



動画画像光ファイルへの応用

関 口 通

日本電気(株)映像開発本部 〒183 府中市日新町 1-10

(1990年6月21日受理)

Application for Optical Video Files

Toru SEKIGUCHI

Video Systems Development Division, NEC Corporation,
1-10, Nissin-cho, Fuchu 183

1. はじめに

高度化する情報化社会の中で、マルチメディアの発展など視覚に訴える画像情報の比重がますます高まってきている。この画像情報は文字情報に比べ、はるかに多くの情報量をもつ。画像情報の記録手段としては、大容量性が必要であり、いままでは専ら VTR が使われてきた。

一方、コンパクトディスク (CD) やレーザーディスクに代表される光ディスクの技術は目覚ましい進歩を遂げ、動画を自由に記録再生できる画像ファイルの実用化にまで至った。VTR のもつ大容量性と、光ディスクのもつ高速アクセス性はともに画像ファイルとして有用な性能であり、今後もそれぞれの特長を生かして、棲み分けがなされていくと思われる。

本稿では、主に書換え可能型の光ディスクを用いた動画ファイルについて、その特徴と応用を述べる。

2. 光ディスクの分類

2.1 再生専用型

ディスク上に形成された凹凸のピットから反射光量の変化を利用して再生するタイプで、CD、CD-ROM、CD-V、レーザーディスク等が実用化されている。メーカーで原盤を作成し、樹脂へ転写成形してディスクを製造するもので、ユーザーでは記録できない。大量生産するとコストメリットが大きい。

2.2 追記型 (WORM)

ユーザーで1回だけ記録できるが消去はできない。穴

明型、合金型等があり、レーザー光を照射して加熱することで記録を行い、反射光量の変化で読み出しを行う。

ディスク製造時に、全面にデータを書き込む検査ができないので、媒体の欠陥を100%除去することができない。そのため、とくにアナログの画像ファイルでは、媒体の欠陥によるドロップアウトが問題となる。静止画記録では別のトラックに書き直せるが、動画記録ではそれができないこと、および完全な検出が困難であることから、ドロップアウトの近傍の画素で補正ができず、画面上にそのまま傷として残ることがある。また、静止画ファイルにおいても欠陥の存在個所が個々のディスクによって異なるため、物理的に同一なディスクの複製が難しい。しかし、光磁気や相変化型よりも実用化は早く、すでに広く使われている。

2.3 書換え可能型 (Re-Writable)

記録原理上、光磁気と相変化型に大別され、自由に書換えられる点で動画ファイルに最も適している。

光磁気記録は、レーザー光の照射による加熱で磁性膜の磁化を外部磁界の方向に向けることで記録を行い、再生時は磁気光学効果による光の偏向面の回転で読み出す。光ヘッドの構成が他の方式に比べ複雑になり、またレーザーダイオードへの戻り光量が多いため、戻り光ノイズを発生させやすくなる。

一方、相変化記録は、レーザー光の照射による加熱・急冷によって形成される非晶質状態と、加熱・徐冷による結晶状態の反射率差を利用する。したがって、再生専用型や追記型と再生面で互換がとれる可能性を秘めており、また光ヘッドも光磁気型より簡単な構造であるなど

表 1 記録方式の比較

	アナログ方式	デジタル方式
画質 (S/N, 帯域)	△	○
ドロップアウト	×	○
ダビング	×	○
記録時間	○	×
回路・装置規模	○	×

の特長をもつ。動画ファイルでは、コードデータ用に比べて特定のエリアだけ頻繁に書き換えることは少ないので、現状の相変化媒体でも書換え耐久性は、問題にならないと考えられる。

3. アナログ記録とデジタル記録の特徴

映像信号のアナログ記録方式とデジタル記録方式の比較を表1に示す。

現在実用化されている画像ファイルでは、とくに高画質が要求される放送局用にはデジタル記録が、また画質が余りに問題にならない一般業務用等には、アナログ記録が採用されている。

4. アナログ記録

アナログ記録では FM 変調方式が用いられる。使用媒体での記録再生系の CN 比や周波数特性に合わせて、FM パラメータや映像信号の処理を最適化して、最良の画質が得られるようにしている。

一般に再生画像の SN 比の点では、できるだけ変調指数を上げたほうが有利である。反面、再生画面上に大小の年輪状の縞模様となって現れるモアレ (moire) や、黒から白への急激な変化部分が黒へ落ち込む反転現象を抑えるためには、変調指数を下げたほうが良い。また、映像信号の帯域幅を広げるために、キャリア周波数を上げると、再生 CN 比の低下により、再生画像の SN 比が悪くなる。このようにアナログ記録方式では、相反関係にあるパラメータが多い。

4.1 ダイレクト FM 記録方式

映像信号で搬送波を直接周波数変調 (FM) して記録する方式である。NTSC 映像信号は、その高域に信号振幅の大きな色副搬送波 (約 3.58 MHz) があるため、FM 変調するとモアレが発生しやすく、キャリア周波数を低く設定することができず、再生画像の SN 比を確保することが難しい。したがって、ディスク媒体の記録再生特性には、高帯域、高 CN 比が要求される。

この方式は、レーザーディスクで採用されている。パ

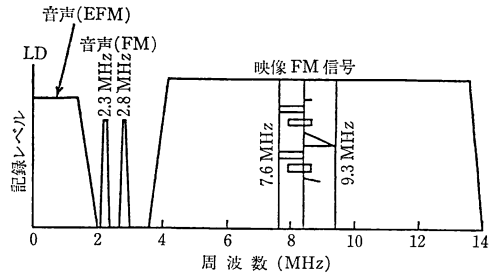


図 1 記録周波数配置¹⁾

イオニアは、レーザーディスクのフォーマットを用いた書換え型ビデオディスクプレーヤを試作している¹⁾。直径 30 cm の光磁気ディスクに 30 分の動画を記録可能であり、再生画像の SN 比は 45 dB 以上、水平解像度は 400 本である。このフォーマットは、図1に示すように広い帯域を持っているので高解像度が得られる。

4.2 色信号低域変換記録方式

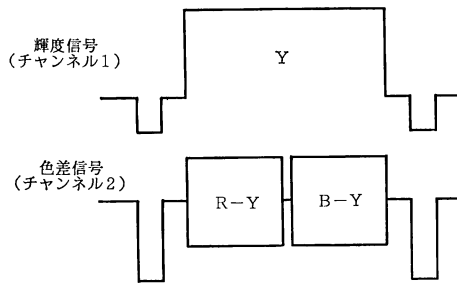
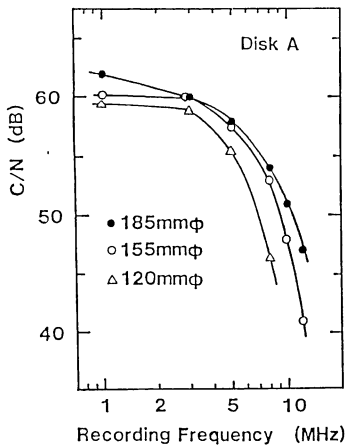
映像信号を輝度 (Y) 信号と色 (C) 信号とに分離し、色信号を FM 帯域より低い周波数 (約 600~700 kHz) に変換して、輝度信号の FM 波に重畳して記録する方式である。輝度信号と色信号にそれぞれ帯域制限をかけ、記録周波数帯域を狭くすることで、FM 周波数を下げることができるので、小型の装置で長時間化が図れるが、反面、解像度が落ちる。

松下は、この方式で直径 30 cm の光磁気ディスクに 30 分の動画を記録できる装置を試作しており、再生画像の SN 比は 45 dB 以上、水平解像度は 300 本以上となっている²⁾。

4.3 時間軸圧縮コンポーネント記録方式

映像信号を輝度 (Y) 信号と色差 (R-Y, B-Y) 信号に分離した後、Y, R-Y, B-Y の 3 信号をそれぞれ時間軸圧縮して再び合成し、1 チャンネルで記録する方式、または R-Y, B-Y の 2 信号を時間軸圧縮して 1 チャンネルに合成し、Y 信号と合わせて 2 チャンネルで記録する方式がある。いずれも、変調方式は FM 変調である。アナログコンポーネント記録方式は、色副搬送波をそのまま記録しないのでモアレの発生が少ないため、FM 搬送周波数を下げて再生画像の SN 比を上げることができる。さらに、チャンネル分割による広帯域化がはかれる方式である。

NEC はこの方式で 2 チャンネル分割により、直径 20 cm の光磁気ディスクに 6 分間の動画が記録できる装置を試作した³⁾。図2に信号フォーマットの模式図を示す。記録エリアを直径方向に 2 分割してあり、外周側のチャ

図2 信号フォーマット模式図³⁾図3 CN 比特性 (1800 rpm)³⁾

ンネル1に輝度信号を、また内周側のチャンネル2に時間軸圧縮の色差信号を記録している。FM周波数は輝度信号が4.9~7.0 MHz、時間軸圧縮の色差信号が4.8~6.2 MHzである。

この装置で用いた光磁気ディスクは、PC基板とガラス基板とを空気層を挿んで貼合わせた構造である。PC基板側に TbFeCo の記録膜があり、記録再生はガラス基板側から空気層を通して行っている。このようにしてPC基板の複屈折の影響を避け、見かけ上の Keer 回転角を大きくしている。CN比の特性は図3に示すように、回転数1800 rpmで直径12 cmにおいても、5 MHzで55 dB以上のCN比が確保されている。

再生画像のSN比は49 dB以上、帯域幅は4.2 MHzであり、画質に厳しい放送局用途でも使える性能を実現している。

5. デジタル記録

5.1 動画ファイルの条件

映像信号をA/D変換して画質劣化なくデジタルデータで表現するには、NTSCコンポジット信号の場合、

サンプリング周波数は4 fsc (色副搬送波の4倍で約14.3 MHz)、量子化数は8 bitが最低限必要などである。このデータレートは約115 Mbpsに達する。動画ファイルの場合、このような高速のデータを実時間で記録しなければならない、非常に高速の転送レートが要求される。

また、データ量も膨大であり、実用的な演奏時間を確保するためには、記録密度を上げて容量を増やさねばならない。

しかし、エラーレートについては、コードデータのように 10^{-12} BERまでは必要なくエラー訂正後で 10^{-7} BERあれば実用となるので⁴⁾、コードデータ用に比べ、エラーレートのマージンを記録密度へ振り向けることができる。

また画像データでは、完全にエラー訂正ができなくても、誤りであることが確実に検出できれば、その検出結果により、誤り部分を画像の相関性を利用して、その周辺のデータで補完し、視覚上目立たないように補正をすることができる。しかし、誤訂正が行われるとその画素は補正されずに誤ったデータとなるため、画面上にノイズとして残ることになる。したがって誤り訂正符号には、強力な訂正能力と、正確な誤り検出能力が要求される。

さらに動画を記録する場面では、消去と記録が同時に行われることが望ましい。しかし現状では、装置または媒体でオーバーライト技術が確立していないので、消去用と記録用に2個の光ヘッドを使って、この機能を実現している⁵⁻⁷⁾。

5.2 デジタル動画ファイル-1

NHK、アサカ、ニコンは共同で、直径30 cmの光磁気ディスク2枚に動画を10分間記録できる装置を実用化している⁸⁾。データの多チャンネル分割化と記録面数の増加により転送レートと記録容量を確保した装置である。

これは、1台のドライブに1枚のディスクが実装されており、ディスク上の記録領域を内周部と外周部の二つに分け、線速度の違いに応じて転送レートを22 Mbpsと33 Mbpsとし、1ディスク当たり55 Mbpsの転送レートを得ている。このドライブを2台使うことにより転送レートを110 Mbpsに高めて、動画をデジタル記録できるようにしている。

消去/再生ヘッドと記録/再生ヘッドを独立に配置して疑似オーバーライトを行っている。したがって、光ヘッドは1ドライブ当たり4個であり、システム全体として2ド

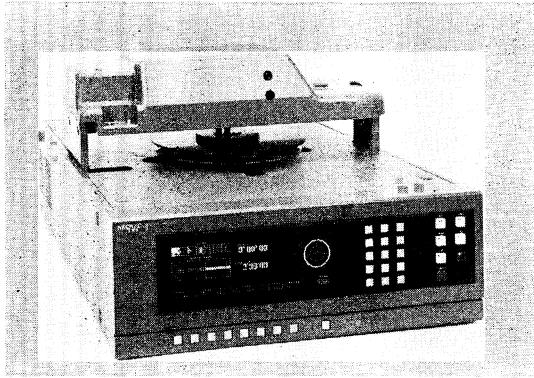


図 4 VF-1 ビデオディスクレコーダ⁷⁾

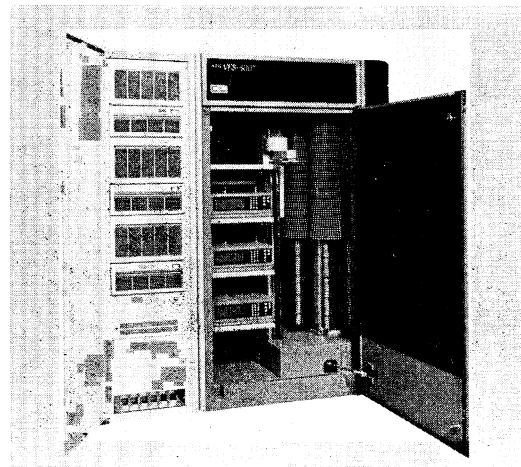


図 5 ACS-1 オートチェンジャ¹²⁾

ライブ 8 個を使っている。光磁気ディスクは、TbFe/GdFeCo 系の 2 層媒体で TbFe は記録保持層、GdFeCo は読み出し層である。CN 比は 50 dB 以上、誤り検出/訂正符号にリードソロモン符号を使って、訂正後のエラーレートは 10^{-7} BER 以下を得ている。

5.3 デジタル動画ファイル-2

NEC は、直径 20 cm の光磁気ディスクに動画を 2.6 分間記録できるビデオディスクレコーダを開発した^{6,7)}。これは、再生コードにデュオバイナリ符号を用い、また記録データを 2 チャンネルに分割することで、動画ファイルに必要な転送レートと記録容量を実現したものである。

図 4 にドライブ部、図 5 にオートチェンジャの外観を示す。ディスクのクランプ部分が開放した構造になっており、カートリッジケースに入っていない光磁気ディスク媒体を使用することで、オートチェンジャでのディスク交換が高速に行えるようになっている。再生画像の

SN 比は 55 dB、帯域幅は 6 MHz と高画質であり、画質に厳しい放送局用途でも十分実用になる性能である。

5.3.1 チャンネルコーディング

映像信号は 4 fsc (約 14.3 MHz) でサンプリングし、量子化数は 8 ビットである。2 チャンネルステレオの音声信号は、各チャンネル毎にサンプリング周波数 48 kHz で量子化数は 16 ビットである。これらのソースレートは約 116 Mbps となる。これから映像信号の水平、垂直ブランキング期間を除いて、コードデータ、誤り訂正符号、および SYNC, ID を付加して、最終のソースレートは 113.6 Mbps となっている。誤り訂正符号には C1, C2 リードソロモン符号を使っている。

5.3.2 記録フォーマット

ディスク上の記録エリアを外周側 (1 CH 系) と内周側 (2 CH 系) に 2 分割し、記録再生用 A1, A2 ヘッドと消去再生用 B1, B2 ヘッドの 4 個の光ヘッドを、図 6 のように配置している。2 チャンネルへのソース信号の分割比を、最内周の線速比に等しくして、最短記録ビット長を均等化しており、各チャンネルの転送レートは、外周側が約 62.6 Mbps、内周側が約 51.0 Mbps となっている。

5.3.3 記録コード

ソース信号の NRZ 符号を、直流成分の抑圧と 0 の連続を抑えるためにスクランブルをかけ、NRZI 符号に変換して光磁気ディスク上に記録する。

再生側の検出方式はパースシャルレスポンスの PR (1, 1) 方式⁸⁾で、デュオバイナリ符号と呼ばれ、3 値検出を行っている。図 7⁹⁾ にデュオバイナリ符号の原理を示す。これは波形干渉を積極的に利用した帯域圧縮符号で、NRZ 符号に比べ伝送帯域を狭くできるが、3 値をとるため 6 dB 高い CN 比を必要とする。しかし、光磁気ディスクの CN 比特性は、図 8 のように高域では急激に低下しているが、中低域では約 60 dB と高い値

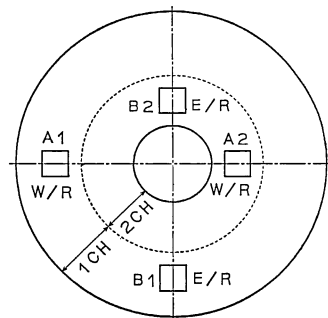


図 6 光ヘッドの配置⁷⁾

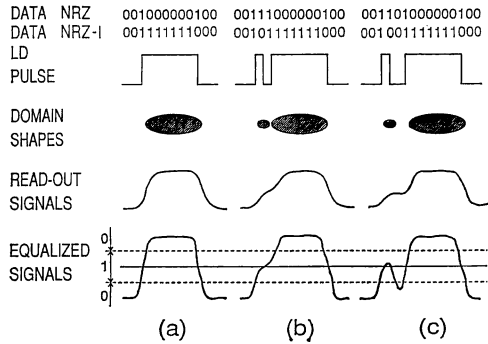


図7 デュオバイナリ記録の原理⁹⁾

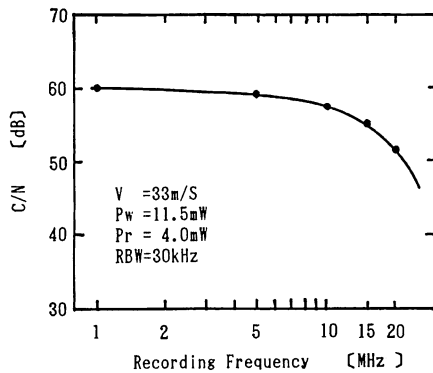


図8 CN比特性^{6,7)}

が得られるため、PR (1, 1) 方式のような中低域により多くの情報量が存在する方式は、CN比を有効利用でき、高密度化が図れる手段である。

5.3.4 再生特性

PR (1, 1) 方式では再生信号が3値レベルをとるため、ビタビ復号が適用できる¹⁰⁾。この結果、記録密度が $0.46 \mu\text{m}/\text{bit}$ において、エラーレートは訂正前で $3 \times 10^{-5}\text{BER}$ 、エラー訂正後で $1 \times 10^{-8}\text{BER}$ であり、画像ファイルとして十分なエラーレートが得られている。

5.3.5 記録パワー制御

デュオバイナリ符号は、幅記録方式であるため、記録パワーの過不足は3値の中心レベルを変動させ、エラーレートを悪化させる。とくに媒体可換性を有する装置では、媒体間の偏差が記録パワー誤差の主要因となる。

そこで光記録最適化¹¹⁾を設け、記録パワーの最適化を図っている。記録開始時に7段階に記録パワーを変化させて試行記録を行った後、再生RF信号から、3値のパターンが上下対称になる点を検出して、最適記録パワーとしている。さらに、記録径によって記録パワーを補正することで、連続の動画記録に対応している。

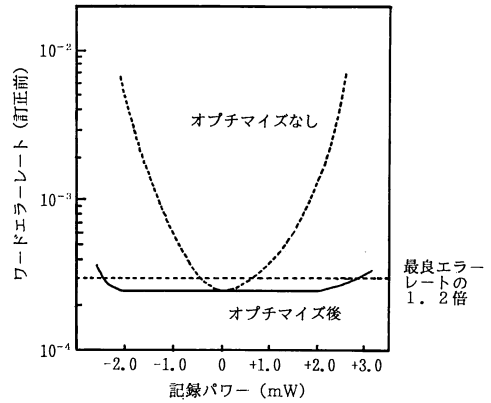


図9 オプティマイザの効果¹¹⁾
エラーレート最良時の記録パワーを0mWとする。(オプティマイザなし)

この結果、図9¹¹⁾に示すように媒体感度に対して、 $\pm 2 \text{ mW}$ の範囲で良好なエラーレートが得られている。

5.4 応用システム

NEC は、図4のビデオディスクレコーダをキーコンポーネントとした、光CMバンクシステムを開発した¹²⁾。このシステムは、主に民間放送局におけるCMの自動送出、自動編集用である。ドライブ2台とオートチェンジャ1台の組合せで、最短7秒のCMの連続再生ができ、最大525枚のディスクを収納して5250CM (15秒CM換算) のファイル容量をもつ。VTRを使った従来のシステムでは難しかった、CMのダイレクト送出が行える等、ディスクの高速アクセス性、大容量性およびリード/ライト繰返し耐久性が生かされている。

6. 課題と技術動向

6.1 演奏時間の長時間化

アナログ記録では30分程度、デジタル記録では数分~10分程度が現在の演奏時間の実用レベルであり、とくにデジタル記録では、長時間化が最大の課題である。光磁気ディスク上の記録波長は、照射レーザー光のビーム径に依存する。記録波長方向の高密度化には、このビーム径を小さくする必要があり、使用レーザー光源の短波長化が一方法である。波長809nmの半導体レーザーで励起したNd:YAGレーザー(波長1064nm)を基本波とし、KTPによる内部共振器型SHG(第二高調波発生)により、波長532nm、最大出力15mWのレーザー光を発生し、 $Na=0.6$ のレンズで直径0.9 μm の光スポットに絞り込んで、高密度化が確認されている¹³⁾。とくにSHGの変換効率が改善されると、半導体レーザーでの駆動で高出力が得られ、小型の光ヘッド

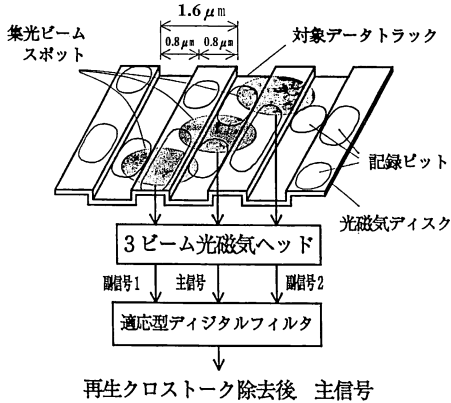


図 10 ランドグループ記録¹⁵⁾

が実現できるようになる。

一方、レーザー光の中心部分を遮光してビーム径を回折限界以下に絞り込む超解像光学系により、1.2 倍の高密度化が達成されている¹⁴⁾。

ビーム径の小径化とは別に、いままで記録に使っていなかったグループへもデータを書き込み、記録密度を2倍にするランド/グループ記録方式が発表されている¹⁵⁾。図 10 に示すように、3ビームの光磁気ヘッドを用いて、再生トラックの両隣接トラックからも信号を読み出し、適応型デジタルフィルタにより、再生時のクロストークを除去している。

6.2 オーバーライト

とくに動画ファイルでは、オーバーライト機能が要求される。消去用と記録用の2個の光ヘッドを用いる疑似オーバーライト方式では、コスト低減と、装置の小型化に不利である。そこで、外部磁界を変調する方式¹⁶⁾や、四層膜を用いたオーバーライト媒体の研究¹⁷⁾が行われている。

6.3 アクセスタイム

現在の画像用光ディスクのアクセスタイムは、平均0.5秒程度^{5,6)}であり、高速アクセスのメリットを生かした応用がなされている。さらに、光ヘッドの光学系を可動部と固定部に分割して可動部の質量を軽くし、平均アクセスタイム0.2秒を実現した例が発表され¹⁾、ハードディスクの高速性に近付きつつある。

画像の1フレームは2フィールドで構成され、その期間は33msである。この1フレーム期間内でアクセスが完了すると、たとえば、1個の光ヘッドでディスク面内の任意画像を連続的に再生できる等の新たな応用が期待できる。

7. おわりに

高速アクセス性を特長とするハードディスクは、固定媒体であるため、記録容量の拡張性がなく、ヘッドクラッシュが発生することがある等の欠点を持ち、画像ファイルには適していない。一方、光ディスクを用いた画像ファイルは、高速アクセス性や大容量に加え、記録再生が非接触で行われる等、従来のメモリに無い特長を数多くもっている。これらの特長を生かして書換え型は、放送機器や業務用分野で実用化が始まった。今後多くの研究開発がなされ、一般家庭へも普及し、新たな記録メディアとして発展することを期待する。

文 献

- 1) 嶋田邦彦：“光磁気ディスクを使用した書換え型ビデオディスクプレーヤのひみつ”，エレクトロニクス，1 (1990) 74-77.
- 2) T. Kashiwara, M. Kobukata, T. Sugano and Y. Okino: “Analog video signal recording and playback characteristics of magneto-optical memory disk,” Jpn. J. Appl. Phys., 26, Suppl. 26-4 (1987) 219-224.
- 3) M. Okada, Y. Sasaki, T. Iwanaga, K. Toki, M. Nakada, H. Inada, T. Sekiguchi and H. Gokan: “High C/N magneto-optical disks using plastic substrates for video image applications,” IEEE Trans. Magn., MAG-23 (1987) 2699-2701.
- 4) 横山克也：磁気記録技術入門 (総合電子出版社，東京，1988) pp. 262-263.
- 5) 野村龍男：“動画用光磁気ディスクメモリ”，光メモリンポジウム '86 テクニカルダイジェスト (1986) p. 1.
- 6) T. Sekiguchi, H. Kato, Y. Sasaki, T. Arimura, H. Inada, T. Iwanaga, K. Toki and M. Okada: “High bit rate digital video recording using magneto-optical disks,” ISOM '87 Technical Digest, FB 4 (1987) pp. 269-272.
- 7) 荒木 茂，油井修治，関口 通，佐々木良弘，稲田博司，岡田満哉：“光磁気方式によるデジタルビデオディスクレコーダ”，ITEJ 技術報告，13, No. 18 (1989) 19-22.
- 8) 猪瀬 博，宮川 洋 (編)：PCM 通信の進歩 (産報出版，1974) pp. 76-79.
- 9) M. Okada, O. Okada, S. Shimizu, K. Hayashi, T. Sekiguchi and H. Inada: “High performance magneto-optical recording for video file applications,” ODS '90 Technical Digest (1990) pp. 42-45.
- 10) 加藤英明，保科 徹，近藤重行：“動画用光磁気ディスクにおける信号処理方式の検討”，ITEJ 全国大会，8-16 (1988) pp. 185-186.
- 11) 佐々木良弘，当麻 隆：“ビデオディスクレコーダ用光記録オペチャイザ”，ITEJ 全国大会，7-6 (1988) pp. 155-156.
- 12) 佐々木利治，門脇 均，柳浦葉路：“光ディスクを使ったCMバンクシステム”，ITEJ 技術報告，放送現業技術研究会 (1989).
- 13) 戸田 剛，立野公男，M. McLoughlin，尾島正啓，伊藤捷：“SHG 光による光磁気ディスクの記録再生特性”，第37回応用物理学関係連合講演会，29 p-G-10 (1990) p. 927.

- 14) Y. Yamanaka, Y. Hirose and K. Kubota: "High density optical recording by superresolution," Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) pp. 197-200.
- 15) K. Kayanuma, T. Iwanaga, H. Inada, K. Okanoue, R. Katayama, K. Yosihara, Y. Yamanaka, M. Tsunekane and O. Okada: "High trace density magneto-optical recording using a crosstalk canceler," ODS '90 Technical Digest, 1.6 (1990) p. 18.
- 16) G. Fujita, T. Kawashima, T. Watanabe and Y. Aoki: "A magneto-optical recording method of magnetic field modulation with pulsed laser irradiation," Jpn. J. Appl. Phys., **28**, Suppl. 28-3 (1989) 329-333.
- 17) T. Fukami, Y. Nakaki, T. Tokunaga, M. Taguchi and K. Tsutsumi: "Novel direct overwriting technology for magneto-optical disks by exchange-coupled RE-TM quadrilayered films," J. Appl. Phys., **67** (1990) 4415-4416.