有限要素法を用いた磁気ヘッド形状効果のシミュレーション

Simulation of the Contour Effect on a Magnetic Head Using the Finite Element Method

菊池良巳・八幡亮一・有賀英吉・藤田雄二・森迫昭光*・松本光功*

(株)三協精機製作所開発技術部, 諏訪郡下諏訪町 5329 (☎393)

信州大学工学部情報工学科, 長野市若里 500 (☎380)

Y. Kikuchi, R. Yahata, F. Aruga, Y. Fujita, A. Morisako,* and M. Matsumoto*

Development and Engineering Dept., Sankyo Seiki Mfg. Co., Ltd., 5329 Shimosuwa-machi, Suwa-gun 393

*Dept. of Information Engineering, Shinshu University, 500 Wakasato, Nagano 380

The contour effect of a magnetic head was analyzed by the finite element method, and a new type of head with a reduced contour effect was fabricated on the basis of the simulation described in this paper. Few studies of the contour effect of a magnetic head have used the finite element method. The core shape and the position of the shielding case were simulated to improve the contour effect. The following results were obtained: (1) the level in the contour effect depends mainly on both the position and size of the shielding case; (2) the phase in the contour effect depends on the core shape; and (3) a new head was fabricated with a contour effect of less than 5 dB in the frequency range from 20 Hz to 50 Hz.

Key words: magnetic analysis, magnetic head, audio head, contour effect, finite element method, simulation

1. はじめに

オーディオ用磁気ヘッド(以下磁気ヘッド)には再生出力レベルの向上とともに形状効果(以下コンタ特性)の改善が求められている。磁気ヘッドのコンタ特性について Fritzsch により単純形状の解析的報告¹⁾があるが、有限要素法(以下 FEM)などによる実際形状のコンタ特性を解析した報告はない。一般に、コンタ特性はヘッドコア(以下コア)の形状のみに依存するとして取り扱われてきた²⁾が、シールドケース(以下ケース)を含めてコンタ特性を広義に解釈することを試みた。筆者らは微妙な曲線形状のコアとケースから構成される磁気ヘッドのコンタ効果を FEM を用いて解析し、その結果をもとに磁気ヘッドを製作し良好な結果を得た。

本論文では、ケースを含めた解析モデルの妥当性について検証し、コンタ特性を改善する条件を見いだす過程について記述した。

目標とするコンタ特性の検討項目を以下に示す。

- 1) 再生出力 20 Hz 近傍の出力谷部のボトムアップ
- 2) 再生出力 50 Hz 出力レベルの現状維持
- 3) 高周波数域における出力レベルうねりの抑止

2. コンタ特性の原理

磁気ヘッドの構造とコンタ特性の原理図を Fig. 1 に示した。

Fig. 1 Structure of the magnetic head and principle of the contour effect in the long wavelength.

Fig. 2 Reproducing wavelength response of a magnetic head.

磁気ヘッドの再生出力は周波数に比例して増加するが、この関係はテープ上の記録信号波長が短い場合に成り立ち、低周波数域すなわち波長がケース寸法に近づき長くなると、ギャップ近傍以外のテープ磁化より発生した磁束が、再生テープより発生した磁束を増減させることにより成り立たない。すなわち、Fig. 2 に示すように、再生出力にうねりを生じ、うねりはヘッド形状によって変化する。コンタ特性は再生出力にいくつかの山谷をつくることから、通常は再生増幅器で補償することはせず、磁気ヘッドのコア形状などを変化させることによりコンタ特性を改善している。コンタ特性はヘッドの円筒研磨 R 形状、

ケース窓形状、コア形状などに依存することは既知³⁾であるが、これらが複雑に交絡しているため明らかな部分が多い。

3. 有限要素法によるコンタ特性の検証

コンタ特性を解析するために三次元の有限要素法解析ソフトウェア（新日鐵(株)製；Fledy）を用いた。これは $A-\phi$ 法を用い Maxwell の方程式を解くもので、解析形状、材料物性そして計算制御データから磁気ポテンシャル A, ϕ を計算するものである。ただし、Fig. 3(a) に示すように、計算機容量の限界から解析モデルは L -チャンネルとケース半分を採用した。また、コア肩部の切り取り角度を Fig. 3(b) に定義した。計算条件を Table 1 に示した。正弦波状に記録された磁化より発生する磁束を ϕ とすると、テープ速度 $v=47.6$ mm/s での再生出力 e は (1) 式のようになる。

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -2\pi f\phi_0 \cos(2\pi ft) \quad (1)$$

ただし、 ϕ_0 ：定数

ここで、再生出力の磁束 ϕ がコア磁路中で最大になるように設定する。すなわち、磁気ヘッドのフロントギャップ上にテープ磁化の中心を配置する。リアギャップ部の磁束をシミュレ

(a) Analytical FEM model of a magnetic head

(b) Definition of a head core with cutting angle

Fig. 3 Analytical model and definition of a core shape.

Table 1 Principal specifications of the parameters for analysis

Item	Value
Length of gap	1.5 μm
Depth of gap	0.2 mm
Width of track	0.6 mm
Permeability of head core	10000
Permeability of shielding case	5000
Br of tape	0.2 T
Number of elements	22000

Fig. 4 Reproducing wavelength response of a magnetic head for a core with a case and a core without a case.

ーションし、再生出力を算出した。また、本来、記録と再生をシミュレーションするにはコアの磁気飽和を扱うため非線形計算をする必要があるが、ここでの再生計算はコア中の磁束が飽和しないため線形とし、コアとケースの透磁率は実測値を用いた。

コンタ特性の解析が可能なことを検証するために、以下の手順で確認を行った。

- 1) 磁気ヘッドのフロントギャップ上に単一磁化を配置し、周波数 f を変化させたとき、リアギャップ部の磁束が変化しないことを確認
- 2) 磁気ヘッドのシミュレーション結果と実測値を比較

その結果、1) において、リアギャップ部の磁束が周波数 f の変化に対し変動が 0.3 dB 以下になったことより、コンタ特性がシミュレーション可能であることが検証できた。これにより、磁化全体を設定したときのうねりの形態を評価することが可能になった。2) において、計算値と実測値について再生出力の山谷の傾向および周波数の位相が一致することから、コンタ特性解析が可能であることがわかった。

Fig. 4 にケースの有無におけるコンタ特性について示した。コアのみのときはうねりが小さく、コンタ特性が顕著でなく、ケースをつけることによりコンタ特性が悪化する。このことから、ケースとコアの関係がコンタ特性に影響を与えていることがわかった。磁気ヘッドのケースが共通のときにコア形状のみの違いでコンタ特性に差が現れることから、ケースとコアの位置関係ならびにコア形状に着目し、コンタ特性を改善することにした。

4. コンタ特性のシミュレーション

4.1 ケースのコンタ特性への影響

- 1) ケース窓枠とコアのトラック幅方向の距離

Fig. 5 に磁気ヘッド正面から見たケースの各因子を示した。また、Fig. 6 にケース窓枠とコアのトラック幅方向の距離 l_1 を変えたときのコンタ特性を示した。現状の距離 $l_1=75 \mu\text{m}$ の特

Fig. 5 Parameters l_t , l_m , and l_w of the head.

Fig. 6 Reproducing wavelength response of a magnetic head with various lengths l_t between the case edge and the core in the direction of track width.

Fig. 7 Reproducing wavelength response of a magnetic head with various heights l_s between the case and the core.

性に比べ、 $l_t=10\mu\text{m}$ のときは同等の特性、 $l_t=300\mu\text{m}$ のときはうねりが増す傾向があり、現状の設定値が最適であることがわかった。これはテープ磁化からの磁束が $l_t=75\mu\text{m}$ 以上になるとコアに入らずケースに流入するためと考えられる。

2) ケース窓とコアのトラック方向の距離

現状のケースとコアのトラック方向距離 $l_m=580\mu\text{m}$ でのコンタ特性に対し、距離 l_m を $130\mu\text{m}$ 増すと 1.0 dB の改善が可

能となった。距離 l_m はケース窓端とコア端が疑似ギャップとなり狭いほど磁束を拾いやすいことが考えられ、コンタ特性を悪化することになる。この傾向は実測値と一致した。

3) ケース外形寸法の影響

ヘッド外枠寸法 5.2mm を $l_w=250\mu\text{m}$ 増すと周波数 $f=20\text{Hz}$ の再生出力が約 1 dB 向上することがわかった。これは外形寸法が増すとリアギャップとの距離が増しケース中の磁束がリアギャップに到達しないためと思われる。

4) ケースとコアの距離

Fig. 3(b) に示すように、コアがケースから突き出た距離 l_s を変化させたときの計算結果を Fig. 7 に示した。現状のケース位置の距離 $l_s=700\mu\text{m}$ のときはうねりが大きい。これは円筒研磨面にケースのパーマロイ層が露出し磁束が影響することが考えられる。逆に $l_s=650\mu\text{m}$ のときは約 1.5 dB 改善され、 $l_s=600\mu\text{m}$ のときは約 2.2 dB 改善される。ケースとコアの距離 l_s を減少するとコンタ特性は改善される傾向があるが、外形が大きくなることから得策でない。

以上の 1)~4) の検討結果から、ケースの各寸法を変化させることによりコンタ特性の改善は可能であるが、うねりの位相はほとんど変化しないことがわかった。そして、2) と 4) の形状を組み合わせることにより、周波数 $f=20\text{Hz}$ の出力の谷を約 3 dB 改善することがわかった。ここでは、本来同時に検討すべきケース誘導ノイズは考慮していないので、コンタ特性を改善する可能性はあるが、誘導ノイズ特性を悪化させる傾向にあるため、実施するにはさらに検討が必要である。以下、コア形状のみを変化させることによりコンタ特性を改善する方法を検討した。

4.2 コア形状によるコンタ特性への影響

コア肩部の切り取り角度 $\theta_1=\theta_2$ を 20° から 35° まで変化させたときのコンタ特性を Fig. 8 に示した。この計算のねらいは、ケースとコアの距離を増して不用な磁束を誘導しないようにするためである。それぞれの角度において、コンタ特性はうねりの極小値、極大値と位相がそれぞれ異なっており、コンタ特性改善できる角度がないことがわかる。しかし、角度を $\theta_1=$

Fig. 8 Reproducing wavelength response of a magnetic head with varied shapes of core.

Fig. 9 Simulated and measured reproducing wavelength response of the new type of head.

Fig. 10 Comparison of the contour effect of (a) a conventional type of head and (b) a new improved type of head.

25° と $\theta_2=35^\circ$ を組み合わせ非対称に配置させると、位相差が 180° になり両者のコンタ特性を重畳する方法により、うねり振幅を減少させることができるということを考案した。また、周波数 $f=20$ Hz の出力のボトムについてもコンタ特性が改善される可能性もある。

以上のことを考慮してシミュレーションを行った結果、Fig. 9 に示すように、切り取り角度の異なるコアを非対称に配置すると、目標である周波数 $f=20$ Hz の出力のボトムアップ、 $f=50$ Hz の出力レベル維持までの帯域で、うねりの微小なコンタ特性を予測することができた。

4.3 新磁気ヘッドのコンタ特性

シミュレーションして得られた非対称なコアを用いて、新磁気ヘッドを製作した。従来の磁気ヘッドと新磁気ヘッドのコンタ特性を比較し Fig. 10 に示した。モデル要素数の限界からシミュレーションで確かめることができなかった $f=1$ kHz までの再生出力もうねりが減少する結果が得られた。また、再生出力の周波数 $f=20$ Hz 以上の範囲で 5 dB 以下のコンタ特性を実現できた。

5. ま と め

これまで、磁気ヘッドのコンタ特性について改善を行う有効な手段がなかったが、本研究で示したように、FEM を用いることにより設計段階でコンタ特性をシミュレーションすることが可能となった。

以下に本論文で明らかになった事項をまとめた。

- 1) コンタ特性のうねりのレベルはおもにケース形状に依存する。
- 2) コンタ特性のうねりの位相はコア形状に依存する。
- 3) シミュレーションによりケース形状とコア形状の最適化を図り、試作により周波数 $f=20$ Hz 以上の範囲で 5 dB 以下のコンタ特性を実現した。
- 4) コンタ特性のシミュレーションに FEM が有効であることがわかった。

文 献

- 1) K. Fritzsh: *IEEE, AU-16*, No. 4 (1968).
- 2) 松本光功: 磁気記録, pp. 122-123 (共立出版, 東京, 1977).
- 3) 森園正彦: ハイファイテープレコーダ, pp. 101-104 (ラジオ技術社, 1969).

1995 年 10 月 17 日受理, 1996 年 1 月 12 日採録