

データベースシステム用ファイル装置の現状と動向

Trends of File Memory for Data Base System

亀山忠彦* Tadahiko Kameyama
坂本 勝* Masaru Sakamoto

データベースシステム用のファイル装置の中心的存在である磁気ディスク装置は、現在1スピンドル当たり1,260Mバイトまで製品化されており、更に2,500Mバイト以上への大容量化に向けて、基礎技術の開発が進められている。また、磁気ディスク装置は大容量化だけでなく、スループット向上のためにシーク時間の短縮、データ転送速度の向上も進んでいる。メモリ階層での最下層のファイルメモリとしてのMSSは、現在カートリッジ当たり50Mバイトの記録容量であるが、今後2~4倍の容量アップが可能と考えられる。更に、低価格で、イメージ情報を含む大容量ファイルとして特に期待されている光ディスク装置を現在鋭意開発中である。本稿では、上記装置の技術動向と開発状況について述べる。

1 緒言

データベースシステムのデータベース格納の主な記憶媒体として、現在最も優位なものは磁気ディスク装置であり、更に大容量記憶の階層構造として、MSS(Mass Storage System: 超大容量記憶システム)、今後の製品として光ディスク装置やCCD(Charge Coupled Device)、磁気バブル記憶(Magnetic Bubble Memory)などの固体ファイルメモリがある。

以下に、磁気ディスク、MSS及び光ディスクを主体に、これらの現状と動向について述べる。

2 概要

データベース用ファイル装置の、各種記憶方式に占める位置付けを図1に示す。磁気ディスクやMSSに代表される磁気記録形ファイル装置は、(1)安定な高密度記録が行なえること、(2)再生が記録直後に行なえること、(3)情報の書換えや消去が可能であること、(4)電源が切れても情報が保存される(不揮発性)こと、(5)実用的見地からは性能価格比が良好であること、など数多くの特長をもち、データベース用ファイルの主流をなしている。しかし、イメージ情報用ファイルとして普及するには、容量価格比の改善が要求されるが、これにこたえるメモリとして有力なものが光ディスク装置である。現状では各メーカーで、装置開発中又は一部で出荷されている程度であるが、今後製品化が進めば磁気ディスクなどに比べ大幅な容量価格比の向上が期待できる。これは書換え不能形メモリであり、書換え可能な光磁気ディスクも研究又は一部で試作されているが、製品化は当分先のことと思われる。磁気記録形メモリや光ディスク装置は、記憶媒体が機械的に運動するのに対して、固体ファイルメモリ(固体ディスク、電子ディスクとも呼ばれる。)は、運動する部分を含まぬメモリであり、CCDや磁気バブルがこれに相当する。これらは記憶階層(メモリハイアラーキ)の構成で、主記憶(メインメモリ)と磁気ディスクとの間に存在するアクセス時間のギャップ(これをアクセスギャップと呼ぶ。)を補完するメモリとして期待されているが、第6章で述べるように磁気ディスクの実効的アクセス時間を短縮するディスクキャッシュや、MOS(Metal Oxide Semiconductor)メモリ素子の大容量化・低価格化に伴う半導体メモリによる大容量ファイルの実現も今後予想され、図1

の矢印に示すように、しだいにアクセスギャップが埋まってゆくものと考えられる。

その他の原理のファイルメモリとしてBEAMOS(Beam Addressable MOS)、ホログラムメモリ、熱可塑膜記録などの光ビーム又は電子ビームでアクセスと記録・読出しを行なう各種のメモリの研究が行なわれているが、いずれも実用化の見通しは、現時点では立っていない。

3 磁気ディスク装置

磁気ディスク装置は、現在のデータベースシステム用ファイル記憶装置の中心的存在と言える。

日立製作所では、大形コンピュータ用ファイルとして1960

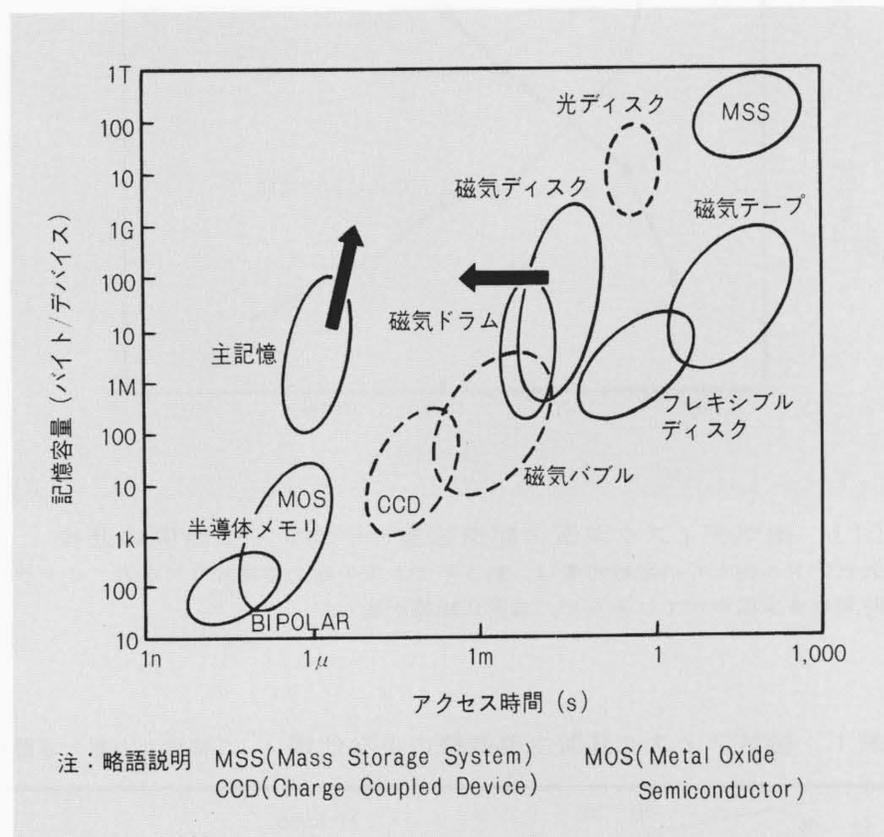


図1 各種メモリの容量とアクセス時間 現状で実用化が一般的でないメモリを破線で示す。主記憶は、半導体メモリの大容量化・低価格化で、また磁気ディスクはディスクキャッシュの採用で、それぞれ矢印の方向に改良が進む。

* 日立製作所小田原工場



図2 H-8598形ディスク装置の外観 記憶容量1,260Mバイト/スピンドルで、筐体に2スピンドル実装される。記憶容量、転送速度共大幅に向上した。

年代から磁気ディスク装置の開発と出荷を進め、大容量化と高性能化に努めてきた。現在スピンドル当たり635MバイトのH-8576形の出荷を行っており、更に、スピンドル当たり1,260MバイトのH-8598形を製品化している。また更に、データベースシステムなどへのニーズの増大にこたえるため、スピンドル当たり2,500Mバイト以上への大容量化に向けて基礎技術の開発を進めている。図2にH-8598形磁気ディスク装置の外観を、表1に主要機種的主要仕様を示す。

3.1 性能とその推移

図3に磁気ディスク装置のスピンドル当たりの記憶容量と平均シーク時間の年次推移を示す。これに対しビット当たりの価格は、ほぼ記憶容量に逆比例して低下してきた。また、価格低下とともに見逃せないことは設置床面積、重量、所要電力の低減である。図4はディスクサブシステムでの単位記憶容量当たりの上記値の推移を示すもので、省スペース、省資源、省エネルギー化も進んできたことを示している。

他方、スピンドル当たりの記憶容量の増大に伴い、アクセス要求頻度が増加する傾向があり、それに伴って、スループットの改善が必要となる。それに対処し、シーク時間の短縮、データ転送速度の向上のほか、H-8576形、H-8598形ディスク装置ではスピンドル当たり2個のヘッド位置決め機構を設け、それぞれ独立に駆動できるようにして、実効的スループットの改善を図った。図5に単位記憶容量当たりのスループ

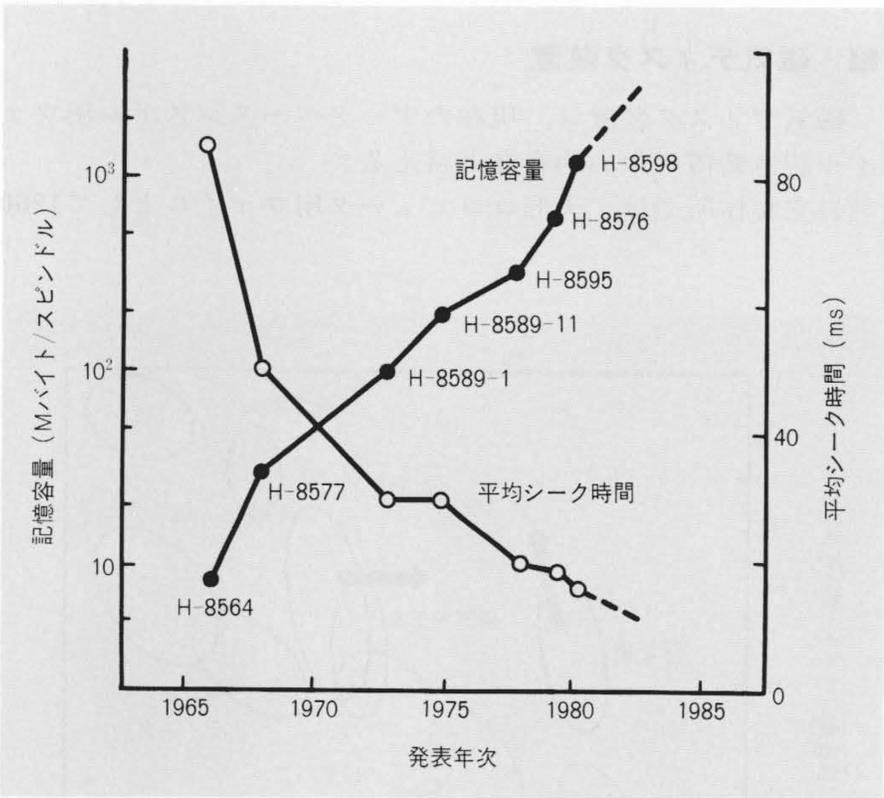


図3 磁気ディスク装置の記憶容量と平均シーク時間の進歩 スピンドル当たりの記憶容量は、約5年で4倍の割合で増加してきた。シーク時間は多少緩やかではあるが、着実に短縮が進んだ。

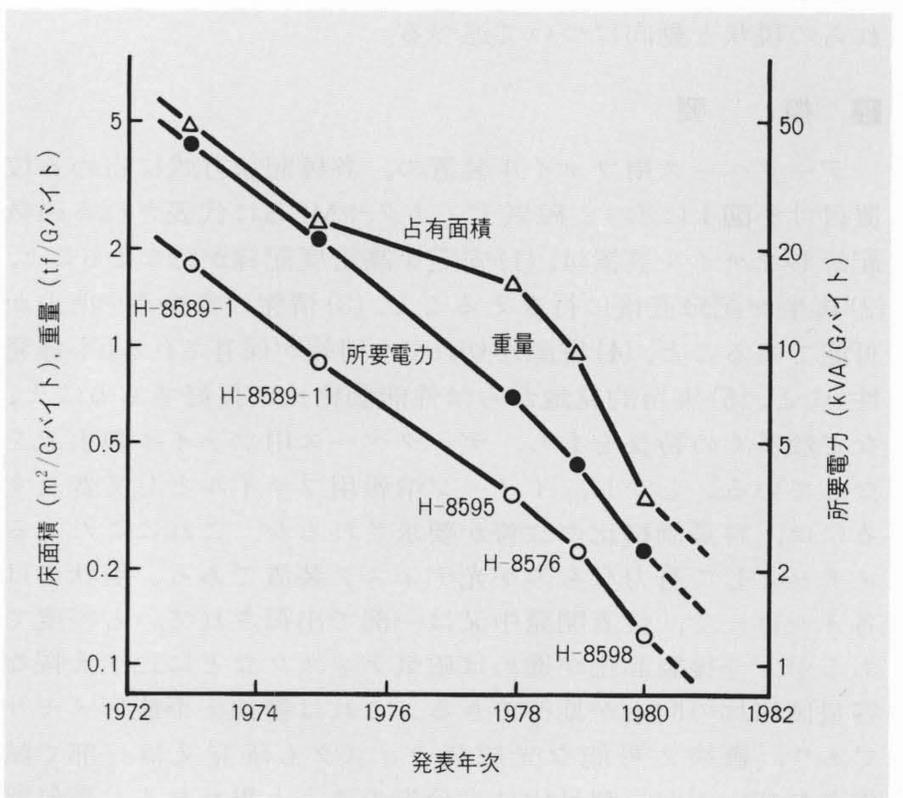


図4 磁気ディスク装置の容量当たり設置床面積、重量及び所要電力 記憶容量1Gバイト当たりの値を示す。省スペース、省資源及び省エネルギー化が進んでいることが分かる。

表1 磁気ディスク装置主要機種の主な仕様 3機種共大形大容量固定ディスクである。

仕様	形式	H-8595	H-8576	H-8598
記憶容量		317.5Mバイト/スピンドル (635Mバイト/台)	635Mバイト/スピンドル (1,270Mバイト/台)	1,260Mバイト/スピンドル (2,520Mバイト/台)
平均シーク時間		20ms	18ms	16ms
平均回転待ち時間		8.4ms	8.4ms	8.4ms
データ転送速度		1.198Mバイト/秒	1.198Mバイト/秒	3Mバイト/秒
ヘッド位置決め機構の数		1個/スピンドル	2個/スピンドル	2個/スピンドル
筐体寸法 (m)		幅1.2×奥行0.8×高さ1.1	幅1.1×奥行0.9×高さ1.2	幅0.8×奥行0.9×高さ1.8

ットの推移を示す。

3.2 磁気ディスク装置の技術動向

これまでの磁気ディスクの記憶容量増大をもたらしたものは、記録密度とトラック密度の向上である。これを可能にした技術的要因は、磁気ディスク媒体の磁気特性の改善と膜厚の低減、磁気ヘッドの浮上すきまの低減、ヘッド位置決め技術の改良、記録変調方式、記録・再生回路の改良などであり、これらに対応しディスク記録膜面の加工精度の向上など、生産技術的進歩が大きな支えとなってきた。図6にビットピッチ、トラックピッチ、記録媒体膜厚、ヘッド浮上すきまの推移を示す。

磁気ディスク装置の主要要素技術の現状と、今後の動向について以下に述べる。

(1) 記録媒体

磁気ディスク装置には過去から一貫して針状酸化鉄塗布形ディスクが用いられてきた。記録密度向上は塗布膜の厚みの低減、角形比の改善及び塗膜の均質化、無欠陥化並びに表面仕上げ精度向上によって達成してきた。

今後の高密度化には、従来の塗布形に代わりめつきやスパッタなどのプロセスによる磁気特性の優れた薄膜形が必要とされている。この動向に沿い、日立製作所でもこれら新しいタイプの記録媒体の研究開発を進めている。

しかし、塗布形でも磁性粉及び塗料の改善並びに表面精度改良により記録密度を更に伸ばす余地が残されており、今後どの世代の機種まで適用できるか予測が難しい。

更に、最近記録膜面に垂直な方向に磁化する垂直記録方式が飛躍的高密度化をもたらすものとして注目されており、これについても基礎的研究を開始している。

(2) 磁気ヘッド

従来磁気ディスク用には、Ni-Zn焼結フェライトを用いたモノリシック形ヘッドが主流であった。これに対し、Mn-Zn焼結フェライトを用いたものは記録・再生特性に優れるので、高記録密度、高トラック密度の磁気ディスク装置に多く用いられるようになった。

近年注目されている薄膜形ヘッドは、高密度記録に適し既に実用されている例もあるが、現在の装置には必ずしも必要

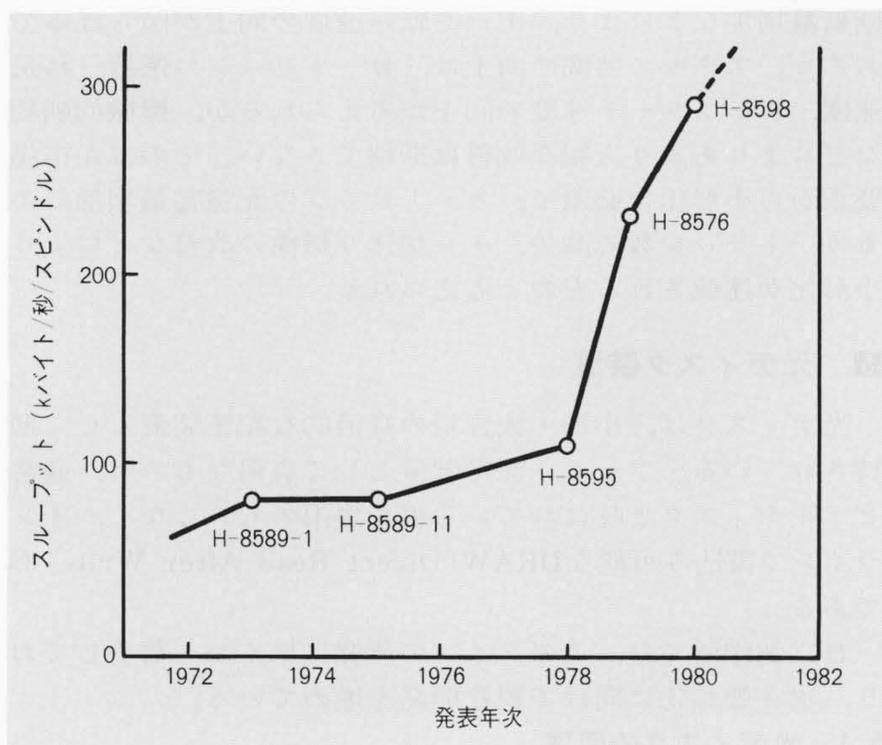


図5 磁気ディスク装置のスループットの推移 1スピンドル当たり毎秒平均転送能力を示す。平均使用率を0.4とした。

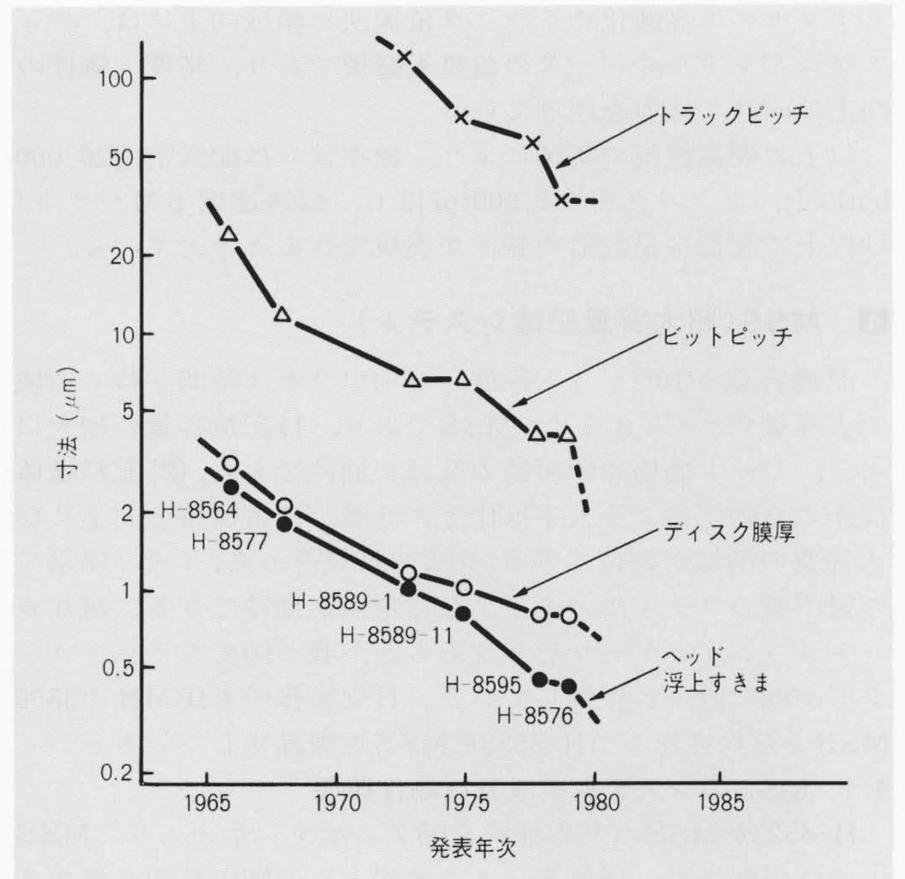


図6 磁気ディスク装置ビットピッチ、トラックピッチ、媒体膜厚及びヘッド浮上すきまの推移 高密度化は、媒体膜厚、ヘッド浮上すきまの低減、その他により達成されてきた。

でない。しかし、高周波特性に優れ、またトラック幅加工精度が高いところから、今後のトラック密度と転送速度の向上には必須になると予想されるので、現在鋭意開発を進めている。

記録密度の向上には、更にヘッドの浮上すきまの低減が必要である。現在の $0.4\mu\text{m}$ 前後に対し、 $0.1\mu\text{m}$ 程度までの浮上は実験室的には確認されているが、実用にはディスクやヘッドスライダの表面粗さの改良など、浮上信頼性への配慮が必要である。

(3) 回路・記録方式

データ記録の変調方式は、磁気ディスク装置では現在MFM方式が主流であるが、最近(2, 7)方式という新しい方式が注目されている。これは、従来の変調方式に比べて、実効的情報記録密度を上げられる特長がある。今後更に、高密度化に適した変調方式が出現することも期待できる。

書込み、読出し回路では、記録時タイミング補償、再生時波形等化、信号弁別方式改良など、実効的記録密度の向上に有用な技術が多く残されており、これらの研究開発も進めている。

(4) ヘッド位置決め機構

記憶容量の増加とともに、アクセス時間短縮の要求が高まっている。そのため、可動部の軽量化とボイスコイルモータの高出力化の努力を続けている。H-8576形ディスク装置では、等価可動質量の減少と高磁束密度磁石の採用により、平均シーク時間 18ms を得、更にH-8598形では 16ms と高速化している。これらの機種では、スピンドル当たり2個のヘッド位置決め機構を設けて、スループットを更に改善した。将来は大容量化に対処し、ヘッド位置決め機構の数を4個以上に増すことも考えられる。

トラック密度を今後大幅に向上するには、位置決め信号をデータ記録用ディスク面上に記録しておくデータ面サーボ方式が有望であり、実用化に向けて検討を行なっている。

アクセスの高速化やトラック位置決め精度向上には、ディスクスピンドルやベースの改良も必要であり、精度、剛性の向上に向けて努力を続けている。

以上の要素技術の集積により、数年後には記録密度20,000 bpi以上、トラック密度1,000tpi以上、転送速度5Mバイト/秒以上で記憶容量数倍の装置が実現できると考えている。

4 MSS(超大容量記憶システム)

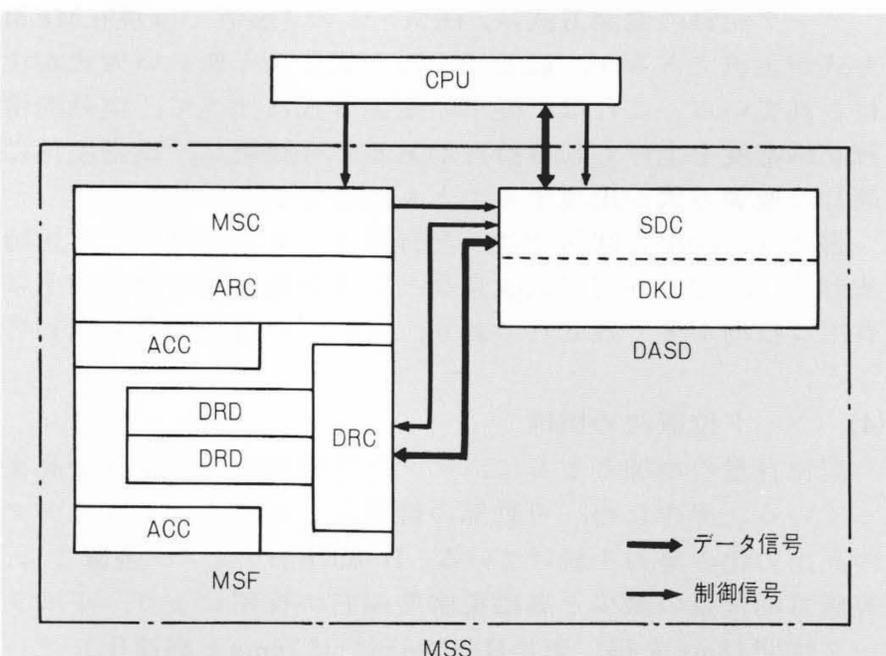
記憶容量が 10^{12} ビット程度、平均アクセス時間が秒の領域の大容量ファイルメモリがMSSであり、(1)記憶容量の増大に対し、ビット価格や床面積の低減が期待できる、(2)記録媒体操作の自動化による人手操作ミス低減、機密保持の向上及び人件費の削減が期待できる、などの特長をもち、メモリ階層での最下層のファイルメモリとして定着が期待できる。現在カートリッジ形とテープ形とがあるが、我が国でもカートリッジ形が既に数十台稼働している。日立製作所もIBM社の3850 MSSと互換性をもつH-8523形MSSを製品化している。

4.1 MSSのシステム構成及び動作概要

H-8523形MSSの基本構成を図7に示す。主メモリとMSSとの情報転送は、磁気ディスク装置とその制御装置で構成されるDASD(Direct Access Storage Device:直接アクセス記憶装置)を介して行なうため、システム的には超大容量の仮想磁気ディスクとして使え、システム当たり350億~2,350億バイトの容量をもっている。記憶媒体としては、幅68.6mm、長さ約20mの磁気テープを内蔵したカートリッジを使用し、カートリッジ当たり50Mバイトの記憶容量をもち、VTR(ビデオテープレコーダ)のように回転ヘッドによるヘリカルスキャンによって、斜めのストライプ状に磁化記録される。

4.2 MSSの技術動向

MSSは、磁気ディスク装置や磁気テープ装置など同様の磁気記録技術、VTRなどの回転ヘッド技術、データカートリッジへの選択・移送のためのX-Yプロッタなど同様のアーム移



注：略語説明
 CPU(中央処理装置) SDC(ステージングディスク制御装置)
 MSC(大容量記憶制御機構) DKU(ディスク駆動装置)
 ARC(アクセス制御機構) DRC(データ記録制御機構)
 ACC(アクセス機構) MSF(大容量記憶装置)
 DRD(データ記録機構) DASD(直接アクセス記憶装置)

図7 MSSの構成 MSSはDASD(直接アクセス記憶装置)とMSF(大容量記憶装置)から構成されている。

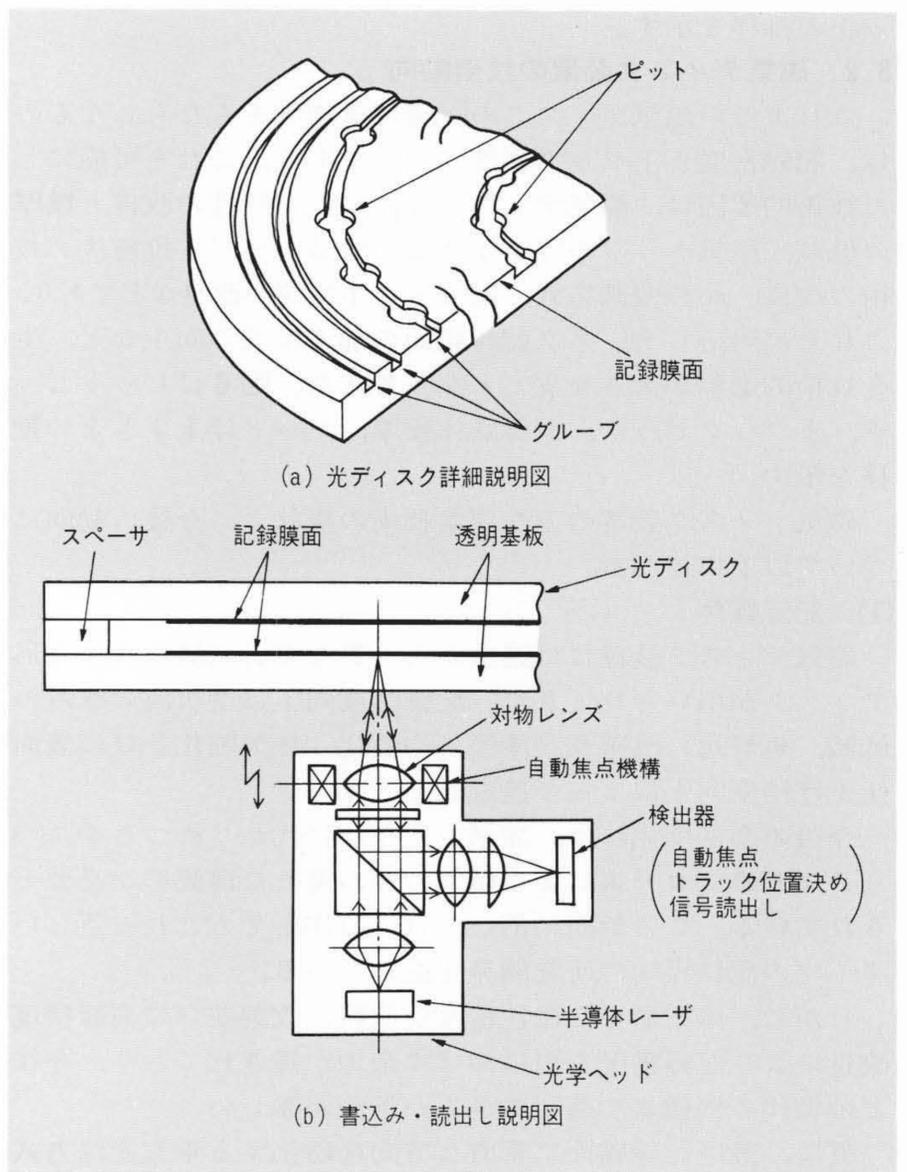


図8 光ディスクの原理説明図 光学ヘッドは、トラックを選択するため左右に移動し、グループに追従するようにサーボにより微動する。ピットは、グループに沿ってあけられる。

動技術、OS(Operating System)の仮想記憶技術及びRASIS(信頼性、使用可能度、保守容易度、保全性及び機密保護)技術など、多くの技術が結集されたものである。MSSには今後ビット価格の低下、データ転送速度の向上及びアクセス時間の向上が望まれている。記録密度とトラック密度の向上により高密度化が進行し、カートリッジ当たり当面2~4倍の容量アップが可能と考えられる。更に記録密度の向上、ヘッド回転数増加などにより、データ転送速度の向上が図られるであろう。アクセス時間の向上は、カートリッジの選択・移送速度、テープサーチ速度の向上が考えられるが、機械的制約などによりあまり大幅な改善は期待できない。そのほか市場要求から小形化は必須で、カートリッジの記憶容量増加によるカートリッジ数の減少、テープ送り機構の改善などにより小形化が達成されるものと考えられる。

5 光ディスク装置

光ディスクは、小形・大容量の経済的な記憶装置として期待されている。ファイル記憶装置として有用なものは、通常ビデオディスクと呼ばれている再生専用のものでなく、オンラインで書き込み可能なDRAW(Direct Read After Write)形である。

日立製作所では、このタイプの研究に早くから着手しており、現在製品化に向けて鋭意開発を進めている。

5.1 光ディスクの原理

光ディスクの原理の概要を以下に述べるとともに、図8に説明図を示す。

(1) 記録媒体

スパイラル状グルーブ(案内溝)付きの透明基板の表面にテールを主体とする金属薄膜を形成したものを記録面とし、この面を内側にしてスペーサを介してサンドイッチ構造に封止したものである。

(2) 記録・再生

記録には半導体とレンズ系を内蔵する光学ヘッドを用い、波高値20mW前後のレーザパルスを記録面に照射し、ピット(溶融穴)を作る。また、再生では同じ光学ヘッドで数ミリワット以下の一定光を記録面に照射し、その反射光の強弱でピットの有無を検知する。

(3) トラック位置決めと自動焦点合せ

光学ヘッドは磁気ディスク装置と同様に位置決め機構で移動できるようにしてあり、光学式ビデオディスクと同様に光ビームの位置をグルーブ上にくるようにサーボで追従させる。位置の検出はグルーブに当てられたレーザ光の回折像により行なう。また、レーザ光は常に記録膜面に焦点を結ぶように自動焦点機構で対物レンズで上下移動させる。位置決め機構により任意のトラックにランダムアクセスすることもできる。

5.2 光ディスクの性能と特徴

光ディスクの記録密度は長手方向、トラック方向とも光学ヘッドのレーザ波長とレンズ性能で制限されるが、現在の磁気ディスクに比べて一桁以上大きい面記録密度が得られ、直径30cmの円板片面で約1G(ギガ)バイトを取容できる。

転送速度は記録速度で制限され、1～2Mビット/秒である。

データ誤り率は磁気ディスクよりも数桁低いが、イメージ情報記録には十分である。また、強力な誤り訂正符号の使用、その他の誤り救済手法の採用により、実効的誤り率を磁気ディスク並みに近づけることが可能であり、コード化データの記録にも使用できる。

光ディスク装置では摺動動作する部分がなく、摩耗故障の心配がない。また、記録面が密閉構造体内に封止されるため塵埃の影響を受けにくく、高記録密度にもかかわらず使用・保存条件に制約が少ない。

光学系の改良やレーザの高出力化が進めば、記録密度、転送速度は今後更に向上するものと考えられる。

5.3 データベースなどへの適用

光ディスクをデータベースシステムのような大規模なファイルとして利用するには、ジュークボックスのような自動装着機構を付加した形が考えられ、これにより1台当たり数十ギガバイトの記憶容量が得られる。

イメージ情報を各種記録媒体に記録する場合、媒体の保存スペースを比較すると表2に示すようになる。光ディスク1枚には、普通のファイルキャビネット1本分の情報をイメージ情報のままで記録できる。

コード化情報記録用としては、書替えの必要がなく、かつ

表2 各種記録媒体の保存スペース比較(光ディスク=1) 同一量のイメージ情報を各種記録媒体に記録する場合、媒体だけの保存スペースを比較する。光ディスクが圧倒的に高密度なことが分かる。

記録媒体	占有スペース
光ディスク	1
マイクロフィッシュ	4
超大容量記憶カートリッジ	15
磁気テープ	50
紙テープ	100
ディスクバック	150

アクセス頻度の低いドキュメントファイルの格納に有用となるであろう。

今後、大容量、経済的なファイルとして、各方面への適用が期待される。

6 主記憶・磁気ディスク間アクセスギャップの補完

記憶階層の中で磁気ディスクと主記憶の間のアクセスギャップが大きく、これを補完する記憶装置の出現が望まれている。従来の磁気ドラムのほかにCCD、磁気バブルなどの固体メモリを用いたファイルが期待されてきたが、これらの固体ファイル記憶装置は現時点では特殊のものを除き製品化されるに至っていない。

また、磁気ディスク装置は機構的アクセスによっているため、大幅な高速化には限界がある。そこで磁気ディスクの実効的なアクセス時間の短縮を図る試みが行なわれ、磁気ディスクと主記憶の間にアクセスの速いバッファメモリとして設けたディスクキャッシュが商用レベルに達している。これはディスク上のデータの中でアクセスが集中しそうな部分をディスクキャッシュにステージングし、要求されたデータがキャッシュ上にあるときはこれにアクセスすることにより、アクセス時間の大きい磁気ディスクへのアクセス回数を減らすもので、上位装置から見れば磁気ディスクへの実効的アクセス時間が短縮されたことになる。アクセス時間の短縮効果は、キャッシュの記憶容量、アクセス頻度、具体的ハードウェア構成及びアクセス処理方法により変わる。読み出し時に、所要のデータにヒットすれば、確かに大幅なアクセス時間の短縮を実現できるが、複雑なアプリケーションを考えると、不明確で未知のパラメータも多く、磁気ディスクの各アクチュエータ間のアクセス頻度のばらつきの検討や、ヒット率(アクセス要求を受けたデータがキャッシュ上に存在する確率)を向上させる方法など、今後改良検討事項が残されている。図9はディスクキャッシュの効果を調べるため、ある実システムでの磁気ディスクへのアクセスを利用してシミュレーションテストした結果の一例で、横軸にアクセス頻度、縦軸に実効応答時間を示す。この例ではヒット率は80%前後と仮定し

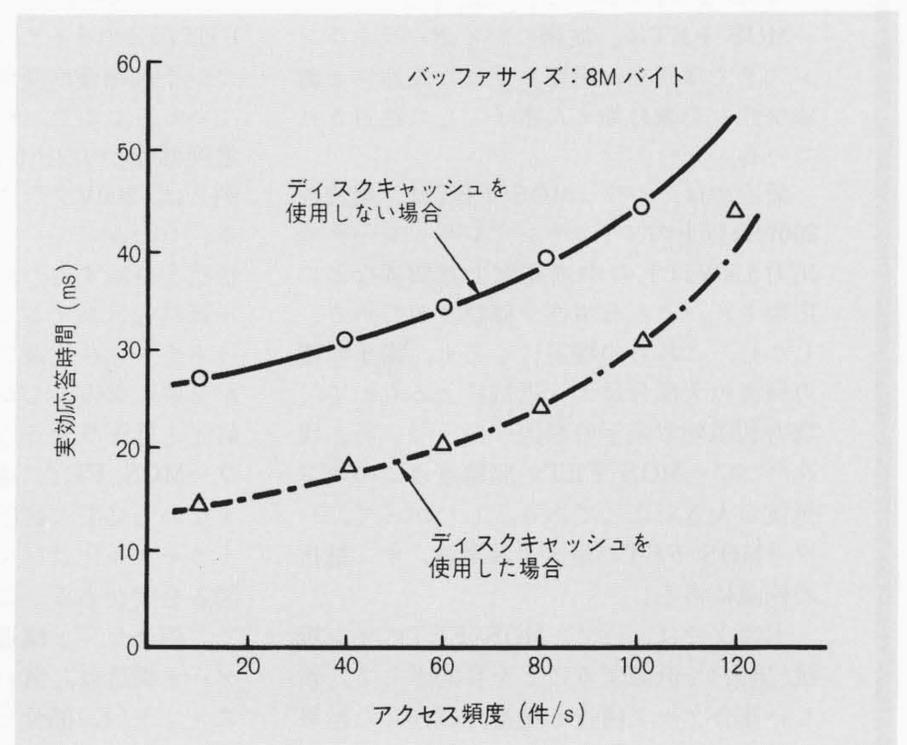


図9 ディスクキャッシュの効果の一例 ディスクキャッシュの使用により、同一アクセス頻度では、応答時間が短縮され、また同一応答時間では許容アクセス頻度が向上することが分かる。

ている。

他方、現在の主記憶装置の主流であるMOSメモリは長足の進歩を示しており、磁気ディスクと比較した場合、現時点で記憶容量当たりの実装容積ではほぼ同等、消費電力及び価格で100倍以下の範囲に達している。MOSメモリは一時放射線によるソフトエラーが問題とされ、メモリチップの大容量化の障害となることが懸念されたが、これへの対策が進み、誤り救済技術の進歩にも支えられて、今後更に大容量化、低価格化及び低電力化が進むものと期待される。それにより、数年後にはMOSメモリ素子を用いたギガバイトクラスの大容量ファイル記憶の実現も可能となるであろう。

そのような時期にはCCD、磁気バブルは価格が主な競合比較要因となるであろう。CCDはMOSに比べプロセスが簡単で大容量化に適し、低コストとされるが、価格は技術の進展の度合や需要動向にも左右される面が大きく、今後の予測は難しい。磁気バブルは不揮発性が最大の利点とされるものの、現状では転送速度が低いなどの問題点も多く、大容量ファイルとして用いるには更に飛躍的な改善が要求される。

7 結 言

以上、データベースシステム用ファイル装置の現状と動向について述べた。本稿では触れなかったが、大容量化する固定ディスクのバックアップとして、高記録密度磁気テープ装置のニーズが強く、現在の9トラックで記録密度6,250bpiに対し、2倍のトラック密度、2～4倍の記録密度の磁気テープ装置の製品化が予想される。

本稿で述べたように、今後、磁気ディスク装置、MSSの大容量化と高性能化、低価格化を進め、更に光ディスクなどの

新しい製品を参入させてゆくことになるであろう。また、ディスクキャッシュの採用や半導体メモリによる大容量ファイルの実現により、主記憶と磁気ディスクとのアクセスギャップは埋まるものと思われる。これらの各種のメモリにより、データベースシステム用として広範囲の用途に適合できるファイル記憶装置を提供できるようになるであろう。

日立製作所は今後共、市場の要求に合ったファイル装置を良いタイミングで製品化し、提供していく考えである。

参考文献

- 1) 伊藤：外部記憶装置，情報処理学会誌，21，4，350～357（昭55-4）
- 2) 石井：記憶階層のためのハードウェア技術，情報処理学会誌，21，4，308～313（昭55-4）
- 3) 草鹿，外：情報の蓄積・検索技術，情報処理学会誌，22，10，979～991（昭56-10）
- 4) 植村，外：データベースマシン，情報処理学会情報処理叢書（昭55-7）
- 5) 河野，外：大容量ディスク装置，日立評論，61，12，855～858（昭54-12）
- 6) A. S. Hoagland：Storage Capabilities and Limitations, Computer, Vol. 12, No. 5 (May. '79)
- 7) C. S. Chi：Higher Densities for Disk Memories, IEEE Spectrum, Vol. 18, No. 3 (Mar. '81)
- 8) 倉根，外：大容量記憶システム“MSS”の開発，日立評論，61，12，851～854（昭54-12）
- 9) 渡辺：デジタル磁気テープメモリ，電子科学，1981年，1月号，39～45（昭56-1）
- 10) 伊藤，外：超大容量記憶装置の動向，情報処理学会誌，19，5，465～471（昭53-5）

論文抄録

複合ゲートによる低損失パワーMOS FET

日立製作所 吉田 功・岡部健明・他3名

電子通信学会論文誌 J64-C, 851～858 (昭56-12)

MOS FETを高耐圧、大電流化したパワーMOS FETは、従来のバイポーラトランジスタでは両立が困難とされた高速性と耐破壊性とを兼ね備えた素子として注目されている。

最近では、パワーMOS FETは、周波数200kHz以上のスイッチングレギュレータや出力1kW以上の中波高電力増幅器などに応用され、その有用性が確認されている。しかし、これらの機器にしても、素子の電力損失の大部分はオン抵抗によるもので、電力利用効率低下の原因になっている。現在のパワーMOS FETの問題点はこのオン抵抗が大きいことである。したがって、パワーMOS FETの最大の課題は、オン抵抗の低減にある。

本論文では、パワーMOS FETのオン抵抗(損失)を低減することを目的として、新しい複合ゲート構造を提案、試作した結果について述べている。

パワーMOS FETのオン抵抗は、MOS FET部分のチャンネル抵抗と高耐圧化のための低不純物濃度領域部分の抵抗とから成っている。ここで、オン抵抗のFET部分と低濃度部分との内訳は、耐圧により異なるが、例えば、200Vクラスでは2：1の割合である。したがって、パワーMOS FETのオン抵抗を低減するために、FET部分のチャンネル抵抗を低減することが有効であり、ショートチャンネル化及びゲート酸化膜厚低減化が必要になる。しかし、これらはドレイン耐圧を低下させる方向であり、そのままパワーMOS FETに適用することはできない。すなわち必要な耐圧を保ちながら、ショートチャンネル化及びゲート酸化膜厚の低減を図る必要がある。この目的に合う構造として、複合ゲート構造を提案する。その複合ゲート構造は、薄い酸化膜をもつエンハンスメント(E)部分と厚い酸化膜をもつディプレッション(D)部分とから成る不均一ゲ

ート酸化膜・E/Dゲート構造である。この新構造により、両立が難しい低オン抵抗と高耐圧という特性を両立させている。すなわち、ショートチャンネル化したE部分のゲート膜厚を薄くして低オン抵抗化し、電界緩和のためにD部分を設け、その部分の膜厚を厚くして高耐圧化している。この構造を2次元計算機解析を活用して最適化設計し、2層の多結晶シリコンゲートプロセスで実現している。

試作した複合ゲートパワーMOS FETの特性は、同一耐圧250Vクラスの従来のものに比べて、オン抵抗や相互コンダクタンスが2～4倍の性能向上を達成している。

本論文で述べている複合ゲート技術、すなわちMOS FETでのショートチャンネル化と電界緩和の方法は、パワー素子だけでなく、すべてのMOS FETの高性能化に適用可能であると思われる。