

## 2 テープの歴史と技術革新

コンピューターのテープストレージは、今から 60 年ほど前にさかのぼる。1951 年、当時の UNIVAC 社は世界で初めてテープストレージを世に送り出した[1]。世界で最初の商用コンピューターである UNIVAC I に付属の入出力装置として搭載され、金属テープを使用した。その翌年の 1952 年、IBM 社はイメーション社（当時 3M 社）が開発した磁気テープを使った Model726 テープユニットを発表した。これにより当時パンチカードに記録されていた情報は磁気テープによる保存へと徐々に移行していった。この時から 60 年近くが経過し、人間の髪の毛の 10 分の 1 の薄さの磁気テープに 60 万倍のデータを保存するまでテープストレージは進化したが、この世界初のコンピューター用磁気テープは、その後にくるデジタル記録用記録テープの基本的要素がすべて含まれていた。ここでは、テープストレージの歴史をその時々ストレージを取り巻く環境と共に紹介する。

### 2.1 1950 年代のテープ黎明期、この時代の基礎技術の一部は今も利用

1952 年に登場した Model726 テープユニットは、テープ専用機であり大型計算機に接続されて使用された。80 文字の情報を持った 100 枚のカードを 1 分間で処理するパンチカードシステムに対し、1 秒間に 7500 文字処理できた。これは処理能力で 50 倍以上の高速性能を持ちパンチカードに代わる高速入出力媒体の登場であった[2]。1955 年に出された Model727 テープユニットは、Write されたデータを直後に Read して確認する Write、Read 一体型ヘッドや、NRZI レコーディング、CRC 機能が初めて実装され、外部記録媒体にもかかわらず、内部データ処理の一翼を担う信頼性を確保した。この時代に登場した一体型ヘッドは、現在のテープドライブでも使われている。また、テープメディアも、現在の磁気テープでも一般的である下地層に PET（ポリエチレンテレフタレート）フィルムに記録層を塗布する構造を採用した。

1956 年 Model350 ディスクストレージが IBM 社から最初のハードディスクストレージとして登場したが、そのサイズと消費電力などから 1970 年代までは一般には使われなかった。当時まだ扱うデータ量が多くない時代であり、データ保管の信頼性と災害対策などの安全性が重視され、180MB の記憶容量まで達したオープンリールテープストレージの特性はそれらの需要に合っていた。

### 2.2 テープが直面した「第 1 の危機」

しかしながら、1980 年代に HDD の技術革新があり、ディスクストレージは飛躍的に容量と信頼性を増した。1 MB あたりの価格は一桁以上下がり、現在では当然主流であるオンラ

インデータストレージ用途としての使用が普及した。これによりコンピューターが扱うデータ量は増大し、また保存データのアクセス容易性が重要な位置を占めた。この需要に HDD は合い、その需要が大きくなった。この HDD の技術革新によりテープは、データ保存（アーカイブ）、データ交換媒体としてのオフサイト使用に限定されていった。しかし、当時は現在のようなテープオートメーションはなかったため、人手で目的とするテープメディアを保管場所から探してドライブにロードする必要のあるテープドライブはその優位性が失われ、市場は縮小した[3]。1980年代後半には光ディスクも登場して、リムーバブルメディアとしてもテープは地位を低下させた。その光ディスクは、大容量で HDD よりも低コストかつテープと同様にリムーバブルメディアとしての高い保管性などにより、HDD に競合する存在となった。

### 2.3 第1の危機からの脱却に向けて 実は1970年代に、既にバーチャル・ストレージは存在した

このような状況から、1970年代から1980年代にかけて、テープストレージは衰退の危機に陥っていた。IBM社は1974年、初めてのテープ・ディスク・ハイブリッド製品 3850MSS (Mass Storage System)を発売した。3850MSSは、シリンダ状で容量100MBのカートリッジを7000個格納できるテープオートメーションと DASD (Direct Access Storage Devices) システムの組み合わせであり、ディスクをキャッシュとして扱った[4]。人手を必要とするテープの不便性の解消とディスクのランダムアクセス性を併せ持つ画期的なシステムであった。これはバーチャル・ストレージの概念の最初の導入であり、現在のバーチャル・テープ・ストレージの原型である。テープに直接読み書きしてストレージ機器を使用していた当時、MSSはソフトウェアを介してストレージ機器を制御した。これにより、ホストからはテープがあたかも DASD のように見えた。しかしこの最初のハイブリッド・オートメーション・システムは、ホストからの要求のキュー処理[5]やエラー回復処理[6]などの最先端技術があったが十分成熟してなかったこと、また DASD とテープさらにオートメーション機器一体型のシステムで高コストだったなどの理由で、市場を拡大するには至らず、早すぎたデビューであった。

この中で、1984年はテープストレージにとってターニングポイントとなった。初めて、AMR再生ヘッドやシングルリールのカートリッジテープを使った IBM3480 が発表された。また、同じ時期、ミニコンやオフコンの世界（ミッドレンジ）でも、HDD ベースのデータ処理の出力媒体やバックアップを初めとする移動・保管媒体として磁気テープが使用されるようになっていた。当初はオープンリールテープがバックアップ用途に使用されていたが、3M社が開発した小型テープシステム用テープカートリッジ KT80、KT81 を元に開発された DEC 社の TK50 は、中規模のミッドレンジ市場向けの製品として多くのユーザーからの支持を集め、後にミッドレンジセグメントを席卷することになる。

同様に小規模オフコンやワークステーションの世界（エントリーレベル）でも、データ処理・出力に磁気テープが使われていたが、ミニコン・オフコンの世界と同様にバックアップやアーカイブ目的にも磁気テープが使われるようになってきた。エントリーレベルでは、色々なシステムが登場し、そのシステムの独自性にあわせてテープシステムも独自の性能・サイズを持ったさまざまなシステムが登場することになる。まずは1972年に3M社とタンベルグデータ社が開発したQICフォーマットが登場し、電子交換機のプログラムロード、ワークステーションの標準バックアップ媒体として広く採用された。1980年代後半になると、Exabyte社から家庭用8mmビデオをもとにデータ記録用システムが開発され、1巻当たり2.4GBという高性能から、1990年代前半まではオープンシステムのデファクトスタンダードの地位を確立した。

IBM3480の薄膜記録ヘッドはHDDが採用するよりも数年前であった。薄膜ヘッドは半導体技術を使って微細加工されたヘッドであり、AMR再生ヘッドは現在主流のGMRに代表される最初のMRヘッドである。これにより記録密度が大幅に向上した。それまでの180MBの容量をもつ10.5インチオープンリールが、200MBの容量をもつ1/2インチシングルリールカートリッジとなり、体積あたりの容量が向上した。1/2インチカートリッジは現在も使用されている。

DEC TK50は、DEC社のネットワーク対応型ミニコンピューターMicroVAXワークステーションにバックアップ用途で搭載された。TK50は1/2インチシングルリールカートリッジであり、当時主流であったQIC[8]や8mmテープなどの2リールカートリッジから省スペースを実現した。DEC社はこの94MBの容量を持つTK50を皮切りに1987年には容量が294MBとなるTK70を世に送り出した。

### 2.4 テープオートメーションの登場がテープに新たな光を。ミッドレンジでのDLTの急速な普及

IBM3480が担うハイエンド市場では、さらにこれを活用するテープオートメーションシステムも登場した。テープは当時も現在も体積あたりの容量はHDDよりも大きい。テープオートメーションはこの利点を最大限に活かし、低コスト、大容量のストレージとしてテープの魅力は増した。光ディスクも同様に進化したが、体積あたりの容量でテープには劣った。この頃よりテープストレージは再び脚光を浴びた。需要が再び急速に上向いて市場が拡大した。

1990年代になると、市場からの大容量化のニーズを受け、QICの容量も1GBを越し、1999年には50GBに達した。また、8mmも1994年に7GBの容量となり、1996年には20GB

の mammoth、1999年には60GBの容量を誇る mammoth2 を発表した。同じ時期ミッドレンジ市場を担う DEC 社は、音楽用途の DAT がコンピュータストレージに進出し、DAT のより小さなカートリッジに1GB以上のデータを記録できるという性能に苦しんでいたが、1989年、TF85 を発表した。TF85 は後に DLT260 と呼ばれたように、DLT の真の初代モデルといえるテープであり2.6GBを収容できた。1994年、DEC 社のテープ事業は Quantum 社に移り、Quantum 社はすぐに DLT4000 を発表した。SCSI-2 インターフェースをもつ DLT4000 は、20GB とトップクラスの容量を有し、ミッドレンジ以下の市場においてシェアを伸ばした。ローエンド市場は、DAT ベースの DDS を持っていたソニー社だが、更なる高容量システムのニーズに応えるため8mm 蒸着テープカートリッジをベースに容量25GBのAIT-1を1996年に発表し、独自のマーケットを形成していった。

### 2.5 テープが直面した「第2の危機」

ハイエンド市場では1998年 IBM 3590E が40GB、ミッドレンジ市場では Quantum DLT8000 が40GBまで拡張された。しかし、一方HDDはそれをはるかに上回る勢いで急速に容量を拡大し、その保存されたデータへのアクセス容易性、迅速性からストレージの主演となった。世はパーソナルコンピュータの時代となり、コンピュータの爆発的な技術革新と共に、日々のトランザクションが急速に増加した。2000年ごろまでにはこの新しい流れにおいてHDDが普及し、相対的にテープドライブは落ち込んでいった。

このように1990年代はテープストレージにとっては苦難の時代であったが、エラー訂正コード(ECC)やPRML信号処理、ヘッド技術、ホストインターフェースなどHDDの技術を取り込み、技術革新を継続的に行った。特にハイエンドのテープストレージは、テープドライブは容量とパフォーマンスの大幅な向上を必要とし、大量のデータを管理するためにドライブを自動で管理する自動化されたライブラリーによるブレークスルーが必要であった。

その中で1993年にESCONやファイバチャネルをサポートしたIBM3495テープライブラリーが登場し、テープドライブとそれを管理するライブラリーの組み合わせで増大するデータ管理の容易性を実現した。翌1994年に登場したミッドレンジ・オープンシステムライブラリー3494は大成功を収め、テープストレージの管理を自動化ライブラリーで行うシステムが普及した。

一方ミッドレンジ、ローエンドの市場では1990年代になるとDLTやソニー社のAIT普及し、1994年にDEC社からDLTを買収したQuantum社がシェア1位を獲得した。また1994年にソニー社とHP社が共同開発した音楽用DAT(Digital Audio Tape)ベースのDDSが発売されると、そのコストパフォーマンスから一気に普及し、その後2000年には全テ

プ市場の70%を占める大ヒットとなる。

### 2.6 LTO規格の登場でオープン化へ

ライブラリーによる大規模ストレージ管理は広がったが、テープドライブ本体は、容量と転送速度において技術の限界があった。1990年後半にはIBM3590E、DLT8000ともに40GBの容量で、HDDの技術革新速度に比べて劣っていた。IBM社は、より小さい筐体で5GBのカートリッジを使用するテープドライブ3570を1996年に発表した。一方DLTを中心に成長していたミッドレンジ・リニアテープの世界では、業界共通オープンフォーマットを確立しようという動きが起こり、HP社、IBM社、Seagate社（現Quantum社）が共同でオープン規格のLTOを作った。LTO規格は、あらかじめ磁気テープ上に記録されたサーボパターンによる高精度サーボ制御を行うタイミング・ベース・サーボ、データパターンによってダイナミックに切り替える圧縮方式、記録データの分散により最適化されたエラー訂正コードを含むフォーマット、改良されたアクチュエータや磁気テープなどのさまざまな刷新がなされた。2000年には各社から第1世代ドライブ（100GB）が出荷された。以降LTOは着実にシェアを伸ばし、2000年代後半までにミッドレンジ・テープストレージの市場を制して、DLTやAITに取って代わった。

ハイエンドテープの世界ではIBM社が2003年にLTO規格をベースにしたIBM3592をIBM3590の後継としてリリースし、StorageTek社（現Oracle社）のT10000シリーズテープドライブと共に進化を続けている。第3世代IBM3592は、GMRヘッドを搭載し、初めて1テラバイトの容量を実現した。

このように、オープン規格LTOによるイノベーションでテープストレージは、容量や転送速度、体積あたりのコストにおいて、優位性のあるストレージデバイスとして現在確固たる地位を築いている。

### 2.7 まとめ

以上、1951年のテープストレージ誕生以来、現在まで60年弱を振り返った。誕生以来HDDを初めとする競合製品との市場争いで浮き沈みがあったが、テープストレージの保管容易性と体積あたりの容量の大きさによる低コストという特性は変わらない。2010年にLTO各社から出荷された第5世代LTOは1.5TBの容量を持つ。長期アーカイブや大量のデータを扱うクラウド・コンピューティングにおいて、大容量テープストレージは大きな活用の可能性を持っている。

参考文献

- [1] <http://www.computermuseum.li/Testpage/02HISTORYCD-Index.htm>
- [2] “Fifty years of IBM innovation with information storage on magnetic tape”, Journal of Research and Development Vol.47, No. 4, 2003, IBM Corporation.
- [3] “Innovations in tape storage automation at IBM”, Journal of Research and Development Vol.47, No. 4, 2003, IBM Corporation
- [4] [http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/storage/storage\\_3850.html](http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/storage/storage_3850.html)
- [5] “Regenerative Simulation of a Queuing Model of an Automated Tape Library”, Journal of Research and Development Vol.19, No.5, 1975, IBM Corporation
- [6] “Error Recovery Scheme for the IBM 3850 Mass Storage System”, Journal of Research and Development Vol.24, No.1, 1980, IBM Corporation
- [7] Quarter Inch Cartridge, <http://www.qic.org>
- [8] Quantum DLTtape University ハンドブック、Rev. D、1999年9月、日本クアータムペリフェラルズ株式会社