高密度記録のための磁気テープ走行技術の研究*

荻路憲治** 長井究一郎** 土屋奈緒子** 藤森晋也** 川瀬英幸***

Study on the Precision Guide Technology of Magnetic Tape
for High Density Recording

Kenji Ogiro, Kyuichiro Nagai, Naoko Tsuchiya, Shinya Fujimori and Hideyuki Kawase

This paper describes a method which uses a tape-guide technology simulated with FEM for stabilizing the running of ultra thin tape needed for high density recordings. The running errors of the ultra thin tape are caused by the rotating resistance of the drum. In order to solve this problem a new tape-guide technology has been developed which forces the tape to go along the lead of the drum by establishing an acute angle between the lead of the drum and the direction that the tape is going as it goes along the drum. The results from the simulation show that if the value of the angle is more than 0.03° it is possible to restrain the errors to less than $0.5\mu\text{m}$. An experiment, using real materials and conducted to test the result of the simulation-analysis, shows a number of less than $5\mu\text{m}$ of track-straightness errors and the tape-running is very stable. This method enables the usage of thinner tape. The thinness of the tape contributes to the VTR's long-recording capability and compactness.

Key words: VTR, high density recording, FEM, tape-guide technology, track-straightness errors, magnetic tape

1. 緒 言

磁気テープ記録装置は、大きな記録容量を持つことから現代の映像、情報社会に種々の形でかかわっており、この装置の高密度記録化がますます期待されている。

従来、記録密度の向上に関する研究は、短波長記録のためのヘッドとテープの接触問題に関したものがほとんどであった。しかし、記録密度の向上には、テープ厚さの薄手化や、信号トラック幅の狭細化も大きく関与することから、最近、これらを推進するための高精度なテープの走行位置決め技術の研究がテープおよびメカニズムの両観点で活発に行われている。

本研究では、テープの走行走査時の変形状態をシミュレーション解析と実験によって検討を行い、高精度なトラックトレースを行うためのテープの走行ガイド技術を見い出したので報告する。

2. テープ走行位置決め精度

テープの走行位置決め技術は、薄手化されていくテープをどこまで安定に走行できるか、また、そのテープ上でいかに直線状に近いヘッド走査を行えるかである。ヘッド走査の直線性（トラックリニアリティ）が向上できれば信号トラックピッチ（トラックピッチ）を狭められ、記録密度が高められる。

現在VTRで使用されている最小の信号記録トラックピッチは $10\mu\text{m}$ であるが、さらにトラックピッチは狭細化の傾向にある。トラックピッチの狭細化は、テープの走行ガイド部品の加工精度の向上と、テープ走行位置決め技術の開発により図られてきた。

現在のミニムービーにおいて要求されるトラックリニアリティの仕様とトラックリニアリティを阻害する各要因別に配分した要求仕様を表1に示す。トラックリニアリティの劣化（トラック曲がり）要因は、部品精度に関与するものが多く、これらの仕様は生産性を考慮した加工の観点からの適正値を配分した。そのため、テープ走行技術に対するトラック曲がりの割り振り仕様値は、限界に近い $0.5\mu\text{m}$ 以下を要求される。

* 原稿受付 平成3年6月10日

** 正会員 (株)日立製作所映像メディア研究所
(横浜市戸塚区吉田町292)

*** (株)日立製作所

Table 1 Factors of track straightness errors

Factors	Allowance
Tape-running stability	
Scanning speed	0.3 μm
Tape speed	1 μm
Tape tension	0.7 μm
Tape width	4 μm
Guiding parts' precision	2 μm
Tape-guide accuracy	0.5 μm
Drum assembly precision	
Lead straightness	2 μm
Shaft perpendicularity	2 μm
Disk level	2 μm
Drum circumference	2 μm
Drum center	2 μm
Total	6.5 μm

3. テープ走行位置決め原理

図1は従来のVTRにおけるテープの走行ガイド方法を平面に展開して示している。テープはドラムに螺旋に設けられたテープ案内のための棚（リード）に沿って装架され、テープ幅方向の上下エッジをドラムの前後に設置された複数のガイドの上下のフランジによって交互にガイドされて走行し、テープの下端から上端に向かって斜めに回転ヘッドにより走査される。ここで、各ガイドは、テープの静的な装架状態でテープにねじれや曲げを発生させないように幾何学的な平衡状態に設定してある。

このテープの走行走査時のテープの状態について図2によって説明する。ドラムは静止した下部分とヘッドを搭載して回転する上部分で構成される。テープは上ドラムの回転による斜め方向にスキューする力（かき上げ力） F_1 と、下ドラムにおけるしゅう動摩擦力 F_2 の作用により、テープの面内でリード出口端 P_0 を支点として時計方向の回転モーメントを受ける。よって、走行時のテープは、リード出口端を境にドラム進入側では上方に、ドラム退出側では下方に変位する力を受けて、ガイドローラのフランジによって位置規制されることにより面内の弾性曲げ変形を生じる。ドラムの進入側でのテープはこの変形によってリード面より離れ、進入側ガイドローラの上フランジのドラム寄りの端部に局部的に当接する。一方、ドラム退出側でのテープは、退出側ガイドローラの上フランジとの当接状態を離れ、高さ規制ガイドの下フランジのドラム寄りの端部のみに当接した規制状態となる。

このテープの弾性曲げ変形の量は、テープの剛性に

Fig. 1 Tape guiding method of VTR

Fig. 2 Tape running condition near by drum

よって異なる。ヘリカルスキュー方式のVTRのテープ走行は、テープのガイド位置を静的な幾何学平衡状態に設定しただけのガイド方法では、薄手テープになる程ヘッド走査による変形が大きくなり、トラックリニアリティが劣化する。10 μm 近傍の非常に薄いテープにおいて高精度のトラックリニアリティを要求する高密度記録化は、走行時におけるテープの変形を何らかの走行技術で抑制する工夫を必要とする。

4. テープガイド方法

薄手テープにおける高精度トラックトレースを実現するためのテープガイド方法について検討した。従来の厚手テープは走行時の外力により面内の曲げ変形を引き起こしてテープガイドのフランジに当接しながらも、面外への大きな変形を起こすことなくテープ走行位置を規制されている。これは走行時のテープの状態がテープテンションを付与され、ガイド部材によって厚さ方向に支えられているうえに、テープの幅が厚さの10³倍に近い数値であり、テープ幅方向への曲げのはりとして考えると、次式で表されるように大きな

(a) Design method

(b) Tape guiding method

Fig. 3 New tape-guide thechnology

剛性Dを持つことによる。

$$D = \frac{1}{12} E t w^3 \quad (1)$$

ここに、E：テープの縦弾性係数、t：テープの厚さ、w：テープの幅である。

そこで著者らは、この剛性を利用して図3に示すような高精度のテープの走行方法（クロスリード走行ガイド方法）を見出した。図3の（a）は設計手法について進入側を例にとって説明したものであり、図3の（b）はテープをリード面に沿って走行させるためのガイド方法を示したものである。従来、テープのドラムへの進入・退出方向は幾何学的な平衡状態でリード面に沿った延長線上に設定していた。本方式では（a）の設計手法に示すようにテープのドラムへの進入方向とリード面に沿った線上の間に所定の角度（リードクロス角 η_i ）を持つようにドラム最近傍の傾斜ガイドを設定する。設計上のテープは（b）に示すようにリード面に沿うことなくドラムに導き、ドラム中央部のリード面との接触点で集中荷重をかけて曲げ変形させる。このテープをドラムのリード面の全長にわ

たって沿わせるためにガイドローラのフランジを下降していく。テープはリード面との接触点を次第にドラムの入口端の方向に移動する。この接触点がドラムの入口端に達するまでガイドローラのフランジ位置を下降させていき、テープの曲げ変形のたわみ状態がドラムのリード面の入口端から出口端まで沿うようにする。

基本的には、走行走査時のテープのリード面からの離れを抑制するためには、テープの曲げ弾性変形による変形たわみ角に相当するリードクロス角をテープの走行走査にあたってあらかじめ設定しておけば良いと考えられる。このたわみ角に相当するリードクロス角 η_i は次式で表される。

$$\eta_i = \frac{P(1-a)^2}{2EI} \quad (2)$$

ここに、P：走行走査時の曲げ変形におよぼす力、I：断面二次モーメント、l：ガイドからドラム中央までのスパン、a：ガイドからドラム入口までのスパンである。

しかし、実際のテープ走行において安定な走行位置決めを確保するには、式（2）で示されるテープの走行走査によるたわみ角よりも大きいリードクロス角を設ける必要がある。

クロスリード走行ガイド方法はこのリードクロス角を設けることにより、テープを走行走査による変形状態の位置より上方からドラムに進入させ、かつ、テープをリード端において押圧することによりテープに加わる曲げ荷重（リード面への押圧力）を増加し、テープをリード面に安定に沿わせてトラッキリニアリティを高精度に確保する高密度記録のためのテープガイド方法である。

5. 解析モデル

テープ走行位置決めに関するシミュレーションの解析モデルを図4に示す。（a）は従来のテープの走行ガイド方法の解析モデルである。（b）は今回開発したクロスリード走行ガイド方法の解析モデルである。

モデルは共に供給リール出口からキャプスタン入口に至るテープ走行系を平面に展開している。テープは二次元モデルとした。テープテンションT1は、テープ長手方向に働く形としてキャプスタン端の節点に付加する。テープが上ドラムに巻き付いている部分で生じるテープを斜め上方にかき上げる力F1、テープが下ドラムに巻き付き接触している部分で生じるしゅう動摩擦力F2を各節点に分解付加する。従来方法のテープ走行位置は、ドラムのリード面に沿接して設定し、

(a) static design method, (b) newly designed method

Analytic condition : Node 9(width)x95(length)
 Specification : Lead Young's modulus 66,640N/mm²
 Flange Young's modulus 205,000N/mm²
 Tape Young's modulus 900N/mm²
 Tape coefficient of friction 0.18
 Tape tension 0.78N

Fig. 4 Analytic model

ドラム進入側のインピーダンスローラの下フランジ、ガイドローラの上フランジ、ドラムからの退出側のガイドローラの上フランジ、および高さ規制ガイドの下フランジを交互にテープ端と接触するように設定する。クロスリード走行ガイド方法のテープ走行位置はドラムのリード面に沿接したテープをドラムのリード進入端においてリードクロス角 η_i をテープ下端を中心に時計方向に回転させて設定し、この新たに設定された進入走行位置のテープ上下端にガイドローラの上フランジ、インピーダンスローラの下フランジ、供給リールを交互に接するように設定する。

ここで、解析条件について説明する。薄手テープの走行性能の問題は、走行走査におけるテープの面内の弾性曲げ変形によるトラックリニアリティの劣化であることから、ドラム部において作用する外力に関して解析を行い、ドラム以外のガイド外周面におけるしゅう動摩擦は無視して考える。また、テープ面内の変形の解析のため、ドラムにおけるテープへの面圧分布は考えない。さらに、ガイド精度も狂いが無いものとする。リードクロス角の設定は解析を容易にし、かつ、このガイド手法の効果を明確に確認するためにテープのドラムへの進入側だけとした。リードクロス角を不必要に大きくし過ぎると、テープを幅方向に曲げるとき、厚さ方向の曲げ剛性が小さいために、テープは厚さ方向に倒れ変形を生じる。よって、解析にはテープに横倒れ変形が生じないようなリードクロス角として 0.1° を設定した。

Fig. 5 Result of simulation analysis about the tape transformation in static design method

Fig. 6 Result of simulation analysis about the tape transformation in newly designed method (at lead-crossing angle: 0.1°)

6. 解析結果

ドラム部でのテープの走行走査によるテープの変形シミュレーション解析の結果を図5および図6に示す。

図5は、従来のテープ走行ガイド方法の解析結果である。テープは、走行走査による曲げモーメントによってドラムの退出側でリード面に沿っているが、進入側でリード面から離れている。しかし、リード面から離れるテープはドラム進入側のガイドローラのフランジで規制されることから、リード面から離れる量が最大となる点はドラムの入口側寄りの中央部であり、その離れ量は $5.4 \mu\text{m}$ である。この変形がトラック曲がりとしてそのまま現れ、表1の許容量 $0.5 \mu\text{m}$ を大きく逸脱している。

図6は、クロスリード走行ガイド方法の解析結果である。リード端でリードクロス角を設定した解析において、テープとリード面の最大の離れ量はドラム進入部で $14.1 \mu\text{m}$ である。これはテープが曲げ曲率を

Fig. 7 Result of analysis between lead-crossing angle and height of roller-guide for accuracy tape running

Fig. 8 Minimum tape rising to each lead-crossing angle

Fig. 9 State of stress distribution in a tape by simulation analysis

持つためであり、このリード面からの離れを低減するためにガイドローラの高さを下げていくと、逆に、テープはドラム中央部でリード面から離れていく。ドラム中央部の離れ量とドラム進入部の離れ量がガイドの高さ位置によって交錯して現れる。テープのリード面からの離れ量が最小となる条件を求めていくと、その値を $0.2 \mu\text{m}$ とするポイントがある。

図7は、リードクロス角が 0° から 0.1° の間において、シミュレーション解析によりテープの離れ量が目標の $0.5 \mu\text{m}$ 以下を得ることのできる走行規制状態のガイドローラ高さ位置を算出した結果を示す。リードクロス角が大きくなるほど、リード面に沿った走行をするためのガイドローラの高さ位置は上方にあり、その範囲は拡大する。これは、リード面から離れるテープの走行位置（たわみ角）がフランジでの規制のないフリー状態で約 0.1° であり、リードクロス角が大きいほどテープの進入方向を上方に確保できるとともに、テープリード面の押圧力を大きく得ることができるためである。

図8は各クロスリード角においてリード面からの離れ量が最小になるようにガイドローラの高さ位置を最適条件に設定して得られる最小離れ量をプロットしたものである。 0.03° を変曲点にして大きく変化する。目標のトラック曲がり $0.5 \mu\text{m}$ を確保するにはリードクロス角 0.03° 以上付与すれば良いことがわかる。

図9は各テープ走行ガイド方法におけるシミュレーション解析によるテープの変形および応力分布状態を示す。図中の色の濃淡が、応力分布状態の変化を示し、

幾何学的な平衡状態では、テープの走行走査による弾性曲げ変形に伴いドラム周面对向部のテープ面で大きな応力分布を示し、また、リード面からの離れによりガイド端部での局所的な当接による応力集中を受ける。リードクロス角を付与した状態では、走行ガイド設定時に与える幅方向の曲げ変形のためにリード端部やガイド部で応力集中をみるが、ドラム周面对向部でのテープ面の応力分布はほとんど均一化されている。

7. 実験結果及び考察

図10は従来のテープ走行ガイド方法において $10 \mu\text{m}$ 厚テープを走行させて記録した信号トラックの軌跡と、クロスリード走行ガイド方法による同一テープの走行時の信号記録トラックの軌跡を測定したものである。従来の走行ガイド方法ではドラム入側部から中央部にかけてトラックリニアリティが劣化しており、解析と同現象が確認できる。クロスリード走行ガイド方法ではトラック曲がり $3 \mu\text{m}$ まで抑制されており、薄手テープでありながら高精度のトラッキングが得られていることを確認できる。

ここでクロスリード走行ガイド方法におけるリードクロス角は、走行走査によるテープの弾性曲げ変形を制圧するに足りるだけの必要最小限を得れば良い。過度のリードクロス角の付与は図11に示すようなテープの厚さ方向への倒れ変形を起こす。これはテープの厚さ方向の曲げ剛性が小さいための厚さ方向の座屈現象であり、臨界座屈荷重 F_c は次式で表される。

$$F_c = \kappa \frac{E w t^3}{l^2 \sqrt{1 + \nu}} \quad (3)$$

Fig. 10 State of tape running stability

Fig. 11 Buckling of tape at the tape bending

ここに、 l : テープのスパン、 ν : テープのポアソン比 (0.3)、 κ : 定数である。

すなわち、クロスリード走行ガイド方法におけるリードクロス角の設定は、リード端におけるテープにかかる荷重が式 (3) の臨界座屈荷重 F_c 以下となる範囲で行う必要がある。

図 12 はクロスリード走行ガイド方法におけるテープの走行状態を確認したものである。ドラムの近傍のガイドローラと傾斜ガイドとの間の走行中のテープの表面に格子状のパターンを反射させてテープ走行時のひずみ状態を写真撮影した。(a) の場合のリードクロス角を 0.1° 以下に設定した走行条件では、リードクロス角によるテープ幅方向の曲げ変形だけでテープの横倒れを生じることなく走行しており、格子パターンがほとんどひずんでいない。(b) の場合のリードクロス角を大きくし過ぎた走行条件では、テープの剛性の耐力を越えテープの横倒れが発生して、テープのたるみにより格子状のパターンがテープ上端部でひずんでいる。

8. 結 言

小形 VTR システムや長時間記録化等の高密度記録

Fig. 12 Result of observation about the state of tape-running

の開発において重要な課題である薄手テープの安定・円滑走行について、実験とシミュレーション解析により検討を行い、以下の結論を得た。

- (1) 幾何学的な平衡状態に設定されただけの走行ガイド方法におけるテープは、下ドラムでのしゅう動摩擦抵抗と上ドラムの回転走査の力によりテープに弾性曲げ変形を生じ、ドラム進入側でリード面から離れる。
- (2) ドラムへのテープの進入方向とリード面の間にリードクロス角を設定し、リード端においてテープの幅方向の弾性曲げ変形を与えることにより、テープをリード面に沿わせるクロスリード走行ガイド方法を開発した。
- (3) シミュレーション解析結果よりリードクロス角 0.03° 以上においてトラックリニアリティを大幅に向上できることがわかった。
- (4) クロスリード走行ガイド方法による実験において薄手テープの走行の安定化を確認できた。

参 考 文 献

- 1) 土屋奈緒子, 荻路憲治, 長井究一郎, 藤森晋也, 清水広和: VTRメカニズムのテープの走行ガイド方法に関するシミュレーション検討, 1991年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1991) 895.
- 2) 長井究一郎, 荻路憲治, 賀来信行, 深川芳弘: VTRにおける磁気テープ安定ガイディングの研究, 昭和61年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1986) 459.
- 3) K. Ogiro, N. Kaku, K. Masuda & K. Nagai: A Precision Mechanism for High Density Magnetic Recording of 8mm VCR, 1986 IEEE, (1986) 379.
- 4) K. Ogiro, K. Masuda, K. Fuse, H. Nakagaki, M. Ueda & H. Ichikawa: A High-Functional Compact and Light Weight Mechanism for R-DAT, 1988 IEEE, (1988) 873.