

9 LTFSとは

Linear Tape File System (以降 LTFS)とは、ストレージベンダーが共同で策定しているテープストレージ用の記録フォーマットであり、このフォーマットは2016年に国際標準規格としてISOにも採用されている。その名前が示すように、LTFSフォーマットはファイルシステムを経由してテープにアクセスするためにデザインされており、これによって一般的なファイルブラウザを用いてテープ内に保存されたファイルを確認することが実現されたのである。

このLTFSは2010年からオープンに技術公開されており、現在ではファイルシステム機能だけを単独で提供する無償ソフトウェアから、コンテンツ管理や業務ワークフローとの連携などの付加機能を統合した応用ソフトウェアまで、ハードウェアメーカーやサードパーティソフトウェア会社で採用されている。そして、どのLTFSテープも共通フォーマットで書き込まれているので、ソフトウェア間でのデータの受け渡しや世代を超えたデータの引継ぎも容易になったのである。

9.1 共通規格登場の背景

コンピューター用テープストレージの登場は1950年代にまで遡るが、それぞれの時代において、テープの優位な特性を活かせるように他のストレージと使い分けられてきた。例えば、頻繁にアクセスするデータの保存先としてはディスクやフラッシュ・ストレージを用いるが、アクセス頻度が低いながらも大容量で高信頼性のストレージを必要とする場合はテープを利用する、といった具合である。どちらか一方で全てをまかなうのではなく、適材適所で用いるハイブリッドなストレージ環境といえる。

近年のビッグデータ時代においては、IoTやAI技術の普及によって研究開発機関やオフィス業務で分析対象となるデータの収集と蓄積が行われ、またSNSやe-Commerceなどの生活スタイルの変化もデジタルデータを増加させる要因になっている。その一方で、監視カメラの映像や電子取引データ、サーバーのログなどは、リスクマネージメントの観点で保全期間を長くする要求が高くなり、これもストレージの容量を押し上げる要因になっている。このようなデータの爆発的な増大が想定されるなかで、テープが本来持っている特性である低コスト、大容量、長期保管特性が着目されており、前述のバックアップ用途の例だけではなく、アクセス頻度が低いデータをアーカイブ化することによってデータセンターの設備投資や運用のコストの最適化を図る利用が増えてきている。

留意すべきことであるが、「バックアップ」と「アーカイブ」は、オリジナルのデータがどこに存在するのかという点において大きく考え方を異にしている。バックアップは、オリジナルデータの複製をオリジナルとは別の場所に定期的に保管しておき、万一に災害や人的ミスによってオリジナルが失われた際に直前の複製によって修復することが役割である。一方でアーカイブは、オリジナルデータの複製を作るのではなく、オリジナルデータを長期保存に適したストレージに保管する。そのため、テープの長期保存特性や高信頼性ととともに、長期的にデータにアクセスできる環境を維持することが大切なのである。

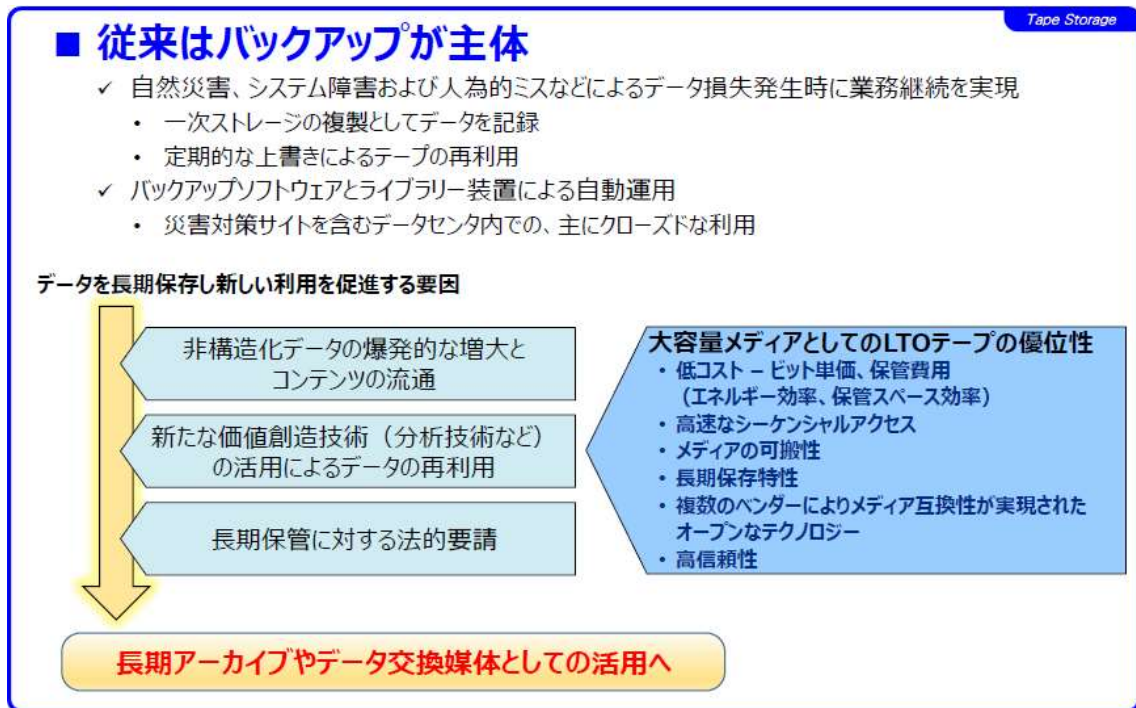


図 1 テープの新たな活用

9.2 アーカイブ・ストレージの要件

データをディスクからテープに移動することによってディスクストレージ容量増加を抑制することは、従来より階層化ストレージ(Hierarchical Storage Management: HSM)として知られている手法だが、一般にHSMが導入された環境からテープだけを取り出して参照することはできず、ストレージシステムを更新・移行する際には一旦全てのデータをテープから読み戻すなどの時間的負担が発生するようなケースもある。データに対するアクセスの利便性のためにはディスクとの密接な統合が重要であるが、それと同時に、アーカイブの長期的な運用を考えた場合にはストレージシステムの更新サイクルの影響を受けにくい特性を兼ね備えたストレージが必要となる。

図2はアーカイブ・ストレージに対するさまざまな要件を3つのレイヤーにマッピングしたもので、LTFSは上2つを念頭に作られている。例えば、要件(3)に対してLTFSは自己記述性をもつフォーマットを採用し、外部のデータベースなどから切り離してテープ単独でアクセスできるようにしている。また、LTFSフォーマットはオープンな規格であり、要件(1)や(6)への解決策となっている。

アクセスインターフェースはアーカイブシステムにデータを入出力する方式で、LTFSはPOSIX互換のファイルシステムを採用しているが、Openstack SwiftやAmazon S3のようなオブジェクトインターフェースを介したテープアーカイブの利用も始まっている。

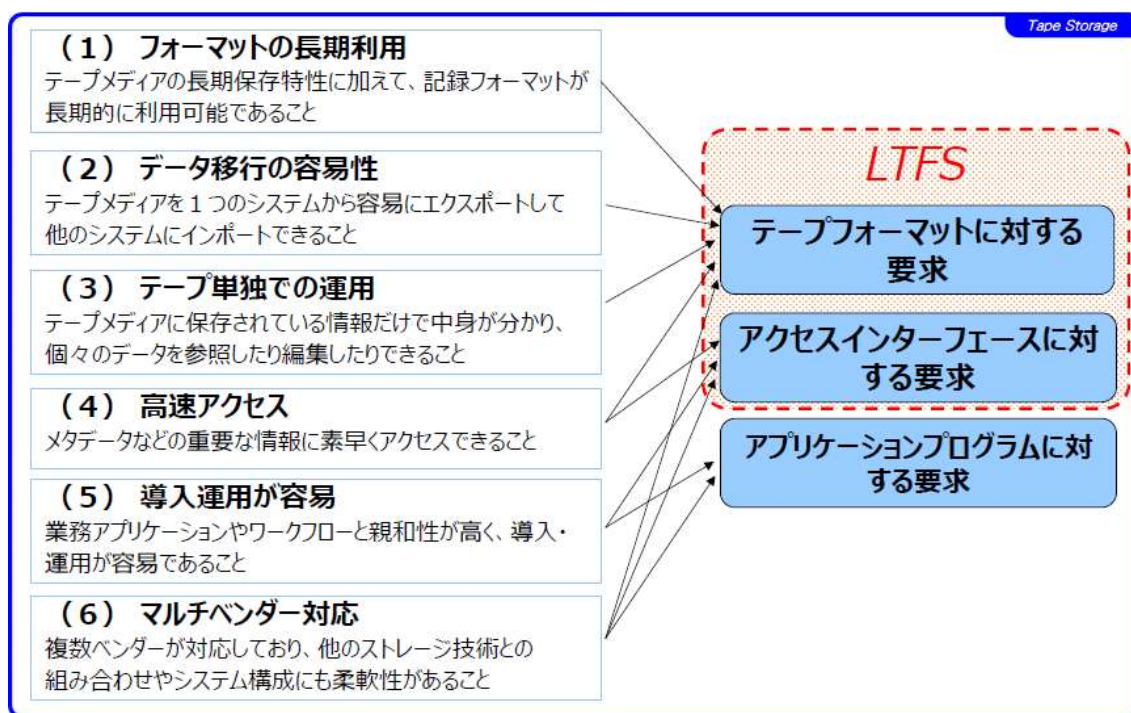


図2 長期アーカイブにおける要件

9.3 LTFS フォーマットの標準化

LTFSが登場した初期段階ではLTFSを作成したIBMがフォーマット仕様書を公開していたが、Version 2.2以降はStorage Networking Industry Association (SNIA)の技術ワークグループによる管理体制に移行し、2018年4月現在の最新版は2017年に承認されたVersion 2.4である。また2016年には、Version 2.2に相当するものが国際標準ISO/IEC 20919:2016として承認されている。

このLTFSフォーマット仕様書ではテープ上のデータの並びやメタデータのXML記述書式などの論理的フォーマットが定義されており、一方でファイルシステムのAPIや内部挙動、テープドライブへのコマンドプロトコルなどについては、GitHub上で公開されているリファ

レンス実装のソースコードが参考になる。

また LTFS Compliance Verification という第三者検証テストを LTO コンソーシアムが運営しており、このロゴプログラムでは検証対象のソフトウェアが作成したテープがフォーマット仕様書に準拠していることを検証している。

このように LTFS 規格はフォーマット仕様書、オープンソース、互換性検証の3つの柱によって支えられており、利用者が安心して利用できるようなエコシステムを形成している。

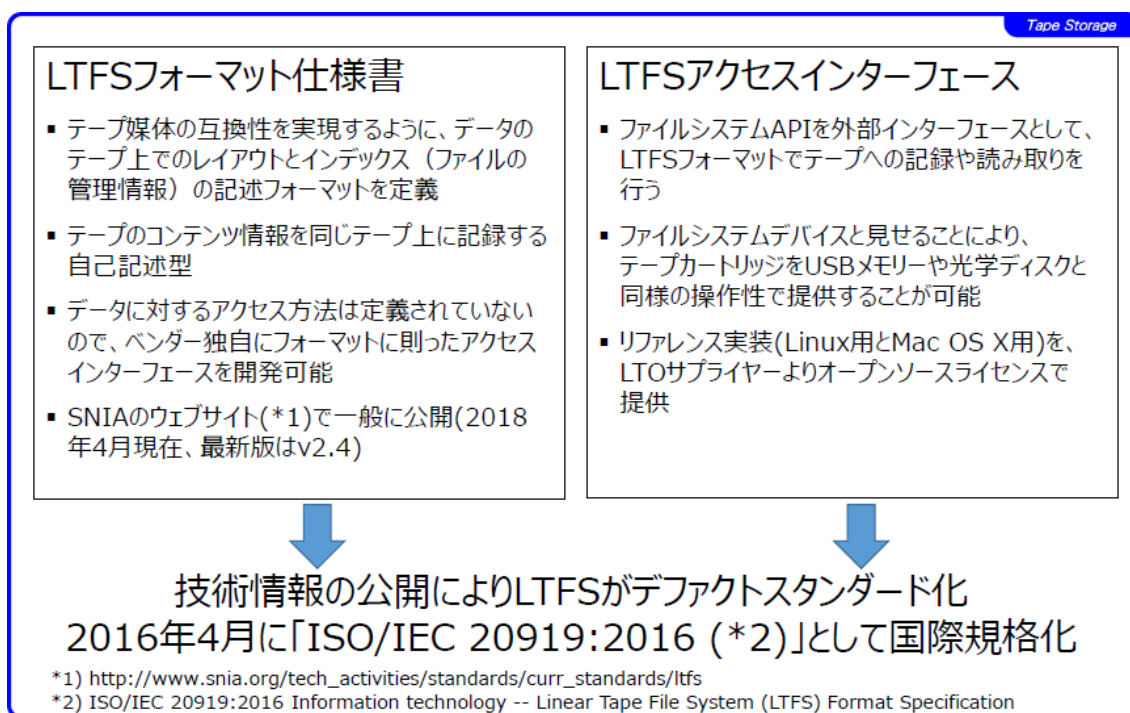


図 3 LTFS を構成する要素

9.4 LTFS の特長

LTFS はテープ専用のファイルシステムのため、通常のディスクベースのファイルシステムとは異なる設計上の工夫が存在している。

一番の特徴は、テープをインデックス・パーティションとデータ・パーティションに二分割し(以降、各々 IP, DP と記す)、一方を上書き型で他方を追記型記録で利用していることと言える。これにより、テープの先頭部分に常に最新のインデックスを保存することが可能になり、テープのマウント処理が高速化されている。このテープのパーティショニング機能は LTO 5 から備わった機能で、LTFS が動作する他の種類のテープドライブでも必須の機能である。フォーマット仕様書上は、パーティションの大きさの規定はないが、通常は IP を最小にして残り全てを DP に充てる。LTO の場合、IP に 2 ラップ、ガードバンドと呼ばれる 2 つのパーティションを分ける領域として 2 ラップ、また DP 終端 1 ラップ分が最終インデッ

クス用としてリザーブされているため、全体の数パーセントがデータの書き込み領域としては使われない計算である。例えば LTO 8 テープの場合テープトータルで 208 個のラップがあるので、 $(2+2+1)/208=2.4\%$ がこれに当たる。(ラップはテープ長手方向にテープ両端間に連続する記録領域)

二番目の特徴は、複数のインデックスを保管していることである。インデックスは、ファイルの名前や属性、タイムスタンプなどのメタデータを記述したもので XML 形式で書かれている。このインデックスは IP に最新版が 1 つだけ書かれているが、DP には過去のインデックスの全てが収められており、古いインデックスを使えば過去のある時点でのファイル情報の復元(ロールバック)が可能である。通常のディスク用ファイルシステムでは、メタデータをディスク上から適宜部分的に読み出して処理をしているが、LTFS の場合は、テープがランダムアクセスにならないようにマウント時に全メタデータをメモリー上に展開して動作している。1 ファイルあたり約 1KB のメモリーが消費されることになり、100 万ファイルでは約 1GB の空きメモリーの確保が推奨されている。

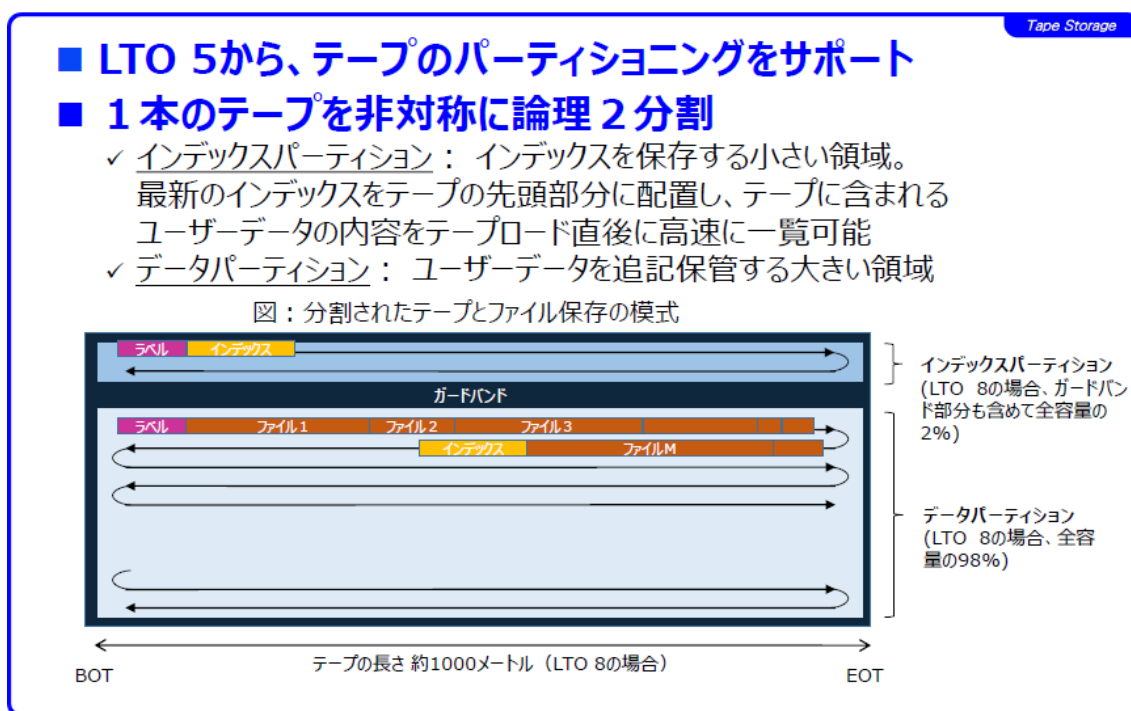


図 4 テープ上のレイアウト

第三の特徴は、ファイルの書き込み・更新時のテープ上のストレージの使い方にある。ファイルは追記型で利用される DP に連続して書き込まれるので、読み出す際もテープ本来の転送速度で高速に読み出すことができる。その一方で、追記型のためファイルを削除した場合にそのファイルが書かれていた領域を再利用することはできず、代わりにメタデータから

その領域への参照を削除する。このことは逆に言えば削除済みのデータもインデックスのロールバックで読み出し可能であるとも言えるが、削除されたファイルが多くなると不必要な領域が離散的にテープに発生することになり、次第にテープのスペース利用効率が悪くなる。そのため、削除領域が大きくなった際に別テープに詰め込んで書き込む機能（リクレイム機能）を有する LTFS ソフトウェアも存在する。

またファイルの一部だけを書き換えるようなファイル操作が行われた場合には、コピーオンライト方式で差分だけがテープに追記されるので無駄なスペースは発生しない。

ファイルシステムの直接の機能ではないが、テープドライブに備わるデータ圧縮機能も活用されており残量以上のサイズのファイルを書き込むことが可能だが、圧縮率を書き込み前に予測できないため、ファイルをコピーする毎に残量を確認しながら使うことが必要である。

ファイルシステムによるアクセスのメリットは、ファイルを扱うアプリケーションがテープでもそのまま使えることにあるが、時にはディスクでは気づきにくいアクセスがバックグラウンドで勝手に発生していることが顕在化してくる。例えば、ファイルブラウザは JPEG ファイルを見つけるとサムネイル画像を生成したり、またファイルの検索が用意になるようにファイルから要約情報を抽出してインデクシングをおこなっている OS もある。これらがテープへの書き込み時などにパフォーマンスに影響を与える場合には、設定変更によって快適に LTFS を利用することができる。

9.5 LTFS が開くテープの新しい使い方

テープがオープンで自己記述性をもつ媒体になると、どのような事が可能になるのだろうか？

一例としては、

- 1) USB フラッシュメモリーと同じような操作感で、テープをマウントするだけで書き込まれている内容がファイルブラウザで一覧でき、またソフトウェアでファイルを直接開くことができる。
- 2) LTFS フォーマットで書かれたテープは LTFS 対応ソフトウェアがインストールされた PC であればどこでも読み出すことが可能なので、大量のデータを LTFS テープに書き込んで別の人に手渡すことが可能になる。
- 3) テープを書き込んだ PC の OS バージョンやツールが時間の経過とともに古くなっても、新しい PC に LTFS ソフトウェアをインストールすれば、そのままテープを読み出すことができる。

これらが示すように、LTFS によって、テープの長期保管性能、可搬性、大容量といった特

徴にファイルアクセスの利便性が加味され、従来のバックアップ用途とは異なる新しい使い方が可能になったのである。

2010年にLTFSが初登場した際には、まずは放送や映画産業に革新をもたらした。この動きは現在では異なる産業分野に広がっており、ビッグデータ時代を支える長期アーカイブやデータ交換用フォーマットとして活躍していくことが期待される。