

クリックス鳴音を放射するブイ塔載型音波発生器の試作

誌名	水産工学研究所研究報告
ISSN	03889718
著者名	石井,憲 赤松,友成 畠山,良己 小島,隆人 嶋村,哲哉 添田,秀男
発行元	水産庁水産工学研究所
巻/号	14号
巻号補足	
掲載ページ	p. 201-214
発行年月	1993年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



クリックス鳴音を放射するブイ搭載型音波発生器の試作

石井 憲*・赤松友成**・畠山良己**
 小島隆人***・嶋村哲哉***・添田秀男***

Design of the Buoy System Simulating the Biosonar for Dolphin's Clicks Waveform Reproduction

Ken ISHII, Tomonari AKAMATSU, Yoshimi HATAKEYAMA,
 Takahito KOJIMA, Tetsuya SHIMAMURA, Hideo SOEDA

Abstract : The authors have designed the sound generator in a buoy for the purpose of preventing dolphins from getting entangled in gill nets.

The sound sources are the clicks transmitted by Dall's porpoise in an emergency and is stored into the built-in IC in the buoy system. In the sea, the wave data memorized in an EPROM are readout sequentially as ON/OFF trigger signals to the power amplifier. Then an ultrasonic power amplifier reproduces these signals through a transmitter against dolphins under water.

Key words : buoy system, porpoise, clicks, sound generator

1. 緒 言

流し網へのイルカの混獲防止を目的として、音刺激を用いた行動制御技術の開発が試みられてきた¹⁾。現在では、その有効な方法として、音に敏感なイルカの性質を利用し、流し網の近くまで遊泳して来たイルカに音波を放射して注意力を喚起し、警戒心を強めさせる能動的方法の研究が進められている。

研究初期には、放射する音の大きさを極限まで大きくしてその効果を試した。確かにイルカは団子状に固まって飛び跳ねる等、効果が見られたが、時間が経つにつれて慣れてくるという問題点があった。このことは、解剖学的見地からみると、イルカには耳小骨筋を必要に応じ随意に収縮させる能力があるので、強い音刺激に対する防

御が働くということで説明されている²⁾。そこで放射する音圧が小さくても効果があるような装置の開発に研究の方向を持ってきた。

今回、予め集録しておいた生態的に意味のある情報を含んだイルカ鳴音を水中放声して、インイルカに注意力と警戒心を喚起させることを目的としたブイ搭載型の音波発生器を試作した。特に、北洋の流し網の操業時に使えるようコンパクトな装置の開発が望まれていたのでブイにつむ方式とした。

本装置は、鳴音信号発生部、水中超音波送波部そして電池部からなるブイシステムである。システムの運用は次のように行う。

もともになる鳴音はイルカの種類に応じて変更できるので、例えば予め海上で集録したインイルカの断末魔を鳴

音信号発生部の記憶素子に格納しておく。この鳴音を、流し網に取り付けた音波発生器を用いて間欠的に再生し水中超音波にして放射し続けるものである。

本報告では、この音波発生器について詳述する。また、その効果試験については別途報告の予定である。

2. 方法と原理

2.1 鳴音信号発生部

本装置で再生放射するための原波形としたクリック音は、1986年第38黒森丸による混獲回避調査³⁾において、突き棒漁法によって捕獲されたイシイルカが発したのを集録したものである。この鳴音を「生体ソナーイルカクリック音の集録システム」⁴⁾と「クリック音のファームウェア化システム」⁵⁾によってデータベース化した。データベースの波形データは12ビットでデジタル化されているが、本システムで使うため1ビットのON/OFF信号に変換した。この変換処理の必要理由はシステムに搭載した超音波のドライブレユニットの動作原理がコイルへ流す電流のON/OFFによっているためである。この変換により波形の包絡線情報は失われて、主に搬送周波数の偏移とパルス間隔の情報が残る。1ビット化ルーチンのNSチャートを図1に示す。図中、ブロック番号(Block number)とはメモリ上のマップを1024ワードずつブロック化したものの順番をさす。1ブロックには1つ以上の波形が格納される。その波形の波形記号、波形番号、スタート番地等の情報はディレクトリ情報ファイル(ファイル名: EPROM-DIR 1)にシリアルにストアされている。1つの波形は波形記号と波形番号で特定されるが、処理の効率化を図るため波形記号によらない波形データの通し番号もつけた。これをパラメータ番号と呼んでいる。波形の数値データはパラメータ番号をレコード番号とするランダムファイル(ファイル名: WAVE 1)に格納されている。1つの波形データには1つ以上のパルスが含まれている。数値データを読み込んだ後、全てのパルス部分について値の正負を調べ0以下の値の時は0に、正ならば1と置き換えて波形数値データを1ビットの値からなるデータに変換した。この際、パルスの時間的な絶対位置情報が必要であるが、それは「クリック音のファームウェア化システム」によって各波形記号ごとにまとめられているシリアルファイル(ファイル名: WIDTH?. ASC)から各パルスの先頭位置とパルス幅を読み込むことによって得られる。なおファイル名中の?の部分には波形記号が入る。

時系列的に見た出力信号の模式図を図2に示す。図中の記号は、先に提案した「クリック音の模式化」⁵⁾によってデータベースに取り込んだ各種パラメータを表している。1ビット化された波形データは、データベースに収録した時と同じパラメータ値に従って読み出す必要がある。波形データとパラメータを格納した記憶素子は「クリック音のファームウェア化システム」の「BUOYモード」によって表1のようにマップされている。パラメータは1波形につき16バイトごとに区分されている。各パラメータの機能と必要とされる値の範囲は以下の通りである。

① 波形データ読みだしクロック: 記号F

このパラメータにより波形データの読みだしサンプリング・クロックの周波数を決める。

データ	周期
4	500 ns
9	1000 ns

② 間隔データ・カウント・クロック: 記号U

このパラメータにより間隔データのカウンタ・クロックの1クロックあたりの周波数を決める。

データ	周期
0	100 ns
4	500 ns
9	1000 ns

③ データ・スタート・アドレス: 記号R

このパラメータにより読みだしデータのスタート・アドレスをセットする。但し読みだしデータのアドレスの下10bitをセットすることになる。

④ データ・ストップ・アドレス: 記号S

このパラメータにより読みだしデータのストップ・アドレスをセットする。但し読みだしデータのアドレスの下10bitをセットすることになる。またスタート・アドレスより32カウント以上大きな値でなければならず、セットする値は実際のストップ・アドレス-1の値をセットする。

⑤ 間隔データ・カウント数: 記号T

このパラメータにより間隔データ・カウント数をセットする。このデータは0から4,194,303(16進表示で3FFFF)までのデータがセットできる。

⑥ ブロック番号: 記号K

このパラメータは読みだしアドレスの上7bitをセットする。

⑦ データ・セレクト番号: 記号D

このパラメータは読みだしたデータのどのビットを出力するか、選択するためのデータである。

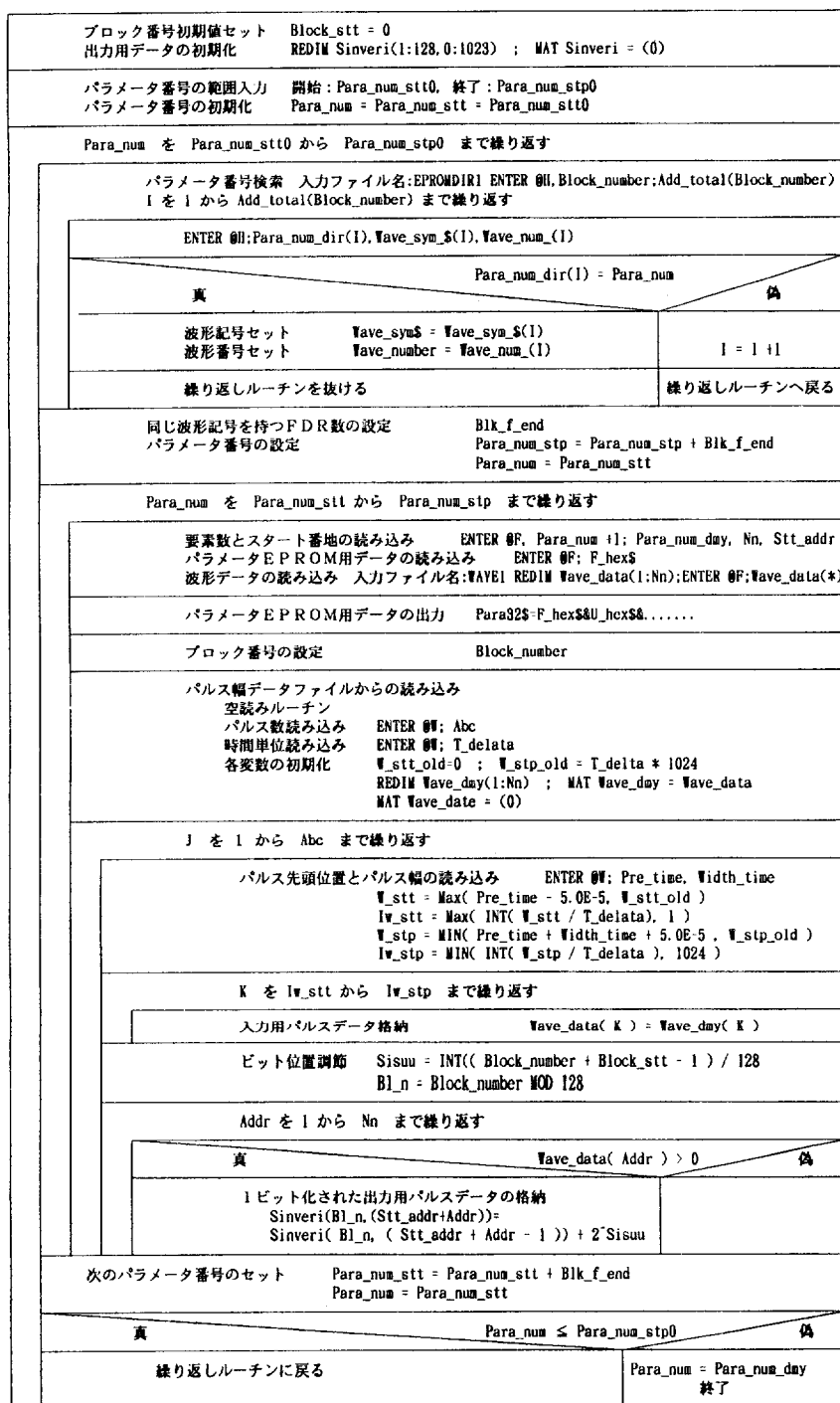


図1 1ビット化ルーチンのNSチャート

NS-chart of the routine which converts waveform 12 bits data into ON/OFF 1 bit signal.

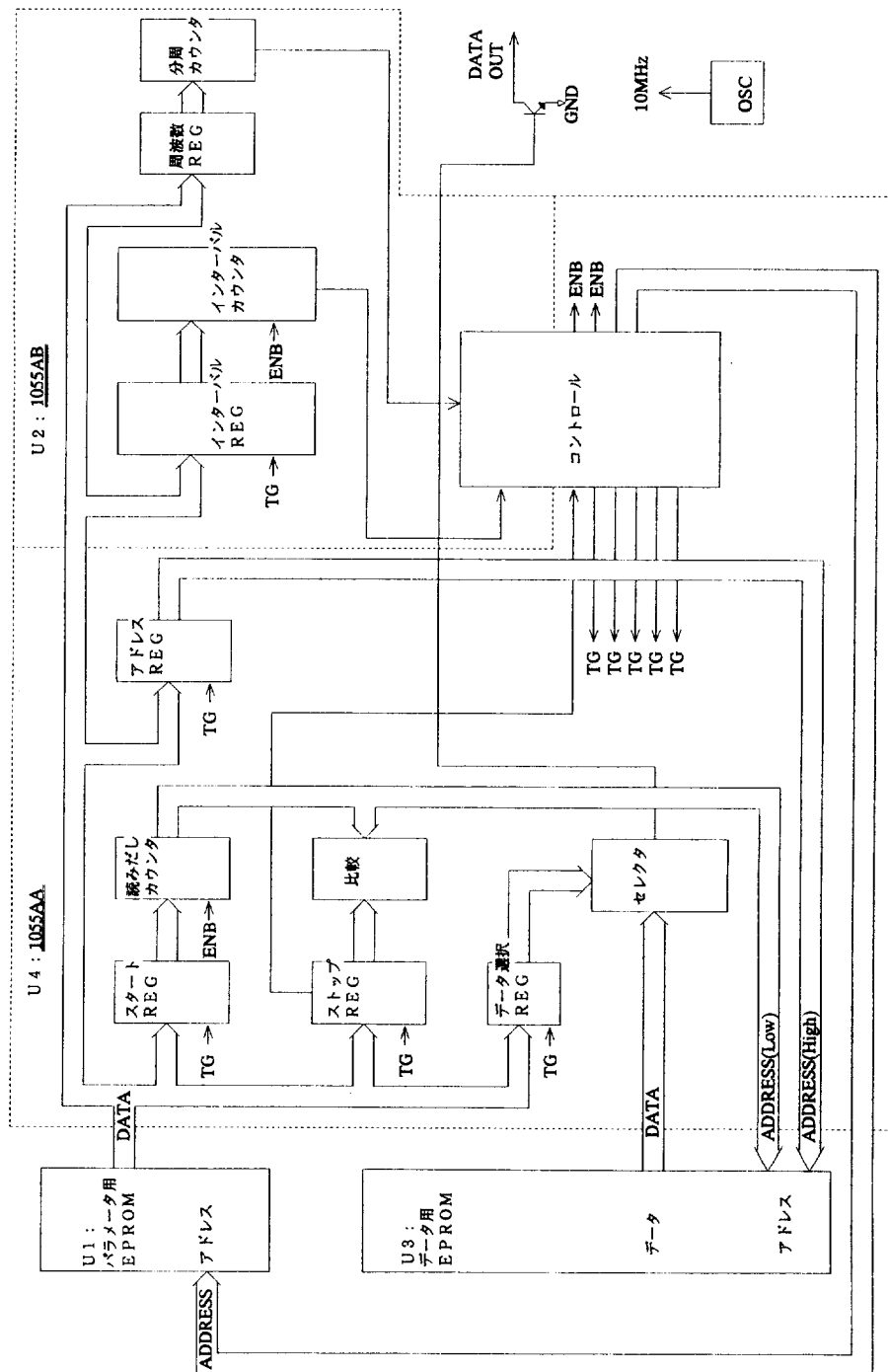


図3 クリック信号発生部のブロック図
Block diagram of the clicks generator.

体素子で最大限の集積化を達成した。機能的には圧力スイッチ等非同期な入力機構は省いてEPLDタイプに合わせて設計した。それにより大きさ60mm×110mmの基板一枚に納めることが出来た。

図3のIC番号U4の素子は論理レベル1055AAに対応しており、同じくU2は1055ABに対応している。論理的な構造を述べると、1055AAと1055ABは、それぞれに下位レベルをもつ階層構造で設計されており、主にラッチとカウンタからなる。

図4にブロック信号(BLKEND, BLKEND)と間隔信号(TENB, TEND)のタイミングチャートを示す。鳴音データ出力と無音期間である間隔出力が交互に繰り返される。図5にパラメータ・アドレス(PRAD 0~12)とパラメータ・ラッチ用トリガパルス(TRG1~TRG12)のタイミングチャートを示す。図6に波形データ用アドレス(DADR 0~9)のタイミングチャートを示す。図7に間隔パラメータ・ラッチ信号(TRG1~3)と間隔信号(TENB, TEND)のタイミングチャートを示す。

パワーアンプはスイッチング方式なので、1ビット/ワードで読みだした“1”または“0”の波形データ出

力はバッファを介して、8.5 Vppにレベル変換し、次段のドライバーユニットへつなぐ。

2.2 音波発生器

本音波発生器は流し網漁において使えるようにブイに組み込んだ。ブイは流し網の一端にロープでつなぐ。ブイの上部に筐体とフロートがあり、下部に重心調節用におもりを附けている。筐体とおもりの間に、超音波送波器をすえつけている。

ブイ筐体内には前述した鳴音信号発生部、電源部、ドライバーユニットそしてアウトプットユニットの回路毎に基板(60mm×110mm)4枚分とバッテリーを収納するスペースがある。

本体の写真を図8に示す。また図9は鳴音信号発生部の基板を示す。

筐体上面に蓋があり、パワースイッチと送波器へのコード穴が防水構造で取り付けられている。パワースイッチの「オン」ですぐに送信を開始し、「オフ」で送信を停止するとともに電源が切れる。

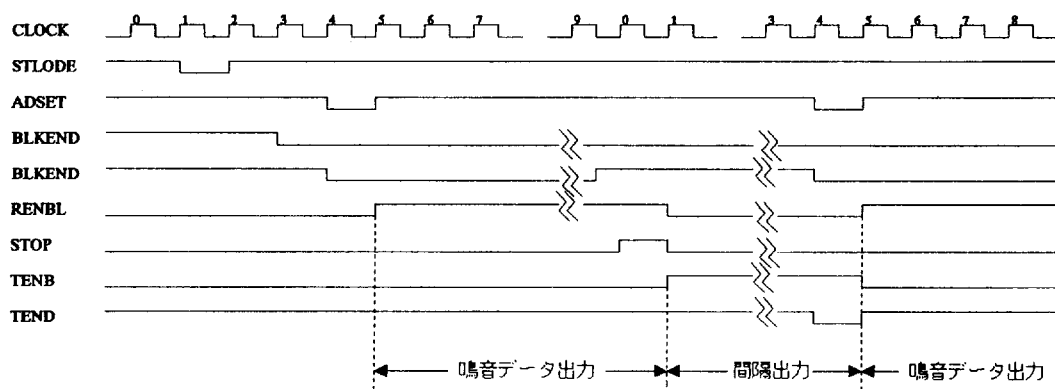


図4 ブロック信号のタイミングチャート
Timing chart of block signals.

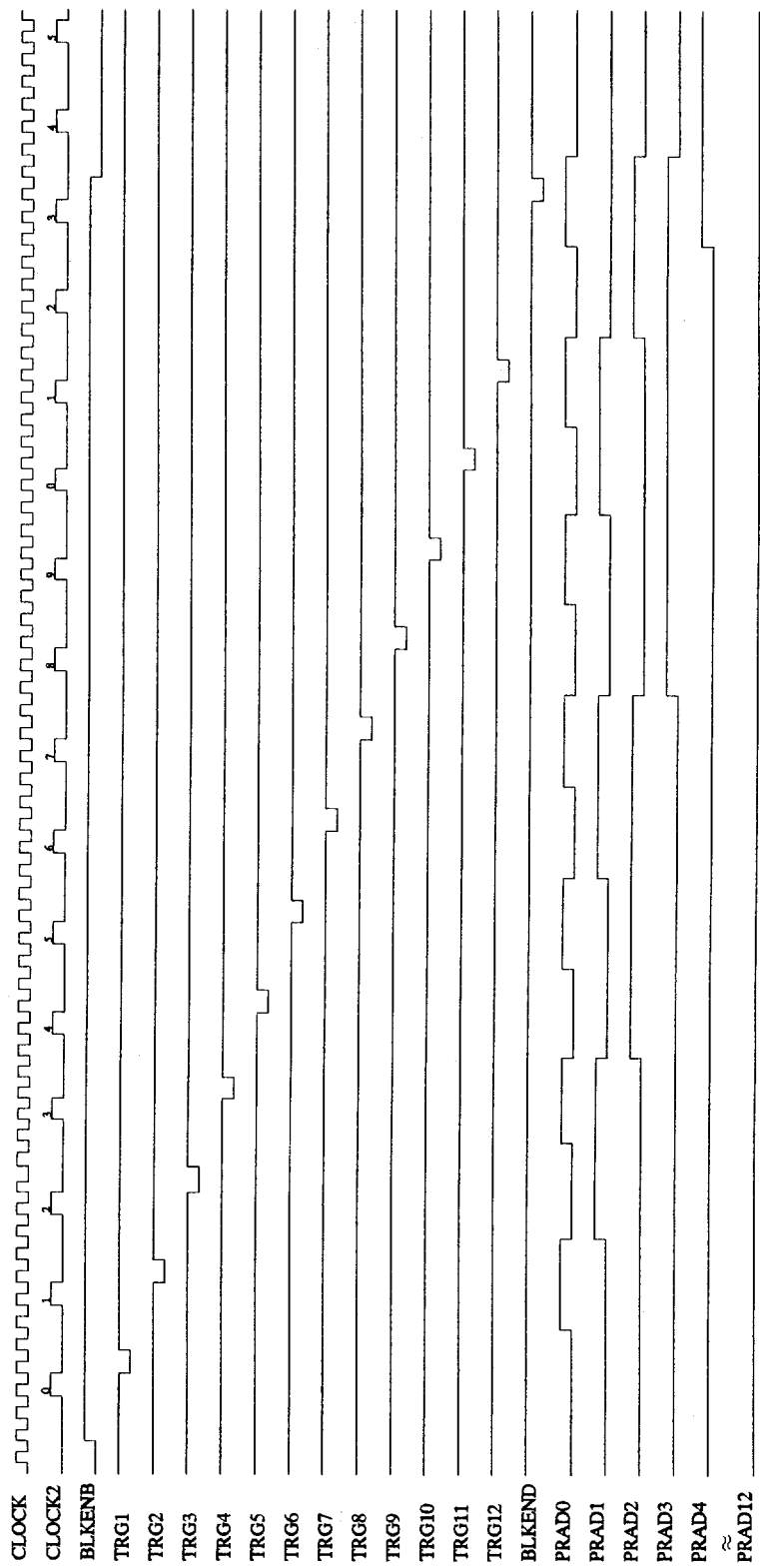


図 5 パラメータ・アドレス信号のタイミングチャート
Timing chart of parameter address signals.

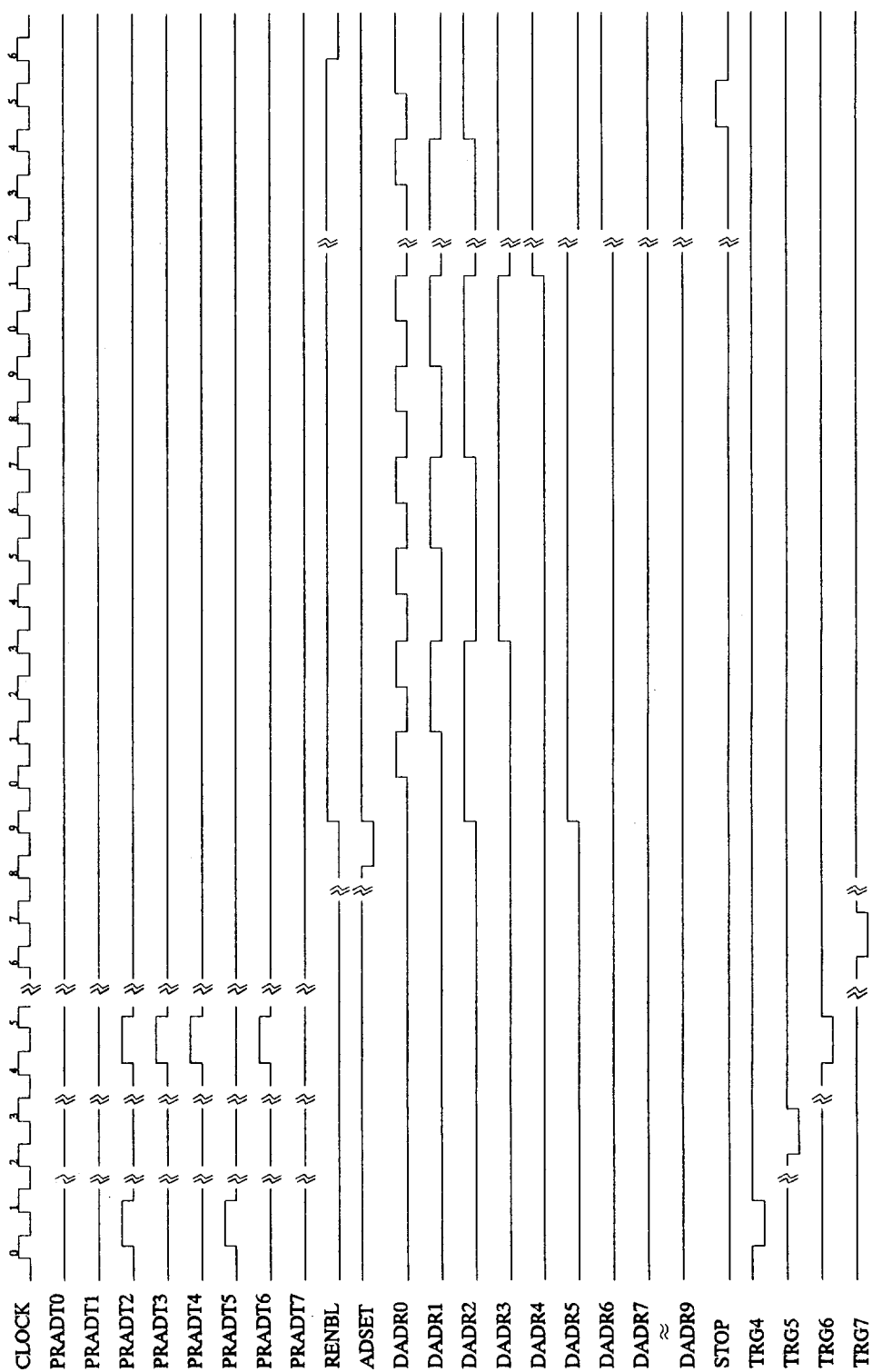


図6 波形データ用アドレス信号のタイミングチャート
Timing chart of waveform data address signals.

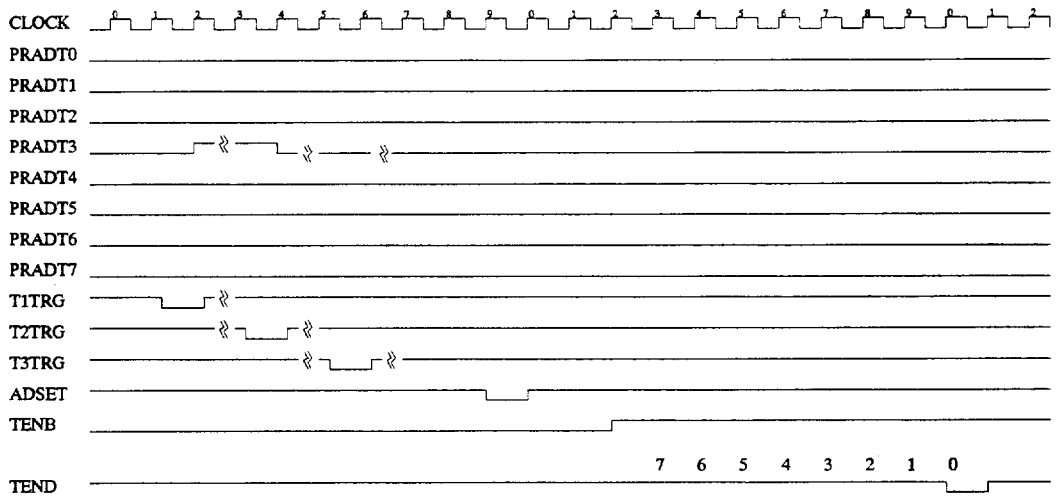


図7 間隔パラメータ・ラッチ信号のタイミングチャート
Timing chart of time interval parameter latch signals.

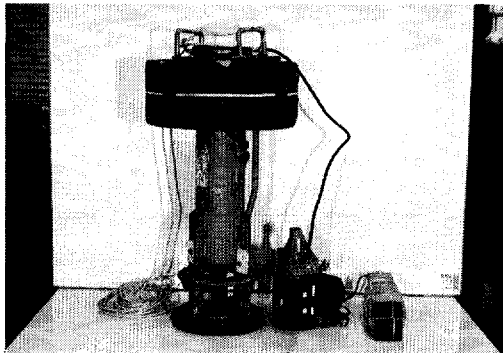


図8 ブイ本体
Buoy system.

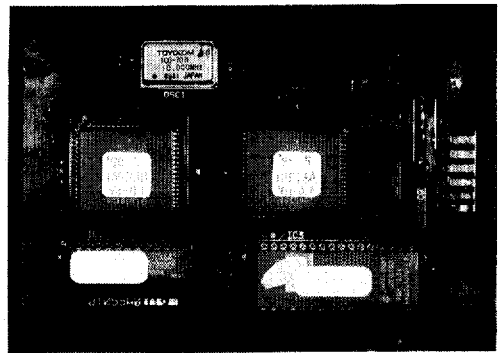


図9 鳴音信号発生部の基板
PC board of the clicks generator.

3. 結果と考察

クリックス鳴音の再生用信号源を作成するにあたっては、データベースの鳴音について、一群のクリックスごとに波形記号をつけた。時系列の順にA, B, C, D, H, G, F, I, i, Rである。ある波形記号の表すクリックス群は1024点のサンプリング・データを1区画とする複数の波形データ（FDR：フーリエ・データ・レコード）からなる。波形記号Aからiまでは同一テープ内のデータで連続したデータである。Rは別テープで30分程後のデータである。Aからiまでの波形データを1ビット化処理して波形データ用 EPROM に格納した。

次に各種パラメータのうち、間隔パラメータについては一部分丸め処理を行った。各波形記号に含まれる最終データの間隔パラメータTは次の波形記号の先頭波形との無音部分の間隔を表している。表2に波形記号ごとのFDRの数と最終データのTの値を示した。また比較のため図10に各波形記号ごとにクリックスの時間間隔をプロットしたものを示す。横軸に先頭パルスからの時間をとり、縦軸に前パルスとの時間差をとった。

図10にみられるように、バースト波間の間隔データが数msから数百msの間であるのに対して、表2に示された最終データのTの値は波形記号BからRまでは数秒以上あり、一桁から二桁の違いがある。そのためこの場合には最終Tデータを0.5秒と間隔を短くした。このようにしてパラメーター用EPROMには波形記号A～Rそして再度A～Gまでのパラメーター437組を格納しその後4秒の無音波形Zを75個分続けた。これにより鳴音期間30秒と無音期間5分を1サイクルとして発射される再生用信号源を作成出来た。

この再生用信号源の波形データ部について、1ビット化処理の影響を検討するため、周期の逆数について時間変化を調べた。図11-aにデータベースの原波形の例を示す。波形記号Aの先頭波形を例とした。横軸に時間をとり、縦軸は振幅の相対値である。図11-bにその1ビット化された波形を示す。横軸に時間をとり、縦軸は0または1の論理値である。図11-cは図11-bの波形について周期の逆数をプロットしたものである。横軸に時間をとり、縦軸は周期の逆数の相対値で単位は $[1/\text{ms}]$ である。

表2 IC化した鳴音のパルスデータ
Pulse interval data of clicks waveforms.

波形記号	テープ番号	カウンタ目盛り	FDR数	最終間隔データ(sec.)	
				原データ	調整後の値
A	No. 1	667	38	0.399235	0.399235
B	No. 1	672	27	16.4	0.5
C	No. 1	740	3	20.3	0.5
D	No. 1	826	38	9.5	0.5
H	No. 1	870	30	2.8	0.5
G	No. 1	970	6	48.0	0.5
F	No. 1	1123	50	31.5	0.5
I	No. 1	1251 の前半	49	0.311212	0.311212
i	No. 1	1251 の後半	18	—	0.5
R	No. 3	820	36	—	0.5

図11-cをみると原波形のバースト波の切れているところでは、急激な変化をしているが、バースト波内の縦軸の値は、周波数120~140 kHzに対応する値を示しており、周波数の主要な成分は保持されているといえる。

次に鳴音放射の間に挿入した無音期間について検討した。音波発生器のバッテリーの交換は流し網漁の作業形態にあわせて、1回の網上げごとに充電済みのものと交換する方式とした。それには1回の充電で、使用可能時

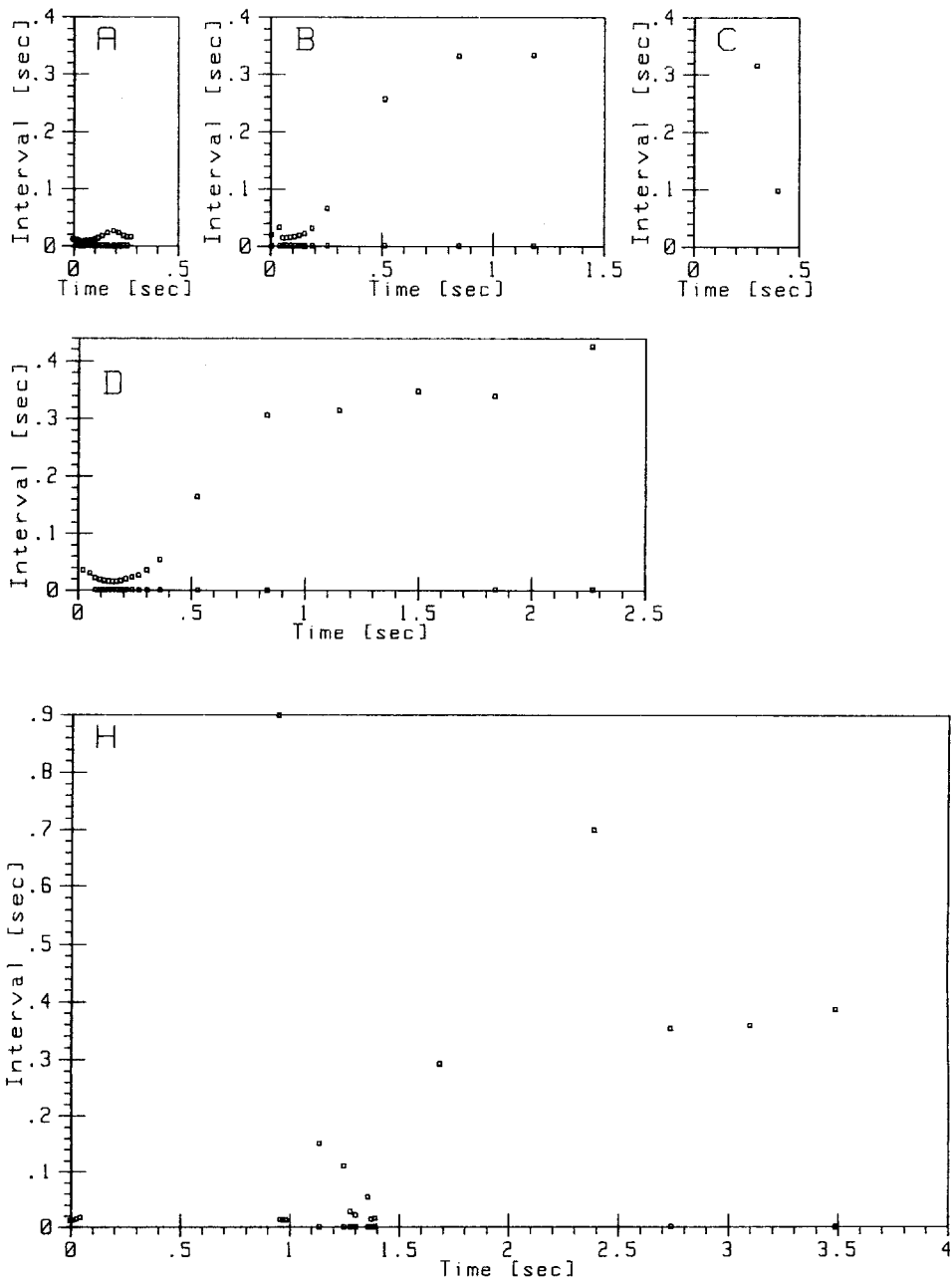


図10 クリックスの時間間隔
Pluse intervals of clicks.

間は約12時間必要である。そのため、鳴音放射の間に電力消費の少ない無音期間を挿入した。今回の装置については1サイクル中、鳴音期間を30秒としたため無音期間は5分以上とする必要があった。

無音期間の間に網に近寄ってくることを考えると、無音期間が長いほど羅網の危険度が増加する。電池の能力が許せる限り無音期間を短くする必要がある。今回設定したように無音の時間が5分であると、イルカの遊泳速

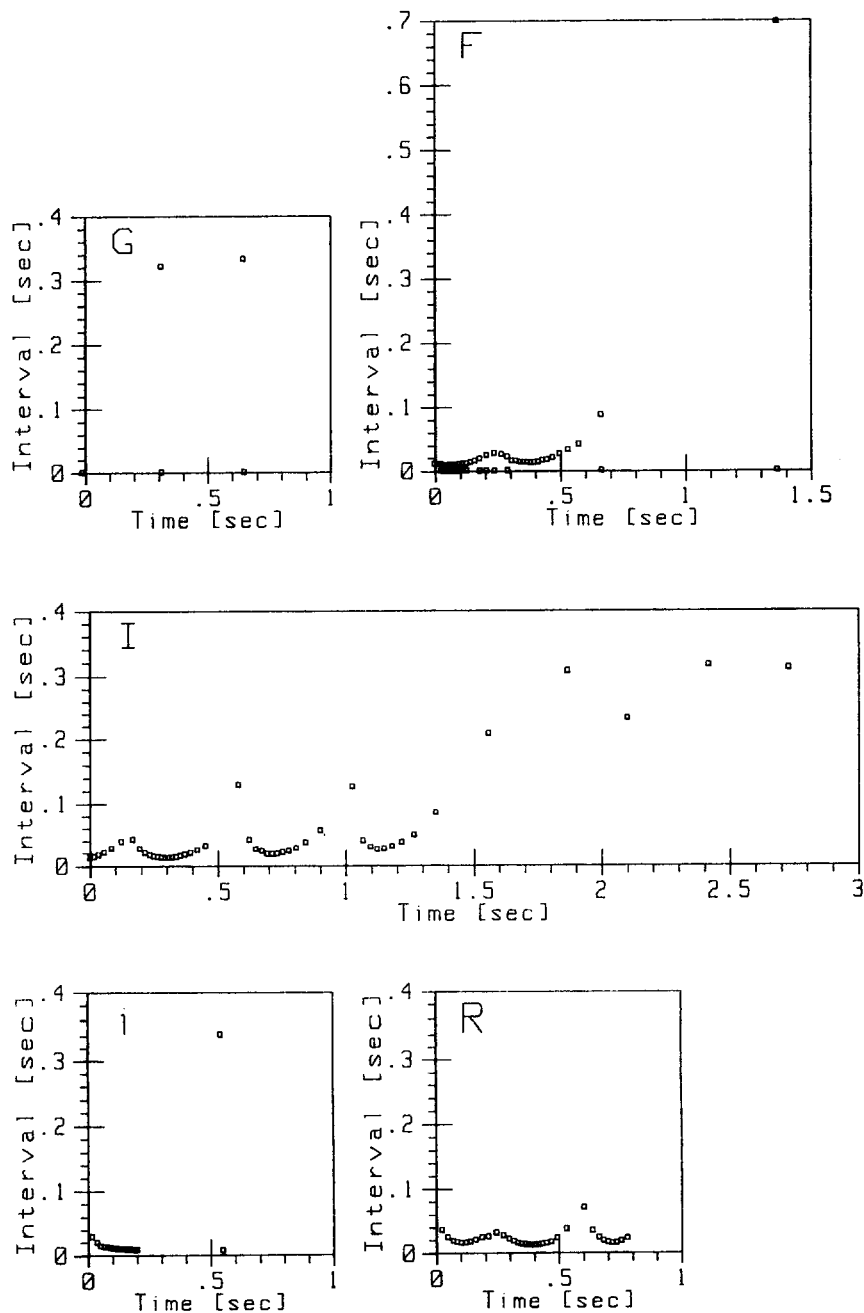


図10 続き
Continued.

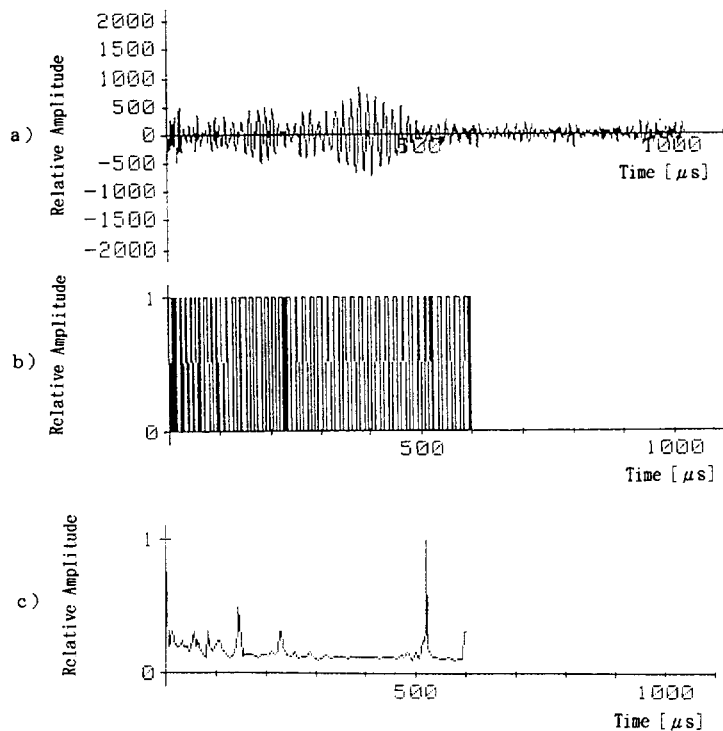


図11 バースト波の再生波形

This reformed output of a burst wave.

- a) データベースの原波形
A burst wave.
- b) 1ビット化された波形
A reformed output.
- c) 1ビット化された波形の周波数偏移
A frequency deviation of a reformed output.

度を6ノットとすると、イルカはその間に約926m移動することになる。

音波発生器の効力が及ぶ範囲は、約1.5kmを半径とする圏内と試算した例がある⁶⁾。インイルカの超音波ビームに対する受波感度指向性は鋭いと考えられ、遊泳方向が音波発生器の方向に向いていないときにはこの値よりも有効範囲が狭くなる。

無音期間を短くするため、今後とも装置の低消費電力化を進める必要がある。例えば、現在、論理回路の電源電圧は12Vから5Vへステップダウンしているが、論理回路の低電源電圧化を図れば6Vバッテリーからのステップダウンが可能となり2倍の電源容量アップになる。

4. 結 言

イルカのクリックス鳴音を放射するブイシステムを開

発した。周波数が高く繰り返しが速い任意の超音波パルスをICメモリに記憶させ、それを速い速度で読みだし、実際の生物の鳴音に近い形で水中に発射できるシステムが完成したので、ICメモリを変えるだけで簡単にいろいろなイルカの鳴音を発生できる。

ブイシステムに組み込むための1ビット化処理を施しても波形データの主要な周波数成分やパルス間隔のデータは保持されていることを確認した。

電池容量の限界から無音部分を5分に設定したが、今後、発音間隔を短くするためICの低電源電圧化を図っていく必要がある。

イルカは高等な動物であり、鳴音に含まれている生物学的な情報を理解して反応することが期待できるので、今後ともソフト面で有効な音を探していく必要がある。

参考文献

- 1) 武富一：イルカの音波による刺激行動，昭和53年度・音波等を利用したイルカの行動制御に関する特別研究報告書，45-64，科学技術庁昭和54年12月
- 2) 森満 保：イルカの集団自殺，金原出版，1991
- 3) 長谷川英一・吉川康夫・石井憲：1986年第38黒森丸混獲回避調査報告，水産庁，1987
- 4) 石井 憲：生体ソーナー－イルカクリック音の集録システム，水工研研報，10，189-214，1989
- 5) 石井 憲：クリックス鳴音の再生放射の為のファームウェア化システム，水工研研報，11，251-280，1990
- 6) 畠山良己：音波発生器の有効距離に関する考察，昭和58年漁業公害対策調査委託事業報告書，日本大学，1984