

3. 海洋における電流通信の二、三の応用

門馬 大和^{*1} 土屋利雄^{*1}

現在、海中通信は、有線と無線に大別できる。無線通信には超音波、電磁波、電流などがある。しかし、無線通信は有線通信に比べて使用可能な周波数帯域が狭いため、限定された通信が可能であるにすぎない。この中で、電流による通信は超音波に比べて通信距離は短い、雑音や反射、屈折の影響が少ないという利点をもっている。

筆者らはこれまでに、水槽および実海域で電流による音声通信の基礎実験を行い、短距離通信として十分実用性があるという結論に達した。そこで今回は音声通信以外に遠隔切離装置の試作や電流で伝送するSSTV画像の改良を行って応用面の検討を行った。その結果、これらの応用面でも電流通信が有効であることがわかった。

Some Applications of Electric Current Communication in the Ocean

Hiroyasu Momma^{*2}, Toshio Tsuchiya^{*2}

At present, there are several methods in underwater communication, for example, cable, acoustic, electromagnetic wave, electric current and etc. However, there is not perfect method, unlike the electromagnetic wave in air, because they have their own shortcomings. Among these, the one which uses electric current has such advantages as low noise, stable and low cost in spite of the short range of communication.

The authors so far have made basic experiments on voice communication by electric current, as presented in the previous paper. In this paper the authors will give a discussion on the optimum electrodes orientation and on the experimental results of preliminarily developed underwater remote release and slow scan TV.

1. ま え が き

現在の海中通信は、陸上の電磁波のような万能手段ではなく、場合によって有線、超音波、電流等を使いわけることが必要である。

これら三つの方法の中でも、有線および超音波は広く利用されている。一方、電流による方法は第二次世界大戦後まもなく、わが国では船舶のスクリューからパルス状の電氣的ノイズが発生するのにヒントを得て、これを潜水艦探知や海中通信に利用しようとしたのが始まりといわれている。

これと並行して、米国では1950年代から1960年

代にかけ、超長波の電磁波による海中の潜水艦との通信を行うべく、多大の努力が払われた。それにもかかわらず、潜水艦の行動範囲(数1000km)に比べ、通信可能距離が小さかったため(数10km)、否定的な結果に終わってしまった。この方法は、海面下約5mにある水平ダイポールアンテナに信号電流を流し、それによって発生する微弱な電磁波の一部が海面に達し、垂直偏波として空中を伝播するので、これを空中の垂直アンテナ又は水中の水平ダイポールアンテナで検出する。電流による通信も送信方法は、上記の方法と何ら変わるところ

*1 海洋利用技術部

*2 Marine Utilization Technology Department

はないが、空中を経由することなく、海中を伝わる電界を検出する点が異なっている。海中の電界は減衰が大きいいため、潜水艦のような長距離通信の目的の場合には、問題とされなかった。しかし、最近になって浅海域や中、短距離において、信頼性の高い通信方法に対する要求が高まると共に、電流による海中通信が再び見直されようとしている。

これまでに、筆者らは海水プールおよび実海域で可聴周波数域内の海中電流の性質を実験的に調べ、10w以下の送信出力で100m以上の音声通信が可能であることを確かめている。

これらの結果をもとに、今回は海中電流通信の利用面について二、三の検討を行ったのでここに報告する。

2. 電極の配置と指向性

前報1, 2, で述べたように、海中では90MHz以下の電流は準定常電流と見なされ、静電界と対応関係にある。すなわち、図1に示すように、原点にあってy軸方向を向いた送信電極から電流 I_0 を流すとき、海中の1点Pに生ずる電界Eはr方向成分 E_r と θ 方向成分 E_θ にわけられ、次のように表わされる。

$$E = E_r + E_\theta \quad (1)$$

$$E_r = \frac{I_0 d}{2\pi\sigma r^3} \cos \theta \quad (2)$$

$$E_\theta = \frac{I_0 d}{4\pi\sigma r^3} \sin \theta \quad (3)$$

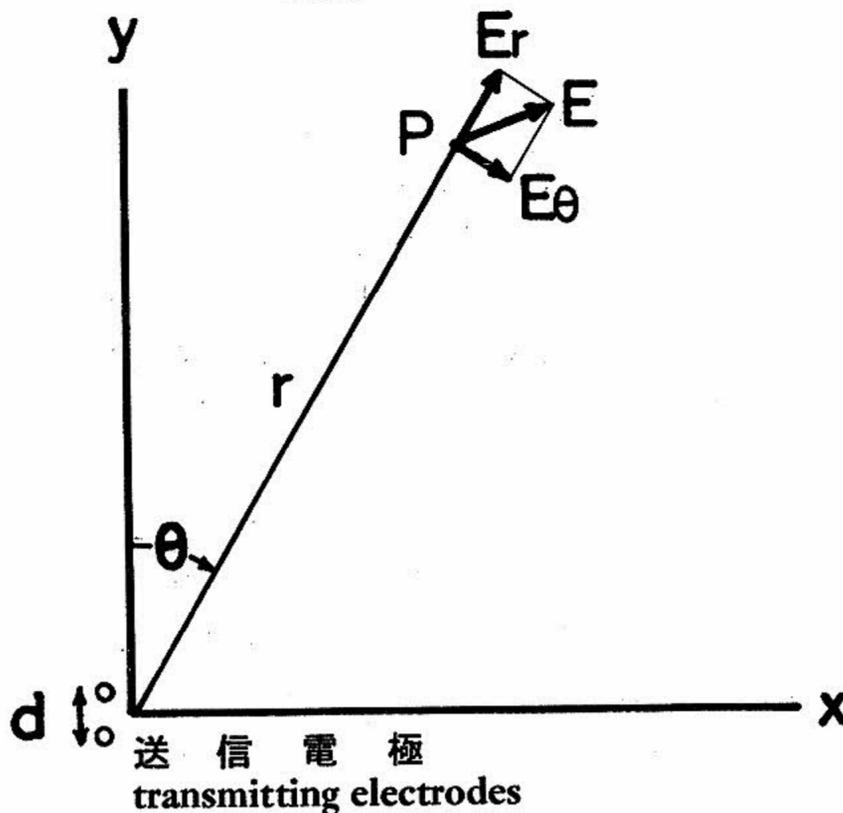


図1 二次元的に表わした準定常電流場送信電極
Two dimensional quasi-static electric current field

ただし、 θ ; y軸となす角, r ; 原点からの距離, d ; 送信電極の間隔, σ ; 海水の導電率, である。

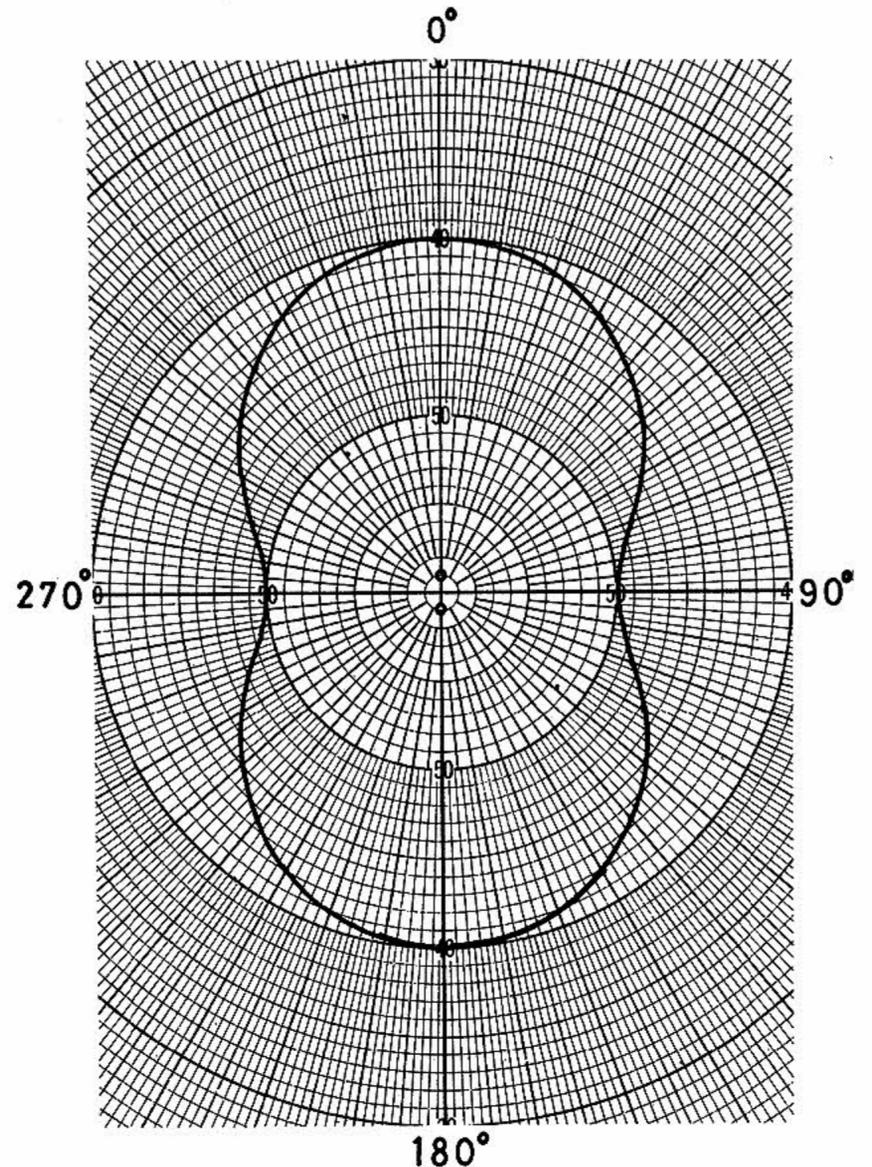


図2 $E / (I_0 d / 4\pi\sigma r^3)$ と θ の関係
 $E / (I_0 d / 4\pi\sigma r^3)$ vs θ

図2には $E / (I_0 d / 4\pi\sigma r^3)$ と θ の関係を示す。 $\theta = 0^\circ$ で最大, $\theta = 90^\circ$ で最小となる。このとき、P点に受信電極を置くと、発生する電位差は次式で与えられる。

$$V = \int_0^{d'} E \cdot d\theta = \int_0^{d'} \{ E_r \cos(\theta - \varphi) + E_\theta \sin(\theta - \varphi) \} d' \\ = \frac{I_0 d d'}{4\pi\sigma r^3} \{ 2 \cos \theta \times \cos(\theta - \varphi) + \sin \theta \times \sin(\theta - \varphi) \} \dots (4)$$

ただし、 d' : 受信電極間隔, φ : 受信電極がy軸となす角である。

各P点において、Vは受信電極がEの方向に一致するとき最大となる。電磁波の場合には、 $\theta = 0^\circ$ では受信が困難である。しかし電流の場合はあらゆる θ について受信可能である。さらに送受信電極を一直線に配置 ($\theta = 0^\circ, \varphi = 0^\circ$) した方が、平行に配置 ($\theta = 90^\circ, \varphi = 0^\circ$) した場合に比べ、受信出力が大きい。これを図3に実験水槽で確かめた結果を示す。

実際の海中通信では、図4に示すように、たとえば海面と海底のような鉛直方向の場合は直線配

置，水平方向の場合には平行配置で行うのが有利であろう。

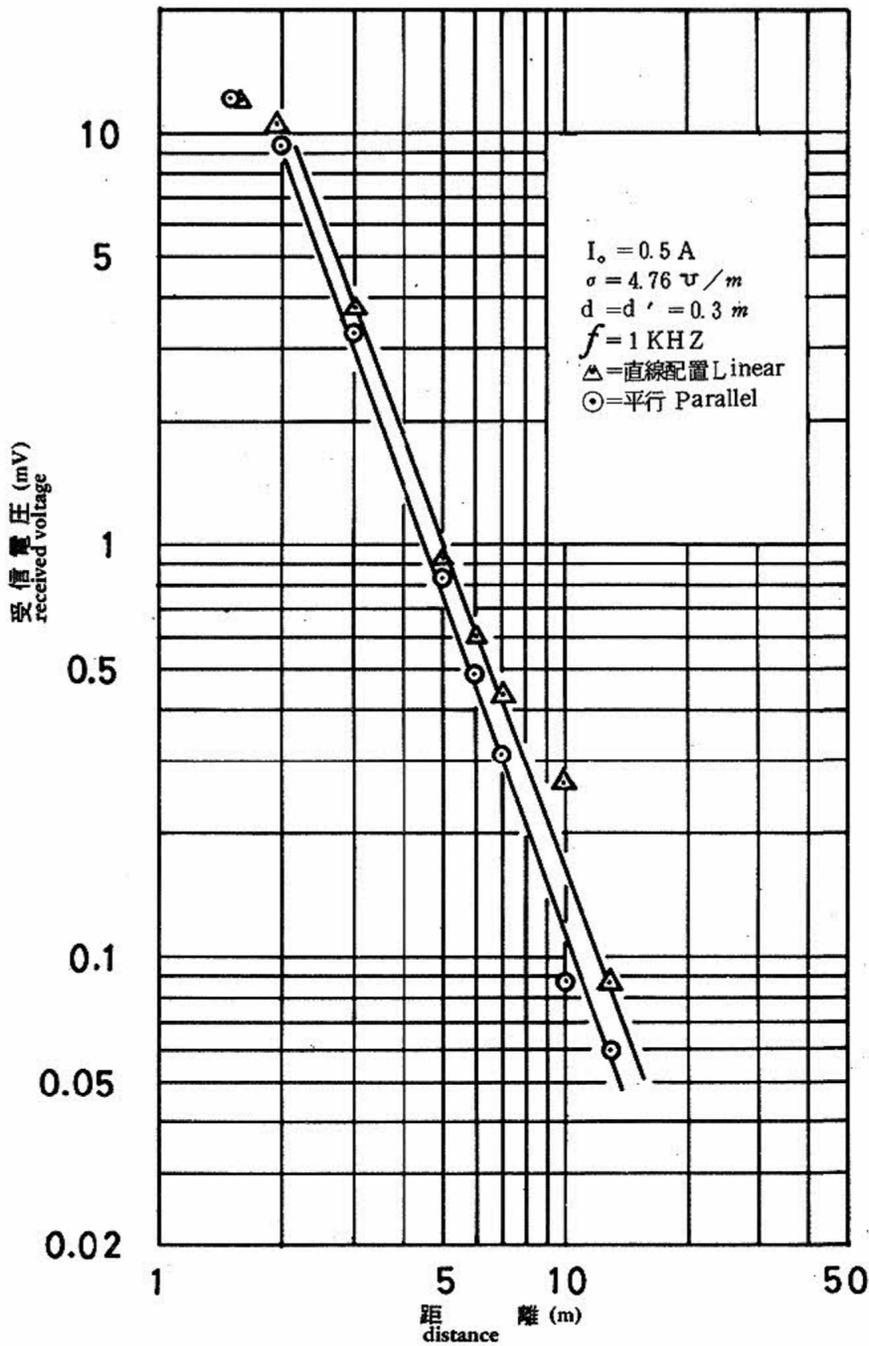


図3 送受信電極を直線配置した場合と平行配置した場合の受信電圧の比較
Difference of distance vs. received voltage between linear and parallel orientation of transmitting and receiving electrodes

3. 海中遠隔切離装置

表1は現在海中で使用されている切離装置の分類を示す。

この中で最も汎用性のあるものは超音波式であろう。しかし，海中には音響ノイズが多いため，装置の誤動作を防ぐ電子回路が複雑になり，最も高価である。また海面付近では反射の影響で使用できないことが多い。したがって，現在では主として深海用として用いられている。

超音波信号の代わりに電流信号を用いれば，電流式無線切離装置が可能である。その超音波式に対する利点は，海面付近でも使用可能なこと，海中

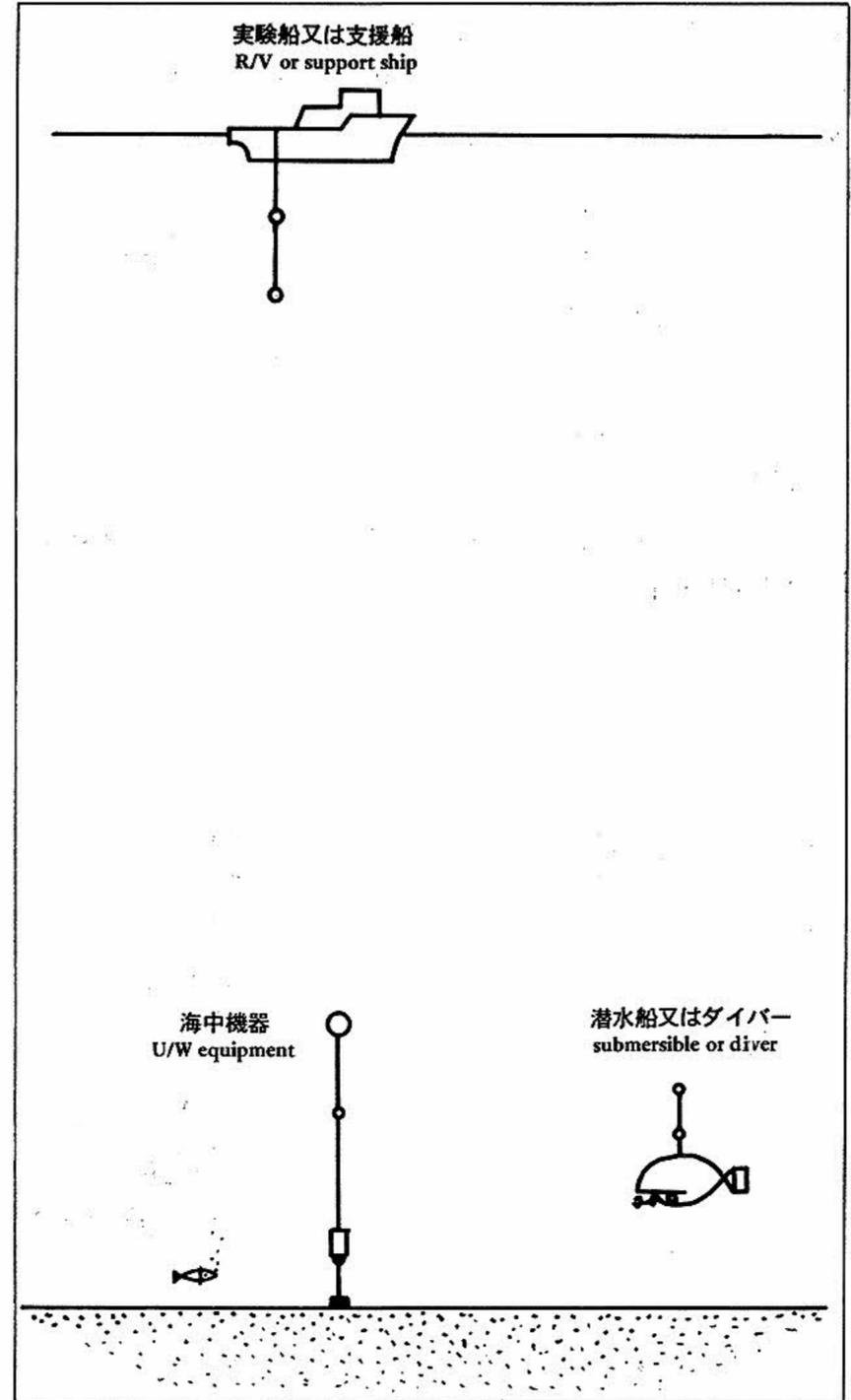


図4 電極配置の例
An example of electrodes orientation

方 式 means	使用水深(m) depth	切離方法 release signal or mechanism
メッセンジャ messenger	< 50	補助ロープを引くか重錘を投下 drawing rope, dropping a weight
ケーブル cable	< 100	電気信号 electric signal
タイマ timer	10,000	タイマ timer
超音波 ultrasonic	8,000	超音波コード coded ultrasonic signal
マグネシウム magnesium	制限なし unrestrictedly	電食 electric corrosion
着底 bottom contact	"	重錘の着底 bottom contact of a weight

表1 各種海中切離装置の分類

Table of underwater release equipments currently in use

の電気ノイズが少ないので，電子回路が簡単になり，装置が安価にできること等であろう。

今回，試作した装置は1KHzの正弦波で切離を行い，船上装置と海中装置からなっている。船上装置は1KHzの発振器，パワーアンプ，整合トランス，送信電極からなり，海中装置は受信電極，整合トランス，狭帯域フィルター，プリアンプ，

閾値判別器，メインアンプ，リレー，電磁ソレノイド等からなっている。電子回路はステンレス鋼製の防水容器に収められ，この容器はまた，受信電極の一方を受け持っている。

図5はこれらのブロック図を示す。実験は海水の入った，長さ15m，幅9m，深さ9mの水槽で行い，海中装置に重錘をつけて底に沈め，約半日放置後船上装置から切離信号を送って水面に浮上させた。

写真1には試作した海中装置，写真2には浮上した海中装置のブイを示す。

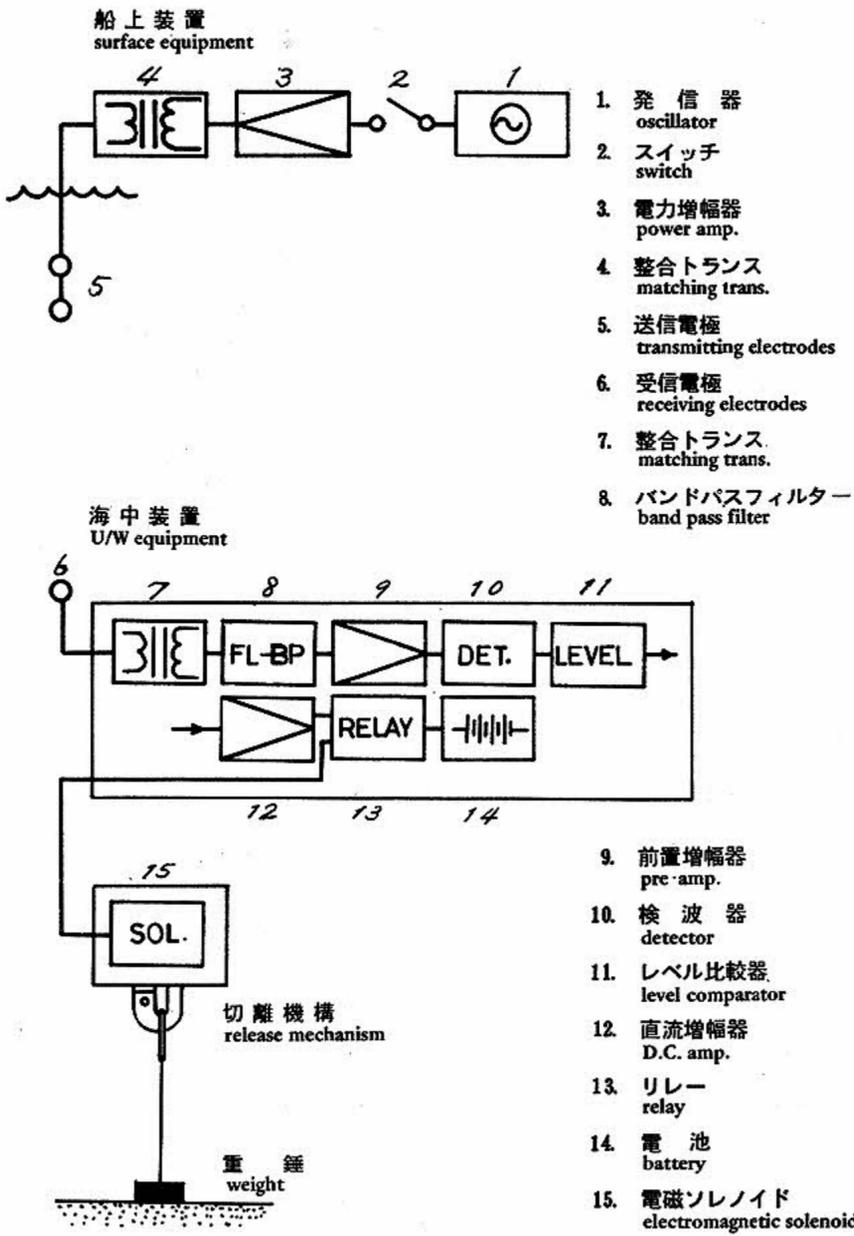


図5 遠隔切離装置

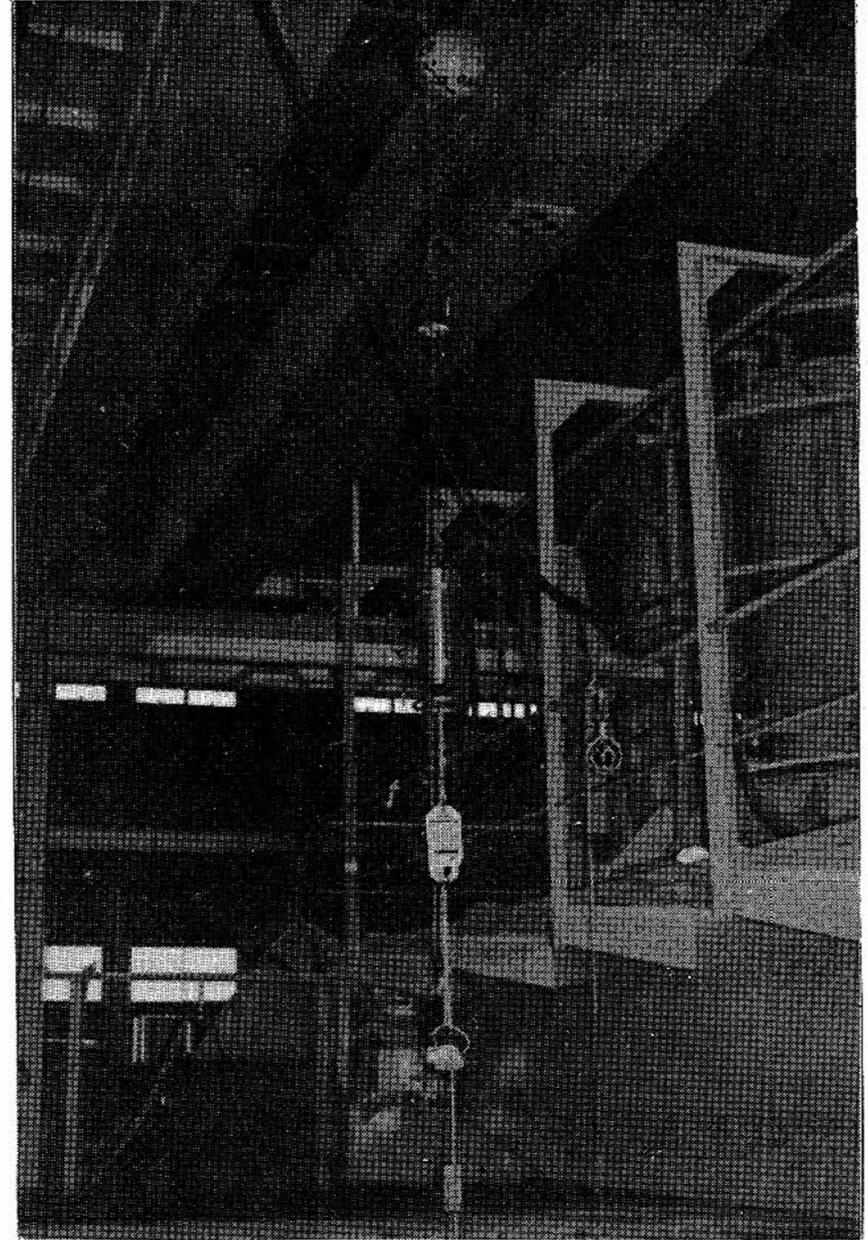


写真1 遠隔切離装置
Release mechanism

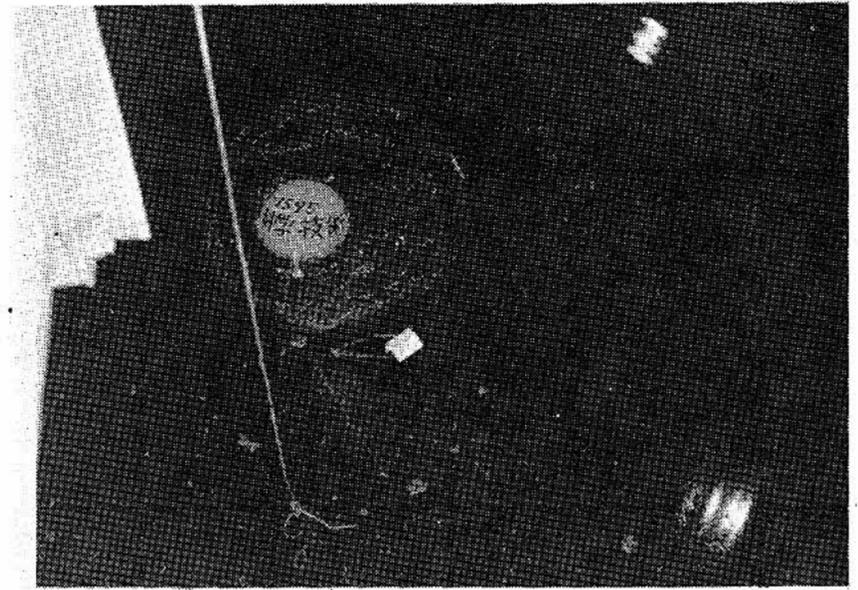


写真2 切離装置が作動して浮上したブイ
Popped up buoy by

4. 無線画像伝送

前報1)でスロースキャンテレビ(SSTV)方式のテレビ画像信号を電流で無線伝送できることを示した。

現在アマチュア無線等で使用されている副搬送

波周波数変調(SCFM)によるSSTVは使用周波数帯域幅が3KHz以内で1フレームに8secの時間を要する。したがって，残光性ブラウン管を使用しても輝度が低いため画面が見にくいとい

う欠点があった。

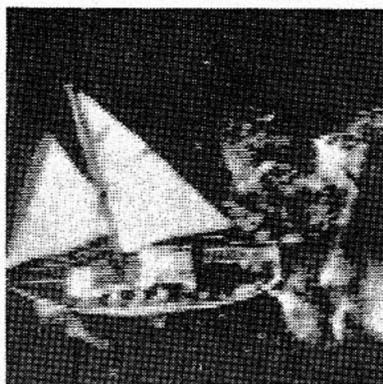
今回はSSTVによる画像信号を電流で送り、受信した画像信号を一度デジタルメモリに蓄え、これを高速走査し、通常のモニターテレビで静止画像として見られるように改造した。

このSSTV画像をファーストスキャンテレビ(FSTV)画像に変換する装置は、通常、SSTV-FSTVコンバーター、スキャンコンバーターまたはブライトディスプレイ装置などと呼ばれる。

本実験で使用したSSTV装置の走査線数は128本あり、画面の縦横比は1対1なので、この画像をメモリするには最低限16,384(=128×128)個の画素に分けなければならない。また、白と黒の中間明度を表わすため、1画素について4ビット($2^4=16$ レベル)割りあてるとすれば、必要なメモリは65,536(=128×128×4)ビットとなる。

写真3は試作したブライトディスプレイ装置を用い、実験水槽中を伝送した画像を通常のモニターテレビに写し出したものを示す。

SSTV画像を残光性ブラウン管に写したものに比べ、明るい場所でも中間明度が表わせる上、次の画像をストアしなければ、いつまでも画像が消えずに残っているため、見やすくなっている。



(1)航走するヨット



(2)人物写真

写真3 電流で伝送されたSSTV画像をブライトディスプレイ装置で通常のモニターTV表示した画像

Bright displayed picture on auxiliary monitor TV which was sent by electric current using SSTV.

また、SCFM方式によるSSTVでは受信信号のSN比が伝送画像に重大な影響を与える。そこでランダム雑音を加えてSN比を5~20dBまで変化させたときの画質の変化を観察した(写真

4参照)。

良好な画質を得るにはSN比が15dB以上、必要であることがわかる。

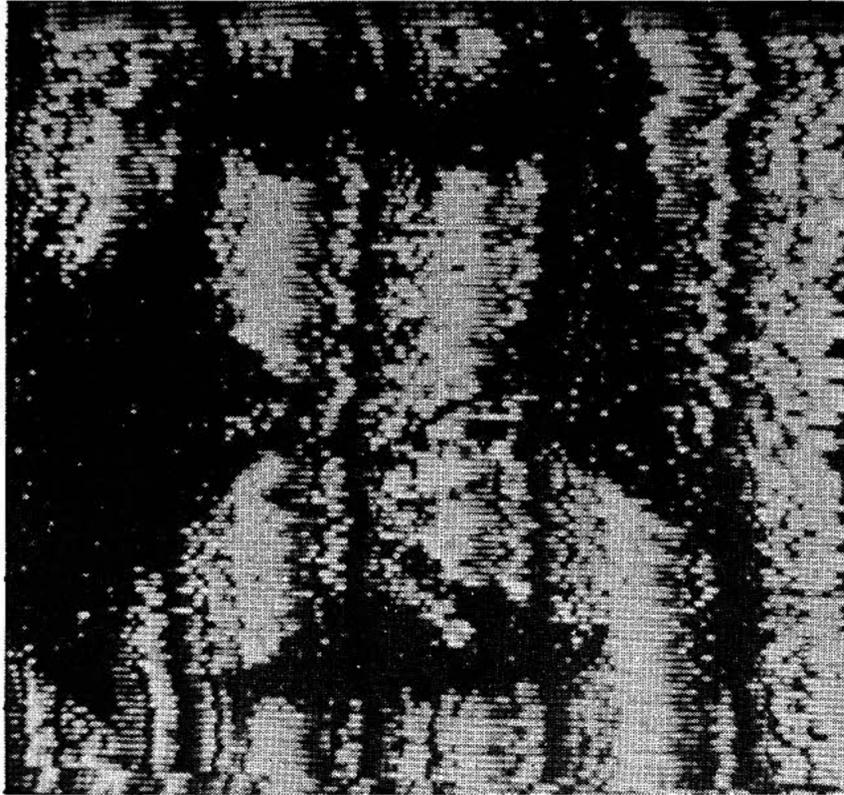
5. ま と め

海中で信号電流を直接送って通信を行う電流通信には、超音波通信と同様種々の応用が考えられる。

ここでは遠隔切離装置とSSTVによる画像伝送への応用をとり上げて見た。いずれの場合も信号の伝送手段として、電流の利用には問題点はなく、実用化する際に装置を“洗練”するという点が残された課題であろう。また基本的な問題として、電流による海中通信と電磁波による海中通信と常に比較され、両者は同一のものであるという考えが一般的である。しかし、電流によるものは信号が距離の3乗に反比例して減衰するのに対し、電磁波によるものは指数関数的に減衰するという相違がある。筆者らは今後、両者の相違をさらに明確にしていきたい。

文 献

- 1) 門馬大和, 土屋利雄, 1977, “海中電流通信の研究”, 海洋科学技術センター試験研究報告第1号, p. 19~25
- 2) H. Momma, T. Tsuchiya. “Under-water Communication by Electric Current”, Proc. OCEANS 76, p. 24C-1~24C-6
- 3) 高橋秀俊, “電磁気学”, 裳華房, 1960
- 4) 副島光積, 堀内和夫, “電磁気学” コロナ社, 1971
- 5) R. K. Moore, “Radio Communication in the Sea”, IEEE Spectrum, 1967, p. 42-51



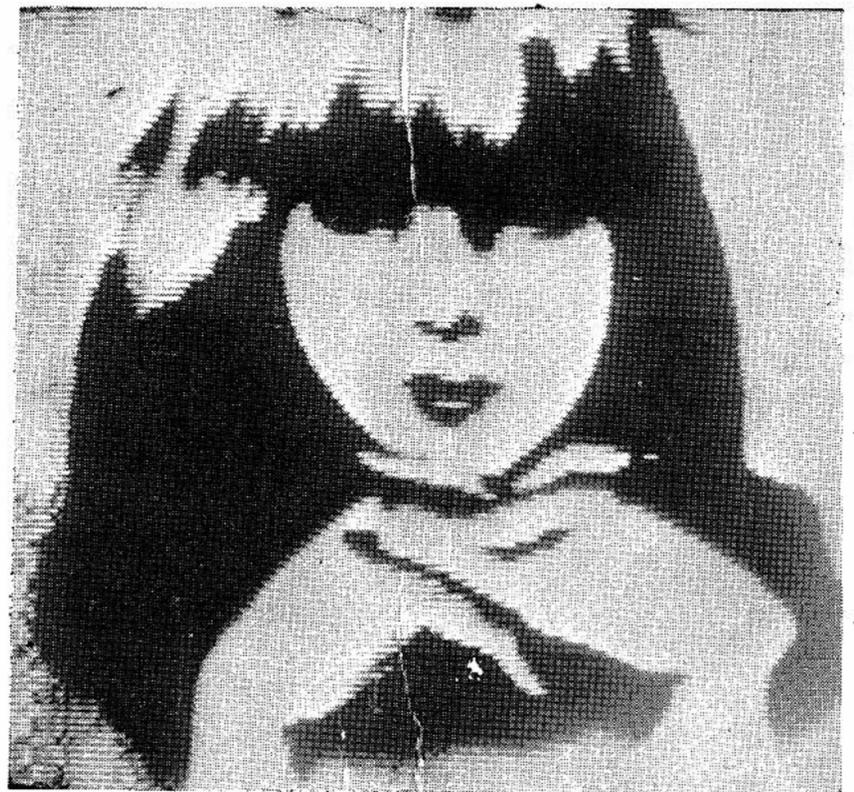
(1) S/N = 5dB



(3) S/N = 15dB



(2) S/N = 10dB



(4) S/N = 20dB

写真4 ランダム雑音を付加してS/Nをかえた時の受信画像（残光性ブラウン管による表示）

Effects of randomized noise on received pictures by varying S/N from 5 to 20dB.
(Displayed on storage type CRT)