

録音用磁気ヘッドの記録・再生効率

宮 嵩 敬**

1. ま え が き

従来、録音用磁気ヘッドは、計算機用あるいはVTR用に比べると技術的評価はかなり低い状態にあったが、近年、録音用にも記録媒体や磁気ヘッドと共に材質ならびに製造技術上高度な特性と品質が要求されるようになってきた。このような技術革新の途上にある機器に対しては、その基本的な動作特性を明確に理解することが重要である。磁気ヘッド全般の磁気回路の解析としては、多チャンネルヘッド間のクロストークの計算^{(1),(2)}、さらに薄膜ヘッドの記録および再生効率の計算^{(3),(4)}、あるいは数値解析による磁界分布の計算⁽⁵⁾等がある。このように、磁気ヘッドならびにその近傍の磁束密度または磁化が次第に詳細に計算されるようになったが、その反面、通常の磁気ヘッドの記録および再生効率の具体的な値やこれを向上させるための設計基準が明確になっているとは言い難い。

本報では、セミバランス巻の典型的な音声用ヘッドを用いて、初めに磁気抵抗または漏れパーミアンスの一般的な計算式を導き、ヘッド空隙長、空隙深さ及びコアの透磁率と記録および再生効率の関係を求めたので、ここに報告する。

2. 磁気抵抗と漏れパーミアンス

媒体の透磁率を μ 、磁路長を L 、磁束断面積 S 、磁路の体積を V とすると、磁気抵抗 R_m 、漏れパーミアンス P は次式で表わされる。

$$R_m = \frac{L}{\mu S} = \frac{L^2}{\mu V}, \quad P = \frac{1}{R_m} \quad (1)$$

表1に磁気ヘッドの磁気抵抗を計算するのに必要な磁路形状とその漏れパーミアンスをまとめて示す。

I, IIは磁路が直線の場合、III, IVは磁路が円弧状の場合で比較的容易に計算できる。

Vは半円柱の断面の一端の稜より他端の稜へ磁束が入出する場合である。平均磁路長は、 $\overline{AM} = \overline{BM}$ が成立する曲線の長さ、すなわち、楕円の半円周の長さとして仮定する。磁路の平均断面積は半円柱の体積を平均磁路長で割ると求めることができる。VIは円錐台の半分で、その断面の両端の稜より磁束が入出する場合で、Vと同様の平均磁路長を考えると、Vと同一の結果が得られる。

VIIは4分球の1頂点から他の頂点へ磁束が通過する場合である。平均磁路長として、最短

* 昭年55年10月 電子通信学会信越支部大会において発表

** 電気工学科助手

原稿受付 昭和57年9月27日

距離 $2r$ と最長距離 πr の中間値 $2.57r$ を使用すると、次式が得られる。

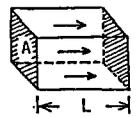
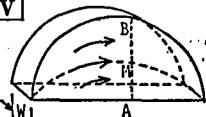
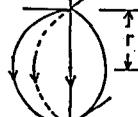
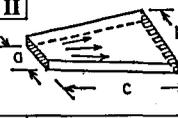
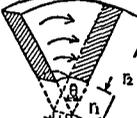
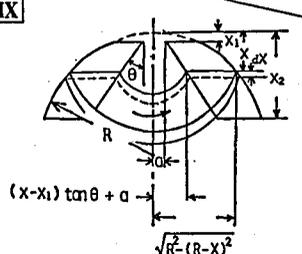
形状	漏れパーミアンス	形状	漏れパーミアンス	形状	漏れパーミアンス
	$\frac{\mu A}{L}$		$0.268\mu W$		$0.158\mu r$
	$\frac{\mu W(b-a)}{c \ln \frac{b}{a}}$		$0.268\mu W$		$\frac{2\mu(r^3 - a^3)}{3\pi(r^2 + a^2)}$
	$\frac{\mu W}{\theta} \ln \frac{r_2}{r_1}$				
	$\frac{\mu W}{\pi} \ln \frac{r}{a}$				
					$P = \frac{\mu_0}{\pi} \left[x_2 \ln \sqrt{R^2 - (R - x_2)^2} + R \ln (2R - x_2) - \frac{(x_2 - x_1) \tan \theta + a}{\tan \theta} \cdot \ln ((x_2 - x_1) \tan \theta + a) - x_1 \ln \sqrt{R^2 - (R - x_1)^2} - R \ln (2R - x_1) + \frac{a \ln a}{\tan \theta} \right]$

表1 基本的形状の漏れパーミアンス

$$R_m = \frac{(2.57r)^2}{\mu_0(4\pi r^3/3)(1/4)} = \frac{6.31}{\mu_0 r} \quad (2)$$

VIIは内部がくり抜かれた4分球の中心線上の稜から他の稜へ磁束が通過する場合である。磁路は半円周状とする。いま内側と外側の磁路断面積が等しくなるように円周面で2分割し、この半円周の長さ $\pi\sqrt{r^2+a^2}/\sqrt{2}$ を平均磁路長とする。 $V = \pi(r^3 - a^3)/3$ であるから、次式が得られる。

$$R_m = \frac{3\pi(r^2+a^2)}{2\mu_0(r^3-a^3)} \quad (3)$$

IXは円弧（曲率半径 R ）と直線で構成された2枚の磁性体板を半径 R の円周上に対向させて配置した場合で、磁束は磁性体に垂直に入出し、円周路を通過するものとする。IVを用いると、次式から計算できる。

$$P = \frac{r_0}{\pi} \int_{x_1}^{x_2} \ln \frac{\sqrt{R^2 - (R-x)^2}}{(x-x_1)\tan \theta + a} dx \quad (4)$$

結果は表1に示す。

3. 記録効率と再生効率の計算方法

図1のセミバランス巻の記録ヘッドの記録効率をコアの透磁率一定、つまりコアが未飽和

でコア損失が無いと仮定して計算した。図1の記録ヘッドを(A), (B), (C)の3部分に分割して磁気抵抗および漏れパーミアンスの計算を行った。この等価磁気回路を求めると図2のように表わされる。

コア(A)部分の漏れパーミアンスを空隙表面, 空隙中, 空隙奥の部分に分け, それぞれ P_A , P_B , P_C で表わす。空隙表面のトラック幅内の磁束を有効磁束とし, これに対する漏れパーミアンスを P_S で表わす。 $P_A' = P_A - P_S$ とおく。図3に示す磁気ヘッドの形状を表わす記号を使うと, 図1のコア(A)部分の漏れパーミアンスは次式のようになる。

$$P_S = 0.268\mu_0 W + \frac{\mu_0 W}{\pi} \ln \frac{L_A}{g/2} \quad (5)$$

$$P_A' = 2 \left\{ 0.079g\mu_0 + \frac{2\mu_0}{3\pi} \cdot \frac{L_A^3 - (g/2)^3}{L_A^2 - (g/2)^2} \right\} \quad (6)$$

$$P_G = \frac{\mu_0 W(t_2 - t_1)}{g} + 0.563\mu_0(t_2 - t_1) + \frac{2\mu_0}{\pi} \left\{ t_2 \ln \sqrt{R^2 - (R - t_2)^2} - t_1 \ln \sqrt{R^2 - (R - t_1)^2} + R \ln \frac{2R - t_2}{2R - t_1} - (t_2 - t_1) \ln \frac{g}{2} \right\} \quad (7)$$

$$R_B = 0.268\mu_0(t_2 - t_1) + \frac{\mu_0 W}{\pi} \ln \frac{L_B}{g/2} + \frac{\mu_0 W \ln(L_1/L_B)}{2\theta} + 0.536\mu_0(L_1 - L_B) + \frac{2\mu_0}{\pi} \left[\frac{L_1}{\tan \theta} \ln \sqrt{R^2 - (R - L_1/\tan \theta)^2} + R \ln(2R - L_1/\tan \theta) - \frac{(L_1/\tan \theta - t_2)\tan \theta + g/2}{\tan \theta} \ln \left\{ (L_1/\tan \theta - t_2)\tan \theta + g/2 \right\} - t_2 \ln \sqrt{R^2 - (R - t_2)^2} - R \ln(2R - t_1) + \frac{(g/2)\ln(g/2)}{\tan \theta} \right] \quad (8)$$

(A)のコア内部の磁気抵抗を R_a とする。この部分の磁路の側面形状を図3中に破線で示すように台形で近似すると, 表1のIIを用いて次式を得る。

$$R_a = \frac{(L_1/\tan \theta - t_1) \ln \{(L_2 - L_1)/L_A - g/2\}}{\mu W(L_2 - L_1 - L_A + g/2)} \quad (9)$$

ここに, μ はコアの透磁率である。図2において, 空隙付近の合成磁気抵抗を R_g とし, R_g と R_a の合成磁気抵抗を R_q とする。すなわち, $R_g = 1/(P_S + P_A' + P_G + P_B)$, $R_q = 2R_a + R_g$ とする。

コア(C)部分の磁気抵抗 R_C , 漏れパーミアンスを P_C とする。同様に, 表1より次式が導かれる。

$$R_C = \frac{L_1 + L_2}{\mu W L_3} + \frac{b}{\mu_0 W L_3} \quad (10)$$

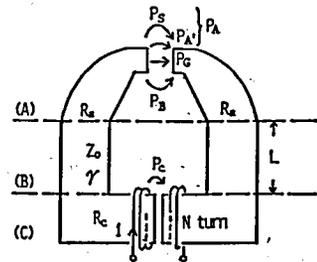


図1 磁気ヘッドコアの分割

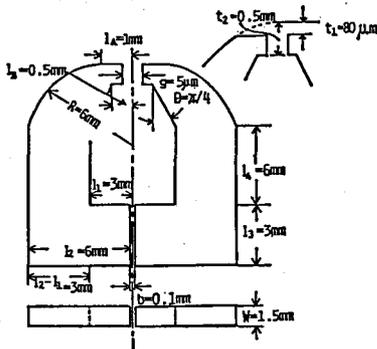


図2 記録ヘッドの等価磁気回路

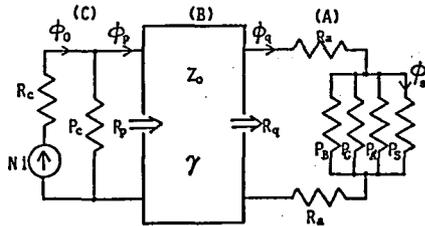


図3 計算に用いたヘッドの寸法

$$P_C = \frac{2\mu_0 W}{\pi} \ln \frac{L_1}{b/2} + \frac{4\mu_0}{3\pi} \cdot \frac{L_1^3 - (b/2)^3}{L_1^2 - (b/2)^2} + \frac{4\mu_0}{3\pi} \cdot \frac{L_2^3 - (b/2)^3}{L_2^2 - (b/2)^2} + \frac{2\mu_0 L_3}{\pi} \ln \frac{L_2}{b/2} \quad (11)$$

コアの磁気抵抗が無視できない場合は、蔽密には分布定数回路とみなして計算しなければならない。しかし、平行でない磁路間の磁束の流れを分布定数回路として解析的に解くことは難しい。ここでは、計算を簡単にするために(B)部分だけに適用した。コア(B)部分からコア(C)部分へ入出する磁束量を ϕ_P とする。コア(B)部分とコア(C)部分の境界面を基準にしたコア(B)部分の位置 x における磁位 Ω と磁束 ϕ は、次式で与えられる。

$$\Omega = Z_0 \cdot \frac{R_q \cos h\gamma(L-x) + Z_0 \sin h\gamma(L-x)}{R_q \sin h\gamma L + Z_0 \cos h\gamma L} \cdot \phi_P \quad (12)$$

$$\phi = \frac{R_q \sin h\gamma(L-x) + Z_0 \cos h\gamma(L-x)}{R_q \sin h\gamma L + Z_0 \cos h\gamma L} \cdot \phi_P \quad (13)$$

ここに、 Z_0 、 γ は電気回路においてそれぞれ特性インピーダンス、伝播定数とよばれる量で、単位長当りのコアの磁気抵抗および漏れパーミアンスをそれぞれ R_0 、 P_0 とすれば、

$Z_0 = \sqrt{R_0/P_0}$ 、 $\gamma = \sqrt{P_0 R_0}$ で与えられる。 R_0 、 P_0 は、図1の磁気ヘッドの場合には、次式のようになる。

$$R_0 = \frac{1}{\mu W(L_2 - L_1)} \quad (14)$$

$$P_0 = \frac{\mu_0 W}{2L_1} + \frac{2\mu_0 \ln(L_2/L_1)}{\pi} + 0.536\mu_0 \quad (15)$$

コア(B)と(C)部分の境界面からコア(A)部分をみた全磁気抵抗を R_P とすると、式(12)と(13)より次式で表わされる。

$$R_P = \frac{[\Omega]_{x=0}}{[\theta]_{x=0}} = \frac{R_q \cos h\gamma L + Z_0 \sin h\gamma L}{R_q \sin h\gamma L + Z_0 \cos h\gamma L} \quad (16)$$

以上の諸式を用いて、図2の等価回路より記録効率を求めると、次式で表わされる。

$$\frac{\phi_s}{\phi_0} = \frac{1}{1+P_C R_P} \cdot \frac{Z_0}{R_q \sin h\gamma L + Z_0 \cos h\gamma L} \cdot \frac{P_S}{P_B + P_G + P_{A'} + P_S} \quad (17)$$

次に図1に示す磁気ヘッドを再生ヘッドに用いる場合の等価磁気回路は図4のようになる。記録効率の場合と同様に、コア(B)部分を分布定数回路と考えると、磁気抵抗は次式で表わされる。

$$R_{P'} = \frac{R_q' \cos h\gamma L + Z_0 \sin h\gamma L}{R_q' \sin h\gamma L + Z_0 \cos h\gamma L} \cdot Z_0 \quad (18)$$

ここに、 $R_q' = R_C / (1 + P_C R_C)$ である。

記録媒体より再生ヘッドに流入する磁束を ϕ_0 とし、有効磁束を ϕ_e とすると、再生効率は次式から求められる。

$$\frac{\phi_e}{\phi_0} = \frac{R_{g'}}{R_{g'} + 2R_a + R_{P'}} \cdot \frac{1}{1 + P_C R_C} \times \frac{Z_0}{R_q' \sin h\gamma L + Z_0 \cos h\gamma L} \quad (19)$$

ここに、 $R_{g'}$ は空隙付近の合成磁気抵抗で、 $R_{g'} = 1 / (P_B + P_G + P_{A'})$ である。

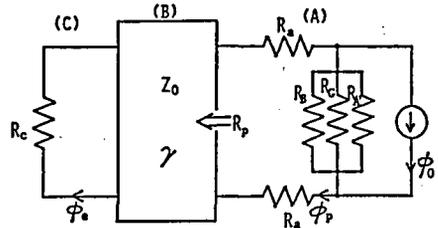


図4 再生ヘッドの等価磁気回路

4. 計算結果

記録効率の計算結果を表2および図5に示す。表2は、空隙深さ $t_2 + t_1 = 0.42\text{mm}$ 、コアの比透磁率 $\bar{\mu} = 10^4$ として、空隙長 $g = 1, 5, 20\mu\text{m}$ の場合の各部分の漏れパーミアンスを計算したものである。これより空隙中とコイル付近の漏れ磁束が多いことがわかる。このような漏れの大きい部分は、コアが飽和しやすいことを示している。 $L_4 P_0$ はコア(B)部分の両コア間の漏れパーミアンスであり、比較のために示した。又、空隙長 $g = 5\mu\text{m}$ のときのコア各部の磁束比は、 $\phi_p/\phi_0 = 0.786$ 、 $\phi_q/\phi_p = 0.970$ 、 $\phi_s/\phi_q = 0.024$ となる。従って、記録効率 $\phi_s/\phi_0 = 0.018$ となる。図4は、空隙長、空隙深さ及びコアの比透磁率と記録効率の関係の計算結果を示したものである。

表2 記録ヘッド各部の漏れパーミアンス

漏れパーミアンス	空隙長(μm)		
	1	5	20
P_A/μ_0	4.46	3.70	3.03
P_S/μ_0	632.40	127.97	33.10
P_G/μ_0	7.22	6.45	4.42
P_B/μ_0	36.99	36.99	36.99
$L_4 P_0/\mu_0$	7.36	7.36	7.36

なお、コア(B)部分の領域を集中定数として扱うと、上で得られた記録効率より3.7%増加した計算値が得られ、その差異は無視できる。しかし、 $\bar{\mu} = 10^3$ のときには、約12%の増加となり、差異は無視できなくなる。図4(a)に示されるように、記録効率を最大にする空隙長が存在する。空隙深さが0.42mm、コアの比透磁率が 10^4 の場合に、この値は

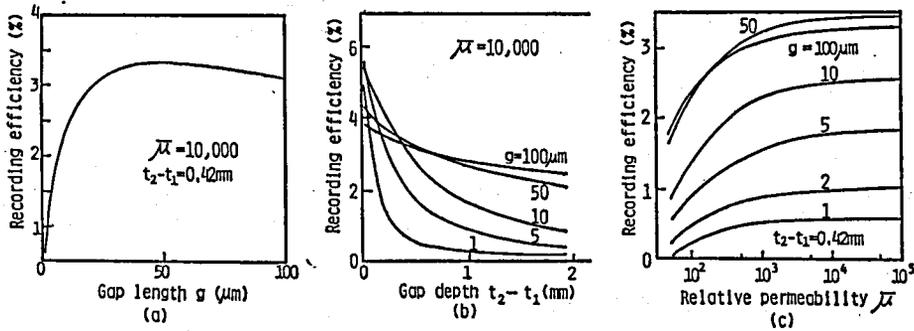


図5 記録ヘッドの空隙長, 空隙深さ及びコアの比透磁率と記録効率の関係

45 μm となり, 一般にかなり大きい値になる。同図(b)は, 空隙長を小さくするには, 相応に空隙深さを小さくする必要があることを示す。同図(c)において, 比透磁率の小さい領域と大きい領域を2本の直線で近似し, この交点の比透磁率を求めると, 約 10^3 となる。これは, 記録効率の上から必要とする最低の比透磁率とみなせる。

表3 再生ヘッドの最適空隙長 g と空隙深さ (t_2-t_1) の関係

$g(\mu\text{m})$	1	5	10	15
$t-t(\text{mm})$	0.2	0.5	1	2

また, 再生効率の計算結果を表3および図6に示す。図6は, 空隙長, 空隙深さ及びコアの比透磁率と再生効率の関係

を求めたものである。同図(a)は, $\mu=10^4$, $t_2-t_1=0.42\text{mm}$ の場合で, 再生効率は空隙長と共に増加する。この曲線を2直線で近似し, この交点を最適な空隙長と空隙深さとの組合せとみなす。この組合せ例を表3に示す。図6(c)の曲線を2本の直線で近似して交点を求めると, $g=5\mu\text{m}$ のとき $\mu=5\times 10^3$ となり $g=1\mu\text{m}$ のとき $\mu=2\times 10^4$ となる。すなわち, 記録ヘッドに比べると, 1桁大きい透磁率を有するコアが要求される。

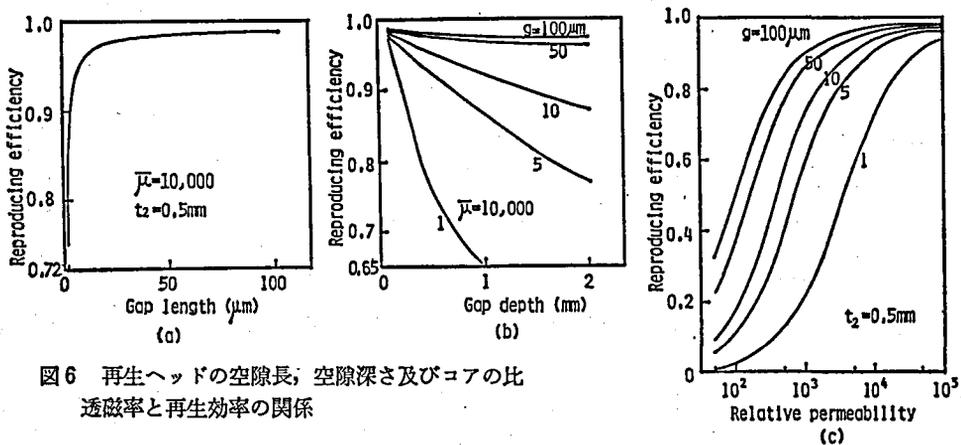


図6 再生ヘッドの空隙長, 空隙深さ及びコアの比透磁率と再生効率の関係

線形計算においては、相反定理が成立するから、同一状態の記録ヘッド系の ϕ_s/Ni (記録感度) と再生ヘッドの (有効磁束)/(起磁力) は同一となるが、磁束効率は上述のように異なったものとなる。

5. あ と が き

本研究は、セミバランス巻き磁気ヘッドの構造と透磁率の記録および再生効率への影響を知るため行った計算結果である。記録効率については、特性向上の点から空隙長は小さくする必要はあるが、同時に空隙深さをも相応に小さくすることが重要であることがわかる。また、磁気ヘッドとしては高透磁率の材質が要求されるわけであるが、比透磁率の影響をみると、空隙長に応じてそれぞれ飽和特性を示している。従って、直線近似により飽和値を求めると、この値以上においては、記録効率の向上が期待できなくなる。再生効率については、空隙深さに応じて空隙長が飽和特性を示すため最適な組み合わせを求めることが可能である。また、比透磁率については、記録効率と同様な近似を用いて適切な比透磁率の値を決定することが可能である。

参 考 文 献

- (1) 野村, 田中, 広田: 信学論(C), J56—C, 6, (昭和48—06), p.313~p.320
- (2) 武田丘: 昭和54年度信学全大(197—10), p.201
- (3) 三浦, 池田: 信学技報 MR75—31, (1976—3), p.11~p.17
- (4) 金井, 紙中, 能智, 野村: National Technical Report, Vol. 25, (1979—10), p.1006~p.1015
- (5) Brownlow, L. W. and King, C.C.: IEEE Trans. Magn. MAG—8, No. 3 (1972), p. 539~p.541