

音響による画像信号伝送の研究 — カラー画像の伝送 —

土屋利雄 *¹ 中西俊之 *¹ 網谷泰孝 *¹
山本浩文 *¹ 許 正憲 *¹ 野並健二 *¹

我々は現在、音響による画像信号の伝送の研究を行ってきており、基礎的な伝送試験や試験装置についてはJAMSTECTR17,18で報告した。

これらの研究を基に、さらに一步進めて、カラー画像伝送の実用化を計るための検討を行い、そのために必要な試験装置を製作した。

また、これまでの研究結果から、画像信号の伝送には送波器及び受波器の特性が大きく影響することが分かっているため、これに適した性能の送受波器を新たに製作した。

そして、これらの装置の有効性を確かめるために実海域において、伝送試験を行い、伝搬距離3500m(水深方向)で良好なカラー画像を得ることができた。これらの結果から、伝送方式や同期方式に問題のないことが実証でき、送信レベルやS/Nの算定が適切であることが分った。

Study on Acoustic Transmission System of Video Picture — Transmission of Color Picture —

Toshio TSUCHIYA *², Toshiyuki NAKANISHI *²
Yasutaka AMITANI *², Hirofumi YAMAMOTO *²
Masanori KYO *², Kenji NONAMI *²

A study has been carried out on system development of long-distance picture transmission by acoustic signal. Transmission of B/W pictures has been described at JAMSTECTR17.

After many studies, ocean experiments of acoustic transmission of color pictures from the depth of 3,500 m to the surface have been successfully carried out.

This paper describes the color picture transmission method, performance and the results of this ocean experiment.

*¹ 深海開発技術部

*² Deep Sea Technology Department.

1. 研究の経緯

我々は、潜水船で得られたTV画像を母船上に送ることを目的として、音響信号により画像情報を伝送するための研究を昭和59年度から続けてきている。目標は、「しんかい2000」システムに搭載することのできる装置の開発、6,500m潜水調査船用の開発、更に無索無人機用の開発を考えている。これまでに、基礎的な画像信号伝送受信に関する資料を得るために白黒画像の試験装置を製作し、超音波水槽や実海域で様々な試験を行ってきた。^{1), 2)} また「しんかい2000」システム用の装置としてこれらの試験結果を基に、次のような事項について方針を固めている。

(1) 信号伝送周波数の選択

海中における音響信号の伝搬減衰や「しんかい2000」システムにおける他の音響機器の周波数の割り当てを考慮して、20～30kHzを使用する。

(2) 画像信号周波数帯域の圧縮方法

画像信号の周波数帯域を音響信号の伝送帯域までに圧縮させるために、画像の解像度を犠牲にしないように、画像を静止画像として処理し、走査時間を遅くして伝送する手法（低速走査方式）を使用する。

(3) 変調方式の選定

「しんかい2000」の場合は、ペイロード等の制約から、装置を簡略化するため、アナログ伝送方式とする。この方式として、画像の輝度情報を周波数と対応させたSCFM（副搬送波周波数変調）波を発生させ、この信号を変調波とし、目的の音響周波数を被変調波とするSSB-AM（搬送波抑圧片側波帯振幅変調）方式を変調方式として採用し、周波数帯域の有効な利用を行う。

(4) 送受波器の開発

音響送受波器の性能は、伝送画像の優劣に大きく影響を与えるので、できるだけ平坦な周波数特性と高い送波感度を持ち、良好な指向特性を有するものを新たに開発する。

以上のような方針を基にして、実用的なカラー画像信号を行うために、試験装置の製作を行い、様々な試験を行った。

2. カラー画像の伝送試験装置の製作

2.1 カラー画像の伝送手法

白黒の画像信号の伝送については、JAMSTECTR 17¹⁾ において報告したとおり、画像をデジタル信号に変換し、メモリー上に固定して静止画とし、伝送速度を遅くして伝送帯域を圧縮する手法（低速走査方式）を使った。

被写体像を、赤（R）・緑（G）・青（B）に感度をもつ3本の白黒の撮像管で撮像したものと考え、各々の白黒画像を合成したものがカラー画像であるとすれば、R・G・B各々で得られる輝度情報を別々に伝送することにより、白黒の場合と同様の手法を使うことができる。この手法では、白黒画像を伝送する場合よりも伝送時間が約3倍かかることになるが、同じ伝送周波数帯域でカラー画像を伝送することが可能となる。

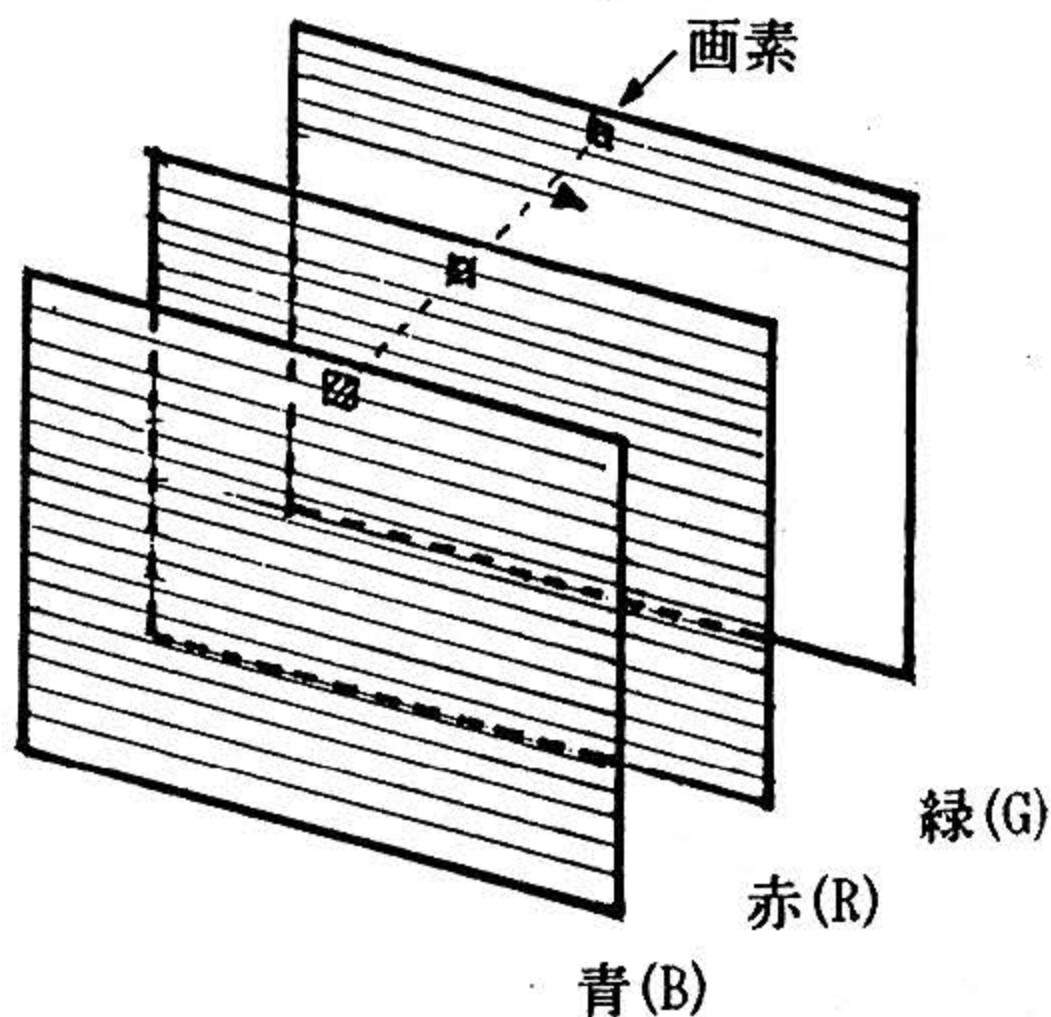
このようにR・G・Bの輝度情報を別々に伝送するには、図1に示したように2つの方法がある。この内、フレーム順次伝送方式は、R・G・Bの各メモリーに書き込まれた情報を各フレーム（画面）ごとに順番に送信し、受信側で3枚の画面を重ねることによりカラー画像を再生する方法である。この方式では、3枚の画面がすべて伝送された後でなければ、画像を見ることができない。

これに対して、ライン順次方式では、R・G・Bそれぞれのラインを1本ずつ順番に送信し、受信側で3本のラインを合成してカラー情報をもつ1本の走査線とし、この走査線の集合として画面を再生する方法である。この方法でのハード構成は、フレーム順次方式より複雑になるが、フレーム順次方式の場合の欠点は、解消される。

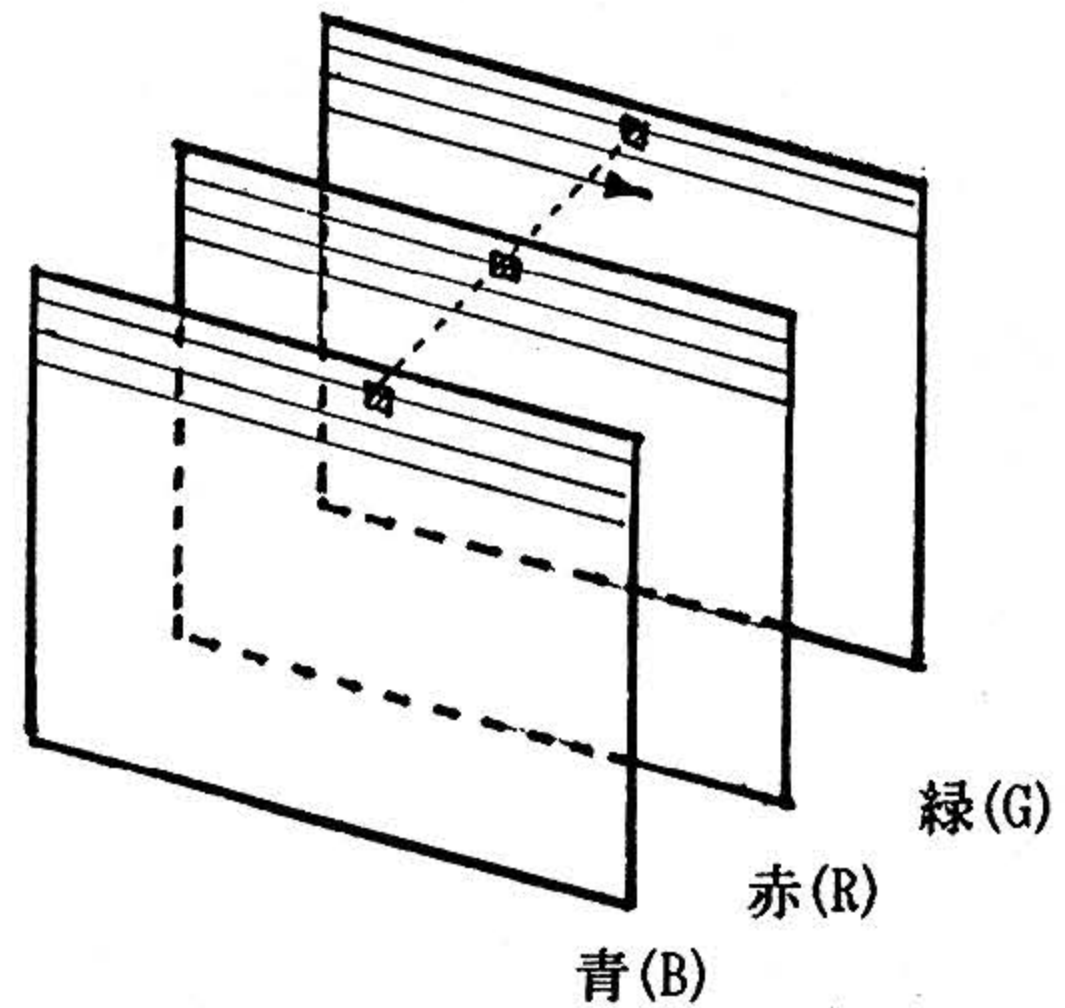
以上のような理由により、カラー伝送方式としてライン順次方式を採用し、この方法による伝送試験装置を製作することとした。

2.2 同期方式

画像信号を伝送し、受信側で正確に再現するためには、送信側と受信機の走査を一致させ、それによって各画素の空間的な位置を確定するための同期方法が必要である。低速走査方式において主なものとしては、次のような2つの同期の手法がある。^{4), 5)}



(1) フレーム順次伝送方式



(2) ライン順次伝送方式

図1 カラー画像伝送方式

Fig.1 Method of transmission for color picture

(1) 独立同期方式

画像の始点（垂直同期信号）だけ送り、伝送が開始された後は、送信側と受信側とで正確に整合し、独立したクロックを使って、画像を最後まで再生する方法。

(2) 伝送同期方式

垂直同期信号の他に水平同期信号も伝送し、水平走査線の1本づつについて始点を強制的に一致させながら、画像を再生する方法。

(1)の方法は、有線等を介して行う低速走査方式の画像伝送では、常用されている。この方法では、水平同期信号の分だけ伝送時間が短縮され、しかも同期信号の欠落による画像の乱れがない。また水平同期信号を検出するための機能が不要であるため、ハード構成が簡単になる、等の長所を持っている。しかし、伝搬過程のゆらぎ等による時間のズレが蓄積される可能性がある。一方、(2)の方法は、(1)とまったく逆の長所と短所を持っている。したがって、(1)と(2)のどちらの方法が良いのかは、実際の伝送試験を行った後でないと決めることができないので、どちらの方法でも試験ができるように装置を製作することにした。

2.3. 解像度

潜水船で海底のまったく未知のものを観察する

ためには、通常のカラーTV放送程度の解像度を持った画像が必要であると考えられる。

白黒のTV受像機の場合には、水平解像度は、受像機の受信周波数帯域で決定され、垂直解像度は、走査線の数により決定される。通常標準方式においては、それらの値は、それぞれ240本（受信帯域3.0 MHzの場合）と、488本（ $525 \text{本} \times 0.93$ ）程度である。カラー受像機の場合も、水平解像度の上限は、白黒の場合と同様に決めることができる。しかし、垂直解像度については、カラー受像機のブラウン管は白黒のそれとは異なり、シャドウ・マスク方式が採用されている。この方式では、R・G・Bのストライプ（縞）がブラウン管上にあり、その数は通常の大さのモニタでは、500～700本である。当然、R・G・Bの合成で一つの走査線が形成されるために、実質的な垂直解像度はその1/3すなわち、最大でも230本程度である。⁷⁾

実際の装置では、画像をデジタル信号としてCPUで処理するので、この場合の解像度は、画面を構成する画素数と同義になる。したがって、必要な画像の画素数は、実質的に 240×230 以上あれば良いことになる。写真1では、実際に画素数を変えた場合の画像の変化を示したものであるが、この写真での画素数は、8ビットのCPUで処理し

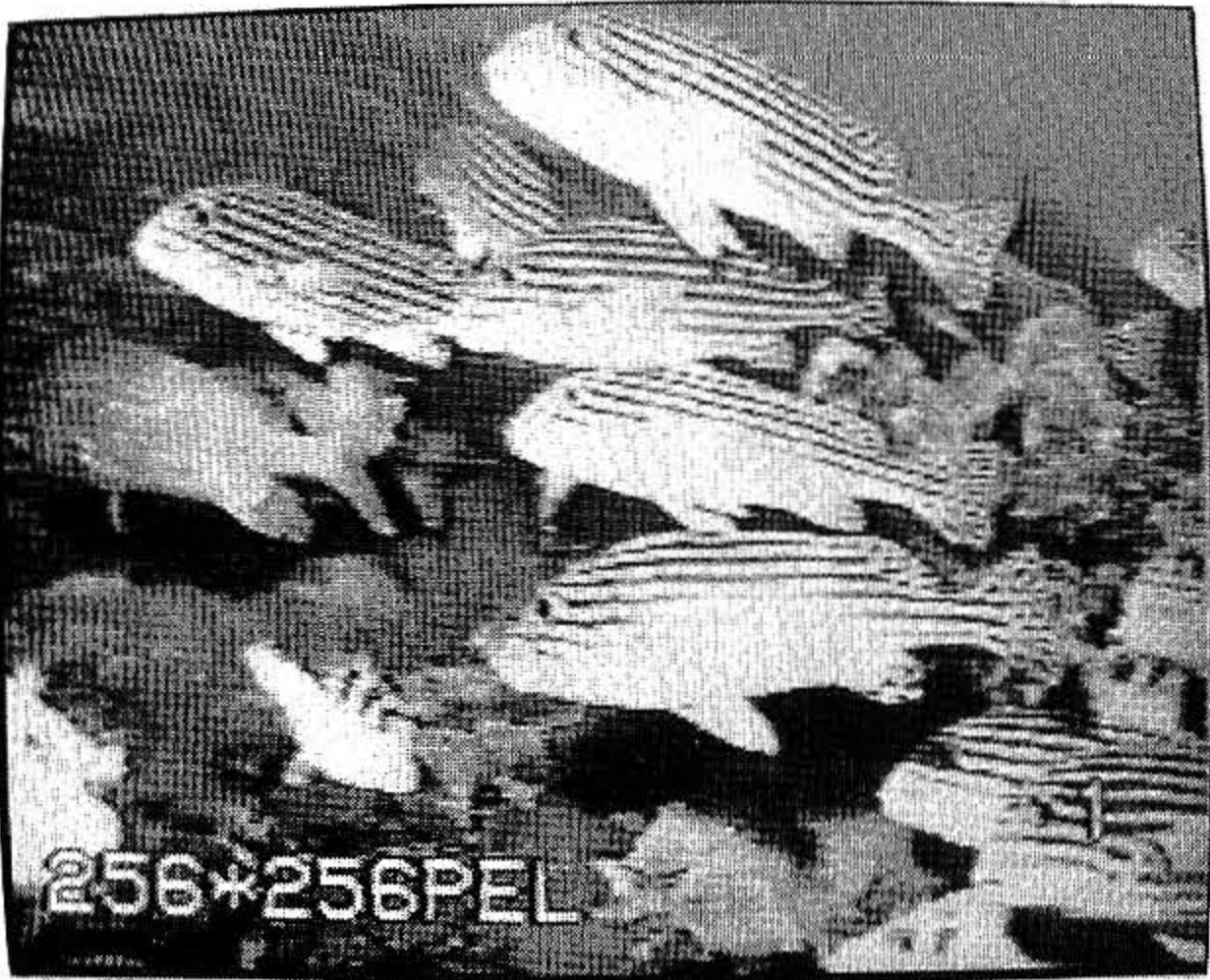
ている関係から2の乗数となっている。この写真で128×128画素から256×256画素にした場合と比較して、512×512画素での画像の改善度は、顕著ではない。また、原図との比較により、256×256画素で十分実用的な画像を得ることが可能であると判断した。

2.4 画像信号伝送試験装置の構成

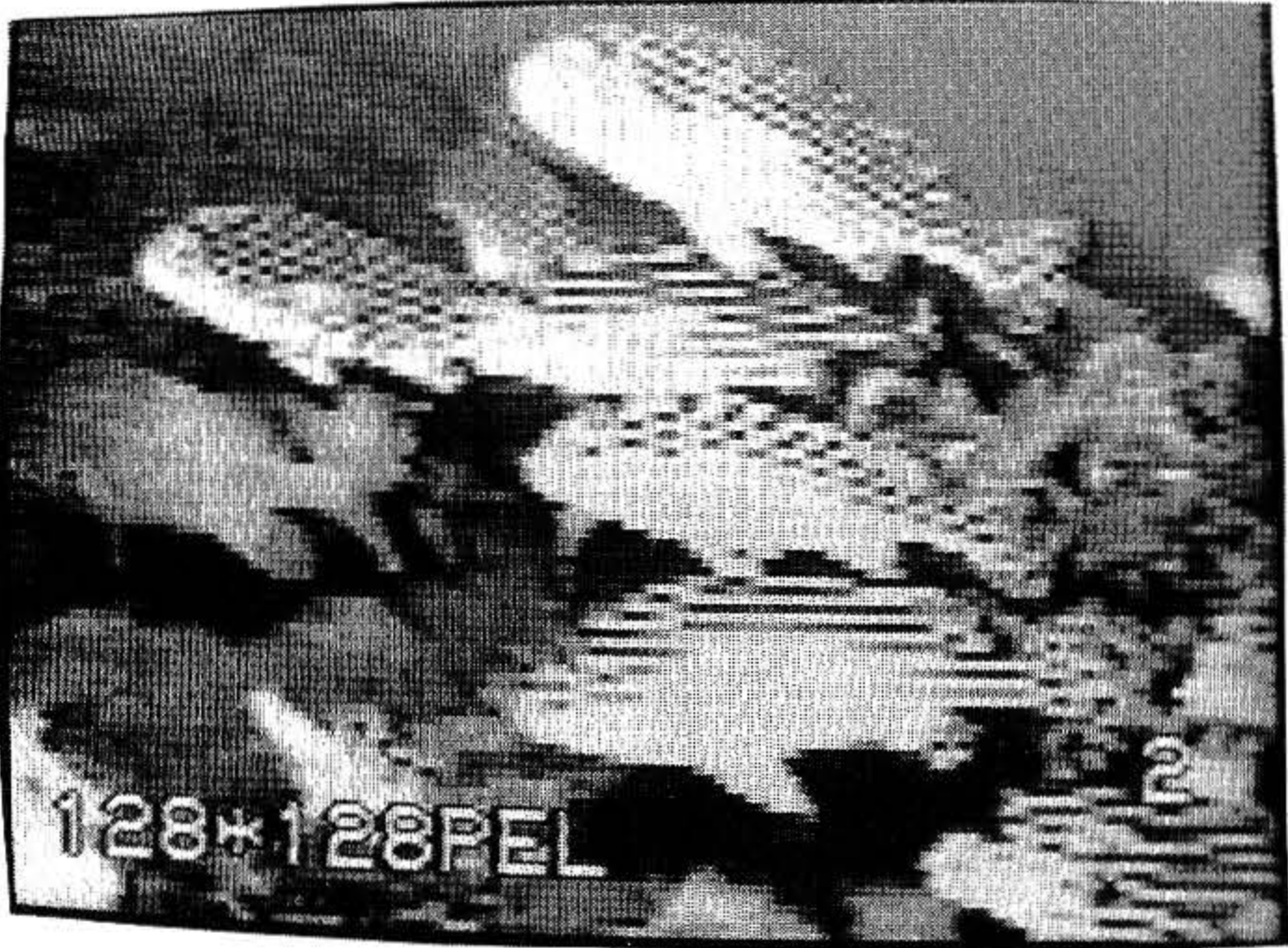
2.1, 2.2, 2.3項で決定した方式にしたがって、実際に試験装置を製作した。この試験装置の系統図と各部の動作を図2に示す。



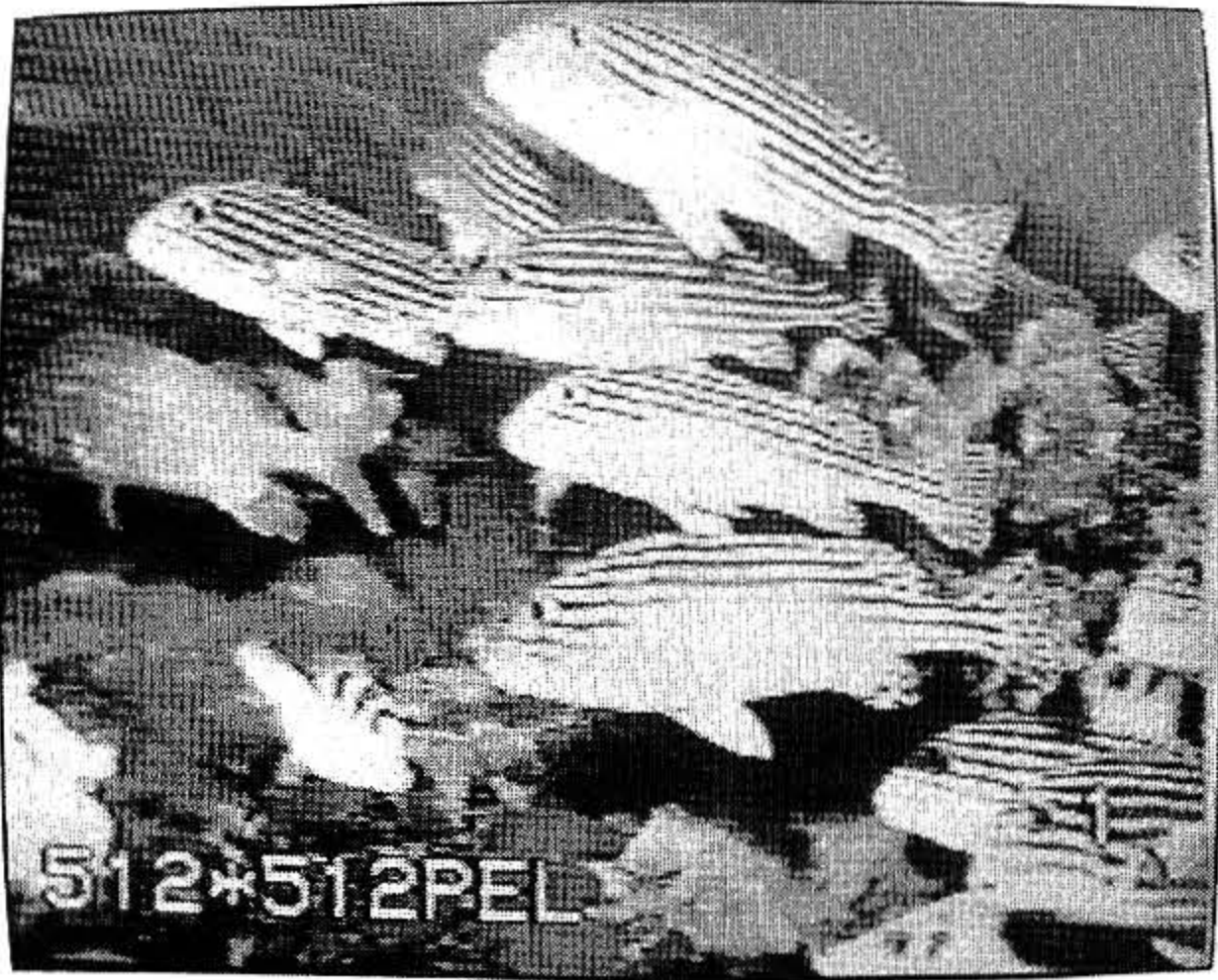
①



③



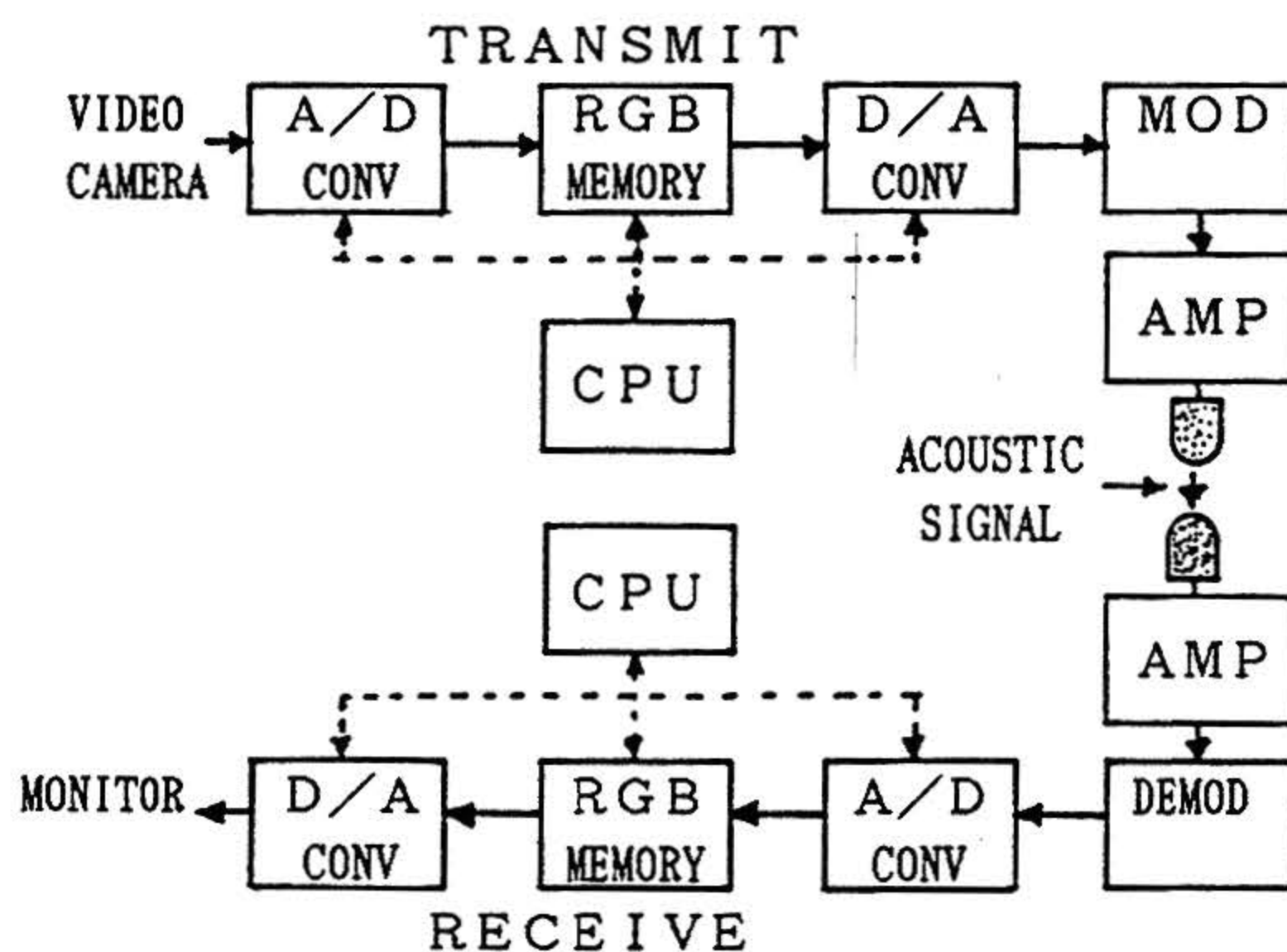
②



④

① 送信 原図	③ 256 × 256 画素
② 128 × 128 画素	④ 512 × 512 画素

写真1 画素数の違いによる画像の比較
Photo.1 Result of number of picture cell



TRANSMIT (送信側)

回路名	動作・機能
A/D CONVERTER	ビデオカメラ等で得られるNTSC方式のカラービデオ信号を8bitのRGBデジタル信号に変換する。同期信号を分離する。
RGB MEMORY	RGB信号をそれぞれ定められたメモリー領域に格納する。
CPU	次の制御をおこなう。 (1) 画像の取り込みタイミング (2) メモリーへの書き込み (3) メモリーからの読みだし速度の制御 (4) 同期信号の付加
D/A CONVERTER	RGB信号を図3のような周波数に対応したSCFM信号に変換する。
MODULATOR	適当な搬送周波数のSSB-AM方式の変調を行う。
AMP	電力増幅を行い、送波器を駆動する。

RECEIVE (受信側)

AMP	受信信号を適当なレベルまで増幅する。
DEMODULATOR	SSBAM 信号をSCFM信号に変換する。同期信号を分離する。
A/D CONVERTOR	SCFM信号の周波数変化をRGBごとに8bitの輝度信号に変換する。
RGB MEMORY	色同期信号に従って、RGBそれぞれのメモリー領域に書き込む。
CPU	次の制御を行う。 (1) 同期信号のパルス幅検出 (2) RGBメモリーへの領域指定 (3) メモリーからの読みだしタイミング・速度変換
D/A CONNVERTOR	RGBデジタル信号からNTSC方式のカラービデオ信号への変換

図2 カラー画像伝送試験装置の系統図

Fig.2 Block diagram of test devices for color picture transmit

この装置においては、ほとんどの制御は、マイクロプロセッサ (CPU) による処理により行っている。このCPUの作動速度が、各部の動作速度に影響を与えるので、できるだけ高速のCPUを使用する方が望ましいが、ここではソフトウェアの開発の容易さや、インタフェース等の周辺回路の多様な選択が可能である等の理由から、Z-80Bを使用した。また、変調回路のように安定性が要求されるものについては、再現性を考慮してできるだけ市販の専用のモデム用LSIを使用した。

2.5. 画像信号の構成

この試験装置から送出される信号は、2.1, 2.2項で述べたように、輝度信号と同期信号から構成されている。輝度信号は、基本的には、青 (B)・赤 (R)・緑 (G) の各々の輝度情報を256画素分を、順番に伝送して1本の走査線を形成し、さらにその走査線を256本伝送することにより、1画面を形成するという一連の動作を行っている。各画素は、R・G・B各々について256 (8bit) 階調の輝度情報を持っているので、全体では約 16×10^6 色 ($256 \times 256 \times 256$) を表現することができる。

また、同期信号は、(1)画像の開始のための垂直同期信号、(2)各々の走査線の開始のための水平同期信号、(3)各々の色の開始を区別するための色同期信号、により構成されている。また、2.2項で検討したように独立同期方式と、強制同期方式のどちらも対応できるように水平同期を受信側で検出しないことができるようにした。

これらの信号は、SCFM (副搬送波周波数変調) 方式による伝送が可能ないように図3に示すような周波数に対応させている。この周波数は、各々伝送帯域内で高調波関係にないように選択した。輝度信号は、2,000~2,600 Hzに割り当てたが、これは信号復調用のPLLのICの性能から決めたものである。また、同期信号はすべて同じ周波数であるが、各々の同期信号の識別は、パルス幅 (垂直同期 122 msec, 水平同期 5.6 msec, 色同期 1.2 msec) により行っており、このパルス幅は、使用しているA/Dコンバータの立ち上がり時間と、CPUが同期信号を捕えることのできる時間により決定した。図4にこれらの信号と伝送時間との関係をまとめた。製作した装置では結果として、約

46秒で1枚の画像を伝送し、その伝送周波数帯域は、約2,800 Hzとなった。

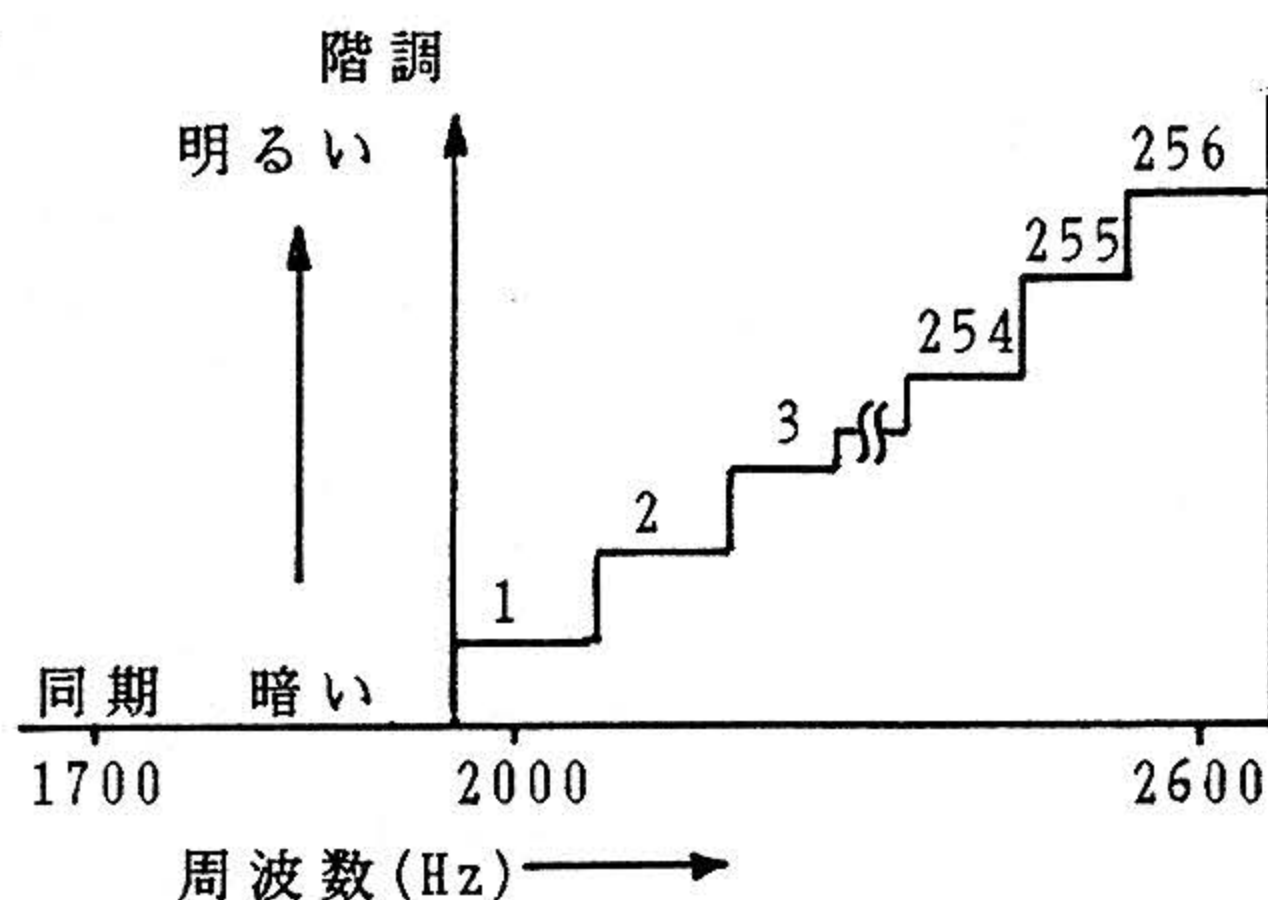


図3 画像信号と周波数との対応
Fig.3 Relation of the SCFM frequency and luminance scale

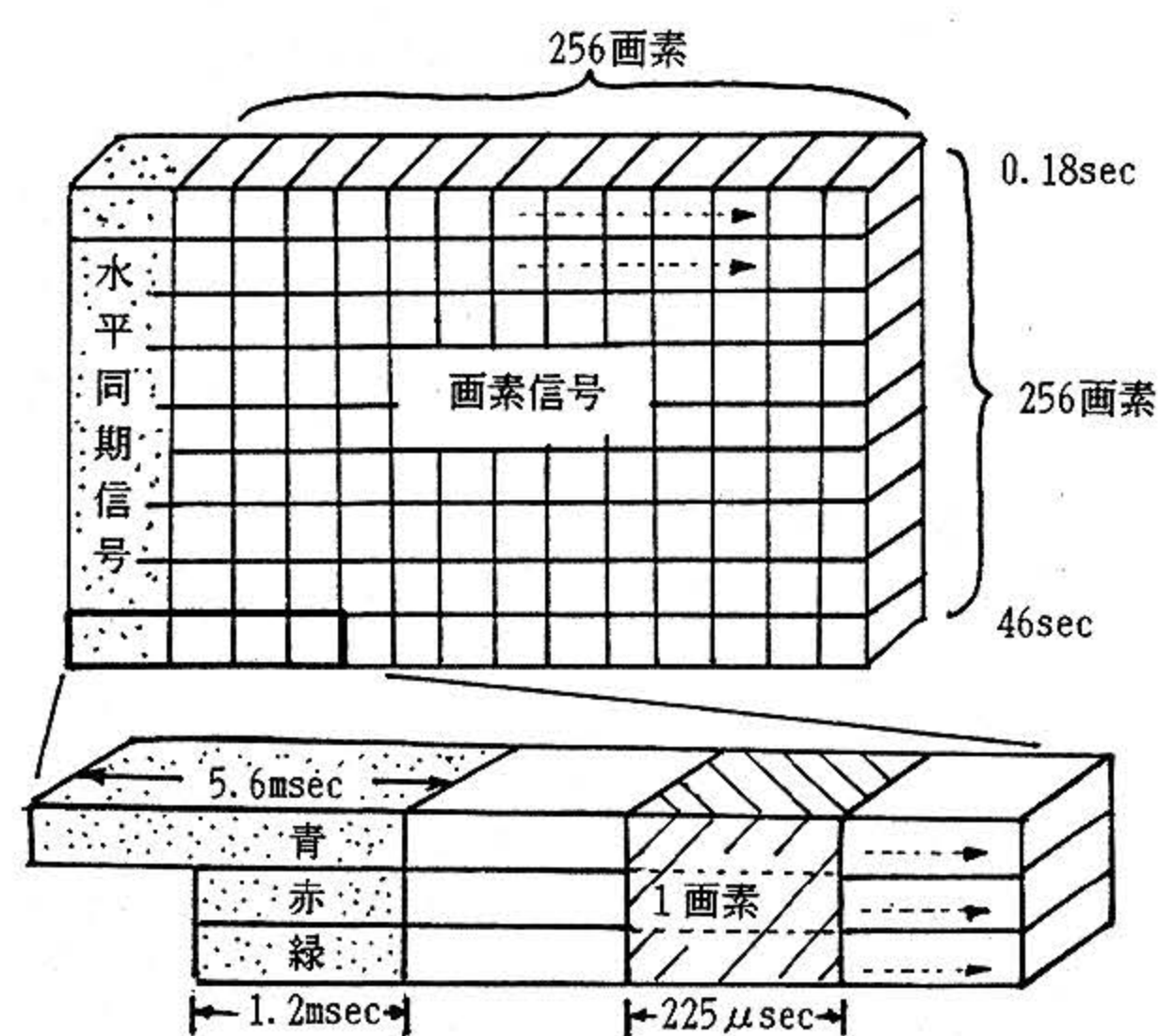


図4 画像信号の構成と伝送時間
Fig.4 Consist of a video signal and transmit time chart

2.6 カラー画像伝送に必要なS/N

人が画像を見て、判断するために最も重要な要素は、画像のS/Nであり、JAMSTECTR-17¹⁾において既に報告したように、白黒の画像を伝送する場合には、15 dBのS/Nが必要であった。し

かし、カラー画像と白黒画像とでは、見た時の認識に大きな違いがあるので、カラー画像の場合の S/N を検討を行った。この結果を、写真2に示した。ここでは、製作した試験装置（送信部）により画像を実際に送信し、伝送路の途中に混入した白色雑音のレベルをパラメータとし、 S/N を変えた時の受信側の画像を示している。

この写真で分かるように、 S/N が 20dB までは画質の改善度は顕著であるが、それ以上ではほとんど変化が見られない。この結果から、我々は S/N が 20dB 以上であれば、海底において未知の物を発見したとしても、十分対応することが可能であると判断し、この値をカラー画像の検出の域値とした。

3. 送信レベルの算出

2.6 項において、カラー画像の伝送に必要な S/N を求めたが、この値を基にして「しんかい 2000」に搭載する実用的なシステムを考えるために、ソーナ方程式により送信レベルを求め、さらにそこから必要とされる送波器の送感度を求める。なお、ここで伝搬距離は「しんかい 2000」システムの行動範囲から考えて 3000 m とした。

一般にソーナ方程式は、次の式で与えられる。

$$SL = TL + NL + DT \quad \cdots (1)$$

ただし、 SL = 送信レベル (dB re 1 μ bar)

TL = 伝搬損失 (dB)

NL = 雑音レベル (dB/ $\sqrt{Hz}$)

DT = 検出の域値 (dB)

である。ここで、 TL は伝搬距離 r (m)、吸収損失を α (dB/Km) とすれば、 $TL = 20 \log r + \alpha r \times 10^{-3}$ である。なお、 α は、Shulkin & Marsh の実験式から、周波数が 5 k ~ 40 kHz の間では、水温を 1.7 °C とすると次式のようにになる。⁹⁾

$$\alpha = 10.3 \times 10^{-3} f^2 \quad (\text{dB/Km})$$

ただし、 f : 周波数 (kHz)

しかし、我々の実測では、⁹⁾ 垂直方向の伝搬における α は、Shulkin & Marsh の式に比べ 2 ~ 3 dB 小さくなる傾向があるが、ここではこの分はマージンと考えることにする。

また、 NL を算出するために「なつしま」の放射

雑音の低減目標値 $N_{sp} = -5 - 20 \log f$ (kHz) を使うこととし、受信帯域幅を 2.4 項で述べたように 2,800 Hz とする。さらに、受波器の指向性利得を 16dB (30 deg) とすれば、受波器に入力される NL は、 $NL = N_{sp} + 10 \log 2800 - 16$ となる。さらに、 DL は 2.5 項の試験結果から求めた $S/N = 20$ dB を使用することとし、これらの値を式(1)に代入し、パラメータとして SL を求めた。その結果を図5に示した。

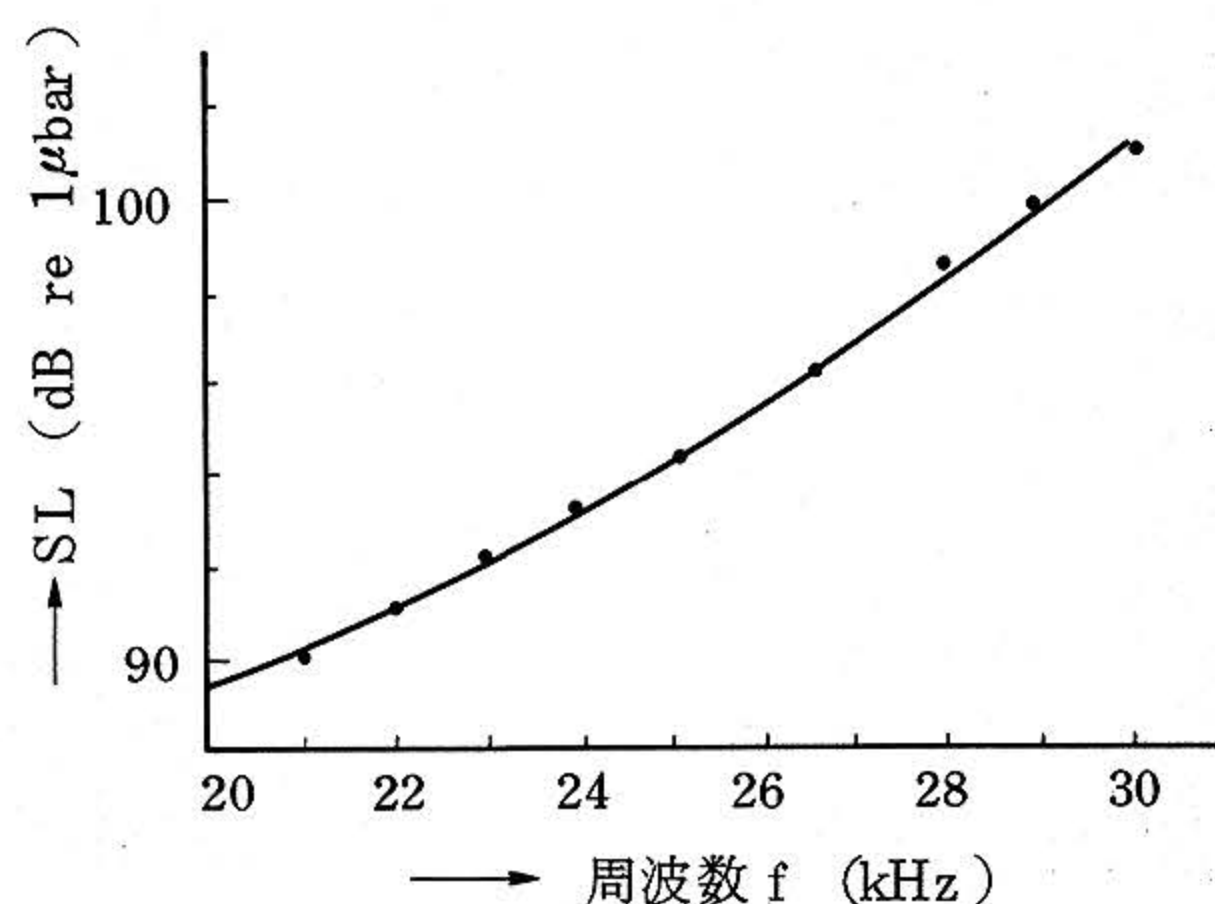


図5 送波レベル SL の算出 (伝搬距離 3000m)

Fig.5 Relation of SL and frequency

次に、この結果から実機を製作するために必要とされる送波器の送感度を求める。送信レベル SL は、使用する送波器の送波電圧感度と印加電圧との関係において、次式のように表わすことができる。

$$SL = Trs + 20 \log E \quad \cdots (2)$$

ただし、 Trs = 送波電圧感度 (dBV)

E = 印加電圧 (V)

また、(2)式を印加電圧との関係に書き換えると、

$$SL = Trs + 10 \log PZ \quad \cdots (3)$$

ただし、 P = 印加電力 (W)

Z = 出力インピーダンス (Ω)

画像伝送システムを潜水船に搭載する場合、最も大きく制約を受けるものは、電力増幅器である。このシステムにおいては、変調方式に SSB-AM を使用するため、直線性の良好な B 級の増幅器を使う必要があり、しかも SCFM 方式であるため、デューティ比 100 % の連続的送信となる。したがって、潜水船の限られたペイロード、放熱、消費

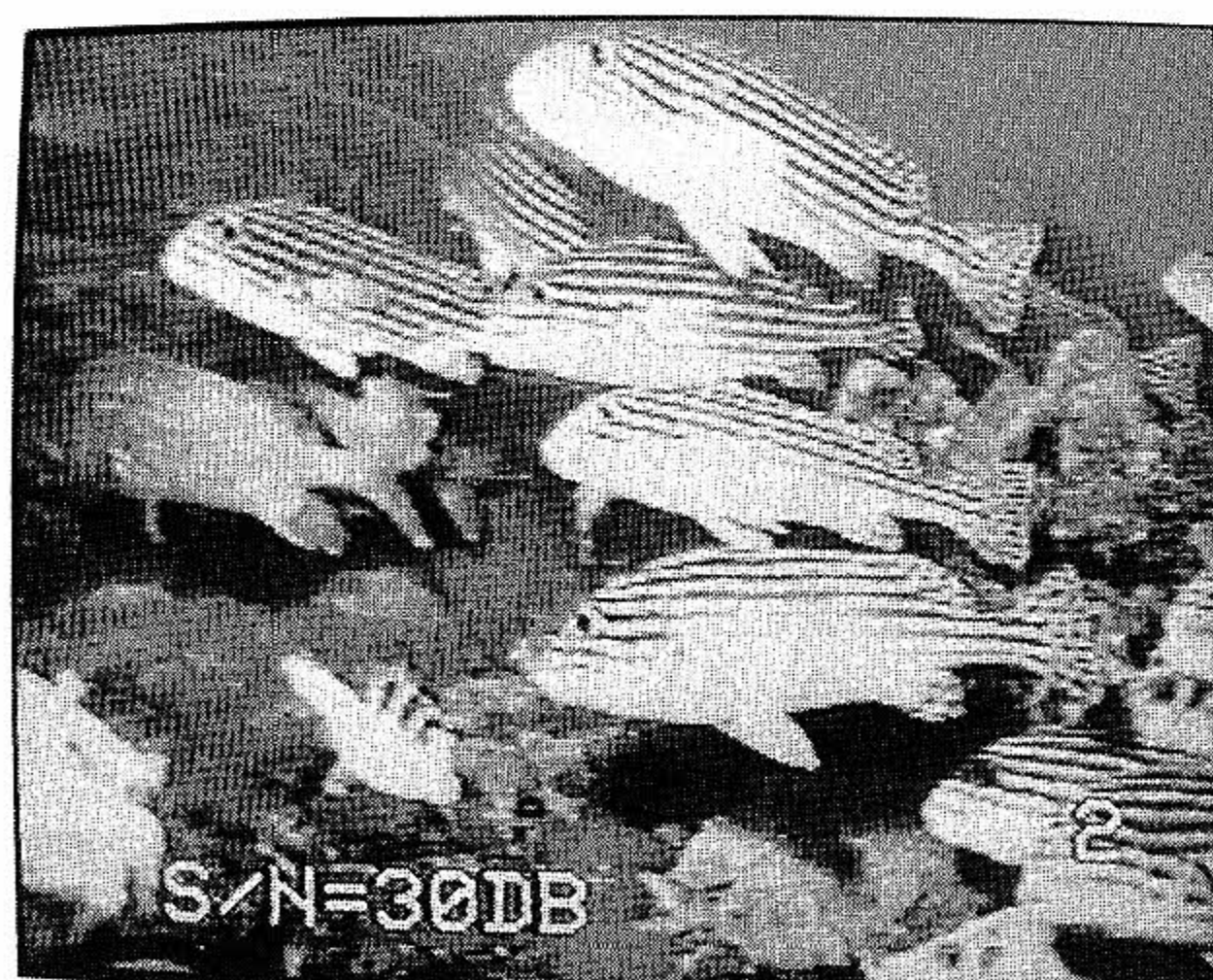
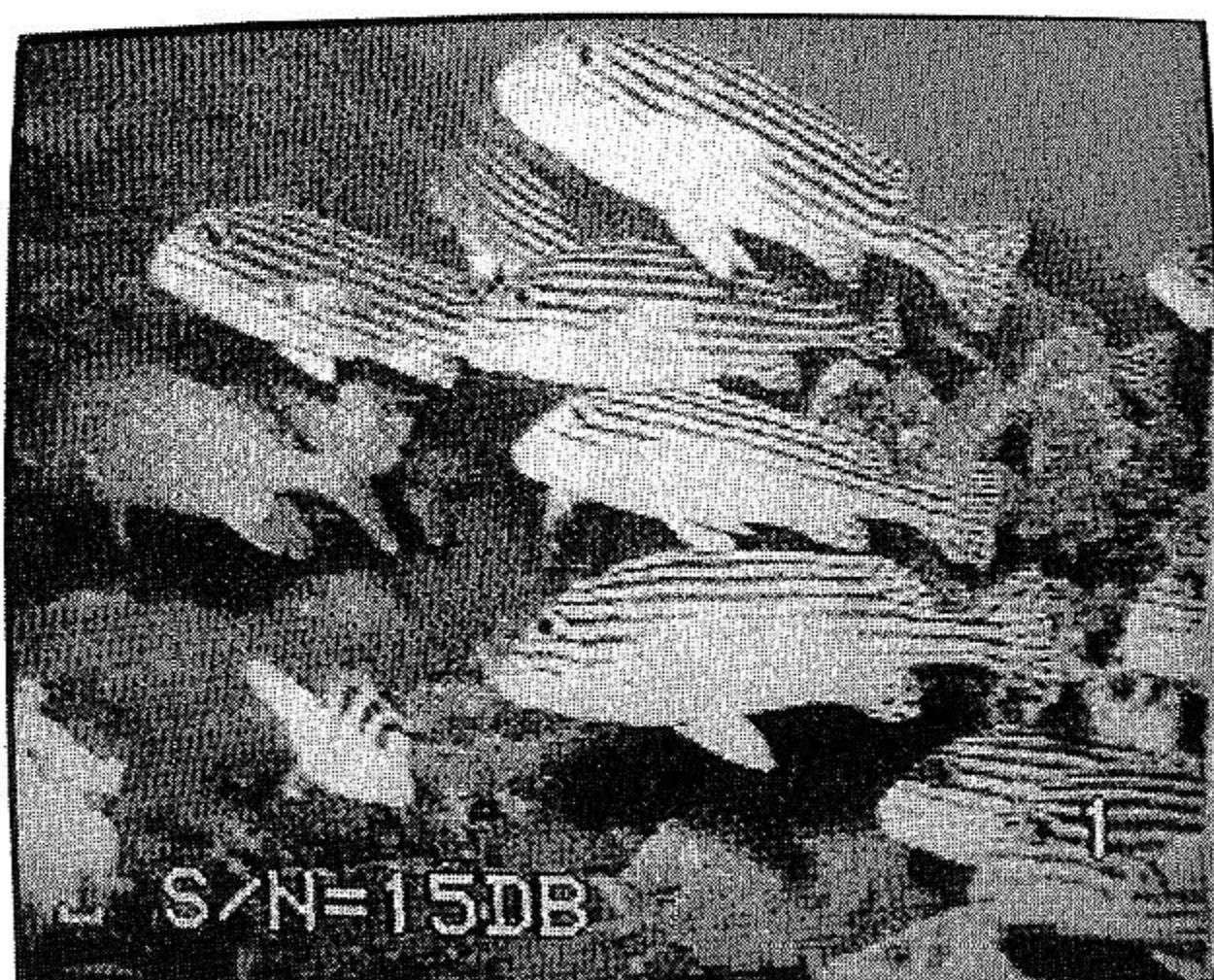
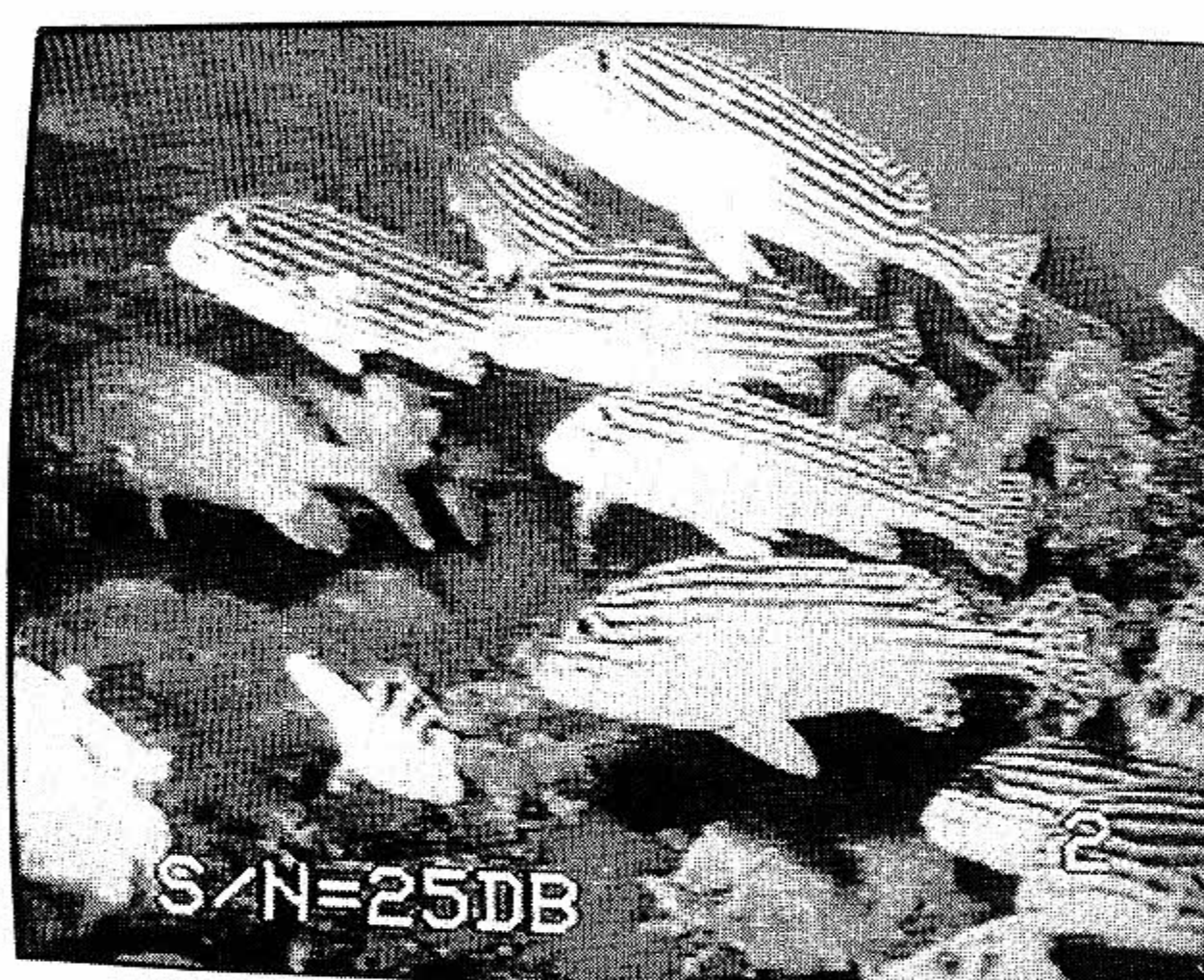
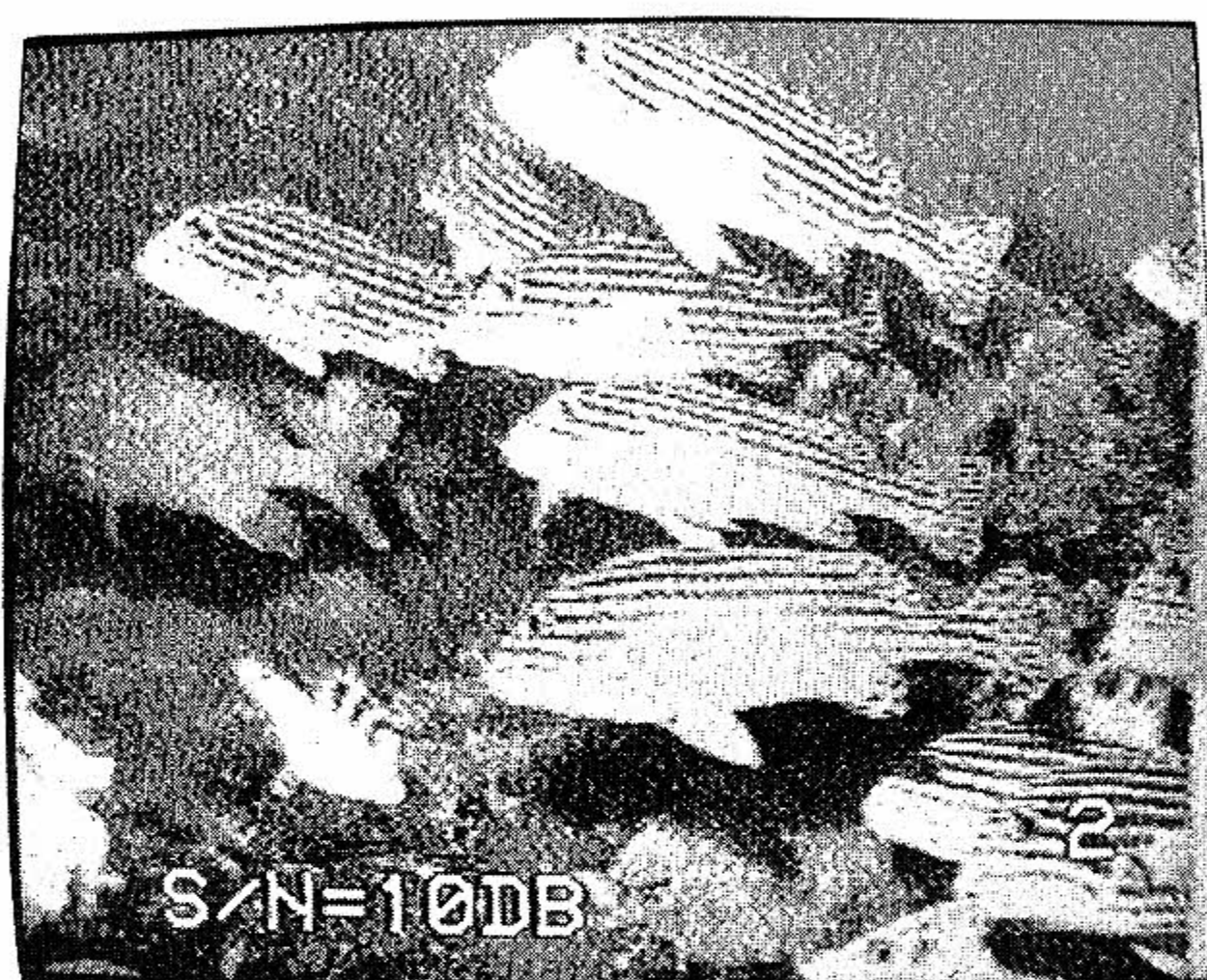
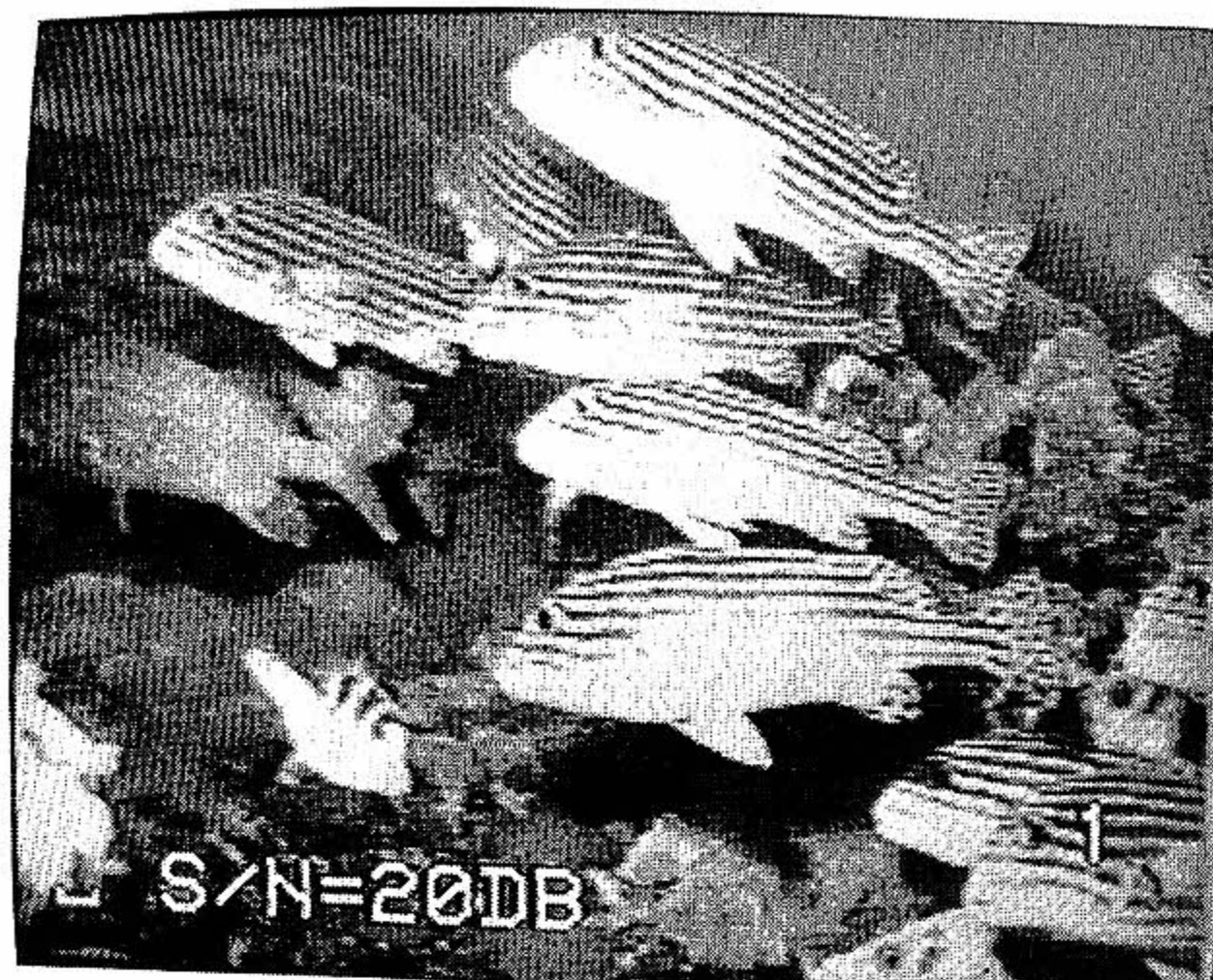
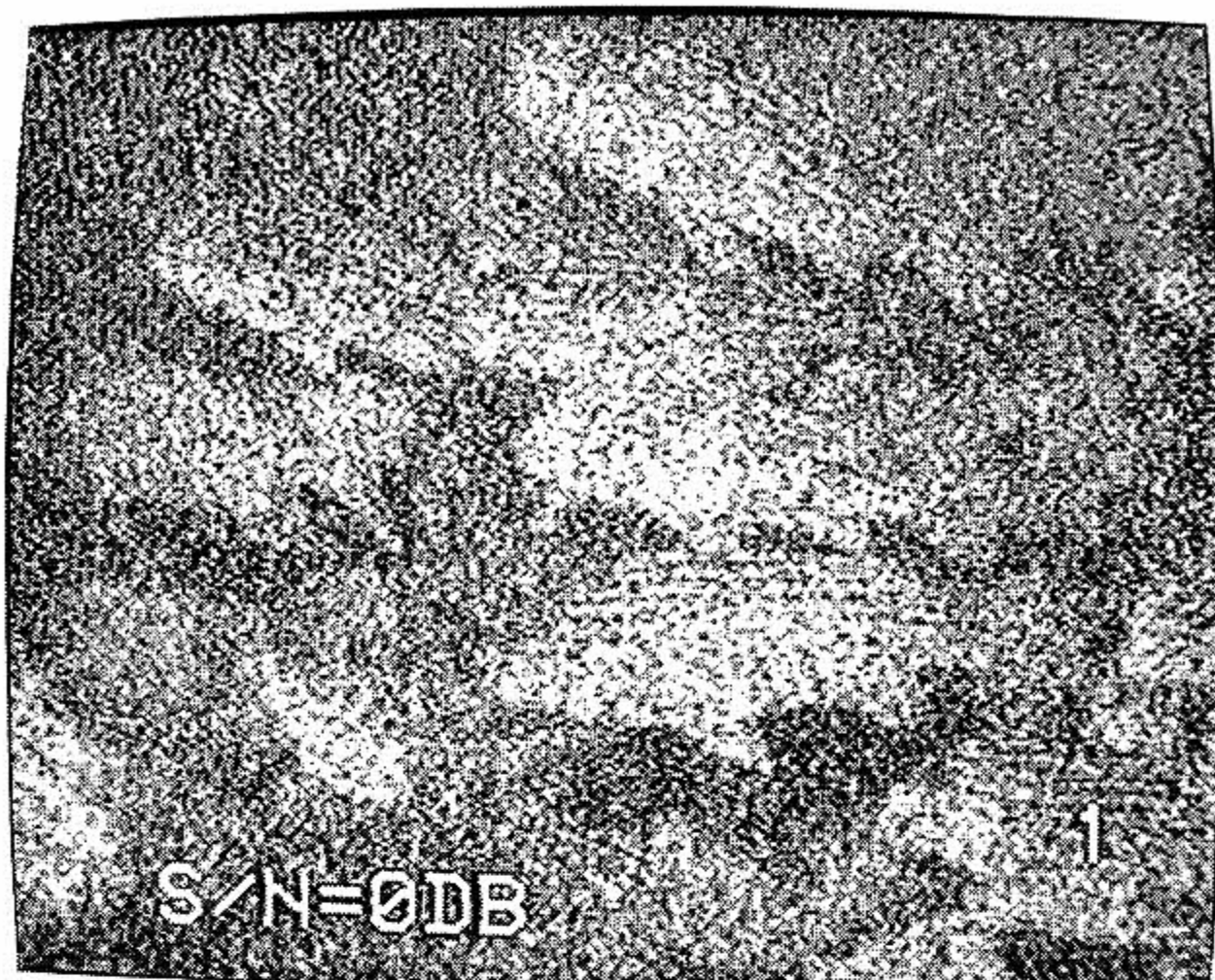


写真2 S/Nをパラメータとした受信画像の比較
(送信原図は写真1の①)

Photo.2 Result of noise addition to original picture

電力等を考慮し、出力インピーダンスを $100\ \Omega$ 程度とすると、 200 W 程度の電力増幅器（潜水船の水中通話器と同程度）が十分実現可能であると考えられる。したがって、この値を式(3)に代入して、SLを得るために必要な送波感度 T_{rs} を求め、伝送周波数をパラメータとして図6に示した。この図から、 T_{rs} は、 25 kHz において 50 dB 以上必要であることが判明したので、この値を実現するために必要な送波器を開発することとした。

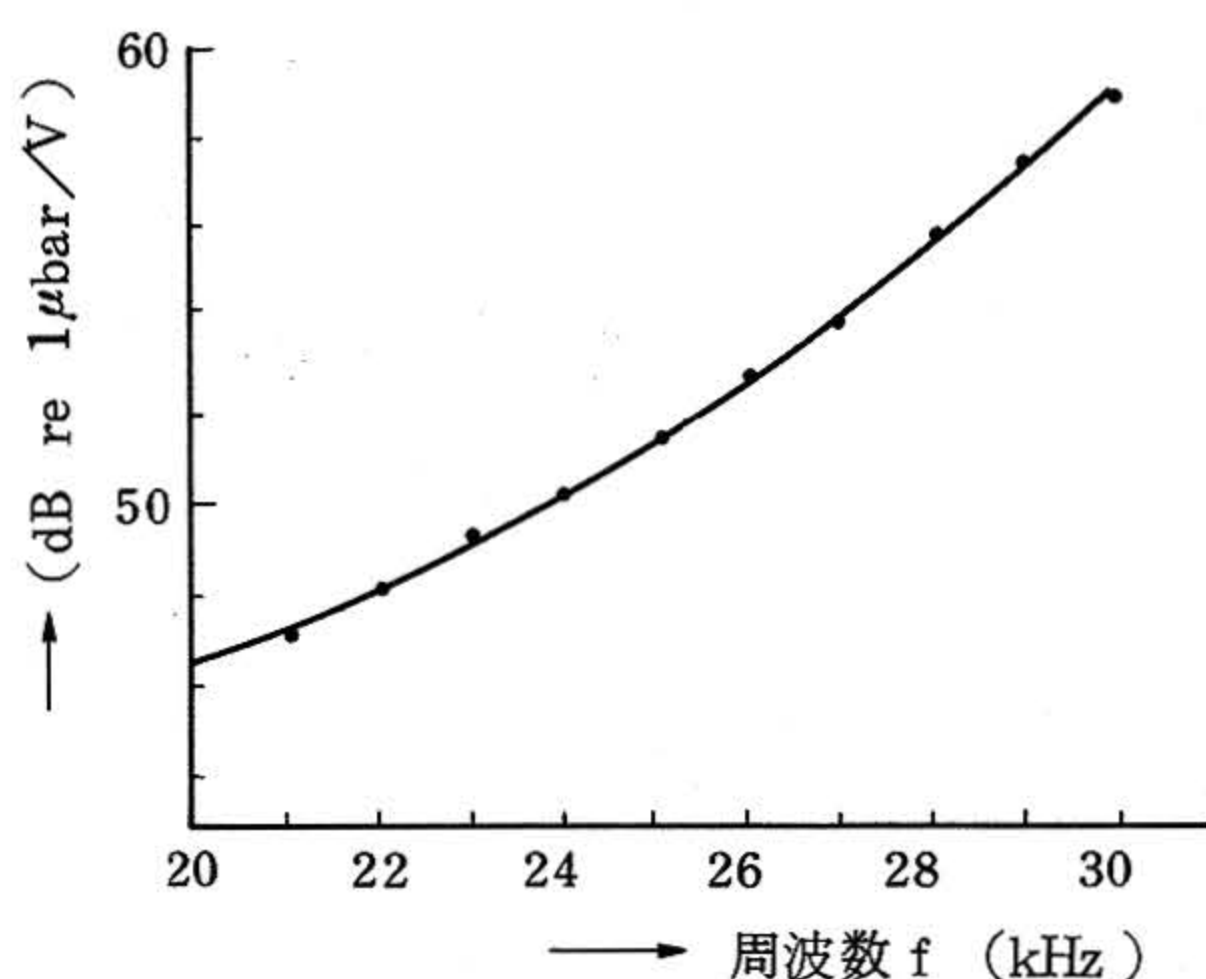


図6 送波感度 T_{rs} の算出
Fig.6 Relation of T_{rs} and frequency

4. 送波器、受波器の開発

4.1 送波器の開発

3項で求めた送波感度をできるだけ広い周波数帯域で実現し、しかも「しんかい2000」で使用する事が可能な耐圧送波器を日本電気（株）と海洋科学技術センターとの共同研究（広帯域送波器の研究）で開発した。

まず、3項の結果等を基にして、表1-aのような送波器の目標性能を決めた。この目標値を達成するために、図7のような構造を持つ送波器を試作した。⁸⁾ この送波器は、基本的には、ボルト締めランジュバン型振動子に、特定の固有音響インピーダンスと長さを持った整合層を付加して1つのエレメントとし（写真3-a）、適当な指向特性を得るために、このエレメントを写真3-bのように9個（3行×3列）配列したものである。さらに、全体を油漬けとし、圧力バランスの構造

としている。

この送波器は、完成後、高圧水槽での加圧し、さらに超音波水槽で特性の測定を行い、表2-bに示したような結果が得られ、要求性能値を十分満足していることを確認することができた。図8に試作した送波器の周波数特性、図9に指向特性（ 25 kHz ）を示した。これらの図では、参考として従来の海洋実験に使用してきた送波器（OCEANO 製 PET-191型）の特性も併せて示している。図8で分かるように送波電圧感度は従来のものより、 20 dB 以上も改善することができ、全体的に平坦な特性を得ることができた。

表1 試作した送波器の性能

（要求目標値と実測値との比較）

Table 1 Performance of Transducer

項目	a. 目標値	b. 実測値
周波数域	$20\sim 30\text{ kHz}$ ($\pm 3\text{ dB}$)	$20\sim 30\text{ kHz}$ ($\pm 3\text{ dB}$)
指向性 (-3 dB)	$30^\circ\sim 40^\circ$	35.5° (25 kHz にて)
送波電圧感度	50 dB 以上 (25 kHz にて)	57 dB (25 kHz にて)
許容電気入力	200 W 以上 (連続波)	200 W
耐水圧	250 kg/cm^2 以上	250 kg/cm^2

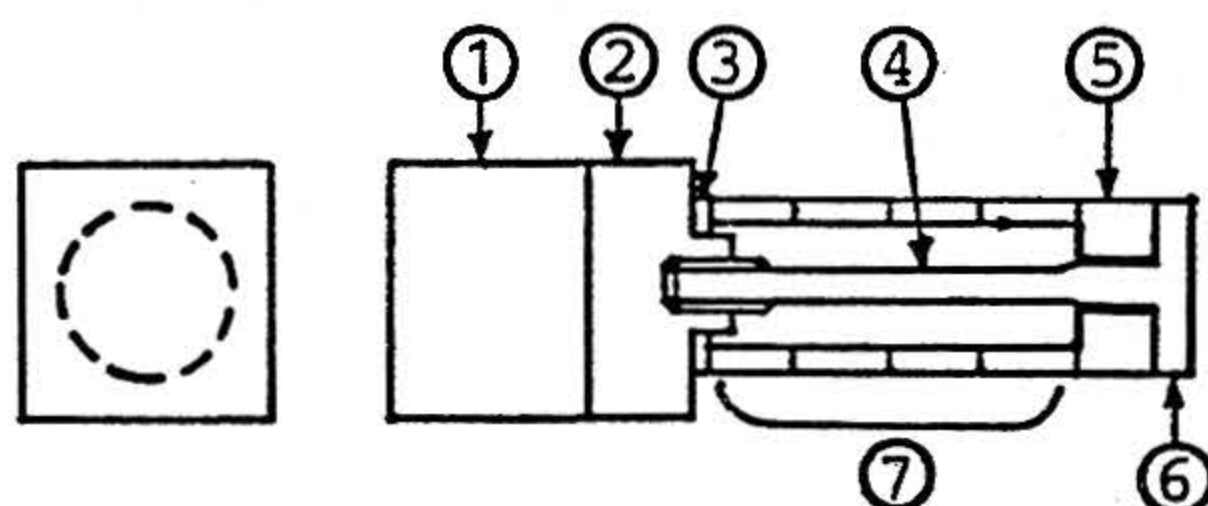


図7 送波器の構造

Fig.7 Structure of the projector

- ① Matching plate ② Head mass
- ③ Disk ④ Bolt ⑤ Tail mass
- ⑥ Bolt head
- ⑦ Piezoelectric ceramic stack

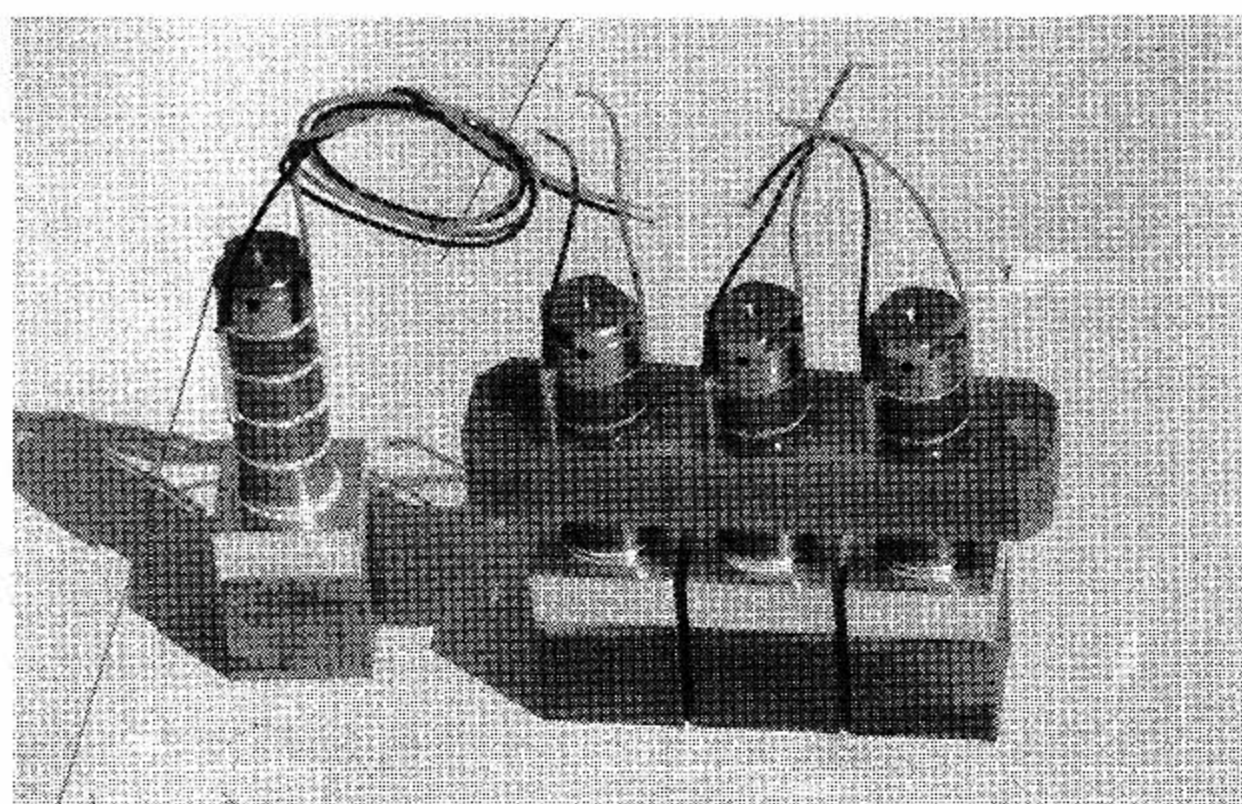


写真3-a 各エレメントの外観

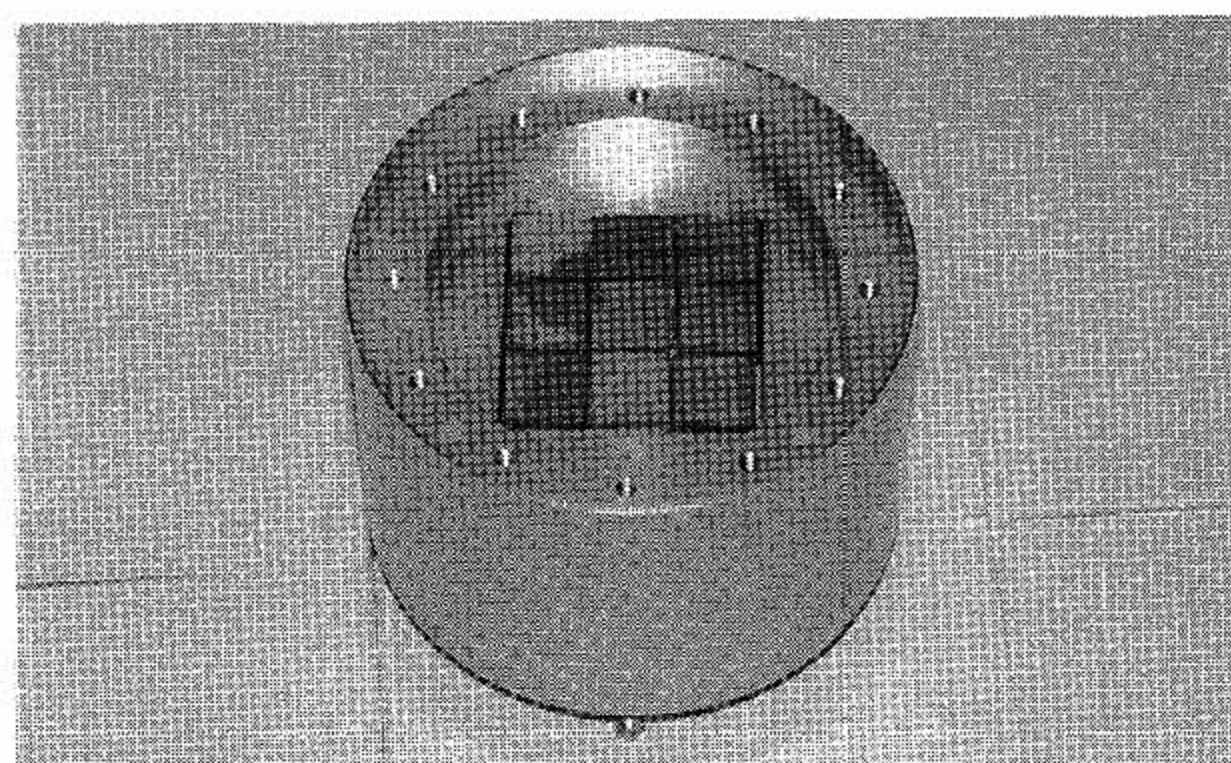


写真3-b 各エレメントの配列方法

写真3 試作した送波器の外観
Photo.3 Appearance of developed projector

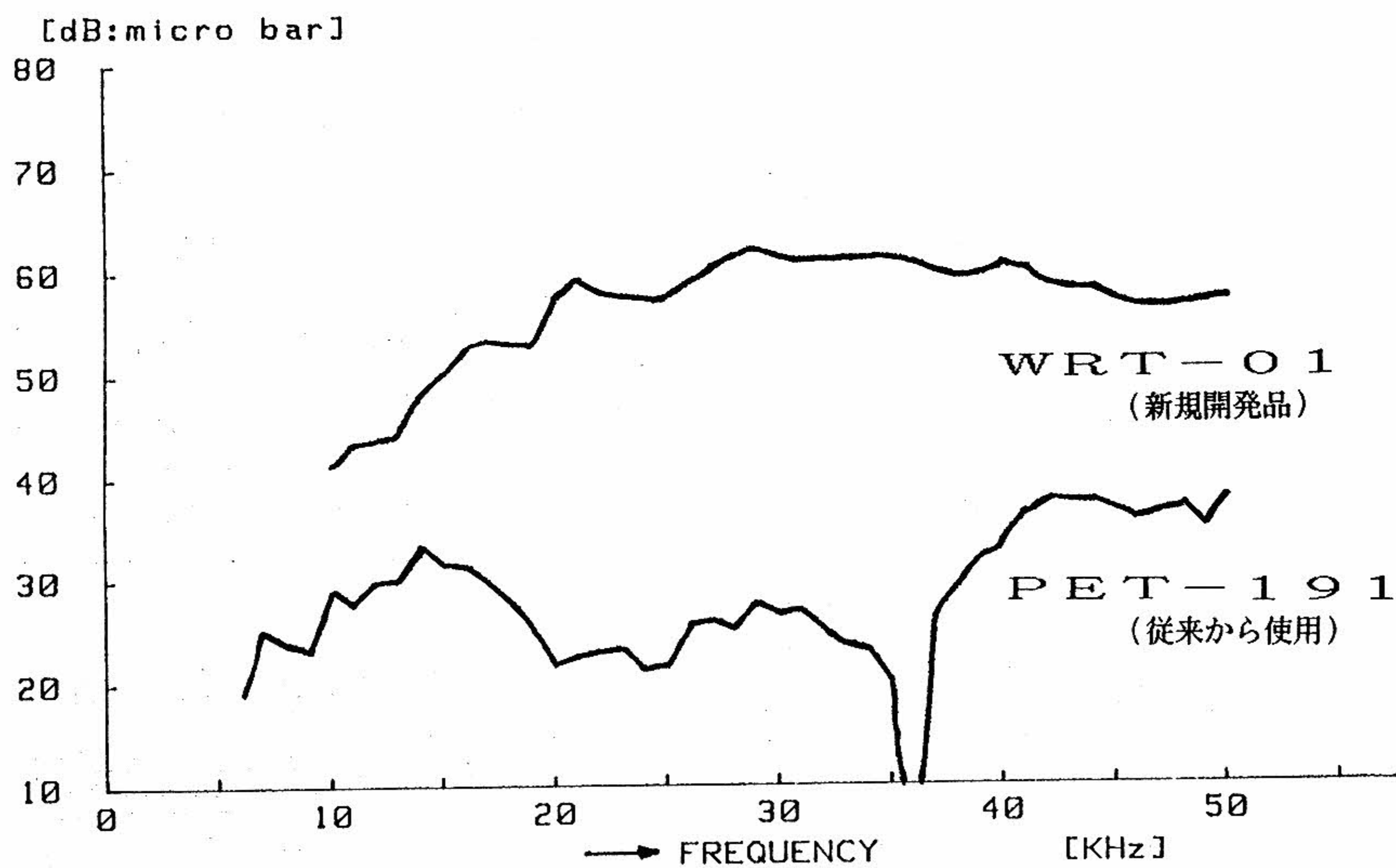


図8 送波電圧感度周波数特性
Fig.8 Transmitting voltage sensitivity characteristics

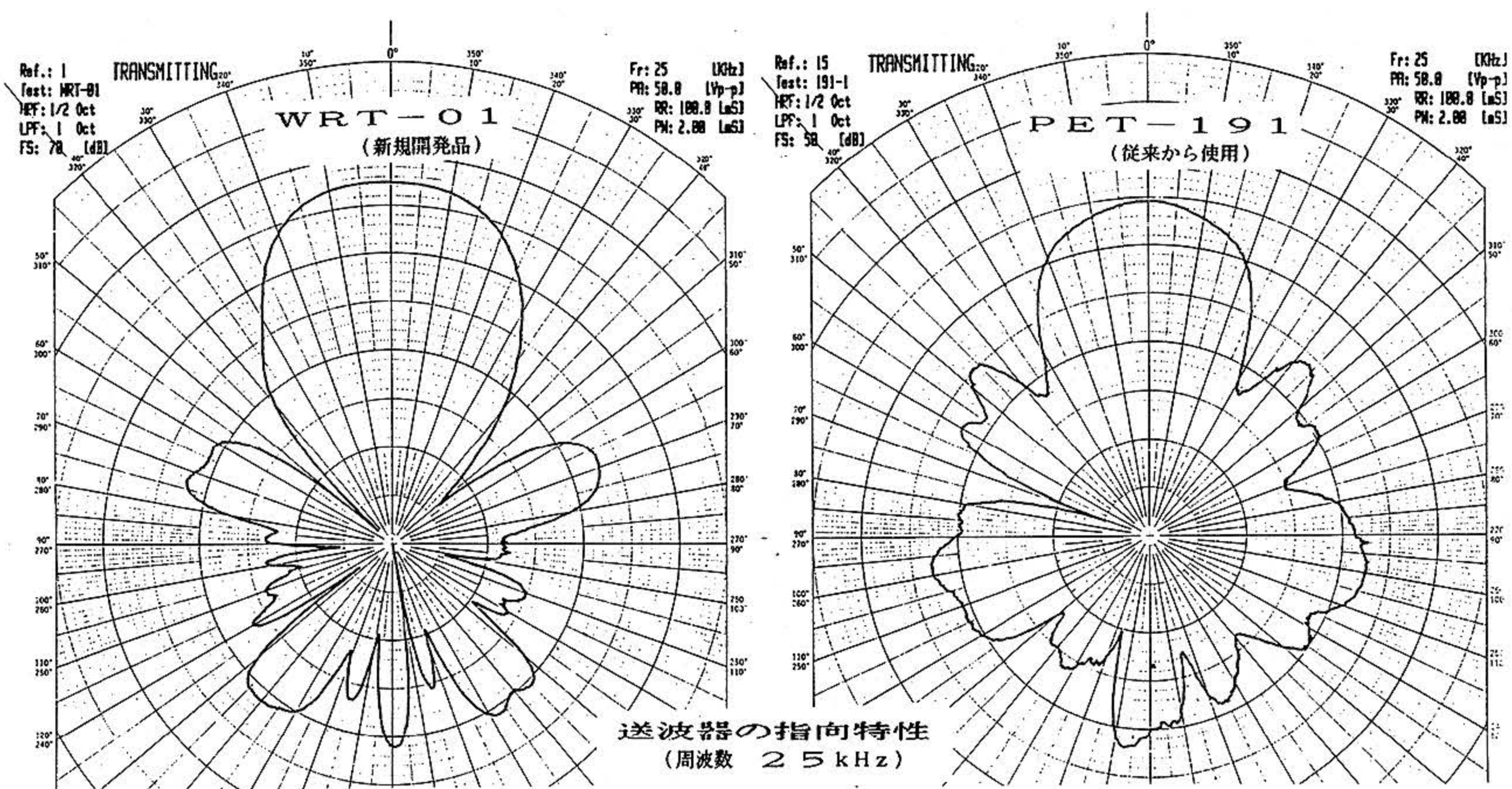


図9 送波器の指向特性
Fig.9 Vertical directivity pattern at 25 kHz

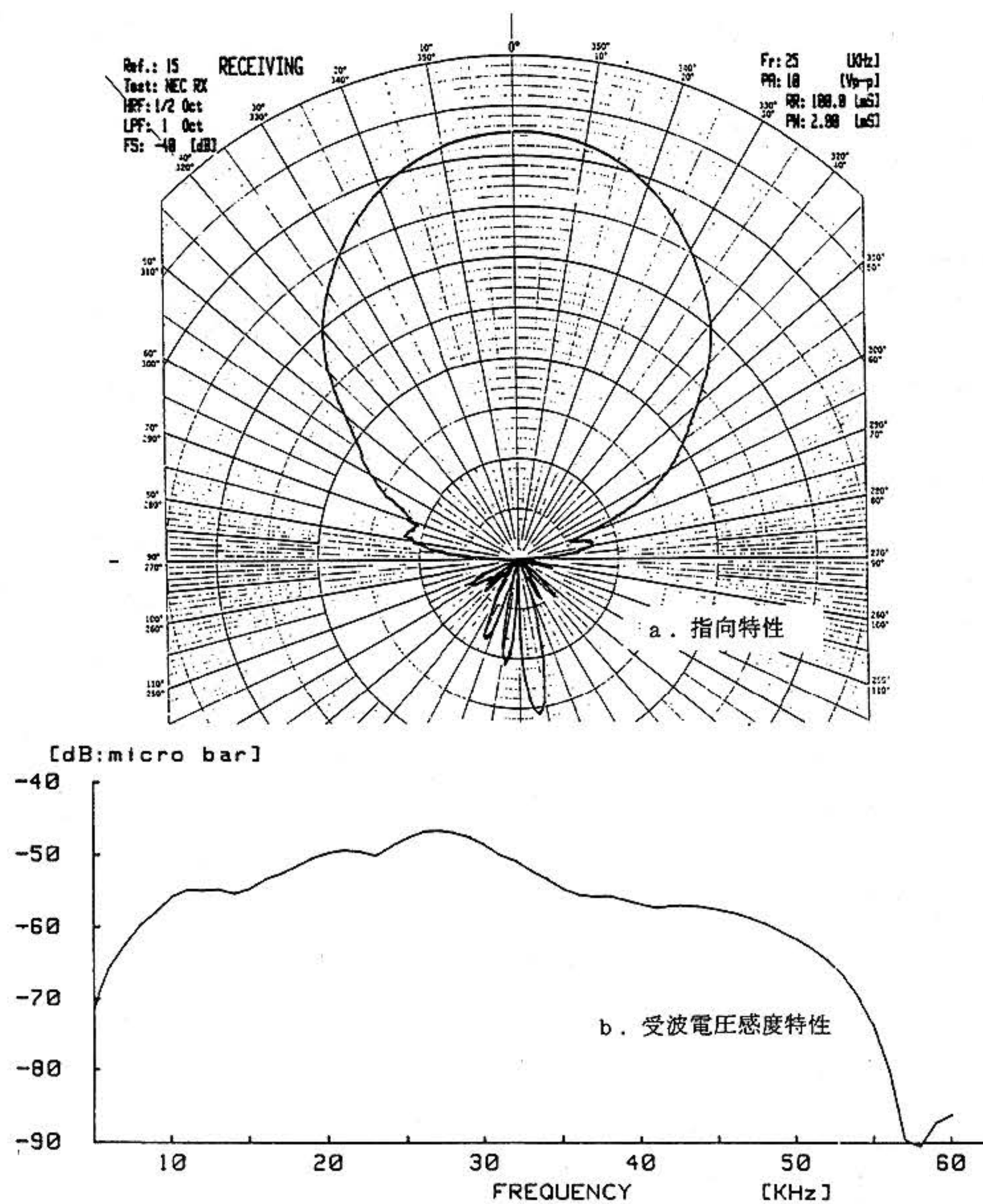


図10 受波器の特性
Fig.10 Characteristics of hydrophone

4.2 受波器の製作

このように整合層をもつ構造の送波器の特性が非常に良いことが確認できたので、同様な構造を持つ、船上用の受波器を製作した。この受波器は、船上から10～20m程度水中に入れるだけなので、耐圧構造とする必要はないため、容器の中は空気室である。また、受波器の容器内にシェイディングアンプを設けて指向特性を改善し、さらにプリアンプを設けS/Nの改善を図った。図10-aにこの受波器の周波数特性、図10-bに指向特性を示した。これらの結果から、この受波器は非常に平坦な周波数特性と、サイドローブの十分抑圧された指向特性を持っており、画像信号を受信するには適したものであることが分かった。

5. 実海域試験

5.1 試験方法

3, 4項で述べてきたような装置を使用して、昭和62年5月及び10月に実海域における画像信号の伝送試験を行った。試験は「なつしま」において、遠州灘の沖合33°36' N, 137°56' Eを中心とする半径3マイルの海域で行った。試験方法は、²⁾ 図11で示したように海中音響信号伝搬試

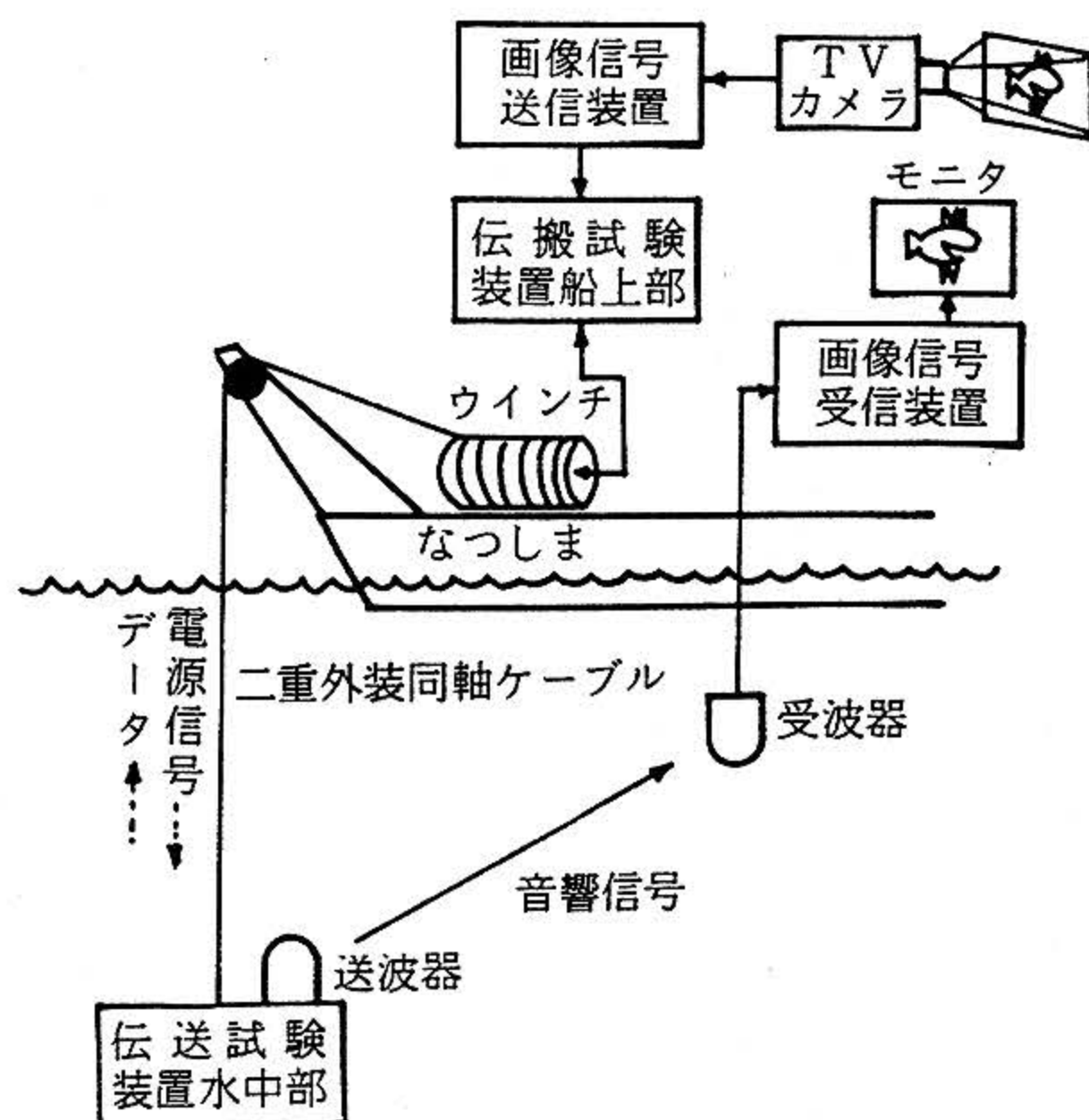


図11 実海域試験の概念図

Fig.11 Basic system of the sea trial

験装置を利用して、船上部で発生させたカラー画像信号を二重鎧装同軸ケーブルを介して水中部に伝送し、そこで音響信号に変換して送波器で送出するという方法を使った。最大伝送距離は、「なつしま」に装備されている二重鎧装同軸ケーブルの長さの制約により3,500m（水深方向）までとした。海域試験では主に、信号伝送距離や周波数及び、送波レベルをパラメータとし、受信画像の劣化や同期信号の乱れの状態を調査した。

5.2 試験結果及び考察

実海域試験の結果、次のような知見が得られた。

(1) 「しんかい2000」システムにおいて画像信号の伝送用として選択した周波数帯域（20～30 kHz）の全域において3,500mまでの伝送距離では、伝送同期方式により、写真4-aで示した例のように非常に良質のカラー画像（S/N=25 dB以上）を得ることができた。このように3項でのソーナー方程式による検討よりも良い結果が得られたのは、(1)製作した送波器の送波感度が、当初計画した要求性能よりも高い値となった。(2)水深方向の伝搬における伝搬減衰 α の値が、Shalkin & Marshの式から求めたものより小さい。等の要因がマージンとなったためと考えられる。このことを考慮すれば、3項で検討した結果は、ほぼ適切であったと考えられる。

(2) 独立同期方式では、写真4-bで示したように、画像の歪みが非常に大きくなることが観察された。検討の結果、この原因は次のような過程で生じることが分かった。

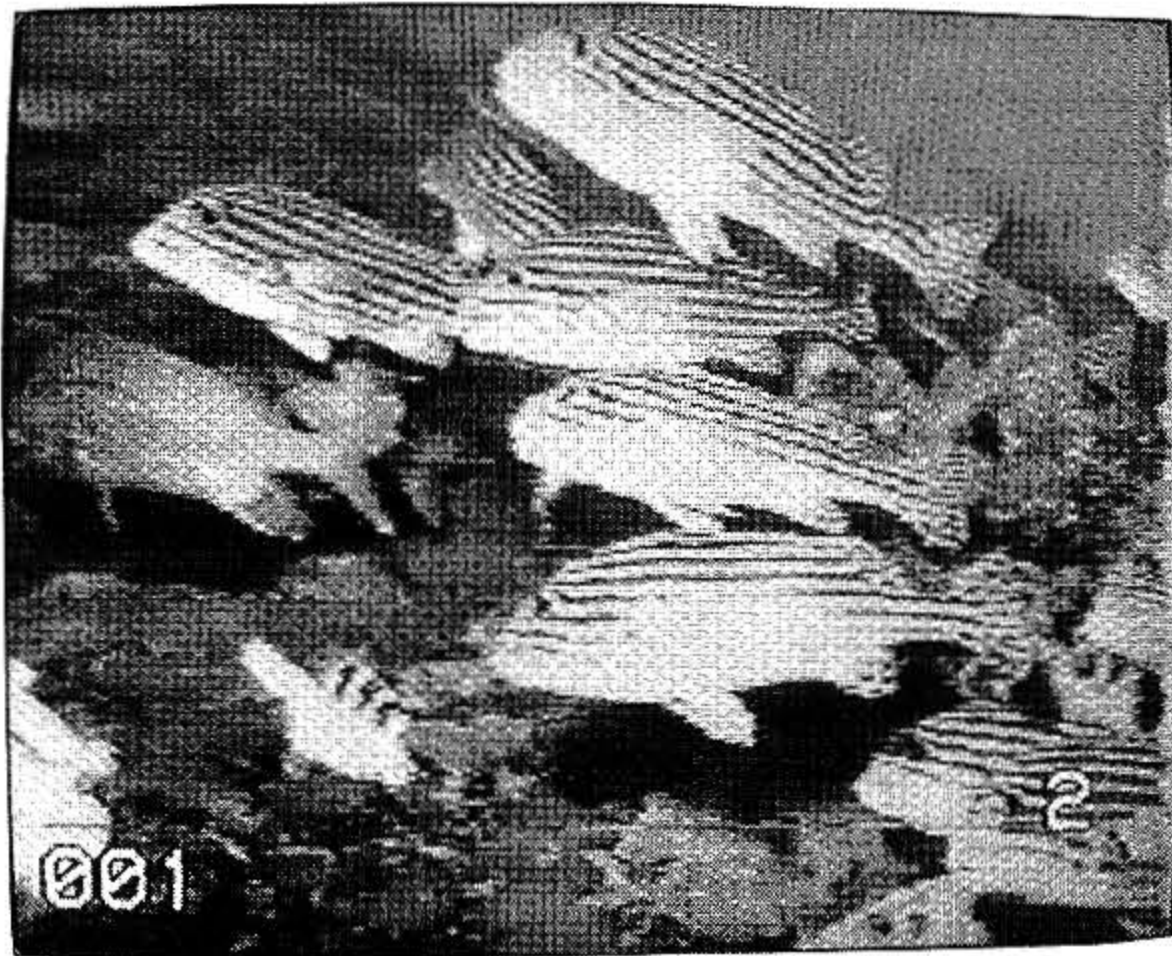
(a) 船の動揺により、二重鎧装同軸ケーブルにより吊下げられている伝搬試験装置の水中部が上下する。(b) 送波器と舷側から吊下げた受波器との間の距離が変動し、音波の到達時間に僅かなズレを生じる。(c) その結果として、各走査線の終点が違って来るが、元に戻ることはないため、この違いが蓄積されて、画像が歪む。

一方、伝送同期方式では、各走査線の始点に挿入されている水平同期信号を検出して、強制的に始点に戻されるため、走査の終点（画面の右端）で多少の歪みを生じているが、あまり顕著ではない。

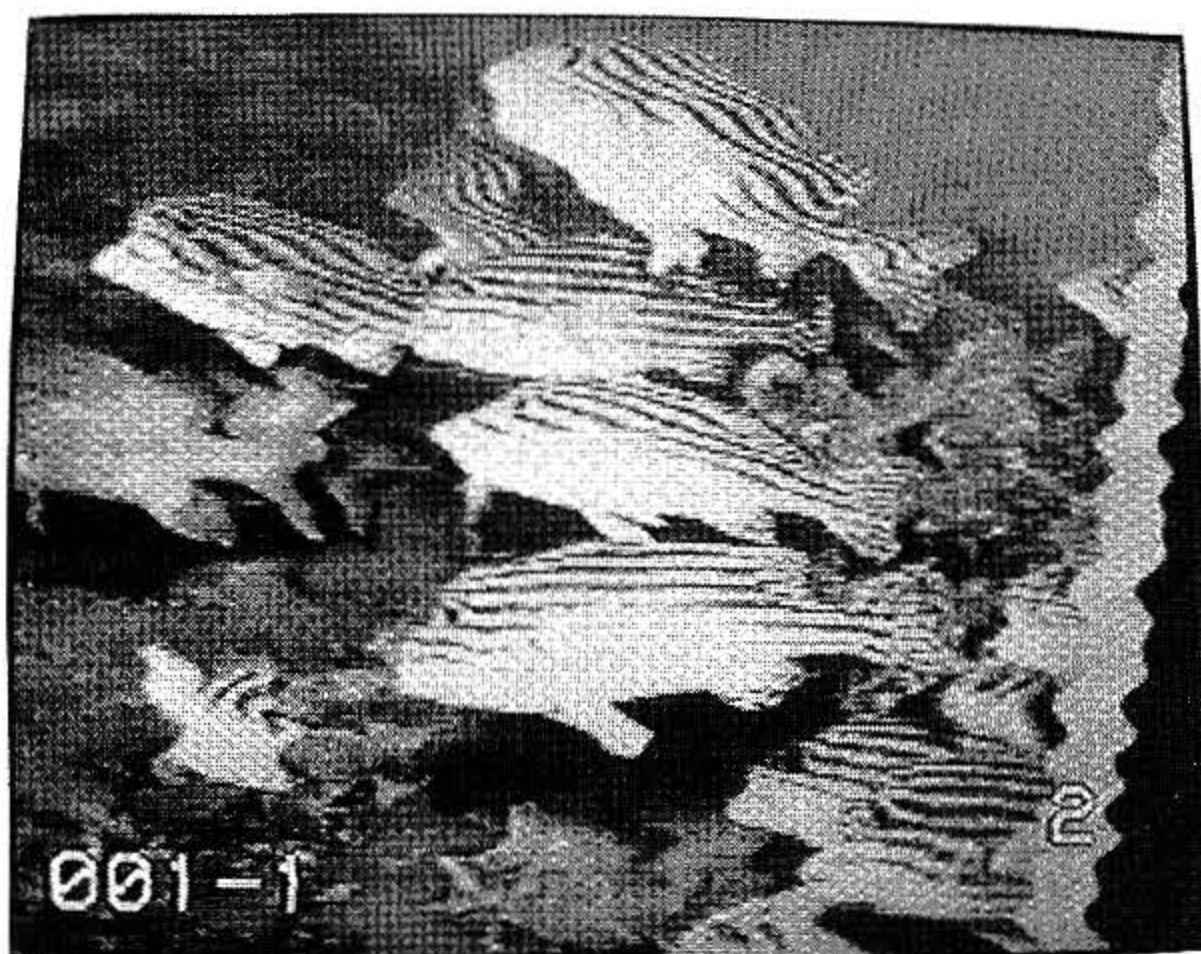
したがって、画像の走査速度に比べて極めて高

速の伝送速度を持つ電波等において、独立同期方式を使うことは、ほとんど問題はない。しかし、音響の場合は、伝送速度（海水中の音速）が電波の20万分の1であるため、実用的な画像を得るためには、伝送同期方式を使うのが適当であると考えられる。

(3) 今回の実験で使用したカラー画像の伝送試



a. 伝送同期方式



b. 独立同期方式

写真4 実海域試験における受信画像例

送信出力 200W

伝送周波数 25kHz

変調方式 SSB-AM(USB)

伝送距離 3,000m(水深方向)

Photo.4 Result of recieved picture at sea trial

験装置は、以前から使用していた送波器（PET-191型）を想定して製作していたので、伝送周波数帯域を約3kHzとしたため、伝送速度は46秒/画面にとどまった。したがって、広帯域化した送波器の効果を十分発揮できなかったが、伝送周波数の広帯域化に対する検討は、今後に委ねることとする。

6. 今後の研究方針

今までの研究から、「しんかい2000」システムにおいては、音響信号によって実用的なカラー画像を伝送することは、可能であることが分かった。今後は、このアナログ伝送方式による伝送速度の向上を計る。さらに、伝送速度の向上と伝送エラーを減少させるために、デジタル伝送方式（特にPSK方式）と画像処理の研究も併せて行い、6,500m級の潜水調査船にも適用が可能な装置の開発にも着手する予定である。

7. 謝 辞

実海域試験に際し、御助力いただいた、「なつしま」の乗組員の方々と運行部の橋本菊夫、高橋雅彦両氏に深謝する。また、送受波器に開発を担当していただいた日本電気㈱電波応用事業部・海洋技術部の杉内部長、深山課長、鈴木道也の3氏、及び第二水測技術部の佐々木主任に深謝する。さらに、画像伝送試験装置の製作に際し、御尽力いただいた湘南高周波㈱の稲葉社長、長井専務の両氏に深謝する。

文 献

- 1) 土屋利雄，網谷泰孝，青木太郎，山本浩文，中西俊之：音響による画像伝送の基礎研究。JAMSTECTR-17 53-63（1986）。
- 2) 土屋利雄，中西俊之，網谷泰孝，山本浩文，青木太郎，許 正憲：海中音響伝搬試験装置の製作及びその海上試験結果。JAMSTECTR-18 39-50（1987）
- 3) M. Kyo T. Nakanishi T. Tsuchiya Y. Amitani H. Yamamoto：“Stady on acoustic transmission system of video picture “for SINKAI 2000”.” PACON 88（1988掲載予定）

- 4) 山口開生, 中込雪男監訳: 情報通信システム AT & T ベル研究所 丸善, 40-47 (1983)
- 5) 釜江尚彦, 吹抜敬彦著: デジタル画像通信 産業図書, 13-26 (1985)
- 6) 宮川 洋, 渡部 勲著: 画像エレクトロニクスの基礎 コロナ社, 39-55 (1975)
- 7) 伊藤健一著: デジタル画像とカラー 日刊工業新聞社, 27-49 (1984)
- 8) 井上武志, 名田孝稔, 深山哲夫, 高橋貞行, 近野 正: 音響整合板を有する Tonpilz 圧電型水中トランスジューサの設計 昭和62年電子情報通信学会半導体・材料部門全国大会, 1-16 (1987)
- 9) 網谷泰孝, 安藤久司, 中西俊之, 土屋利雄, 山本浩文, 岩柳順二: 相模湾における鉛直方向音波伝搬試験について, 第2回「しんかい2000」研究シンポジウム (1987)
(原稿受理 1987 年 12 月 14 日)