

## 6 高記録密度を支えるサーボ技術

昨今、テラバイトを超える大容量データの確実な保管、そして高速なデータ転送が求められるテープストレージ。そこには高速・高密度でデータを書き込み、確実に読み取るための精密かつ高度な技術が投入されている。この章では磁気ヘッドでの信頼性の高いトラッキングを可能にするサーボ技術を中心に、テープストレージを支える高信頼性技術について解説する。

### 6.1 ヘッドの正確なトレースを実現するサーボ技術

テープのデータ記録面は、ユーザーのデータを記録する複数の「データトラック」のまとまりである「データバンド」と、ヘッドの位置調整に使用する「サーボバンド」により構成されている。「サーボバンド」はデータ容量が大きくなり、高密度になっているデータトラックを正確に追従することを実現している。

LTO Ultrium（以下：LTO）の記録面は、12.65mm幅のテープに4本のデータバンドを挟む形で5本のサーボバンドが配置されている。最新のLTO 8では、1本のデータバンドに1664本のデータトラック、合計では6656本ものデータトラックを持っている。テープ幅に対するデータトラック数の多さを考えると、1本のデータトラック幅は非常に狭いことがわかる。その幅はわずか1.56 $\mu$ mに過ぎない。この狭いトラック幅に高速かつ正確、そして高密度にデータを書き込むために必要なのが、磁気ヘッドの正確なトレースである。わずかにテープの走行軌道がズレただけでも、ヘッドはデータトラックから外れてデータエラーとなってしまふ。そこで、各データバンドを挟む2本のサーボバンドを使って高精度に磁気ヘッドを位置付けし、データの書き込みや読取りを実現している。（図1参照）

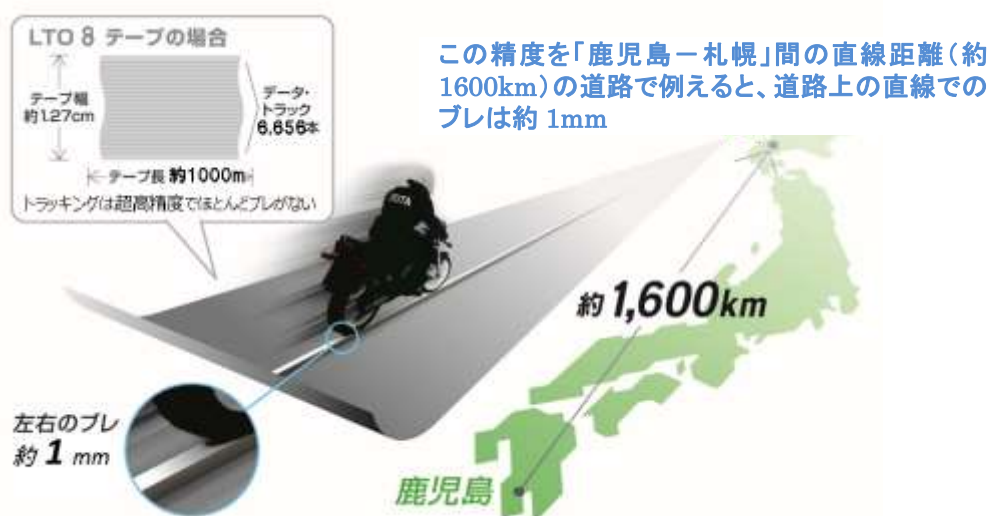


図1 高精度のトラッキング

かつてテープストレージにサーボバンドが採用されていなかった時代には、ドライブにてテープを初期化する際にサーボパターンを書いていた。しかし、書き込まれたサーボパターンの品質が良くないと、そのままトラッキング性能の低下につながる。これは特に、別のドライブで読取りを行う際に大きな問題となっていた。

こうした点を解消するため、LTO ではテープメディアの製造時にテープメディアメーカーが事前にサーボパターンをサーボバンドへ書き込んでおり、使用中にサーボパターンの情報をテープドライブで変更、消去することはできない。バルク消去を行うと、サーボパターンが破壊され、カートリッジの使用ができなくなる。また、テープの長手方向は 8 つのロジカルポイント (LP) で 7 つのエリアに区分けされ、前述のようにテープの幅方向は 5 つのサーボバンドと、4 つのデータバンドに分けられている。(図 2 参照)

ユーザーがテープをドライブに挿入すると、まず CM (カートリッジメモリー) のデータが読み込まれ、ユーザーデータ領域の開始点までテープが送られる。従来、一般的な磁気テープドライブでは、カートリッジロード後にテープ先端のディレクトリ情報を繰り返し読みに行くため、テープ先端部の負荷が多くなっていた。LTO では CM は非接触タイプの IC メモリーで、このメモリーにディレクトリ情報を書き込むことでテープ先端部への負荷を軽減すると共に、信頼性の向上に貢献している。尚、この CM の情報と同じデータ (Format Identification Dataset (FID)) はテープ上にも書かれるため、CM が故障した場合でもカートリッジからデータは読み取れるようになっている。

テープが LP1 に達すると、正しいデータトラック・エリア上にヘッドを合わせるために、サーボヘッドがサーボバンドを検出してヘッドを適切な位置に固定する。このサーボシステムは、単にヘッド位置を正確にトラッキングするだけでなく、テープ速度および位置情報、さらにはメディアの製造情報もわかるようになっているという優れものである。位置情報はサーボパターン内に埋め込まれており、LPOS (Longitudinal Position) と呼ばれる位置情報を検出することで測定可能である。カートリッジロード後、LP1 のエリアがドライブヘッドを通過する時点から、テープドライブはサーボヘッドでサーボバンドを常に追従していく。これにより、LP4 のユーザーデータの位置にリード/ライトのヘッドを正確に位置するよう制御している。



図2 LTO Ultrium フォーマット・テープの構成

LTO では、リニア記録方式（データトラックをテープの走行方向と平行な方向に設けて記録する方式）を採用している。LTO テープの4本のデータバンドには、テープの上から3、1、0、2と番号が付けられていて、番号順に一つ一つデータが埋められていく。（図3参照）ヘッドは書き込み中または読取り中のデータバンドの両側にある2本のサーボバンドにまたがっている。データの書き込みは、BOT (Beginning Of Tape) から EOT (End Of Tape) へ向かって同時に書き込みを行う。これが1本の前進パスとなり、ラップという単位で呼んでいる。データトラックは前進/後進（順方向/逆方向）パスとして書かれており、1本のデータバンドには52本（LTO 8）のラップがある。EOTに到達すると、次に後進パスへ書き込むために、ヘッドの位置を、同じデータバンド内の新しいトラックに調整するため垂直方向に移動する。記録ヘッドを正しい位置に調整して次のトラックをEOTからBOTへ記録していく。これを繰り返すことで、1本のテープに大容量のデータが記録可能となる。

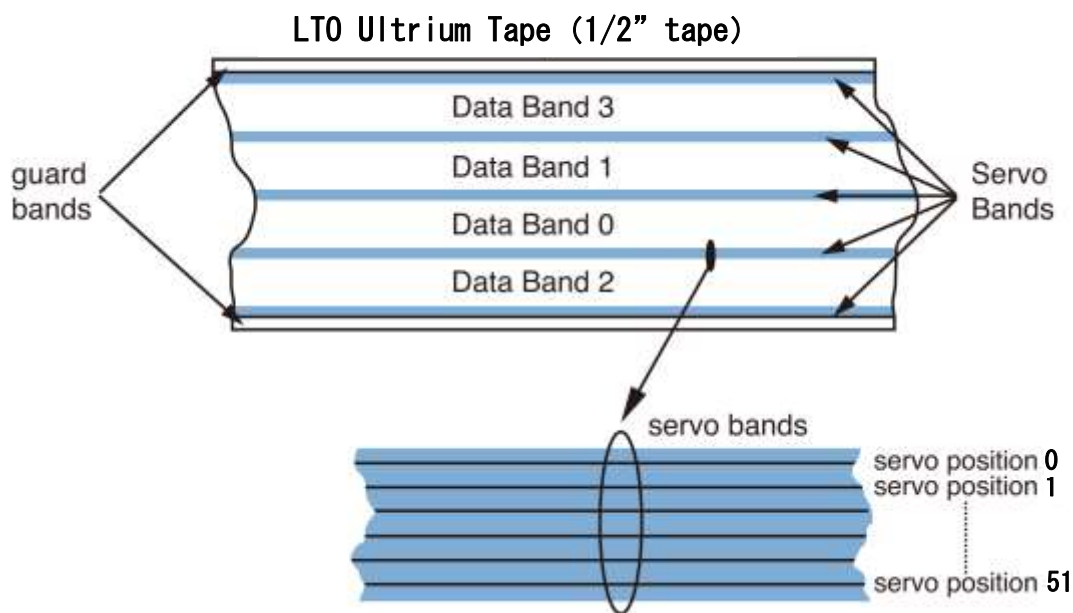


図3 データ/サーボバンドレイアウト

## 6.2 ヘッド位置やテープ速度の測定など位置の情報を提供

各サーボバンドは、磁気ストライプの配列から構成される。サーボバンドはヘッドエレメントよりも幅が非常に広がっている。これらは、18本のストライプを5本と4本のセットにして5544の配列で並べたフレームに配置され、サーボフレームを識別するために使用される。

また、サーボバンドはテープ速度、ヘッドの縦方向の位置を取得するための情報を提供する。テープ速度は、4つのタイミング信号（A1-C1、A2-C2、A3-C3、A4-C4）間の時間から計算される。ヘッド位置は、前述の4つのタイミング信号間の時間及び別の4つのタイミング信号（A1-B1、A2-B2、A3-B3、A4-B4）間の時間から計算される（図4参照）。データトラックの上下にあるサーボバンド上には、常に2つのサーボヘッドが位置しており、これらの2つのサーボヘッドからの信号を利用し信頼性を高めている。サーボバンドを識別するために、対になるサーボバーストは、互いに長手方向に位置をずらしている（図5参照）。データバンドをはさんだ上下2つのサーボバンド内のサーボヘッドからの信号の相対的なオフセットから、どのデータバンド上にヘッドが位置しているかを識別することができる。

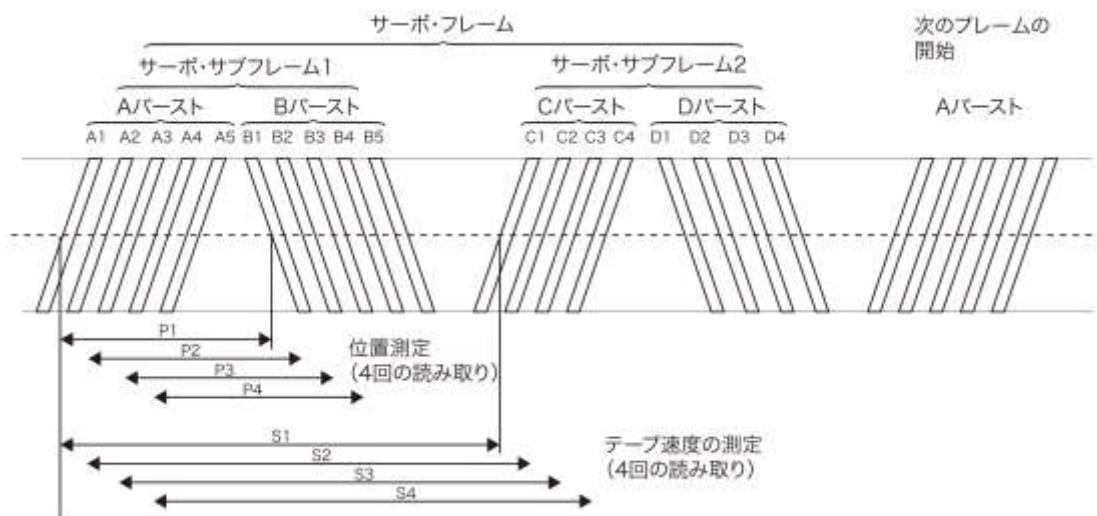


図4 LTO Ultrium フォーマットのサーボバンドの詳細

磁気ストライプは、LPOS を特定するためにも使用される。これは、A および B のサーボサブフレームにおける 2 番目と 4 番目のストライプの位置を変えることによって行われる。A と B の両方のサブフレームがこれを行うので、相対的なタイミングは変更されず、ヘッド位置と速度測定は影響を受けない。

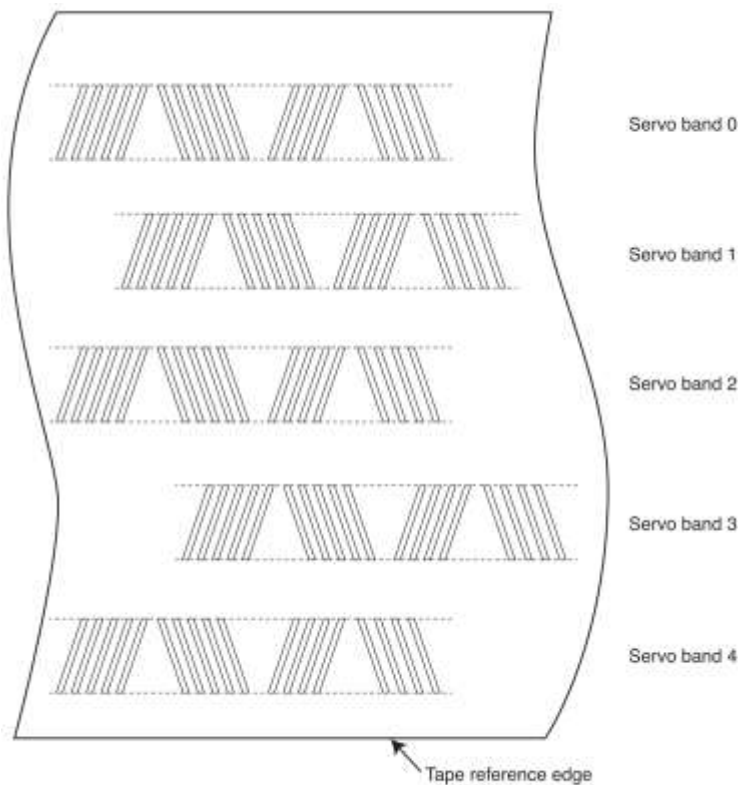


図5 サーボバンドロケーション

LPOS 情報は、テープ製造時のサーボトラックが書き込まれる時に書き込まれる。テープカートリッジが最初に挿入された時に、LP1～6 の LPOS 情報が CM に書き込まれ、これにより、これ以降カートリッジを挿入するたびに、BOT (LP3) の位置を特定できるようになる。

### 6.3 数万回のロード／アンロード耐久性を実現

LTO テープを支える高信頼性技術は、サーボ技術だけではなく、カートリッジにも高度なメカニズムが採用されている。そのひとつが頑丈な金属を使ったリーダーピンである。LTO テープカートリッジには、テープドライブがカートリッジケースからテープを引き出すためのリーダーピンがテープの先端部分に装着されている。これまで DLT メディアでは、テープケース内部でテープリーダーヘッドが引っ張られて欠損するケースがあることが弱点となっていたが、LTO では機械的インターロックやセンサーによって正しい接続を検出し、テープ損傷の原因となるリーダーの欠損を防止する仕組みが採用されている。これにより、数万回におよぶロード／アンロード耐久性を実現している。

また、テープの大容量化に伴うテープの長尺化により、巻き応力が増して、これがリールの変形を招く要因となる。リールの変形は、テープのエッジダメージや変形につながる。もし、テープエッジ部分に「折れ」のダメージがあると、ヘッドを正しく位置づけることができないために、ライト・リードエラーとなり、大きな障害の原因となりかねない。そうしたトラブルを防止するため、高剛性リールやテープエッジへのダメージ対策が取り入れられ、薄手化したテープの保存時のエッジ変形を抑制し、信頼性向上と走行時の安定性を可能としている。