

解説

光磁気ディスクメモリ†



今村 修武††

光磁気ディスクとは光（レーザ）で記録・再生する光ディスクの一種であるが、記録材料として磁性材料を用いるため通常の光ディスクとは異なり消去再記録が可能であるため、最近各方面への応用が期待されて研究開発が活発に行われている。ここでは、光磁気ディスクメモリ開発までの歴史的経過などを交えた最近の動向と性能および応用について紹介する。

1. 光磁気ディスクメモリの基本構成

光ディスクメモリには、大別して、再生専用形 (Read Only)、記録再生形 (Write Once)、書換可能形 (Erasable) の3種類のものが考えられている。光磁気ディスクは、光で記録・再生する磁気ディスクのことで、記録媒体に磁性薄膜を用いるため、書換可能形の光ディスクに相当する。

再生専用の光ディスクとは、デジタル・オーディオ、ディスク (CD) や、ビデオディスクなどの光ディスクのことで、ディスク板に小さな穴を形成し、それをレーザビームで読み取るものである。

その場で書き込みができ、すぐに再生可能な光ディスクは DRAW (Direct Read After Write) 方式のディスクと呼ばれているが、記録再生形と書換可能形とがある。記録再生形とは、消去できない材料の場合、記録する際に未記録部分を残しておき、あとで必要に応じて追加記録するものであり、書換可能形とは、文字通り不必要な部分を消去して書き換えることのできるもので、光磁気ディスクの他に結晶とアモルファスの相変化を利用する光ディスクが知られている。

形式は異なるが、これらの光ディスクに共通した点は $1\mu\text{m}$ という小さいビットを決められた位置に光ビームをアドレスして正確に記録し、それを再び正確に読み出す技術である。光磁気ディスク装置の基本構成を図-1 に示す。

入力の電気信号は、光の強度変調として変換され、レンズを通じてディスク面上に照射される。これによりスパイラルまたは同心円状に情報が一連の磁気バブルとして記録される。光の焦点をディスク面上に合わせるフォーカスサーボや、トラックに沿って光ビームを正確に追従させるためのトラックサーボは、ディスク面からの光の反射光を検出してその信号で対物レンズやミラーを動かすことによって行う。

光磁気ディスクの記録では、記録媒体に光を照射して、局所的に温度上昇させると同時に外部から磁界を与えて、その局所領域の磁化 M を磁界の方向に向ける。記録媒体の磁化 M を配向させるのに必要な磁界、すなわち記録に要する磁界 H_w は記録媒体の温度に伴って変化し、一般には温度が高くなるにつれて小さくなる。したがって、室温では記録できないような弱い磁界によっても、記録媒体の温度を上げると H_w が小さくなって記録ができるようになる。

光磁気記録では図-2 に示すごとく、光と磁界を用いるので、信号を磁界に変換して記録する磁界変調方式と、光の点滅に変換して記録する光変調方式とが考えられている。すなわち、磁界変調方式では、レーザ光は常に連続照射しておき、磁気記録の場合と同じく外部からの磁界によって信号を記録する。この方式の特徴は、レーザ光は連続照射なので光変調器が不要ということと重ね書きが可能ということである。光変調方式では、記録したい方向に直流磁界を与えておき、光記録の場合と同じくレーザ光の点滅によって信号を記録する。

記録した磁化の方向を光で読み出すには、光と磁気の相互作用である磁気カー効果またはファラデ効果を利用する。光を記録媒体に照射した後、その反射光で検出する場合を磁気カー効果、透過光による場合をファラデ効果と呼んでいる。

光磁気ディスク装置の基本構成は先に示したが、ランダムアクセスにより任意のトラックにアドレスして、記録、再生、消去などを行うためには、光ガイド

† Magneto-Optical Disk Memory by Nobutake IMAMURA (KDD R & D Labs.).

†† KDD (株) 研究所材料部品研究室

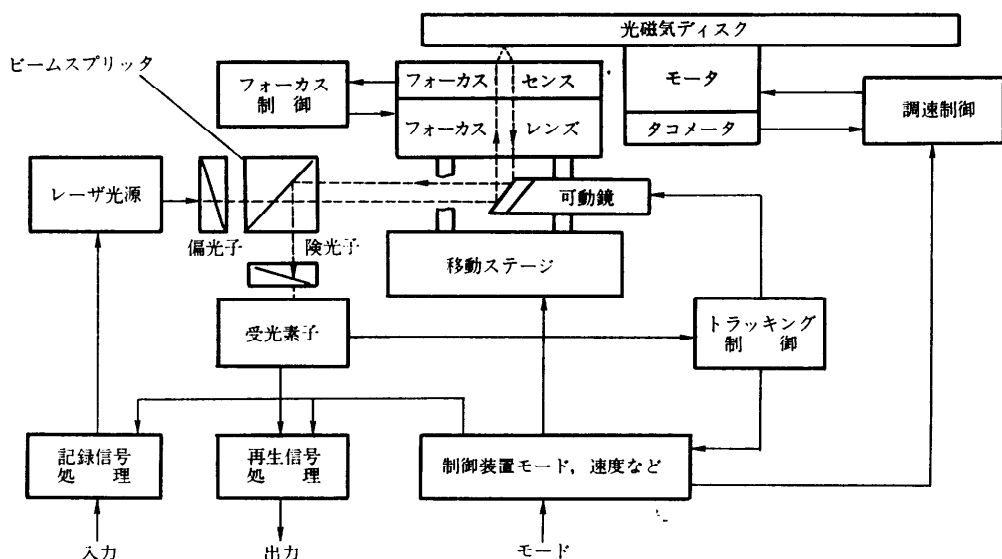


図-1 光磁気ディスク装置の基本構成

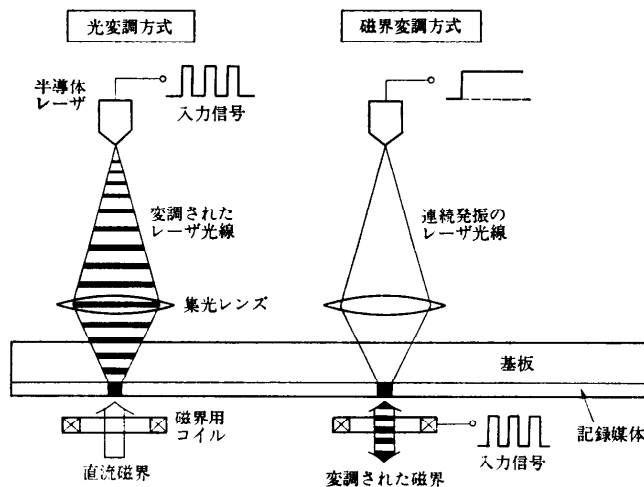


図-2 2種類の記録方式

用の溝の付いた溝付ディスクを用いることが望ましい。また光学ヘッドについては、アクセスを容易にするため記録と再生の機能を一体化した小型のものが要求される。

図-3 に溝付ディスク装置用光学ヘッドの具体例を示す。この光学系では1つのレーザビームで、記録、再生、消去と自動フォーカス、自動トラッキングを行うことができる。

自動トラッキングについては、ディスクに案内溝が設けてあることが前提で、ビームによる溝からの反射

光を2分割ディテクタでそれぞれ検出する。すなわちビームが溝の中央にある場合は、溝からの反射光は中心対称となり、2分割ディテクタへは中心を対称に等量の光が当たるが、ビームが溝から左右どちらに外れかけた場合にも、その反射光は2分割ディテクタの中心に対して非対称となって当たるため、2分割ディテクタの差動信号がトラッキングエラー信号として得られる。そのエラー信号で対物レンズをディスクの半径方向に動かし、トラッキングを行うことができる。

実際には、溝付のディスク基板としてはアクリル基板を用いることが多いが、その溝構造およびディスク構造は図-4 に示すようなものとなる。すなわち、2枚のディスクが記録媒体の面を内側にして対称的にはり合わせであり、溝幅は通常 $0.6 \sim 1 \mu\text{m}$ 程度で、トラックピッチは $1.6 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 程度である。レーザ光は、アクリルが透明であることから基板を通して照射する。この構造の特徴は、記録媒体面を傷つけることなく、ホコリ、ゴミなどの防止にもなることである。

2. 光磁気メモリ開発の歴史

光磁気メモリの研究は、1957年 Williams が MnBi 薄膜に熱ペンによって記録を行い、その書き込み磁区をファラデ効果によって観察したのがその端緒とされ

ている^{1)~3)}。

表-1 に、光磁気メモリ研究開発の流れを示す。記録材料を大別すると、単結晶、多結晶およびアモルファス材料となる。

表から分るように光磁気メモリ用材料としてはアモルファス材料が見い出されるまでも数多く開発されてきたが、実際に光磁気ディスクを構成しようとした場合、記録に大型ガスレーザを使わなければならないとか、記録した微小ビットが正確に読み出せないなどの問題があったため、装置化の報告は少なく、記録媒体中心の研究が主体であった。しかし、近年アモルファス磁性薄膜の開発とともに、半導体レーザや光オーディオ、光ビデオディスクなどに見られるような光関連技術の発展が目覚ましく、光磁気メモリの装置化が再び活発になってきた。

すなわち、アモルファス GdTbFe を記録媒体とし、半導体レーザによる記録再生の動作実験に成功したのが 1980 年であるが⁴⁾、その後急速に光磁気ディスクメモリの研究開発が本格的に行われるようになった。

GdTbFe を用いた光磁気ディスク装置の試作は、1980 年以来相次いでシャープ、松下電器から発表され^{5), 6)}、最近ではフィリップスがフロッピディスクの代替を目指した小型装置の試作例を発表した⁷⁾。これらは、いずれもデジタルメモリとしての用途を目指したものである。

一方、現在映像信号の記録装置として VTR が広く使われているが、テープ特有の問題点として、VTR では、希望するプログラムを読み出すためのアクセスに時間がかかるという欠点があり、高速で編集可能な記録装置が望まれている。

光磁気ディスクを用いてのビデオ信号の入出力実験は、1983 年に GdCo を用いて NHK にて試みられた⁸⁾。これも当初は C/N が 40 dB 程度と低かったため画質も良くなかったが、最近では TbFeCo で C/N 55 dB (1 MHz) 以上が得られるため家庭用のビデオテープ並みの画質なら得られるようになっている⁹⁾。

3. 光磁気ディスクの性能

以下に、記録媒体としてアモルファス TbFeCo を用いた場合の光磁気ディスクの性能を示す。まず、光磁気ディスクの諸元を表-2 に示す。

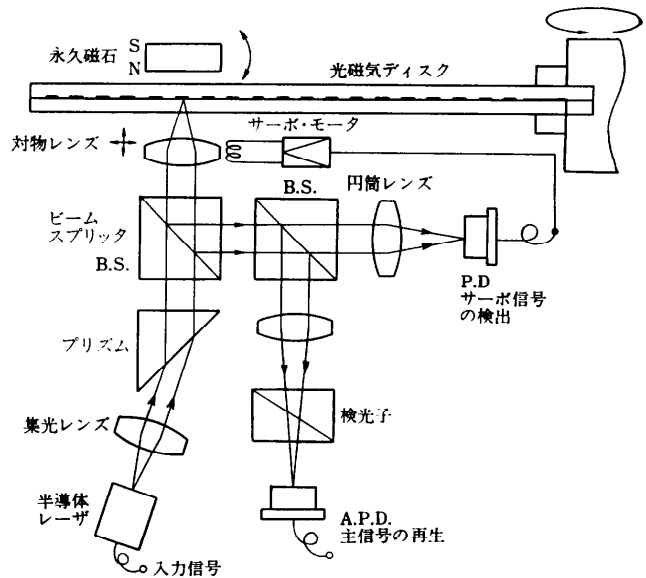


図-3 光学ヘッドの基本構造

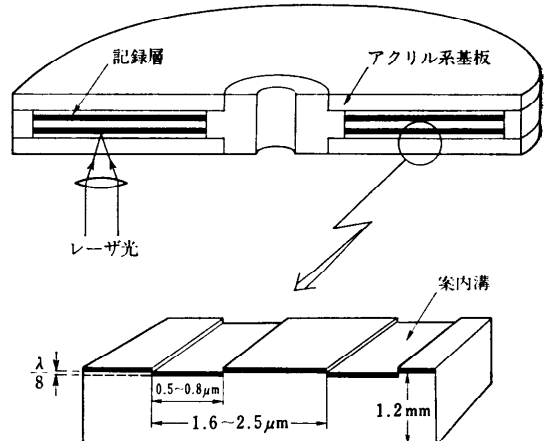


図-4 溝付ディスクの基本構造

(1) C/N 値と誤り率

TbFeCo 光磁気ディスクでは C/N 対記録再生速度の関係は図-5 で示される。1 MHz での C/N 値は 55 dB、5 MHz で 50 dB 程度であることがわかる¹⁰⁾。

この C/N 値は図-6 に示すごとく、記録媒体や光学ヘッドの改善により、ここ数年間、毎年約 5dB 向上している。先に述べたようにアナログ記録には今一步であるが、デジタルメモリとしては十分な性能を有している。ビット誤り率は記録時のコーディング方式によっても異なるが C/N 値が 40 dB を越えると一定となり、概略 10^{-5} 程度の値を示し、その誤りパターン

表-1 光磁気記録研究の経緯

西暦年	単結晶薄膜	多結晶薄膜	アモルファス薄膜	メモリシステムと特徴	関連技術
1960		MnBi		熱ペンで記録, カー効果で磁区観察 電子ビーム記録 レーザーによる光磁気メモリの提案	He-Ne レーザ発振 半導体レーザ発振
	Gd ₃ Fe ₅ O ₁₂ (バルク)			GdIG, MnBi+ガスレーザによる光磁気メモリ実験	
1970	Gd ₃ Fe ₅ O ₁₂ (Gd-IG)	EuO CoP+Ni		CoP ディスクメモリ (Ampex)	磁気バブルメモリの発明 (Bell, 研究所) 光ディスクの出現
	GdYbAl-IG	MnAlGe MnGaGe		MnBi ディスクメモリ (Honeywell) EuO ディスクメモリ (IBM)	
		MnTiBi MnCuBi PtCo	GdCo		
	TbYb-IG		TbFe DyFe YGdFe	MOPS ランダムアクセスメモリ (Philips) MnCuBi ディスクメモリ (NTT)	垂直磁気記録方式 (CoCr・東北大学)
	SmPr-IG				
1980			GdFeBi GdTbFe	CrO ₂ ディスクメモリ (NHK) 転写を利用 TbFe-GdTbFe ディスクメモリ (KDD) 半導体レーザによる高密度記録再生の動作実験に成功	レーザーディスク実用化
1981			TbDyFe	TbDyFe ディスクメモリ (シャープ) MnCuBi-GdTbFe ディスクメモリ (松下電器)	
1982			GdTbCo	GdCo ディスクメモリ (NHK) GdTbFe ディスクメモリ (Philips), フロッピーの置換	CD 実用化 DRAW ディスク実用化
1983	BiYbSm-IG		GdFeCo		
		PtMnSb	TbFeCo	TbFe ディスクメモリ (Xerox) TbFeCo ディスクメモリ (KDD-Sony)	TeOx 書換可能型ディスク (松下電器)
	CoFe ₂ O ₄		TbDyFeCo GdTbFeCo	TbFeCo ディスクメモリ (リコー) GdTbFe ディスクメモリ (オリンパス) TbFe/GdFe ディスクメモリ (大同特殊鋼) TbFe/GdFeCo ディスクメモリ (日本光学) GdTbFeCo ディスクメモリ (キヤノン)	
1984					

もランダム誤りがほとんどであることから, 簡単な誤り訂正により 10^{-8} 程度の誤り率は簡単に実現でき, またインターリーブ方式を採用することにより 10^{-11} 以下の誤り率も実現可能となっている。

(2) 記録密度

光磁気ディスクの記録密度は, 現在実用化されている DRAW 型の光ディスクと比べてほぼ同程度であ

る。すなわち最短ビット長 $1\mu\text{m}$, (25000 bpl), トラックピッチ $1.6\mu\text{m}$ ($\sim 15000\text{ Tpl}$) が可能で, 面記録密度にすると $6.3 \times 10^7\text{ bit/cm}^2$ となり, 図-7 に示すごとく光ディスクのわくの中に入っており, 現存する外部メモリとしては最高記録密度を示す¹¹⁾。

磁気記録の分野では, 垂直磁気記録が注目されているが, 試作品のフロッピーディスクの発表では, $1.6 \times$

10^6 bit/cm^2 で光磁気ディスクより 2 桁低い。もちろん垂直磁気記録も実験室レベルでは $10^7 \sim 10^8 \text{ bit/cm}^2$ が可能となっているが、実用化には多少時間がかかると思われる¹²⁾。

(3) 消去・再記録特性

光磁気ディスクは消去可能であるのが光ディスクとして最大の特徴となっているが、何回くり返し記録消去が可能かということが問題となる。実際には、同一トラックをディスク一回転ごとに記録・消去をくり返して特性の変化を調べてみても 100 万回以上劣化が見られていない^{11), 13)}。通常、コンピュータのバックアップメモリとしては 10^6 回以上くり返し記録が可能なら良いと言われていることから、この分野でも磁気ディスクやフロッピーディスクなどと同じように使えることになる。

(4) 寿命

以上のごとく、記録密度は DRAW 型光ディスクと同じで、くり返し 100 万回以上の使用が可能となると、良いことづくめであるが、DRAW 型に比べて光磁気ディスクが劣るとされている寿命、すなわち長期保存性についてはどうであろうか。光磁気ディスクの場合、記録層である磁性薄膜の酸化や磁気特性の経時変化、および基板の変形などが劣化の要因となると考えられている。

酸素は空気中にはもちろんのこと基板の中にも水分として含まれている。特に基板にプラスチック系の材料である PMMA を用いる場合には、PMMA が水分を含み易いため、基板と記録媒体の間に水分をカットするために保護膜を設ける。基板としてガラスを用いた場合には、水分を含みにくいので PMMA の場合ほど気を使う必要はない。保護膜としては当初 SiO_2 が考えられていたが、 SiO_2 中には酸素が含まれていることから記録媒体の劣化が生じることがわかり長期保存のためには酸素を含まない AlN や ZnS などが用いられるようになった¹⁴⁾。 AlN を用いた場合には、高温高湿下 (65°C , 95% 湿度) および高温下 (80°C , 大気中) において、約 100 日間特性の劣化がないことが確認されている¹⁴⁾。このことから、光磁気ディスクの記録層は、保護膜を設けることにより 20 年以上の寿命を有すると推定される。

(5) 記録再生速度

データ転送速度は、図-5 から分るよう

表-2 光磁気ディスクの諸元

デ ィ ス ク	記 録 媒 体	アモルファス磁性膜 TbFeCo
	記 録 消 去 方 法	垂直磁化の反転 キュリ点記録方式
	動 作 温 度	180°C
	デ ィ ス ク 直 径	外 径 200 mm 内 径 35 mm
シ ス テ ム	トラックピッチ	$2.5 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$
	基 板 材 料	溝付きアクリル基板 厚さ 1.2 mm
	光 源	半導体レーザ、波長 $0.8 \mu\text{m}$
	ディスク回転数	900~1800 rpm
ム	記録再生速度	0.5~9 MHz
	再生信号 C/N	55 dB (1 MHz)
	ビット誤り率	生で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ ECC 付加で 10^{-11} 以下可能
	記 録 密 度	40 Mbit/cm ² 以上

に C/N が 50 dB を越えるのが 5 MHz 以下であるから、10 Mbps 以下での使用なら充分可能である。今の場合 5 MHz 以上から C/N が下がる原因はディスクの回転数が 1800 rpm のためであり、それを磁気ディスクと同様に 3600 rpm 以上にすると約倍の 20 Mbps 程度での使用が可能となる¹⁵⁾。したがって、将来は磁気ディスクと同じ 3 MB/sec のデータ転送も可能となるとと思われる。

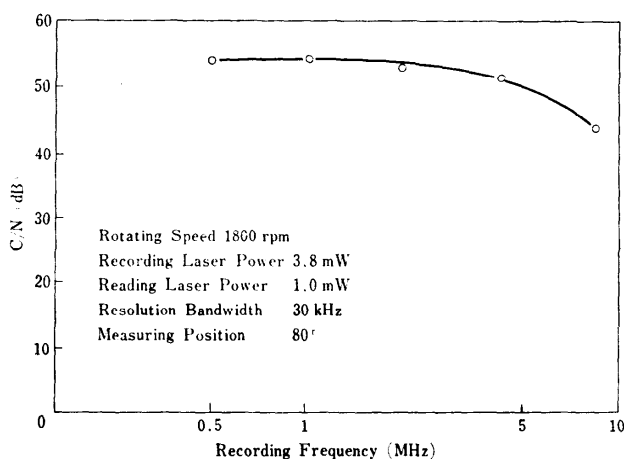


図-5 TbFeCo ディスクの C/N 対記録再生速度の関係

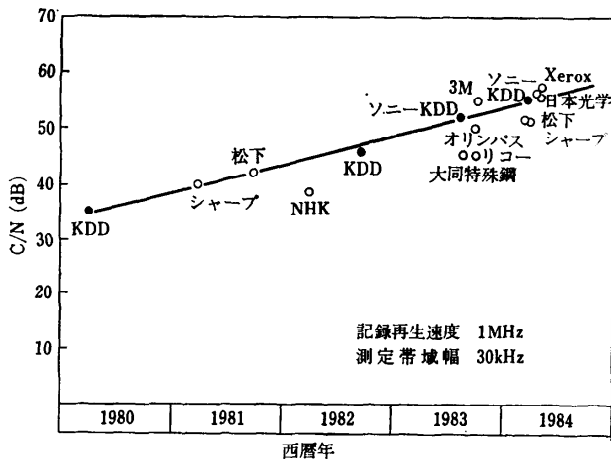


図-6 過去5年間に於ける C/N 値の変化

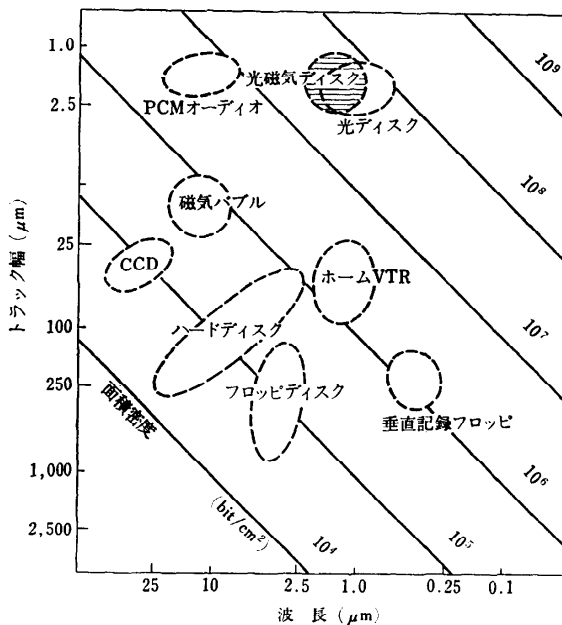


図-7 各種磁気記録の面記録密度の比較

4. 応用分野

以上のように、書換可能な光磁気ディスクは、追記型光ディスクの持つ特性をほとんどすべて併せ持っているため、さまざまな用途が考えられる。

(1) 画像データベース

地図、配管、配線などの各種画像情報を光磁気ディスクに蓄積し、モニタ上でジブルな形で編集処理を

すると同時に、コード情報のまま遠隔地への伝送が可能である。地図などの情報は、内容的な変更は部分的であり、かつひん度も少ないので、該当ページのみ書換えれば良いため、光磁気ディスクのような大容量で書換可能なタイプのディスク向きである。

(2) 動画像データベース

医療分野や放送分野では、静止画のみならず大量の動画のデータベースが必要とされており、現在、それらは主としてビデオテープに記録されているため、保管、検索や編集が容易でない。このビデオテープを書換可能な光磁気ディスクに置換えることにより操作性や編集効率が向上する。すなわち、現用のビデオテープによる動画像データベースと光磁気ディスクを組み合わせ、必要な映像のみを一時的に光磁気ディスクに移して検索や編集処理を行うことが可能となる。直径30cmの光磁気ディスクには片面で約30分の動画が記録可能である。

(3) アニメーションの作成

アニメーションは多数の静止画像をつなぎ合わせて作成する。手書きの静止画をイメージスキャナで次々と光磁気ディスクに入れても、その連続でアニメーションが作れる。最近のコンピュータグラフィックの手法でコンピュータによって生成した静止画を次々と光磁気ディスクに入れることによって可能である。

また、低速で静止画を送る通信システムによっても、同様に静止画を次々と光磁気ディスクに蓄積し、再生の時ディスクの回転速度を上げることで動画として再生が可能となる。すなわち静止画⇔動画変換システムとして書換可能な光磁気ディスクを利用することもできる。

(4) 製版システムへの応用

最近の新聞製版システムは最終製版までコンピュータ処理によって作られているが、これはレイアウトが比較的制限されていることと文字数も比較的少ないことによる。これに対して書物や図かんなどの印刷物を最終製版までコンピュータ処理するためには大容量メモリが必要となる。すなわち一般の印刷物では解像度として30line/mm程度が要求されるが、これはOA

システムで用いられる 8 line/mm に比較すると面密度にして 1 桁高いことになるため、A 4 版 1 枚につき 50 M bit が必要となる。光磁気ディスクでは片面 1 GB 程度の容量があるからデータ圧縮しなかったとしても 160 ページ分、データ圧縮すれば約 1600 ページを蓄積できることになり、かなり厚い本にも対応できる。

(5) OA システムへの応用

文書、図面の保管、整理には DRAW 型の光ディスクが使われはじめたが、書換可能な光磁気ディスクを用いると整理したものを処理して再保管が可能となるためより有効なシステムとなる。OA システムでは入力にイメージスキャナを用い、ハードコピーをレーザプリンタなどで行う。

(6) デジタル・オーディオ、ディスクへの応用

現在、音の出る光ディスクとして CD (コンパクトディスク) が実用化されているが、光磁気ディスクを使えば、書換可能であるため、自分で録音、編集可能な CD ができ上がる。もちろん、光磁気ディスクプレーヤによって市販されている再生専用 CD の再生も可能である。

(7) データファイル

計算機用メモリとしては、現在、半導体 IC、磁気バブル、CCD、フロッピディスク、磁気テープ、MSS などが使われている。光磁気ディスクはこれらのメモリと比較すると図-8 に示すごとく、アクセス時間では磁気ディスクに劣るが磁気テープより優れており、記憶容量ではどちらよりも優れている。したがって、磁気テープの置換がまず実現性のある応用であろう。また、フロッピディスクに比べるとアクセス時間や転送

速度は同程度であり記憶容量は圧倒的に高く、データ誤り率もフロッピディスクの 10^{-12} 程度という値は、光磁気ディスクでも容易に実現できる範囲であることからフロッピディスクの置換も可能である。

フィリップスでは現用フロッピディスクの置換を目指した小型の光磁気ディスク装置を試作した⁷⁾。その装置体積はフロッピディスクドライバの 1/3 程度と小さい、にもかかわらず、直径 2 インチのディスクで片面 10 MB (メガバイト) の記憶容量がある。記録再生速度は 250 kbps で、消去動作は行わず、磁気ディスクと同様重ね書きを行う。用途としては TV ゲーム用や家庭用のファイルメモリを目指している。

5. む す び

光磁気ディスクは書換可能な高密度・大容量メモリとして、特にデジタルメモリの領域でさまざまな使い方が可能であることが分ってきた。当面の用途としては、大量の文書・図面データなどを保存、管理、編集するためのファイルメモリや書換可能な CD などが考えられ、問もなく実用化されるであろう。アクセス時間やデータ転送速度はまだ改良の余地があるため、将来、磁気ディスクとの競合もあり得るが、当分の間は磁気ディスクと相補的に記憶階層を構成すると考えられる。

フロッピディスクの置換は技術的には可能でしかもフロッピディスクと同様に取扱いが簡単という特徴をもっているが、価格の面で未だ答えは出ていない。しかし再生専用のビデオディスクやオーディオディスクが 10~30 万円で市販されていることからして、光磁気ディスクもその構成部品の量産化により将来的には数十万円という価格にできるのではなかろうか。

消去・再記録が可能な光ディスクを用いて音声や動画の記録を行うには、重ね書きのすることが必要であるとされている。光磁気ディスクでは図-2 に示す磁界変調方式を用いて重ね書きが可能であるが、高速度変調が難しく 125 kHz での重ね書きが報告されているのみである。一方、消去・再記録が可能な光ディスクとして知られているもう 1 つのアモルファス・結晶の相変化を利用する光ディスクでは、レーザ光を 2 つ用いて高速度での重ね書きを実現しているため、光磁気ディスクは重ね書き特性に劣るとされていた。しかし、最近、光磁気ディスクでも 2 つのレーザ光源を用いれば高速度での光変調時の重ね書きが可能であるとの見通しが得られてきており¹⁶⁾、将来は、光磁気も相変化光ディスクと同様の重ね書きが可能と

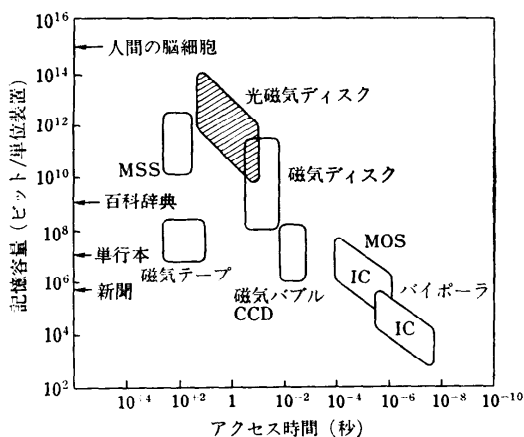


図-8 各種記録装置の容量対アクセス時間の関係

なると考えて良いであろう。

以上のごとく、光磁気ディスクはここ数年で急速に進歩し、C/N 値や信頼性の向上、および重ね書きなどの懸案を解決してきており、実用化も間近いという現状である。

参 考 文 献

- 1) Williams, H. J. et al.: J. Appl. Phys., **28**, p. 1181 (1957).
- 2) Mayer, L.: J. Appl. Phys., **29**, p. 1003 (1958).
- 3) Aagard, R. L. et al.: IEEE Trans. Magn., **MAG-4**, p. 412 (1968).
- 4) Imamura, N. and Ota, C.: Jpn. J. Appl. Phys., **19**, p. L 731 (1980).
- 5) 出口, 高橋, 太田, 小林, 山岡: 秋期応用物理学会予稿集, p. 126 (1981).
- 6) 武藤, 尾留川, 川端: 応用磁気講演会, 20 aA-6, p. 6 (1981).
- 7) Sander, I.: Topical Meeting on Optical Data Storage, **THA 2-1** (1983).
- 8) Togami, Y. et al.: J. Appl. Phys., **53**, p. 2335 (1982).
- 9) 佐藤, 小山, 青木, 今村: 信学会研究会資料, **CPM 83-54**, p. 21 (1983).
- 10) Tanaka, F., Nagao, Y. and Imamura, N.: INTERMAG-'84 Digest, EB-10, p. 340 (1984).
- 11) 岡, 小林, 山崎, 青木: 電気学会研究会資料, **MAG 84-70** p. 31 (1984).
- 12) 古谷, 中山: 電気学会研究会資料, **MAG-84-71**, p. 41 (1984).
- 13) 工藤, 武藤, 原, 尾留川, 川端: National Technical Report, **28**, p. 59 (1983).
- 14) 太田, 出口, 小林, 岡本: 電気学会研究会資料, **MAG 84-67**, p. 1 (1984).
- 15) Kowalski, D. C., Chen, T., Depuy, C. W., Treves, D., Sitts, G., Klinger, L., Curry, D. J. and Sprague, R. A.: Optical Data Storage Technical Digest, ThC-C 2-1 (1984).
- 16) Braat, J.: Private Communication.

(昭和 59 年 7 月 25 日受付)