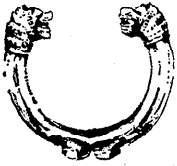


連載講座



計算機の記憶システム-VI

補助記憶デバイス†

亀山 忠彦††

1. はじめに

本章では「補助記憶装置」と呼ばれる記憶デバイスについて述べる。補助記憶デバイスの用語は現在では必ずしも適切でなくなっているが、コンピュータの周辺に配備される、記憶容量は大きいアクセス速度が遅い記憶装置を指すと考えてよい。その他、「外部記憶装置」、「周辺記憶装置」などと呼ばれるが、ほぼ同義である。

記憶装置には記憶容量、アクセス速度、コストにさまざまなものがあり、従来の汎用コンピュータ（メインフレーム）においてはコストと性能のバランスをとるため2種類以上の記憶装置を階層化して用いてきた。

ここで記憶装置の階層構造（hierarchy）について概観する。図-1に現状における記憶階層を示す。図において上方のデバイスほど一般に高速、小記憶容量、高ビットコストである。

補助記憶デバイスの各機種については後節でその技術的内容を含めて説明する。概括的にみると、図に見られるように記憶媒体として磁性体を用いたものが多いことが分かる。これは磁気による記憶が不揮発性で安定性にきわめて優れるという補助記憶デバイスとして最も望ましい条件を備えているからである。一方、これは原理的にデータのアクセスに機械的運動を必要とする。なお、ここに示す半導体記憶装置は、記憶媒体に半導体メモリチップ（主として DRAM (Dynamic Random Access Memory)）を用い、補助記憶装置の構成にしたものであり、内容は後節で述べる。

実用される記憶デバイスの機種は技術の進歩や競合関係の変化によって時代とともに変遷してき

た。磁気ドラム装置のようにかつて使用されたが現在はあまり使われていない機種もあれば、光ディスク装置のように比較的最近開発されたものもある。今後も変遷は続くものと思われる。

以下、主要デバイスにつき、情報関係の技術者、学生に興味をもたれると思われる技術分野を中心に概要を説明する。

2. 磁気ディスク装置

2.1 用途と位置付け

磁気ディスク装置は数百ないし数万バイトのデータブロックを単位としてランダムにアクセスすることが可能で、使い勝手の非常に良い記憶装置として長い歴史と今後への高い発展性が期待される記憶装置である。

歴史的にみると装置の形態はかなり大きく変遷してきた。磁気ディスク装置は1956年に初めて開発され、その後、媒体交換可能なディスクパックの時代を経て10年ほど前から現在まで固定形ディスク装置が主流となっている。

図-2に磁気ディスク装置用 HDA (Head Disk Assembly: 記憶本体機構) の内部構造例を示す。

現在では大記憶容量と高速アクセス性能に支えられ、メインフレームからワードプロセッサに至

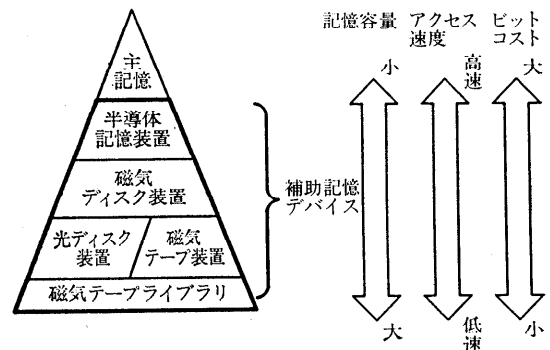


図-1 記憶装置の階層とその特性

† Auxiliary Storage by Tadahiko KAMEYAMA (Advanced Products and Technology Development Division, Data Storage and Retrieval System Division, Hitachi, Ltd.).

†† (株)日立製作所ストレージシステム事業部開発本部

るまでほとんど欠かすことのできない重要な記憶装置として位置付けされ、サイズもディスク径 3.5 インチ以下の小形のものまでが続々登場している。

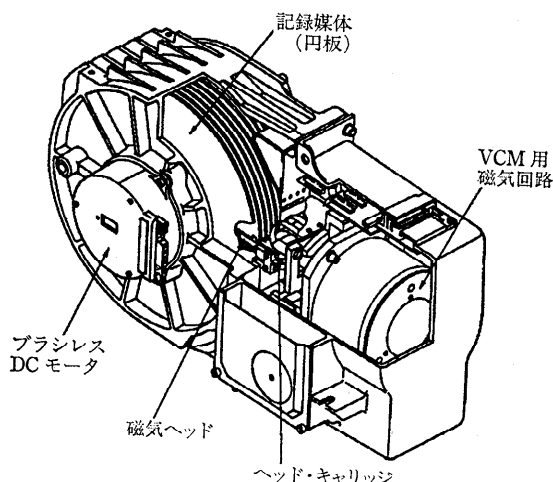
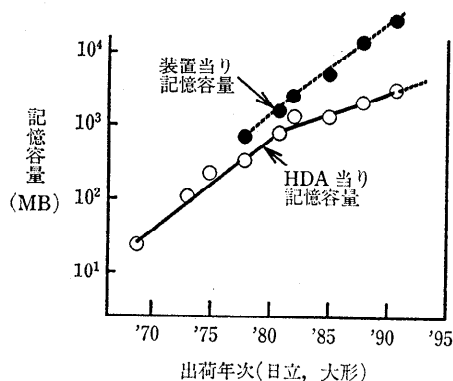
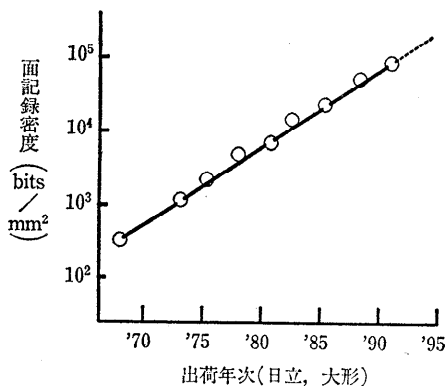


図-2 HDA の内部構造例



(a) 記憶容量の年次推移



(b) 面記録密度の年次推移

図-3

装置の記憶容量の変遷を図-3に示す。なお1台の装置には複数のHDAを装備することが多いので図には装置当たりとHDA当りの記憶容量を示した。記憶容量の増加をもたらしたのは主としてデータ記録密度の向上であり、図にはその変遷も示す。また、表-1に現在の製品の仕様例を示す。

2.2 装置の構成と主要技術

本節では、磁気ディスク装置の構成と主な技術を概説し、さらに、信号の記録再生技術を中心にやや詳細に技術的内容を説明する。

(1) 構成と機能概要

図-4に装置の構成と機能を概念的に説明する。動作機能は基本的にはシステムからの要求に応じ、ディスク面上の所定トラック位置に磁気ヘッドを移動（シーク）、位置決めし（トラックフォロー）、所定記録位置にデータの書き込み、読み出しを行う。磁気ディスクは通常一定回転数で回転しており、磁気ヘッドには図-5に示すようなスライダが備えられていて、これによりヘッドをディスク上に微小な間隙で浮上させる。ヘッドの移動、位置決めにはVCM（Voice Coil Motor）が利用される。

(2) 主要部品技術

磁気ディスク装置の開発に常に要求される事項

表-1 磁気ディスク装置の仕様例

項 目	仕 様		
	大形機	5.25インチ	3.5インチ
装置記憶容量 (ギガバイト)	35	—	—
装置当り HDA 数	12	—	—
HDA 寸法*1 (mm, W×D×H)	180 ×260 ×470	146 ×203 ×83	102 ×146 ×41
HDA 記憶容量*2 (メガバイト)	2,920	1,652	251
ディスク直径 (インチ)	9.5	5.25	3.5
ディスク枚数	9	8	6
記録面数	15	15	12
ヘッド数	30	15	12
シリンダ数*3 (トラック/面)	3,436	2,179	1,076
平均シーク時間 (ミリ秒)	12.0	13.5	16(Read)/ 20(Write)
ディスク回転数 (rpm)	4,260	3,600	3,600
回転待時間 (ミリ秒)	7.1	8.3	8.3
データ転送速度 (メガバイト/s)	4.2	3.03	1.77
記録変調方式	1-7 RLL	1-7 RLL	2-7 RLL
使用ヘッド種類	TFH	TFH	MIG

*1 5.25, 3.5 インチ機では回路部含む

*2 アンフォーマット容量

*3 シリンダ：各円板上の同一番号トラックを仮想円筒で結んだもの。ヘッド当りのトラック数を表す。

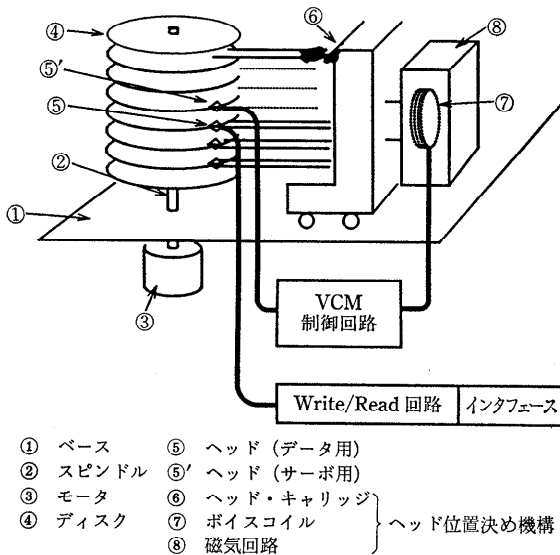


図-4 磁気ディスク装置の構成と機能の概念図

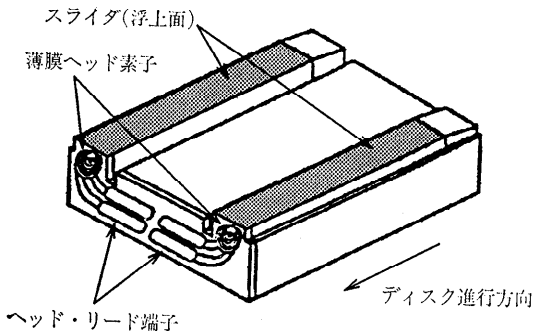


図-5 磁気ヘッド用スライダ

は記録密度の向上ときわめて高い信頼性である。これらを達成する技術は、記録媒体、磁気ヘッド、機構、回路などを含む広い範囲にわたっている。なかでも、最近の製品では高密度記録の実現のため磁気ヘッドの浮上間隙は $0.1\mu\text{m}$ に迫る値であり、高信頼性と両立させるため記録媒体、磁気ヘッドの構造、材料、加工などあらゆる面に高度な技術を用いている。また、ヘッドのトラックへの位置決めには $1\mu\text{m}$ オーダの精度が要求され、機構及び制御の技術もきわめて高度である。

ここで記録媒体及び磁気ヘッドについての最近の技術動向を簡単に述べる。

記録媒体の材料には過去永年にわたり磁性酸化鉄粉 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) を樹脂とともにアルミニウム基板上に塗布したものを用いてきた。しかし、最近ではより高密度化に適した磁性金属薄膜が広く用いられるようになった。その表面には保護用にカー

ボンなどの薄膜が施される。これら薄膜の作製には主としてスパッタ法が用いられる。スパッタ法は近年各方面に利用されている真空装置応用の薄膜形成技術の一つである。

磁気ヘッドには、最近では薄膜ヘッドが多く用いられるようになった。これはやはりスパッタ法などにより作製される。図-6は薄膜ヘッドの構造を示す。図のギャップ部が記録媒体に対向し、記録時にはコイル電流に従ってここから洩れ出す磁束で媒体を磁化し、再生時には媒体からの磁束がギャップ部から誘導されコイルに鎖交する。

さらに最近では、再生用ヘッドとして従来の電磁誘導形に代わり磁束感応形の MR (磁気抵抗効果) 形が注目されている。これはディスクの周速に無関係に高感度に信号が再生できることが特徴である。

(3) 信号記録再生技術

磁気ディスク装置におけるデータの記録・再生の基本的な方式を図-7 に波形で示す。記録には

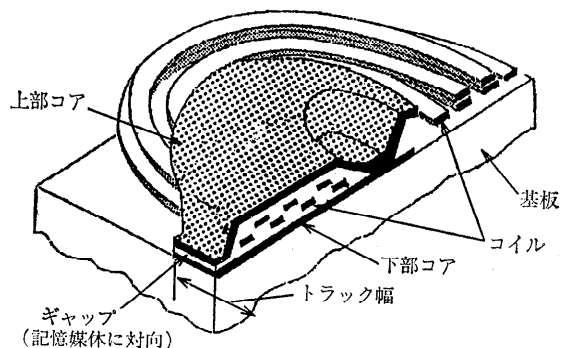


図-6 薄膜ヘッド素子の構造 (半断面図)

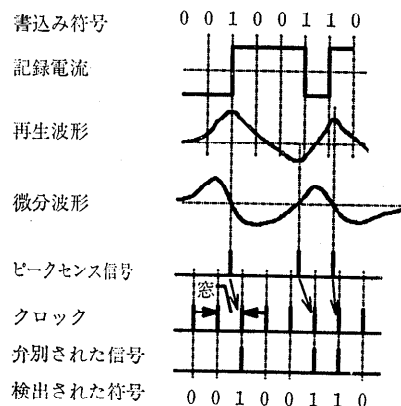


図-7 信号記録再生方式における各部信号波形

後記のような符号変換を施したのち、符号“1”で極性が反転するような電流を磁気ヘッドに流す。

再生時には磁化反転部分で正負極性交互のパルスが発生し、データの弁別には「ピークセンス」を用いる。すなわち、再生信号のピーク点を検出し、そのタイミングがクロックで作られる窓列のいずれに収まるかでデータを弁別する。

符号変換方法を変調方式または符号化方式と呼ぶ。変調方式に必要な、または望ましい条件は、(i)セルフクロックが可能のように符号“0”が長く連続しない、(ii)最小の磁化反転間隔が大きい、(iii)データ弁別のための窓幅が広い、(iv)記録再生系で発生した誤りの復号後のデータへの伝播が小さい、(v)符号変換回路が簡単なハードウェアで実現できる、などである。

上記条件を満たす優れた変調方式として、近年ランレングス制限符号(RLLC (Run Length Limited Code))が普及してきた^{1)~3)}。これを下記に説明する。

RLLCでは符号化後において符号“1”の連続を避けるよう、間に“0”を最小 d 個、最大 k 個挿入する。 d は大なるほど磁化反転間隔が大きくなる。また k は大き過ぎるとクロック抽出に支障を来す。元データをこのような符号に変換する場合、 m ビットのデータブロックを n ビットの符号ブロックに対応させる。このような符号を d - k RLLCと呼ぶ。これを (d, k, m, n) のように表すこともある。

このような制限付きの符号に変換するとき必ず $n > m$ となる。 $R = m/n (< 1)$ はcode rateと呼ばれるが、その最大値は理論上次式を満たす値となる。

$$2^{-R} + 2^{-(d+1) \cdot R} - 2^{-(k+2) \cdot R} - 2^{-(k+2) \cdot R} = 1$$

信号弁別窓幅及び最小磁化反転間隔を元データのビット間隔を単位として表すとそれぞれ R 及び $(d+1) \cdot R$ である。

現在実用されている符号には2-7 RLLC及び1-7 RLLCがある。前記記法に従えば(2, 7, 1, 2)及び(1, 7, 2, 3)である。

データの符号への変換方法には各種の方式が理論的に研究されている。実際には2-7 RLLCには可変長ブロック方式、1-7 RLLCにはlook-ahead方式が用いられているが詳細は省略する。

図-8はこれまでに用いられてきた符号化方式の位置付けを最小磁化反転間隔及び弁別窓幅の関係で表したものである。図には符号化可能な理論限界も示した。図で、位置で右上ほど望ましい符号と言え。これによれば現用のRLLCは以前に用いられたFM方式、MFM方式と比較して大幅に改善されたと言える。また理論限界に近い位置にあり、RLLCでこれ以上大幅に優れたものはありえない。

(4) 誤り制御

記録・再生系におけるデータ誤りに対する保障はかなり徹底して行われている。

まず、媒体の欠陥箇所にはデータ書込みができないようにあらかじめフォーマットして読取り誤りを予防している。

また、データには通常レコード単位に誤り訂正符号(ECC)を付加し、データ読取り時に常時誤りの監視と訂正を行う。最近では、ECCに訂正能力の高いReed-Solomon符号を用いることが多くなった⁴⁾。さらに、数十バイトの小ブロックごとにECCを付加して訂正能力を強化することも行われている。

(5) 最近の信号処理技術

ここ数年、従来とまったく異なる信号処理技術が注目され始めた。特に最近のトピックスはパーシャルレスポンス方式である。これはもともとデジタル通信の分野で開発された技術であるがこれを磁気記録に適用しようとするもので、一部の装置で実用が始まっている⁵⁾。実際にはパーシャルレスポンス方式と最大度復号という信号検出方式を併用し、低い S/N 比の信号からの読取り精度向上を図っている。この方式はPRML (Partial-Response/Maximum-Likelihood)と呼ばれている⁶⁾。

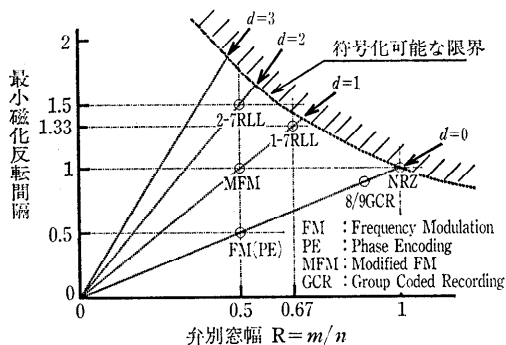


図-8 各 RLLC の弁別窓幅と最小磁化反転間隔の関係

PRML の説明には多くの紙面を要するので詳細は省略するが、概念的には、狭帯域の伝送路で広帯域のデータ伝送を行い、また、レベルの曖昧な受信波形から最も確からしい符号を検知する方法である。狭帯域では信号波形は歪み、符号誤りとなるが、PRML では帯域制限の形を制御して誤り方が常に一定になるようにする。さらに、その誤りを見越して正しい符号が検出できるようにあらかじめ符号変換を施しておく、という手段を取る⁷⁾。

現在の磁気ディスクでは再生信号の波形歪みと S/N 比が制約条件となりつつあるので、この方式は今後有望とみられている。

2.3 システム的構成と動向

磁気ディスク装置では HDA の記憶容量が増加するほどトラヒックが増大するためアクセスの高速化が要求されるが、機構的制約からそれほど改善できずアクセス能力の不足を来すようになった。その対策として HDA 内に複数のヘッド位置決め機構を備えることもあるが、最近ではむしろ HDA を小形化して記憶容量を制限するとともに、1 台の装置筐体に多数の HDA を装備し、負荷分散を図るようになってきた。これを推し進めた一つの形態がディスク・アレーであるが、これについては他の回で述べられるであろう。

また、最近では装置または制御装置内に半導体メモリを用いた cache memory を内蔵し、1 度アクセスされたデータを一時格納して、再アクセスのときこれにアクセスすることにより実効的にアクセス性能向上を図ることが一般的になってきた。

従来磁気ディスクは、独立した装置として HDA 及び周辺回路を筐体に収め、大容量で信頼性に重点を置いたメインフレーム用の装置と、小形システム用として主としてシステム本体に HDA を内蔵して使用する 5 インチ以下の比較的低価格の装置に分類されていた。しかし、磁気ディスクの高密度記録技術は今後もさらに一層の進展が期待され、HDA の小形化がますます促進されて上記のような分類は次第に意味がなくなっていくかもしれない。そして使用システムの性格に応じてこれらを組み合わせた各種構成の装置が提供されるようになるものと予想される。

3. 磁気テープ装置

3.1 用途と位置付け

磁気テープ装置は歴史的にみると最も古くから用いられ、その地位を保ってきた。磁気テープは媒体の互換性があり、データの保存やシステム間でのデータ交換に使用できることが特徴であり、メインフレームには欠かすことのできない記憶装置である。

データのアクセスは順次アクセスなので、大量のデータをまとめて読み書きするのに適している。記録媒体だけでみた体積記録密度とコストは他より圧倒的に有利で、長期保存データや磁気ディスクのデータのバックアップ記録にも適している。メインフレームではこのような用途で多く使用されている。

十年ほど前に小形のカートリッジ・テープを用いる装置が開発され、以前のオープンリール・テープに比較して操作性と体積記録密度が格段に向上した。なお、磁気テープではデータの冗長度を生かしたデータ圧縮機能を備えることがあり、記憶容量は実効的に 3 倍ないし 5 倍に増加できる。図-9 に磁気テープカートリッジの写真を示す。

最近ではカートリッジを数百ないし数千巻を収容し、アクセス機構で自動的に記録・再生デッキに装着して使用するテープライブラリ装置も製品化され、大規模なデータベース用として利用価値が一段と向上した。これは以前に用いられた MSS (Mass Storage System) に類似しているが記憶容量は飛躍的に向上したほか、カートリッジの通常の磁気テープ装置との互換性を保っている。

表-2 にはカートリッジ形磁気テープ装置及びテープライブラリ装置の仕様例を示す。

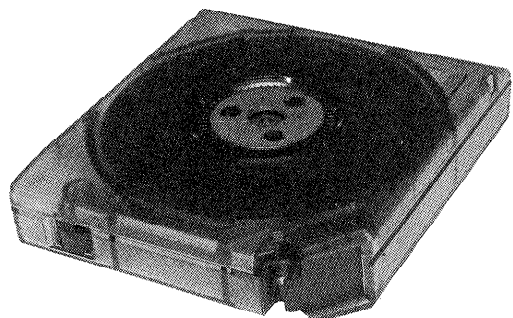


図-9 磁気テープカートリッジ (マシン装着側)

表-2 カートリッジ形磁気テープ装置及び
テープライブラリ装置の仕様例

項 目	仕 様
テープ・ カートリッジ	ケース寸法 (mm)
	テープ長 (mm)
	記憶容量 (メガバイト)*1
	トラック数
磁気テープ 装置	寸法 (mm, W×D×H)
	データ転送速度 (MB*/s)
	テープ走行速度 (m/s)
テープライブ ラリ装置	データ転送速度 (MB/s)
	テープ収納巻数 (最大)
	記憶容量 (GB) (最大)
	テープ装着時間 (秒)

*1 1ブロック 24 キロバイトの場合

*2 メガバイト

また、上記カートリッジ形とは別に小型システム用として、カセット形の各種テープを用いる装置が製品化されている。

磁気テープ装置は磁気ディスク装置とは使用法が異なる基本的な記憶装置として今後も永く使用されると考えられる。

3.2 装置の構成と主要技術

ここではカートリッジ形磁気テープ装置の技術的内容を概説する。

(1) テープデッキ

カートリッジはビデオカセットと同様な扱いでテープデッキに装着でき、操作は非常に簡便になった。旧来の装置と異なりテープの起動・停止は比較的遅いので、データの記録再生は比較的大きなデータブロックを単位に行う。

図-10 は装置の機構本体であるテープデッキの構成概要を示す。テープは供給リールと巻取りリールの協調動作により、起動・停止・走行を行う。

(2) 信号処理

カートリッジ形では高密度記録を実現するため従来のデジタル磁気記録とまったく異なる新しい技術を用いている。すなわち、記録から再

生までを通して一つの信号伝送系とみなし、一貫した扱いをする。図-11 にその回路ブロック図と波形を示す。図に示すように、結果的に信号弁別点において元の符号に対応する振幅になるような波形を得るように処理している⁹⁾。

4. その他の補助記憶装置

本章では、その他のものとして比較的新しい記憶装置として注目されている光ディスク装置と、半導体記憶装置について概要を説明する。

4.1 光ディスク装置⁹⁾

光ディスクには CD-ROM のような再生専用のもの、ユーザが1回だけ書込みができて再書込みができない Write-Once (WO) 形、及び、書換え可能な光磁気形 (MO) がある。いずれのタイプも半導体レーザ光を用いてデータを読み取る。特徴は高記録密度と媒体の互換性である。

光ディスクは当初は安価なビットコストを活か

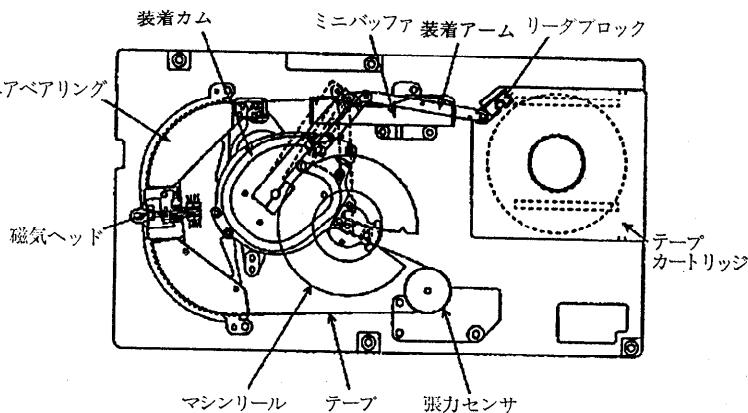


図-10 テープデッキの機構構成

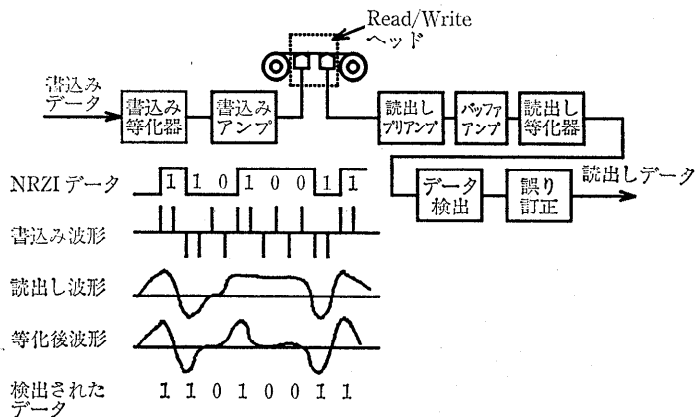


図-11 磁気テープ記録・再生系ブロック図と波形

し、画像ファイルとしての用途が主に考えられたが、もともとデジタル記憶装置であるので補助記憶装置としても使用される。記憶階層の位置付けとしては、媒体可換の点で磁気テープに近いが、ランダムアクセスが可能な点で磁気ディスクに近いことが特徴と言える。光ディスクにも媒体を多数収納し自動装着で使用する光ディスク・ライブラリ装置がある。表-3 に Write-Once 形と光磁気形の装置の仕様例を示す。

装置の原理を詳細に説明する紙面の余裕がないので、両方式の共通的原理と主な違いを簡単に説明する。

記録媒体にはガラスまたはプラスチックの円板状基板の上にレーザ光のトラッキングのために案内溝を設け、その上に記録材料を施したものをを用いている (CD-ROM を除く)。

記録密度はいずれも数百 kbit/mm² でかなり高い。転送速度は主として記録時のレーザパワーで制限され、最高数 Mbit/秒である。

装置光学系の基本構成 (Write-Once 形) を図-12 に示す。光学系の機能はトラック位置決め、媒体への焦点合わせ、及び信号の記録・再生である。

表-3 光ディスク装置の仕様例

項 目	仕 様	
	Write-Once 形	光磁気形
記録媒体径 (mm)	130	130
媒体記憶容量 (メガバイト)	600	644
平均シーク時間 (ミリ秒)	93	62.5
平均回転待時間 (ミリ秒)	17	12.5
データ転送速度 (MB/s)	1.5	1.5
装置寸法 (mm, W×D×H)	400×600×1,000	

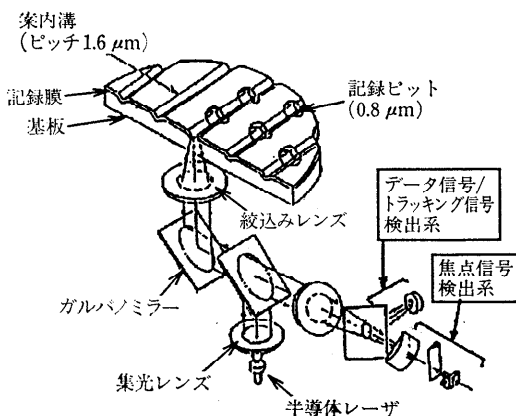


図-12 光ディスク光学系の基本構成 (Write-Once 形)

Write-Once 形では、記録材料は低融点元素の一種であるテルルを主体とする金属合金の薄膜で、記録は強いレーザビームパルスの熱によりこれに小径の穴をあけることにより行う。再生は弱いレーザビームを照射し、穴部の光反射率の変化を検出して行う。

光磁気形では、記録材料に Kerr 効果（偏光光が磁性体表面で反射するとき偏光の方向が回転する現象）の優れた希土類元素の一つであるテルビウムを主体とする磁性金属合金の薄膜を用いる。記録は、あらかじめ一定方向に磁化した媒体を弱い逆方向磁界中でレーザパルスで磁性が消滅するキュリー温度以上に昇温後、室温に戻ったとき印加磁界の方向に磁化が残る性質を利用する。また、再生には偏光したレーザビーム光を照射し、偏光角の回転を検知する方法を用いる。そのため光ヘッドには偏光素子や磁石などが付加される。

現在のところ、記録に先立ち媒体を一定方向に磁化しておく必要があり、磁気ディスクのような「オーバーライト」ができない。オーバーライト可能な方式は現在精力的に開発が進められている。

つぎに光ディスク装置における信号処理について簡単に説明する。

光ディスクでは記録媒体のピットの有無または前後のエッジが情報を担う。磁気記録が双極性なのに対しこれは単極性である。また、信号は光センサを介して電気信号に変換されるため磁気記録の場合とかなり異なった信号の性質を示す。本質的差異は符号間干渉の仕方が非線形な点である。しかし現在の装置では RLL 符号やピークセンス方式の採用など、高記録密度を得るための手段として磁気ディスクに近い方式を採用している。

誤り制御に関しては、記録密度が高く、また、磁気ディスクのようにあらかじめ媒体の欠陥を回避するような手段が取れないので、かなり強力な ECC を用いることにより対処している。そのため ECC による冗長度は 33% に及ぶ。

4.2 半導体記憶装置

従来記憶階層の中で主記憶の直下の部分に該当する装置が欠落していたのでこれをアクセスギャップと呼び、この部分を埋めるものが期待されていた。そこに半導体メモリの大容量化と低コスト化が進んだので、これを用い高速な補助記憶装

表-4 半導体記憶装置の仕様例

項 目	仕 様
装置記憶容量 (メガバイト)	256~4,096
平均アクセス時間 (ミリ秒)	0.1
データ転送速度 (メガバイト/s)	3~18
装置寸法 (mm, W×D×H)	1,100×800×1,300

置として製品化されたものが半導体記憶装置である。

記憶本体には主記憶装置用と同じ DRAM を用いるが、インタフェースやアドレスの条件が磁気ディスクと同一になるように構成している。そのためシステムからみるとあたかも高速な磁気ディスク装置にみえるので、半導体ディスクとも呼ばれる。主記憶装置と比較してアドレス空間が大きいので大容量化への制約がないことも特長である。

アクセス時間は主記憶と同様高速であるが、揮発性メモリであるので、装置に電池を備えたり、停止時にはデータを待避・保存させるため磁気ディスクを内蔵するなどの手段を講じている。

表-4 に装置の仕様例を示す。

現在新しい記憶素子としてフラッシュ形 EEPROM (不揮発性、一括消去・再書き込み可能な読み出し専用メモリ) が注目され、これを用いた記憶装置も検討されている¹⁰⁾。一括消去であることは補助記憶デバイスとしてはほとんど障害にならず高速メモリとして有望であるが、その成否はチップの記憶容量とコストの動向にかかるといえる。

5. おわりに

以上に補助記憶デバイスの技術を概観した。

この分野の技術進歩はいずれの機種でもきわめて急速で性能向上も著しく、また、新しい原理のものも研究が進められている。したがってここに説明した内容も遠からず書き換えが必要となる。

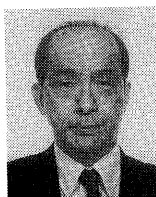
さらに、コンピュータ本体との接続も、メインフレームにおける光ケーブルを用いた高速のチャ

ネル装置の出現、小形システムにおける並列化による高速転送技術の開発などが行われており、補助記憶デバイスとのデータのやりとりの仕方も今後大きく変化することも考えられる。そのようになると、補助記憶デバイスの概念そのものにも見直しが必要なのではないかと思われる。

参 考 文 献

- 1) コストを抑えて磁気ディスクの容量を増やすためには効率の良い記録符号の選択が重要; 日経エレクトロニクス, '85.7.15, p. 289.
- 2) Tang, D. T.: Run Length Limited Codes, IEEE International Symposium on Information Theory (1969).
- 3) Franaszek, P. A.: Sequence-State Methods for Run-Length-Limited Coding, IBM J. Res. Develop, 14, pp. 376-383 (1970).
- 4) たとえば, 宮川 洋他: 符号理論 (コンピュータ基礎講座 18), 昭晃堂.
- 5) Coker, J. D. et al.: Implementation of PRML in a Rigid Disk Drive, IEEE Trans. on Magnetics, 27-6, pp. 4538-4543.
- 6) 小型 HDD, 記録密度「Gビット時代」へばく進; 日経エレクトロニクス, '91.9.30, p. 77.
- 7) たとえば, 畔柳功芳編: デジタル通信回路, 産業図書.
- 8) Schneider, R. C.: Write Equalization in High-Linear Density Magnetic Recording, IBM J. Res. Develop, 29, No. 6, pp. 563-568 (1985).
- 9) 一般解説書としてたとえば, (株)オプトロニクス編集部編: わかりやすい光ディスク, オプトロニクス社.
- 10) 外部記憶装置に旋風, フラッシュ・メモリが1.8インチ DHD に挑む: 日経エレクトロニクス, '92.2.17, p. 133.

(平成4年7月24日受付)



亀山 忠彦

1956年名古屋大学工学部電気学科卒業。以後、1979年まで日本電信電話公社 (現 NTT) 武蔵野電気通信研究所。1992年まで (株) 日立製作所小田原工場勤務。その間、磁気記録形記憶装置 (磁気テープ装置, 磁気ドラム装置, 磁気ディスク装置など) の開発に従事。現在 (株) 日立製作所ストレージシステム事業部嘱託。電子情報通信学会, 応用磁気学会各会員。