

解説

超大容量記憶装置の動向*

伊藤 陽之助** 川田 忠通**

1. まえがま

最近の情報処理システムの発展は著しく、取扱われるデータ量は年々増大の一步をたどっている。例えば、磁気テープの保有巻数が1万巻以上で、磁気テープの操作回数が1日数千回を超えるシステムや数百台の磁気ディスクを必要とするシステムも出現している。

磁気テープの操作回数の増加とともに人件費の増大や人間の操作ミスによるシステム稼働率の低下が問題となり、また磁気テープの保有巻数の増大とともに、保管庫用スペースの問題も無視し得なくなり、テープ操作の自動化と単位スペース当りの記憶密度の向上は切実な要求になってきている。また、磁気ディスク数百台を必要とするシステムでは、価格と床占有率の低下が解決されるべき問題点とされてきている。

これらテープ操作の自動化、大容量記憶の低価格化、床占有率の縮小化等の要求を満たす記憶容量1兆ビットオーダーの大容量記憶システムが超大容量記憶装置(MSS: Mass Storage System)である。このようなMSSを他の記憶装置と記憶容量、ビット価格、アクセス時間の観点から比較すると図-1および図-2のように記憶階層の最下位に位置づけられる。現存する記憶装置のうちで最も大容量であり、磁気ディスクより1桁以上安い低ビット価格で、アクセス時間は磁気テープの人手操作より約1桁高速である。

MSSは十余年の歴史をもっており、今までに発表されているものは、大きく光技術と磁気記録技術の2つの技術分野に大別される。光形としては、1966年にIBM社からIBM 1360が、1971年にPI社からUNICON 690がそれぞれ書替不能のアーカイバル記憶としての使用をねらって発表されたが、両者とも数システ

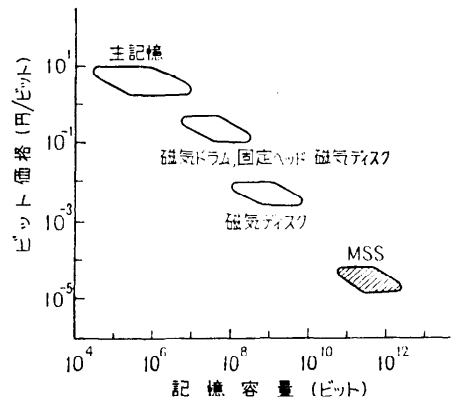


図-1 各種メモリの容量とコスト

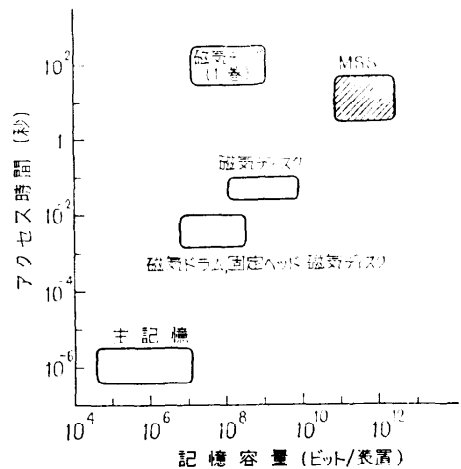


図-2 各種メモリの容量とアクセス時間

ムしか出荷されなかった。一方、磁気記録形としては、1968年にAMPEX社からTBM (Tera Bit Memory)、1972年にCALCOMP社からATL (Automatic Tape Library)、1974年にIBM社からIBM 3850、1975年にCDC社からCDC 38500が発表され、今までにこ

* The Trend in Mass Storage Systems by Yonosuke ITO and Tadamichi KAWADA (Musashino Electrical Communication Laboratory, N. T. T).

** 日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所

表-1 各種 MSS の性能概要

| 技術分野 | 光 技 術 | | 磁 気 記 録 技 術 | | | |
|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|---|---|---|
| 装置名 (会社名) | 1360 MSS (IBM) | UNICON 690 (PI) | TBM (AMPEX) | ATL (XYTEX, CALCOMP) | 3850MSS (IBM) | 38500 MSS(CDC) |
| 発表年 | 1966 | 1971 | 1968 | 1972 | 1974 | 1975 |
| 出荷年 | 1968 | 1972 | 1972 | 1973 | 1975 | 1976 |
| 容量 (ビット) | 10^{12} | 7.2×10^{11} | 9.2×10^{10} $\sim 2.9 \times 10^{12}$ | 7.2×10^{11} $\sim 5 \times 10^{12}$ | 2.8×10^{11} $\sim 1.9 \times 10^{12}$ | $1.3 \times 10^{11} \times n$ |
| アクセス時間 (秒) | 3 (読出時) | 8 (読出時) | 18 | 15 (テープロードまで) | 10 | 8 |
| 転送速度 (MB/s) | 0.14 | 0.5 | 0.75 | 0.8 | 0.4 | 0.8 |
| ビット当り価格 (銭) | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.01 | 0.05~0.018 | 0.08 |
| 面記録密度 (ビット/mm ²) | 2×10^4 | 2×10^4 | 1.2×10^3 | 1.6×10^2 | 5×10^2 | 5×10^2 |
| 単位媒体寸法・容量 | 35mm×70mm 5×10 ⁶ ビット | 120mm×793mm 2×10 ⁶ ビット | 50.8mm×1,100mm 4.6×10 ¹⁰ ビット | 12.7mm×730mm 9.5×10 ⁶ ビット | 69mm×20m 4×10 ⁶ ビット | 69mm×2.5m 6×10 ⁷ ビット |
| 動作原理、形態等 | 写真フィルム/電子ビーム、空気によるマージンセルの選択 | ロジウム膜/レーザカソードセル選択、ドラム懸付、ガルバによる光走査サーボ | 放送用 VTR と同一形態、幅走査回転ヘッド形、媒体選択機構なし | 従来形オープンリール、磁気テープ装置使用 | 斜走査回転ヘッド形記録機構、カートリッジテープ、カートリッジ選択機構 | 9トラックR/W固定ヘッド2個/8ポジショニング、カートリッジテープ、カートリッジ選択機構 |

これらの総計で百台以上使用されており、今後の主流技術とみられる(表-1参照)^{1)~4)}。なかでも媒体として50mmφ×100mmのデータカートリッジを用いたIBM 3850は、最近、急速に情報処理システムへ導入され始めており、日本ですでに数台稼動している。

以下 IBM 3850を中心に、磁気記録形 MSS についてその機能、構成、適用分野、主要技術および今後の動向について述べる。

2. MSS の概要

これまで商品化されてきている磁気記録形 MSS では、媒体として磁気テープを用い、磁気ヘッドによって飽和磁気記録を行っている。記録方式は磁気テープと磁気ヘッドとの走査形式により、図-3に示すように大きく分類できる。長手走査はトラック長を長くとれるため実行転送速度を高くとれるが、トラック密度が機械的精度で制限されるため、一般に面記録密度が小さい。斜走査は信頼度が高く、また面記録密度も長

手走査より優れている。幅走査は面記録密度を高くできるが、磁気テープとヘッド間を非接触とすることが難しく、信頼性の点で劣る⁵⁾。

一方、MSS をホストに提供する形態に関連するホスト-MSS インタフェースは、図-4(次頁参照)に示すように、ユーザダイレクト、CPU ステージング、MSS ステージングに大きく分類され、IBM 3850、CDC 38500などで異なった方式を採用している⁶⁾。

以上のように、現用の磁気記録形 MSS はそれぞれ違った各種の走査形式と各種のステージング方式をもち、それぞれ特徴を生かして使用されてきている。以下、発表時期の順序に従って、既存の各種 MSS の機能、構成の概要を説明する。

2.1 TBM (Tera Bit Memory)

従来の磁気テープに比べてテープ幅を約4倍、テープ長を約1.5倍とし、磁気テープ1巻の容量を約6GB(6,000MB)に増したものである。この磁気テープ機構2組を備えたトランスポートモジュールを単位とし、最大32トランスポートモジュール、すなわち368GBまで増設可能である。TBMのトランスポート機構と、幅走査回転ヘッドの構成を図-5(次頁参照)に示す。テープ長手方向に3本の制御用などのトラックがあり、ブロックアドレス、ユーザセキュリティコード、タイミングパルスなどが書かれており、これらによりデータブロックの高速サーチ25m/secが可能である。回転ヘッドドラム上には8個のヘッドが取付けられている。そのうちの2個は常にテープに接触し、すべて

| 分類 | 面記録密度 | 信頼性 | 適用例 |
|------|-------|-----|--------------------------|
| 長手走査 | | 小 | 1/2インチ磁気テープ CDC 38500 |
| 斜走査 | | 中 | 家庭用 VTR, IBM 3850 |
| 幅走査 | | 大 | 放送用 VTR, TBM |

図-3 各種走査形式の特徴

| 分類 | 特徴 | 適用例 |
|----------------|---|-----------------|
| ユーザダイレクト | <ul style="list-style-type: none"> ○ ホストへは新規装置または、既存装置として提供 ○ 高速の処理ができる ○ 新規装置として提供した場合 OS, AP の変更量大 ○ CPU のオーバヘッド中 (ATL はホストには磁気テープ装置として提供されている) | ATL |
| CPU ステージング | <ul style="list-style-type: none"> ○ ホストへは、既存装置として提供 ○ 処理できるファイル量および処理の多重度も上げられる ○ CPU のオーバヘッド大 | CDC 38500 |
| MSS ステージング | <ul style="list-style-type: none"> ○ ホストへは既存装置として提供 ○ MSS 内の制御は複雑 ○ CPU のオーバヘッド小 | IBM 3850 TBM |

図-4 各種ホスト-MSS インタフェース形式と特徴

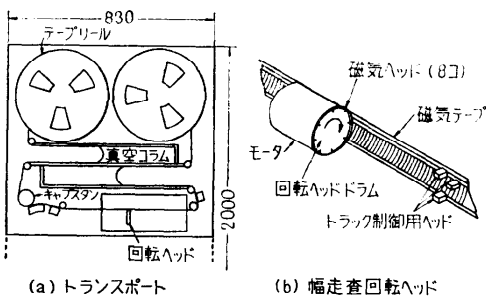


図-5 AMPEX TBM

のデータを隣接トラックに2重書きしている。この装置は大容量の高速サーチ機能をもった磁気テープ装置に等価であり、多量のデータのダンプなどシーケンシャルなジョブに適する。しかし、ヘッドとテープを接触させて読み書き動作を行わせるため情報の長期信頼性に問題があり、アーカイバル的用途には不向きである。

2.2 ATL (Automatic Tape Library)

従来の磁気テープ保管庫と磁気テープドライブを結びつけた自動磁気テープ脱着機構である。ザイテックス社で開発されたが CALCOMP 社から 7110ATL として売り出されている。従来の磁気テープリール約

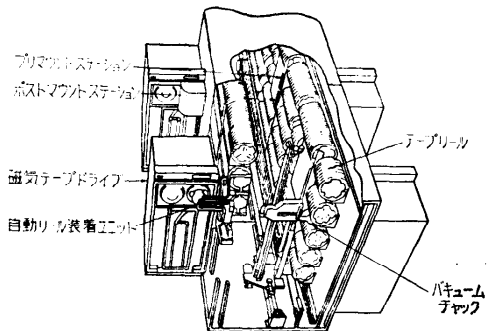


図-6 CALCOMP ATL

6,000 巻まで収納可能で、平均アクセス時間は15秒であり、1時間当りのマウント・デマウント能力はそれぞれ150回である。図-6に ATL の外観図を示す。最大システム構成では32台の磁気テープドライブを接続可能である。2つのテープ格納棚の真中にテープを選択するセレクトが走れるようになっており、セレクト上にはテープリールをつかまえるためのバキュームチャックが取付けられている。バキュームチャックが上下にリールセレクトが左右に動いて目的の磁気テープの前で止まり、バキュームチャックがそれを吸い

つけて、特定の磁気テープドライブの近くのプライマウントステーションまで磁気テープを移す。その後、自動リール装着ユニットが、そのテープを取り出し、磁気テープドライブにマウントする。この装置は、従来磁気テープ装置の延長として既存システムに大きな変更なしに導入できるが、システム最大容量が磁気テープ約6,000巻分で制限されること、また広い設置スペースを要することなどの欠点を有する。

2.3 IBM 3850⁷⁾

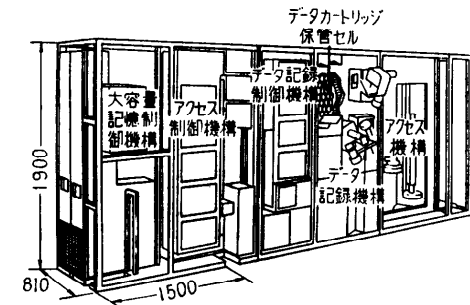
TBM と ATL が媒体として磁気テープリールを使用しているのに対し、IBM 3850では図-7に示すようなデータカートリッジを用いている。カートリッジ1本の記憶容量は50MBで、706~9440本が収容され、記憶容量35.5GB~472GBを達成している。

IBM 3850の架構成、アクセス機構およびデータ記録機構の動作説明図を図-8に示す。

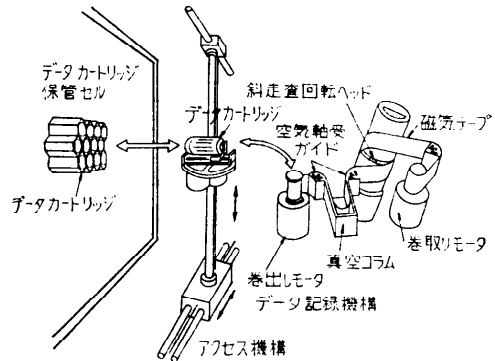
IBM 3850は3851大容量記憶装置と3330磁気ディスク装置から構成され、ユーザには磁気ディスクの集合体とみえるようになっている。すなわち、必要なデータが磁気ディスク上にないときは、それが記憶されているデータカートリッジがアクセス機構によりとり出されてデータ記録機構に送られ、データ記録機構でそのデータがカートリッジから読み出され、磁気ディスク上にステージングされる。また、そのデータを扱うジョブがなくなり、磁気ディスク上におく必要がなくなったとき、もとのデータカートリッジがとり出され、変更された部分のデータが書き替えられた後、そのカートリッジはもとのところに戻される。すなわちディスティージングが行われる。以下主要構成部を概説する。

(1) 大容量記憶制御機構

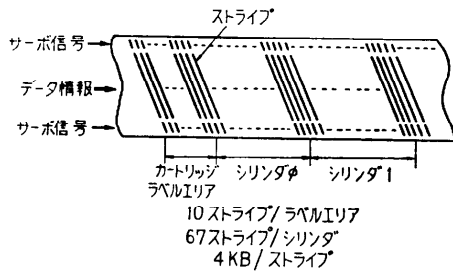
上位のチャンネル装置より起動され、内蔵のマイクロプログラムで、すべてのステージング/ディスティージング機能の制御、データカートリッジのロケーションの管理、3330磁気ディスク上のフリースペースの管理、データカートリッジを保管場所からデータ記録機構に移動させるためのアクセス機構への指示、動作中のエラーに対する各種回復処理などを行う。



(a) 3851大容量記憶装置の架構成例(記憶容量35GB)



(b) アクセス機構、データ記録機構動作説明



(c) カートリッジテープ記録形式

図-8 IBM 3850

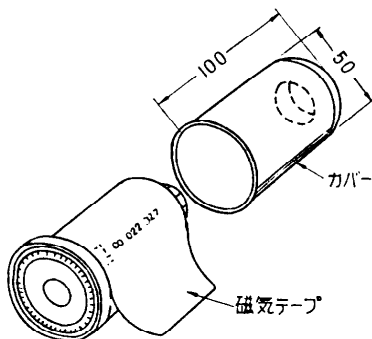


図-7 IBM 3850用データカートリッジ

ング機能の制御、データカートリッジのロケーションの管理、3330磁気ディスク上のフリースペースの管理、データカートリッジを保管場所からデータ記録機構に移動させるためのアクセス機構への指示、動作中のエラーに対する各種回復処理などを行う。

(2) アクセス機構とアクセス制御機構

データカートリッジを蜂の巣状の保管セルとデータ記録機構の間で移動させる機能をもつ(図-8(b)参照)。2つのアクセス機構が備えられており、平均アクセス時間は約10秒である。

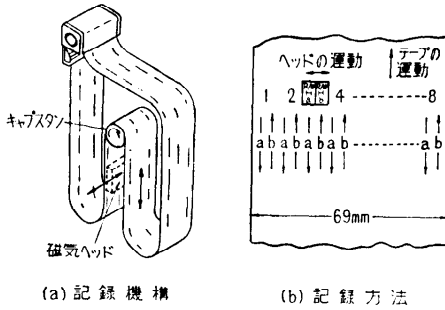


図-9 CDC 38500

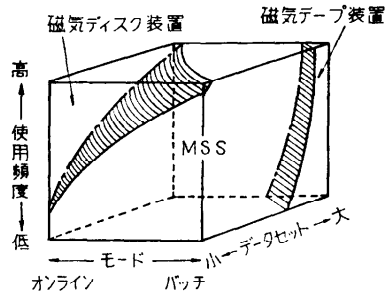


図-10 MSS 適用可能ファイル領域

(3) データ記録機構とデータ記録制御機構
 データカートリッジよりテープを引き出し、図-8 (b)のように斜走査形回転ヘッドの組込まれたマンドレルに巻きつけて、データを読み書きする機能をもつ。図-8 (c) に示すように、カートリッジテープの両縁に沿ってあらかじめサーボ信号が書かれている。データは斜方向のストライプに書込まれる。また、データは3330 磁気ディスクのシリンダイメージでテープ上に記録される。

これらの処理は、大容量記憶制御機構、ステージング用磁気ディスク制御装置およびアクセス制御機構に内蔵されていて計約100K 語のマイクロプログラム、OS 内の MSS 用大容量記憶システム連絡プログラム、それに磁気ディスク上におかれている各種テーブル類などを駆使して行われている。

2.4 CDC 38500

CDC 38500 の記録機構、記録方法を図-9 に示す。テープの長手方向に8トラックのマルチヘッドでデータを記録再生する。またCPU のメモリと MSS のカートリッジが直結されており、データの高速度リアルタイムが可能である。この装置は、既存の MSS の中では、単位装置当りの容量は小さいためビット当り価格は大きい。しかし転送速度が高いので高スループットを要求されるファイル処理に適する。

3. MSS の適用分野

図-10 に示すように、情報処理システムで使われるファイルのうち、使用頻度が高く高速応答が必要とされるオンラインファイルとしては、磁気ディスクが使われ、一方使用頻度が低くデータセットの大きいファイルは磁気テープに残ると考えられる。それ以外のファイルはすべて MSS に適用可能と推定される。

また MSS の出現により情報処理システムにおける

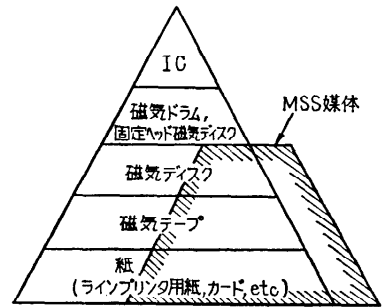


図-11 MSS の導入による記憶階層構成の変化

記憶階層構成は、図-11 のように変化すると推定される。すなわち、従来の実線で示されるピラミッドの下部に MSS 媒体が割込み、かつ従来以上に大容量のメモリがシステムで利用されると考えられる。前述のように磁気ディスクと磁気テープの相当の部分が MSS 媒体に置換されるのはもちろん、オフライン記憶としてのカードやライプリンタ用紙なども MSS に置換されると考えられる。例えば、従来カードで保存されていたソースプログラム類およびライプリンタ用紙という形で配布され各人で保存していたドキュメント類も MSS に収容され、必要な人が必要な時に必要な部分だけをディスプレイに表示したり、ハードコピーをとることになると推定される。

現状の MSS の価格は高く、創設費の削減という目的だけで MSS を導入できない。しかし、設置後の運用費、局舎費、電力費などを考慮した年経費で評価すれば、MSS の導入の正当化は可能である⁶⁾。米国の例では、磁気テープドライブ20 台以上、磁気テープ保有巻数15,000 巻以上のシステムは、MSS を導入して効果が大きいといわれている。

IBM 3850 については、発表直後の1 年間はトラブルが多発し、たび重なるマイクロプログラムの改版があり、出荷状況ははかばかしくなかったようであるが、

表-2 MSS 利用状況

| 調査サイト | | A 社 | B 社 | C 社 | D 社 |
|---------------|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 使用機種 | ホスト | IBM 370/158 | IBM 370/168×3 | IBM 370/168 | IBM 370/168 |
| | MSS | IBM 3850 (B ₂) | IBM 3850 (B ₂) | IBM 3850 (B ₂) | IBM 3850 (B ₂) |
| 効果 | (注) 装置の削減数(台) | MTU; 4 (7→3) | MTU; 24 (36→12) | MTU; 27 (35→8) | MTU; 6 (12→6) DPU; 16 (48→32) |
| | 保管磁気テープの削減数(巻) | 1000 (3000→2000) | 4500 (5150→650) | 4000 (4500→500) | 2400 (2700→300) |
| | オペレータの削減数(人) | 6 (12→6) | 27 (32→5) | — | 9 (15→6) |
| カートリッジ使用状況(%) | | 30 | 50 | — | 25 |

(注) MTU: 磁気テープ装置, DPU: 磁気ディスク装置

最近システムも安定し 50 台以上が使われていると伝えられている⁹⁾。日本でもすでに 5 台以上稼動しており、どのユーザも MSS の導入効果について満足を示している。表-2 に示すように、MSS の導入により磁気テープ装置台数が 1/4~1/2 に、磁気テープ保管数が約 1/10 に減少し、テープハンドリングのためのオペレータ数も約 1/5 程度に削減されている。

4. MSS の主要技術

MSS は、磁気ディスク装置や磁気テープ装置の磁気記録技術、VTR の回転ヘッド技術、XYプロッタのアーム移動技術、OS の仮想記憶技術、大規模システムをまとめるための RASIS 技術等多くの技術が結集されてつくりあげられたものである。ここでは、とくに IBM 3850 の主要技術である記録媒体と磁気ヘッド、回転ヘッド走査技術、RASIS 技術などについて述べる。

(1) 記録媒体と磁気ヘッド

アクセスタイムの短縮のために幅広の 69mm テープが、また記録密度の向上のために塗布厚数 μm 以下の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 塗布媒体が用いられている。

走査運動によってテープ浮上圧力を生じさせ、非接触記録を行うため、回転ヘッド面は球面となっている。さらにヘッド形状を溝つき形として、テープ張力の変動、マンドレル・ロータ給気圧の変動などに対して、ヘッドギャップ部のテープ浮上すきまが一定値に安定に保てるようになっている。

ストライプ内のデータの記録は、ZM (Zero Modu-

lation) 変調と呼ばれる新しい変調方式で行われている¹⁰⁾。書込み、読取り増幅器とヘッドとの間に直流成分を通さない回転トランスが置かれるため、ヘッド読取り再生信号が DC 周波数スペクトルをもたないよう考慮されたもので、MFM と同程度の高密度記録が可能である。

(2) 回転ヘッド走査技術とトラックサーボ技術

回転ヘッドと磁気テープ間ばかりでなく、磁気テープのガイド面も磁気テープと空気膜を介して支持されている。これにより、磁気テープの摩擦耗による書込み読出し時のエラーを軽減している。高精度の斜走査を行うため記録媒体上には $17.5^\circ \pm 0.03\%$ の角度にサーボ信号があらかじめ記録されており、これをもとにトラック密度 2.5 トラック/mm が達成されている。従来の VTR や TBM はデータトラックとサーボトラックはそれぞれ別の磁気ヘッドで読まれるが、IBM 3850 ではデータ用ストライプもサーボトラックも同じ回転ヘッドで読まれ、温度によるテープの伸び縮みの影響が除去されている。

(3) RASIS 技術

いずれの MSS も、RASIS^{*}、すなわち信頼性、使用可能度、保守容易度、保全性、機密保護には十分な配慮を行っているが、とくに IBM3850 では次のような RASIS 機能を備えている。

- i) データ経路、制御経路等を多重化しており、故障が修理されるまでデータ転送率は低下するものの作動を続けることができる。
- ii) 検査回路と診断マイクロプログラムを完備し、自動再試行等を行う。
- iii) 拡張グループ符号化記録手法 (EGCR) により、エラー訂正符号 (ECC) とサイクリック冗長符号 (CRC) をつけてカートリッジテープ上にデータを記録し、208 バイトのうち最高 32 バイト訂正できる。
- iv) 大容量記憶制御機構の制御テーブルを 2 つのディスク上に 2 重保管する。
- v) 合言葉によりボリュームの保護を行う。

5. むすび

MSS の時代はすでに到来している。上述のように、1978 年中にさらに百台以上の MSS が導入されるものと推察される。しかし、MSS に問題がないわけではない。ビット価格の低下、データ転送速度の向上およびアクセス時間の向上が望まれている。図-12(次頁参

* Reliability, Availability, Serviceability, Integrity, Security の略

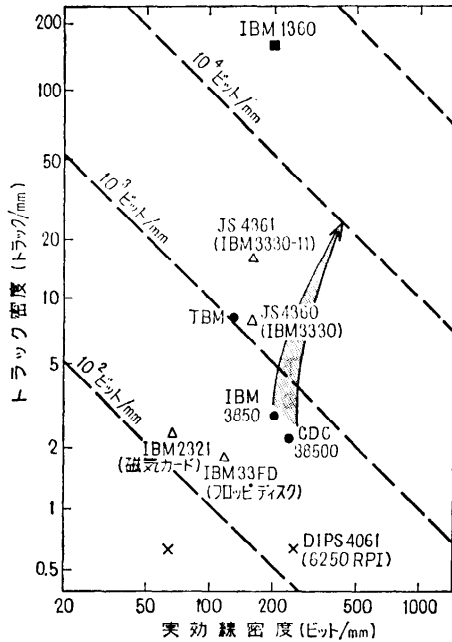


図-12 各種メモリの面密度

照)は、現在市販されている主な MSS、磁気ディスク、磁気テープの線密度と、トラック密度をプロットしたものである。図の矢印で示される方向に改良が行われ、面密度で1桁以上の向上と制御系のLSI化によりビット価格の低下は実現されていくものと期待される。高転送速度化を実現するためには、複数ストライプの同時読み書きや、ステージング記憶を磁気ディスクからバブルまたは CCD に置換する方法、ユーザダイレクトインタフェースの付加などが考えられる。一方、アクセス時間の高速化については、大幅な改善は考えられない。アクセス時間1秒前後をねらった集合フレキシブルディスクが IBM で研究されているが¹¹⁾、信頼性などから早期実現は困難であろう。アクセス時間だけを問題とするのであれば、磁気ディスクを集合

させたSTC社のようないき方もある。

MSSは単に従来装置の延長ではなく、多くのシステム中に存在していた多くの機能を1つの装置中に結合した新しいシステムであり、まだ出はじめたばかりで、ユーザもその応用に関して模索中である。今後、さらにMSSの改良、開発が活発に行われ、記憶階層構成の最下層の装置としての不動の位置を占めることになるであろう。

参考文献

- 1) M. Wildman: Terabit Memory System-A Design History, Proc. of IEEE, Vol. 63, No. 8, pp. 1160~1165 (Aug. 1975).
- 2) XYTEX システム概説書, 千代田情報機器 KK.
- 3) C. T. Johnson: The IBM 3850 A Mass Storage System with Disk Characteristics, Proc. of IEEE Vol. 63, No. 8, pp. 1166~1170 (Aug. 1975).
- 4) Control Data Mass Storage Facility, CDC Japan Pub. No. J 201, 197 (12-01-75).
- 5) 水川, ほか: 幅方向走査におけるテープ浮上, 信学会磁気記録研究会資料, MR 76-2 (1976).
- 6) H. R. Howie, Jr.: More Practical Applications of Trillion-bit Mass Storage Systems, COMP-CON pp. 53~56, (Feb. 1976).
- 7) IBM 3850 大容量記憶システム (MSS) 入門, IBM JAPAN 1976, (N:GA 32-0028-2).
- 8) 岡本: 超大容量記憶の適用領域の検討, 昭52 信学全大, 講演番号. 1403.
- 9) IBM Mass Storage Gains Users, Electronic News, (1977, 4, 11).
- 10) A. M. Patel: Zero Modulation Encoding in Magnetic Recording, IBM J. RES. DEVELOP, pp. 366~378, (Jul. 1975).
- 11) オーランド, ほか: 可撓性ディスク堆積体アクセス分割のためのアクチュエータ装置, 特開昭52-57808.

(昭和53年2月2日受付)