

大形システム用ストレージ製品の技術動向

Technological Trends of Storage Products for Large Computer Systems

野沢正史* Masafumi Nozawa
 島田朗伸* Akinobu Shimada
 戸川明彦** Akihiko Togawa

情報化社会の進展に伴い、情報処理システムでのストレージの役割が重要と
 なってきた。

ストレージシステムは、システムアーキテクチャ、プロセッサの進歩とともに
 技術革新を遂げ、「超高速、小容量」から「低速、大容量」まで、多様なハー
 ドウェア群から構成される記憶階層が形成されてきた。

今回開発した各ストレージ製品は、製品範囲の拡大や記憶階層のすきま解消
 などを図るものであり、多様化するアプリケーションに最適なデータ格納場所
 を提供する。

1 緒言

情報化社会の進展により、情報(データ)が重要な価値を持
 つようになってきている。データを活用する企業では、より
 積極的にデータを経営戦略に生かそうというねらいから戦略
 情報システム(SIS: Strategic Information System)構築の気
 運が高まり、データが企業存続の鍵(かぎ)を握る要件となっ
 てきている。

こうした中で、大形情報処理システムはこれまでの汎(はん)
 用機的役割からトータルマネジメントサーバとしての位置づ
 けが濃くなってきた。特に、データを一元管理して高度利用
 するためのファイルサーバ的役割は重要で、情報処理システ
 ムの中でデータを記憶するストレージシステムの担う責任は
 大きくなってきている。

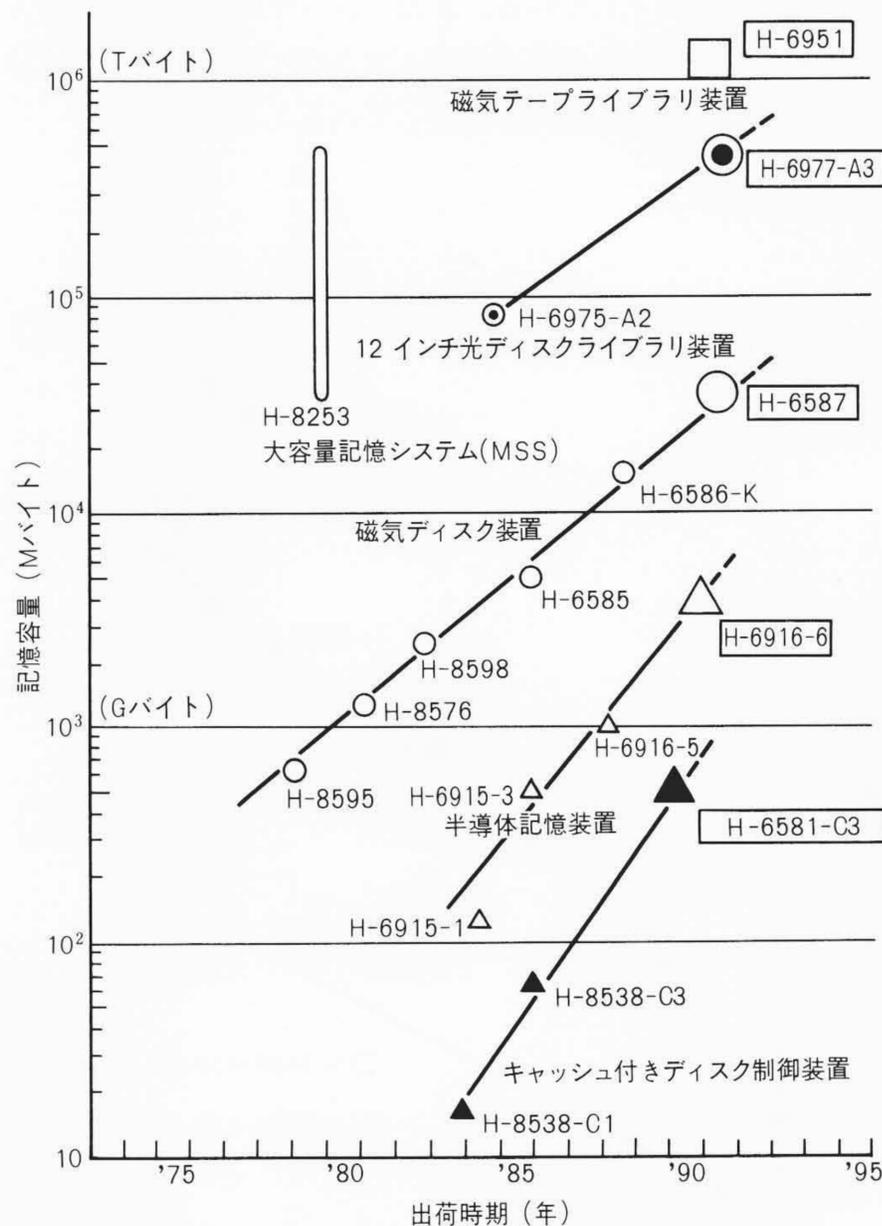
本稿では「データ高度利用の時代」と言われる'90年代の情
 報処理システムを支える基盤であり、またトータルシステム
 の性能、コストのキーファクタであるストレージシステムの
 技術動向、将来展望について述べる。

2 ストレージシステムの技術動向

2.1 ストレージシステムの発展

各ストレージシステムの記憶容量の推移を図1に示す。'60
 年代に交換形として登場した磁気ディスクは'70年代に固定形
 となり、以来10年間で約25倍に記憶容量が拡大して、ストレ
 ージシステムの中核的存在に成長してきた。'80年代に入り、
 磁気ディスクに比べより高性能なストレージ製品として半導
 体記憶装置、キャッシュ付きディスク制御装置が登場した。

半導体メモリの大容量化により、半導体記憶装置は登場か



注: 略語説明 MSS (Mass Storage System)

図1 ストレージシステム記憶容量の推移 各ストレージ製品の記
 憶容量には格差があり、またそれぞれ大幅に記憶容量が拡大してき
 たことがわかる。

* 日立製作所 小田原工場 ** 日立製作所 ソフトウェア開発本部

ら6年あまりで記憶容量が約30倍、キャッシュ容量も同じく30倍ほどの伸びを示している。

また、超大容量ストレージ製品として'70年代後半にMSS (Mass Storage System)が製品化された。現在ではこれに代わる装置として、光ディスク、磁気テープの各ライブラリ装置が製品化されており、特に磁気テープライブラリ装置は最大約3,900 Gバイトの大容量を実現している。

2.2 記録密度の推移

情報処理システムの大規模、複雑化、ユーザーデータの増大に伴い、ストレージシステムには常に大容量、省スペースが求められている。これに対応して、データの高密度記録技術が研究開発されてきた。

各ストレージシステムの面記録密度の推移を図2に示す。磁気ディスクでは円板の鏡面加工技術、ヘッドの低浮上、高精度位置決め技術などの進歩、さらに薄膜ヘッドの開発などの技術革新が進められてきた。その結果、面記録密度は10年間で約20倍に伸びている。磁気テープでも10年間で約12倍に面記録密度が向上している。また、レーザ光による光学的方法で読出し・書込みを行う光ディスクは、磁気ディスクの10倍以上の高い面記録密度を実現していることがわかる。

2.3 技術、機能の変遷

プロセッサの性能向上、システムアーキテクチャの飛躍的進歩に伴って、ストレージシステムでもさまざまな技術、機能が開発、製品化された。ストレージシステムの技術・機能の変遷と、処理装置・アーキテクチャの関係を表1に示す。

(1) ディスク駆動装置

'85年の拡張アドレッシングM/EA (M series/Extended Addressing mode)、拡張チャンネルシステムM/EX (M series/Extended mode)、そして'90年の16 TバイトアドレッシングM/ASA (M series/Advanced Systems Architecture)とアーキテクチャの進歩により、アドレス空間が大幅に拡大した。それに伴い磁気ディスクも、より大容量、高性能化が求められるようになった。

'88年に発表したH-6586では、薄膜ヘッドの採用をはじめとする高密度記録技術により、円板径をそれまでの14インチから9.5インチとした小形・大容量HDA (Head Disk Assembly)を採用した。新製品のH-6587ではこのHDAに改良を加えHDA当たりの容量(ボリューム容量)を約1.5倍とした。さらにこれを高密度実装し、H-6586と比べ装置当たりの容量を約2.3倍(35 Gバイト)、1 Gバイト当たりの設置スペースを64%削減した。また、ボリューム容量増加に伴うスループットの低下

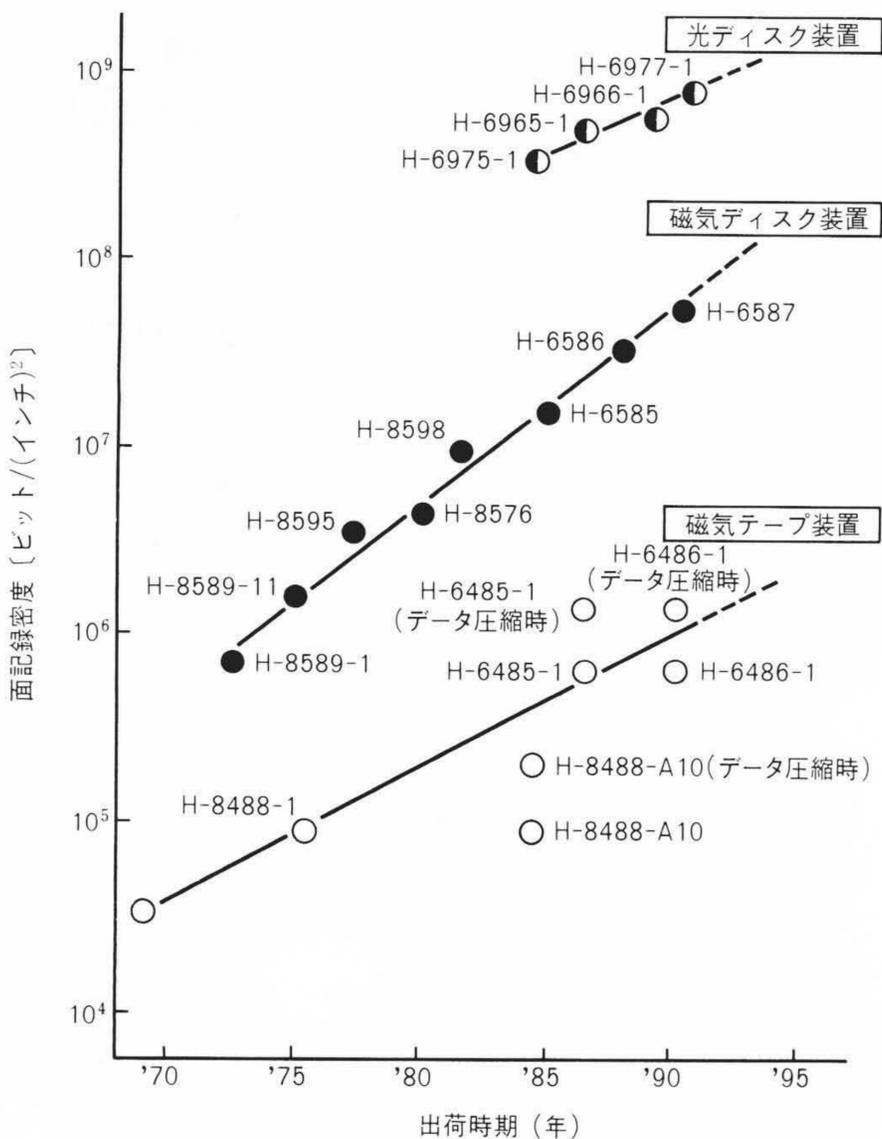
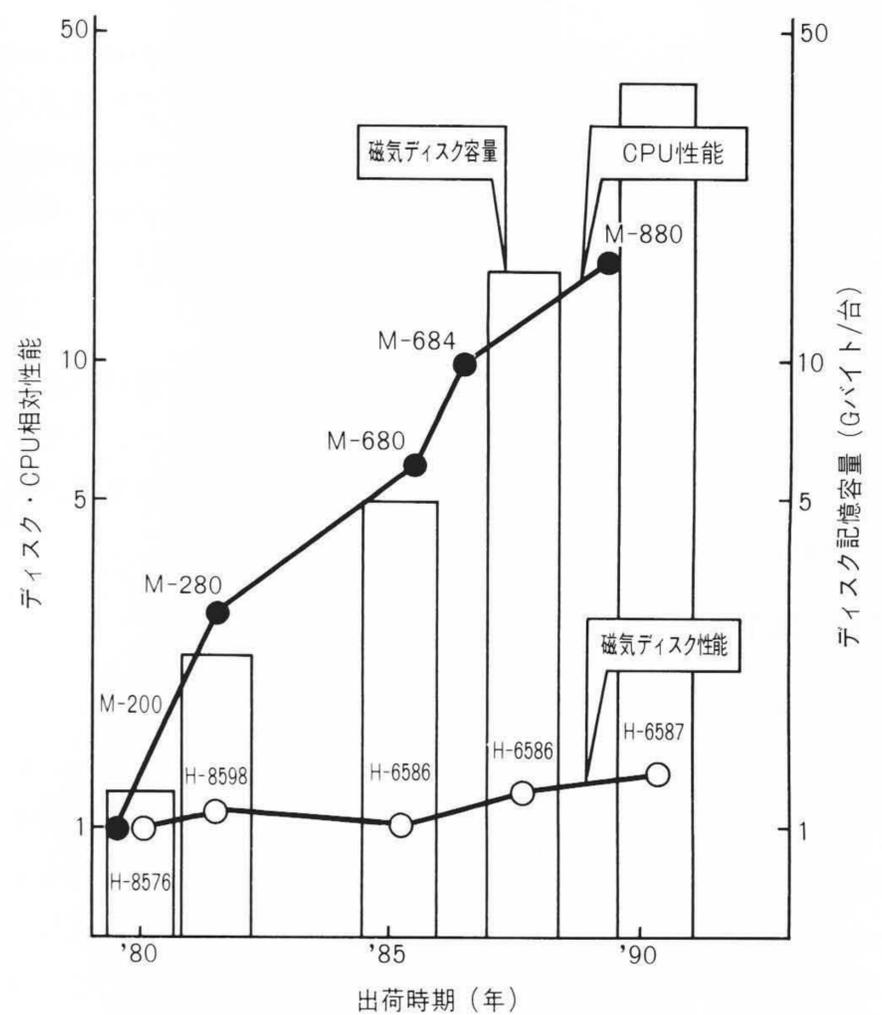


図2 面記録密度の推移 データの高密度記録技術の進歩によってストレージ製品の面記録密度は向上し、大容量、省スペース化を実現してきた。



注：磁気ディスク性能 (H-8576を基準とした平均アクセス時間の相対比)
CPU性能 (M-200を基準とした演算速度の相対比)

図3 磁気ディスク、CPU、性能と容量の推移 プロセッサの性能、磁気ディスクの容量は、10年間で大幅な伸びを示しているが、磁気ディスクの性能向上には限界があり、プロセッサとの間に大きな性能格差が存在する。

表1 ストレージシステム技術・機能の変遷 処理装置の性能向上やアーキテクチャの進歩に伴い、ストレージシステムは多くの技術、機能が開発、製品化されてきた。

分類	項目	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	
—	アーキテクチャ	M			M/EA M/EX				M/ASA				
—	CPU	M-280				M-680				M-880			
ディスク 駆動装置	製品系列	H-8598 2.5G バイト		H-6585 5.0G バイト			H-6586 15G バイト		H-6587 35Gバイト				
	技術・機能	●密閉形HDA (14インチ) ●2アクチュエータ/HDA			●1アクチュエータ/HDA			●薄膜ヘッド ●小形HDA(9.5インチ)		●HDA高密度実装 (12HDA/ 筐(きょう)体) ●ALC装備			
ディスク 制御装置	製品系列	H-8538-1		H-8538-C1 キャッシュ 16Mバイト		H-8538-C3 キャッシュ 64Mバイト		H-6581-1		H-6581-C3 キャッシュ 512Mバイト			
	技術・機能	●デバイスクロスコール機能		●LRUアルゴリズム		●ダイナミッククロスコール機能 (拡張リザーブ)		●ディスク 二重書き機能		●拡張クロスコール機能 ●差分ダンプ機能		●学習ローディング機能 ●ディスク高速 書き込み機能 ●拡張高速 書き込み機能 ●アイドルダンプ 機能	
磁気 テープ ライブラリ	製品系列	H-8488-A10			H6485-1			H-6951		H-6486-1			
	技術・機能	●データ圧縮 ●MTC/MTU 一体構造			●カートリッジテープ			●ライブラリ		●9Mバイト/s転送 ●4ドライブ/筐体			
半導体 記憶装置	製品系列	H-6915-1 128M バイト		H-6915-2/3 128Mバイト 512Mバイト		H-6916-5 1Gバイト		H-6916-6 4Gバイト					
	技術・機能	●64ビット DRAM ●0.3msアクセス ●3Mバイト/s 転送		●256ビットDRAM ●3/6Mバイト/s転送		●1MビットDRAM		●4MビットDRAM ●拡張クロスコール ●0.1msアクセス ●18Mバイト/s転送					
光ディ スク装置	製品系列	H-6975			H-6965			H-6966		H-6977			
	技術・機能	●12インチ追記形 ●1.3Gバイト/面			●5.25インチ追記形 ●300Mバイト/面			●5.25インチ書換え形 ●322Mバイト/面					

注：略語説明 M (M series), M/EA (M/Extended Addressing mode), M/EX (M/Extended mode), M/ASA (M/Advanced Systems Architecture)
HDA (Head Disk Assembly), ALC (Actuator Level Cache), LRU (Least Recently Used)
MTC/MTU (Magnetic Tape Controller/Magnetic Tape Unit)

を防ぐため、ボリューム単位に小容量キャッシュを設け、回転待ち時間の削減などをねらったALC(Actuator Level Cache)を装備した。

(2) アクセスギャップ

アーキテクチャの進歩により、プロセッサの性能は飛躍的に向上した。磁気ディスクでも大容量化と並行し、高速リニアアクチュエータの開発、円板回転の高速化などアクセス速度の向上を図ってきた。しかし、こうした機械的アクセスの高速化には限界があり、プロセッサとの間には大きな性能ギャップが存在する。ディスク・プロセッサの相対性能とディスク容量の推移を図3に示す。

こうした性能ギャップを埋めるために開発されたのが半導体記憶装置とキャッシュ付きディスク制御装置であり、大容量磁気ディスクの時代に、システム全体の性能向上を図るために不可欠なストレージ製品となってきている。

(3) ディスク制御装置

大容量化する磁気ディスクサブシステムのスループット向上の手段として、磁気ディスク装置へのパス経路制御の改善があげられる。パス制御は初期の1パスからストリングスイッチ、デバイスクロスコール、M/EXアーキテクチャの一つの特長であるダイナミッククロスコール、そして現在の拡張クロスコールと変遷し、性能を向上させてきた。さらに、H-6581-C3ではマイクロプロセッサをチャンネル側8個、デバイス側4個とマルチ化し、複数プロセッサ環境でも安定した性能を確保する方式をとった。

キャッシュ付きディスク制御装置は、磁気ディスクサブシステム全体の性能向上をねらって考案された。参照されたユーザーデータをキャッシュに格納し、使用頻度に合わせて動的に管理するため、アクセスデータがキャッシュ内に存在(ヒット)すれば電子的な高速アクセスが可能である。これにより

ディスク装置の持つ機械的動作時間を低減することができる。アクセスデータがキャッシュ内に存在する確率(ヒット率)を高めるため、キャッシュ容量の拡大、データのローディング方式の研究が行われてきた。H-6581-C3ではキャッシュ容量を512 Mバイトに拡大し、過去のアクセス履歴からデータのローディング単位を自動的に決定する学習ローディング機能を開発するなど、ヒット率の向上を図っている。また、本装置から書込み時のキャッシュ利用も可能とした。

そのほかに運用に関する機能として、オンライン処理実行中に、オンライン処理に与える影響を極小化しながら高効率にダンプ処理の実行が可能なアイドルダンプ機能、データの更新情報を記録しておき、ディスクボリュームのうち更新された部分だけダンプ処理を行う差分ダンプ機能、書込みデータを正、副2ボリュームに書き込み磁気ディスクサブシステムの信頼性を高めるディスク二重書き機能などを開発、実現した。

(4) 半導体記憶装置

半導体メモリを記憶媒体とし、磁気ディスクと同一インタフェースを持つ半導体記憶装置は、半導体技術の進歩に伴い発展してきた。適用業務でも当初の仮想記憶用ページング専用装置としての位置づけから、データベース本体の格納など広がりを見せしてきた。これに対応して、H-6916-6では4 MビットDRAMを採用し、装置当たり4 Gバイト、サブシステムで16 Gバイトと大容量化を図った。また、高速光ファイバインタフェースの開発により、データ転送速度を18 Mバイト/s、アクセス速度を0.1 msとしストレージシステムの頂点を担う性能を実現した。

(5) 磁気テープ装置

固定式磁気ディスクのバックアップ用として重要な位置を占める磁気テープ装置は、磁気ディスクの大容量化に伴い磁気テープ巻数の増大という問題を抱えてきた。これに対し、H-8488-A10では繰り返し文字圧縮によるデータ圧縮機能を開発し、テープ容量の約2倍化(300 Mバイト)を実現した。さらに、H-6485-1では3万8,000 BPI(Bits Per Inch)の高密度記録により、テープ媒体をオープンリール形から約 $\frac{1}{4}$ の大きさのカートリッジ形へと小形化するとともに、データ圧縮方式の改良を行いテープ容量の約3倍化と6 Mバイト/sの転送速度を実現した。また、媒体のハンドリング負担を大幅に軽減するH-6951形磁気テープライブラリ装置も製品化した。

今回開発したH-6486-1は、H-6485-1を2階建イメージにした4ドライブ実装の装置で、省スペース化を図った。また、転送速度を9 Mバイト/sとさらに高速化し、チャンネルスイッチ数を16個と大幅に増加させてシステムの大規模、高性能化に対応している。

(6) 光ディスク装置

光ディスク装置は超大容量、低ビットコストのストレージ

製品として'84年に12インチ径の媒体に一度だけデータが書き込める追記形を製品化した。以降、'89年に媒体径5.25インチの追記形、'90年には5.25インチで消去可能な書換え形を製品化した。光ディスクライブラリの記憶容量は約14~448 Gバイトと幅広く、主にイメージ情報や取引履歴などの大量データの記録に用いられている。

3 記憶階層の形成

3.1 記憶階層の特性と用途による使い分け

このように、プロセッサと磁気ディスクの性能ギャップを埋めるストレージ製品の登場と、今回新たにMシリーズ記憶階層に加わった拡張記憶装置により、図4に示すような記憶階層が形成される。

高性能であるが、コストが高く、小容量な主記憶装置を頂点に、超大容量、低ビットコストの光ディスク・磁気テープ装置まで、多様なストレージ製品が存在する。これらを有効活用し、システム全体のコストパフォーマンスの改善を図るには、各ストレージ製品の特長を生かした適切な使い分けが必要である。拡張記憶装置、半導体記憶装置、キャッシュ付きディスク装置の使い分けについて図4に示す。拡張記憶装置は命令語でのアクセスが可能のため、プロセッサのオーバーヘッドを削減でき、きわめて高性能である。ページ、スワップデータセットの格納、リード用バッファ領域の拡張、大規模バッチジョブのワークファイルなどに適する。半導体記憶装置は、不揮発性でかつ容量の拡張性に優れ、複数のプロセッサからシェアが可能である。このため、高頻度アクセスの小容量ファイルの格納に適する。キャッシュ付きディスク制御装置は、比較的低コストで大容量一般ファイルの高性能化がねらえる。特にアクセスの局所性が高く、アクセス集中個所の時間的変動が大きいファイルに適する。

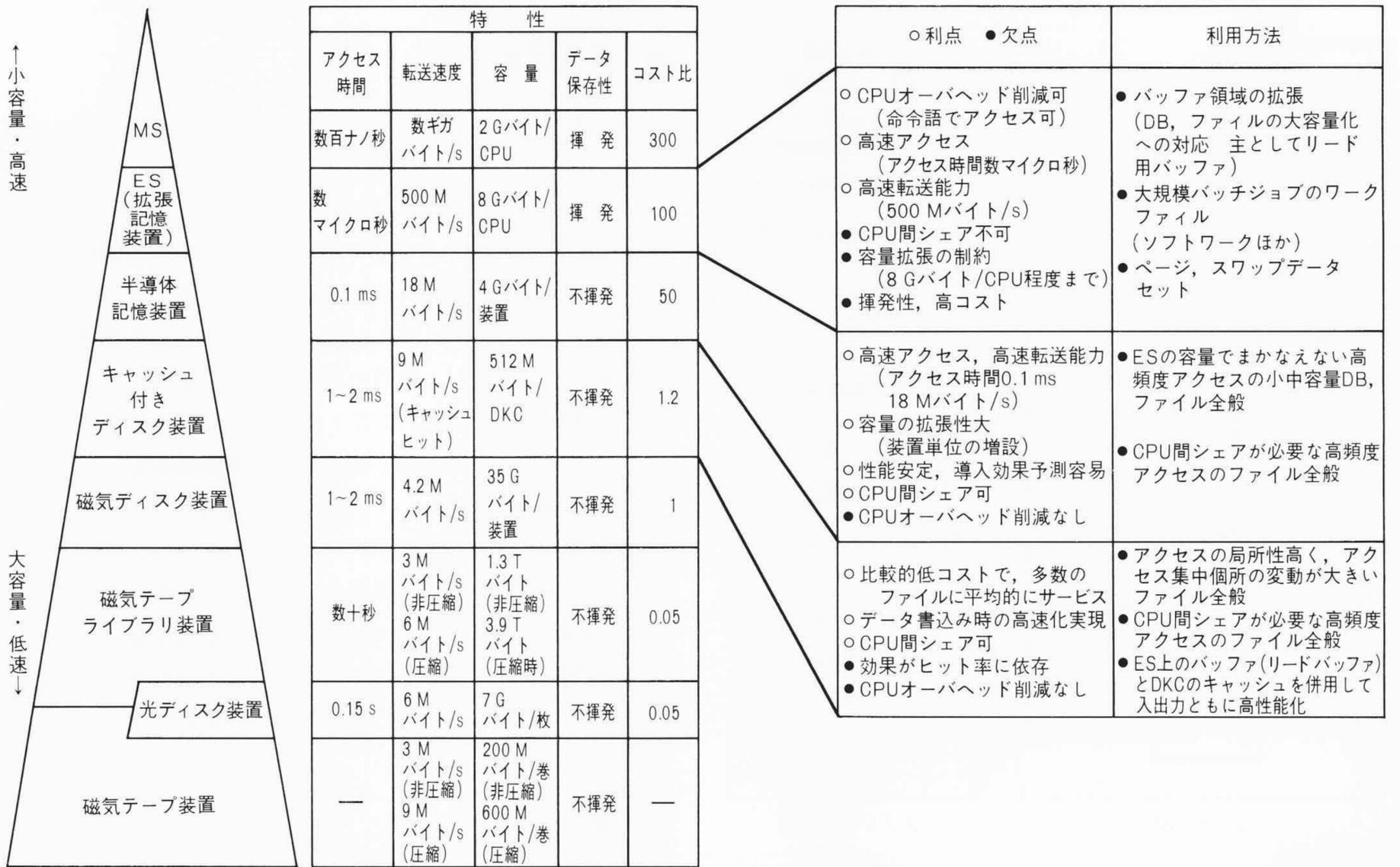
3.2 運用負担の増大と対応策

ユーザーデータ量の増大、磁気ディスクの大容量化による問題点として、運用負担の増大があげられる。

磁気ディスクは信頼性の観点から磁気テープなどの低ビットコスト媒体へのバックアップ処理が必須(す)である。このため、磁気ディスクの大容量化はバックアップ処理を増大させ、結果的にオペレータ業務を大幅に複雑化させた。こうしたオペレータ作業の自動化、省力化を求める声はデータ量の増加とともに高まり、運用を巡る問題が注目されてきた。

(1) 磁気テープライブラリ装置

カートリッジ形磁気テープの登場により、媒体の保管スペースは大幅に削減され、また媒体自体の操作性も格段に向上した。さらに、カートリッジ形磁気テープの小形・軽量といった特長を生かし運用を省力化するため、図5に示すような磁気テープの自動マウント・デマウントを実現する自動倉庫、H-6951形磁気テープライブラリ装置を開発した。



注：略語説明 MS (Main Storage), ES (Extended Storage), DB (Data Base), DKC(Disk Controller)

図4 各記憶階層の特性と使い分け Mシリーズ記憶階層は、高速・小容量から大容量・低速まで多様なストレージ製品で構成されており、その特長に応じた使い分けが必要である。

- (1) データ量急増によるディスクバックアップ量 (磁気テープ巻数), バックアップ時間の増大
- (2) 磁気テープ保有巻数増大による媒体管理の複雑化
- (3) 磁気テープ倉庫からの搬出・搬入作業, マウント作業などオペレータ負荷の増大
- (4) オペレーションミスの危険性の増加

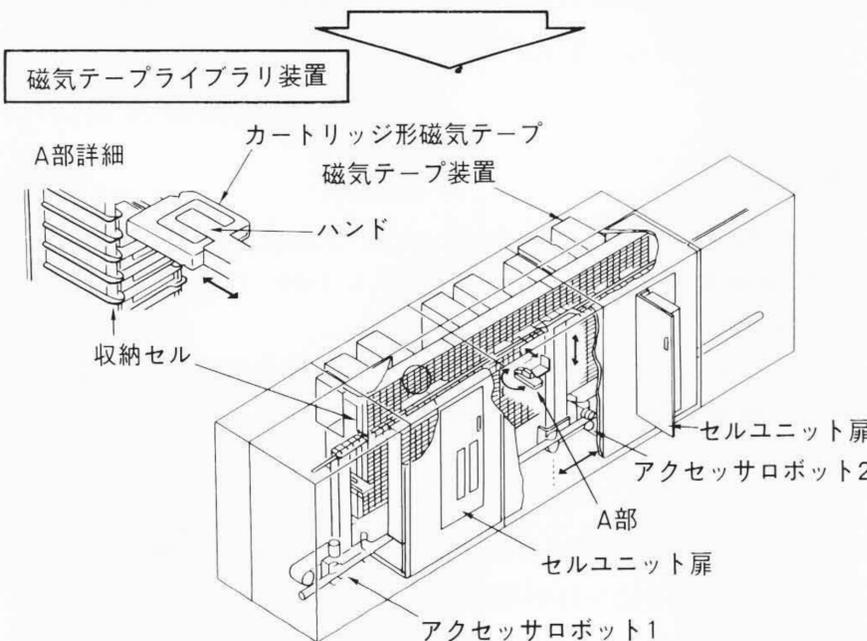


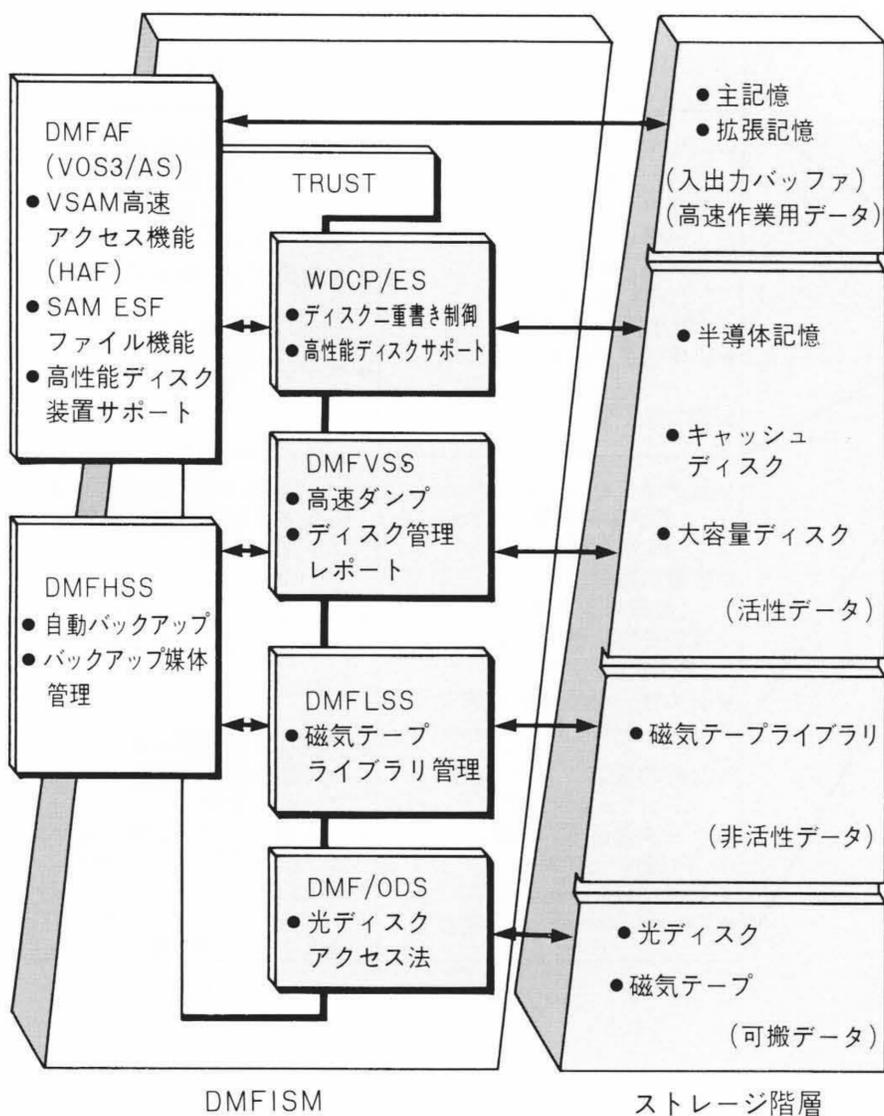
図5 磁気テープライブラリ装置開発の背景 磁気テープ媒体のマウント・デマウント作業を自動化することにより、複雑化するオペレータ業務の負荷軽減を図る。

また、媒体の入出庫が多いなどライブラリ化に適さない業務用として、独立形で12巻のカートリッジ自動交換機構を4台備えたH-6486-1形磁気テープ装置も合わせて開発した。

(2) VOS3統合ストレージ管理DMFISM (Data Management Facility Integrated Storage Manager)

階層的に位置づけられたコストパフォーマンスの異なるストレージ製品群を、より効率利用できるようにシステム管理し、新しいデータマネジメントの概念を提供するものが統合ストレージ管理システムDMFISMである。図6にDMFISMの概要と各ストレージの関係を示す。DMFISMは記憶階層の効率的利用と運用負担の軽減を実現するため、下記の三つの機能から構成される。

- (a) 大容量メモリ活用による高性能化
 - (i) 主記憶装置(仮想記憶), 拡張記憶装置にデータを常駐化させることによる入出力時間の大幅な削減
 - (ii) 半導体記憶装置, キャッシュ付きディスク制御装置のサポートによる入出力時間の短縮
- (b) 磁気ディスクサブシステムの高信頼化
 - (i) ソフトウェアによるディスク二重書き機能の適用範囲の拡大



注：略語説明

- VOS3/AS (Virtual-storage Operating System3/Advanced System Product)
- SAM ESF (Sequential Access Method Extended Storage file Facility)
- HAF (High-performance Access Facility)
- DMFISM (Data Management Facility Integrated Storage Management)
- DMFAF (DMF Advanced Functions)
- DMFHSS (DMF Hierarchical Control for Storage Service)
- DMFVSS (DMF Disk Volume Maintenance for Storage Service)
- DMFLSS (DMF Library Support for Storage Service)
- DMF/ODS (DMF Optical Disk Support)
- WDCP/ES (Double Disk Volume Control Program/ES)
- TRUST (Total Resource and User Control Facility)

図6 統合ストレージ管理DMFISM 階層的に位置づけられたコストパフォーマンスの異なるハードウェアを統合管理し、資源の有効活用を図る。

- (ii) 重要なデータセットであるカタログの障害回復機能のサポート
 - (c) 運用の効率化
 - (i) 磁気テープライブラリ装置のサポートによる磁気テープハンドリングの自動化
 - (ii) 指定した時刻、または業務終了時の磁気ディスクのバックアップ自動取得機能のサポート
 - (iii) 磁気ディスクのスペース管理機能の強化による業務の異常終了の大幅な削減
- これら三つの機能により、システム管理者の運用方針に従

いストレージを統合的に管理することが可能になる。

4 今後の展望

Mシリーズ記憶階層は、主記憶、拡張記憶を含め、8種類の異なる充実したハードウェアから構成されている。今後は、ハードウェア資源をさらに有効活用するためのソフトウェアサポートと、新ハードウェアの開発による新たな記憶階層の構築という二つの方向の技術開発が必要である。

前者としては、ユーザーが個々のボリュームを物理的に意識する必要をなくし、運用の省力化を目指すストレージのシステム管理、物理特性、コストパフォーマンスの異なるストレージを有効かつ効率的に活用する記憶階層制御、データセットの最適配置支援といった機能を統合ストレージ管理DMFISMの機能拡張で実現していく方針である。

一方、後者としては、帳票など現在電子化されていないデータを格納し、記憶階層の最下位を担う超大容量、低ビットコストの記憶装置、また超高速データ転送が可能なアレー技術を取り込んだ高性能ディスクなどの開発を行っていく方針である。

5 結 言

ストレージシステムは、社会環境の変化やユーザーニーズに合わせ、プロセッサ、オペレーティングシステムとともに発展し、現在に至っている。今回開発した各ストレージは大容量、高性能、低ビットコスト、運用の省力化など、それぞれの特長を高次元で実現した製品群であり、より幅広い記憶階層を提供するものである。今後、情報化社会のいっそうの進展により情報(データ)の重要性がますます高まることが予想される。こうした中で大形情報処理システムの重要な役割としてMシリーズが目指すトータルマネジメントサーバ構築のため、個々のアプリケーションに最適なデータ格納場所を提供するハードウェアと、これを強力にサポートするソフトウェアの両面から、製品開発および機能強化を推進していく方針である。

参考文献

- 1) Jun Naruse, et al.: A Product Family of Large-Scale Magnetic Disk Drives with 9.5 Inch Platters, Hitachi Review, 37(1988)
- 2) 山本, 外: 高性能補助記憶装置と導入効果向上手法の開発, 日立評論, 66, 8, 585~589(昭59-8)
- 3) Kozo Fujita, et al.: H-6485 Magnetic Tape Subsystem, Hitachi Review, 36(1987)
- 4) 岡, 外: 半導体記憶装置「1Mビット-DRAM機」, 日立評論, 70, 2, 161~164(昭63-2)