

## 並列記録再生技術

徳丸 春樹

光ディスクに代表される光メモリーは、磁気記録メモリーや半導体メモリーと違ったいくつかの特徴を有する。レーザー光を用いるために高密度記録ができる、非接触記録のためにリムーバブルで信頼性が高いなどの特長をいかして、光ディスクが大きな市場を形成してきた。しかし、本稿の主題であり光の大きな特徴である並列処理は光メモリーではこれまであまり利用されていない。これは、端的に言えば、あまりその必要性がなかったからである。すなわち、光メモリーへ高いデータ転送レートの要求があまりなく、レーザーダイオードアレイ (以下 LDA と記す) などの光源や LDA を使用したマルチビーム記録の記憶装置などの開発が積極的に行われなかった。

ところが、最近光ディスクに対してデータの高転送レート化の要求が大きくなりつつある。これは、コンピュータの処理能力の進歩、ハードディスクの転送レートの向上、高密度化の進展により光ディスクに動画像を記録できるような環境になってきたこと、などの理由からである。これにともない CD-ROM では現在、40 倍速近い高転送レートが実現している。

高転送レート化には、高密度化(短ビット長化)する、光ディスクを高速回転させ線速度を上げる、並列記録・再生する、の3つのアプローチがある。ビット長に関しては、レーザーの光スポット径に依存しており、急速な進展は困難である。CD-ROM などで行われている光ディスクの高速回転はサーボ系の追従性能から限界が存在する。また、相変化記録媒体における結晶化時間など、書き換え可能な記録媒体の高転送レート化には課題も多い。そこで、複数のレーザー光によるマルチビーム記録・再生などの並列処

理が、今後の高転送レート化には有効な手段と考えられる。

一方、広く光メモリーへの利用の点からいえば、並列処理が行われている例はある。2次元像、3次元像の記録である銀塩写真や立体ホログラムである。これら2次元像、3次元像の記録・再生は理想的な並列処理といえるかもしれないが、情報をリアルタイムに高密度に記録し、何度も再生できるような有望な記録媒体は残念ながら現状では存在しない<sup>1)</sup>。また、最近では面発光 LDA と近接場記録を用いた新しい並列記録方式の提案<sup>2)</sup> などもある。本稿では、誌面の都合もあるので、これら以外のビットバイビット方式の光メモリーにおける並列処理に限定して述べる。

### 1. 光メモリーにおける並列処理とその目的

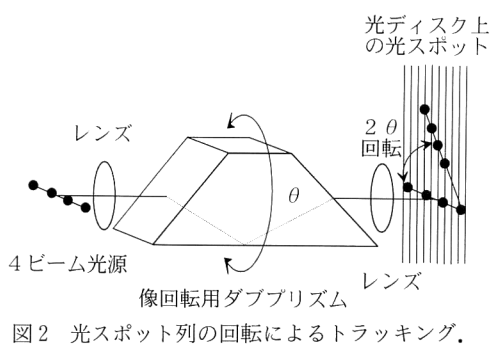
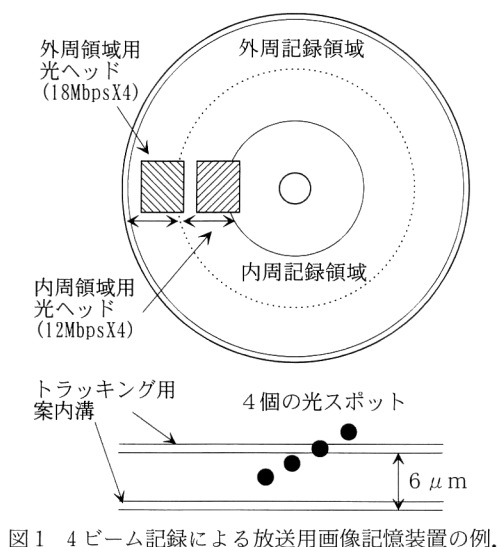
表1に光メモリーにおける並列処理を記録・再生型と再生型に分類して示す。記録・再生型では、これまで、ハイビジョン等の高画質の記録を必要とする放送の分野などでマルチビーム記録を実用化した例<sup>3,4)</sup>がある。一方、再生型では複数ビームを使用する場合と、記録媒体上のある領域(複数のビット)を照明し、その光検出器アレイ上の2次元像から再生する方式が提案されている<sup>5-7)</sup>。これらの並列処理を行う目的は、高転送レート化、アクチュエーターを使用した機械的なトラッキングをなくすこと、隣接トラックの再生信号を利用し隣接トラックからのクロストークを低減することによる高密度化(狭トラックピッチ化)<sup>8)</sup>である。

以下、光ピックアップの形態として記録・再生型と再生型に分けて、代表的な例を紹介し、並列記録・再生の現状と課題について述べる。

NHK 放送技術研究所 (〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11)  
E-mail: tokumaru@str1.nhk.or.jp

表1 光メモリーにおける並列処理の分類。

ヘッド	方法	目的	研究報告例
記録・再生	複数ビーム	高転送レート	光ディスク, 光テープ
再生	複数ビーム 像再生	高転送レート トラッキング クロストーク低減	光ディスク, 光カード, 光テープ

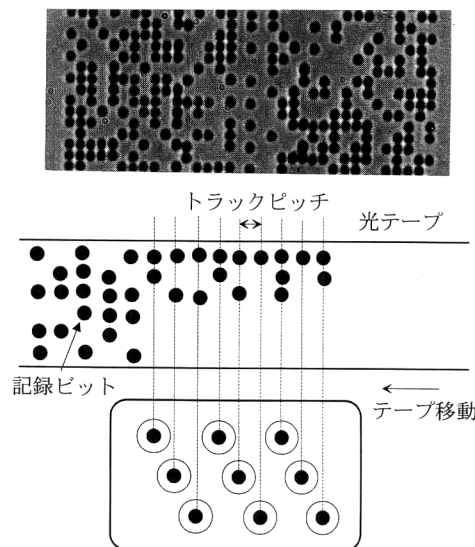


## 2. 記録・再生型

### 2.1 記録・再生型の例

モノリシック LDA を使用しマルチビーム記録により高転送レート化を図った光ディスクに関する2つの例を紹介する。また、1ビーム発振のレーザーダイオード（以下LDと記す）を複数個使用したマルチビーム記録の光テープの例を紹介する。最初の例は、放送用途の画像記憶装置として実用化されたものである<sup>3)</sup>。直径130mmの光磁気ディスクの記録領域を内周領域と外周領域に2分割し、図1に示すようにおのおの記録領域に4ビームのLDA（発振波長830nm、発光点間隔100μm）の光ヘッドを配置する。内周の光ヘッドで48Mbps（megabit per second）、外周の光ヘッドで72Mbps、合計120Mbpsの転送レートを実現

光テープ上の記録ビット写真



している。この転送レートだと標準テレビをデジタル記録したり、ハイビジョン静止画像を高速に記録・再生できる。

光ディスクは、図1に示すように4トラックごとにトラッキング用案内溝が形成された特別仕様となっている。光スポット4個のうち第2番目の光スポットが案内溝上を走査する。光ディスク上で隣接する光スポット間隔は22μm、トラックピッチは1.5μmなので光スポット列は同図に示すように一定の角度傾けて記録を行う。

2番目は、8ビームのモノリシック LDA（発振波長790nm、発光点間隔50μm）を用いて直径30cmの相変化ディスクで300Mbpsという高転送レートをマルチビーム技術により実現した例である<sup>9)</sup>。この実験では、マルチビームならではの2つの技術が使用されている。

1つは、トラッキングのために1ビームの光ディスクで用いられている光スポット列の平行移動に加えて光スポット列の回転を行うことである。これは、光ディスクの半径に依存したトラック間隔の変化、ヘッド移動時の移動誤差、光ディスクの偏心等に起因して、光スポットとトラックの位置ずれが発生するからである。そこで、図2に示す

表2 マルチビーム記録用光源の分類.

光源	概要	特徴	試作, 製品化仕様
モノリシック	単一基板上に LDA を集積化, 実用化例あり	最も小型化可能, 発光点間隔を小さくはできない	発振波長: 近赤外 ビーム数: 2~8 発光点間隔: 50~100 μm
1 ビーム	1 ビームの LD をアレイ化, 実用化例あり	大型化, 組み立て調整困難, 設計に自由度があり, 1 ビーム LD を使用するので安定	発振波長: 830 nm ビーム数: 33
導波路	複数の LD と複数チャンネル導波路を結合	1 ビーム型と同じ特徴だが小型化は可能. 光量損失あり	発振波長: 近赤外 導波路チャンネル数: 8 発光点間隔: 25 μm

ように像回転用のダブリズムを回転させてトラッキングを行っている<sup>10)</sup>. 他の1つは, クロストーク対策である. マルチビームの場合, 電気あるいは光のクロストークにより再生信号が劣化するので, これを防止する必要がある. この例では, 電気, 光のクロストークを他のチャンネルの信号を使用して 14 dB 以上抑圧している.

以上, 光ディスクにおけるマルチビーム記録の2つの例を紹介したが, いずれの場合も1ビームで実現困難な 100 Mbps 以上の高転送レートを実現している. 次に, 光テープの例を述べる.

追記型の光テープを記録媒体とした光テープ装置が実用化されている<sup>11)</sup>. 図3では誌面の都合上1ビーム発振のLDを9個, 2次元的に並べ光源を形成した例を示すが, 同様な方法で33個のLDを使用して光源を形成し, 1インチ幅の光テープ上に1.5 μmピッチで記録できるように結像させている. 33個の光スポットは直線的に光テープ上を走査し, 同図に示すような記録マークを形成する. 33トラックのなかで32トラックはデータ記録に, 1トラックはトラッキングサーボに使用している.

## 2.2 マルチビーム記録・再生の技術課題

ここでは, 前述したマルチビーム記録の例と対応づけながらマルチビーム記録の課題を整理してみたい.

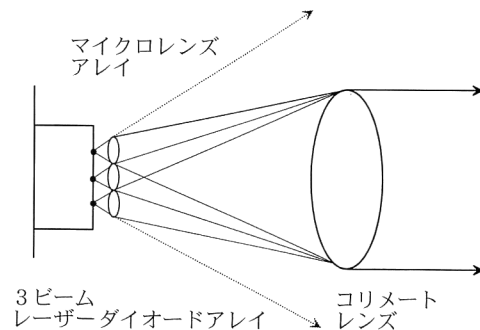
### 2.2.1 光学系とビーム数

現状の光ヘッド光学系では, 対物レンズの使用可能な像高は直径100~200 μm程度である. この値は, レンズの設計・製作上できるだけ小さいほうがよい. 光スポット間隔  $P$  は, 光源の発光点間隔  $L$  と光学系の横倍率  $\alpha$  の積となり, 次式で表せる.

$$P = \alpha L = m \frac{NA_c}{NA_o} L \quad (1)$$

ただし,  $NA_o$ : 対物レンズのNA,  $NA_c$ : コリメートレンズのNA,  $m$ : ビーム整形による横倍率.

ここで, 典型的な光ヘッドがもつ数値  $NA_o = 0.5$ ,  $NA_c = 0.3$ ,  $m = 0.4$  を代入すると,  $L = 50 \mu\text{m}$  の場合, 光スポット間隔は  $12 \mu\text{m}$  となり, 10ビーム程度が限界とな



4ビームの光スポット (4 μm間隔)



図4 マイクロレンズによる光スポット間隔の微小化.

る. そこで, 10ビーム以上の多ビーム化を図るには, 光源の発光点間隔を  $50 \mu\text{m}$  よりさらに狭くする必要がある. しかし, 狭い発光点間隔は動作時の温度上昇による光出力変動や寿命の劣化を引き起こす. このため, 発光点間隔  $50 \mu\text{m}$  以下は困難と考えられる<sup>12)</sup>.

光スポット間隔を小さくする一方法として, NA変換にマイクロレンズアレイを用いて実効的にコリメートレンズのNAを小さくして実現する方法が報告されている<sup>13)</sup>. 図4にその原理を示すが, NAが0.21のマイクロレンズアレイを使用して, 同図に示すように  $4 \mu\text{m}$  の光スポット間隔を実現している.

### 2.2.2 マルチビーム光源

記録用光源としては個別に変調でき, 30 mW程度の高出力が要求される. これまで, マルチビーム記録の光源としては表2に示すようなタイプが報告されている. モノリシックLDAについては,  $50 \mu\text{m}$  発光点間隔の8ビームのものが報告されている<sup>14,15)</sup>. これらのモノリシックLDAは, 温度上昇を少なくするために素子厚を薄くする, 長共

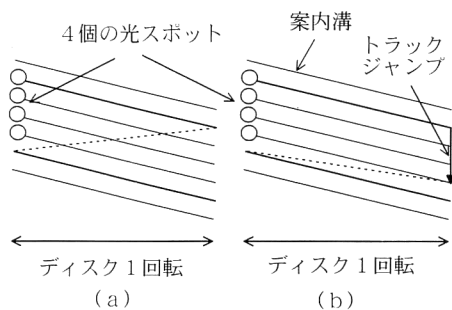


図5 マルチビーム記録時のディスク走査法。

振器構造にする，ヒートシンクを工夫するなど放熱しやすくしている。また，ペルチェ素子を使用して冷却に配慮している場合もある<sup>15)</sup>。

1ビーム発振のLDを使用したものでは，前述した33個のLDを2次元的に並べた光源が光テープ記録用光源として実用化されている。この方式のメリットは，装置は大型化するが，モノリシックLDAの場合は多ビーム化が困難なのに対してビーム数を自由に設定できる点にある。

導波路を使用したもの<sup>16)</sup>は，両者の中間的な位置づけとなるもので，多ビーム化には有効な方法と期待できる。通信用では一般的な技術となっているが，光記録のレーザー発振波長に適した導波路の開発が望まれる。

また，マルチビームの場合は，その光出力の制御法が課題となる。このため，各ビームを順次パルス点灯させ1個の光検出器で各ビームの光出力を制御する時分割制御法が報告されている<sup>17)</sup>。この方法を使えば制御用の光学系，光検出器を1ビームの場合と同じくらいに簡略化できる。

### 2.2.3 フォーカス，トラッキング法

マルチビーム記録のフォーカス，トラッキング法としては，光スポット間隔が広く，各光スポットが検出器上で分離できる場合は，基本的に光ディスクで使用されている方式が使用できる。しかし，光スポットが分離できない場合は，全光スポットから誤差検出することになる<sup>3,18)</sup>。

トラッキングについてもフォーカスと同じ考えで対応することになるが，マルチビームで光ディスクに記録する場合は，前述したように光スポット列の平行移動に加えて像回転によりトラッキングを行う必要がある。これを避ける手段としては，図1に示したような特別仕様の光ディスクの採用が考えられる。

### 2.2.4 クロストーク

多ビーム記録では，チャンネル間の電気，光のクロストークが発生する。前述した $50\mu\text{m}$ 発光点間隔の8ビームLDAを使用した例では，光スポット間隔が近接していること，1チャンネルのデータ転送レートが40Mbpsと高転送

レートであることからクロストーク発生量も多く，その抑圧対策が必要となっている。一方， $100\mu\text{m}$ 間隔の4ビームLDAを使用した低いデータ転送レートの場合は，隣接チャンネルからのクロストークは $-31\text{dB}$ と実用上問題とならないとの報告もある<sup>19)</sup>。

### 2.2.5 光スポット走査方式

マルチビーム記録における複数光スポットの光ディスク上の走査方式としては基本的には図5に示す2方式が考えられる。同図(a)は，ビーム数のスパイラル案内溝を形成したものでマルチビーム仕様のディスクとなる。図1に示した光ディスクは，この方式に属すると考えられる。同図(b)は，通常の1ビーム記録用の単一スパイラル方式にマルチビーム記録を行う場合である。1回転ごとにビーム数と同数のトラックジャンプが必要となる。単一スパイラルのディスクを使用して，1回転ごとに複数のトラックジャンプを行わないように1回転中にこまめにトラックジャンプする方式も提案されている<sup>20)</sup>。

## 3. 再生型

### 3.1 再生型の例

再生型としては，これまで，1ビーム発振の高出力レーザー光を回折格子で複数ビームに分割してマルチビーム再生するもの，複数のビットを2次元的に照明し2次元像としてCCD(charge-coupled device)などに結像して一括して読み出そうとする像再生がある。

最初に，マルチビーム再生について述べる。CD，DVDなど再生型光ディスクは高転送レート化への要求が強く，CD-ROMの高回転化が活発であるが，もともと線速度一定のものを回転数一定で動作させるために，内周ではデータの転送速度は低下する。また，高回転のためフォーカスやトラッキングなどのサーボが不安定という欠点がある。このため，マルチビームにより再生すれば，線速度一定でディスクを回転でき，回転数も上げる必要がないために，ディスク位置に関係なく，安定した状態で一定の高転送レートが可能となる。最近，7本のビームに分割し連続データ転送速度48Mbps(40倍速)が発表された<sup>21)</sup>。詳細については，本誌の「最近の技術から」に掲載されるのでそちらを参照していただきたい。

ビットの2次元像として再生する場合には2つの方式の報告が行われている。トラック方向とトラック幅方向の純粋に2次元パターンとして再生する方式と，トラック方向は回折限界に絞りトラック幅方向は複数のトラックを並列的に再生しようとするものである。

前者の例として，3つの例を紹介する。最初の例は，光カ

ードに関するものである。光カードをレーザー光で走査せずに再生できればトラッキング用の案内溝も不要となり、媒体や再生装置が簡略化される。そこで、LED (light-emitting diode) で光カード上の複数のビットを照明し、CCD で検出する光カード再生方式が報告されている<sup>7,22)</sup>。その方法は、ビット長やトラックピッチに比較して1/5程度の大きさのセルを有する CCD 上にビットパターンを結像し、そのレベルからトラックを認識しデータを再生する。このようにすれば、機械的なトラッキングが不要となり、装置としては小型化・簡略化できる。

2 番目の例は、同じく光カードの例である。最近、名刺大の再生専用型光カードシステムの発表があった<sup>23)</sup>。カード上には 32 KB ごとに約 5,000 の円形ユニットが形成されている。再生装置では各円形ユニットに対応する数の有機 EL (electro luminescence) 発光素子アレイがあり、再生したいデータの存在する円形ユニット専用の EL 素子を発光させ、円形ユニット上のビット像を装置中央部に設置した CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) 撮像素子に結像させ再生する。この方法によれば、機械的な可動部がなくなり、アクセス時間をハードディスク並に短くできる。光の並列性を非常にうまく利用した例といえよう。

3 番目の例は、光テープに関するものである。光テープにトラッキング用の案内溝やピットを形成するのが困難であるため、光テープ上にレーザー光によるトラック幅方向が長い線状ビームを形成して再生を行う<sup>6,11)</sup>。トラック幅方向には 1 トラック当たり 4 個の光検出器を配置しており、トラッキングは検出器を選択して行う。

後者の例としては、DVD から 5 トラック並列再生を行った報告が、本誌の「最近の技術から」に掲載されるのでそちらを参照していただきたい<sup>5)</sup>。

### 3.2 再生型の課題

マルチビームによる再生では、記録・再生型の項で述べたものと同じ課題を有する。一方、像再生の場合は、光の照明領域が回折限界の光スポットを形成する場合に比べて格段に広がる。このため、光源としては光出力の大きなものが必要となる。また、均一な照明が求められる。さらに、使用する光源や記録媒体上の照射領域に依存した光学的な分解能の問題がある。例に挙げた光カード、光テープの場合はいずれも記録密度が比較的低く、ピット検出なので信号強度が大きいために実現できている。DVD の例は、トラック方向には回折限界の光スポットの大きさとなっており、この点の心配はない。像再生の場合は機械的なトラッキングが必要ないなどのメリットがでてくるぶん、高分

解能な再生が困難などのトレードオフが発生することになる。装置としての全体の設計が重要になると思われる。

以上、光メモリーにおける並列処理の利用状況やその技術課題について整理して述べた。並列処理は、光メモリーの高転送レート化や、機械的なトラッキングを不要とする目的などには有効な手段である。放送用途に限っても光ディスクを中心とした光メモリーは重要になってきている。そのためには、光メモリーの高密度化とともに高転送レート化は必須である。夢ではなくなった 1 Gbps (gigabit per second) の実現に向けて並列記録・再生技術の発展に期待したい。

## 文 献

- 1) D. Psaltis: "Applications of holographic memories," *Technical Digest of Joint MORIS/ISOM '97 Th-L-05* (1997) pp. 188-189.
- 2) K. Goto: "Proposal of ultrahigh density optical disk system using a vertical cavity surface emitting laser array," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37** (1998) 2274-2278.
- 3) 中込 隆, 小岩嘉憲, 桑山則忠, 関口一三, 林 明雄: "4 ビーム光学ヘッドを用いた高速光磁気ディスクドライブの開発", 電子情報通信学会技術研究報告, **MR90-31** (1990) 37-44.
- 4) テレビジョン学会編: デジタル AV 規格ガイドブック (オーム社, 1994) p. 91.
- 5) 前田孝則: "1 ビーム並列再生光ピックアップ", *光学*, **2** (1999) 93-94.
- 6) S. Gopalaswamy and B.V.K. Vijaya Kumar: "Readback channel model for an optical tape system," *Proc. SPIE*, **2338** (1994) 222-229.
- 7) K. Toyota, S. Kobayashi, T. Noda, T. Ishii, K. Shino, M. Ishida, M. Yamamura and H. Ooki: "A new optical card requiring no preformatting," *Proc. SPIE*, **1316** (1990) 345-355.
- 8) K. Kayanuma, T. Iwanaga, H. Inada, K. Okanoue, R. Katayama, K. Yoshihara, Y. Yamanaka, M. Tsunekane, O. Okada: "High track density magneto-optical recording using a crosstalk canceler," *Proc. SPIE*, **1316**, Optical Data Storage (1990) 35-39.
- 9) R. Arai, M. Mizukami, T. Tanabe, K. Katoh, T. Yoshizawa, H. Yamazaki, S. Murata, Y. Tanaka and I. Sato: "Feasibility study on high data transfer rate of 300 Mbits/s with 8-beam laser diode array," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32** (1993) 5411-5416.
- 10) R. Katayama, K. Yoshihara, Y. Yamanaka, M. Tsunekane, K. Kayanuma, T. Iwanaga, O. Okada and Y. Ono: "Multi-beam optical disk drive for high data transfer rate systems," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31** (1992) 630-634.
- 11) D. Gelbart: "An optical tape recorder using linear scanning," *Proc. SPIE*, **1316**, Optical Data Storage (1990) 65-68.
- 12) T. Yamaguchi, K. Yodoshi, K. Minakuchi, Y. Inoue, N. Tabuchi, K. Komeda, H. Hamada and T. Niina: "Monolithic four-beam semiconductor laser array with built-in monitoring photodiodes," *Proc. SPIE*, **1043**, Laser Diode Technology and Applications (1989) 17-24.
- 13) H. Tokumaru, K. Arai and N. Kawamura: "Multibeam

- optical system incorporating a microlens array," Jpn. J. Appl. Phys., **35** (1996) 375-379.
- 14) K. Minakuchi, Y. Bessho, Y. Inoue, K. Komeda, N. Tabuchi, K. Tominaga, A. Tajiri, K. Yodoshi and T. Yamaguchi: "High-power, 790 nm, eight-beam AlGaAs laser array with a monitoring photodiode," Jpn. J. Appl. Phys., **31** (1992) 508-512.
- 15) S. Murata, H. Nakada, T. Abe, H. Tanaka and A. Watabe: "Newly packaged 50- $\mu$ m-spaced 8-element laser diode array with a thermoelectric cooler," Jpn. J. Appl. Phys., **32** (1993) 5284-5291.
- 16) 奥村英世, 新井清敬, 河村紀一, 徳丸春樹: "光導波路を用いた光記録用マルチビーム光源の検討", 第59回応用物理学会学術講演会講演予稿集, No. 3, 15p-V-3 (1998) p. 1010.
- 17) 市村 功, 大里 潔, 松田 修, 田中章介, 応和英男: "4 Ch LDを用いた高転送レート光磁気ディスクドライブ", 光メモリシンポジウム '92 論文集 (1992) pp. 95-96.
- 18) 新井清敬, 奥村英世, 河村紀一, 吉村信一, 徳丸春樹: "光テープ記録用マルチビームヘッドの光学系とフォーカス制御法", 電子情報通信学会技術研究報告, **MR97-74** (1998) 17-22.
- 19) R. Katayama, K. Yoshihara, Y. Yamanaka, M. Tsunekawa, K. Yoshida and K. Kubota: "Multi-beam magneto-optical disk drive for parallel read/write operation," Proc. SPIE, **1078**, Optical Data Storage Topical Meeting (1989) 98-104.
- 20) K. Yoshihara, R. Katayama, Y. Yamanaka, M. Tsunekawa and Y. Ono: "Digital video recording system using multi-beam magneto-optical disk drive," Proc. SPIE, **1316**, Optical Data Storage (1990) 58-64.
- 21) Nikkei Electronics, 1998. 4. 20 (No. 714) (1998) 33-34.
- 22) 大木 裕, 小林昭栄, 和田拓也, 佐藤重治: "トラッキングサーボを用いない光メモリー再生方式", 光メモリシンポジウム '90 論文集 (1990) pp. 15-16.
- 23) Nikkei Electronics, 1998. 4. 20 (No. 714) (1998) 29-30.

(1998年10月1日受理)