

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の歴史は長く、70年以上が経過した。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3M社（後のイメーション社）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70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容積比で375万倍（非圧縮時）のデータを保存するまでテープストレージは進化した。この世界初のコンピューター用磁気テープは、その後続くデジタル記録用磁気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々の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つ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してデータが確実に書きこまれていることを確認するためのWrite、Read一体型ヘッドや、NRZI（Non-Return-to-Zero-Inverted）レコーディング、CRC（Cyclic-Redundancy-Check）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、現在一般的である磁気テープと同様にPET（ポリエチレンテレフタレート）フィルムの下地層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、1巻当たり180MB（メガバイト）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。1MB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。この要件に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く、人手により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があったため、テープドライブはその優位性が失われ、市場は縮小した。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、当時としては大容量で HDD よりも低コストかつテープと同様の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 と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、すでにバーチャルテープ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) を発表した。3850MSSは、シリンダ状で1巻当たり容量50MBのカートリッジ2巻で構成される100MBの仮想ディスクを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。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。これが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[3]やエラー回復処理[4]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。この頃から、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。

当時は、このバックアップにはオープンリールテープが使用されていたが、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 などが登場し、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。

また、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・出力用途だけでなく、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、いろいろ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ダ、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（ギガバイト）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が採用する数年も前に採用された。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（Anisotropic Magnetoresistance）再生ヘッドは現在主流のGMR（Giant Magnetoresistive）やTMR（Tunneling Magnetoresistive）に代表される最初のMRヘッドである。LTO-8以降はTMRを採用しており、これにより記録密度が大幅に向上した。また、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、1巻当たり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。この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[5]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1巻当たり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。テープメディア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展開を進めた。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、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1巻当たり1GBを越し、1999年には50GBに達した。また、8mmも1994年に1巻当たり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が発表された。

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の初代モデルといえるテープであり1巻当たり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、さら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役となった。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。

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ていたが、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。特にハイエンドのテープストレージでは、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テープオートメーション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 (テープオートメーション) 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テープオートメーション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 が普及し、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年には全テープ市場の70%を占める大ヒットとなった。

2.6. LTO 規格の登場でオープン化へ

テープオートメーション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。

そこで、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様々な刷新がなされた。2000年には各社から第1世代ドライブ(100GB)が出荷された。

LTOはコンソーシアムで各社間の互換性検証がされ、約2~3年周期の世代アップが明記された長期ロ

ードマップが示されたことで市場に安心感を与え、DLT や AIT に取って代わり現在テープストレージのデファクトスタンダードとなっている。

ハイエンド市場では 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きた。第 3 世代 IBM3592 の TS1130 は、GMR ヘッドを搭載し、初めて 1 巻当たり 1 TB (テラバイト) の容量を、第 5 世代 IBM3592 の TS1150 では TMR ヘッドの搭載で、1 巻当たり 10TB の容量を、2023 年には第 7 世代の TS1170 ドライブにより 1 巻当たり 50TB を実現した。

2010 年になると、第 5 世代以降の LTO やハイエンドテープドライブで Linear Tape File System (LTFS) がサポートされ、テープへのファイルアクセスはドラッグ&ドロップで扱えるようになり、使いやすさが向上した。LTFS は 2016 年に、SNIA によりオープン規格として標準化 (ISO/IEC 20919) され、大容量のデータ交換や長期データアーカイブ用の記録形式とし活用が進んでいる。

また 2018 年には磁気テープを活用した長期データアーカイブの活用法について「磁気テープによるデジタル情報の長期保管方法」(JIS Z 6019:2018) が制定され、安心・安全に長期データ保管・維持を行う考え方が標準化されている。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 70 年以上を振り返った。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。2025 年に発表された第 10 世代 LTO は 30TB および 40TB の容量を持つ。LTO ロードマップも第 14 世代まで拡張された。

2017 年 8 月、SONY 社と IBM 社は 1 巻当たり記憶容量 330TB 相当の技術、また 2020 年 12 月には FUJIFILM 社と IBM 社は 1 巻当たりの記憶容量 580TB の大容量化を可能にするストロンチウムフェライト磁性体の実証実験に成功したと発表した。現在であってもテープストレージの技術革新は止まっていない。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] “Fifty years of IBM innovation with information storage on magnetic tape”, Journal of Research and Development Vol.47, No. 4, 2003, IBM Corporation.
- [2] “Innovations in tape storage automation at IBM”, Journal of Research and Development Vol.47, No. 4, 2003, IBM Corporation
- [3] “Regenerative Simulation of a Queuing Model of an Automated Tape Library”, Journal of Research and Development Vol.19, No.5, 1975, IBM Corporation

- [4] “Error Recovery Scheme for the IBM 3850 Mass Storage System”, Journal of Research and Development Vol.24, No.1, 1980, IBM Corporation
- [5] Quarter Inch Cartridge, <http://www.qic.org>
- [6] Quantum DLTtape University ハンドブック、Rev. D、1999年9月、日本クアンタムペリフェラルズ株式会社