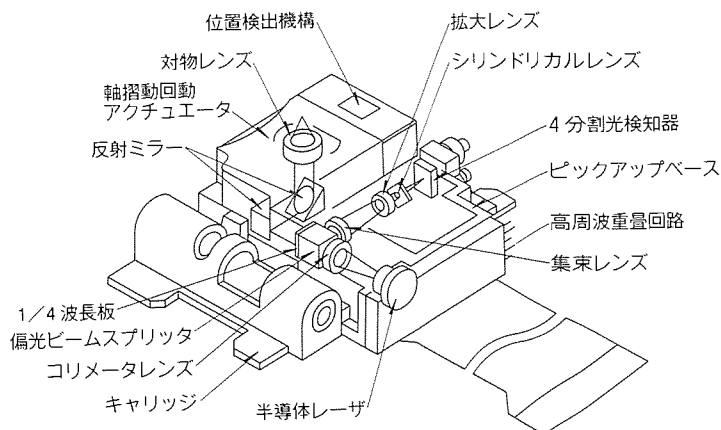


図2. CD-R 用光ピックアップの構成

に光学系の設計を行った。この結果、コリメータレンズ仕様と光学部品透過率の最適化を図ることで、ビーム整形を行わない直接集光方式で目標を達成することができ、最大光出力は13 mW とすることができた。これらによって、この光ピックアップは簡素な光学系で安定した光出力が得られるとともに、レーザ仕様の変更で記録時間の短縮を目的とした2倍速記録への対応が可能という特長をもっている。

高出力半導体レーザを用いた光ピックアップでは、ディスクからの戻り光によって誘起されるレーザノイズが問題となり、殊にディスク反射率の大きいCD-R や CD-DA の再生時に深刻となる。この光ピックアップでは、偏光ビームスプリッタと1/4波長板とで構成される光アイソレート光学系を採用し、ディスクからの戻り光を1%以下に抑えると同時に、半導体レーザを800 MHz で高周波重畳駆動することでレーザノイズを実用上問題のないレベルに抑えている。

### 2.3 センサ光学系

集光スポットをディスク上の目標とするトラックに位置決めするためのセンサ方式として、フォーカシングについては従来のCD用光ピックアップで用いられている非点収差法を採用した。トラッキングは従来の3ビーム法とは異なり、プッシュプル法を採用した。これは、次の四つの理由による。①3ビーム法は回折格子でサブビームを形成するためメインビームの光出力を大きくとれない。②記録時にはサブビームもメインビームと同様の強度変調を受けるため、サブビームによる誤記録の可能性がある。また、記録時には前後のサブビームの反射光がアンバランスとなり、トラッキングオフセットが発生する。③プッシュプル法は光学部品の削減と加工費の低減が図れる。④CD-R ディスクにはウォブリングされた案内溝が設けられており、ウォブリング周波数を検出してこれを一定値とすることでディスクの回転数制御が行える仕組みである。ウォブリング周波数の検出はプッシュプル法と同一の光学系で行われるため、プッシュプル法によるセンサからトラッキングエラー信号とウォブリング信号の両方を検出できる。

しかしながらプッシュプル法は、対物レンズの移動により、オフセットが発生するという短所<sup>(3)(8)</sup> もっており、この点について次章で詳しく述べる。

### 2.4 対物レンズアクチュエータ

対物レンズアクチュエータには、対物レンズの傾きや不要振動が発生しにくい軸しゅう(摺)動回転方式<sup>(9)</sup>を採用した。アクチュエータの限界使用帯域を決める高次共振周波数はフォーカシング方向が22 kHz 以上、トラッキング方向が31 kHz 以上である。この特性は2倍速記録に十分対応できるものであり、駆動力についても十分確保できている。また、このアクチュエータには対物レンズのトラッキング方向の位置センサが備えられており、対物レンズ移動量の検出が可能となっている。

### 2.5 ピックアップベース・キャリッジ

CD-R では、温度や振動という環境条件下で安定な記録動作が要求されると同時に、CD-ROM のような情報データを扱うディスクに対して高速検索性が確保された再生動作が求められる。この光ピックアップではベース及びキャリッジ材をアルミダイカストとし、併せて振動解析・熱解析を実施して、剛性と耐熱性に優れた構造を追求した。図3は光ピックアップをラジアル方向に加振させた場合の振動解析例を示し、このような解析と実際の振動測定結果から、この光ピックアップがリニアモータを用いた高速送り機構にも十分対応できることが確認された。

## 3. トラッキング特性

### 3.1 プッシュプルセンサ方式の特性

トラッキングセンサ方式として採用したプッシュプル法は、その構成が簡単であることから案内溝をもつディスクにおけるセンサ方式として広く用いられている。しかし、CD-R レコーダーでは市販されているCD-DA の再生も必要であるため、両方のディスクからエラー信号が検出されなければなら

表1. CD-R 用光ピックアップの主な仕様

項 目		仕 様
型 名		MLP-W
半導体レーザ	型 名	ML-64110R(当社製)
	最大光出力 (mW)	35 (CW)
	発振波長 (nm)	785
対物レンズ	開口数	0.47
	作動距離 (mm)	1.95
対物レンズ光出力 (mW)		8 以上 (CW)
フォーカシングセンサ方式		非点収差法
トラッキングセンサ方式		プッシュプル法
対物レンズアクチュエータ		軸摺動回転方式
		レンズ位置センサ付き
高周波重畳回路 (MHz)		800
外形寸法 (mm)		55(W)×102(D)×23(H)
質 量 (g)		72(キャリッジ含む。)

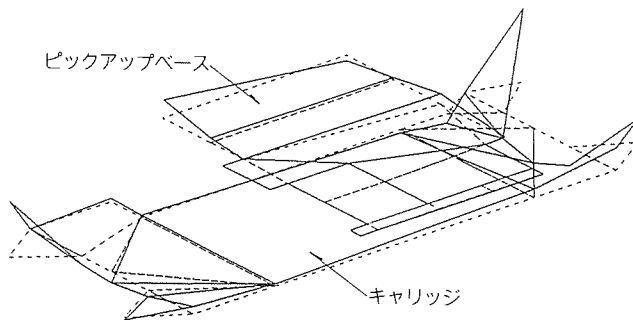
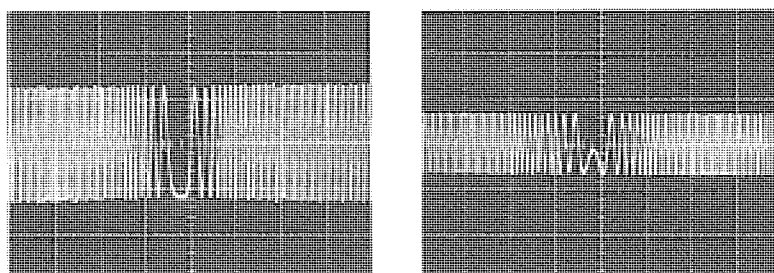


図3. ピックアップベース・キャリッジの振動解析 (8kHz の振動モード)



(a) CD-R (b) CD-DA  
図4. トラッキングエラー信号 (0.5V/div, 10ms/div)

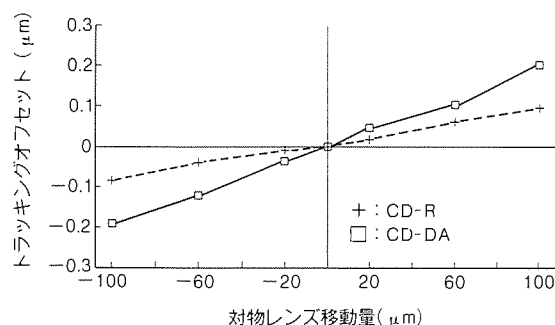


図5. 対物レンズの移動量とトラッキングオフセット

ない。図4にそれぞれのディスクから得られた信号(CD-Rは無記録部)を示した。どちらもサーボ動作に必要な信号振幅は得られているが、CD-Rに比べてCD-DAは約半分程度の振幅となる点に留意する必要がある。これは主に案内溝(CD-R)と信号ピット(CD-DA)の深さが異なることに由来する。

また、この方式は、対物レンズを移動させてトラッキングを行う際に、レンズの移動量に比例してトラッキングオフセットが発生するという欠点がある。図5はCD-RディスクとCD-DAディスクについて、対物レンズの移動量に対するトラッキングオフセット発生量を測定したものであり、対物レンズ100  $\mu\text{m}$ の移動につき、CD-Rでは約0.1  $\mu\text{m}$ 、CD-DAでは約0.2  $\mu\text{m}$ のトラッキングオフセットが発生している。通常トラッキングオフセットの最大許容値は0.1  $\mu\text{m}$ 程度であるから、プッシュプル法では対物レンズ移動がCD-Rディスクで約100  $\mu\text{m}$ 、CD-DAディスクは約50  $\mu\text{m}$ に制限されることになる。ところが規格に定める最大偏心量は両ディスクとも70  $\mu\text{m}$ である。したがって、対物レンズの移動だけではCD-DAを安定に追従することはできず、また他のオフセット発生要因を考慮すればCD-Rディスクでも安定な追従範囲を確保できているとはいえない。

### 3.2 対物レンズ位置センサ

プッシュプル法でありながら安定したトラックの追従を実現するために、この光ピックアップは対物レンズのトラッキング方向の絶対位置を検出する位置センサを採用した。その構成を図6に示す。対物レンズアクチュエータ下部に発光ダイ

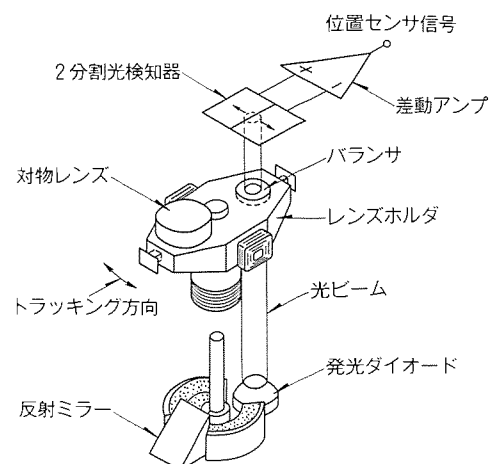


図6. 対物レンズ位置センサの構成

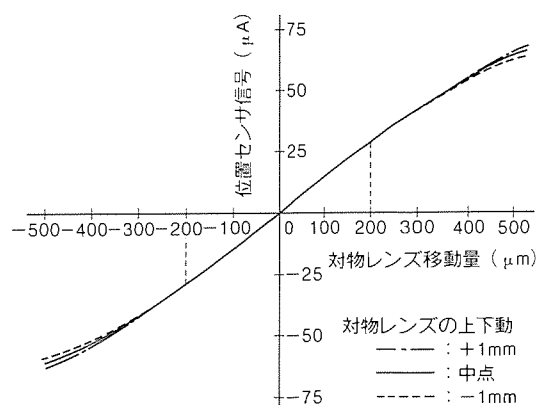


図7. 対物レンズ位置センサ特性

イオード(LED)が固定されており、レンズホルダ部のバランスを開口とするために中空形状とした。出射光ビームがこの開口部を透過して、上部に固定された2分割光検知器で受光される構造である。一般にLEDの出射光は発散性が大きいため、このような構造では対物レンズのフォーカシング動作における上下動(±約1mm)によって感度変動が生じる。そこで、平行光束性の強いLEDの採用と開口部径の最適化を図り、図7に示すように±約300  $\mu\text{m}$ の移動で上下動の影響を受けず、直線範囲が±約200  $\mu\text{m}$ 以上を確保でき、対物レンズの絶対位置を検出できる良好な位置センサ特性を得ることができた。

このセンサにより、①ラジアル送り機構と連動させて対物レンズを常に中立点近傍で動作させる、又は対物レンズの動作追従範囲を限定する、②トラッキングエラー信号で、対物レンズの移動量から図5の特性に基づいて得られるオフセット信号を減じて追従動作をさせる、というような手段により、安定なトラッキングを実現することができるとともに、レコーダー側で活用法を選択できる利点ももっている。

## 4. 記録再生特性

### 4.1 記録特性

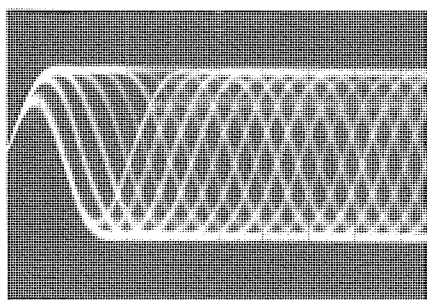


図8. CD-R 記録再生特性(アイパターン)  
(0.2V/div, 0.5 μs/div)

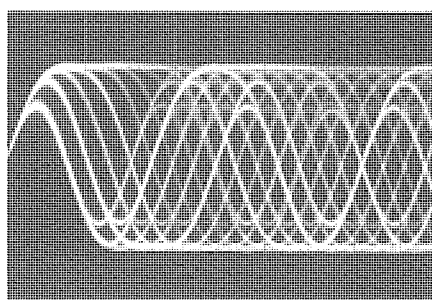


図9. CD-DA 再生特性(アイパターン)  
(0.2V/div, 0.5 μs/div)

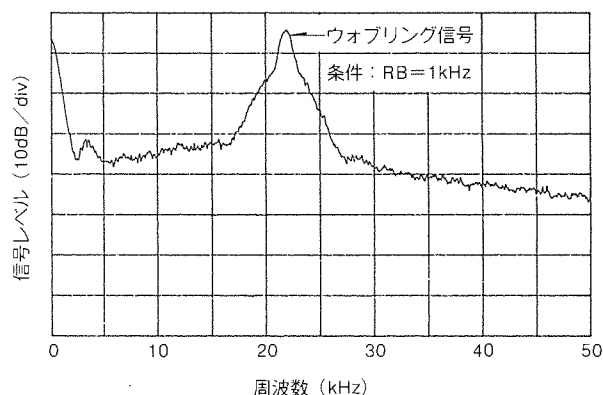


図10. CD-R ウォブリング信号 CN 比

この光ピックアップを用いて CD-R ディスクへの記録再生を行った。図8は7.8mWで記録したEFM信号を同一光ピックアップで再生して得られたアイパターンであり、3T信号のジッター値は20nsと極めて良好であった。

## 4.2 再生特性

同様に従来の CD-DA ディスクを再生して得られたアイパターンを図9に示し、3T信号のジッター値は17nsとこれも良好であった。

CD-R ディスクに特有な規格として、一定の周波数でウォブリングされた案内溝と、このウォブリング信号に基づいてディスク回転数の制御が行われることは先に述べた。図10に記録済の CD-R ディスクから検出したウォブリング信号(22.05 kHz)のレベルを示し、CN比は30 dB (規格値 20 dB 以上)であった。また、同様に未記録時では41 dB (規格値 35 dB 以上)であり、共に規格値を十分満たす良好な特性を確保できていることが確認できた。

## 5. む す び

CD-R 用光ピックアップは、当社がこれまで CD 用光ピックアップや計算機用光ヘッドで培ってきた経験と技術をもとに開発・製品化が行われ、次のような特長をもっている。

- (1) 直接集光方式による簡素な光学系でありながら、記録に必要な光出力を得ている。さらに、レーザの仕様変更のみで2倍速記録への対応が可能であり、記録時間の短縮が図れる。
- (2) 対物レンズアクチュエータは高次共振周波数、駆動力と

も2倍速記録に対応できる性能をもっており、レンズのトラッキング方向の位置センサを付加したことにより、安定したトラック追従が行える。

(3) 戻り光の少ない光学系と高周波重畳回路により、高い記録再生特性を実現している。

(4) 機械的、熱的に信頼性の高い構造である。

(5) 厚さ23mm、質量72gの薄型・軽量である。

CD-R はここで述べた追記形以外にも書換え形対応の規格があり、さらにはミニディスクという新規なメディアの提案<sup>10)</sup>もなされている。今後、光ピックアップの小型化・高性能化を図りながら、これら新規なメディアに対応した光ピックアップの開発・製品化を進めていく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 高野雅晴：CD がデジタル・ビデオ・ディスクへ飛躍、日経エレクトロニクス, No.528, 123~141 (1991)
- (2) 中島平太郎, 近藤多聞, 坂田勝己, 賛川和彦, 中島 尚, 高井正興, 石黒 隆, 青井利樹, 土井秀樹, 南波憲良, 松浦 眞：特集 録音できるCD, CD-Rの新しい世界, JAS Journal, 31, No. 11, 5~48 (1991)
- (3) 内藤雅文, 青木尚志, 高木正明：光学系一体駆動ヘッドを用いたライトワンス型CDライター, テレビジョン学会誌, 44, No. 10, 1403~1409 (1990)
- (4) 近藤光重, 木目健治朗, 鹿間信介, 河野慶三, 田村義基：コンパクトディスクプレーヤー用MLP-2形光ピックアップ, 三菱電機技報, 58, No. 11, 742~745 (1984)
- (5) 河野慶三, 木目健治朗, 近藤光重, 鹿間信介, 橋本 昭：コンパクトディスク用光ピックアップ, 三菱電機技報, 60, No. 3, 177~179 (1986)
- (6) 藤田輝雄, 篠田昌久, 竹下伸夫, 入江 満, 小柳公之：光ディスク用高性能光ヘッド, 三菱電機技報, 62, No. 7, 570~573 (1988)
- (7) オレンジブック対応追記型CD用光ピックアップの製品化, 三菱電機技報, 66, No. 1, 14 (1992)
- (8) 大里 潔：新しいトラッキングサーボ方式, 光メモリシンポジウム, '86 予稿集, 127~132 (1986)
- (9) Kime, K., Hashimoto, A., Egusa, N., Sakabe, S. : Development of the Focusing and the Tracking Actuator in an Optical Disc System, Bull. Japan Soc. of Prec. Engg. 22, No. 2, 133~138 (1988)
- (10) ミニディスク製品化へ始動, 先行するDCCを追う, 日経エレクトロニクス, No. 542, 155~168 (1991)

## 130mm 光ディスク装置

林 成男\*  
近藤潤一\*

## 1. ま え が き

コンピュータの外部記憶装置としての使用を前提とした 130mm 光ディスクは、1985 年から追記形に対して ISO (国際標準化機構) によって標準化作業が開始されたが、ISO 規格がまとまるのを待たずに各社独自の媒体フォーマットで次々と製品化され、当社も 1987 年に三菱化成(株)と共同開発した独自フォーマットの追記形光ディスクカートリッジ MW-5M12 を用いる光ディスク駆動装置 MW-5D1 及び光ディスクコントローラ MW-5C1 を製品化した。

引き続き書換え形光ディスク装置の開発に着手し、1990 年に ISO 規格準拠の書換え形光磁気ディスクカートリッジ ME-5M32 と ME-5M42、及び書換え形光ディスク装置 ME-5E1 の販売を開始した。また、書換え形光ディスク装置 ME-5E1 を基にして、追記形の ISO 規格に準拠した追記形光ディスクカートリッジ MW-5M32 又は MW-5M42 を用いる、光ディスク装置 MW-5E3 を開発し、1991 年から販売を開始した。

これらの製品に適用している基本技術については、1988 年 6 月発行の三菱電機技報、Vol.62, No. 7 (1988) に掲載された“光ディスク特集”を始めとして、これまでいろいろな方面で既に数多く発表してきており、また現在研究開発中の新技術についてはこの特集の別稿で紹介されるため、本稿では ISO 規格準拠 130mm 光ディスク装置の製品としての特徴について述べる。

## 2. 製 品 仕 様

130mm 光ディスク装置の第一世代に位置付けられる MW-5D1/MW-5C1、及び第二世代と言える書換え形光ディスク装置 ME-5E1 の主要仕様を表 1 に示す。なお、ISO 規格準拠の追記形光ディスクカートリッジを用いる追記形光ディスク装置 MW-5E3 は、光ディスク

コントローラ部の制御プログラムを格納した ROM 以外は書換え形光ディスク装置と全く同じであり、表 1 中では仕様の異なる部分のみ併記している。

図 1 に第一世代、図 2 に第二世代の光ディスク装置を示す。また、図 3 に第二世代の光ディスク装置と電源を内蔵した書換え形光ディスク装置ユニットを示す。

第一世代機では光ディスク駆動装置と光ディスクコントローラは分かれていたが、第二世代機では光ディスクコントローラと光ディスク駆動装置は一体化しており、ホストコンピュータは光ディスク装置と直接 SCSI インタフェースで接続される。光ディスクコントローラが内蔵されたのは、主にコントローラ部の IC の集約化による部品実装面積の低減による結果であり、別稿で紹介している 90mm 光ディスク装置では一層小型・集約化された IC を用いて、一段と小さい外形寸法内に光ディスクコントローラまで内蔵している。

## 3. ライブラリユニットへの搭載

130mm 光ディスク装置は元々ライブラリユニットに搭載することを考慮しており、カートリッジ自動ローディング機構は、カートリッジを自動的に引き込む距離を約 40mm と

表 1. 130mm 光ディスク装置の主な仕様

項 目	第一世代光ディスク装置 MW-5D1/5C1	第二世代光ディスク装置	
		ME-5E1	MW-5E3
型 式	追記形	光磁気書換え形	追記形
ディスク径 (mm)	130	130	
光ディスク規格	三菱独自	ISO/IEC 10089 JIS X 6271	ISO/IEC 9171 JIS X 6261
記憶容量 (Mバイト)	512B/セクタ	297×2 <sup>*1</sup>	
	1,024B/セクタ	—	
平均シーク時間 (ms)	63 <sup>*2</sup>	287×2 <sup>*1</sup>	
平均回転待ち (ms)	17	305×2 <sup>*1</sup>	
ディスク回転速度 (r/min)	1,800	35.5 <sup>*2</sup>	
誤り訂正方式	リードソロモン LDC	12.5	
データバッファ容量 (Kバイト)	32×2	2,400	
平均消費電力 (W)	14/11	256×2	
ホストインタフェース	SCSI ANSI X 3.131-1986	17	
外形寸法 W×H×D (mm)	146×82.6×203 <sup>*3</sup>	SCSI ANSI X 3.131-1986	
質 量 (kg)	2.5 <sup>*3</sup>	146×82.6×203	
備 考		2.8	
		ライブラリユニット用補助インタフェース装備	

注 \*1 デフォルトフォーマット時。

\*2 ランダムシーク平均時間。光ディスクコントローラのオーバヘッド時間は含まない。

\*3 駆動装置部のみ。コントローラ部は除く。

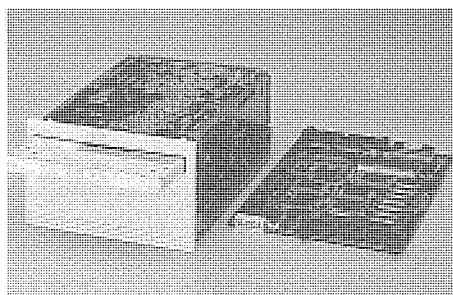


図1．第一世代130mm 光ディスク装置  
(左：光ディスク駆動装置、  
右：光ディスクコントローラ)

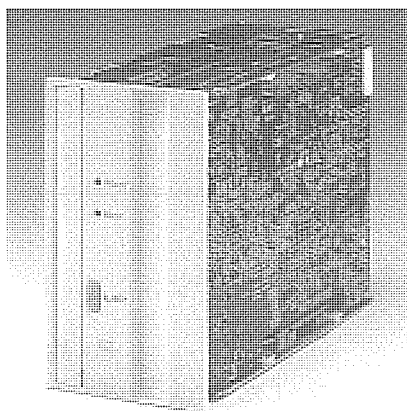


図2．第二世代130mm 光ディスク装置

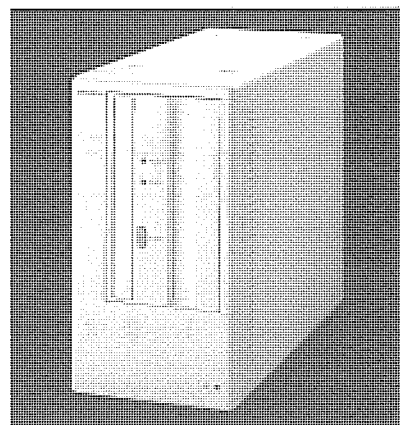


図3．書換え形光ディスク装置ユニット

大きくとっているにもかかわらず、ローディング開始から1秒足らずでカートリッジを引き込んで光ディスクの装着を完了する。その後スピニングを開始するが、スピニングを完了してレディになるまでの時間はカートリッジ挿入から2.5秒程度である。また、ライブラリユニット内で使用される場合、人手でローディング／イジェクトを行う光ディスク装置ユニットの場合に比較してはるかに高いローディング／イジェクトの耐久性が要求され、高信頼性設計の結果、20万回のローディング耐久性を保証している。

また、表1に示したように、第二世代のISO規格準拠の光ディスク装置では、装置の背面に専用の補助インタフェースコネクタを装備して、SCSIバスを経由せずにライブラリユニットが光ディスク装置の動作状態のモニタリング及びカートリッジのローディング／イジェクトの制御を実行できるようにしている。これにより、ライブラリユニット側のカートリッジ搬送機構との干渉抑制、及びローディング又はイジェクト動作に失敗した場合の回復処理を制御可能にしている。

表2に、ライブラリユニット補助インタフェースの仕様を示す。

また、ライブラリユニットに搭載された場合、昼夜連続でホストコンピュータからアクセスされる場合が考えられ、シーク寿命回数も1千万回以上が求められる。図4にシーク耐久試験の結果を示すが、シーク回数が1億回を超えても特に異常はみられなかった。

#### 4. 制御情報トラックデータの制御

##### 4.1 制御情報トラック

追記形であれ書換え形であれ、ISO規格の130mm光ディスクは、主にディスクへの物理的記録条件を記述したSFP制御情報トラックと、SFP制御情報トラックを読み取るための条件を記述したPEP制御情報トラックをもっている。ISO規格では物理的な寸法、形状、信号記録フォーマット等は決められているものの、サーボ方式、セクタサイズ、ディスクの反射率、再生パワー、記録パワー等はある制限以内で

表2．ライブラリユニット補助インタフェース信号

信号名	I/O	機能
EJECT	入力	カートリッジイジェクト指令
LOAD	入力	カートリッジローディング許可指令
AC_ON	入力	ライブラリユニット接続モード指令
CAR_CHK	出力	カートリッジ挿入検出信号
LD_CMP	出力	ローディング完了信号
LDR_ON	出力	ローディング／イジェクト実行中
BUSY	出力	駆動装置ビジー信号

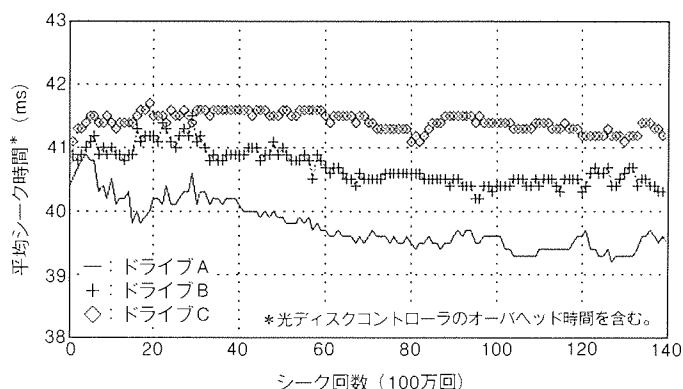


図4．シーク耐久試験結果

可変であり、制御情報トラックにそれらの値が記載されている。したがって、光ディスク装置にはディスクの制御情報トラックデータを読み取って、ディスクが要求する再生条件、記録条件に装置側を合わせる事が要求される。

当社ISO規格準拠光ディスク装置ME-5E1(MW-5E3)は連続溝方式(フォーマットA)のディスクを前提にしており、PEP及びSFP制御情報トラックを読んで光ディスク装置側が受入れ可能な媒体であるかどうかを判断し、受入れ可能な場合は光ディスク装置の読出し条件、書込み条件を光ディスクに適した値に設定する。

##### 4.2 再生条件の設定

PEP制御情報トラック位置でフォーカス引込みを実行した後PEPデータの解読を行い、そのディスクが基本的に

装置側で受入れ可能なものであるかどうかを判断する。その後、PEP データから SFP を読むための条件を選定し、再生パワー、サーボ回路のゲイン設定、セクタサイズの設定等を行う。

光ディスク装置起動時の概略フローを図5に示す。また、PEP 制御情報トラックの記述内容を表3に示す。

再生レーザパワー、サーボ回路のゲイン、RF 信号回路のゲイン等を制御情報トラックデータから設定するようにしたことにより、反射率等の物理的特性が大きく異なる媒体に対しても、正常なアクセス性能、データ読出し性能を達成している。

### 4.3 書き込み条件の設定

当社の130 mm 書換え形光ディスク装置のレーザダイオードの発光波長は780 nm、ディスクの回転速度は2,400 r/min (40 Hz) であり、すべての媒体の SFP 制御情報トラックに当社の光ディスク装置に最も適した記録条件が記載されていれば問題はないが、現実に市販されている媒体の SFP 記載データは、測定条件、SFP 中の記載バイト位置がまちまちであり、媒体によってはデータが全く記載されていないものもある。

このため、ISO 規格で定められた SFP 記載データのうち、少なくとも記載必す (須) となっている波長 825 nm、回転速度 1,800 r/min (30 Hz) 条件での記録条件が記載してあれば、そのデータを換算して、光ディスク装置側の物理的制限範囲内で装置側の記録条件を、媒体に適する条件に合わせるようにしている。

実験によれば、光磁気書換え形光ディスクの場合は、ディスク半径位置の変化に伴う記録制御方式として、“記録パワー一定・パルス幅可変記録方式”が許容記録パワー範囲が広く、記録方式として適していることが分かった。一方、穴明け追記形光ディスクの場合は、狭帯域信号対雑音比 (CN 比) が大きくとれることから、記録パルス幅一定 (67 ns) で内周から外周に向かって記録パワーを連続的に変化させる“記録パルス幅一定方式”の方が適していることが実験データとして得られている。

これらを考慮して、以下の方法で記録パワー条件を決定している。

(1) SFP 記載データのうち、40 Hz、パルス幅 67 ns 一定条件での最内周、中周、最外周の3点の記録パワーを探す。

求める 40 Hz の条件が記載されていない場合は、ISO 規格上記載必須項目である 30 Hz の条件を読んで上記パルス幅 67 ns の記録パワーに換算する。

(2) 上記3点の記録パワーを用い、その中間は内周から外周まで直線的に記

録パワーを内挿する。

(3) 書換え形媒体の場合は、内周から外周まで、47, 57, 67, 77, 87, 97 ns に記録パルス幅を切り替えて記録する。

追記形媒体の場合は、67 ns 一定の記録パルス幅で記録する。

(4) 記録パルス幅を変化させる場合は、記録パワーを以下の式で決定する。

(記録パワー) =

$$(67 \text{ ns の記録パワー}) \times \sqrt{\{(67 \text{ ns}) \div (\text{記録パルス幅})\}}$$

## 5. データ系の高信頼化

コンピュータ関連装置は、一般的にバイト単位で情報が扱われ、光ディスク装置においてもホストコンピュータとの

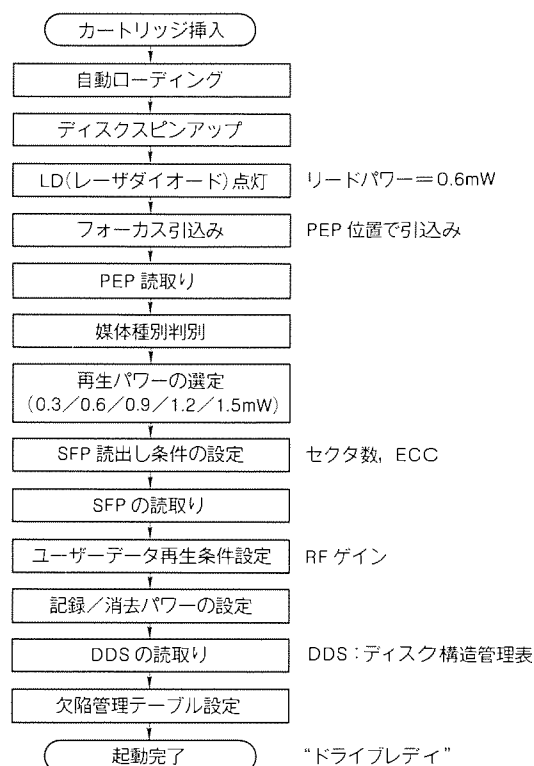


図5. 起動時の概略フロー

表3. PEP 制御情報トラックのデータ内容

		ビット							
		7	6	5	4	3	2	1	0
バイト	0	サーボ方式	回転モード			0	変調方式		
	1	0	ECC 方式			0	セクタサイズ		
	2	第 0 トラック内のセクタ数							
	3	ベースライン反射率							
	4	L/G	SFP 部信号振幅と極性						
	5	ユーザーデータ部信号振幅と極性 (書換え形の場合は無効)							
	6	30Hz, 825nm の場合の最大読出しパワー							
	7	媒体の種類							
	8 ~ 9	外周側 SFP 開始トラック番号							
	10 ~ 13	リザーブ							
14 ~ 17	製造者固有データ (互換性には関係なし)								

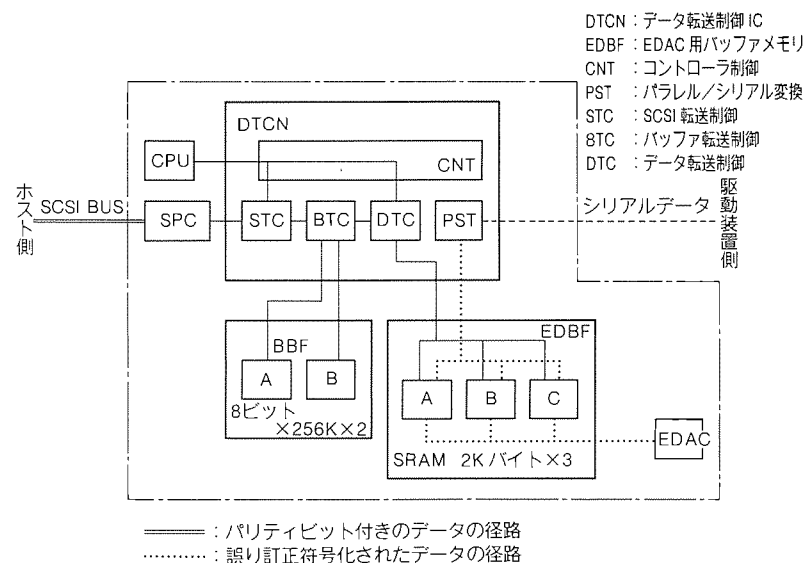


図6. オリジナルの書換え形光ディスク装置の光ディスクコントローラ部のブロック図

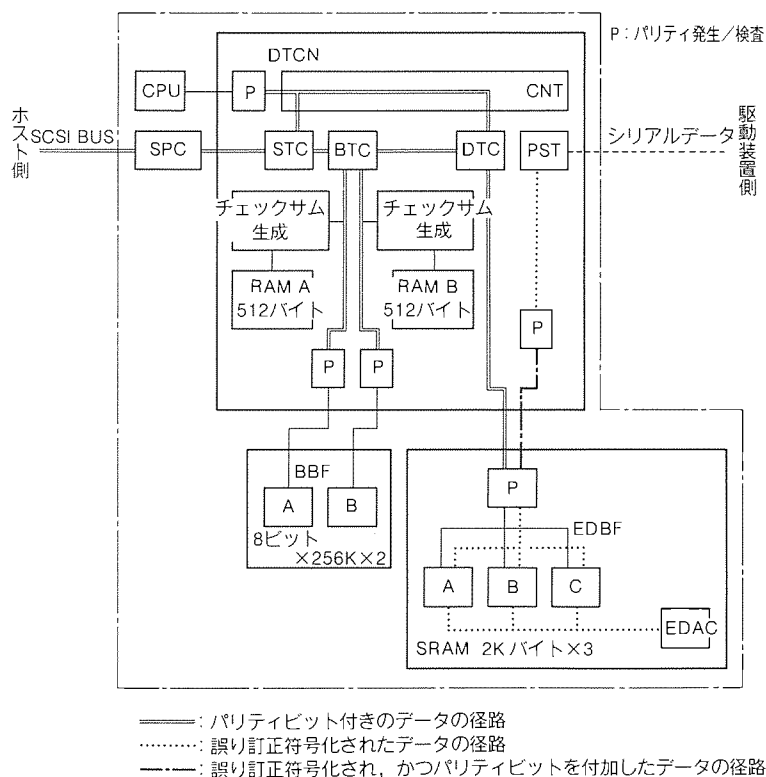


図7. データの信頼性を向上させた光ディスクコントローラ部のブロック図

データ転送は、8ビットデータ+1ビットパリティの9ビット単位でSCSIバスを通して行うが(ただし、パリティはオプション)、光ディスク装置内部では8ビットで扱うのが一般的である。

誤り検出・訂正回路(EDAC)以降の駆動装置側では既に誤り検出・訂正のための符号化が行われているので、その部分でデータ誤りが発生しても誤り訂正機能によって正しいデータに修復されるが、SCSIコントローラ(SPC)と誤り検出・

訂正回路までの間のバッファメモリ(BBF)を含むデータ転送処理部では、データ誤りに対する保護機能がなく、実質的に光ディスク装置のデータ信頼性はこのデータ転送処理部の信頼性、特にBBFに使用している、256Kバイト×2のDRAMのソフトエラー率に支配されることになる。

図6にオリジナルの書換え形光ディスク装置のコントローラ部分のブロックダイアグラムを示す。

ホスト装置とSPCの間にはパリティビットによるデータ保護手段をもっているが、SPC以降の光ディスクコントローラ内部にはパリティチェック機能はなく、データ転送制御部分のデータ誤り検出機能はもっていなかった。

これに対し、データ信頼性を一層向上させるため、誤り検出・保護機能を内蔵したICを開発し、データ保護機能を搭載した光ディスク装置を標準とした。

図7にデータ転送処理部を高信頼化したブロックダイアグラムを示す。この図に示す方式は、すべての8ビットデータに単純にパリティビットを付加するものではなく、セクタ単位で全データのチェックサム値を計算して下位8ビットを別の領域に記憶しておき、バッファメモリに書き込んだデータを読み出したときにセクタ単位で誤りを検査するものである。単純にパリティビットを付加すると1ビット×256Kのメモリが2本必要となるが、この方式では図中の“RAM A”、“RAM B”で表される8ビット×512のメモリ2本でよく、必要となる追加メモリ容量が大幅に少なくてすむ。

DRAMのソフトエラー発生率を $10^{-14}$ と仮定すると、この高信頼化によってビット誤りが検出できない確率は、計算上 $10^{-20}$ 以下になる。

## 6. む す び

以上、現在製品化されている130mm光ディスク装置について、その仕様と特徴ある技術を紹介した。光ディスク装置の技術開発は既に次世代機の製品化に向けて集約されてきているが、ここに紹介した現行製品においても、製品価格の低減と光ディスクアプリケーションの拡充に努力を続けており、一層の光ディスク装置の普及を目指している。



## 光ディスク媒体の信頼性評価技術

土橋 勝\* 羽島一夫\*\*  
浅川益雄\* 都出 結花利\*\*  
進藤紘二\*

## 1. ま え が き

光ディスクカートリッジ(以下“媒体”という。)は、ISOによって1986年以来規格化活動が開始され、順次諸規格が整備されてきた。これに伴い、円盤サイズ130mm及び90mmの各種媒体とその駆動装置が順次市販され、一般ユーザーの使用に供されつつある。そして、今後アプリケーションソフトの充実とともに、その用途が一層拡大するものと期待されている。

しかしながら、いずれの媒体も製品化からまだ2～6年しかたっていないために、寿命など長期信頼性についての実績に乏しい。光ディスク標準化委員会<sup>(1)</sup>やNIST<sup>(2)</sup>などで、各種媒体ごとに加速劣化試験を実施したり、一部の媒体についての寿命推定結果の報告を出すなどデータの集積が行われているが、信頼性の評価方法についての検討を深めるべき段階にきている。

当社でも、媒体の信頼性を最重要課題と位置付け、適用する駆動装置との関係、媒体の劣化メカニズム及び統計的観点などから実用に即して各種の検討を進めている。

ここでは、寿命予測を含む各種の信頼性試験方法と結果について述べる。

## 2. 三菱光ディスクカートリッジの性能と駆動装置

当社の各種媒体の性能と、対応する駆動装置を表1に示した。このうち、追記形媒体は一般的な追記形駆動装置に適用されるとともに光磁気媒体用光ヘッドを搭載する駆動装置にも適用できる。追記形媒体は耐磁界環境性に優れ、また記録されたデータを消し、同一アドレスに新たなデータを書き込むことができないので改ざん(竄)防止機能も期待できる。

一方、書換え形媒体は磁気媒体と同様にデータを頻繁に改廃する用途に適する。これら媒体の信頼性評価に下記の当社製光ディスク駆動装置を用いた。

ME-5E3は光磁気媒体用光ヘッドを搭載し、回転速度2,400r/minの130mm追記形駆動装置であり、ME-5E1は構造的には前者と同一の130mm書換え形装置、またME-3E1は90mm媒体の専用機である。

## 3. 記録/再生パワーの適合性

表1. 三菱光ディスクカートリッジの性能

形 式		追 記 形		書 換 え 形		
型 名		MW-5M32	MW-5M42	ME-5M32	ME-5M42	ME-3M31
ディスク径 (mm)		130		130		86
準拠規格		IS 9171		IS 10089		IS 10090
記憶容量(ユーザー容量) (バイト)		297M×2	326M×2	297M×2	326M×2	127M
セクタ長(バイト)		512	1,024	512	1,024	512
セクタ数		31	17	31	17	25
トラック数		18,751		18,751		10,000
ディスク基板材料		ポリカーボネート		ポリカーボネート		ポリカーボネート
記録膜材質		Te-Se 合金		TbFeCo 合金		TbFeCo 合金
記 録*1 再 生 特 性	反射率 (%)	35±4.2		19±2.3		24±2.9
	CN 比 (dB)	50以上		48以上		48以上
	エラーレート	2.5×10 <sup>-5</sup> 以下		1×10 <sup>-5</sup> 以下		1×10 <sup>-5</sup> 以下
	欠陥セクタ数	150以下		100以下		100以下
機械的特性	傾き角度 (mrad)	5 以下		5 以下		5 以下
	軸方向振れ 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	20以下		20以下		10以下
	径方向振れ 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	5 以下		5 以下		3 以下
使 用 環 境	温 度 (℃)	10～50		10～50		5～50
	湿 度	湿球温度29℃ max		湿球温度29℃ max		絶対湿度 1～30g/m <sup>3</sup>

注 \*1 いずれも光磁気媒体用光ヘッドを使用し、回転数は130mm系媒体で2,400r/min、90mm媒体で3,000r/minの場合の特性である。

市販の媒体のほとんどはISO規格に準拠しているが、信頼性を確保するには、記録/再生に必要なパワー範囲が駆動装置の稼働条件に適合していることが重要である。しかしながら、媒体-駆動装置間の互換化を図るためには、論理フォーマットの規格化とともに、媒体試験法やコントロールトラック記述値の一層の標準化が必要であり、これに関して光ディスク標準化委員会の成果が期待される。媒体の記録感度に影響する主なファクターは温度依存性と変質であり、当社ではその挙動を以下のように把握するとともに駆動装置との関係から、最適な記録/再生パワーを設定し、データの安全を確保している。

### 3.1 記録感度の温度依存性

媒体の記録感度の温度依存性を図1に示す。追記形媒体(ME-5W 32, ME-5W 42)はレーザービームで記録膜を溶融することによって情報ビットを形成するため、その形成温度は記録膜の融点(約400℃)である。一方、書換え形媒体(ME-5M 32, ME-5M 42, ME-3M 31)は光磁気タイプであり、レーザービームによって記録膜の温度をキュリー点(約200℃)へ上げ、その後の冷却過程で、外部磁界と記録層の保磁力との関係から情報マークを形成している。

このビット形成温度の差により、使用温度範囲で記録感度の変化の有無を生ずる。すなわち、追記形媒体の感度は温度

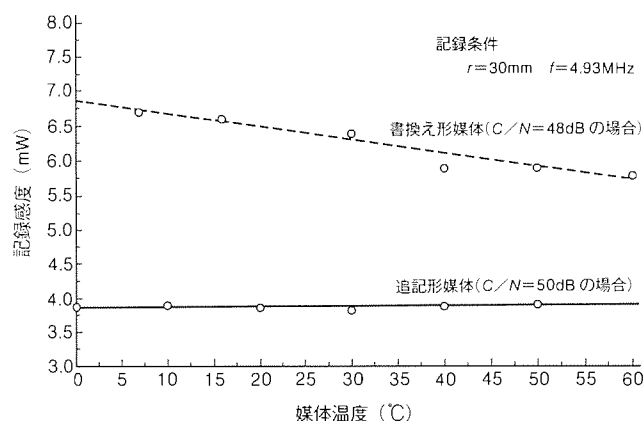


図1. 記録感度の温度依存性

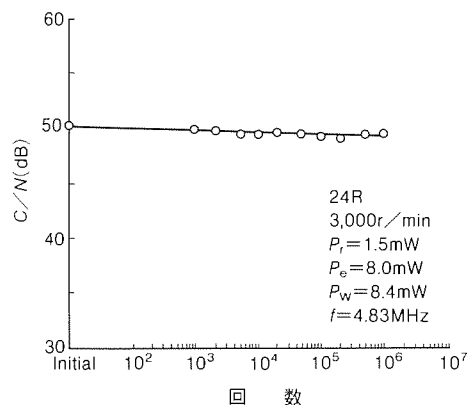


図2. 記録・再生・消去耐久性

に影響されないのに対し、書換え形媒体の感度は温度に依存して変化する。したがって、書換え形駆動装置は媒体の記録感度の温度依存性を考慮したパワー制御が必要である。

### 3.2 記録/再生パワー耐久性

追記形及び書換え形媒体共に、以前記録したデータの破壊を防ぐため、コントロールトラックに使用可能な記録/再生パワーを記載しているが、この値は耐久性を保証するもので

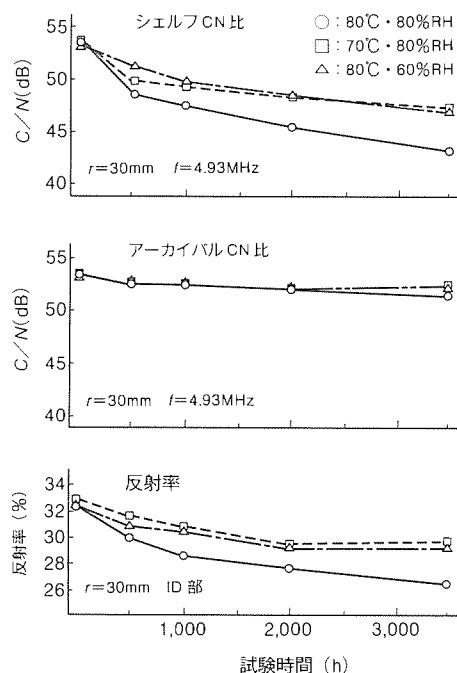


図3. 追記形媒体のCN比と反射率の変化

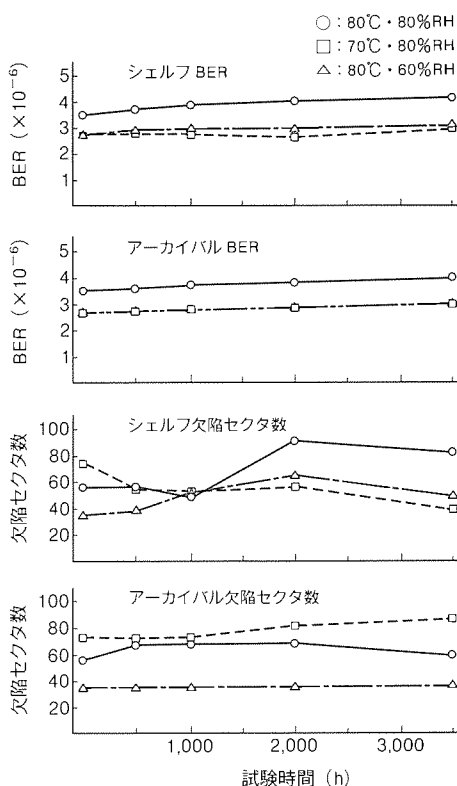


図4. 追記形媒体のBERと欠陥セクタ数の変化

なければならない。

再生パワーは、対応する駆動装置を用い、媒体の使用上限温度で1トラック当たり $10^7$ 回の連続再生操作を行い、搬送波対雑音比(CN比)(ISO規格ではNarrow Band Signal to Noise Ratio : NBSNR)の劣化やデータエラー(生エラー, 以下も同義)の増加がないことを検証している。この試験により、得られた最適再生パワーは追記形媒体の場合0.6 mWであり、書換え形媒体では1.5 mWであった。また、これらの値は、適切な再生信号強度を与え、機能上十分なパワーであることを確認している。一方、書換え形媒体については、データの頻繁な書換えの用途目的のために、1トラック当たり $10^6$ 回の連続した記録・再生・消去試験を行い、許容記録・消去パワーを確認している。図2に90 mm媒体におけるCN比の試験結果を示す。

以上の方法で得られたパワーを用いている限り、媒体の損傷や変質は生じない。

## 4. 媒体寿命

### 4.1 追記形媒体

#### 4.1.1 加速劣化試験と特性の変化

寿命推定試験は光ディスク標準化委員会やNISTと同様に高温高湿下での加速劣化試験を実施したが、試験条件は温度及び湿度の影響を知るために、 $80^{\circ}\text{C} \cdot 80\% \text{RH}$ 、 $70^{\circ}\text{C} \cdot 80\% \text{RH}$

$\% \text{RH}$ 、 $80^{\circ}\text{C} \cdot 60\% \text{RH}$ の3条件を選んだ。評価項目は媒体の主要な諸特性を網羅して実施した。得られたデータの中から代表的な特性の経時変化を図3、図4に示す。図3はCN比と反射率の変化であるが、その傾向は以下のとおりである。

- (1) シェルフ(未記録保存後の記録再生)のCN比は時間とともに低下するが、その低下率は漸減する傾向を示している。また、その低下の現象は温度・湿度条件に依存する。
- CN比の低下は記録感度の低下に原因し、時間とともに許容記録パワー範囲が最大4%の範囲で高パワー側へシフトすることによる。
- (2) アーカイバル(記録保存後の再生)のCN比の経時的低下はシェルフに比べ極めて緩慢であり、温度・湿度依存性もほとんどない。
- (3) 反射率はシェルフCN比と同様の变化を示し、経時的に特性が低下するが、その低下率は漸減する。また、温度・湿度依存性も大きい。

追記形駆動装置では、あらかじめ媒体の記録感度の低下幅4%、反射率の低下幅30%を見込んで設計されており、図4のビットエラーレート(BER)及び欠陥セクタ数の結果が示すように、メモリ系としての機能に不都合が生じないように配慮している。すなわち、

- (4) BERはシェルフ、アーカイバル共に初期値に比べ、ほとんど変化が見られない。
- (5) 欠陥セクタもほとんど増加が見られないが、殊にアーカイバルの安定性は極めて優れている。

なお、機械的特性やサーボ信号強度及びプリフォーマット信号強度についても3,500時間まで試験を実施したが、ほとんど変化しないことを確認している。

#### 4.1.2 特性変化のメカニズム

穴明けタイプの追記形媒体は一般に通気孔のあるエアサンドイッチ構造をもち、ピット形成の安定化のため記録膜上に保護膜を設けていない。このため、通常の使用・保管環境で

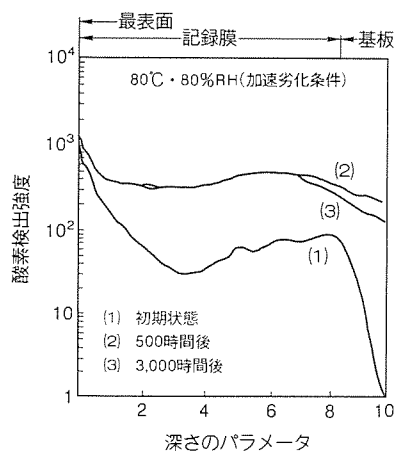


図5. 記録膜中の酸素分布の変化

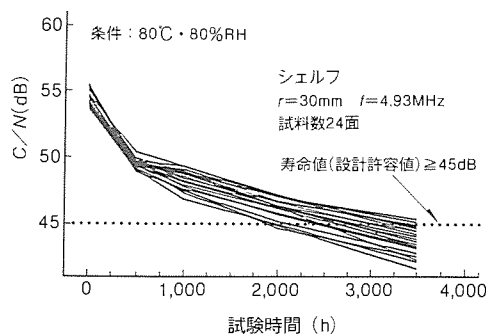


図6. 加速劣化試験におけるCN比の推移

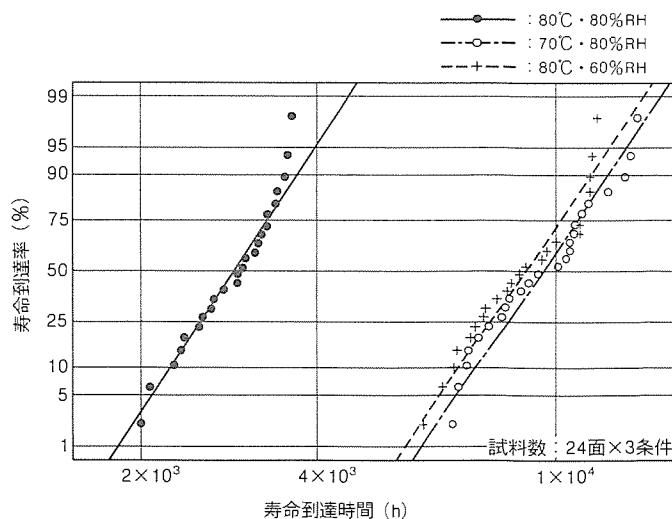


図7. シェルフCN比寿命の対数正規分布

記録膜は一様に酸化する<sup>(1)</sup>。記録膜には低融点金属であるテルル (Te) が主要材料として用いられるが、Te は高温・多湿下で酸化されやすい<sup>(3)</sup>。当社ではこの対策として、セレン (Se) その他の元素を加え、酸化速度を低減させた媒体を採用している。

図5は Te-Se 合金系記録膜の酸化の過程を知るため、二次イオン質量分析装置 (SIMS) によって記録膜中の酸素濃度を膜の表面から深さ方向に分析した例である。加速劣化時間とともに酸素濃度が増加し、酸化が進行する様子が分かる。そして、酸化は以下の過程を経ることを示している。

- 酸化初期に、記録膜最表面層 (約 30 Å 以下) に酸素濃度の高い安定な酸化層が形成される。
- 膜内部への酸化は酸素が記録膜中に拡散することによって進行する。しかし、表面酸化層の形成により、酸素の拡散は次第に抑制され、バルクの酸化反応は徐々に遅延して飽和する。
- すなわち、記録膜の酸化反応速度は放物線則<sup>(4)</sup>に従った挙動を示す。

また、記録膜の酸化反応の傾向はシェルフ CN 比や反射率の低下率が経時的に漸減する現象と一致している。

#### 4.1.3 寿命推定

媒体の寿命は実用面から考えると、駆動装置の許容限界に達する時間であり、欠陥セクタやエラーレートによって判断すべきである。しかし、追記形媒体では前述のようにこれら特性の低下はほとんど認められないため、ここでは ISO 規格に規定された CN 比  $\geq 45$  dB を寿命限界値として寿命を推定した。

図6に 80℃・80% RH でのシェルフ CN 比の変化を示すが、この図から 45 dB に達した時間を個々の媒体の寿命到達時間とした。しかし、これ以外の劣化条件では限界値に達しないので、寿命到達時間は以下の方法によって外挿した。前述のように特性変化が漸減的であり、そのメカニズムが酸化による放物線則に従うため、特性変化は式(1)に近似すると

仮定し、個々の寿命到達時間を求めた。

$$X = X_0 + K \cdot t^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $X_0$ : 初期値  $t$ : 劣化試験時間

$X$ :  $t$  時間後の値  $K, n$ : 定数

次に、実用環境条件における寿命推定について述べる。寿命推定には温度変化に対しては一般にアレニウスモデルが用いられるが、湿度に対する推定ができないため、湿度項を加えたアイリングモデル式(2)<sup>(5)</sup>を適用する。

$$t = \exp(B) \times \exp(\Delta H/kT) \times \exp(B_1 \times R) \times \exp(e) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $t$ : 寿命時間  $T$ : 絶対温度  $R$ : 相対湿度

$B, B_1$ : 定数  $\Delta H$ : 活性化エネルギー

$k$ : ボルツマン定数  $e$ : 残差

加速劣化試験のデータから式(1)で外挿して求めた個々の媒体の寿命到達時間を対数正規確率紙上にプロットした結果が図7である。また、3条件のデータから式(2)の各パラメータを求め、式(2)によって寿命時間を算出した結果を直線で示した。いずれの劣化条件でも両者は極めてよく一致する。

このことから、3条件下の劣化機構が同一と推定され、アイリングモデルを適用することの妥当性が確認された。なお、この場合の活性化エネルギー ( $\Delta H$ ) は 1.25 eV であった。

図8はアイリングモデルを用いて実用環境におけるシェルフ寿命を推定した結果である。

以上の方法で、追記形媒体の 97.5% 残存寿命を信頼水準 95% で推定し、以下の結果が得られた。

- 動作環境 30℃・80%RH におけるシェルフ寿命: 125 年
- 保管環境 30℃・90%RH におけるシェルフ寿命: 70 年

#### 4.2 書換え形媒体

##### 4.2.1 加速劣化試験と特性の変化

130 mm 書換え形媒体も追記形媒体と同様の方法で試験を実施した。加速劣化条件は、ISO 規格 10089 に記載されている保管条件のうち最も厳しいと考えられる 31℃・90%RH での寿命を推定するため、湿度は 90%RH 一定とし、温度を 60・70・80℃ の 3 条件とした。試験の結果、追記形媒体とは異なり、CN 比、反射率、記録感度などの変化は認められ

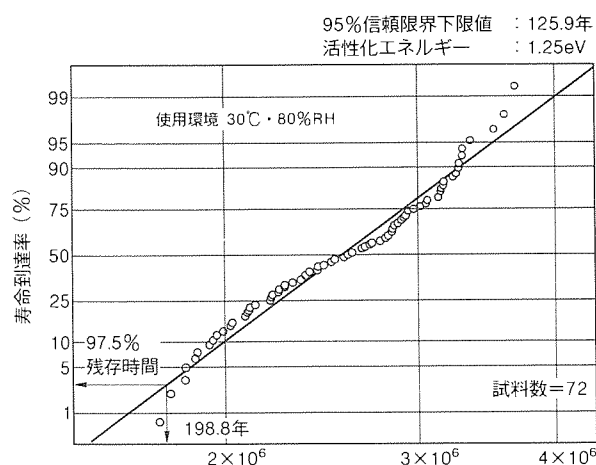


図8. 使用環境における追記形媒体の寿命推定

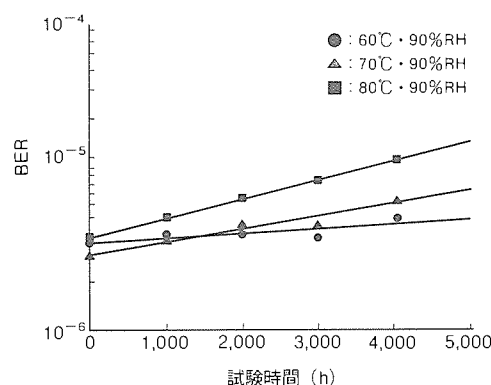


図9. 書換え形媒体(130mm)における BER の変化

ず、図9のように  $\log(\text{BER})$  のみが直線的に増加する傾向を示した。そして直線のこう(勾)配は、同一温度ではほぼ一定であり、試験温度が高いほど大きくなる。

#### 4.2.2 劣化のメカニズム

書換え形媒体ではCN比や反射率など記録膜の平均的な特性を表すパラメータに変化が現れず、局所的な異常を反映しやすいBERが変化する。

記録膜として用いられるテルビウム-鉄-コバルト (TbFeCo) 膜は、Tb や Fe の化学的活性が高いため、それ自体では大気中で酸素と水分と容易に反応して酸化物や水酸化物を形成し、磁気特性が変化してしまう。このため、無機誘電体や塗料などの保護膜又は更に130mm媒体のように両面張り合わせ構造を採用し、外気から記録膜を保護する構成をとっている。

しかしながら、保護膜のピンホールや樹脂層を透過する酸素や水分により、微小な腐食(酸化物)が生成することが考えられる。80℃・90%RH 4,050時間劣化させた媒体の欠陥を調べたところ、図10のような微小な欠陥が増加していた。この欠陥部をX線光電子分光法によって分析したところ、記録膜の欠落ではなく酸化物であることが分かった。すなわち、欠陥の増加は微小な酸化物の生成によるものであり、その反応は温度や湿度に依存することから加速劣化試験の有効性が認められる。

#### 4.2.3 寿命推定

ISO規格では欠陥セクタ数は1,024以下と規定されているが、欠陥セクタ数をパラメータとした評価は連続的な特性の変化を追跡するには適していない。そのため、BERと欠陥セクタ数の関係を調べたところ、図11のようにBERが $1 \times 10^{-4}$ 以上になると欠陥セクタが急激に増加することが示された。このことは駆動装置のエラー訂正能力からほぼ妥当な値である。したがって、媒体寿命の限界値には $\text{BER} = 1 \times 10^{-4}$ を用いた。また、いずれの劣化条件でも限界値に到

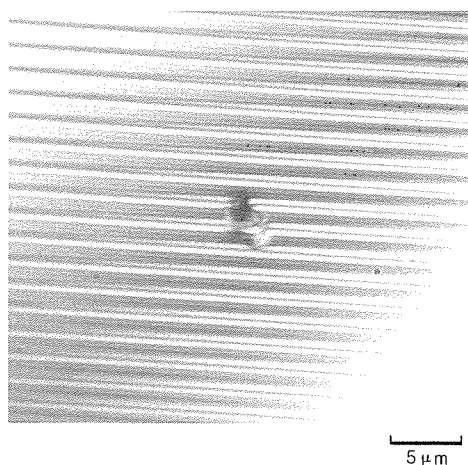


図10. 微小欠陥の光学顕微鏡観察  
(80℃・90%RH, 4,050時間経過後)

達しなかったため、追記形媒体と同様の方法で寿命推定をした。130mm書換え形媒体における95%信頼水準での97.5%残存寿命は40年(31℃・90%RHで)であった。

### 5. 駆動装置への着脱耐久性

ISO規格では着脱時の温度差を最大20℃とし、これに耐えることを規定しているのみである。したがって、ここでは当社が実施している媒体の標記耐久性試験方法の一部を紹介する。

#### 5.1 着脱試験

いずれの種類の媒体も対応する駆動装置を用い、そのシーケンスに従って挿入から排出までを1サイクルとする。サンプル数や試験回数などは次の式(3)、式(4)で設定する。

$$T = A \cdot \ln \beta / \ln R(t) \quad (3)$$

$$T = n \cdot t \quad (4)$$

ここで、 $T$ :総試験回数  $A$ :検証すべき回数

$1 - \beta$ :信頼水準  $R(t)$ :信頼度

$n$ :サンプル数  $t$ :媒体1枚当たりの試験回数

130mm媒体を片面当たり12,500回の耐久性を信頼水準95%、信頼度97.5%で検証する場合、媒体面数30、片面当たりの試験回数50,000回を要する。なお、評価項目はBER及びカートリッジケースやスプリングの機能と外観としたが、表1のいずれの媒体とも変化せず、片面当たり12,500回の耐久性が確認された。

#### 5.2 サーマルショック試験

媒体の駆動装置への搭載時に起こり得る最大温度差20℃の熱衝撃を上記の着脱試験で正確に再現することは困難である。このため熱衝撃試験槽を用い、材料の疲労強度理論<sup>(6)</sup>を応用して以下の加速試験を実施している。高温槽60℃、低温槽-20℃とし、規格温度差20℃の4倍の熱衝撃を250回加えた後、試験前後のBERの変化とカートリッジケースの機能と外観を調べた。表2にBERの結果を示したが、試験の影響は認められない。また、ケースも異常は認められなかった。上記試験の20℃温度差に対する加速倍率は次のように考えられる。媒体を構成する材料のほとんどはポリカーボネートであるから、これに着目する。図12はポリカーボネートの繰返し引張り圧縮応力に対する疲労特性曲線<sup>(7)</sup>

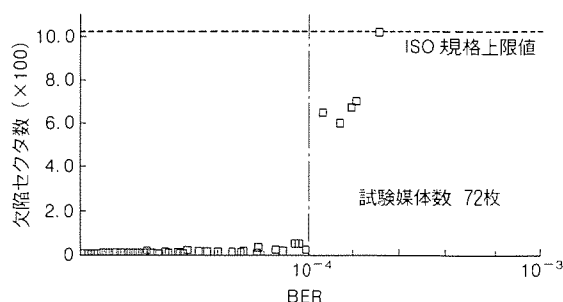


図11. 書換え形媒体のBERと欠陥セクタ数の関係

表2. BER へのサーマルショック試験の影響  
( $\times 10^{-6}$ )

媒体種類	追記形				書換え形(90mm)			
	シェルフ		アーカイバル		シェルフ		アーカイバル	
評価条件	前	後	前	後	前	後	前	後
平均BER	0.45	0.27	0.45	0.44	5.29	5.36	5.29	5.35
最大値	1.07	0.73	1.07	1.05	12.7	12.8	12.7	12.4
最小値	0.27	0.06	0.27	0.27	2.73	3.41	0.27	2.59

注 試料数各24枚

である。この曲線の $10^5 \sim 10^6$ 回の値から応力が1.47倍になれば、疲労破壊に至る繰返し回数は約1/10に減少することが分かる。

一方、 $60 \sim 20$  (°C) で、ポリカーボネートの膨張係数や弾性係数の変化はわずかであり、発生する熱応力は温度差のみに依存すると考えられる。したがって、上記試験は温度差20°Cの場合に比べ、熱応力が約4倍であり、そのショック回数は約525倍になる。すなわち、上記試験での250回は規格温度条件での約 $13 \times 10^4$ 回に相当する。

## 6. む す び

光ディスクの汎用化に当たり、媒体の信頼性の確保が重要であり、そのためにはまず評価法の標準化が急務である。このため、当社が実施している信頼性試験方法と結果について主な項目を紹介した。

試験方法については今後更に検討していく必要があるが、これまでの結果から以下のことがいえる。

- (1) 追記形媒体は記録/再生パワー範囲を適切に選べば、通常の環境条件下で約70年の使用に耐えると推定され、長寿命媒体である。
- (2) 書換え形媒体(130mm)の寿命は、その製造プロセスに左右されやすいが、約40年程度の寿命はあるものと推定される。
- (3) コントロールトラックに記載の記録/再生パワーを遵守する駆動装置であれば、いずれの媒体も同一トラックでの

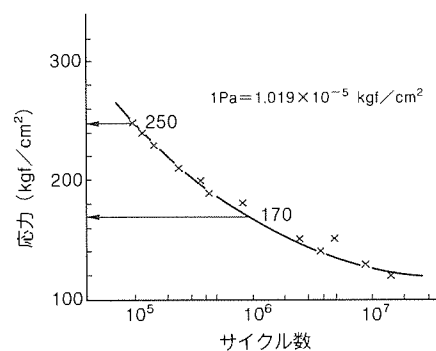


図12. ポリカーボネート(分子量 $2.3 \times 10^4$ )の疲労特性

$10^7$ 回連続再生に耐え、また書換え形媒体では同一トラックに対し、 $10^6$ 回連続して記録/消去を繰返しても特性の低下は認められない。

(4) いずれの媒体も、駆動装置への搭載時に受ける機械力や熱応力に対し、十分な耐久性をもっている。

## 参 考 文 献

- (1) 清宮 正：エラーレートによる媒体寿命評価の理論解析，光ディスクの標準化に関する調査研究V，光産業技術振興協会 (1989)
- (2) Podio, F. L. : Development of a Testing Methodology to Predict Optical Disk Life Expectancy Values, NIST Special Publication 500-200 (1991)
- (3) Milch, A., Tasaico, P. : J. Electrochem. Soc. 4, 884 (1980)
- (4) 伊藤伍郎：腐食科学と防食技術，標準金属工学講座16，コロナ社，411 (1973)
- (5) Nelson, W. : Accelerated Testing, Wiley, New York (1990)
- (6) Harris, C. M., Crede, C. E. : Shock and Vibration Handbook 24-24 (1961)
- (7) 三菱ガス化学：ユーピロン技術資料物性編，40 (1964)

# 光ディスク応用装置

本吉健郎\*  
上野 昇\*  
尾崎 稔\*\*

## 1. ま え が き

各人がコンピュータを使用する時代となり、また大量のデータをコンピュータで処理するようになり、記録・保存する情報が非常に多くなった。

光ディスク装置は、磁気記録によるテープ及びディスクの次の世代の記録装置として6年前から市場に投入され、徐々に普及している。この装置は、磁気ディスク装置より単位面積当たりの記憶容量が大きく、また規格で決められたカートリッジに収納した光ディスクを使用するため、取り外しが可能であり、見掛け上の容量は任意に拡大できる。このような背景から、当社では光ディスク装置の特徴を生かした応用装置も開発した。

本稿では、①光ディスクカートリッジの収納場所及び記録内容をコンピュータで管理し、自動で収納棚と光ディスク駆動装置の間を搬送機構を使用して光ディスクカートリッジを移動させる光ディスクライブラリ（オートチェンジャ）装置、②高精細の静止画像、音声、文字情報等をカメラ、スキャナ装置、マイク及びキーボード等で記録し、記録した画像を任意の組み合わせで検索及び画像出力する高精細静止画ファイル装置（イメージインタフェース装置）、③大型計算機の外部記憶装置として使用されている磁気テープ装置を代替するため、磁気テープ装置のコマンドを光ディスク装置のコマンドに変換し、大量のデータを光ディスク装置に入出力してデータの長期保存を可能にし、磁気テープ使用時の保守作業をなくしたMTエミュレータ装置、等について述べる。

## 2. 光ディスクライブラリ装置

### 2.1 光ディスクライブラリ装置の概要

光ディスクライブラリ装置は通称オートチェンジャ又はジュークボックスなどと呼ばれる場合があり、これは機能又はイメージで表現しているものである。

この装置は、媒体がカートリッジに収納されており、光ディスク駆動装置はカートリッジの着脱が可能である特徴を利用した光ディスクの自動倉庫である。ま

た、カートリッジを収納するラック部、媒体に情報を入力又は媒体から出力する光ディスク駆動装置、ラック部と光ディスク駆動装置の間を自動的にカートリッジを搬送する搬送機構部、カートリッジを装置内外に出し入れする搬入機構部、前記機構部の動作を制御する駆動制御回路部、及びホストコンピュータと信号の送受信を行う信号制御回路部から構成されている。

光ディスクライブラリ装置は収納するカートリッジの枚数によって総記憶容量を表している。その他、光ディスク駆動制御の種類及び搭載台数によって分類される。当社は1988年に130 mm 追記型光ディスク装置を内蔵したライブラリ装置 MW-5G1 を製品化し、1991年には書換え型の光ディスクライブラリ装置 ME-5G2 を製品化している。書換え型光ディスクライブラリ装置の主要仕様を表1に、外観を図1に示す。

### 2.2 ステッピングモータ駆動方式

光ディスクライブラリ装置は上に述べた構成であるが、カートリッジの交換には秒の単位が必要であり、この交換時間は性能を比較する重要な項目である。交換時間の短縮には種々の工夫がなされるが、ここではその一つであるステッピングモータの駆動方式について述べる。

ライブラリ装置の各移動軸における駆動源には、すべて5相ステッピングモータを使用している。ステッピングモータ

表1. 書換え型光ディスクライブラリ装置の主な仕様

項 目 \ タイプ	書換え型ライブラリ装置							
	ME-5G2							
	A タイプ		B タイプ		C タイプ		Z タイプ	
	A21X	A22X	B21X	B22X	C24X		Z22X	
カートリッジ収納枚数	54		150		134		24	
使用カートリッジ	ISO 規格準拠リライタブルカートリッジ							
使用面	両 面							
総容量 (G バイト)	32		90		80		14	
ODD 台数	1	2	1	2	4		2	
カートリッジ交換時間 (s)	13		15		15		12	
供給電源	AC 100～120V±10% 220～240V±10% 50/60Hz±1%				内部電源の ジャンパ切替え			
外形寸法 W×H×D (mm)	393×700 ×794		393×1,420 ×790		393×1,420 ×790		300×700 ×710	
質量 (kg, カートリッジを含まず。)	100	103	165	168	173		60	
インタフェース	SCSI (シングルエンド又はディファレンシャル)							

は、幅広い分野の駆動機構部に利用されている。これは、DCサーボモータやブラシレスモータなどで速度や位置の制御を行う場合にはクローズドループのシステム構成が必要となるのに対し、ステッピングモータは回転角度が入力パルス数に比例し、回転速度が入力パルス周波数に比例するためオープンループ制御が可能となり、安価で小型のシステムが構成できるという利点があるからである。

しかし、ステッピングモータはパルス速度を過大に設定したり負荷トルクが大きくなったりすると、入力パルスに追従できなくなり、脱調を起こして停止するという特質がある。これは、余分な負荷がかかったときにそれに応じてモータが停止するので、搬送する光ディスクカートリッジを保護できるという意味で利点ともなっているが、高速の位置ぎめを行うには欠点となる。したがって、ステッピングモータを用いて駆動機構を高速に動作させるには、パルス信号の最適なスローアップ、スローダウンの操作を用いる必要がある。ここでは、Zタイプライブラリ装置で用いているステッピングモータの駆動方法について述べる。

パルス速度のスローアップ、スローダウンを利用したステッピングモータの速度パターンとしては、入力するパルス信号の操作が簡単となるように通常図2の実線で示すような台形パターン（又は三角パターン）が用いられる。この速度パターンでは低速域から高速域まで一定の加減速度でモータを運転するため、モータ軸には図3に示すように、常に一定のトルクがかかることになる。ところが、ステッピングモータの速度—トルク特性は低速域ではほぼ一定であるが、高速域ではパルス速度が高くなるほどトルクが小さくなる。そのため、モータを脱調させずに所定のパルス数を最短時間で動作させるには、

(1) 最高速度を抑えて加減速度を大きくとってトルクを大きくする方法

(2) トルクを小さくして高速域まで使用する方法

のどちらかの方法を探らざるを得ず、モータの性能をフルに発揮することはできない。そこで、Zタイプライブラリ装置ではモータの性能をフルに発揮するため、図2の破線で示すように、加減速度を低速域では大きくし、高速になるほど小さくする放物形速度パターンを採用した。トルクが速度—トルク特性曲線に合わせて変化するように速度パターンを設定すれば、モータを脱調させることなく高速領域まで使用できるので、高速の位置決めが可能である。Zタイプライブラリ装置では、この速度パターンを採用することにより、台形パターンの場合よりもカートリッジ交換時間で平均約0.6秒(11%)短縮できた。

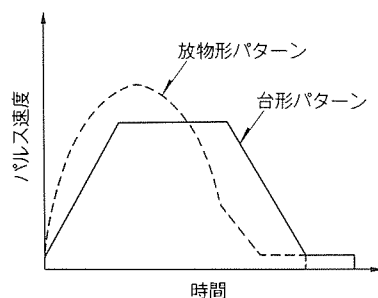


図2．速度パターン比較

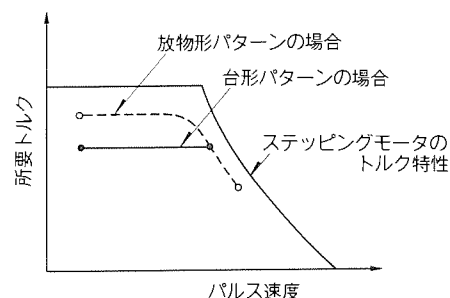


図3．所要トルクの比較

## 2.3 光ディスク装置とのインタフェース

書換え型ライブラリ装置に搭載している130mm光ディスク装置ME-5E2には、この特集号の別稿で述べられているように、内部の動作状態のモニタリング及びカートリッジローディング/イジェクトのためのインタフェース信号が準備されている。このライブラリ装置では、これらの信号を効果的に使用し、光ディスク装置へのカートリッジのローディング/イジェクトを制御しているが、特にローディング時には、搬送機構のカートリッジ挿入及びカートリッジ把持解放と光ディスク装置のカートリッジローディング開始のタイミングを制御し、搬送機構と光ディスク装置の相互干渉を防止するとともに、光ディスク装置へのカートリッジ受渡しに対する無駄時間を極力少なくし、カートリッジ交換時間の短縮を図っている。

## 3. イメージインタフェース装置

光ディスク応用装置の一つとして、高精細静止画ファイル装置（イメージインタフェース装置）を開発した。外観を図4に示す。この装置は、カラー画像・音声・コードデータ・応用プログラムなどを単一の光ディスクで統合管理できる特長をもつ。

### 3.1 システム構成

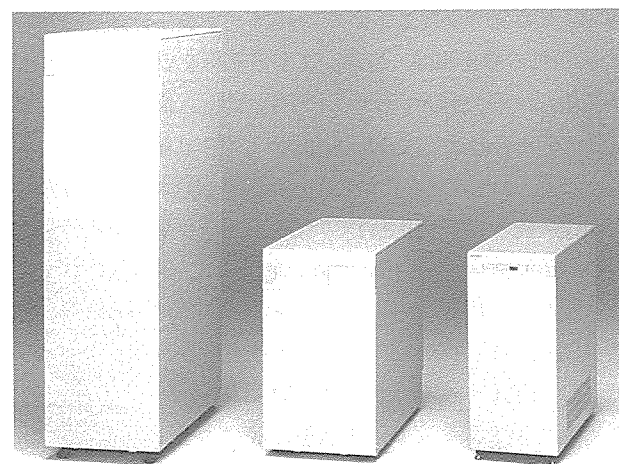


図1．書換え型光ディスクライブラリ装置の外観



この装置の仕様を表2に、システム接続図を図5に示す。本体であるイメージインタフェース装置には光ディスク装置を内蔵し、画像・音声記録再生に必要な画像入出力機器、音声入出力機器及びポインティングデバイスが直接接続できる。ホストなし（スタンドアロン）で各種機能の動作が可能であるが、RS-232C及びSCSI インタフェースにより、ホストパソコンと有機的に接続可能である。

イメージインタフェース装置本体の内部ブロック図を図6に示す。大きく分けて、画像入出力機器とのデータ転送制御を行うインタフェースブロックとフレームメモリ部の転送・

表示・描画処理を行うイメージ処理部と、装置全体の管理及びアプリケーションS/W（ソフトウェア）を走らせるCPUブロックの三つのブロックからなる。各ブロックごとにプロセッサを備えている。イメージ処理部にはフルカラー表示面2面、グラフィックス表示面の重ね合わせ機能、独立スクロール機能のほかに、画像データ転送専用H/W（ハードウェア）をもつ。オプションにより、JPEG 準拠の画像圧縮・伸張も可能である。そのほかに動画入力、音声入出力のための処理ブロックがある。

### 3.2 画像、音声検索機能

画像ファイル装置にとって、検索機能は、一番重要な機能である。画像、特に自然画像は、視点によっていろいろな見方ができるのでファイルの名前付け、キーワードの付け方が難しい。したがって、キーワード等による大雑ぱ（把）なファイルの絞り込みを行った後、画像表示確認により、最終絞

表2. イメージインタフェース装置の主な仕様

画素数	640×480又は1,024×768
表示モード	インタレース又はノンインタレース
画像出力	RGB コンポーネント、各8ビット
フレームメモリ数	フルカラー面2面、グラフィック面（8ビットLUT付き）1面
動画入力機能	あり（NTSC コンポジット、RGB、YC 入力）
文字フォント	内蔵（24×24ドット、第1、2水準）
カーソル機能	あり（各種カーソルパターンに対応）
描画プロセッサ	内蔵（拡大／縮小、各種基本グラフィックス可）
ホストの要否	不要（スタンドアロン動作可、必要に応じてホスト接続可）
音声品質	FM 放送並み（モノラル、32kHz サンプリング、8ビット圧伸あり。）
音声再生時間	無制限（ディスク容量による制限あり。）
光ディスク	内蔵（両面600M バイト追記型に対応、ディレクトリ管理情報も同一媒体に記録）



図4. イメージインタフェース装置の外観

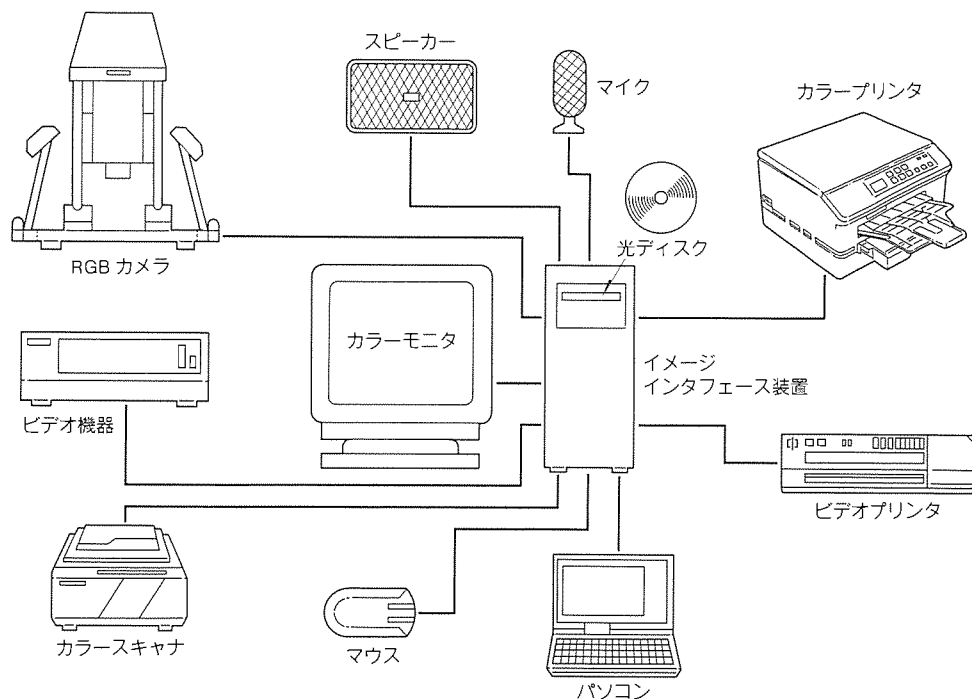


図5. システム接続図

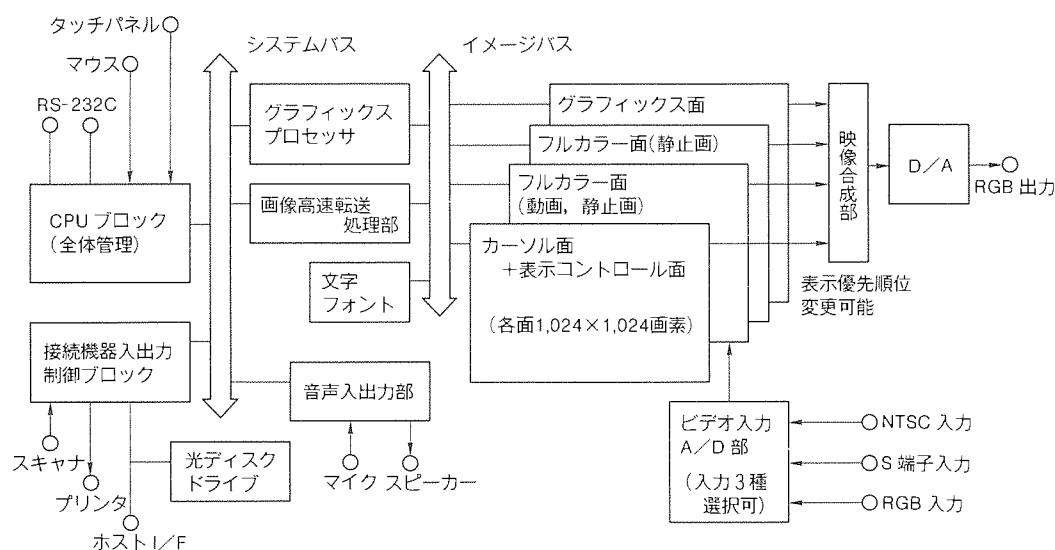


図6. イメージインタフェース装置内部ブロック図

り込みを行うのが通常の検索手順である。このとき、画像の順次送りが高速であればあるほど検索性が良い。しかし、フルカラー画像データは1枚当たり1Mバイト前後の容量になり、再生時間は最短で約2秒かかる。

このシステムでは、画像ファイルごとに160×120画素4,096色表現の目次画像データを用意し、上述した画像データ転送専用H/Wを介し、約4枚/秒の目次画ブラウジング検索を実現している。また、画像表示手順として概略画像表示後、詳細画像情報を表示するプログレッシブ表示をサポートし、約2枚/秒の高速概略検索機能も実現している。

音声ファイル検索については、音声最初の部分を再生する“イントロ再生機能”、関連目次画像表示によるファイル確認機能を備え、音声ファイルの検索が容易になるように配慮している。

### 3.3 情報呈示機能

電子ファイル化した利点として、検索性能以外に効果的な情報呈示機能がある。このシステムは以下の機能を備え、効果的な情報呈示を実現している。

- 画像の表示時に、関連する解説音声を加付する。
- 音声を連続的に再生しながら、組画像を順次再生する。
- 種々の画面切替モードをサポート
- 動画とフルカラー静止画像のオーバーレイ
- ビデオ機器のリモートコントロール

このような変化のある画像呈示機能を組み合わせることにより、単調さをなくし、魅力ある情報呈示が可能となっている。

### 3.4 ユーザーインタフェース

このシステムでは操作性についても種々の配慮を行っている。このシステムのユーザーインタフェースの特長を以下に述べる。

各種操作はタッチパネル、マウスによるポインティングを

基本とした（画像選択やポップアップメニューの選択には、タッチパネルが直感的で非常に使いやすい。）。

あらかじめ用意した参照関係に従って関連画像を対話的に順次検索する“インタラクティブ検索機能”をサポート。参照関係はLISP言語で記述し、画像の親子関係、組み画像の定義、音声再生中における画像の切替呈示タイミング等の設定ができる。作成されたLISPのソースファイル（テキストファイル）も内蔵光ディスク装置に記録でき、容易に変更できる。

画像入出力機器（スキャナ、プリンタ）の制御もマウス、タッチパネルで行える。

機器の処理速度の遅さを補償する機能として、スキャナ入力では、モノクロによる仮スキャンをサポート。プリンタ出力は、転送バッファメモリをもち、プリント中に他の処理を並行して実行できる。

### 3.5 その他の機能

その他の機能として、カラーシミュレーション機能、表示画素サイズ切替機能、パソコンを介したかな漢字変換機能、光ディスク/MS-DOS<sup>(注1)</sup>ファイル間の画像・テキストファイル転送機能などがある。また、オプションでカラー画像の圧縮伸張機能も備えている。

この装置は、単なる光ディスクを利用した画像ファイルではなく、以上述べてきた機能を組み合わせることにより、製品紹介などに有効な電子カタログ装置や、動画、カラー写真、音声などを駆使した電子プレゼンテーション装置などに容易に適用できる。

## 4. MTエミュレータ装置

### 4.1 MTエミュレータの概要

(注1) MS-DOSは、米国マイクロソフト社の登録商標である。

汎用計算機を用いた大規模システムで、データの保管やバックアップなどに大量に取り扱うデータは磁気テープに保存するのが通常であるが、その量が増えるごとにデータ処理が複雑になり、特に磁気テープそのものの保管場所の問題など、煩わしい作業が増大してきている。この MT エミュレータ装置（以下“この装置”という。）は、そのような問題を解決するため、小スペース大容量の高速光ディスク装置を使用し、磁気テープ装置の代わりとして利用できるもので、汎用計算機の H/W 及び S/W について、基本的に何の変更もなく磁気テープ装置としての接続が可能である。

すなわち、この装置は磁気テープ装置をエミュレートすることで汎用計算機本体から磁気テープと同様に光磁気ディスクを取り扱えるようにしたものである。またこの装置は、チャネルからのコマンドを解析する制御装置と、それに接続される光ディスクライブラリユニットで構成される。ライブラリユニットは最大 4 台まで接続できる（図 7）。

## 4.2 記録方式

この装置では、磁気テープ 1 巻を光ディスクカートリッジ 1 枚の片面に対応付けており、1 ボリュームで 298M バイトの記録領域をもつことになる（書換え型光ディスクカートリッジ ME-5 M 32 使用）。書換え型光磁気ディスク装置を用いて磁気テープ装置をエミュレートしているので、磁気テープ上のデータを読み書きするのと同様に光ディスクカートリッジをアクセスできるように考慮している。

## 4.3 ボリューム管理

この装置では、ライブラリユニットに収納されている全部のカートリッジの片面ごとにボリュームの管理を行う。ボリューム管理情報はこの装置内に保持しており、この機能によって、ホスト計算機側からのボリューム指定によって、該当するカートリッジを自動的に選択することができる。ボリューム管理情報の生成は、後で述べる RECONF 機能によって行う。

ボリューム管理情報はこの装置内のハードディスクにセーブされており、電源オン時にメモリにロードされる。

カートリッジのマウント指示はホストから発行される Load Display コマンドによって行われる（図 8）。この装置は Load Display コマンドを受け取ると、それに伴って送られて来るマウントメッセージ内の Volume 名を読み出し、電源オン時にハードディスクからメモリにロードしてあるボリューム管理情報により、指定された Volume 名に該当するカ

ートリッジが収納されている棚番号を検索し、そのカートリッジを光ディスク装置にマウントする。次いで、カートリッジに記録されているセクタ管理情報をメモリ内に読み出し、マウント動作を終了する。セクタ管理情報は、媒体上に記録されたデータブロックごとに、どのセクタに記録されているかを示すアドレス情報が記録されており、以後の Read, Write 等のコマンドに対する処理は、このセクタ管理情報を元に実行される。なお、Rewind, Forward space file, Locate Block 等のテープモーションを指示するコマンドに対しては、セクタ管理情報内のポインタ移動を行うのみで、実際のテープモーションはないので高速処理が可能である。

## 4.4 アドレス変換

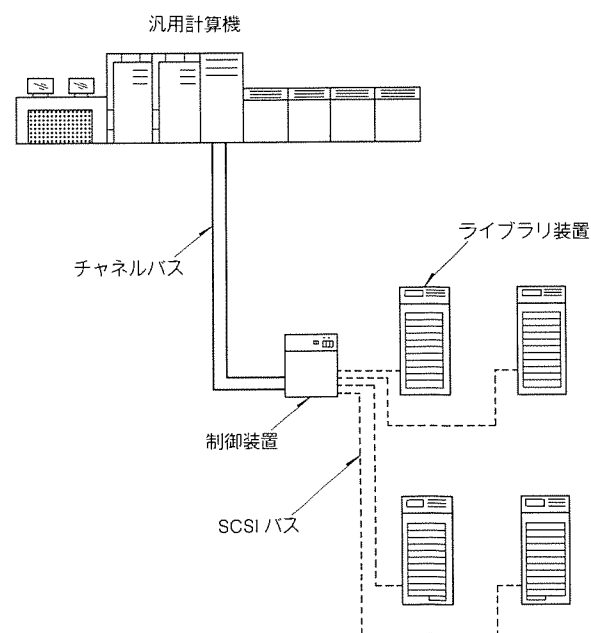


図 7. MT エミュレータシステム構成

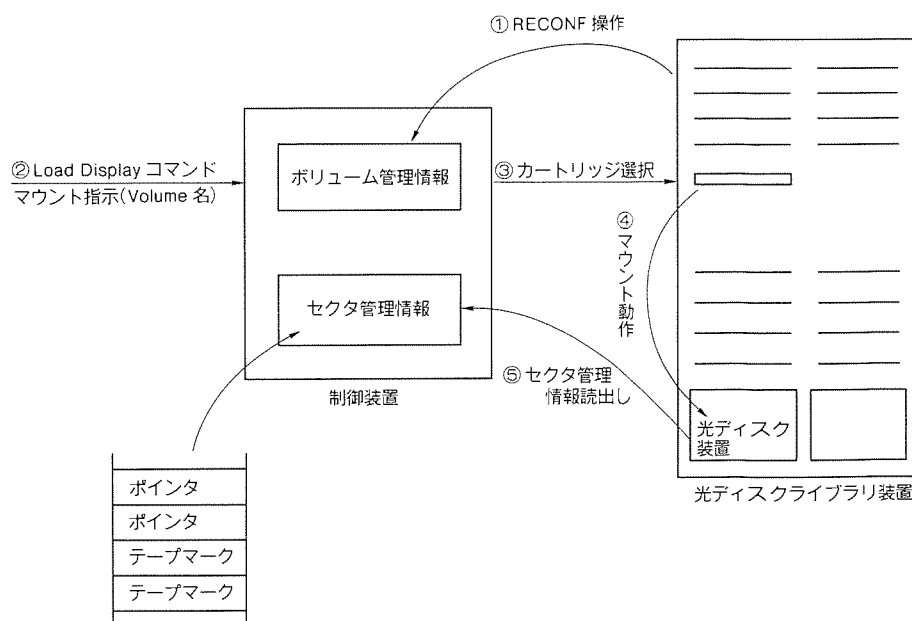


図 8. カートリッジマウント動作

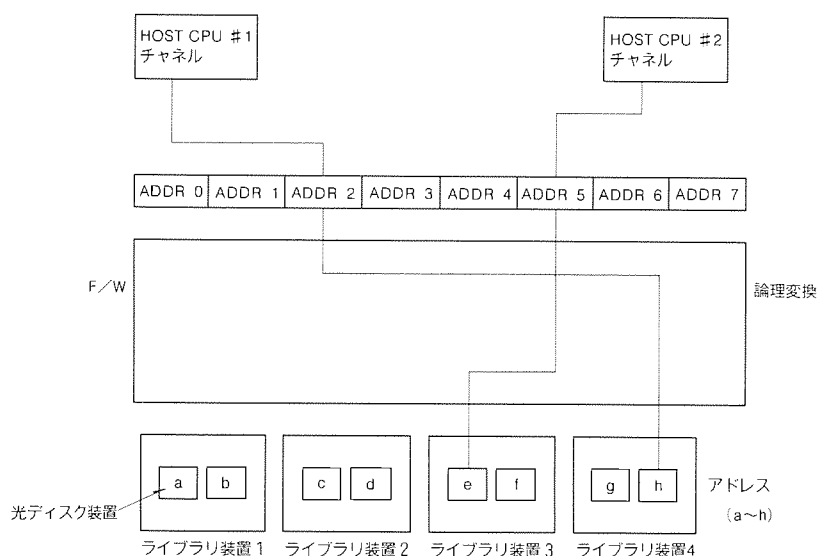


図9. アドレス変換

表3. MT エミュレータ装置の主な仕様

項 目	仕 様
接続仕様	チャンネル接続
データブロック長(Kバイト)	最大64
エミュレーション	磁気テープ装置エミュレーション
チャンネル接続数	2チャンネル
データ圧縮機構	内蔵
接続光ディスクライブラリ装置	最大4台(ME-5G2)
装置アドレス	2～8アドレス
制御装置外形寸法 W×H×D (mm)	393×700×794

この装置ではライブラリ装置を最大4台接続可能である。そのとき、媒体は4台のライブラリ装置に分割して収納されているが、ホスト側でどのボリュームがどのライブラリ内にあるかを管理しなくてもよいように、ドライブに対し仮想アドレスを採用している。すなわち、ホストから見れば8ドライブ(8アドレス)の一つのシステムに見えるよう、ドライブに固定のアドレスの割り付けを行わず、ボリューム指定されたときのアドレスにより、各ドライブを任意に割り付けている。ドライブのアドレスが保持されているのは、ボリューム指定(Mount 指令) されてから Unload 指令を受けるまでの間である。図9に例を示す。

この例では、ホストCPU #1 がアドレス2 (ADDR 2) でライブラリ装置4内のボリュームをアクセスしている場合で、このとき“h”の光ディスク装置はアドレス2のドライブとして扱われる。同様に“e”のドライブはホストCPU #2 からアドレス5のドライブとしてアクセスされている。

#### 4.5 機能拡張

本来の磁気テープ装置にはない、この装置特有の機能を実

現するため、Load Display コマンドによる特殊マウントメッセージの後、Write コマンドのデータとしてコマンド(副指令)を与えることができるようにしてある。この方法はチャンネルの規定のコマンドを使用しないため、任意にコマンドの追加/変更/削除が可能である。副指令を用いて実現できる機能の主なものは以下のとおりである。

##### (1) ボリューム管理情報の生成 (RECONF 機能)

ライブラリ装置内のカートリッジのボリューム名と棚番号を一对一に対応付ける処理。オフライン操作でライブラリユニットにカートリッジを挿入、取り出したときに必要となる。

##### (2) ボリューム管理情報のホストへのアップロード

##### (3) 光ディスクカートリッジのフォーマット/イニシャライズ

光ディスクカートリッジをこのシステムで使用できるように初期化する。

##### (4) ダイレクトマウント/デマウント

ライブラリ装置の棚番号を指定してカートリッジをマウント/デマウントする。

##### (5) ライブラリユニットの自己診断

##### (6) ライブラリユニットへのカートリッジの挿入、取り出し

ホストからオンラインでカートリッジの挿入、取り出しを行う。ボリューム管理情報の生成も同時に行う。

#### 4.6 仕 様

この装置の主要な仕様を表3に示す。

#### 4.7 特 長

- (1) ホストによって指定されたボリューム(カートリッジ)を自動的にドライブにマウントするので、従来のようなオペレータによるテープマウント操作は必要ない。
- (2) テープのモーションが必要ないので、任意のデータブロックを高速にサーチすることができる。
- (3) 接続するライブラリ装置ごとにバッファメモリをもつインタフェースボードを用い、8アドレス(8ドライブ)同時にライト/リード可能である。また、チャンネルに対するデータ転送速度は、データストリーミングモード時、最大3Mバイト/秒である。

#### 5. む す び

以上、光ディスク応用装置の例として、光ディスクライブラリ装置、イメージインタフェース装置、MT エミュレータ装置について紹介した。情報化社会のキーデバイスとして光ディスク装置をより発展させていくために、今後も社会のニーズにマッチした応用装置を製品化していきたい。

# 特注形乗用エレベーター “ACCEL-AI”

大窪正一\* 宮西良雄\* 富所 誠\* 山崎幹弘\* 金森 修\*

## 1. ま え が き

近年、ビルはインテリジェント指向を強め、ビル内の縦の交通機関であるエレベーターにも高機能化・高性能化が求められている。これに加え、今日では人間の個性や感性も重要視される気運にあり、意匠デザインの多様化・高級化に対する要求が高まっている。

当社では、この要求にこたえるため“快”という開発コンセプトの下に、快適性を向上した新シリーズの特注形乗用エレベーター“ACCEL-AI”を開発し、1992年1月に発売した。

以下、“ACCEL-AI”の概要を紹介する。

## 2. 制御・駆動システム

### 2.1 データネットワーク型制御システム

従来のエレベーター制御システムは、機械室に設置した制御盤が大部分の機能を受け持つ集中処理方式を採用していた。この方式でシステムの機能・性能を拡張することは制御装置が複雑、かつ大型化するために困難であった。

これを解決するため、“ACCEL-AI”では、機械室、かご及び乗場の機器をサブシステムに分割し、各サブシステムのマイコンをエレベーター制御に最適のプロトコルで結合したデータネットワーク型制御システム<sup>(1)</sup>を採用した。

一例として、高級群管理システム AI-2100 を適用した高速エレベーター用制御システムの全体構成を図1に、また、各マイコンの名称・設置場所・機能を表1に示す。かご内乗客に情報の提供を行うカーインフォメーションの制御は、かごに設置したマイコン CZ と機械室制御装置内の伝送用マイコン SC により構成したかご系列ネットワークによって行う。また、乗場待客に情報の提供を行うホールインフォメーションや待時間表示器などの制御は、乗場オプションマイコン HA と伝送用マイコン SA により構成したオプション系列ネットワークによって行う。

この分割制御方式により、高機能な操作・表示機器の装備可能数を増大し、利用客へのサービスの向上を図った。また、気配りアナウンス・かご呼び取消し機能・任意階サービス切放し機能<sup>(2)</sup>

などを装備してエレベーターをより使いやすく、安心して利用できるようにした。

### 2.2 駆動システム

速度 105 m/min 以下の低・中速領域の特注形乗用エレベーターには、長年にわたりウォームギヤ巻上機が使用されてきた。今回、伝達効率の高いヘリカルギヤ巻上機を積載荷重 1,600 kg 以下の低・中速エレベーターに採用し、より快適な乗り心地を提供するとともに、消費電力、電源設備容量の低減を図った。図2にこの巻上機の外観を示す。低・中速エレベーター用巻上機のヘリカル化により、特注形乗用エレベーターの速度 45～240 m/min の領域に、ヘリカルギヤ巻上機を整備した。

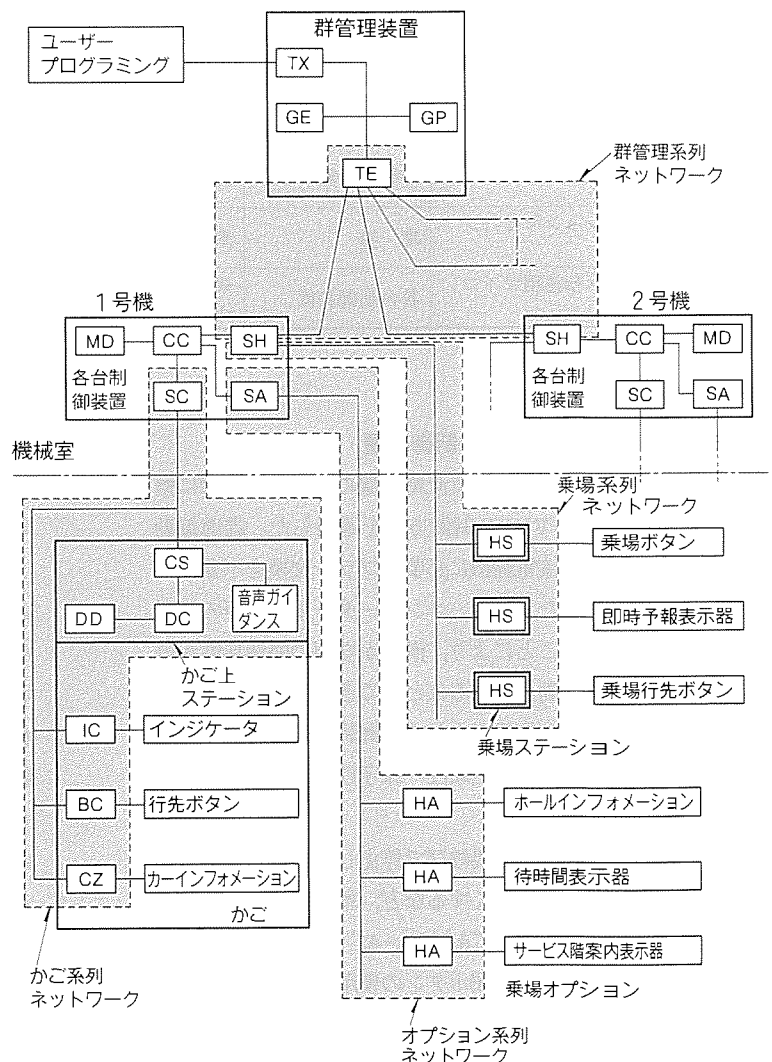


図1 エレベーター制御システムの全体構成

表1. マイコンの名称・設置場所・機能

マイコンの名称		設置場所	機 能
運行管理マイコン CC		各台制御装置	エレベーターの運行管理制御
速度制御マイコン MD		各台制御装置	巻上機駆動モータのトルク・速度制御
群管理計画マイコン GP		群管理装置	サービス状態の評価 群管理パラメータの調整
群管理実行マイコン GE		群管理装置	乗場呼びの割当て制御
通信制御マイコン TX		群管理装置	ユーザープログラミング用通信制御
か ご 系 列	かご上伝送マイコン CS	かご上 ステーション	シリアル伝送制御及び音声ガイ ダンスなどのかご上機器制御
	ドア制御マイコン DC	かご上 ステーション	ドア動作制御
	ドア駆動マイコン DD	かご上 ステーション	ドアモータのトルク・速度制御
	インジケータ制御マイコン IC	かご内	インジケータ・表示灯の制御
	操作盤制御マイコン BC	かご内	ボタン・引き戸内スイッチなど のかご内機器の制御
	かごオプションマイコン CZ	かご内	かごオプション機器制御
	かご系列伝送マイコン SC	各台制御装置	かご系列シリアル伝送制御
乗 場 系 列	乗場ステーション 制御マイコン HS	乗場ステーション	乗場ボタン・インジケータ・即 時予報表示などの乗場機器の制 御
	乗場系列伝送マイコン SH	各台制御装置	乗場・群管理系列シリアル伝送 制御
群 管 理 系 列	群管理伝送マイコン TE	群管理装置	群管理系列シリアル伝送制御
オ プ シ ョ ン 系 列	乗場オプションマイコン HA	乗 場	乗場オプション機器制御
	オプション伝送用マイコン SA	各台制御装置	乗場オプション系列シリアル伝 送制御

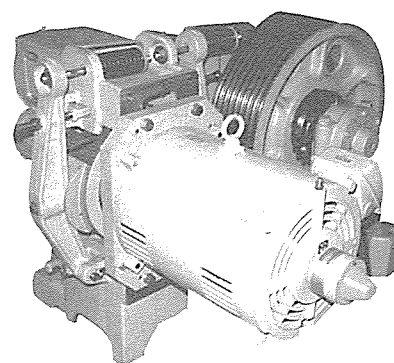


図2. ヘリカルギヤ巻上機の外観

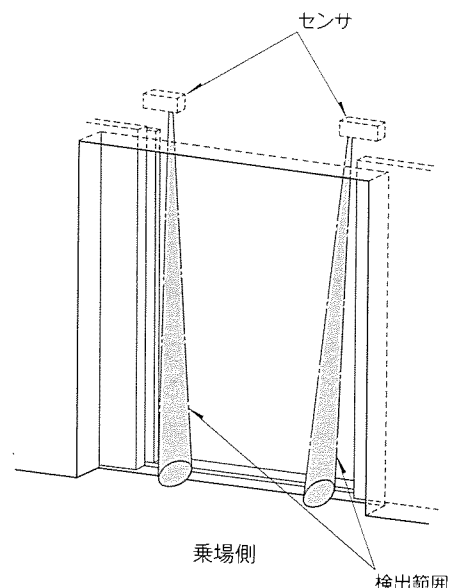


図3. ヒューマンセンサドアの検出範囲

## 2.3 ドアシステム

### 2.3.1 インバータ方式ドア制御装置

ドア制御装置には、従来の直流電動機のチョップ制御に換えて、誘導電動機のVVVF制御方式を適用した。誘導電動機の採用により、直流電動機に必要なブラシ交換を不要にでき、保守性を向上した。また、エンコーダを用いて戸の位置を高精度で検出することにより、滑らかな戸の開閉特性が得られ、高級感のある動きとすることができた。

加えて、機械室の制御盤からドア制御装置の内部信号をモニタして故障診断を行い、信頼性・保守性の向上を図った。

### 2.3.2 気配りドア

従来、戸の開放時間は乗場呼びで停止したときは長く、かご呼びで停止したときは短くするなど、単に応答した呼びの種類によって変えていた。“ACCEL-AI”では、かご内の混雑状況や戸開ボタン及び戸閉ボタンの使用頻度に合わせて戸の開放時間を自動的に調整するようにした。例えば、かご内が混雑しているときは戸の開放時間を長くして、かごの奥に乗車している人でも降りやすくするように配慮した。また、

AI-2100システムでは、学習機能によって戸開ボタンの使用頻度が高い階を予測し、ボタンを操作しなくても自動的に戸の開放時間を長く保つようにし、利用者がゆとりをもって乗降できるように配慮した。

また、従来のエレクトロニックドアマンでは、光電装置によって乗降が所定時間以上途切れたことを検出すると戸閉指令を出していた。“ACCEL-AI”では、かご内が混雑しているときや乗降客の多い階に停止したときなど降車と乗車の切れ目が長くなりそうなときは、上記所定時間を一時的に長く設定する。そして、いったん乗り込みが始まると上記時間を元に戻すようにした。これにより、乗客がかごに乗り込む前にドアが閉まり始めることがなくなり、使いやすさが向上するとともに、乗車終了時は速やかにドアを閉じてエレベーターの運転効率を高めた。

さらに、ビル用途に応じて戸の開閉速度を選定できるようにした。例えば、能率を重視したオフィスビルでは開閉速度を速く、くつろぎ感が大切なホテルビルではゆったりした速度に設定することができる。

### 2.3.3 ヒューマンセンサドア

人体の発生する熱に素早く感応して、エレベーターに乗り込む人を検出する新型センサを開発した。センサには長寿命かつ高信頼性である熱電対型センサを用い、人体の発生する熱を効率良くセンサに集めるようにした。

また、図3に示したように検出範囲をかご及び乗場のドアの先端付近に円状に設定し、ドアの動きに合わせて検出範囲も移動するようにしたのでドアの近傍にいる乗降客のみを検出することができる。センサが乗降客を検出するとドアがいったん開き、乗客にドアが衝突するのを未然に防止するため安心して乗降することができる。

なお、この方式は中央開き及び片開きの双方に適用し、出入口幅の大きいドアには特に効果的である。

## 3. 群管理システム

“ACCEL-AI”では、エキスパートシステムとファジー理論を応用した群管理システムを製品化した。AI-2100、AI-210及びAI-21の3種類を準備し、ビルの規模や交通量に応じて選択できるようにした。

AI-2100は高度なエレベーターサービスを求める大規模ビル向けとして学習機能・即時予報機能・ユーザープログラミング機能<sup>(3)</sup>を備えた最高級群管理システムである。また、後述の行先階別配車サービス機能を新たに付加して、出勤時のサービス向上を図った。AI-210は館内交通の激しいビル向けで近い将来の交通を予測して、きめ細かいサービスを行う群管理システムである。また、AI-21は比較的館内交通の穏やかな中・小規模ビル向けで一時的なピークのある交通量にも対応できる群管理システムである。

以下、AI-2100の行先階別配車サービスと群管理システム

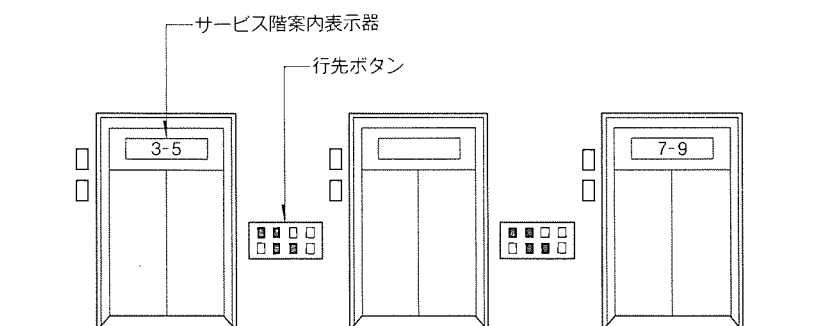


図4．行先階別配車サービスの機器設置例（玄関階の乗場）

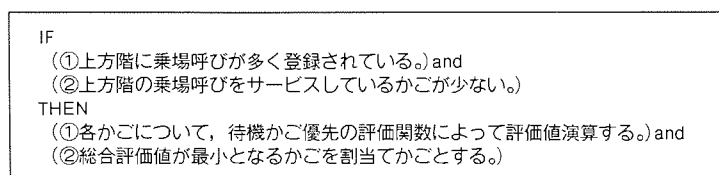


図5．フォーカシング割当てのルール記述例

AI-21の割当方式について述べる。

### 3.1 群管理システム AI-2100の行先階別配車サービス

行先階別配車サービスは、出勤時のサービス能力を更に高めるため、玄関階に設けた行先ボタンの操作に応じてサービスかごとサービス階を逐次指定して、利用者を目的階に輸送するものである。

図4に示すように、玄関階の乗場に行先ボタンとサービス階案内表示器を設置する。利用者が行先ボタンを操作すると、直ちに呼びの登録状況に応じてその行先階に適切なかごを割り当て、その割当かごを乗場に予報する。同時に割当かごの案内表示器には、予報されたかごが分担しているサービス階を表示し、利用者はその表示に従ってかごに乗車する。

従来の出勤時分割サービスでは、上層と下層の二つのサービスゾーンとサービス号機が固定されているため、交通量によってはゾーン間のサービスに差が出るがあった。行先階別配車サービスでは状況に即した分割を行うため、ゾーン間のサービスを均一化し、乗車時間を短縮することができる。これにより、出勤時の混雑したかごに長時間乗車する機会が減少し、ゆとりを生むことができる。シミュレーションの結果では、従来の出勤時分割サービスと比べて平均サービス完了時間が最上階付近で約30～50%，全体で約5～10%（当社比）短縮できた。

### 3.2 群管理システム AI-21の割当方式

従来のOS-21Cでは、団子運転を防止するためにかごが分散するように割当制御していた。このため、一時的に乗場呼びが特定のゾーンに集中して登録された場合、待機かごが近くにいっても応答しないことがあり、長待ちの原因の一つになっていた。AI-21では心理的待時間評価方式<sup>(4)</sup>に加えて、新たにファジールールを使用したフォーカシング割当方式を

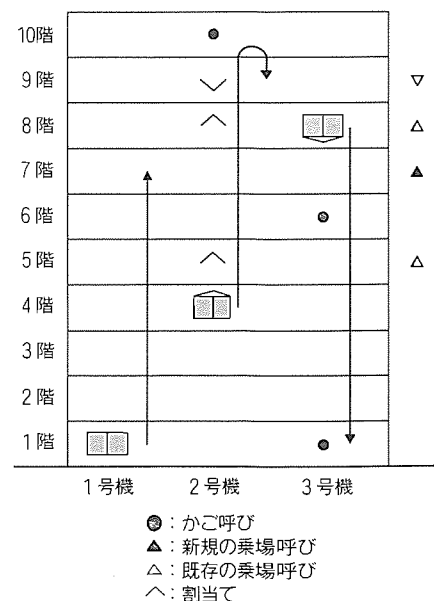


図6．乗場呼びに対するかご割当て例

採用した。

フォーカシング割当方式では、ビルの上層、下層のどちらか一方に乗場呼びが一時的に偏って登録されている場合は、偏った層にかごが集中するように割当てを行う。また、上層、下層に乗場呼びが均等に登録されている場合には、かごが分散するように割り当てる。

図5にフォーカシング割当てのルール記述例を、図6に割当例を示す。図6のように新たに7階の上り呼びが登録された場合、従来の方式ではかご配置を分散させるために4階を走行中の2号機を割り当てていた。一方、フォーカシング割当方式では、多くの乗場呼びが上層に登録されていて、かつ、上層のサービスかごが少ない状況をとらえると、図5に示すルールを選択して実行し、1階に待機している1号機を割り当てる。そして、上層階のサービスを集中的に行い上層階で長待ちが発生することを防止する。

これにより、待機中のかごがあるのにサービスしないという利用客の不満や長く待たされるために生じるイライラ感を和らげることができる。シミュレーションの結果では、60秒以上の長待ち率を約10～20%（当社比）短縮することができた。

#### 4. “快”を形にしたデザイン

##### 4.1 “ACCEL-AI”のデザインの考え方

“ACCEL-AI”では、その基本コンセプトである“快”を快適スペース・快適フォルム・快適機能の三つの要素に分け、人とエレベーターが接する時間をより快適にすることを念頭においてデザイン展開を行った。

##### 4.2 かご室・乗場のデザイン

###### (1) かご室のデザイン

特注形エレベーターには設置されるビルごとに個性的なデザインが求められる。そのため“ACCEL-AI”では、固定的なデザインを提案するのではなく、デザイン例を幾つか提示

することにより、個々のビルにおけるデザインのイメージ作りやオリジナルデザインの創出及び最終的なデザイン決定を支援できるよう企画した。

デザイン例としては、市場ニーズの高級化にこたえるため、従来から数多く採用されている平面形状の天井デザインから、より高級なグレードである立体構造の天井デザインまで幅広く用意した。

デザイン例にグレード幅をもたせたことに対応して、これらが全体の中でどのレベルに位置するかを分かりやすくするため、デザイン例を高級グレードから順にD・G・S・Cの4クラスに分けた。図7～図9にD・G・Sの3クラスのかご室の一例を示す。

Dクラスは最高級グレードとしてデザイン面を最優先させたかご室である。このクラスには天井と壁とが一体となっており一つのデザインを構成しているものが多く用意されている。これらのデザインはエレベーターの基本レイアウトなどの変更を伴うものもあり、採用に当たっては総合的に事前検討を行うことを前提としている。また、デザインバリエーションの中には海外デザイナーによる新奇性のあるモデルも用意した。

Gクラスは立体形状の天井を中心としたデザインであり、高級グレード品として位置付けている。Sクラスは平面形状の天井をデザインしたものである。このクラスはバリエーション展開がしやすく、最もポピュラーなかご室として位置付けられる。Cクラスはシンプルで機能重視のデザインである。

具体的なデザイン面では、快適スペースを実現するため、天井中央部を高くした立体形状の天井デザインを取り入れた。また、柔らかい雰囲気を出すために間接照明を取り入れたデザインも用意している。さらに、高級意匠の要求が多い高速エレベーターでは、かご室天井の基準高さを高くして、かご内のスペースを広くした。

###### (2) 乗場のデザイン

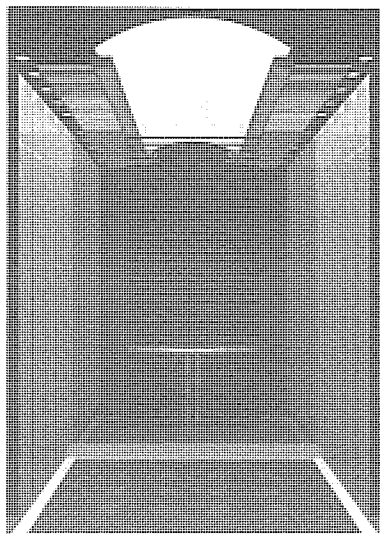


図7．Dクラスかご室デザイン例

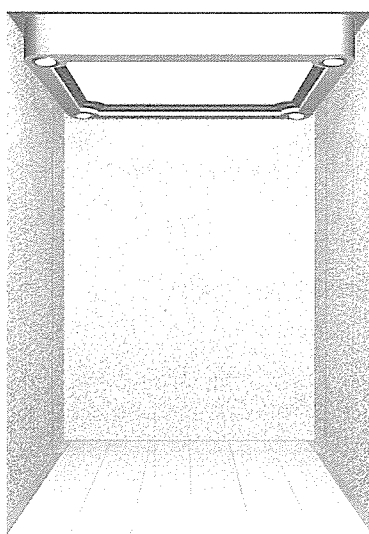


図8．Gクラスかご室デザイン例

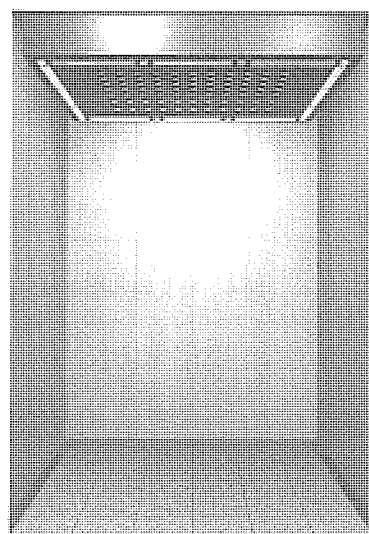


図9．Sクラスかご室デザイン例



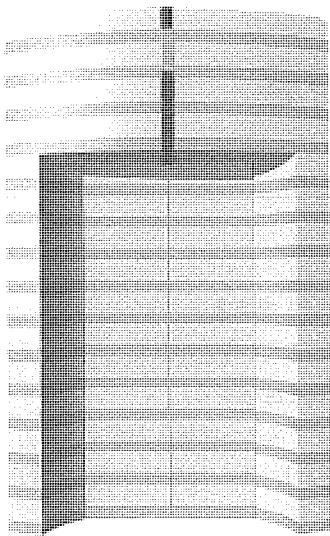


図10. Dクラス乗場デザイン例

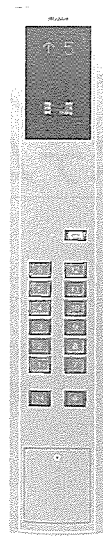


図11. タッチボタンを採用したかご操作盤

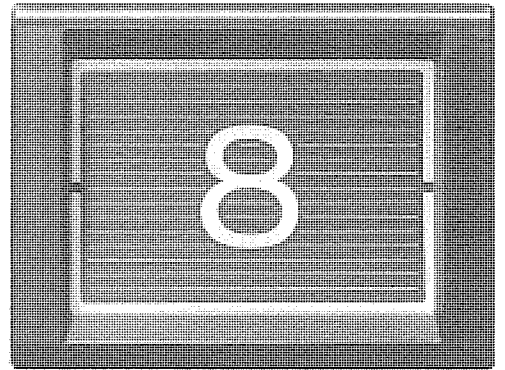


図12. ボタンの拡大

乗場についてもかご室と同様、デザイン決定の支援ができるようグレードによるクラス分けを行った。図10にDクラスの乗場デザインの一例を示す。今回、Dクラスでは特にエレベーター乗場の存在感を強調するため三方枠及び幕板をこれまでの枠体及びパネル体のイメージを一新して独自のモニュメントとして新奇性のあるデザインも盛り込んでいる。

#### 4.3 操作表示器具のデザイン

##### (1) かご操作盤

操作盤の種類の一つであるタッチボタン式操作盤には、今回新たに透明導電性シートを使用した新形式のタッチボタンを採用した。図11にタッチボタンを採用したかご操作盤、図12にボタンの拡大写真を示す。呼びの登録表示の際、階床文字を直接点灯するようにしたので、金属板に文字を刻印する従来の方式に比べ、階床文字の視認性が向上し、かご室内が暗い場合でも容易に確認できるようになった。また、タッチボタンの表面には曲面を付け、指にフィットして操作しやすくした。

さらに、LEDを用いたドット式インジケータを標準的に採用し、階床数字を見やすくしている。

##### (2) インフォメーションシステム

エレベーターのかご内における情報提供手段として、カラー液晶テレビ、3色LED、蛍光表示管を使用したディスプレイ装置を用意した。エレベーターの運行情報や時刻などをこの装置に表示し、乗客に対する利便性を向上させた。

#### 4.4 コンピュータグラフィックスの活用

今回のデザイン開発の特徴の一つとして、コンピュータグラフィックスの活用を挙げることができる。細部のデザイン

シミュレーションをコンピュータグラフィックスによって実施し、最適なデザインを決定した。その事例を図7～図10に示す。

## 5. む す び

以上、特注形乗用エレベーターの新シリーズ“ACCEL-AI”について概要を紹介した。今回のシリーズは快適性とサービス性の向上を追求しており、ビルのインテリジェント化に十分こたえるものと確信する。

当社は、昇降機のリーディングメーカーとして、顧客各位の多様化する要求にこたえ、より快適で便利なエレベーターを目指して、今後一層の努力をしていく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 岩田茂実, 河合清司, 安藤 宏: データネットワーク型エレベーター制御システム, 三菱電機技報, 64, No. 10, 801~806 (1990)
- (2) 米本正志, 神谷代詞男, 杉田和彦, 牧野克己, 村松 洋: 新シリーズエレベーター《グランディ》, 三菱電機技報, 64, No. 10, 796~800 (1990)
- (3) 匹田志郎, 梅田安和, 辻 伸太郎, 永田康弘, 植谷健一: エキスパートシステムを応用したエレベーター群管理システム AI-2100, 三菱電機技報, 63, No. 2, 160~163 (1989)
- (4) 蒲原捷行, 梅田安和, 辻 伸太郎, 後藤誠一, 宮西良雄: 心理的待時間の評価に基づくエレベーター群管理方式, 電気学会全国大会講演論文集, p. 1595 (1979)

# “MELFANET”光ディスクファイリング機能付き ファクシミリ情報通信システムの構築

岡本俊也\* 高柳 勉\* 野村信夫\*

## 1. ま え が き

何十万枚もの膨大な資料を、小さいスペースに収納し、高速に検索したい。この要求にこたえるべく、光ディスクファイリングシステムが登場してきた。

大型のディスプレイ、高速なイメージスキャナ、より高画質な印字のできるプリンタが接続されてきた。

そして、LAN 接続した複数台のワークステーションからの検索を可能にし、遠隔地に目的の文書を配信すべく、FAX 出力機能をもった製品が出てきている。

しかしながら、このような従来の光ディスクファイリングシステムには、以下の問題点がある。

- (1) 文書の検索及び読出しに際しても中央にオペレータを置くことが必要であり、遠隔地から随時文書を引き出せない。また、FAX 出力機能も弱い。
- (2) 検索・表示端末の種類によって操作が異なる。
- (3) 文書入力が、専用スキャナでしか行えない。

MELFANET 光ファイリングシステムは、光ディスクファイリングシステムに FAX 配信機能を付加するのではなく、FAX メール光ディスクファイリング機能を付加することにより、このような問題点を解決したものである。

三菱ファクシミリメールシステム“MELFANET”は、FAX メール基本機能にコンピュータ接続機能を付加することにより、情報処理システムと親和性の高い特長ある製品として好評であるが、今回の光ディスクファイリング機能の搭載により、さらに製品競争力が向上した。ここに、機能・特長・今後の課題について述べる。

## 2. MELFANET と光ディスク

MELFANET 光ディスクファイリングシステムの特長、実現方式について以下に示す。

### 2.1 特 長

ファクシミリメールを利用すれば、PB (プッシュボタン) 信号や OMR (Optical Mark Reader) シートを用いて、自分の原稿を時刻指定送信したり、大量同報を行う。また、あらかじめシステムに投入されている FAX 文書を取り出す掲示板読出しを行うことができる。

この FAX メールの特長をそのまま生かす形で以下の点を考慮して設計した。つまり、

- (a) 装置の周りは無人となるため、オートチェンジャを用

いて自動的に光ディスクを差し替える。

- (b) 文書検索、読出機能は、FAX 端末からだれでも行え、要求者の FAX に目的の文書を配信する。

- (c) FAX 端末からも、光ディスクへ原稿入力ができる。

- (d) ファイリングの体系付け、キー付与は中央 (装置自身) で管理する。

これにより、次のような特長をもったシステムとした。

- (1) 光ディスクオートチェンジャを 2 基接続可能とし、最大 112 枚の光ディスクをハンドリング可能とした。
- (2) FAX メールとして利用している既設の任意の G3, G4 FAX から、メールアクセスコマンドと同様に、光ディスク内文書の読出指定ができる。
- (3) 要求された文書は、当該要求元 FAX に配信する。
- (4) FAX メールとしての機能はそのまま利用できる。
- (5) 光ディスクへの文書登録は、専用スキャナを用いず既存の G3, G4 FAX から入力可能。特に G4 FAX では最高 400 ppi 画像もサポートし、高速/高精細なファイリングができる。
- (6) ファイリングのためのキー割付けは、ワークステーションから行い、画面に入力原稿を表示させ、確認しながら目的のキー情報を付与していく。

基本的なハードウェア構成は、MELFANET-100 に光ディスクオートチェンジャ (M 6768-03 最大 2 台) を接続、さらに検索キー付け作業用のエンジニアリングワークステーション (EWS) を LAN 接続で接続する (図 1 参照)。

### 2.2 ファイリング体系

ファイルされる 1 枚 1 枚の紙をドキュメントと定義する。設計図面、申込書、契約書などがある。これらは、1 枚で完結するものや、複数枚で意味をなすものがある。このシステムでは、このドキュメントを二つの階層を基本としてファイル体系を構成している。

- (1) メンバー

ドキュメントの論理的区切りに対応する。一つのメンバー番号で、1 枚又は複数のドキュメント (用紙、様式) のファイルが可能。

- (2) グループ

複数のメンバーを収容する。業務上の管理・保管単位に対応する。一つのグループには 1 枚以上の光ディスクを割り付ける。1 枚の光ディスクに複数のグループが相乗りすることはない (図 2 参照)。

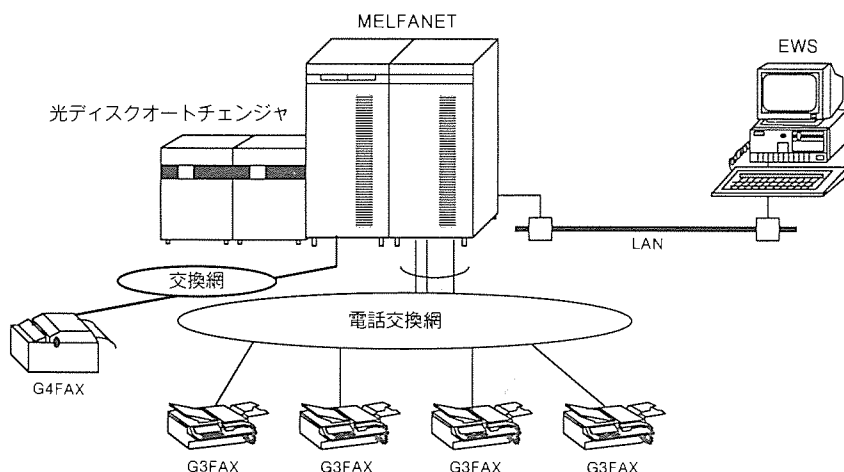


図1. "MELFANET"光ディスクファイリングシステムの構成

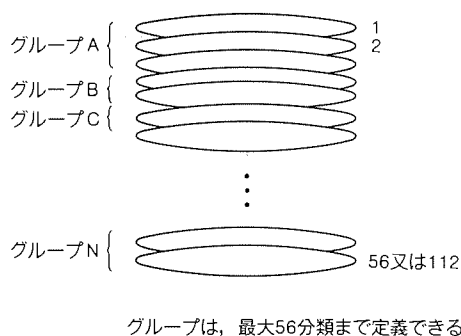


図2. 光ディスクのグループ分類

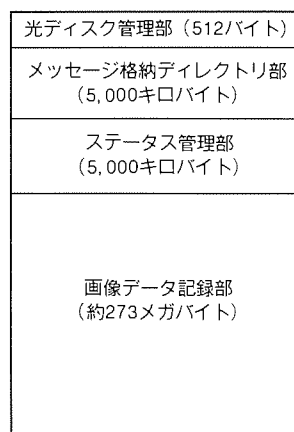


図3. 光ディスクデータ構造の概念

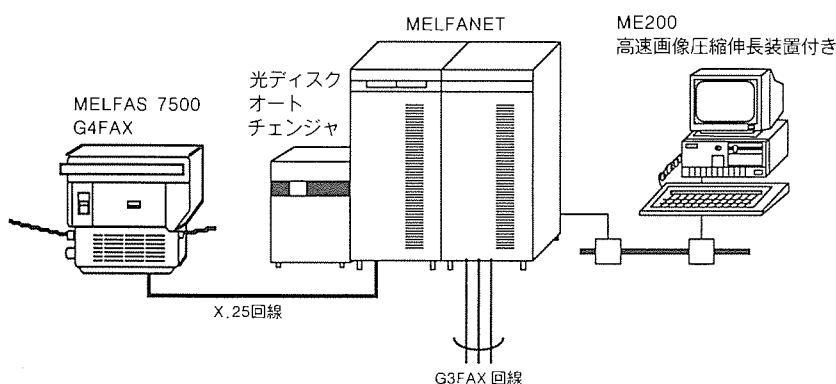


図4. 北海道電力(株) 用地契約書管理システムの構成

業務上の管理・保管される単位(グループ)を実際の文書体系に照らし合わせる。例えば、①支店・支社、②機種、③年度、④管轄区、⑤対象区分などが挙げられる。

一方、メンバーに当たるものは、何等かの採番体系をもつ。例えば、①照会番号、②図面番号、③顧客・会員番号、④取り引き番号、⑤事件番号などがある。

これらのメンバーには、1件1葉の場合もあれば、改訂作業や様々な様式があるため、1件複数枚となることもある。

光ディスクは、片面約283メガバイト中に独自のデータ構

造を設け、G3FAXのCCITT No.1チャートA4標準原稿で10,000枚/片面、高解像度(約33キロバイト/枚)でも約8,500枚/片面の文書を記録でき、オートチェンジャ1台で最大112万枚の画像データをファイルできる。

また、追記型光ディスクを用いているが、登録後のステータス変更、つまり“不要になった”とか“検索時のプライオリティを下げたい”という運用に対応できるよう文書ごとのステータスメンテナンス機能も採り入れた(図3参照)。

### 3. MELFANET 光ディスクファイリングシステム

MELFANET 光ディスクファイリングシステムは、次のようなアプリケーションに適したシステムとして構築した。

- (a) 契約書等、長期間保管義務がある文書をもち、参照することが多い。
- (b) 設計図面等を大量にもち、各地に散在する事務所等から参照することが多い。
- (c) FAX 会員情報サービスの一環で、自社の蓄積した膨大な資料・情報を必要に応じて配信したい。

以下に具体的なシステム事例を示す。

#### 3.1 北海道電力(株)納め用地契約書管理システム

##### 3.1.1 システムの概要

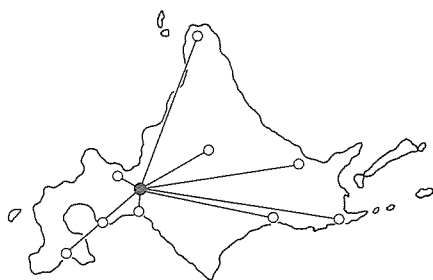
北海道電力(株)が電柱等を私有地に設置する場合に、その地主との間で配電線用地の使用契約を取り交わす。このときに作成する用地契約書は、全道約44か所の支店・営業所に保管されている。

契約書には、事業所コードと地主に対応した番号が記載されており、また原紙を書庫等に保管するための保管用IDを付与することになっている。

契約書は、次のような場合参照されることになる。

- (a) 土地所有権が変更されたことに伴う名義変更発生時
- (b) 電柱の新設・撤去に伴う契約事項の変更
- (c) 土地使用料等の問い合わせ発生時

このたび納入した“用地契約書管理システム”は、“MELFANET-100/モデル16”タイプをベースに、光ディスクオー



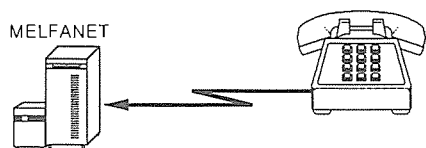
札幌本店に用地契約書管理システムを設置し、全道44か所にある支店・営業所に設置してある既設 G3ファクシミリと通信回線でつながる。

図5. ネットワーク概念

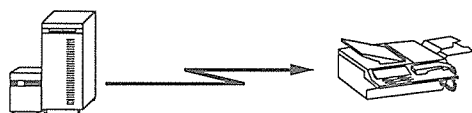
- (1) 地主管理台帳から目的の地主の管理番号を探す。



- (2) PB音の出せる電話機又はFAXで、札幌のMELFANETに検索要求を行う。



- (3) MELFANETが目的の契約書を光ディスクから取り出し、FAXへ送信する。



- (4) 目的の契約書を入手できる。



図6. 契約書検索・取出しの作業フロー

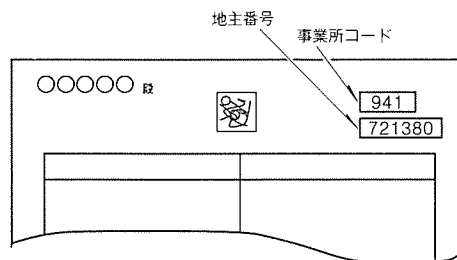
トチェンジャ1台、LAN接続したEWS“ME 200”から構成され、さらに高速高精細な画像入力のために三菱G4FAX“FA 7500”をX.25回線で直結している(図4参照)。

MELFANETを含むシステムは札幌に設置し、通信回線を介して、全道各支店のG3FAX、TELと結ばれる(図5参照)。図6に契約書を各支店・営業所のFAXから読み出す手順を示す。

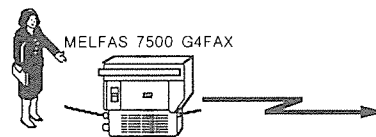
### 3.1.2 システムの特長と機能

#### (1) 初期高速ファイリング

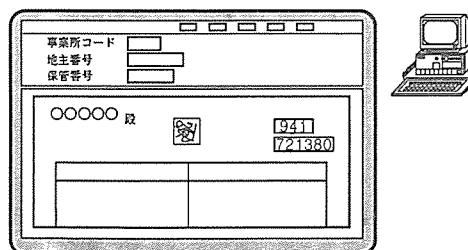
用地契約書には、ドキュメント上に事業所コード等キーそのものが書かれており、読出しを行う場合もそのキーを用いることが前提となる。



用地契約書フォーマット概念



ファイリングする契約書をG4FAXから連続してMELFANETに送信する。



ワークステーションの画面上に契約書のイメージデータが表示され、確認しながらキー付けを行う。

図7. ファイリング作業の概念

そこで、通常のメール利用の送信動作と変わらぬように送信し、ワークステーションで画像を確認しながら必要なキー付けを行い、光ディスクへファイルすることにした。

導入初期は、札幌地区の契約書についてファイリングを行うため、直結したG4FAX“FA 7500”と64 kbpsの回線速度で連続投入を行う。ワークステーションには、高速画像圧縮伸長装置を実装し、契約書イメージのビットマップ展開処理の高速化を図っている(図7参照)。

#### (2) 光ディスク内のデータ

このシステムでは、G4(MMR, 200ppi)を光ディスク内文書の画像属性とした。これは、以下のような理由による。

- (a) 契約書フォーマットが、FAXメール標準原稿に比べて極めてデータサイズが大きく、圧縮率を高め蓄積枚数を増やす必要がある。
- (b) 将来的に北海道電力(株)社内にISDN G4FAXが増えてくることが考えられ、より高速な読出しを実現していきたい。

#### (3) G3FAXからも光ディスク登録可能

MELFANET光ディスクファイリングシステムでは、G3FAXからの入力データも、G4FAXのデータに変換してファイルすることができる。したがって、初期の札幌地区ファイリングでは、専用のG4FAXからのみ入力するが、将来、各地のG3FAXからファイリングのための入力を行うことができるようになる。

### 3.1.3 将来の発展性

#### (1) ホストコンピュータによる検索条件の多角化

このシステムの場合、第一検索キー（グループ）は事業所コードであり、第二検索キー（メンバー）は地主対応番号である。

FAX 端末から検索を行う場合、あまり複雑な条件指定は、操作が複雑になるばかりで望ましくない。しかし、より多角的な検索条件によって必要となる文書を取り出しなくなるケースもある。

北海道電力(株)では、用地契約の情報処理管理にユニシスのホストコンピュータを利用している。この情報処理データを利用することで、より柔軟な検索が可能となる。

例えば、

- (a) ある道路工事、区画整理に伴い関係する全地主の情報
- (b) 設置している電柱の本数、種類別に地主を特定する。
- (c) 契約上の制約事項等からの分類

などが挙げられる。

これらは、各支店・営業所に既設の情報処理系端末から検索のリクエストを出すことで、ID は求められる。

MELFANET はホストコンピュータ接続を考慮して設計されており、検索条件に合う事業所コード、地主対応番号、出力させたいFAX 端末番号をホストからもらい、目的の契約書を配信させることにも柔軟に対応できる。

#### (2) ISDN G4ファクシミリ対応化

現在北海道電力(株)の各支店・営業所には、基本的にG3FAX が配備されている。今回のシステム導入によってG3FAX ネットワークは確立した。しかし今後、INS 64の本格的な普及や企業内ISDN 網の構築が始まり、ISDN への対応要求は強くなってくるものと思われる。

前述のように、このシステムでは、光ディスク文書はG4MMR 画像としてある。これにより将来、システムの足回りのISDN 対応化を行い、ISDN G4ファクシミリサポート管理システムへと発展させることができる。

### 4. 今後の課題

MELFANET 光ディスクファイリングシステムは、次に示す機能拡充を図っていく予定である。

#### (1) 自動採番方式のファイリング

更に高速なファイリングを要求される場合、ワークステーションによるキー付けを行わず、システムが自動的に採番し、キー情報を付与して入力FAX に返送する。

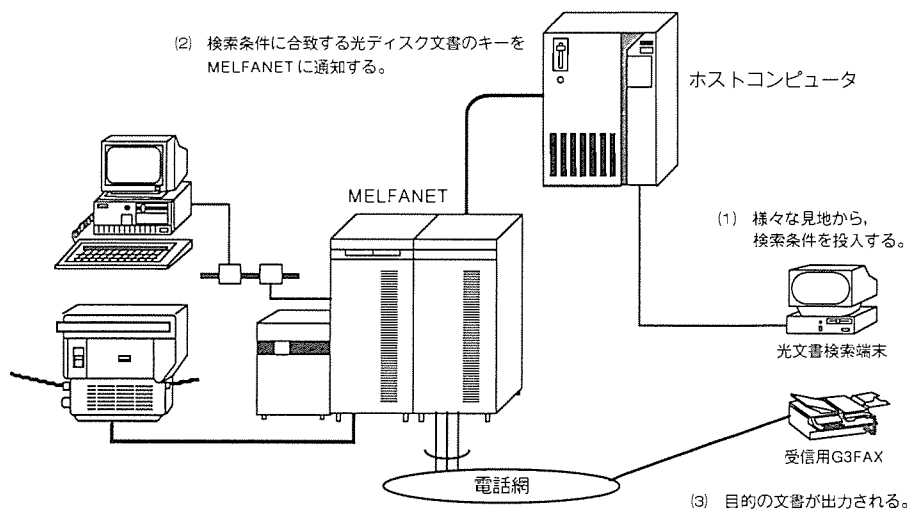


図8. ホストコンピュータ接続による高性能検索型光ディスクファイリングシステムの構成

特に採番体系を意識しなくても読出作業ができる場合は、この方式によって人手のかかる作業が大幅に削減される。

#### (2) ホストコンピュータ接続による配信の機能向上

前章でも述べたが、膨大な資料が電子ファイリングされた次には、より複雑な検索、キーにならないような条件検索から目的の文書を捜し出す必要がある。

検索条件を容易に設定できるホストコンピュータとのインタフェースを設けることで、それぞれ得意な処理を組み合わせ、より便利なファイリングシステムへと発展させたい(図8参照)。

#### (3) 書換え可能光ディスク対応

書換え型光ディスクによるファイリングにも対応していく。

#### (4) FAX-OCR 技術の利用

FAX-OCR 技術をうまく採り入れて、ドキュメント上に記載されている数字、文字を解読し、検索キーとする。

## 5. む す び

以上、北海道電力(株)のシステム事例を中心にMELFANET 光ディスクファイリングシステムを紹介した。

FAX を利用したアプリケーションシステムのニーズは、各種情報提供サービス・FAX 学習システムを始めまだまだ数多くある。MELFANET をベースに、今後更にユーザーの要求にこたえるシステムを開発していきたい。

最後に、今回のファイリングシステム開発に当たり、御指導いただいた北海道電力(株)配電部、情報システム部関係各位に厚く御礼申し上げる。

## 参 考 文 献

- (1) 鶴沢 清, 堀内哲朗: 《MELFANET》 計算機接続ファクシミリ配信システムの構築, 三菱電機技報, 65, No. 5, 488~492 (1991)

# マルチメディア文書処理システム DOCMASTAR 登場

土田泰治\* 池田信之\*\* 桜井 宏\*\* 難波 奈須夫\*\*\* 大坪邦彦†

## 1. ま え が き

高度情報化社会といわれる今日、エンジニアの役割はますます重要になり、期待も高まる一方である。中でも、技術文書、報告書などのドキュメント作成は、エンジニアにとって大切な業務となっている。このような時代の要請にこたえるため、エンジニアはプレゼンテーションに優れたドキュメントを、効率良く作成できるツールを求めている。そのような美しく理解しやすいドキュメントを、素早く作成したいというニーズにこたえるため、当社はマルチメディア文書処理システム DOCMASTAR (図1)を開発し、4月から発売を開始した。

本稿では、新製品 DOCMASTAR の動作環境、特長、マルチメディア編集機能を紹介する。

## 2. DOCMASTAR の動作環境

DOCMASTAR は、図2に示す三菱電機(株)の提案する EOS (Engineering Office System) プラットホーム上で動作するように設計されている。

### (1) ハードウェア

三菱電機エンジニアリングワークステーション ME ファミリー上で動作する。

### (2) OS

UNIX (注1) 上で動作する。

### (3) ウィンドウ

UNIX の標準ウィンドウである Xウィンドウ (注2) 上で動作する。

### (4) 日本語入力

デファクトな、かな漢字変換となりつつある Wnn/Jserver を使用して日本語入力を行う。

### (5) GUI

グラフィカルユーザーインターフェースとして、OSF/Motif (注3) を採用した。このことにより、ボタン選択、メニュー選択、マウス操作など、明確で一貫性のあるユーザーインターフェースを実現できた。

### (6) デスクトップ

いろいろなデスクトップで動作するように設計されている。標準のデスクトップとしては、VUE (注4) を推奨する。

### (7) ネットワーク

TCP/IP (注5)、NFS (注6)、クライアントサーバを用いたネットワーク活用のできる設計を採っている。

## 3. DOCMASTAR の特長

### (1) ワープロ感覚での文章作成

WYSIWYG (注7) 方式を採用しており、ワープロ感覚で文章が作成できる。バッチ方式の TeX や roff は、コマンドを覚えないと文書作成できないが、DOCMASTAR は、すぐに

(注1) UNIX システム ラボラトリーズ社が開発し、ライセンスしている。

(注2) マサチューセッツ工科大学の商標。

(注3) Open Software Foundation, Inc. の登録商標。

(注4) ヒューレットパカード社の登録商標。

(注5) 米国国防省が定めた通信プロトコル。

(注6) サンマイクロシステムズ社の登録商標。

(注7) What You See Is What You Get の略。編集している画面イメージと最終の印刷イメージが一致するワープロの設計方式を示す。

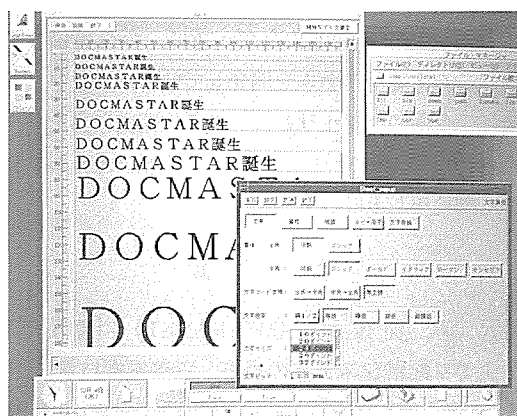


図1. DOCMASTAR 編集画面

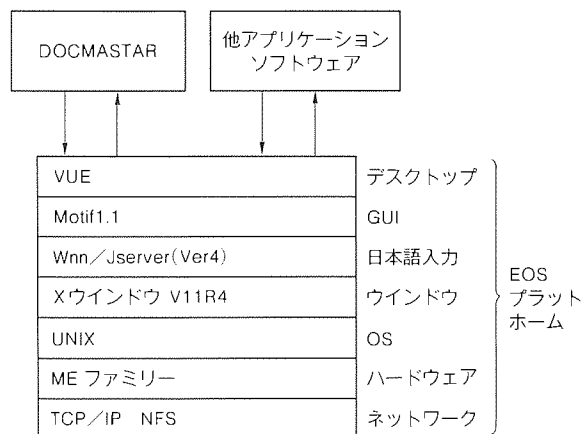


図2. DOCMASTAR の動作環境

文書作成にとりかかれる。

現在、CAD 図面作成、CAE 業務、プログラム開発は UNIX ワークステーションで行い、文書作成はワープロで行っている人には最高のツールである。

## (2) マルチウインドウ操作

DOCMSTAR は、X ウィンドウで動作する CAD、CAE、ソフトウェア開発ツールなどと、マルチウインドウによる共存が可能である。したがって、ウインドウ操作により、CAD データ・解析データなどを DOCMASTAR に簡単に取り込み、技術文書が素早く作成できる。

## (3) NFS によるネットワークの活用

図 3 に示すように NFS により、ネットワーク接続されている計算機資源を活用できる。

- (a) 自ワークステーションに DOCMASTAR がなくても、ネットワークを通して使用できる。
- (b) DOCMASTAR 用のフォントも、ネットワークを通して参照できる。
- (c) 文書データは、自ワークステーションだけでなく、ネ

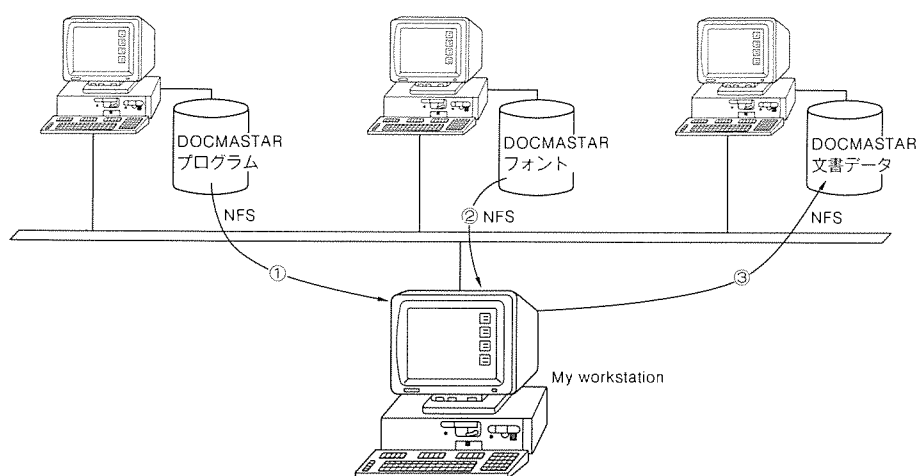


図 3. NFS によるネットワークの活用

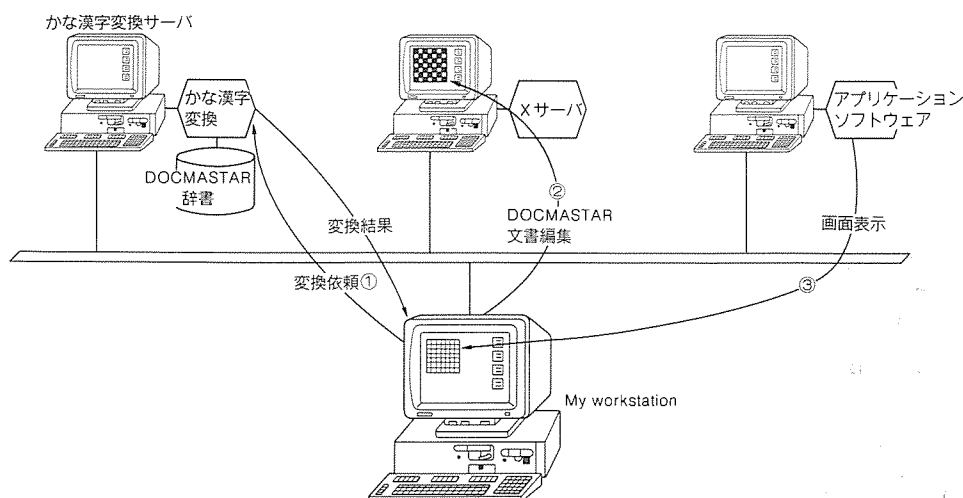


図 4. クライアントサーバによる CPU の活用

ットワークを通して他の場所に格納できる。

## (4) クライアントサーバによるネットワークの活用

図 4 に示すように、クライアントサーバ方式を活用して計算機資源を有効に利用できる。

- (a) サーバへかな漢字変換を依頼できる。
- (b) 他ワークステーションからも、自ワークステーションの DOCMASTAR を使用できる。
- (c) 他ワークステーションにあるアプリケーションソフトウェアと、自ワークステーションの DOCMASTAR を共存使用でき、アプリケーションソフトウェアのデータを DOCMASTAR に取り込める。

## (5) コミュニケーション機能

DOCMSTAR で作成したマルチメディア文書を電子メールを用いて遠隔地に伝送可能である。テキストだけでなく、マルチメディア文書を送受信することにより、エンジニア相互のコミュニケーションが円滑に行える。

また、電子メールの代替伝達手段として、FAX への文書送信が用意されており、マルチメディア文書を相手先の FAX へ出力することができる。

## (6) 文書交換機能

DOCMSTAR は、CDF<sup>(注8)</sup> フォーマットを介して、A1 mark III、一太郎<sup>(注9)</sup>、Jstar<sup>(注10)</sup> との文書交換が可能である。DOCMSTAR を使うときに、文書交換機能を用いて今までに作成した文書を移行すれば、過去の文書データを生かすことができる。

## 4. マルチメディア編集機能

DOCMSTAR は図 5 に示すように、6つのメディアを扱える。各メディアの入力・編集作業が簡単に行えるだけでなく、各メディアは文書上に自由にレイアウトできる。

ユーザー解放インタフェースにより、ユーザープログラムから、バッチ処理的に DOCMASTAR の文書データを操作できる。

### (1) 文章編集 (図 6)

連文節一括変換、文節切替え、自動学習機能など、自在なかな漢

(注8) ソニー(株)の登録商標。

(注9) (株)ジャストシステムの登録商標。

(注10) 富士ゼロックス(株)の登録商標。

字変換機能により、素早く日本語文章を入力することができる。

表1に示すように、日本語書体として明朝体、ゴシック体の2書体を用意しており、欧文書体として更にイタリック体、ボールド体を用意している。文字修飾機能としては、斜体・強調・影付きなどを、文字列修飾機能としては、網かけ・反転・抹消線などを用意している。文字サイズは、4～104ポイントを使用できる。

## (2) 表編集 (図7)

表の初期作成が、フォームシートでの指定によって一度に行える。何度もけい(罫)線を引いて、表の形にするといった煩わしい操作は不要である。

表の大きさ、フィールドの大きさ、線の太さ、線の種類などは自由に変えることができ、文書にマッチした表を作成できる。

フィールドの挿入・結合・削除といった操作が、マウスを使って簡単に行える。また、フィールドの網かけも可能である。

## (3) 幾何学図形編集 (図8)

マウスを用いて、パレットから図形を選択して描くよう設計されているので、簡単に操作できる。

図形として、直線・円・だ円・多角形・丸角四角形・スプ

ライン曲線・自由曲線などが用意されている。線種・線幅・塗りつぶしパターンなどの指定がパレットで行える。また、すべての直線、曲線に矢印をつけることができる。

日本語文章も、文章編集と同じ操作で入力できる。文字修飾、文字列修飾も、文章編集と同じ操作で指定できる。

描いた図形の移動・複写・登録・削除・重ね合わせ・拡大・縮小が自在に行える。登録された図形は、マクロ図形として登録パレットに絵柄付きボタンとして登録される(図8右上ボックス内のボタン)。登録図形は、該当ボタンを押すだけで呼び出され、任意の位置への描画が可能である。

## (4) ラスタイメージ編集 (図9)

鉛筆・消しゴム・刷毛・霧吹き・ペイント・図形描画・ビットエディタなど豊富な描画機能を使って、思いのままにイメージ編集が行える。

イメージリーダーからの原稿読み込み、他ソフトウェアで表示しているXウィンドウ画面の取り込みにより、イメージ編集の機能を更に活用できる。

## (5) グラフ編集 (図10)

棒グラフ・折れ線グラフ・円グラフなど、14種類のグラフの中から好きなものが選択でき、プレゼンテーション効果のある文書作成が行える。

描画したグラフの移動・複写・拡大・縮小編集ができる。また、グラフ表示画面上に幾何学図形編集機能を利用して、各種図形を描くことができる。

スプレッドシートで、四則演算・合計・平均といった計算を行える。表編集で作成した表データをグラフのスプレッド

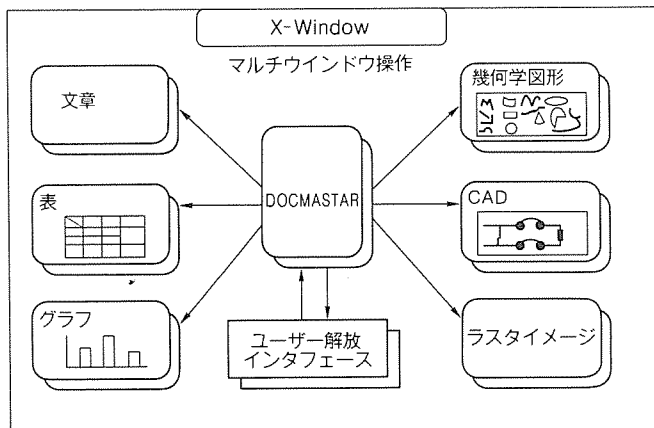


図5. マルチメディア機能ラインアップ

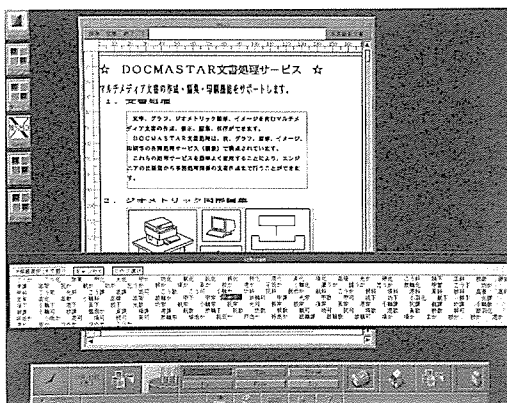


図6. 文章編集画面

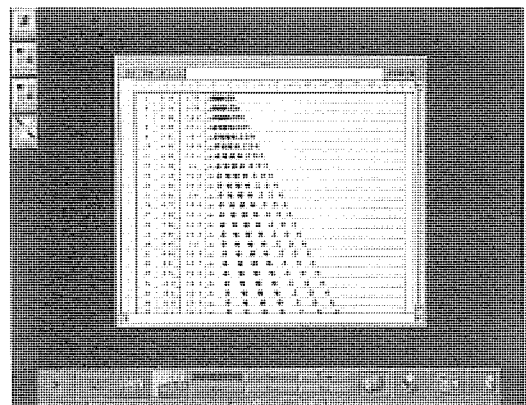


図7. 表編集画面

表1. 書体／文字修飾／文字列修飾

書 体		文字修飾	文字列修飾
日 本 語	明朝	斜体	網かけ
	ゴシック	長体 (縦倍角)	反転
		平体 (横倍角)	抹消線
欧 文	明朝	ルビ	上線
	ゴシック	強調	下線
	イタリック	影付き	波線 (上下線)
	ボールド	白抜き	
		添字	



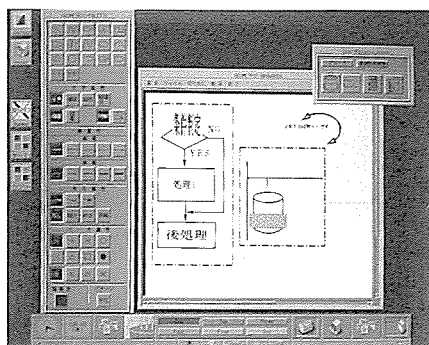


図 8. 幾何学図形編集画面

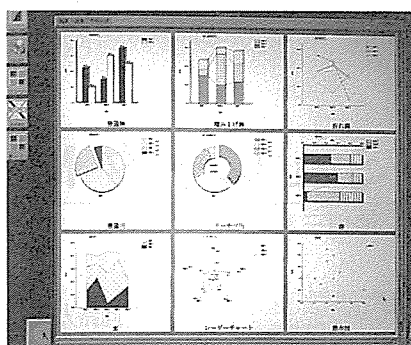


図10. グラフ編集画面

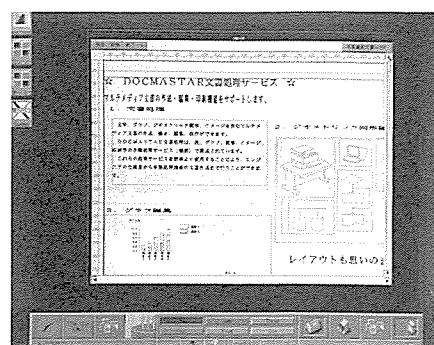


図12. レイアウト編集画面

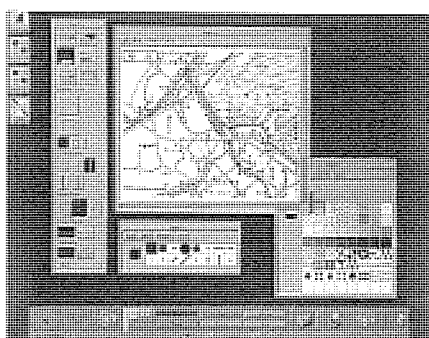


図 9. ラスタイメージ編集画面

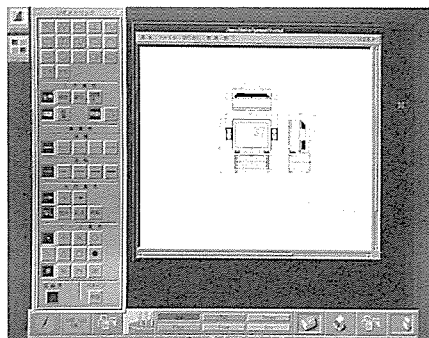


図11. CAD 図形編集画面

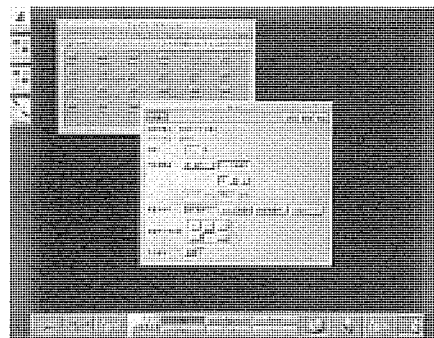


図13. 印刷依頼画面

シートにコピーして活用することも可能である。

#### (6) CAD 図形編集 (図 11)

CAD 図形の精密さを損なうことなく、文書との合成ができ、技術説明書などの作成に威力を発揮する。取り込んだCAD 図形は、幾何学図形と同じ操作で編集が行える。

#### (7) レイアウト編集 (図 12)

各メディアは文書内に領域として、任意の位置に、任意の大きさでレイアウトできる。領域の移動・複写・削除・拡大・縮小といった操作も自由自在に行える。複数領域の重ね合わせも可能となっており、思いのままに文書レイアウトが行える。

#### (8) 印刷依頼 (図 13)

フォームシートで、印刷部数、ページ番号の印字位置、印字するページ範囲などの指定を行うことにより、作成した文書の印刷が行える。

自ワークステーションに接続されたプリンタへの印刷も、ネットワークに接続された共用プリンタへの印刷も、同じ操作で行える。

#### (9) ユーザー解放インタフェース

DOCMSTAR の文書データは、インタフェース機能を用いて、ユーザーのプログラムから操作できる。文書への表データの埋込み、グラフデータの埋込み、UNIX ファイルデータの取り込み、イメージデータの取り込みが、バッチ処理で

行える。

文書からの表データの取出し、文章データの取出しもバッチ処理で行える。

## 5. む す び

今回開発した DOCMSTAR は、最新のグラフィカルユーザーインタフェースを用いて、豊富なマルチメディア編集機能を実現している。このことにより、プレゼンテーションに優れた技術文書、報告書を効率良く作成できる。

また、DOCMSTAR は、ネットワークを意識した設計となっており、NFS、クライアントサーバによる計算機資源の活用、電子メール、FAX 送信によるコミュニケーションを実現している。

今後は、DOCMSTAR に対するユーザー評価、標準化動向をふまえ、更なる機能向上を図り、当社を代表するソフトウェアとなるよう開発に努める所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 加藤礼二：《EOS》の現状と動向，三菱電機技報，64，No. 6，452～456（1990）
- (2) 徳永 敏，竹内康晃，加藤 忠，鈴木昌則，川崎雅夫：ソフトウェア開発業務における《EOS》の構築，三菱電機技報，64，No. 6，484～490（1990）

# 大規模高速回路シミュレータ MICS

谷沢元昭\* 石川多恵\*\* 小崎左智子\*\*\* 池田三喜男\* 小谷教彦†

## 1. ま え が き

近年の素子の微細化・高集積化に伴い、回路シミュレータの対象となる回路も大規模化してきており、その能力として数万素子からなる回路の解析を実用的な時間の範囲内で行えることが望まれる。こういった状況の中で、シミュレータの高速化及び収束性の良さは重要な課題である。

高速化を達成するためのアプローチの一つとして、素子モデルを簡便化し、状態変数の取扱いを工夫するなどしたタイミングシミュレータ<sup>(1)</sup>の概念があるが、これは精度面での問題がありアナログシミュレータとしての代用は不可能である。

また、もう一つのアプローチは素子モデルは変更せずに行列解法アルゴリズムを工夫して高速化を図ろうとする試みである。その代表例が従来の SPICE<sup>(2)</sup>等で使用されていた直接法に対する間接法<sup>(3)(4)</sup>である。間接法はある特定の回路には有効であるが対象回路に一般性がない等の問題点がある。

さらに、接続検証のための動作点解析にはこれらの手法は使えない。動作点解析は交流解析や過渡解析の初期値を求めるためにも行う必要があり、重要な解析の一つである。確実に動作点を求めるためには、数値的安定性の良い非線形方程式の解法が必要となる。

我々は以上の問題点及び回路設計者のニーズを意識しつつ、収束性の優れた高速回路シミュレータ MICS (Mitsubishi Circuit Simulator) の開発をスーパーコンピュータ CRAY-YMP 上で行った。MICS では汎用性をもたせるために直接法を用いており、高速化手法は主にベクトル演算に依存している。

一般にベクトル化プログラムではリストベクトルを多用するため使用メモリが増大し、大規模回路の解析に適さない一面も持っている。MICS では使用メモリ量と速度性能比の向上を見合わせてから使用アルゴリズムの最適化を行った。また、ニュートン法を改良し、Damping や独自のリミッタの採用により、他のシミュレータにない優れた収束性をもつに至った。これらのアルゴリズムの採用により、MICS では約 4 万素子、約 8 万節点からなる回路の過渡解析を約 8 時間 (CPU) で計算することが可能となった。

以下に MICS で用いた高速化手法及び収束性向上のための数値計算アルゴリズムとその効果について述べる。

## 2. 高速化手法

回路方程式を解析する上で、計算負荷の大きいのは次の三つの部分である。

- (1) 行列前処理：接続情報を元にして回路方程式を構築して疎行列処理に必要なインデックスを作成し、行及び列の入替えを行って行列の最適化をする。
- (2) 係数行列作成：各素子の電流電圧特性から線形化された等価回路の回路定数を計算し、ヤコビアンを求める。
- (3) LU 分解：回路方程式を解いて未知変数を求める。

計算時間全体の中で、上記(1)(2)(3)のどの部分が支配的になるかは回路の構成や規模によって大きく異なる。非線形素子として数千個規模程度の MOS トランジスタを含む回路では、(2)の部分が大きい。一方、バイポーラトランジスタからなる回路では(3)の占める割合が高くなる。これは MOS とバイポーラとの素子モデルの複雑さの違いによるものである。

また、回路方程式の次元を  $n$  とすると、(2)の部分の演算数は  $O(n)$  で増加するのに対して(1)では  $O(n^{2-3})$ 、(3)の部分では  $O(n^{1.1-1.5})$  で増加することが知られている<sup>(5)</sup>。これらのことを考慮すると、数十素子程度の小規模なものから数万素子から成る大規模回路にも対応できる高速回路シミュレータを実現するには、(1)(2)(3)各部分での高速化が必要となる。以下にそれぞれの箇所での高速化の手法とその効果について述べる。

### 2.1 行列前処理

回路方程式は一般に疎行列であり、多くのシミュレータでは適当な疎行列処理技法を用いている。この部分ではネットリストから回路行列を記述するのに必要なリストベクトルを作成した後、fill-in 発生を抑制するための Markowitz 法の適用及び数値的安定化のためのピボットングを行っている。

回路規模が大きくなっても各行各列当たりの非零要素個数はあまり増加せず、また行及び列の並べ替えの際には IF 文による分岐を伴うことを考慮すれば、この部分でのベクトル化の効果はさほど期待できない。この行列前処理部の高速化は疎行列処理技法にかかっている。MICS では行列の並べ替えが、多くの場合部分ピボットで十分であることに着目し、対角位置の行列要素を直接アドレッシングすることによって高速化を図った。この手法により、前処理部での計算時間は 20~30% の削減が可能である。

我々の経験では、回路の節点数が1万前後となってくると動作点解析や過渡解析でさえ、この前処理部での計算時間が解析全体の中で占める割合が大きくなり、50～90%にもなるときがある。直接法による高速回路シミュレータの実現には、この部分の高速化は意外に重要な課題である。

## 2.2 係数行列作成

回路方程式の係数行列は、各節点に接続されている素子の回路定数の足し合わせによって求められる。また、非線形素子の回路定数は、それぞれ固有の電流電圧特性にニュートン法を適用し、線形化を行うことによって計算される。MICSでは、非線形素子の電流及び各コンダクタンスの計算をベクトル処理し、異なる素子から同一行列要素への足し合わせに分配処理法<sup>(6)</sup>を適用し、この部分でのベクトル長を稼いでいる。

電流計算は各素子モデルに対応する素子数で容易にベクトル計算が可能である。

また、一般に異なる回路要素から同一節点への寄与は少なく、したがって各節点ごとでの足し合わせをベクトル化しても十分な効果は得られない。分配処理では足し合わされるべき回路定数の格納されている配列内での位置をあらかじめアドレスリングし、これらを各非零要素へ足し合わされる個数でソートしてからベクトル処理する。この手法では、ソートされた非零要素の個数分だけベクトル長を大きくできる利点がある。ただし、各コンダクタンスと非零要素位置を関係づけるリストベクトルが必要となるので、解析に使用するメモリが増加してしまう(1.2～1.5倍程度)問題点がある。表1に係数行列作成部で要するCPU時間(単位は秒)の

- (a) スカラ処理
- (b) 電流計算ベクトル化
- (c) 電流計算ベクトル化+分配処理

のそれぞれの場合での比較結果を示す。なお、使用したテスト回路の種類や規模を表2に示す。また、計算に使用したトランジスタモデルは、MOSはLevel 3<sup>(7)</sup>、バイポーラはGummel-Poon<sup>(8)</sup>である。

電流計算のベクトル化による速度向上は約1.2～3.8倍であるのに対して、分配処理のみでの高速化の割合は約1.2～

表1. 係数行列作成部での負荷の比較

回路	行列作成部でのCPU時間(s)		
	(a)	(b)	(c)
①	33.63	14.18	11.28
②	27.90	17.15	13.94
③	186.56	102.96	77.33
④	95.08	48.90	40.53
⑤	20,418	5,414.4	4,456.7
⑥	38.15	30.97	21.43
⑦	122.06	96.23	67.01
⑧	3,177.1	2,252.5	1,371.1

1.4倍程度であり、使用メモリの増加やそのための前処理時間の増加を考えると必ずしも大規模回路の解析に適しているとはいえない。実際、テスト回路⑤のような約4万素子からなる回路の解析では分配処理の前処理であるリストベクトルの生成に要する時間が大きくなり、解析全体にかかる時間を比べると分配処理を用いない場合の方が速い。これらの計算手法は回路規模による使い分けが必要である。

## 2.3 LU分解

ニュートン法によって線形化された多元連立方程式を解いて未知変数である節点電圧及び電圧定義枝電流を求めるためにLU分解を用いる。大規模疎行列の高速LU分解には幾つかの方法が開発されているが、MICSで採用しているのはBVA(Block Vectorization Algorithm)とMVA(Maximal Vectorization Algorithm)<sup>(9)</sup>の2種類である。それぞれのアルゴリズムの概略を以下に述べる。

### (1) BVA

LU分解は対角成分での除算

$$A_{ji}=A_{ji}/A_{ii} \dots\dots\dots (1)$$

及び更新演算

$$A_{jk}=A_{jk}-A_{ji} \cdot A_{ik} \dots\dots\dots (2)$$

を行列の左上から右下方向に繰り返して行っている。このとき、非零要素の位置から独立に処理が可能な逆L字形のブロックをあらかじめ構成し、このブロック内でLU分解をベクトル計算するのがBVAである。原文<sup>(9)</sup>では右下隅に残るちゅう(稠)密行列の処理を数値計算ライブラリに切り替えて実行するようにしているが、MICSではプログラムの移植性を考慮してこの切替えは行っていない。

### (2) MVA

このアルゴリズムでは式(1)の除算及び式(2)の更新演算のレベル付けを行列全体で行い、同一レベルのそれぞれの演算をベクトル計算するものである。BVAで解法の切替えを採用していないこともあり、MVAの方が高速であるが、各非零要素ごとに参照レベルのためのリストベクトルを用意する必要があり、使用メモリの増加(1.1～1.5倍)という問題が

表2. テスト回路の構成及び規模

回路	素子数	節点数	方程式の次元
①(MOS)	1,197	294	298
②(MOS)	598	983	984
③(MOS)	4,141	1,004	1,023
④(MOS)	1,241	2,570	2,594
⑤(MOS)	38,754	79,430	79,878
⑥(BJT)	264	555	566
⑦(BJT)	402	979	981
⑧(BJT)	8,552	19,533	19,684
⑨(BJT)	755	1,653	1,664
⑩(BJT)	3,494	8,085	8,104
⑪(BJT)	8,468	21,603	21,612

ある。

表3に幾つかのテスト回路の解析でのLU分解部分で要するCPU時間(単位は秒)のBVAとMVAとの比較を示す。MVAはBVAに対して約2.2~6.9倍高速である。一般にバイポーラ回路では、MOSのそれに比べて計算コスト全体の中で素子モデルの記述が複雑でないだけ相対的にLU分解の占める割合が大きい。したがって、MVAを用いることは大規模なバイポーラ回路で特に効果的である。

## 2.4 実行時間の比較

以上に述べた高速化アルゴリズムを組み合わせると幾つかのテスト回路で過渡解析を行い、スカラ計算で解析を行ったときのCPU時間(単位は秒)の比較を行った。結果を表4に示す。行列計算全体のアルゴリズムの改良により、約2.5~11.2倍の高速化が達成された。一例として、テスト回路⑤のような大規模回路(約4万素子、8万節点)の過渡解析に、従来は約83時間も要していたのが約8時間で解析できるようになった。図1にその計算結果を示す。大規模シミュレータとして十分実用的な速さであるといえる。

## 3. 収束性

多くの回路シミュレータでは、非線形である回路方程式の線形化にニュートン法を使用している。ニュートン法の特徴はその簡便性と収束の速さ(二次)である。しかし、この収束の速さは、ニュートン法がリブシット条件を満足し、収束

表3. LU分解の解法による比較

回路	LU分解でのCPU時間(s)	
	BVA	MVA
①	2.01	0.75
②	10.39	2.40
③	12.59	4.24
④	34.97	11.24
⑤	14,868	6,682.3
⑥	41.54	7.72
⑦	168.11	32.80
⑧	5,142.4	750.5

表4. 実行時間の比較

回路	過渡解析でのCPU時間(s)	
	スカラ	ベクトル
①	39.80	13.60
②	51.90	20.67
③	227.11	91.50
④	355.12	78.51
⑤	295,544	26,364
⑥	92.46	34.38
⑦	344.49	106.30
⑧	14,573	3,468.0

解に向かって単調減少する数列を生み出しているときに限られる。すなわち、“解に十分近い初期値”から反復計算を始めたときにのみその収束性が保証されているのである。したがって、初期値が“解に十分近い値”として設定することのできない直流動作点解析では、収束解を得るのは容易な問題ではない。熟練した回路シミュレータの利用者は、解析しようとしている回路の構成から動作点を求めるための初期値を見積り、シミュレータにそれらを与えてから解析を行うことができるが、これも回路が大規模化すると非常に困難なものとなる。したがって、大規模回路の動作点解析を行う上では初期値に依存せず、より少ない反復回数で収束解が得られる解法アルゴリズムが必ず(須)のものとなる。

SPICEでは、収束性を向上させるために非線形素子の各端子電圧に各反復ごとの変化量によってリミッタを作用させている。MICSでは、この古典的なリミッタ以外にも大域的収束性を改善するためにDamped-Newton法等の幾つかの線形化アルゴリズムを組み込んだ。初期値によらずに必ず収束解の得られる非線形方程式の解法というものは存在しない。以下に述べるのは“なるべく多くの場合に”収束解を得るためのアルゴリズムである。

### 3.1 Damped-Newton法

Damped-Newton法は、解くべき非線形方程式のノルムの変動の様子を見ながら、反復計算のUpdateベクトルの大きさを決定するもので、通常のニュートン法に比べて、収束領域は広くなる。MICSに組み込んだDamped-Newton法は、リミッタをバックアップとして併用しており、Dampingにかかる余分な計算時間の低減を図っている。

以下に、この方法の原理及び通常ニュートン法との比較に

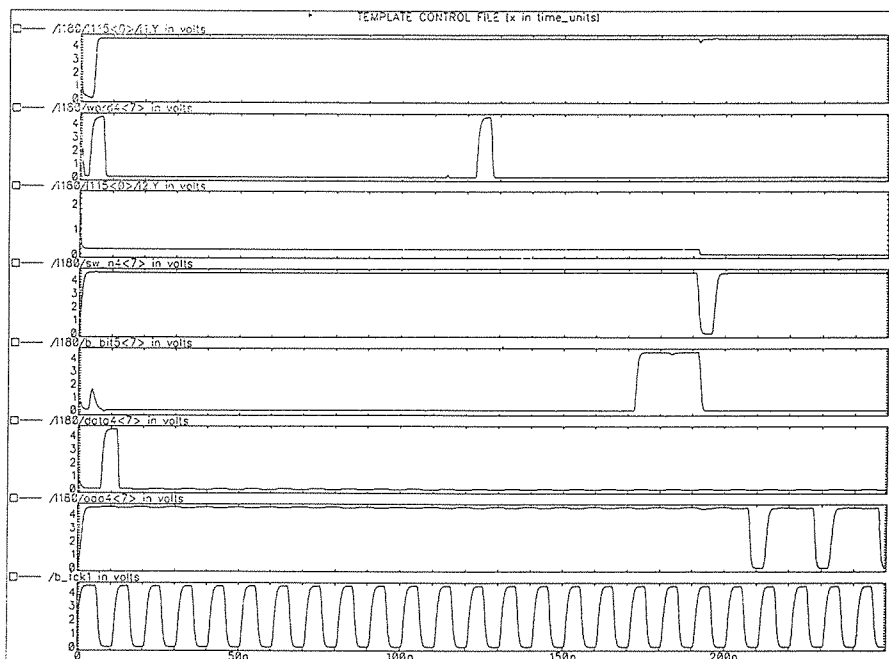


図1. MICSの計算結果

ついて述べる。

### 3.1.1 Damped-Newton 法の原理

与えられた回路記述に対して修正節点法を適用して得られる回路方程式を次式で表す。

$$G(v) = 0 \quad (3)$$

ここで、 $v$  は未知変数である節点電圧及び電圧定義枝の電流値である。ニュートン法でこの非線形方程式を解くには、次のような反復計算を行う必要がある。

$$v_{k+1} = v_k - J(v_k)^{-1} \cdot G(v_k) \quad (4)$$

ここで、 $k$  は反復回数を、また、 $J$  は  $G$  のヤコビアンを表している。Damped-Newton 法によって Damping パラメータ  $t$  ( $0 < t_k \leq 1$ ) を導入すると式(4)は、

$$v_{k+1} = v_k - t_k \cdot J(v_k)^{-1} \cdot G(v_k) \quad (5)$$

となる。Damping パラメータは次式を満足するように選ぶ。

$$\|G_{k+1}\| < \|G_k\| \quad (6)$$

ノルムとしては、次式で定義される  $L_2$ -ノルム

$$\|G_k\|_{L_2} = [G_k^t \cdot G_k]^{1/2} \quad (7)$$

及び Newton-ノルム<sup>(10)</sup>

$$\|G_k\|_{NR} = [G_k^t \cdot J_k^{-1} \cdot J_k^{-1} \cdot G_k]^{1/2} \quad (8)$$

を用いる。Damped-Newton 法は Damping パラメータ  $t$  を適当に選んでノルムの Descent ベクトルを決め、解に収束する数列  $v_k$  を生み出す手法である。

さて、MICS では Damping パラメータを決めるためのノルムとして式(7)、式(8)で定義されているものを用いている。文献(10)にも述べられているように、Newton-ノルムの Gradient は Newton Update ベクトルと平行になるが、 $L_2$ -ノルムの Gradient は必ずしも平行になるとは限らない。平行になるのは  $G_k$  の固有ベクトルの中で  $J_k^{-1} \cdot J_k$  に平行なものが存在するときである。このことから、Newton Update ベクトルの方向に解が存在するときには Newton-ノルムを用いる方が有利であるといえる。しかし、このことは Newton-ノルムで評価する方が大域的収束性の向上に適しているということには結びつかない。というのは、Newton Update ベクトルと平行にノルムの減少方向が存在しても、Local Minimum に陥る場合があること、ノルムの値が非常に大きくなってしまったときに生じる数値計算上の誤差(打切誤差)や非線形性の原因となる素子特性の数学的不完全性(導関数が不連続)等によって、必ずしも収束するための必要十分条件とはならないからである。このような場合は  $L_2$ -ノルムの方が計算が簡便なだけ有利になる。

### 3.1.2 Damping パラメータの決定方法

次に Damping パラメータ  $t$  の決定方法について述べる。肝心なのは、より少ない演算数でノルムの Descent ベクトルを見付けることである。二つのパラメータによる Damping<sup>(11)~(13)</sup> や step-length 法に類似したもの<sup>(14)</sup> 等多数の方法があるが、非線形性の原因となる素子モデルが MOS の level 3 のように、導関数が不連続で Damping を行うため

の必要条件を満足していない場合、次に示すより単純なアルゴリズム<sup>(15)</sup>でも結果に有意な差はない。

まず、

$$t_k^{(0)} = 1 \quad (9)$$

で通常のニュートン法から始め、Damping パラメータ  $t_k$  を

$$t_k^{(j)} = (1/2) \cdot t_k^{(j-1)} \quad (10)$$

として  $1/2$  倍ずつ変化させノルムの Descent ベクトルを探すものである。

ここで、 $j$  は Damping ループの回数を示している。ノルムの Descent ベクトルの妥当性は

$$\|G_{k+1}\| < (1 - t_k^{(j)}/2) \|G_k\| \quad (11)$$

によって判定する。

### 3.1.3 リミッタとの併用

通常のニュートン法では、収束性の向上のために、各反復計算間で経験的に定められたリミッタがすべての非線形素子に課せられる。例えば、バイポーラトランジスタの場合、 $V_{be}$ 、 $V_{bc}$  間に、MOS の場合は  $V_{gs}$ 、 $V_{ds}$ 、 $V_{bs}$  間にリミッタが作用する。このようなリミッタを使用しながら Damping パラメータを決めることは困難であるので、MICS では Damping によってノルムの Descent ベクトルが求められなかった時にのみ、バックアップとしてリミッタ付きの通常ニュートン法に切り替えるという手法を用いて収束性の向上を図っている。

また、ニュートンループの初期段階で、その設定された初期値によってはノルムが非常に大きな値 ( $\gg 10^{38}$ ) となり、オーバフローを起こすときがある。このようなときに正しく Descent ベクトルを探索することは困難であるので、この場合も通常ニュートン法への切替えを行っている。

### 3.1.4 収束判定

通常ニュートン法では、各非線形枝電流の変化分によって収束判定を行っている。Damped-Newton 法でもこの方法を採用している。また、Local Minimum に陥ることを防ぐために、ノルムの絶対値がある決められた大きさ以下にならないと収束したとみなさないようにしなければならない。すなわち、収束するためには以下の三つの条件が成立することが必要である。

$$|(I_{k-1} + (dI/dv)_{k-1} \cdot dv - I_k)| < \delta_I \quad (12)$$

$$\delta_I = \epsilon_r \cdot \text{MAX}(I_{k-1} + (dI/dv)_{k-1} \cdot dv, I_k) + \epsilon_a \quad (13)$$

$$\|G(v_k)\| < \delta_G \quad (14)$$

ここで、 $\epsilon_r$ 、 $\epsilon_a$ 、 $\delta_G$  はそれぞれ、

$$\epsilon_r = 1.0 \times 10^{-3} \quad (15)$$

$$\epsilon_a = 1.0 \times 10^{-12} \quad (16)$$

$$\delta_G = 1.0 \times 10^{-10} \quad (17)$$

としている。

### 3.1.5 ニュートン法との比較

テスト回路を用いて通常ニュートン法と Damped-Newton

法とでの収束性の比較を行った。使用したテスト回路は、一段のインバータでゲートへの入力を0 (V) から5 (V) まで掃引し、Transfer Curve を求めるものである。使用したモデルは level 3 である。通常ニュートン法では入力端を掃引し、出力端が反転しかけると発散してしまう場合がある。これは、level 3 モデルでは導関数に不連続点があるためである。一方、Damped-Newton 法を用いれば、入力電圧のすべての変動範囲にわたって収束解が得られる。反復計算の Update ベクトルがヤコビアンだけでなくノルムの Descent ベクトルによって決められるからである。

### 3.2 ヘシアンを利用して線形化を図る方法

Damped-Newton 法は大域的収束性の改善を図るためのものであり高速化には適さない。収束の速さの向上のためにはヤコビアンだけでなくヘシアンを用いることができる。

通常ニュートン法は、式(4)で表されるヤコビアンまで含めて線形化を行うと、解を求めるための反復計算は

$$v_{k+1} = v_k - J_x(v_k)^{-1} \cdot G(v_k) \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$J_x(v_k) = J(v_k) - G(v_k) \cdot J(v_k)^{-1} \cdot H(v_k) / 2 \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$H(v_k) = \partial J(v_k) / \partial v_k \quad \dots\dots\dots (20)$$

となる。これらの式は、式(4)のヤコビアン  $J(v_k)$  を式(19)の  $J_x(v_k)$  に置き換えれば、行列作成後のその求解処理などは通常ニュートン法と同様にできることを示している。

通常ニュートン法が二次収束であるが、式(20)のヘシアンを用いることによって三次収束となる。しかし、このヘシアンを直接的に計算することは通常ニュートン法に比べて大幅な overhead となり、この方法本来の収束の速さを相殺してしまうことになる。また、使用メモリも膨大なものになってしまう。そこで、MICS では元の非線形方程式が修正節点方程式から得られた回路方程式であることを考慮した間接的な手法を用いて解析の高速化を図っている<sup>(16)</sup>。

式(19)による線形化の効果を見積るために幾つかのテスト回路で直流解析を行い、その計算に要した反復回数及びCPU時間を通常ニュートン法のそれらの値と比較した。結

果を表5に示す。表の上段の数字は直流解析での反復計算回数、下段の数字はそのときのCPU時間(秒)を示している。式(19)で線形化を行うことによって反復回数が $\sim 1/15$ に、計算時間が $\sim 1/6$ まで低減されている。このことは直流解析におけるこの方法の有効性を示すものである。

### 3.3 Logarithmic-Damping 法

ダイオードを始めとして非線形素子の中にはその電流電圧特性が指数関数によって記述されるものが多い。指数関数は非線形性が強く、バイポーラトランジスタ等この関数とその端子特性を決定する上で支配的な役割を果たす素子では解が発散してしまう原因となることがある。このような場合 Logarithmic-Damping 法が有効である。図2にこの方法の概略を示す。

指数関数特性をもつ素子を含む枝の端子間電圧を  $V_k$  とする。ここで、 $k$  はニュートンループ内の反復回数である。 $(k+1)$  回目の端子間電圧として  $k$  回目のヤコビアンで決められる  $V_{k+1}$  (図中のA点) でなく電流軸に対して対数変換を加えたB点の  $\bar{V}_{k+1}$  を採用するのが Logarithmic-Damping 法である。 $V_{k+1}$  は次式で与えられる。

$$V_{k+1} = V_k + V_t \cdot \log(1 + \Delta V / V_t) \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\Delta V = V_{k+1} - V_k \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$V_t = kT / q \quad \dots\dots\dots (23)$$

SPICE でもこの方法は採用されているが、接合部が順バイアスされたときにこのリミッタが作用するようになっている。しかし、バイポーラトランジスタでは、 $\Delta V$  がある定められた値以下にならない限りその全動作領域にわたって式(21)を用いる方が効果的である。すなわち、反復計算ごとの Update ベクトルをヤコビアンではなく対数変換してから決定する。この新しいリミッタの効果を見積るために幾つかのテスト回路で動作点解析を行い、その計算に要した反復回数及びCPU時間をSPICEでのリミッタを使用したときのそれらの値と比較した。結果を表6に示す。表の上段の数字は直流解析での反復計算回数、下段の数字はそのときのCPU時間(秒)を示している。回路規模が大きくなると従来のリ

表5. 線形化による収束の速さの比較

回路	線形化の方法	
	式(4)	式(19)
①	106 0.8	12 0.2
②	200 3.0	13 0.5
③	56 5.9	15 4.8
④	123 28.8	56 18.0

注(1) 上段の数字は反復計算回数。  
 (2) 下段の数字はCPU時間(単位はs)を示す。

表6. リミッタによる収束の速さの比較

回路	リミッタの作用する領域	
	順バイアス時	全領域
⑨	132 11.1	68 8.3
⑩	×	182 175.3
⑪	×	486 1,327.7

注(1) 上段の数字は反復計算回数。  
 (2) ×印は収束しなかったことを示す。  
 (3) 下段の数字はCPU時間(単位はs)を示す。

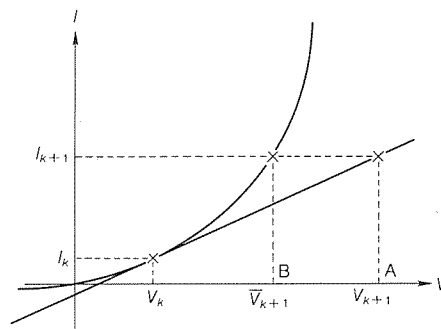


図2. Logarithmic-Damping 法

ミッタでは発散しているが、式(21)を効果的に用いることによってテスト回路⑪(約8,500素子)でも初期値の設定なしで収束解が得られている。変数の変化幅を単に抑えるだけのリミッタは解が収束することを阻害することがあるが、式(21)は計算負荷としても大きなものではなく安定してかつ高速に動作点解析を行うための有効な手法である。

#### 4. む す び

解析対象となる回路規模が大きくなるにつれて回路シミュレータにとって顕在化してくる問題として計算時間と収束性の2点を取り上げ、これらの点を改善するためにMICSで採用した数値計算手法及びその効果について述べた。

これらのアルゴリズムの改良により、解析精度を損なうことなく約4万素子からなるMOS回路の過渡解析が約8時間で、また、約9,000素子からなるバイポーラトランジスタ回路の動作点解析が約20分で可能となった。

今後はシミュレーションに要するトータルターンアラウンドタイムの短縮も重要な課題である。そのためには並列処理やシステムの分散処理の検討も必要であろう。

#### 参 考 文 献

- (1) Chawla, B. R., Gummel, H. K., Kozak, P. : MOTIS-An MOS Timing Simulator, IEEE Trans. on Circuit and Systems, CAS-22, No. 12, 901~910 (1975)
- (2) Nagel, L. N. : SPICE2 : A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits, Univ. of California at Berkley, Ph. D. Dissertation, Memo. ERL-M520, May (1975)
- (3) Sakallah, K. A., Director, S. W. : SAMSON2 : An Event Driven VLSI Circuit Simulator, IEEE Trans. on Computer Aided-Design, CAD- 4, No. 4, 668~684 (1985)
- (4) Lelarsmee, E., Ruehli, A. E., Sangiovanni-Vincentelli, A. L. : The Waveform Relaxation Method for Time-Domain Analysis of Large Scale Integrated Circuits, IEEE Trans. on Computer Aided-Design, CAD- 1, No. 3, 131~145 (1982)
- (5) Erwe, R., Tanabe, N. : Efficient Simulation of MOS Circuits, IEEE Trans. on Computer Aided-Design, CAD-10, No. 4, 541~544 (1991)
- (6) 鹿毛哲朗, 下郡慎太郎 : ベクトル計算機による高速回路解析のためのベクトル化処理技法, 信学会論文誌D, J70-D, No. 8, 1597~1606 (1987)
- (7) Vladimirescu, A., Liu, S. : The Simulation of MOS Integrated Circuits using SPICE 2, Univ. of California at Berkley, Memo. ERL-M 80/ 7 (1982-2)
- (8) Getreu, I. : Modeling the Bipolar Transistor, Tektronix, Inc. (1976)
- (9) Yamamoto, F., Takahashi, S. : Vectorized LU Decomposition Algorithms for Large-Scale Circuit Simulation, IEEE Trans. on Computer Aided-Design, CAD- 4, No. 3, 232~238 (1985)
- (10) Yeager, H. R., Dutton, R. W. : Improvement in Norm-Reducing Newton Methods for Circuit Simulation, IEEE Trans. on Computer-Aided Design, CAD- 8, No. 6, 538~546 (1989)
- (11) Banks, R. E., Rose, D. J. : Parameter Selection for Newton-Like Methods Applicable to Nonlinear Partial Differential Equations, SINUM, 17, 806 ~ 822 (1980)
- (12) Banks, R. E., Rose, D. J. : Global Approximate Newton Methods, Numer. Math., 37, 279~295 (1981)
- (13) Coughran, W. M. JR., Grosse, E., Rose, D. J. : CAzM : A Circuit Analyzer with Macromodeling, IEEE Trans. on Electron Devices, ED-30, No. 9, 1207 ~ 1213 (1983)
- (14) Branin, F. H., Hogsett, G. R., Lunde, R. L., Kugel, L. E. : ECAP II -A New Electronic Circuit Analysis Program, IEEE J. Solid-State Circuits, SC- 6, No. 4, 146~166 (1971)
- (15) 伊理正夫 : 数値計算, 朝倉書店 (1981)
- (16) 谷沢元昭, 池田三喜男, 小谷教彦, 赤坂洋一 : 修正ニュートン法のDC解析への適用, SDM 89 (1989)

# 並列推論マシン PIM のアーキテクチャ

中島克人\* 益田嘉直\*\* 中島 浩\*\*\* 近藤誠一\* 武田保孝\* 村澤 靖\* 小森隆三\*

## 1. ま え が き

複雑で大規模な問題をより簡単にプログラムし、より高速に実行するという、ユーザーのコンピュータに対する要求はとどまるところを知らない。これに対して、コンピュータメーカーは半導体技術の目覚ましい進歩を背景にメモリの大容量化やプロセッサの高性能化という形で速度向上への期待にこたえてきた。しかし、単一プロセッサに関しては、今までのような性能向上をこれまでのペースで続けることが難しくなっている。

パイプライン、分岐予測などの従来からの大型計算機技術に加え、最近では Superscalar, VLIW などのように複数の命令を同時に実行するための様々なアーキテクチャ上の改良が施されているが、それらによる速度向上には限界が見えてきている。半導体の集積度を十分に生かす道は、設計工数の点から見ても、もはやマルチプロセッサ化以外になくなりつつある。一方、ユーザーの立場からは、マルチプロセッサ化はプログラムを更に難しくする。それぞれのプロセッサを有効に活用するための従来どおりのプログラミング技術に加え、複数のプロセッサを無駄なく働かせる、いわゆる負荷分散の技術が必要となるためである。

1982 年から 10 年計画で始められた国家プロジェクト“第五世代コンピュータ”は上記の半導体技術の進歩を予測し、複雑な問題を高速に実行できる計算機の実現を、論理型言語と並列処理を結び付けることによって目指したものである。

三菱電機(株)はこのプロジェクトの推進母体である(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)の委託を受け、この度プロジェクトの最終成果である並列推論マシン PIM<sup>(1)</sup>の開発を完了した(図1)。

この論文では、大規模知識情報処理マシンを指向した PIM のアーキテクチャとその上に実装した高レベル並列言語 KL1 について述べる。

## 2. システムの特長

三菱電機(株)が、ICOT からの委託で開発した PIM は、PI M/m と称され、プロトタイプとしてやはり 1987 年に受託開発したマルチ PSI<sup>(2)(3)</sup>と同様、二次元格子状に多数の要素プロセッサ(PE)を接続した疎結合型マルチプロセッサである。PIM/m ではそれぞれの PE がローカルメモリを備えることから分散メモリ型とも称する。PIM/m の最大構成は

256 PE である。

バス接続などで一つのメモリを複数 PE で共有する共有メモリ型のマルチプロセッサでは、各 PE にキャッシュメモリを配するとしても、メモリへのアクセス競合による性能低下のために、接続 PE 数はせいぜい 8~16 台程度が限界であると言われている。これに対して PIM/m のような分散メモリ型マルチプロセッサは、メモリへのアクセス競合が生じないことから、PE の台数に関する拡張性が高く、大規模並列マシンに適している。PIM/m で採用した二次元格子接続は PE 間の最大距離が PE 数の平方根に比例して増大するため、PE 数が大きくなるにつれて任意の PE 間の通信には配慮が必要となるが、実装が非常に容易であることから、1,000 台規模程度までのシステムに適している。

分散メモリ型では PE 間の通信のオーバーヘッドが大きいため、仕事の分散(負荷分散)が難しい。分散の単位(粒度という)を制御し、負荷分散と PE 間通信オーバーヘッドのバランス点を見いださなければならないからである。残念ながらこれをシステムで自動的に制御するような技術はまだ確立しておらず、ユーザーがそれぞれの問題に応じた負荷分散手法をソフトウェアで実装し、それをチューンアップしていかなくてはならない。そのために、並列プログラムの記述を容易にし、負荷分散の技術開発をサポートするための強力なプログラミング言語と充実したプログラミング環境が必要である。

PIM で採用している並列論理型言語 KL1(核言語第1版)は、①変数の値の待ち合わせによる同期機構によってバグの少ないコーディングができる、②宣言的な記述で小粒度

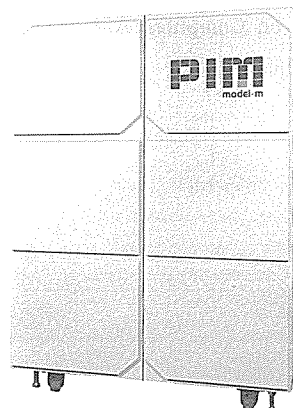


図1. PIM/m の筐体外観(32PE 内蔵)  
(最大構成は 8 筐体 256PE)



の並列計算を自然に記述でき、③仕事をどれだけまとめて実際の負荷分散の単位にするかは、プログラムのロジックを変更することなく後から指定できる、という特長をもつ。このため、ユーザープログラムのデバッグや性能改良、さらには新しい負荷分散手法の開発に大変適している。PIM/mではこのKL1を高速に実行するハードウェア及びファームウェアを備えている。

以下では、PIM/mのシステム構成、ハードウェア、言語とその実行方式などについて順に説明する。

### 3. ハードウェアアーキテクチャ

#### 3.1 システム構成

最大構成はマルチPSIでは64PEであったが、PIM/mでは16×16、すなわち256PEからなり、これらは1きょう(筐)体に32PEずつ(図1)、合計8筐体に収められる。PE

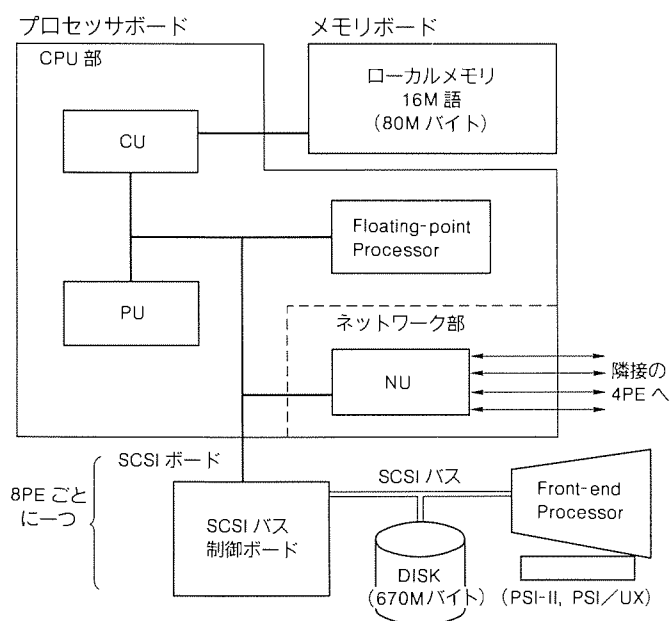


図2. 要素プロセッサのブロック図

表1. 要素プロセッサ(PE)諸元

	PIM/m	マルチPSI
	1枚	4枚
サイクル時間	65ns	200ns
使用LSI	CMOSセルベース 0.8/1.0μm 3種	CMOSゲートアレー 8K/20Kゲート9種
マイクロ命令	64ビット水平型	53ビット水平型
パイプライン	5段	なし
キャッシュメモリ	データ4K語×1 命令1K語×1	データ、命令共通 4K語×1
ネットワークバンド幅	10ビット/チャンネル(ch) 3.84Mバイト/秒・ch	10ビット/チャンネル(ch) 5Mバイト/秒・ch
メモリボード	1枚	4枚
メモリ容量	80Mバイト(16M語)	80Mバイト(16M語)
使用素子	4MビットDRAM	1MビットDRAM

1台当たりの性能はマルチPSIの2～3倍となる。PEはメモリとプロセッサの2枚のボードから構成される(図2)。メモリボードは4MビットDRAMを使用することによって80Mバイトの容量を実現している。プロセッサボードはCPU部とネットワーク部からなり、PU(Processing Unit), CU(Cache Unit), NU(Network Unit)の三つのCMOSセルベースLSI、及び周辺回路から構成される。8PEごとに一つのPEには入出力用SCSIバスの制御ボードを通して670Mバイトの内蔵磁気ディスクやフロントエンドプロセッサ(FEP)などが接続される。FEPには“MELCOM PSI-II”若しくは“MELCOM PSI/UX”<sup>(4)(5)</sup>が用いられる。これらは大容量データベースや高度なマンマシンインタフェースを必要とする応用システムに活用される。

要素プロセッサの諸元をマルチPSIのそれと比較して、表1に示す。

#### 3.2 CPU部<sup>(6)</sup>

CPUは論理型言語専用開発された2種類のLSI(PU, CU)から構成され<sup>(注1)</sup>、5段のパイプライン、水平型マイクロプログラム制御、タグアーキテクチャ(8ビットタグ+32ビットデータの40ビット/語)、及びデータと命令にそれぞれのキャッシュメモリを配したハーバードアーキテクチャが特長となっている。KL1言語の実行速度は後述のappendプログラムで530K LIPS(Kilo Logical Inference Per Second)に達する。

5段のパイプライン(図3)の各ステージの機能は以下のとおりである。

D: 命令キャッシュから読み出された機械語命令(後述)のデコードを行う。すなわち、機械語命令コードからオペランドのタイプ(レジスタ、即値、メモリアクセス)やオペランドに対する処理を決定する。

A: メモリアクセスオペランドのアドレス計算を行う。次命令若しくは分岐先命令のフェッチも行う。なお、分岐予測が失敗した場合や予測が不可能な場合には、Eステージの指示によって再フェッチが行われる。

R: Aステージで計算したアドレスに従って、必要であれば主記憶上のオペランドを読み出す。

S: Eステージでのマイクロ命令の読出し、オペランドのセットアップ、及びデレファレンス機能がある。デレファレンスとは変数の参照ポインタの連鎖をたどることで、このステージには、Rステージで読み出したデータが更に他の変数セルへの参照ポインタである場合に、この連鎖の末端まで自動的にたどり続ける機能が備えられている。

(注1) PU及びCUは国からの成果移転を受け、当社のAIワークステーション“MELCOM PSI/UX”の推論部にも使用されている。

E：機械命令の主な処理を64ビット幅のマイクロプログラムで実行する。マイクロ命令は32K語の高速のマイクロ制御メモリに格納され、毎サイクル読み出されて実行される。図4はマイクロ命令フォーマットである。条件分岐、内部レジスタ間データ転送、レジスタ間演算、キャッシュアクセス、条件フラグ設定、内部カウンタ操作などが1命令で同時に行える。特に、タグ値などの判定から分岐完了までが2サイクルで行えるため、KL1プログラムの実行のように動的な判定が頻繁な処理には大変有効である。

### 3.3 ネットワーク制御部

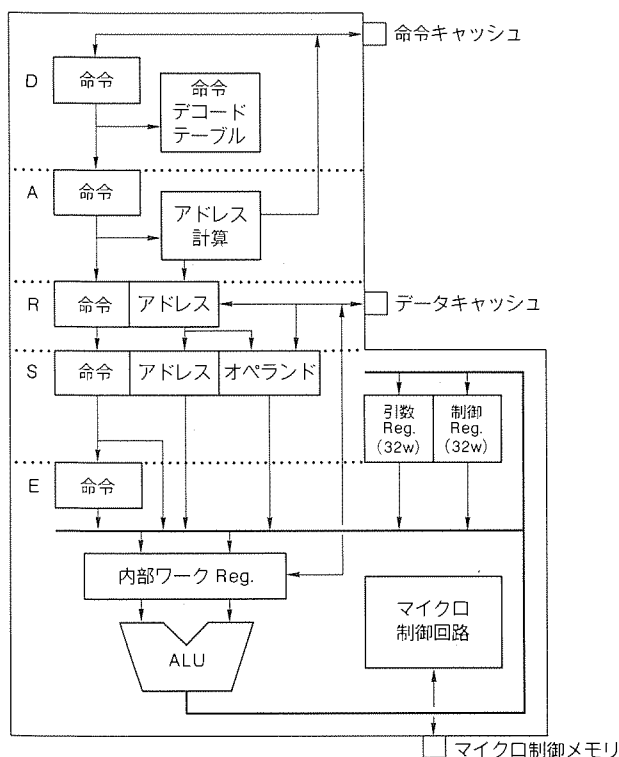
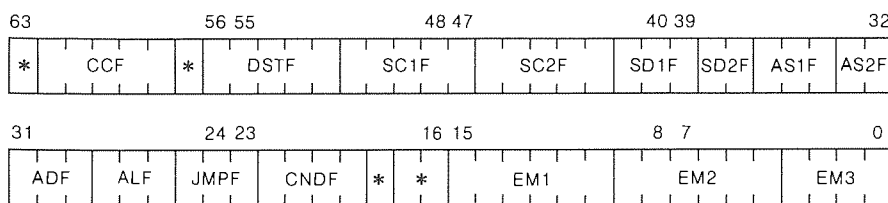


図3. 要素プロセッサの5段パイプライン



CCF<5>：キャッシュ/メモリ制御  
DSTF<5>：引数/制御レジスタ セット指定  
SC1F<5>：引数/制御レジスタ 選択指定(1)  
SC2F<5>：引数/制御レジスタ 選択指定(2)  
SD1F<3>：内部ワークレジスタ セット指定(1)  
SD2F<2>：内部ワークレジスタ セット指定(2)  
AS1F<3>：ALU 左入力レジスタ指定  
AS2F<2>：ALU 右入力レジスタ指定

ADF<3>：ALU 出力レジスタ指定  
ALF<3>：ALU オペレーション制御  
JMPF<3>：分岐オペレーション制御  
CNDF<4>：分岐条件制御  
EM1<6>：即値/オペレーション修飾子(1)  
EM2<6>：即値/オペレーション修飾子(2)  
EM3<4>：即値/オペレーション修飾子(3)  
\*<計5>：条件フラグ設定、カウンタ操作

図4. 要素プロセッサのマイクロ命令フォーマット

PE 間を接続するネットワーク制御回路 (NWC) は NU を中心に構成される。NWC には隣接4方向の PE、及び自 CPU のための5組の双方向通信チャンネルが接続されており、PE 間メッセージの送受信及び転送を制御する (図5)。各チャンネル幅は10ビットで、9本のデータ線、1本の busy 線 (逆方向) からなる。各チャンネルのバンド幅は3.84 M バイト/秒である。

図6はメッセージパケットの形式を表す。データ線の上位の2ビットにより、メッセージパケットの先頭バイト (以下“ヘッダ”という。)と最後尾バイト (以下“テール”という。)が判別される。NWC はヘッダにあるあて先 PE 番号を読み取り、内部のルーチング用のテーブルを参照することによって転送すべき方向を決定する。

そして、その方向のチャンネルが“busy”でなければそのチャンネルにメッセージパケットを転送する。この時、そのチャンネルはメッセージテールの転送完了まで保持される (“wormhole”ルーチングという)。あて先 PE 番号が自 PE である場合は NWC 内のリードバッファに取り込み、テールまでの取り込みが完了すると CPU に割込みを上げ、メッセージの解釈を要求する。CPU では KL1 プログラムの処理の適当な区切りでこの割込みを処理する。CPU のメッセージ送信は NWC のライトバッファに一つの完全なメッセージを書き込み終わることにより、自動的に開始される。

このように、NWC は CPU から出入りするメッセージの操作を行うだけでなく、通り過ぎるメッセージの転送も CPU に負担をかけずに自動的に行うため、遠距離にある PE 間の通信を円滑に行うことができる。

## 4. 並列論理型言語 KL1

大規模な知識情報処理システムを実現するには、プログラムの生産性や保守性が非常に重要となる。並列論理型言語

KL1 (Kernel Language version 1) (図7) は、並列でかつ複雑な問題を効率良くプログラミングできることをねらった高レベル並列言語で、PIM の核言語 (ハードウェアとソフトウェアとのインタフェース言語) として ICOT で開発された。並列論理型言語 Flat GHC (Flat Guarded Horn Clauses)<sup>(7)</sup> にシステム記述やスケジューリング及び負荷分散指定のための機能を付加したものである。

KL1 は並列言語として次の特長をもっている。

- (1) 同期は、未束縛変数への値の代入を待ち合わせる機能で実現される。
- (2) 通信は、変数値の読出し時に言語

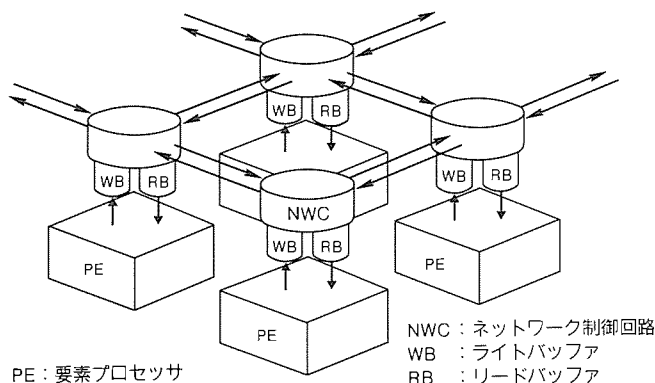


図5. ネットワーク制御回路(NWC)による  
プロセッサ間結合

機能として自動的に行われる。

(3) 論理変数の特長である単一代入規則により、いったん定まった変数値は変化しないことから、他 PE への値のコピーが許される。したがって、2 回目以降の変数値の読出しには PE 間通信が省略できる。

(4) 負荷分散は“プラグマ”と称する KL 1 述語呼出し時の付加情報で行われるため、プログラムの論理的な意味を変えずに負荷分散を指定・変更できる。

(5) メモリ領域の割付けや再利用も言語機能として自動的に行われる。これらにより、従来の手続き型言語に並列機構と同期機構を加えたようなものに比べ、同期のタイミングバグなどに煩わされることが非常に少なくなる。

## 5. KL 1 実行処理方式

KL 1 プログラムは Prolog での WAM<sup>(8)</sup>に相当する抽象機械語命令にコンパイルされ<sup>(9)</sup>、PE のマイクロプログラムによって直接解釈実行される。図 8 はリストの結合を行う KL 1 プログラムの抽象機械語命令へのコンパイル例である。switch 系、wait 系及び read 系の命令が変数の待ち合わせと値のチェックを行い、get 系及び write 系の命令が主に未定義変数への値の代入を行う。put 系命令は変数値を引数レジスタに用意する。

他 PE への KL 1 ゴールの送出にも専用機械語命令が用意されており、マイクロプログラムで解釈実行される。なお、送出先 PE での KL 1 ゴールの実行に必要なプログラムコード、データなどは必要になった時点で自動的にコピーが送られ、不要になったものは廃棄される。そして、空いたメモリ領域は再利用される。ゴール実行のための資源管理やゴールの終了報告なども言語表層以下の言語処理マイクロプログラムによって PE 間通信を用いて行われる<sup>(10)</sup>。

以上のように、メモリ管理やプロセス管理のような従来のオペレーティングシステムの基本機能を並列に制御する部分だが、言語機能の一部としてマイクロプログラムによって効率良く行われ、その上位に位置する PIM のオペレーティング

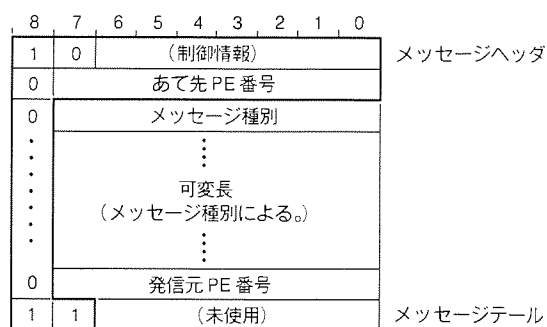


図6. メッセージパケットのフォーマット

[述語 goal の定義]

goal(X, Y) : - X > 0 | goal1(X, Y), goal2(Y, Z). . . . クローズ1  
goal(X, Y) : - X <= 0 | goal3(X, Y), goal4(Y, Z). . . . クローズ2

ガード部

ボディー部

並列論理型言語 KL1によるプログラムは複数のクローズからなる述語定義の集まりからなる。| (bar) の左側の条件(ガード部)が最初に成立したクローズが選ばれ、他のクローズの実行は放棄される。値が決まっていない変数の条件を調べようとして、クローズが選択できなかった場合はその述語呼出しはサスペンドされる。選ばれたクローズのボディー部ゴール(goal1 と goal2, 又は goal3 と goal4)は並列に実行され、ゴール間の共有変数(上の例では Y)によって通信や同期が行われる。ゴールにはユーザー定義(他の述語を呼び出す)、システム定義(算術演算を行うようなあらかじめシステムが提供している述語を呼び出す)、及びボディーユニフィケーション("X=f(Y)"などのように表記し、変数への値の代入に用いられる。)がある。

図7. 並列論理型言語 KL 1

システム (PIMOS<sup>(11)</sup>) という。) やユーザープログラムへの負担が軽くなるよう考慮されている。

## 6. む す び

効率の良い並列実行のためにはどのようなタイプの問題に対しても、以下のようなことが必要となる。

- (1) 並列度が高く、通信が1か所に集中しないように分散したアルゴリズム
- (2) どのプロセッサもできるだけ遊ばせないようにする負荷分散
- (3) (探索型の問題に対しては) 無駄になってしまうような見込み計算を最低限で済ますスケジューリング

並列アルゴリズム、負荷分散などの問題のほかにも並列プログラミング言語の設計・改良、デバッグ環境の充実、故障に対する耐久性の増大など、並列処理技術の行く手には難しい課題が山積しており、並列ハードウェアの研究と足並みをそろえて一步一步進めていく必要がある。

現在 PIM/m 上では、KL 1 言語処理マイクロプログラム

```

append([X | L1], L2, L) :-
    true | L = [X | L0], append(L1, L2, L0).
append([], L2, L) :-
    true | L = L2.

```

(a) KL1 プログラム例

```

%%%3つの引数値が引数レジスタ R1~R3にセットされて、app/3が呼出される

app/3 : try_me_else app/s          % 中断または失敗時の飛先を制御レジ
                                   % スタ AP にセット

    switch_on_non_list      R1, app/n % R1が List なら次、それ以外なら app/n
                                   % ただし、未定義なら AP に分岐

    read_variable           R4        % 入力 List の CAR 要素を R4に取り出す
    read_variable           R5        % 入力 List の CDR 要素を R5に取り出す
    put_reused_structure    R1, R2, 2 % 入力 List の cell 回収が可能なら再利用
                                   % 回収不可なら新しい List cell を割付

    write_value             R4        % 出力 List の CAR に R4を書き込む
    write_variable          R4        % 新しい変数 cell を割付け、それへのポ
                                   % インタを出力 List の CDR と R4に書込む

    get_bound_value        R3, R1    % R3と R1(出力 List)をユニファイする
    put_value               R1, R5    % R1に R5をセット
    put_value               R3, R4    % R3に R4をセット
    execute                 app/3     % app/3を再帰呼出し

app/n : wait_nil            R1        % NIL なら次、それ以外なら AP に分岐
    get_value               R2, R3    % R2と R3をユニファイ
    proceed                 % このクローズは終了し、他のゴール
                                   % を実行

app/s : suspend            app/3     % 中断か失敗かの判定とそれぞれの処理

```

(b) KL1B 命令列へのコンパイル例

図 8. リストを結合する KL1 プログラムのコンパイル例

の評価・改良のほか、ユーザー管理・ファイル管理・資源管理などを行いプログラム環境を提供する並列オペレーティングシステム PIMOS の機能拡張などを ICOT と協力して進めている。また、並列応用プログラムとしては、遺伝子情報処理の一環としてのたん(蛋)白質構造解析プログラム、判例を用いた法的推論システム、LSI-CAD システムの一環としての論理シミュレータ・セル配置プログラム・配線プログラム、囲碁システム、定理証明システムなどの開発が行われており、より実用的な並列処理システムに向けての研究が進められている。PIM/m 上でのこれらの成果が将来の並列計算機の進歩への大きな足掛かりとなることを期待したい。

最後に、PIM/m の研究開発に際して御指導をいただいた ICOT 研究部内田俊一郎長を始めとする関係各位に深く謝意を表す次第である。

## 参 考 文 献

(1) Goto, A., Sato, M., Nakajima, K., Taki, K., Matsumoto, A. : Overview of the Parallel Inference Machine Architecture (PIM), Proc. of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems, 208~

229 (1988)

(2) Taki, K. : The Parallel Software Research and Development Tool : Multi-PSI System, Programming of Future Generation Computers, Elsevier Science Publishers B. V. (North - Holland) (1988)

(3) 益田嘉直, 中川智明, 岩山洋明, 武田保孝, 中島 浩, 瀧 和男 : (財)新世代コンピュータ技術開発機構向けマルチ PSI システム, 三菱電機技報, 62, No. 12, 1100~1105 (1988)

(4) 湯浅維央, 上田尚純, 松本 明 : 三菱 AI ワークステーション《MELCOM PS I/UX シリーズ》の概要と特長, 三菱電機技報, 65, No. 6, 594~601 (1991)

(5) 益田嘉直, 田辺隆司, 池田守宏, 深沢雄, 岩山洋明, 中島 浩 : 三菱 AI ワークステーション《MELCOM PSI/UX シリーズ》のハードウェアシステム, 三菱電機技報, 65, No. 6, 602~607 (1991)

(6) Nakashima, H., Takeda, Y., Nakajima, K., Andou, H., Furutani, K. : A Pipelined Microprocessor for Logic Programming Languages, Proc. of the International Conference on Computer Design, 355~359 (1990)

(7) Ueda, K. : Guarded Horn Clauses : A Parallel Logic Programming Language with the Concept of a Guard, Technical Report TR-208, ICOT (1986)

(8) Warren, D. H. D. : An Abstract Prolog Instruction Set, Technical Note 309, Artificial Intelligence Center, SRI (1983)

(9) Kimura, Y., Chikayama, T. : An Abstract KL1 Machine and its Instruction Set, Proc. of the Symposium on Logic Programming, 468~477 (1987)

(10) Nakajima, K., Inamura, Y., Ichiyoshi, N., Rokusawa, K., Chikayama, T. : Distributed Implementation of KL1 on the Multi-PSI/V 2, Proc. of the Sixth International Conference on Logic Programming, 436~451 (1989)

(11) Chikayama, T., Sato, H., Miyazaki, T. : Overview of the Parallel Inference Machine Operating System (PIMOS), Proc. of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems, 230~251 (1988)

# スポットライト 気中変電所故障点標定システム

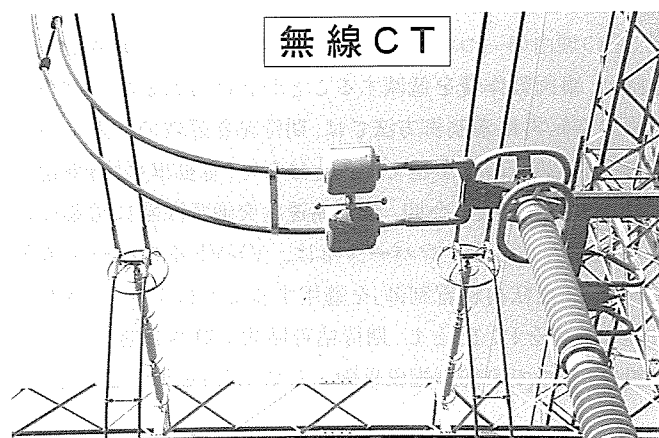
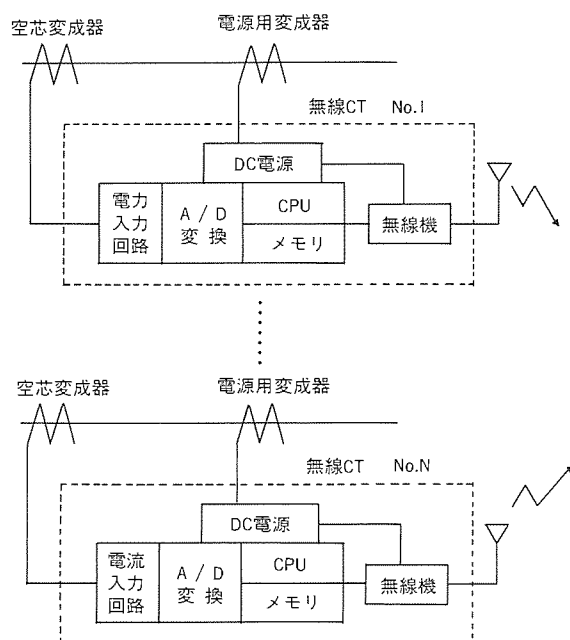
現在、変電所の母線で万一故障が発生すると、母線保護リレーにより故障母線を判別し、除去されます。この時、故障母線の健全区間も停止するために、早期復旧して停電時間を短縮する必要があります。しかし現状は、現地に出向し目視により故障点を確認するため、復旧するのに長時間を要しています。そこで今回、気中変電所を対象とし、通電電流を検出する装置（以下“無線CT”という）を母線に取り付け、無線によりデータ伝送し故障点を標定するシステムの開発の見通しを得ました。なお、この開発は中部電力㈱殿の御指導を受け、共同研究によって行ったものです。

装置構成は、下図の〈構成〉に示すように、変電所の母線故障発生時、母線に流れる電流を検出する無線CT及びその検出データに基づいて故障点を標定する地上局から成ります。なお、無線CTの検出電流としては、直接接地系の最大故障電流が検出可能です。

無線CTは、母線導体に接地し、空芯変成器で検出した電流信号を演算回路の12ビットのA/D変換器により30°間隔でサンプリングし、メモリに常時数十サイクル分最新データを格納します。万一の母線故障時は、地上局が母線保護リレーからの信号入力をトリガにして無線CTに対して指令を送信し、サンプリングを停止させて故障時のデータを地上局へ送信します。地上局は、無線CTから送信されてきたデータに基づいて電流差動方式により演算処理を行い、故障点を標定します。

本装置は、工場において高電圧課電試験、定格電流通電試験、短時間電流通電試験（気中アーク試験を含む）などの検証試験を実施後、平成3年10月から中部電力㈱駿遠変電所の275kV1回線に設置し、耐環境性、安定性検証のためフィールド試験中です。

## 構成



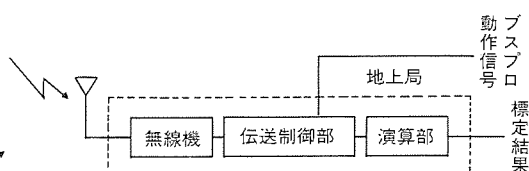
故障点標定装置

## 特長

- 検出方式として、母線故障時に発生する光、音及び電磁波でなく母線に流れる故障電流を直接検出するため、確実な標定が可能です。
- 無線CTは二分割構造をとっているため、主回路を改造することなく取付けが容易です。
- 検出した電流情報を無線で課電部から地上側へ送るので、支持碍子などを使用しないため対地絶縁が不要となり、絶縁劣化の心配がありません。

## 仕様

行	部 位	仕 様
1	電 源 部	・電源用変成器により一次電流(母線)から供給 ・充電式バッテリー内蔵(母線故障時使用)
2	電流検出部	・空芯変成器を使用 ・自相(他導体)、他相の影響に対するシールド構造
3	演 算 部	・電流情報を30°サンプリングし、常時最新データをメモリに格納 ・低消費電力化
4	無 線 部	・電力保安用通信周波数及び他の無線局使用周波数の空き周波数を使用 ・微弱電波を使用 ・混信対策として再送方式を使用
5	アンテナ	・電界強度緩和を考慮した形状
6	多導体母線への取付け	・複数の空芯変成器を合成して電流検出する
7	地上局	・演算部、無線部は、1セット/1相とする
8	地 上 部 演 算 部	・標定アルゴリズムは、回線ごとに検出電流のベクトル和をとり、電流差動方式で判定

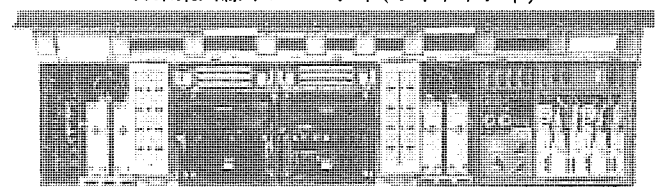


# スポットライト 空転再粘着制御 VVVFインバータ装置

近年、鉄道車両としてインバータ車が普及してきていますが、その理由の一つに優れた粘着性能を実現して動力集中化を図り、車両製作費を低減することがあげられます。しかし、従来の空転再粘着制御方法では、期待粘着係数の設定は18%～19%で、20%の壁を越えることはなく、電動車/付随車比率も最大1:1でした。今回、帝都高速度交通営団に営業投入された05系東西線インバータ車は、VVVFインバータ装置に新方式「空転再粘着制御」を適用することにより、電動車/付随車比率を1:1.5とし、期待粘着係数が21%を越える(21.5%設定)初めての10両編成車両として、好評を博しています。



05系東西線インバータ車(ワイドドア車)



VVVFインバータ装置

## 特長

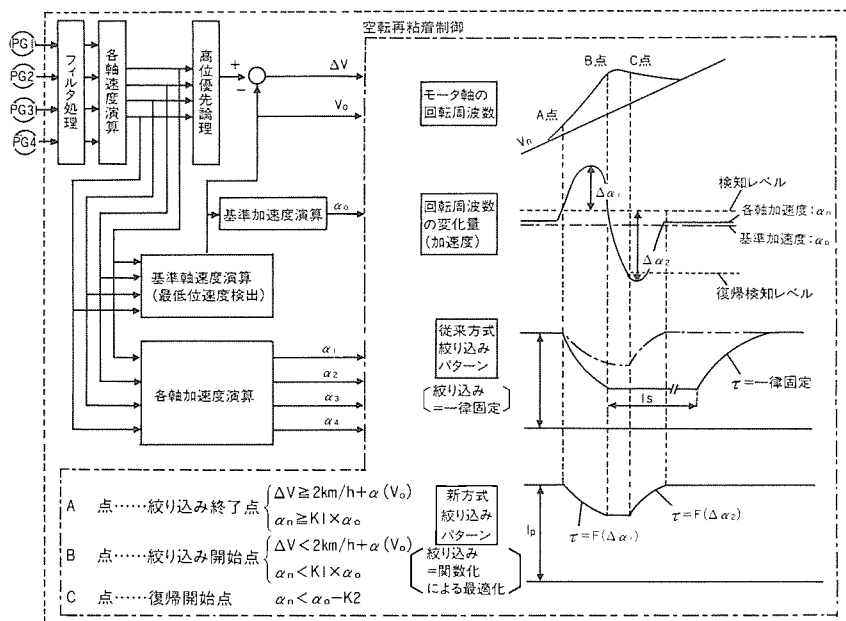
### ●空転検出方法

- (1) $\Delta f_M$  検出：速度により検出レベルを補正し、検出精度を向上
- (2) $\Delta f_M / \Delta t$ ：基準加速度の常時演算による最適検出レベルの設定

### ●空転再粘着制御方法

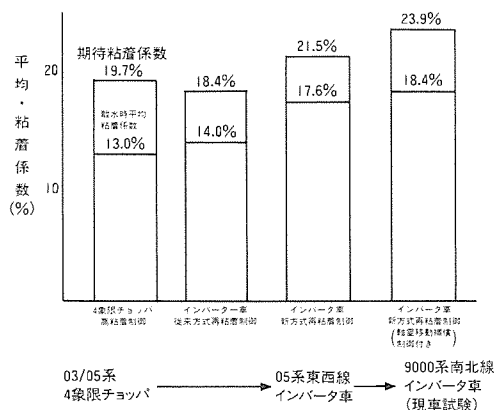
電流パターン絞り込み時定数の関数化による最適制御

## 空転再粘着制御ブロック図



## 空転再粘着制御方式の

改善による粘着性能の向上



## 1.05系東西線インバータ車主要諸元

項目	内容
電気方式	直流1500V 架空線式
編成	4M6T (CT1x-M1'x-M2x-TCx-TC'x-T'x-Tx-M1x-M2'x-CT2x)
車両性能	加速度：3.0km/h/s(期待粘着係数：21.5%) 減速度：3.5km/h/s(常用最大)、5.0km/h/s(非常) 最高速度：110km/h(地上)、70km/h(地下)
制御容量	200kW 誘導電動機 4台×2群(永久並列接続) 最大1900kVA×2群
制御方式	VVVFインバータによる自動化減速制御方式 電力回生ブレーキ付、V/f一定、定トルク制御付
周波数制御範囲	1～200Hz (非同期→9→5→3→1パルスモード切換)
電圧制御範囲	AC 0～1400V



# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
特許営業グループ Tel/(03) 3218-2137

## 光磁気記録再生装置 (米国特許 第5,025,430号)

発明者 田所通博, 岡田和夫, 今井 均

この発明は、オーバライト可能な光磁気記録再生装置に関するものである。

従来の装置は図1に示すように、磁性体層である第1層(1)と第2層(2)から成る。ここで、第1層(1)、第2層(2)の特性は、キュリー温度(強磁性から常磁性へ遷移する温度)を $T_C$ 、保磁力を $H_C$ とすると、 $T_C$ (第1層)  $<$   $T_C$ (第2層)、 $H_C$ (第1層)  $>$   $H_C$ (第2層)の関係になっており、オーバライトを行う際において、初期化磁石(4)による外部磁界を $H_i$ とすると、 $H_i < H_C$ (第1層)、 $H_i > H_C$ (第2層)の関係を有している。情報“1”を記録するときは、レーザ光(5)の照射温度 $T_L$ を、 $T_C$ (第1層)  $<$   $T_L <$   $T_C$ (第2層)となるよう制御すれば、第1層は消磁し、第2層の磁化方向が転写され、情報“0”を記録するときは、 $T_C$ (第1層)  $<$   $T_C$ (第2層)  $<$   $T_L$ とすれば、第1、第2層にはバイアス磁石(6)の外部磁界が転写される。しかし、この方式ではバイアス磁石(6)が不可欠で、構造の複雑化と面振れの影響が避けられなかった。

この発明では、図2のように、各磁性層を第1、第2の他、第3層(3)を積層し、かつレーザ光を三段階に制御するようにしたものである。ここで、キュリー温度： $T_C$ (第1層)  $<$   $T_C$ (第2層)  $<$   $T_C$ (第3層)、保磁力： $H_C$ (第1層)  $>$   $H_C$ (第3層)  $>$   $H_C$ (第2層)、または $H_C$ (第1層)  $>$   $H_C$ (第2層)かつ $H_C$ (第3層)  $>$   $H_C$ (第2層)で

あり、初期化磁石に対し、 $H_i < H_C$ (第1層)、 $H_i > H_C$ (第2層)、 $H_i < H_C$ (第3層)の特性を与えるとすると、情報“1”の記録には、レーザ照射光強度 $T_L$ を $T_C$ (第1層)のみ超え、情報“0”では、 $T_C$ (第3層)及び $T_C$ (第2層)を超えるように制御する。その結果、第3層が従来方式におけるバイアス磁石と同様に作用し、2値化情報のオーバライトが可能になる。

以上のようにこの発明によれば、従来のバイアス磁石が全く不要になり、装置の構造が簡易化し、しかも面振れの影響のない安定した光磁気記録再生装置を提供できる。

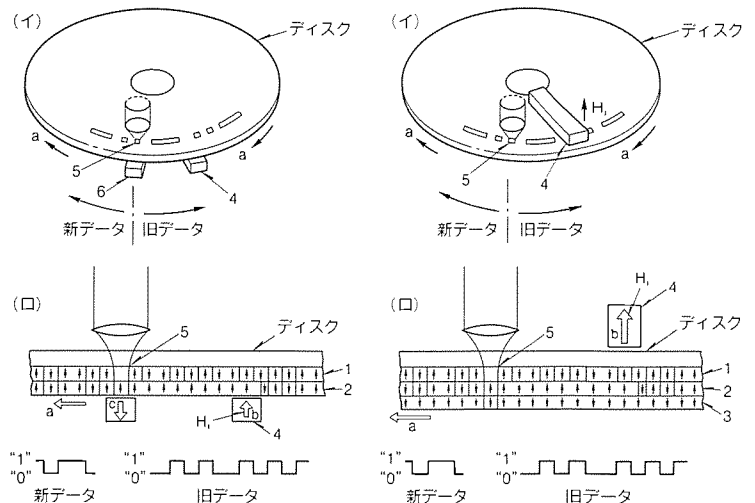


図1

図2

## 空調換気装置 (実用新案 第1773174号)

考案者 森 吉晴

この考案は、送風機により形成される給気流と排気流とを熱交換器に通して熱交換させる比較的大型の空調換気装置に関するものである。

この種の比較的大型の空調換気装置は、天井裏空間に吊り固定され、ダクトを接続して屋外と連絡させる取付け形態を採るものが多く、保守・点検する場合、化粧パネルと熱交換器を取り外し、熱交換器の奥に位置する給気流入口端と給気フィルター及び排気流の出口端部の清掃等を実施しており、熱交換器の取外し及び装着は、装置が大型であればあるほど困難で、保守・点検を煩わしいものにしてきた。本考案は、このような欠点を解消するためになされたもので、図1の本考案の実施例に示すように、方形箱型の本体(1)の下面開口部の内方に収められた四角柱状の熱交換器(2)は、その稜線部

(9)の一方に蝶番(11)を介して、本体(1)の取付金具(10)に取り付けられ、開口部に向かって回転できるように蝶着されており、これに対向するもう一方の稜線(9)は、本体(1)の前面内面に取り付けられた取付金具(12)にねじ(13)の締付けによって取り付けられている。

以上のようにこの考案によれば、化粧パネルを取り外し、熱交換器の係止めを外すだけで熱交換器の奥に位置する給気フィルター等を清掃できるため、容易に保守・点検が可能な空調換気装置を提供できる。

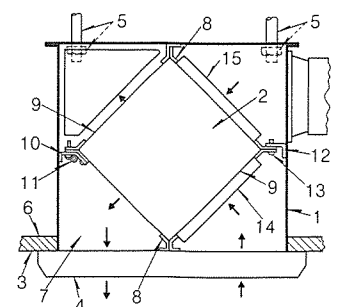


図1



# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
特許営業グループ Tel (03) 3218-2137

## 端子台 (実用新案 第 1841352 号)

考案者 樋口芳則, 柴田隆夫

この考案は、電圧切替えを行う電動機等に用いる端子台の構造に関するものである。

この種の電動機の端子台は、電源端子片と中性点端子片が交互に配置されており、絶縁台の絶縁隔壁の高さや間隔は各接続線端の充電部間の絶縁距離を規格値以上とする必要性と、電源端子片に接続される外部リード線の端子金具との結線の作業性を考慮せねばならないため、端子台は大きくならざるを得なかった。

この考案は、このような欠点を解消するためになされたもので、図1及び図2の実施例に示すように、絶縁台(102)の絶縁隔壁(114)間に、広部と狭部を持つ電源端子片(118)と中性点端子片(120)を交互に配置し、電圧切替え時結線作業する電源線(28)、短絡片(36)等外部リード線用端子(24)(32)は広部、電圧切替え時結線作業しない内部リード線(26)(34)用の端子(22)(30)を狭部に配置することにより、作業性を損なわずに横方向の寸法を減少させた。また、絶縁台

(102)には段差を交互に形成し、電源端子片(118)と中性点端子片(120)をこの段差に沿うように曲折させ、隣接端子間の絶縁距離を水平方向だけでなく垂直方向にも形成し、外部リード線用の端子を高位置に配置することにより、作業性を損なわずに縦方向の寸法を減少させた。

以上のようにこの考案によれば、作業性を損なうことなく、小型の端子台を提供できる。

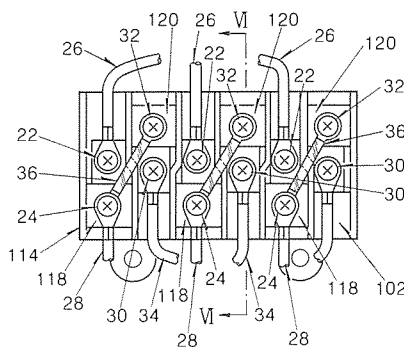


図 1

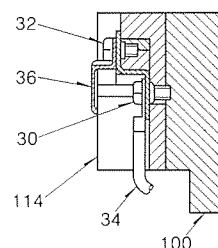


図 2

### <次号予定> 三菱電機技報 Vol. 66 No. 7 計測・制御技術特集

#### 特集論文

- 計測制御への期待—エネルギー社会よりエントロピー社会へ—
- 計測制御技術の展望
- 計測制御におけるユーザーインターフェース
- 宇宙ロボットの制御技術
- 電子系統制御・保護システム
- 工業プラントの知的制御・エキスパートツールとセメントキルン制御への適用事例
- サーボ系のオートチューニング
- 次世代汎用インバータ《FREQROL-Aシリーズ》
- 家電製品への知的制御技術の応用

#### ●交通流画像計測

- 半導体ウェーハ微細パターン検査

#### 普通論文

- クライアントサーバシステム通信ソフトウェア—(I)端末通信管理プログラム編—
- クライアントサーバシステム通信ソフトウェア—(II)サーバ通信管理プログラム編—
- 三菱新統合OAシステム
- 三菱新統合OAシステムを利用した中部電力(株)納め工事・資材・経理統合システム
- 鉄鋼プラントにおけるエキスパート技術を用いた操業支援システム
- 四国電力(株)讃岐開閉所納め自動巡視ロボット

#### 三菱電機技報編集委員

委員長	山田 郁夫
委員	永田 譲蔵
〃	福岡 正安
〃	谷 豊文
〃	風呂 功
〃	大原 啓治
〃	松村 恒男
〃	名取 直幸
〃	吉岡 猛
〃	鳥取 浩
〃	岡田 久雄
幹事	長崎 忠一
6月号特集担当	尾関 龍夫

#### 三菱電機技報 66 巻 6 号

(無断転載を禁ず)

1992年 6月22日 印刷

1992年 6月25日 発行

編集兼発行人	長崎 忠一
印刷所	千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01) 菱電印刷株式会社
発行所	東京都港区新橋六丁目4番地9号 北海ビル新橋 (〒105) 三菱電機エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」 Tel. (03) 3437局2692
発売元	東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 3233局0641代, 振替口座東京 6-20018
定価	1部 721円 (本体 700円) 送料別 年間予約は送料共 9,373円 (本体 9,100円)



# (株)長大本社殿納め スポットライト 土木設計EOSシステム

’90年代の潮流といわれる“ダウンサイジング”の典型的なシステム構築例である本システムについて、その特長を紹介します。このシステムは、土木設計業務(設計計算、図面処理、文書処理、土木CADソフトウェア開発等)を行うためのものであり、これまで運用されてきた汎用機システム(COSMO800)を、三菱エンジニアリングワークステーション(MEシリーズ)の分散システムにリプレースしたものです。

## 特長

- ホスト集中機能を分散したことにより
  - a) システム全体のスループット向上 (従来の3倍)
  - b) 各部門/利用者ごとにシステム資源を効率的に配置
  - c) 各業務の繁忙期にも他の処理性能に影響を及ぼさない
  - d) 各業務の拡張に応じて任意に増設が可能
- ダウンサイジングにより
  - a) 省コスト (従来の50~70%)、省スペースを実現
  - b) 従来システムの業務稼働と並行して移行を実現
- 操作及び運用管理のカスタマイズツール整備により
  - a) 従来の操作及び運用管理方式からの容易な移行を実現
- 綿密な技術コンサルティングと移行計画により
  - a) 短期間でソフトウェアを移植完了 (5か月/160万step)
  - b) 短期間でシステム切り替えを実現 (8か月で工事完了)

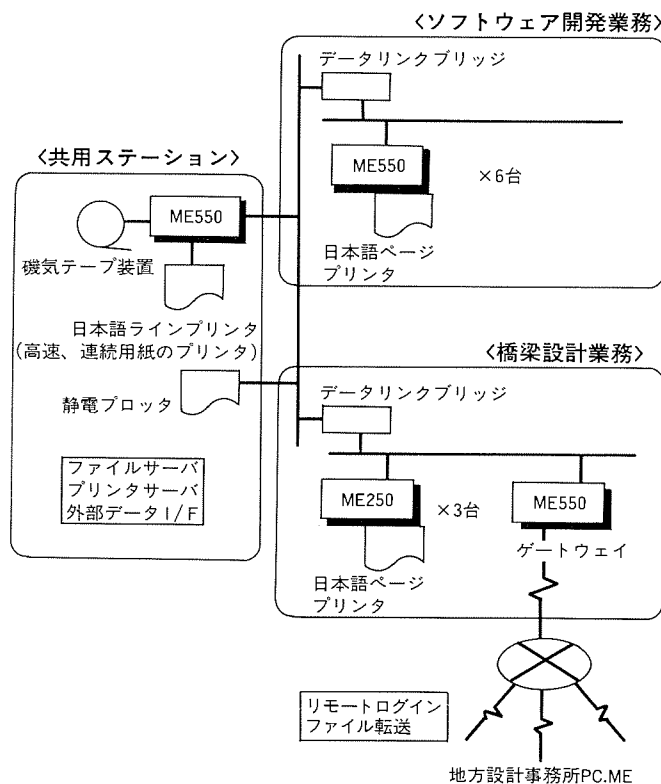


単一ホスト集中型システム



EWS11台の分散システム

## システム概略構成



## 旧システムと新システムの仕様比較

項 目	旧システム	新システム
システム形態	単一ホスト集中型システム	EWS11台の分散システム
CPU	1台	11台
ディスク総容量	総容量 1.2GB	総容量 8.6GB
処理形態	バッチ処理/TSS処理	業務別及び機能別の分散処理
印刷処理性能		
連続用紙プリンタ	LP(580行/分) 3台(テキスト専用)	NLP(1250行/分) 1台(高精度の図面印刷可)
ページプリンタ	NPP(10枚/分) 1台	LBP(8枚/分) 8台
静電プロッタ	1台	1台
運用及び操作	出力結果をマシン室に行って確認、TSS端末からの操作	出力結果を操作時の手で得られる。マルチウインドウシステムによる端末操作