

## 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、今から約 70 年前にさかのぼる。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 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 600 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、その後続く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、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・ストレージの概念を最初に導入したものであり、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巻することになる。

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、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。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。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 1 ギガバイト GB 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はいたが、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ライブラリーによるブレイ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 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

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

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のTS1130は、GMRヘッドを搭載し、初めて1巻当たり1TB（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、2017年には容量エンハンスのTS1155ドライブにより1巻当たり15TB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。

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、現在まで約70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。2017 年に出荷された第 8 世代 LTO は 12TB の容量を持つ。2017 年にそれまで第 10 世代までだった LTO ロードマップも第 12 世代まで拡張された。

2015 年 4 月、FUJIFILM 社と IBM 社は 1 巻当たりの記憶容量 220TB を実現する技術を、また 2017 年 8 月には SONY 社と IBM 社は 1 巻当たり記憶容量 330TB 相当の技術を共同開発したと発表した。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] <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、日本クアンタムペリフェラルズ株式会社