

空中送波用環状振動子(その1)

岡崎 英次, 本多 誠一

A Ring Vibrator for use in air (No. 1)

Eizi OKAZAKI Seiichi HONDA

Abstract: — It is in comparative simple to generate high intensity of ultrasonic sound levels under water. But the generation in air is greatly limited, because of relatively low acoustic impedance of the medium.

We report with respect to a new developed 18(Kc/s) magnetostriction vibrator. It is modified from Ring vibrators and its electro-acoustic efficiency characteristics is better than that of the conventional tweeter.

概 説

液体中の超音波は測深機, 洗滌機等各方面に利用されているが, 最近は超音波風速計, テレビのリモートコントロール等, 空中の超音波利用も盛んに実用化されるようになった。又飛行場で小鳥の嫌う周波数の超音波を発生せしめて小鳥を追い払ったり, 同じような原理であるが変った利用では穀物倉にねずみを寄せつけない手段として強力な超音波を発生させておくといった方法も実用にされている。そしてねずみの嫌う周波数が18Kc/s 前後である為, 高音専用スピーカーを用いて一応目的は達せられるが, 電気音響変換能率が悪い為には電気的入力を増す関係上スピーカーの破損率も多くなる。本報告はこの様な場合簡単に而も能率良く空中に超音波を出す変換器の試作結果であり, 出力, 能率, 強度共市販の放声用高音スピーカー程度以上のものを目標としている。また, その用途から単一周波数で良いので, 変換器は共振を利用することにした。

空中送波用の変換器としてはいろいろの形式があるが, 何れも変換器の内部抵抗とみられる音響端子からみた機械抵抗が, 音響負荷抵抗に比べて非常に大きいので低能率のものしかできない。こゝで試作したものは, 従来の磁歪環状振動子を変形して, 媒質負荷抵抗を変えずに機械抵抗をへらす形式にしたものである。

原 理

図1は従来の水中送波用環状磁歪振動子で, 鉄心としてはニッケル板の如き磁歪性のある材料を用いる。巻線には共振周波数の交流と偏倚磁化用の直流を重畳して加えることに

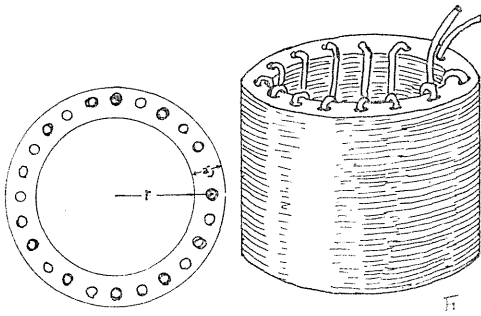


図 1

より、直径が交流周期にしたがって増減するが如き振動を起し、外側面又は内側面より媒質中に音波を放射する。共振周波数 f_0 は環巾 a が半径 r に比べて小さい時は鉄心材料のヤング弾性率を E 、密度を ρ として

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

で与えられる。

此の形式のものを空中で使用した場合水中より機械音響変換能率 η_{mo} が非常に

低下する。今振動子の機械損失抵抗を R_1 、音響媒質の負荷抵抗を R_a とすれば

$$\eta_{mo} = \frac{R_a}{R_1 + R_a} \quad (2)$$

で与えられる。一般に水中用では $R_1 < R_a$ であるが、空中で用いると $R_1 \geq R_a$ となり η_{mo} が小さくなる。此の形の振動子の R_1 は大凡振動部の体積に比例し、また R_a は音響輻射部の面積に比例するので、 η_{mo} を大きくする為には輻射部の面積を変えずに振動部分の体積を小さくする。即ち図1の環巾 a を小さくすれば良いことになる。

試作

振動子としては機械的強度のゆるす限り a を小さくすること、更に鉄損を少なくすることから材料は焼鈍された0.15mm厚の純ニッケル板を用い、図2のような形状に6層巻きこみ、アラルグイトを用いて接着した。 r は4cmにした。これはニッケルの縦波伝搬速度 $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ を4500m/s とすると共振周波数が丁度18kc/sになるからである。また l は材料の大きさの都合6cmになっている。此の鉄心を振動が妨害されない様な形の巻棒に入れて、上から励振用コイルを巻くことにした。形状、寸法は図3の通りである。

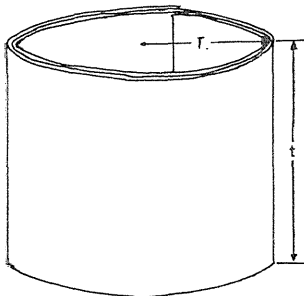


図 2

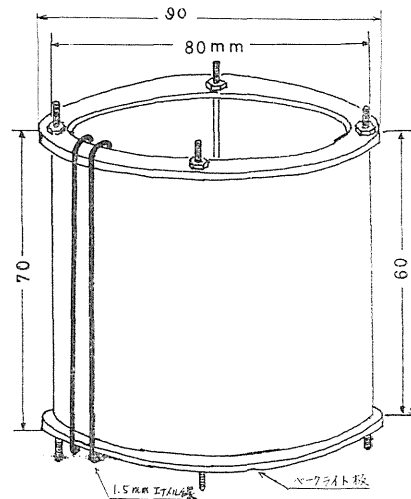


図 3

水中用の場合は鉄心に密着して線を巻く為、巻数は余り能率に影響を与えない。しかし本振動子の巻線の様な場合は、漏洩磁束を少なくする為には巻数を多くした方が良いが、之は音響放射をさまたげることになるであろう。またこの線には偏倚磁化用直流を加えなければならない。一般に此の様な磁歪振動子は磁歪活性度（磁化率を κ 磁歪率を Γ として $\kappa\Gamma^2$ ）の最大になる点に偏倚磁化を与えたとき電気音響変換率が最も良くなるとされている。そしてニッケルの場合は $9 \times 10^2 AT/m \sim 12 \times 10^2 AT/m$ 程度であるので、磁束漏洩がないとすれば図2の方法では $200 \sim 300 AT$ の起磁力を与えれば良いことになる。之等は線の太さをも決定する。此の様に巻数にはいろいろの要素が入るため簡単にはきめられないので、一応40回と80回で実験してみることにした。なお本振動子は計4個作ったものゝ中最も性能の良かったものである。

性能の評価

こゝで試作した振動子の性能を図4の様な回路で既製高音用スピーカーと比較してみることにした。

送波に用いた比較用のスピーカーは A 社製ホーントウイター、受波に用いたものは B 社製ホーントウイターで、何れもカタログ特性は使用周波数範囲 $1.5c/s \sim 20kc/s$ 、入力 $20W$ と称されるものである。

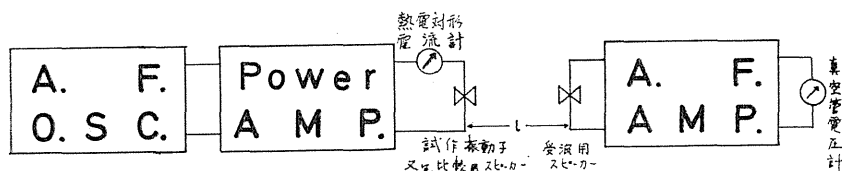
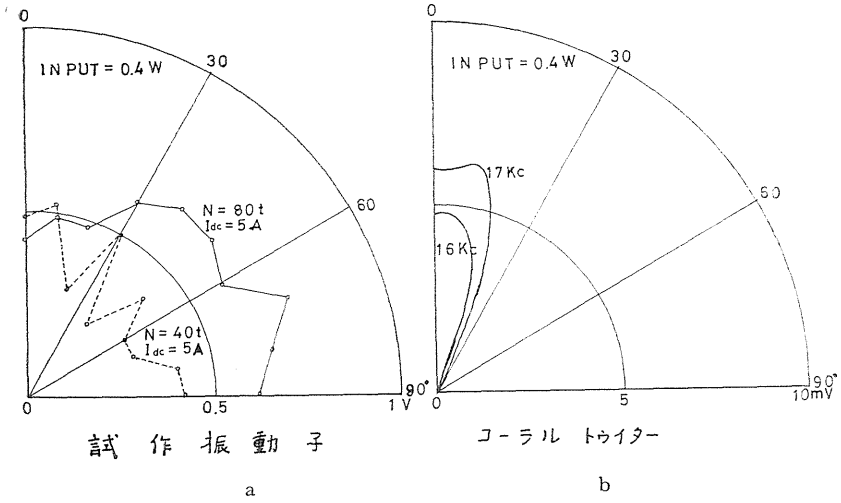


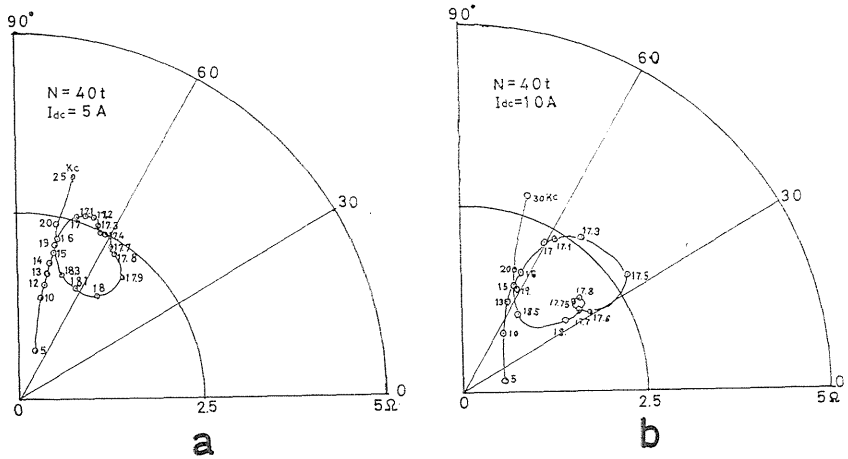
図 4

今送波スピーカー又は振動子の Fc/s における自由インピーダンスを $R + j \times \Omega$ 、熱電対形電流計の指示を IA とすれば、之等送波器には I^2RW の電気入力を与えられていることになる。したがって之が一定になるように発振器の出力を調整すれば一定の電気入力を与えたことになるので、此の時一定の場所にある受波用スピーカー電圧を増巾測定すれば送波器の作る相対音圧が求まる。こうして測定した結果を図5-aおよび図5-bに示す。平面内の指向性をみる為に送波器は水平面内で回転して測定してある。なお無響室を用いてないので受波器は各方面からの反射を受けることになるが、周囲の状況はできるだけ同じにしておき相対値には支障のないようにした。また受波器のリニヤリテーを考えれば相当誤差の多い実験ではあるが、一応の目安にはなると思う。加えた周波数 Fc/s としては試作振動子の場合には之に一定の電気的入力を与えた時受波器の出力が、最も大きくなる周波数、またスピーカーの時は $16kc/s$ および $17kc/s$ を用いた。送波器に与えた電気入力 $0.4W$ 、送受波器間隔 $l=28cm$ で測定した。此の結果から試作振動子は周囲に音響放射をしているにもかかわらずはらず指向性の強いスピーカーより大きい音圧を作っていることから、電気音響変換能率はスピーカーより優れていると云ってよいであろう。

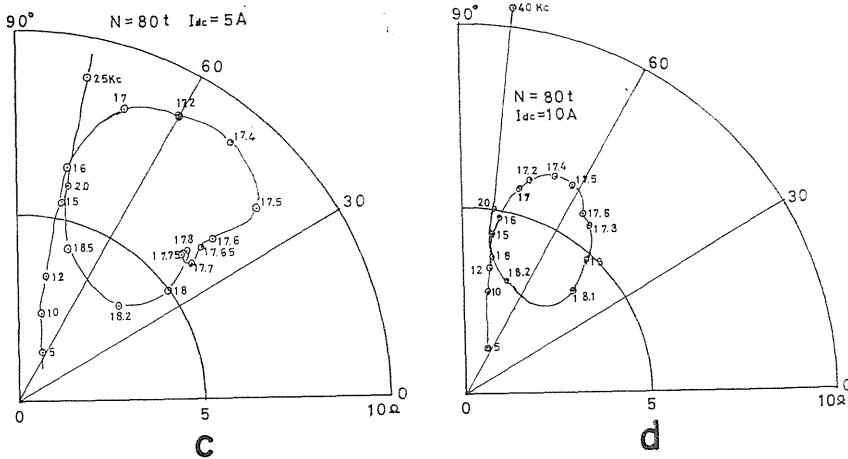
次に正確な共振周波数 f_0 、電気機械変換能率 η_{emo} 等を知る為に空中における動インピーダンスを測定した。此の結果を図6-a~図6-dに示す。図でモーショナル円が正し



a 図 5



a b



c d

☒

い円にならないのは、振動子の形が正確でなく副共振を伴っている為であると思う。

此の結果より

$$\begin{aligned} \text{共振周波数} & f_0 \text{ c/s} \\ \text{象限周波数} & f_1 \text{ c/s}, f_2 \text{ c/s} \\ \text{動インピーダンス} & \dot{Z}_{mo} \ \Omega \\ \text{共振周波数における抵抗分} & R_{f0} \ \Omega \end{aligned}$$

がわかるので電気機械変換能率は

$$\eta_{emo} = \frac{|\dot{Z}_{mo}|}{R_{f0}} \quad (3)$$

音響負荷のかゝった状態の

$$Q = \frac{f_0}{f_1 - f_2} \quad (4)$$

また此の振動子は振動部全体が同一速度で動くと考えられるので等価質量は振動部分の質量 mg を用いれば良いから

$$\begin{aligned} R_1 + R_a &= \frac{\omega_0 m}{Q} \ \Omega \\ &= \frac{\omega_0 m}{Q} \times 10^9 \quad \frac{\text{dyne}}{\text{kine}} \end{aligned} \quad (5)$$

また力係数

$$\dot{A} = \sqrt{Z_{mo}(R_1 + R_a)} \quad \frac{\text{dyne}}{\text{abamp}} \quad (6)$$

機械音響変換能率を之だけから知ることは困難であるが、一応の目安をつける為に音響負荷は内外面共に単位面積当り 42dyne s/cm³ であるとすれば、外側面積と内側面積の和を Scm² として

$$R = 42 \cdot S \quad \text{dyne/kine} \quad (7)$$

したがって機械音響変換能率

$$\eta_{mo} = \frac{R_a}{R_1 + R_a}$$

を計算することができる。電気音響変換能率 η_0 は

$$\eta_0 = \eta_{emo} \cdot \eta_{mo} \quad (8)$$

より求まる。之等諸量の計算結果を表 1 に示す。

巻数 (回)	偏倚磁化 用直流 (A)	共振周波数 f_0 (kc/s)	機械抵抗 R_1 ($\frac{\text{dyne}}{\text{kine}}$)	力係数 A ($\frac{\text{dyne}}{\text{abamp}}$)	電気機械 変換能率 η_{emo} (%)	機械音等 変換能率 η_{mo} (%)	電気機械 変換能率 η_0 (%)
40	10	17.5	5.8×10^5	3.2×10^7	68	2.5	1.7
	5	19.8	5.0×10^5	2.4×10^7	79	2.0	1.6
80	10	21.1	6.4×10^5	3.2×10^7	77	1.6	1.2
	5	19.4	5.7×10^5	4.5×10^7	81	1.6	1.3

表 1

なお、等価質量 $m=140\text{g}$ 、音響負荷抵抗 $R_a=1.27 \times 10^4 \text{ dyne/kine}$ として計算して

ある。

空中用送波器の特性例があまりないので、表1が実用にする場合どのように現われてくるかの比較はできないが、今後研究をすゝめてゆく上の標準として用いることはできるであろう。なお前三回の試作振動子の能率は、本振動子の能率の半分以下であった。

さて普通のトワイターは振巾が過大になり破損するが、此の振動子の場合材料のヤング弾性率を $E \text{ kg/mm}^2$ とし、振動に依り l なる長さの周囲が $l + \Delta l$ になったとすると内部に発生する応力は $E \left(\frac{\Delta l}{l} \right)$ なので、之が材料の最大許容応力 τ_{max} 以下ならば振動子はのびのびに破損しないことになる。いま $E = 2 \times 10^5 \text{ kg/mm}^2$ $\tau_{max} = 70 \text{ kg/mm}^2$ とすれば $\left(\frac{\Delta l}{l} \right)_{max} = 35 \times 10^{-5}$ となる。此の時の半径方向の振動速度は r を半径として

$$V = \sqrt{2} \pi r \left(\frac{\Delta l}{l} \right)_{max} f_0 \quad (9)$$

また音響負荷抵抗を R_a として音響出は

$$P_{max} = R_a V^2 \quad (10)$$

$r = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$ $R_a = 1.27 \text{ N-S/m}$ $f_0 = 18000 \text{ c/s}$ とすれば P_{max} は約 6.7 W となる。以上は特性をすべてリニヤーと仮定したものであり、更に此の出力を出すのに能率の約1%がそのまゝ成立ち、また損失により発生した熱による影響を考えないならば、最大入力は約 670 W ということになる。

結言

以上空中用磁歪送波器を試作し、市販スピーカーとの比較を行なった結果、単一周波数の用途に対してはスピーカーより優れた変換器として使用できることがわかった。しかし未だ研究を開始したばかりで、更に改良を加えたり、検討せねばならない点が多い。

水中用環状磁歪振動子の設計方針はほとんど確立されているが、此の形式のものをそれにあて当めることは非常に誤差の多い結果となる。

今後は構造の改良、大入力特性の検討を行なうと共に、設計方針を明らかにしてゆく予定である。研究に協力された綿引猛・三橋義宏・山口英吉の三君に感謝する。

参 考 文 献

- (1) Frank Massa 「Ultrasonic Transducers for Use in Air」 I. E. E. E 1965 Oct p 1363~ P 1371
- (2) 菊池喜充 「磁歪振動と超音波」 4版 コロナ社