

報 文

電気音響変換器を用いた 水中発音システムの試作

浜松職業訓練短期大学校 機械システム系 池 本 和 夫

Trial Production of the Generating System on Underwater Sound Using Electroacoustic Transducer

Kazuo Ikemoto

要 約 海中における物体の探知や同定のための一つの方法として、パッシブソーナーシステムがある。それを構築する際、未知の発音体をターゲットとすることは難しい。そのために、特徴がはっきりして、タイミングが計りやすい発音体をターゲットにする必要がある。本研究では、電気音響変換器の理論を適用して、それらの問題点を検討した後、以下に示すような性能を持つ水中発音システムを試作した。

- (1)試作した水中発音システムは、入力限界電圧が1000Vで、送波レベルが194dBである。
- (2)試作した水中発音システムは、無指向性で、共振周波数が8.5kHzである。

I はじめに

空気中における無線通信およびデータ伝送では、主に電波や光波が用いられているが、海水中では、塩分や汚濁のために伝搬損失が非常に大きくなる。それゆえに、海水中における物体の探知や同定には、通常音波が使用されている。

ところが、海水中の音波の伝搬では、水温分布による音線の屈折や海面および海底における反射などの影響を受ける。さらに、海水中における音波は、電波や光波に比べると減衰量は小さいが、周波数に依存して減衰量が増大する。そのために、送受波器を高感度の共振状態で使用しなければならないので、使用できる帯域が狭くなり、符号やパルス的高速化が困難になって、情報量に大きい制限を受ける。

このような厳しい条件下において、海水中の情報伝達の手段である音波は、物体の探知・同定を行うソーナーシステムなどで、様々な活用方法が検討されている。⁽¹⁾⁽²⁾

その中で筆者らは、パッシブソーナーシステムの精度の向上を計る基礎研究の一環として、送波器に電気音響変換器の可逆理論を適用して、音響特性が低周波、大出力および無指向性の水中発音システムを試作したので報告する。

論文受付日 1989. 6. 9

II 水中発音システムの設計条件

水中において音波を発生させるには、多くの場合電気エネルギーを音響エネルギーに変換する送波器が利用されている。つまり、圧電振動子を用いた送波器は、電圧が印加されることによりひずみが生じ、その結果として水中に音波を発生する。本研究では、試作した圧電振動子を用いた送波器に、トーンバースト信号を生成する関数発生部と増幅部を加えて水中発音システムとする。

音波の活用方法の一つに、海中における物体の探知・同定があるが、その形態は大きく二つに分類される。一方は、海水中のターゲットから放射された音波を、受波器で取り込み活用するパッシブソーナーシステムである。他方は、送波器から放射された音波が、ターゲットに達した後、エコーとして、受波器に戻ってくる信号を処理するアクティブソーナーシステムである。前者のパッシブソーナーシステムは、受波信号の処理が複雑になるが、音波の伝搬経路が片道で、ターゲットの位置を限定しない利点がある。⁽³⁾

パッシブソーナーシステムを構築する際、全く未知の発音体をターゲットとすることは現段階では非常に難しい。そのために、まず、特徴がはっきりして、タイミングが計りやすい発音体をターゲットにする必要がある。

ターゲットとなる基準の発音源を用いた水中発音シス

テムは、次の設計条件により検討される。

1 設計条件の設定

水中発音システムの送波信号が、自然界のノイズ中に埋没すると、受波信号の解析が困難になるので、100mの距離でも受波可能な必要送波レベルを検討する。まず、海中のノイズレベル(NL)は、SEAノイズおよび船舶航走中のノイズを考慮して、⁽⁴⁾

$$NL = 120 \sim 130 \text{ dB (周波数: } f = 10 \text{ kHz)} \quad (1)$$

と仮定する。つぎに、伝搬損失(TL)は距離100mで概算すると、

$$TL = 40 \text{ dB (} f = 10 \text{ kHz)} \quad (2)$$

となる。また、送波器と受波器の両方の指向性損失(DL)を12dBとし、それに信号処理域値6dBを見込むと、距離100mで識別可能な必要送波レベル(SL)は、

$$\begin{aligned} SL &= NL + TL + DL + 6 \\ &= 178 \sim 188 \text{ dB at } 1\text{m (} f = 10 \text{ kHz)} \quad (3) \end{aligned}$$

となる。

実測では、受波信号の波形の立ち上がり開始時間を明確にしなければならない。信号を受波するA/Dコンバータのサンプリング周波数が実用上100kHzとなるので、一周期につき10分割程度のサンプリングを行うと、音源の周波数はほぼ10kHzの低周波数にしなければならない。

また、ターゲットの位置を限定しないというパッシブソーナーシステムの性質から、基準発音源は無指向性でなければならない。

以上の検討結果と、実用上、小型軽量であることなども考慮して、基準発音源としての水中発音システムの設計条件を次のように設定した。

- (a) 送波レベル: 190 dB re. 1 μ Pa at 1m 以上
- (b) 共振周波数: 10 kHz
- (c) 無指向性
- (d) 小型軽量

2 従来の水中発音システムとの比較

従来の水中発音システムの音響特性が、第1節の設計条件を満足するか比較検討してみる。

現在、電気音響変換器を用いた水中発音装置としては、音響測深機、音響探査機および魚群探知機などに装備されている送波器がある。ところが、これらの送波器は、位置、深度および地層を高い精度で計測することや、魚種、

魚量および海底の底質を正確に判別することが要求されるため、高周波で指向幅の狭い音響特性を備えている。例えば、周波数は50~200kHzのものが多く、指向幅も $1^{\circ} \sim 15^{\circ}$ と狭い。⁽⁴⁾⁽⁵⁾ また、送波器全体を円筒形として、無指向性とするために円周方向と軸方向に多数の振動子を配列(Array)した360度ソーナー用送波器があるが、複雑で大型になるため、コストが高く、操作性も悪い。さらに、電気音響変換器を使用しない、水中放電を利用したスパーカや高圧空気を利用したウォーターガンおよびエアガンは、実用周波数域が30Hz~2kHzと低く、大出力の場合安全上の問題もある。⁽⁵⁾

以上の検討により、従来の水中発音装置では、低周波、大出力、無指向性および小型軽量という、本研究の水中発音システムの設計条件を同時に満足するものがない。

そこで、第III章では、電気音響変換器の理論を応用して、第1節の設計条件を満足する送波器用振動子の音響特性を検討し、水中発音システムの設計および試作を行う。

III 円筒形振動子の設計および試作

第II章第1節で設定した、水中発音システムの設計条件を考慮して、当初、送波器としてジルコンチタン酸鉛(PZT)の円盤状振動子について検討した。円盤状振動子は設計が容易であるが、低周波および大出力の条件を満足するには寸法が大きくなるので、圧電セラミックスの焼結が非常に困難となる。また、送波器の大きさに反比例して指向幅が狭くなるので、無指向性の条件を満足しなくなる。⁽⁴⁾⁽⁵⁾そこで、本発音システムでは、送波器用振動子の形状を円筒形とした。円筒形振動子では、外半径に対する肉厚の薄さに依存して機械的Q値が低下するので、肉厚の検討を行い、共振周波数を中心に広い周波数帯域で高い送波レベルが得られるようにした。

この章では、第II章第1節で設定した設計条件を満足するような円筒形振動子の音響特性を理論的に検討する。そのために、まず、第1節で電気音響変換器の可逆理論を適用して、受波感度と送波感度の関係式を導出する。つぎに、第2節で円筒形振動子が半径方向に共振した場合の変位を求める。第3節では、第2節の円筒形振動子の変位から受波感度を求め、第1節の可逆関係式を適用して共振時の送波感度を求める。そして、第4節では、第1節から第3節の関係式を用いて、試作する円筒形振動子の大きさと理論的な音響特性値を算出し、これに基づき試作する。

1 電気音響変換器の可逆理論

一般に電気音響変換器は、マイクロホンとしても、またスピーカーとしても使用できる。このような可逆電気音響変換器の一つを受波器として用いたときと、同じ機器を送波器として動作させたときの感度を、それぞれ次のように定義する。

$$\left. \begin{aligned} \text{受波電圧感度: } M_a &= \frac{E_a}{p_a} \\ \text{受波電流感度: } M_s &= \frac{I_a}{p_a} \\ \text{送波電流感度: } S_a &= \frac{p_d}{I_a} \\ \text{送波電圧感度: } S_s &= \frac{p_d}{E_s} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで、

- E_a : 開放出力電圧 I_s : 短絡電流
- p_a : 入射波の自由音場音圧
- I_a : 入力電流 E_s : 入力電圧
- p_d : 規準距離 d における音圧

二つの可逆電気音響変換器 U, U' を図1のように距離

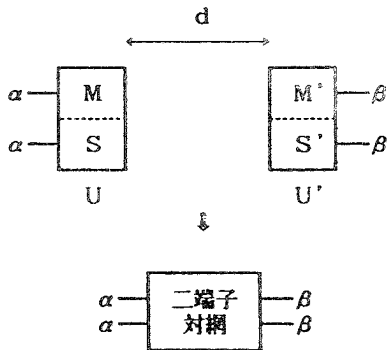


図1 可逆電気音響変換器の音響的結合状況

d だけ離して置く。両者を M と S のそれぞれの電気端子 α および M' と S' の電気端子 β などに着目して、音響的に結合した場合、見かけ上音響系を内蔵した電気的な二端子対が構成される。このとき、この二端子対の動作は常に可逆的で、次のような可逆関係が成立する。すなわち、任意の可逆電気音響変換器について、マイクロホンとして用いたときの受波感度 M と、スピーカーとして動作させたときの送波感度 S との比が等しくなり、

$$\frac{S_a}{M_a} = \frac{S_s}{M_s} = H \quad (5)$$

と表される。このとき、 H を可逆定数という。(6)

ここで、円筒形振動子について受波感度と送波感度の

関係を示す H を、送受波器の可逆性および電気音響変換器の基本式から導出してみる。ただし、送受波の音場における音源に次の仮定を設ける。

- (a) 微小呼吸球である。
- (b) 放射面における機械インピーダンスは大きい。

まず、受波電圧感度 M_a について検討する。入射音波による、円筒形振動子の放射面における振動速度を $\dot{\xi}_a$ 、機械的インピーダンスを Z_1 とすると、入射波の音圧 p_a は、放射面面積 S を用いて、

$$p_a = \frac{Z_1 \dot{\xi}_a}{S} \quad (6)$$

と表される。また、 $\dot{\xi}_a$ により電気端子に発生する起電力 E_a は、力係数を A とすると、 $E_a = A \dot{\xi}_a$ となる。したがって、開放電圧における受波電圧感度 M_a は、

$$M_a = \frac{E_a}{p_a} = \frac{AS}{Z_1} \quad (7)$$

となる。

同様に、送波電流感度 S_a について検討する。電流 I_a の流入により、音源である円筒形振動子が $\dot{\xi}_a$ で振動すると、指定点距離 d における音圧は、

$$p_d = \frac{-j\rho_w fAS}{2dZ_1} I_a e^{-jkd} \quad (8)$$

ここで、 ρ_w : 媒質の密度、 k : 波数と表される。したがって、入力電流 I_a による送波電流感度 S_a は、

$$S_a = \frac{p_d}{I_a} = \frac{-j\rho_w fAS}{2dZ_1} e^{-jkd} \quad (9)$$

となる。

以上の結果より、円筒形振動子の受波感度と送波感度の関係を示す可逆変換定数 H は、

$$H = \frac{S_a}{M_a} = \frac{\rho_w f}{2d} e^{-j(\pi/2 - kd)} \quad (10)$$

となる。式(10)より、 H は送受波器の設計に無関係な定数を示している。

2 円筒形振動子の変位

図2に示す内半径 a 、外半径 b の円筒形振動子が、内圧 P_a 、外圧 P_b を受けたときのひずみについて検討する。ただし、円筒の任意の断面のひずみは同一とする。図のよう

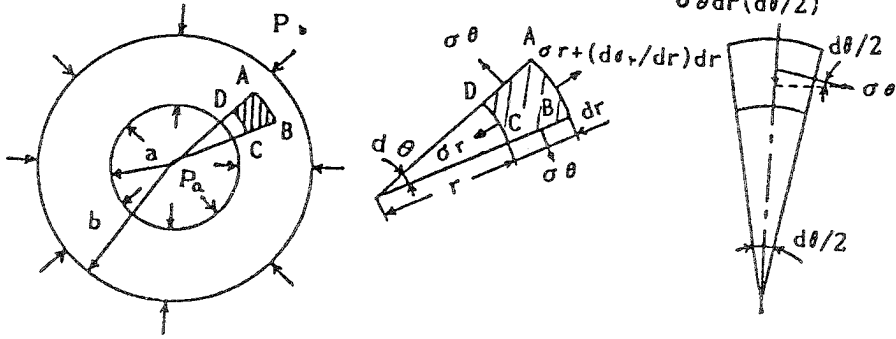


図 2 円筒形振動子の応力の釣り合い

な微小要素を取り出し、その要素における力の釣合いを考えると、断面ADとBCのそれぞれの半径方向に、

$$(\sigma_r + \frac{d\sigma_r}{dr})(r+dr)d\theta, \quad -\sigma_r r d\theta$$

なる力が作用する。さらにAB, CD方向に作用する力 σ_θ drの分力 $\sigma_\theta dr (d\theta/2)$ も半径方向に作用するために、半径方向の力の釣合いは、

$$(\sigma_r + \frac{d\sigma_r}{dr})(r+dr)d\theta - \sigma_r r d\theta - \sigma_\theta dr \cdot \frac{d\theta}{2} \cdot 2 = 0 \quad (ii)$$

となる。誤差論に基づき微小量を無視すると、この応力の釣合い方程式は、

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (12)$$

となる。

ここで、円筒形振動子に生ずるひずみが軸対称とすれば、半径方向および円周方向の応力は、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{E \{ (1-\nu) \frac{du}{dr} + \nu(u/r) + \nu \epsilon_z \}}{(1+\nu)(1-2\nu)} \\ \sigma_\theta &= \frac{E \{ (1-\nu) u/r + \nu \frac{du}{dr} + \nu \epsilon_z \}}{(1+\nu)(1-2\nu)} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

と表される。ただし、 u は半径方向の変位、 ϵ_z は軸方向のひずみ成分、 ν はポアソン比をそれぞれ示す。

これらの応力を式(12)の微分方程式に代入し、円筒形振動子の境界条件を考慮して解くと、半径 r における変位 u は、次式で表わされる。

$$u = \frac{(1+\nu)r}{E(a^2-b^2)} \{ (1-2\nu)(a^2 p_a - b^2 p_b) + (p_a - p_b) \frac{a^2 b^2}{r^2} \} - \nu \epsilon_z r \quad (14)$$

つぎに、内圧の変位に対する外圧の変位を検討するために内圧 $p_a=0$ とすれば、外圧 p_b による円筒形振動子の半径方向の変位は、 $r=b$ における変位 u_b と $r=a$ における変位 u_a との差で表される。 ν^2 を誤差論に基づく微小量として無視すると、 $\epsilon_z = -p_b/E$ となるので、

$$u_b - u_a = \frac{b p_b}{E(\alpha+1)} \{ (\alpha-1) + \nu(2-\alpha)(\alpha+1) \} \quad (15)$$

と表される。ただし、 $\alpha = a/b$ とする。

3 円筒形振動子の特性

図3に示す内半径 a 、外半径 b 、円筒長 l の円筒形振動子が、半径方向に共振した場合の特性について検討する。

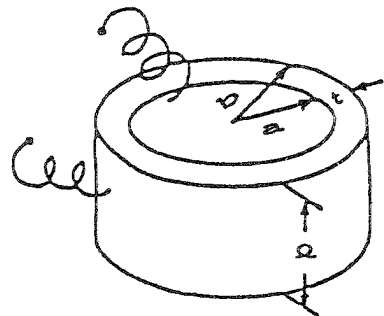


図 3 円筒形振動子

(1)共振周波数と機械的Q

円筒形振動子の厚みを t 、平均半径を a_m とすると、この振動子の等価質量 m 、等価スティフネス s 、等価機械抵抗 r_m はそれぞれ、

$$\left. \begin{aligned} m &= 2\pi\rho a_m l t \\ s &= \frac{2\pi l t E}{a_m} \\ r_m &= \frac{\omega_0 m}{Q_m} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

と表される。ここで、 ρ は振動子の密度、 E はヤング率、 ω_0 は共振角周波数、 Q_m は機械的Qをそれぞれ示す。式(16)より、共振周波数 f_0 は、次式で表される。

$$f_0 = \frac{c}{2\pi a_m} \quad (17)$$

ここで、 c ：固体中の縦波の速度

また、機械的Qは、振動子境界上の比音響インピーダンスを考慮すると、媒質の密度 ρ_w と音速 c_w を用いて、

$$Q_m = \frac{\omega_0 m}{\rho_w c_w S} = \frac{\rho c t}{\rho_w c_w a_m} \quad (18)$$

と表される。

(2)受波感度と送波感度

可逆電気音響変換器としての円筒形振動子の特性について検討する。円筒形振動子を受波器として使用した場合の電圧感度を M_a とし、送波器として使用した場合の電流感度と電圧感度をおのおの S_a 、 S_s とすれば、式(5)、(10)より、共振点において次式が成立する。

$$\frac{|S_a|}{|M_a|} = |H| = \frac{\rho_w f_0}{2d} \quad (19)$$

また、入力電流を I_a 、入力電圧を E_s とし、入力端子を見込んだ負荷時インピーダンスを Z_f とすれば、 $S_a = p_d / I_a$ および $S_s = p_d / E_s$ であるから、

$$S_a = Z_f S_s \quad (20)$$

が成立する。したがって、式(19)、(20)により、

$$|S_s| = \frac{|HM_a|}{|Z_f|} = \frac{\rho_w f_0 |M_a|}{2d |Z_f|} \quad (21)$$

となる。式(21)により、円筒形振動子の受波電圧感度 M_a がわかれば、送波電圧感度 S_s を求めることができる。

ここで、円筒形振動子の変位を表わす第2節の式(5)を用いて、受波電圧感度 M_a を求める。外圧として、

$$p_0 = p_0 e^{i\omega t} \quad (22)$$

を受ける場合、円筒形振動子の厚さ方向の変化量 t_u は、

$$t_u = b p_0 e^{i\omega t} \frac{(\alpha-1) + \nu(\alpha+1)(2-\alpha)}{E(\alpha+1)} \quad (23)$$

となる。式(23)から円筒表面の振動速度を求め、この振動速度に基づいて電気端子に発生する起電力 E_a を、力係数 A を用いて表すと、

$$E_a = j\omega b A p_0 \frac{(\alpha-1) + \nu(\alpha+1)(2-\alpha)}{E(\alpha+1)} \quad (24)$$

となる。したがって、円筒形振動子の受波感度 M_a は、

$$M_a = j2\pi f b A \frac{(\alpha-1) + \nu(\alpha+1)(2-\alpha)}{E(\alpha+1)} \quad (25)$$

となる。ゆえに、式(21)、(25)より、共振点における円筒形振動子の送波感度 S_s は、次式で求められる。

$$|S_s| = \frac{2\pi f_0^2 \rho_w b A \{(\alpha-1) + \nu(\alpha+1)(2-\alpha)\}}{2d |Z_f| E(\alpha+1)} \quad (26)$$

ここで、 $\alpha = a/b$ 、 ν ：ポアソン比

4 円筒形振動子の試作

表1に示すPZTを主成分とする圧電セラミックス(NPM-N21材)を用いて、円筒形振動子を試作する。

表1 NPM-N21材の特性

項目	規格
弾性定数 E	5.70×10^{10} (N/m ²)
圧電定数 g_{31}	-12.1×10^{-3} (Vm/N)
圧電定数 g_{33}	25.4×10^{-3} (Vm/N)
ポアソン比 ν	0.34
密度 ρ	7.82×10^3 (kg/m ³)

実用上、小型軽量であることが要求されるので、それを考慮して、形状が円筒形である振動子の外径を107mm、内径を96mm、長さを25mmとした。

この円筒形振動子の特性である等価質量、等価ステイフネス、等価抵抗、共振周波数および機械的Qなどを第3節の式を用いて算出した。さらに、NPM-N21材の圧電定数より受波感度 M_a は、

$$M_a = b \left\{ -g_{33} \frac{1-\alpha}{1+\alpha} - g_{31}(2-\alpha) \right\} \quad (27)$$

となる。これに対して、送波感度は、入力負荷インピーダンス Z_l と式(2)の関係から求めることができる。ここで、 Z_l は、低周波数の場合近似的に、

$$Z_l = -j \frac{1}{\omega C} \quad (2)$$

で与えられる。予備実験から円筒形振動子の静電容量を 2.20×10^{-6} pF としたので、それを式(2)中の C に代入すると、

$$|Z_l| = 851 (\Omega)$$

となる。求めた Z_l と式(2)より、送波感度 S_s は、

$$S_s = 31.96 \times 10^5 (\mu \text{Pa}/\text{V})$$

となる。この送波感度 S_s をデシベル表示し、機械的 Q による増分を付加すると 134 dB になる。さらに、円筒形振動子にパワーアンプを組み込んだ水中発音システムの送波レベルは、試作した円筒形振動子の材料と形状から検討すると、入力限界電圧が 1000 V になるので、134 dB に 1000 V 分の 60 dB を加えて、

$$\text{SL} = 194 \text{ dB re. } 1 \mu \text{Pa at } 1 \text{ m}$$

となる。これらの設計段階での理論計算による特性を、表 2 にまとめて示す。

表 2 円筒形振動子の特性

項目	理論値
材質	N 2 1 材 (P Z T)
外半径	53.5 (mm)
内半径	48.0 (mm)
長さ	25.0 (mm)
共振周波数	8.50 (kHz)
等価質量	0.343 (kg)
等価スティフネス	9.70×10^3 (N/m)
等価抵抗	1.16×10^4 (Ns/m)
機械的 Q	1.58
静電容量	2.20×10^{-6} (pF)
負荷インピーダンス	851 (Ω)
受波感度 (共振時)	-183.9 dB re. $1 \mu \text{Pa}$
送波感度 (共振時)	134 dB re. $1 \mu \text{Pa}$ at 1m
送波レベル (共振時)	194 dB re. $1 \mu \text{Pa}$ at 1m

つぎに、表 2 の特性に基づいて円筒形振動子を試作し、ウレタンゴムでモールドして、水中発音システムにおける送波器とした。この送波器を用いて、第 IV 章では、送波レベル、周波数特性および指向性などの性能を検討する。

IV 実験

試作した水中発音システムを用いて、送波レベル、周波数特性および指向性などの音響特性について測定し、その結果と設計段階での理論値を比較検討する。

1 送波レベルと指向性

(1)送波レベル

水中発音システムでは、最大出力を示すビーム軸上の音圧が重要となるが、任意の距離に対する音圧では、送波器相互の性能を比較することができない。そこで、送波器からの距離が 1 m であるビーム軸上の音圧を、送波器の性能を表すために用いる。しかし、実用上この音圧を用いると、近距離音場の影響を受けて、必ずしも正確に測定することはできない。そのために、音波の伝搬が完全に球面拡散したと仮定できるような送波器より充分遠い距離で測定した音圧を、みかけ上音響中心から 1 m の点の音圧に換算して用いる。換算した音圧をデシベル表示した値が送波レベルである。

(2)指向性

点音源や呼吸球のような単純な音源を除けば、ほとんどの音源に指向性がある。指向性とは、音源の向きや角度の違いによる音のレベル差であり、これを表わすパラメータとしてビーム幅がある。また、ビーム軸を含む極を主極、それに付帯する極を副極と言い、主極に近いほうから第一副極、第二副極と呼ぶ。

一般に送波器で利用するビームは主極のみで、そのビーム幅 θ は、音圧がビーム軸上の音圧から -3 dB または -6 dB の角度を用いることが多い。また、通常指向性パターンは左右対称であるから、実際のビーム幅は 2θ で、これを指向幅と呼ぶ。

本研究で試作した水中発音システムの場合は、送波器の向きや角度の違いによる送波レベルの差が微小である無指向性の音源を対象としている。

2 実験方法

試作した水中発音システムによる音波の計測システムを図 4 に示す。図中の関数発生器において波数 10、パルス間隔 100 ms のトーンバースト信号を生成する。この送波

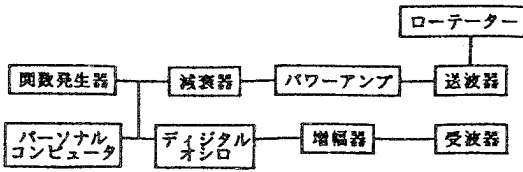


図4 音波の計測システム

信号をパワーアンプで増幅して、試作した送波器から水中へ音を発する。このとき、受波器で計測される振幅電圧と増幅器のゲインおよび受波器の受波感度などにより、試作した水中発音システムの送波レベルを算出する。

つぎに、指向性の計測は、送波器をローテーターで回転させ、2°ピッチの角度で送波レベルを求めることにより、指向性の有無を判定する。また、周波数特性の計測は、関数発生器において5~12kHzまで周波数を掃引し、各周波数における送波レベルを求める。

3 実験結果

試作した水中発音システムの周波数と送波レベルの関

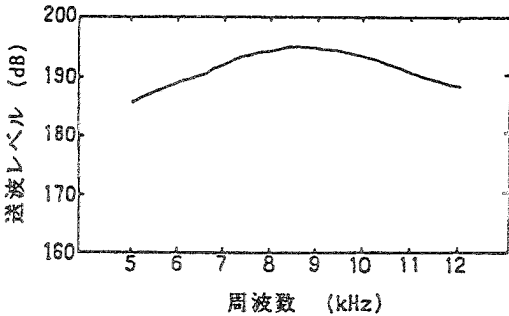


図5 周波数と送波レベルの関係

係を図5に示す。図から、共振周波数は8.5kHzで、共振周波数における送波レベルは194dBである。また、本研究の水中発音システムに必要な送波レベルの設計条件が190dB以上であることが、すでに明らかにされているので、このレベル以上を使用可能な周波数帯域としてみると、6.5~11kHzの広帯域をとることができた。これは、機械的Qが2以下に設定できたことを示す。

つぎに、試作した水中発音システムの共振周波数 8.5 kHz における指向性を図6に示す。図から指向性および副極は見受けられない。つまり、試作した水中発音システムは無指向性であるといえる。

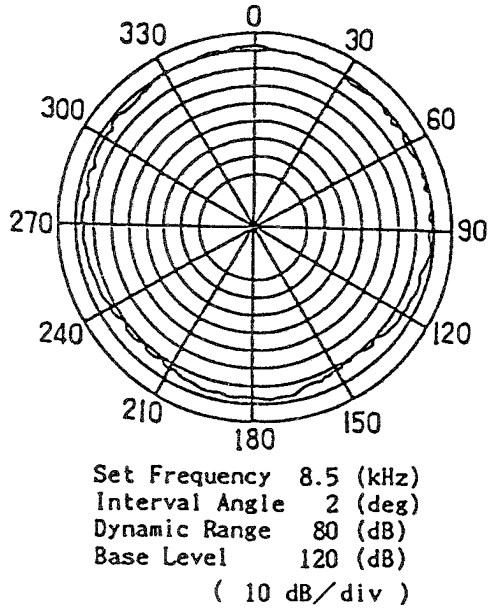


図6 指向性の測定結果

本実験の結果は、第三章の円筒形振動子の設計および試作において、表2に示した理論計算値とよく一致している。

V 結論

海水中において物体の探知や同定を行うパッシブソナーシステムの精度向上を計る基礎研究の一環として、音響特性が低周波、大出力および無指向性の水中発音システムを試作したので、明らかになったことを以下に示す。

- (1) 圧電セラミックスを用いた円筒形振動子の形状は、外径を107mm、内径を96mm、長さを25mmとした、その円筒形振動子を組み込んだ水中発音システムは、入力限界電圧が1000V、送波レベルが194dBであった。
- (2) 試作した無指向性の水中発音システムは、8.5kHzの共振周波数を持ち、なおかつ、190dB以上の送波レベルで6.5~11kHzの広範囲の周波数帯域となった。
- (3) 試作した水中発音システムが示す音響特性は、設計段階での理論的な特性とよく一致し、当初設定した設計条件を満足することが、実験により検証できた。
- (4) 試作した水中発音システムをターゲットとすることにより、探知精度の高いパッシブソナーシステムが構築できる。このパッシブソナーシステムは、探知対象であるターゲットの位置を限定せず、音波の伝搬経路が片道であるために目標を探知・同定する

時間も短くなる。

試作した水中発音システムは、従来の音響測深器や魚群探知機に使用されているものと異なり、低周波・無指向性の音響特性を備えた小型軽量の送波器を使用している。したがって、試作した水中発音システムは、水中作業用機器の位置検出などに用いるソナーシステムの精度向上に活用されることが考えられる。

参考文献

- (1) 蜂屋弘之, 奥島基良 他: 海底地形の広域マッピングにおける測深精度の検討, 海洋音響研究会第4回研究発表会講演論文集, 1988年, P. 9~12
- (2) 宍戸正昭: 海洋地層探査技術の基礎(1), 海洋音響研究会報, 1981年, 8-1, P. 3~9
- (3) Richard L. Moose: Passive Range Estimation of an Underwater Maneuvering Target, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1987
- (4) Robert J. Urick: Principles of Underwater Sound, McGraw-Hill, 1983
- (5) 五十嵐正夫 他: 海洋音響, 海洋音響研究会, 1984年
- (6) 実吉純一 他: 超音波技術便覧, 日刊工業新聞社, 1966年