

|                           |         |        |                |        |
|---------------------------|---------|--------|----------------|--------|
| (51) Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号    | 庁内整理番号 | F I            | 技術表示箇所 |
| G 0 1 S 11/14             |         |        |                |        |
| G 1 0 L 9/16              | 3 0 1 C |        | G 0 1 S 11/ 00 | C      |

請求項の数2(全7頁)

|   |                 |          |  |
|---|-----------------|----------|--|
| (21) 出願番号   | 特願平2-126998     | (71) 出願人 | 999999999<br>運輸省船舶技術研究所長<br>東京都三鷹市新川6丁目38番1号 |
| (22) 出願日  | 平成2年(1990)5月18日 | (72) 発明者 | 山田 一成<br>東京都大田区久が原4-44-2                     |
| (65) 公開番号   | 特開平5-157835     | (72) 発明者 | 有村 信夫<br>東京都三鷹市新川6-38-2 新川宿舍4号               |
| (43) 公開日  | 平成5年(1993)6月25日 | (72) 発明者 | 染谷 実<br>東京都中野区江古田3-14江古田合同住宅-6-301           |
| 特許法第30条第1項適用申請有り 平成1年11月20日<br>運輸省船舶技術研究所発行の「平成元年度秋季(第54回)船舶技術研究所研究発表会講演集」に発表 |                 | (72) 発明者 | 多賀 謙治<br>東京都三鷹市深大寺2-42-37                    |
|   |                 | (72) 発明者 | 原野 勝博<br>東京都府中市片町1-10-6-202                  |
|   |                 | (72) 発明者 | 藤井 忍<br>東京都大田区南久が原2-19-7                     |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 霧笛音の伝播特性を利用した距離の検知方法及び装置

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】濃霧航行中の近接船の霧笛音より近接船までの距離を検知する方法において、(イ)近接船の霧笛音源から直接伝播する直接音波と一度海面に反射して伝播する反射音波が重畳している霧笛音を海面(平均水面)に対する垂直方向の2箇所を受信し、(ロ)該2箇所を受信した夫々の霧笛音をケプストラム法により信号処理して霧笛音に含まれている直接音波に対する反射音波の遅れ時間を測定し、(ハ)別途にリアルタイム計測で求めた大気中の音速値と前記信号処理で得た遅れ時間との積より、夫々の受信点における直接音波と反射音波の霧笛音に関する伝播経路の違いによる音線(霧笛音波面の法線の軌跡)差を求め、(ニ)次いで、霧笛音の伝播経路に関する音線の幾何構造と前記音線差と受信点の高さから霧笛音を発した近接船迄の水平距離を算出して

2

検知する、ことを特徴とする霧笛音の伝播特性を利用した距離の検知方法。

【請求項2】(イ)近接船の霧笛音源から大気中に放射されて伝播してきた霧笛音を受ける受音器を、自船において海面に対する垂直方向の高さが異なる2個所の位置に備えた霧笛音収録装置と、(ロ)前記収録装置からの信号より霧笛音と騒音を識別する信号弁別装置と、

(ハ)前記2個所の受音器それぞれの位置における、信号弁別された霧笛音に重畳された直接音波と反射音波の遅れ時間を求める信号処理装置と、(ニ)前記遅れ時間と、実測した大気中の音速値とにより、霧笛音を発した近接船までの水平距離を演算する演算装置と、(ホ)前記演算の結果を表示する表示装置、とからなる霧笛音の伝播特性を利用した距離の検知装置。

【発明の詳細な説明】

## [ 発明の目的 ]

## ( 産業上の利用分野 )

本発明は、濃霧航行中に近接船との距離や近接船の大きさを検知する方法及びその装置に関する。更に詳しくは、受信された霧笛音をケプストラム法で信号処理して近接船との距離や近接船の大きさを検知する方法、及び、その装置に関するものである。

## ( 従来技術 )

視界不良の輻輳海域における近接船のレーダ画像には自船近傍での海面反射像が現われ、他船の像との識別が困難になることがあるため、霧笛応答は極めて重要である。

しかしながら、近接船からの霧笛音の検知は、一般に操船者の聴覚機能により霧笛音の強度から近接船までの距離を求めるように行なわれているものである。この場合、到来する霧笛音の音線は空中の温度勾配で曲がり、しかも、濃霧中の温度勾配は常に揺らいでいるため、受信点における霧笛音の強度は一定の値とにならないから操船者の聴覚機能の応答特性に影響されて、霧笛音の認識についての精度は不安定になることもあって衝突事故の一原因になることがある。この対策として、霧笛音の強度を増幅する聴音器方式のものはあるが、現在、霧笛音をリアルタイムで信号処理して直接近接船までの水平距離や近接船の大きさを求める方式のものは存在していない。

## ( 発明が解決しようとする課題 )

操船者の聴覚機能を介して霧笛音の強度から近接船の水平距離を捉えようとする場合、人間の聴覚機能には個人差や聴覚環境によつて近接船の霧笛音が聞こえたり聞こえなかったりする現象が現われ、霧笛音の検知精度の低下を伴うことがある。このため、発明者は影響信号による距離検知システムを開発すべく霧笛音を直接信号処理する検知方式について鋭意、検討を重ねた。その結果、受信された霧笛音を電気信号に変換して求めた音響強度をケプストラム法で信号処理する場合、近接船までの水平距離等の情報を操船者の個人差や聴覚環境に影響されない不変な情報量としてリアルタイムで入手できることを見出し、本発明を完成するに至った。

## [ 発明の構成 ]

## ( 解決するための手段 )

本発明を概説すれば、本発明は濃霧航行中の近接船の霧笛音より近接船までの距離を検知する方法において、  
1) 近接船の霧笛音源から直接伝播する直接音波と一度海面に反射して伝播する反射音波が重畳している霧笛音を垂直方向の2箇所を受信し、2) 該2箇所を受信した夫々の霧笛音をケプストラム法により信号処理して霧笛音に含まれている直接音波に対する反射音波の遅れ時間を測定し、3) 別途にリアルタイム計測で求めた大気中の音速値と前記信号処理で得た遅れ時間との積より、夫々の受信点における直接音波と反射音波の霧笛音に関す

る伝播経路の違いによる音線(霧笛音波面の法線の軌跡)差を求め、4) 次いで、霧笛音の伝播経路に関する音線の幾何構造と前記音線と受信点の高さから霧笛音を発した近接船迄の水平距離を算出して検知する、ことを特徴とする霧笛音の伝播特性を利用した距離の検知方法、及び、そのための装置に関するものである。

以下、本発明の技術的構成及び実施の態様を図面を参照して詳しく説明する。なお、本発明の霧笛音の伝播特性を利用した距離の検知方法は、後述する様に霧笛音を発した近接船までの水平距離を正確に検知することができることは勿論のこと、霧笛音源の位置の高さ、側ち、近接船の大きさも検知することができるという特徴を有するものである。

近接船の霧笛音源から発せられ大気中を伝播してくる霧笛音波には、第1図に示される様に霧笛音源から直接伝播してきた直接音波と一度海面に反射してきた反射音波という二つの伝播経路の異なった音波が重畳して自船に到達することになる。本発明は前記した点に着目して、自船のマスト等で垂直方向の高さ異なる2箇所の夫々の位置受信点で霧笛音を受信した後、夫々の受信点で電気信号に変換された霧笛音の音響強度に関してケプストラム法で信号処理を行ない、夫々の受信点で直接音波に対する反射音波の遅れ時間を求め、次に、この値と別途にリアルタイム測定で得られた空中の伝播音速値との積より、霧笛音に含まれている直接音波と反射音波の伝播経路の違いから音線(霧笛音波面の法線の軌跡)差を求め、霧笛音の伝播経路に関する音線の幾何構造、及び前記音線差と受信点の高さから霧笛音を発信した近接船までの水平距離ならびに近接船における海面からの霧笛音源までの高さを算出するという技術的構成を採用する。

## ( 作用 )

本発明は、空中に発せられた霧笛音の伝播経路の違いによる音線差から距離を検出するもので、霧笛音の大気中の伝播現象を利用するものである。第2図に、本発明の霧笛音の伝播特性を利用した距離検知システム、特に、システムを構成する装置の概要を示す。

本発明の霧笛音による近接船迄の距離や近接船の大きさを検出するシステムにおいて、信号処理のフローは第3図に示す。

本発明は第3図に示される様に、まず霧笛音波の伝播過程で直接音波と海面で反射した反射音波の時間遅れ時間を測定する。これは後述するケプストラム法の信号処理により測定する。次いで、この遅れ時間と大気中の音速値との積から、直接音波と反射音波の伝播過程の違いに基づいた両音波の音線差の値を求める。更に、後述する霧笛音による距離検出の信号処理のアルゴリズムに従って、霧笛音を発信した近接船までの水平距離と近接船の大きさ(霧笛音源の高さ)を求めるものである。

( i ) 距離の検出アルゴリズムについて

本発明に適用される霧笛音による距離の検出アルゴリズムについて説明する。まず、近接船間における霧笛音の伝達モデルを第4図に示す。この図で霧笛音源と受信点を結ぶ直接音波の音線の長さを $L_1$ 、虚像音源と受信点を結ぶ海面反射波の音線の長さを $L_2$ 、霧笛音源と受信点の水平距離を $x$ 、受信点の高さを $z$ 、霧笛音源の高さを $h$ 、と置けば、夫々、

$$L_1 = ((h - z)^2 + x^2)^{1/2},$$

$$L_2 = ((h + z)^2 + x^2)^{1/2} \quad (1)$$

となる。前記(1)式において、両音線の差  $L = L_2 - L_1$  と置いて、霧笛音源と受信点の水平距離 $x$ が霧笛音源の海面高さ $h$ や受信点の高さ $z$ の値に比べて十分に大き

とした条件のとき、即ち、 $h + z \ll x, h - z \ll x$  で近似できると、

$$L = L_2 - L_1 \sim (2hz/x) \{ 1 - (h^2 + z^2) / 2x^2 + \dots \} \quad (2)$$

となる。音線の差  $L$  は霧笛音源の高さ $h$ と受信点の高さ $z$ の相乗積に比例することが判る。また、霧笛音源と受信点との水平距離 $x$ は

$$x \sim 2hz / L \quad (3)$$

となる。しかし、通常の場合(3)式の $h$ は未知数となっている。

そこで、霧笛音源の高さ $h$ の値は、受信点の高さ $z$ を $z + z$ に替えたときの音線差の変化分 ( $L$ )より推定することを考える。

即ち、音線差  $L$  に関する(2)式を受音点の高さ $z$ で微分して、(2)式と組み合わせると、(4)式の関係が得られる。

$$\{ (L) / z \} / \{ L/z \} \sim 1 - z^2/x^2 + \dots \quad (4)$$

従って、(2)、(4)式から距離 $x$ と霧笛音源の高さ $h$ は、夫々、

$$x \sim z / [ 1 - \{ (L) / z \} / \{ L/z \} ]^{1/2} \quad (5)$$

$$h \sim 0.5z / \{ L/z \} / [ 1 - \{ (L) / z \} / \{ L/z \} ]^{1/2} \quad (6)$$

として求めることができる。

なお、(4)式中の音線差  $L$  を受信点の高さ $z$ で微分 ( $L) / z$ するとき、受信点を2箇所選べば、差分式に置き換えることができることは言うまでもないことである。

#### (ii) 霧笛音のケプストラム法による信号処理

霧笛装置には蒸気弁、空気弁、あるいは電気弁を用いる三種類のものがある。通常、船舶で用いられている霧笛音源の音響特性は、霧笛音の大気中の吸収を考慮して、周波数帯域で、略、150~1,500Hz範囲内において放射エネルギーが大きなものを使用している。また、霧笛音を放射する送波器の放射面の大きさは霧笛音波の波長に比べて小さいため、第5図に示す様に音波エネルギーが全方位に拡散される指向性を持つものであるから霧笛

音源を点音源として取り扱って、霧笛音の信号処理を行なうことができる。

即ち、近接船における任意の受信点において、霧笛音の直性音波 $x(t)$ と霧笛音が一度海面に反射して $T$ という時間遅れの反射音波 $x(t - T)$ が混じって到達するとした音波信号 $y(t)$ を考えると、該音波信号 $y(t)$ は次式の様に書くことができる。

$$y(t) = x(t) + r \cdot x(t - T) \quad (7)$$

10 なお、 $r$ は海面反射係数とし、 $r \cdot x(t - T)$ の演算はコンボリューションになるが、直接音波と反射音波の2経路の伝達関数の違いは無視する。

ここで、(7)式の両辺のフーリエ変換を行なうと、次式が得られる。

$$Y(f) = X(f) [ 1 + r \exp(-j2\pi fT) ] \quad (8)$$

但し、 $Y(f), X(f)$ は夫々 $y(t), x(t)$ の周波数スペクトルである。

(8)式で、受信点における音波信号 $y(t)$ のパワースペクトルを計算すると、

$$Y(f)^2 = X(f)^2 [ 1 + r^2 + 2r \cos(2\pi fT) ] \quad (9)$$

20 になる。即ち、 $Y(f)^2$ は直接音波のパワースペクトル $X(f)^2$ の大きさを周波数軸に沿って周期 $1/T$ で変調したものになる。

しかし、海面の反射係数 $r$ の周波数依存性は小さいが、直接音波のパワースペクトル $X(f)^2$ の周波数依存性は前記に示した様な帯域をもっている。このため、(9)式から直接時間遅れ $T$ を求めることは困難である。

そこで、まず、(9)式の両辺の対数を探ると、

$$30 \text{Log} Y(f)^2 = \text{Log} X(f)^2 + \text{Log} [ 1 + r^2 + 2r \cos(2\pi fT) ] \quad (10)$$

となる。(10)式の右辺の第1項は霧笛音源に関する直接音波の $x(t)$ の対数パワースペクトルとなり、第2項は周期関数となって、周期項を分離することができるが、余弦波の $\cos(2\pi fT)$ が重なっている。

次に、(10)式の対数パワースペクトル $\text{Log} Y(f)^2$ を周波数軸に沿っての波形と見なし、この波形のフーリエ変換を行えば、第2項のフーリエ変換が線スペクトルになるのに対し、第1項のフーリエ変換は霧笛音源の対数強度のスペクトルとなる。

即ち、(10)式の両辺のフーリエ変換を(11)式の様

$$C(q) = F \{ \text{Log} Y(f)^2 \} = F \{ \text{Log} X(f)^2 \} +$$

$$F \{ \text{Log} [ 1 + r^2 + 2r \cos(2\pi fT) ] \} \quad (11)$$

(11)式の第2項から $1/T$ を周期とする周期関数のスペクトルが現われることになる。

50 従って、 $C(q)$ は対数パワースペクトルのフーリエ変換であることからこの絶対値の2乗、 $C(q)^2$ の意味は霧笛音源に関する直接音波の対数パワースペクトル

ルのパワースペクトルを表わしたものでケプストラム (Cepstrum) となっている。

霧笛音に関するケプストラムの実測例は第6図の様になり、この図は自船前方185m地点を横切る近接船の霧笛音を海面から5mの位置で受信して、ケプストラム法で信号処理した実測例である。図中の $C(q)$ の横軸は、直接音波に対する反射音波の遅れ時間 $T$ の整数倍の値になるところで鋭いピークが表れ、これは、(11)式の第2項の基本成分とする高調波成分も表われることから、夫々のピークの出ている間隔の平均値から霧笛音の直接音波と反射音波との遅れ時間 $T$ を測定することができる。なお、横軸は周波数を時間と見なしてフーリエ変換したものであるから、ケフレンシー (quefrensy) と呼ばれるもので、時間次元を持つものである。

従って、船上の受信された霧笛音について(11)式のケプストラム法で信号処理を行えば、霧笛音の直接波と霧笛音が一度海面に反射して来る反射波との時間遅れ $T$ を求めることができる。

本発明においては前記の様にして求めた時間遅れ $T$ と別途に測定した大気中の音速値 $V$ との積から直接音波と海面反射音波の両音線差 $L$ を知ることができる。そして、音線差 $L$ が求めれば、前記の(5)、(6)式により $x$ 値と $h$ 値を決定することができる。

#### [発明の効果]

濃霧航行時に他船の位置情報を収集する場合、搭載レーダ画像には自船近傍で海面反射像が現われ、他船画像と識別が困難となり、近接船に対しては霧笛応答が極めて重要な情報源になっている。現状では、操船者の聴覚機能によって霧笛音の認識が行なわれているが、聴覚機能に個人差があったり、あるいは、霧笛音が伝播媒質の温度勾配によって上空に拡散し、しかも、この温度勾配

\*は常に揺らいているので、霧笛音の受信強度には距離損失の他に大気温度勾配による損失の影響が存在する。このため、操船者が霧笛音を聞き取る時の受信強度は一定とはならず、聴覚機能の音響強度レベルの変動に対する応答特性によっては、操船者に霧笛音が聞こえたり聞こえなかったりして、近接船迄の距離認識における精度の低下によって衝突事故の一原因につながることもある。

本発明の霧笛音による距離検知方式は、操船者の聴覚機能<sup>10</sup>を全く使用していないため、高精度の近接船情報を操船者に提供することができ、濃霧航行時の安全精度の向上に大きく寄与することができる。また、本発明の霧笛音による距離検知方式は近接船の保有する霧笛音源の特性に左右されず、自船の霧笛音の受信機構で対応することができるため、別言すれば、各種船舶で用いられている霧笛音源に対して加工の必要性が無い<sup>10</sup>ため、濃霧航行における運行支援装置として極めて有効なものである。

#### 【図面の簡単な説明】

第1図は、本発明における霧笛音の伝播経路モデルを説明する図である。

第2図は、本発明の霧笛音による距離検知システム装置の概要図である。

第3図は、本発明の霧笛音による距離検知システム装置の信号処理のフローである。

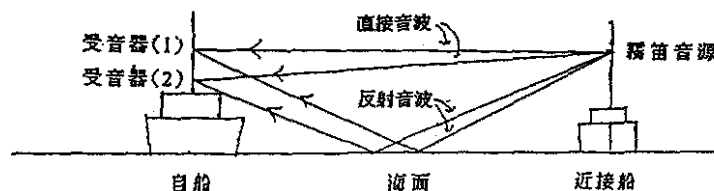
第4図は、本発明において用いる霧笛音の伝達モデルを説明する図である。

第5図は、本発明において用いる霧笛音源の指向特性モデルを説明する図である。

第6図は、本発明において用いる霧笛音のケプストラム分析の実測値を示すグラフである。

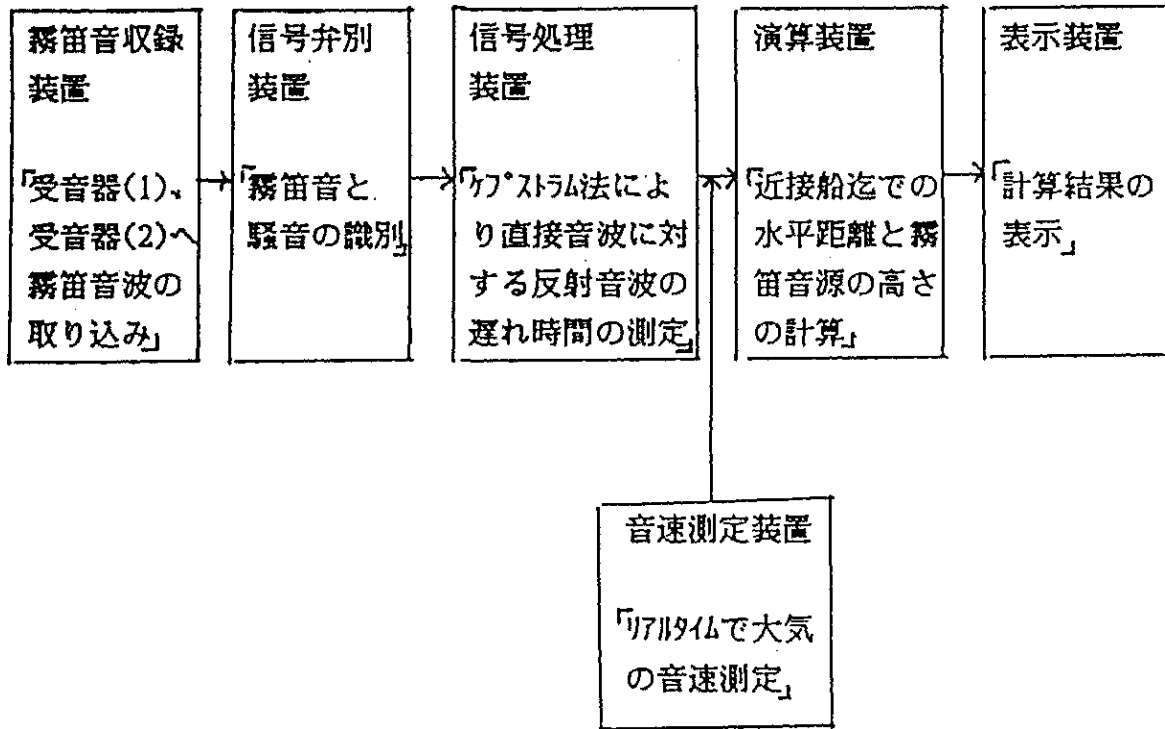
#### 【第1図】

霧笛音の伝播経路モデル

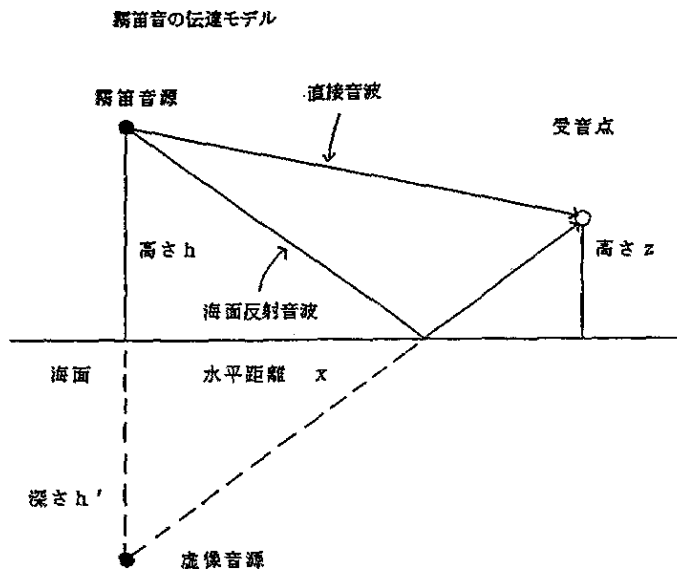


【第2図】

霧笛音による距離検知システム装置の概要

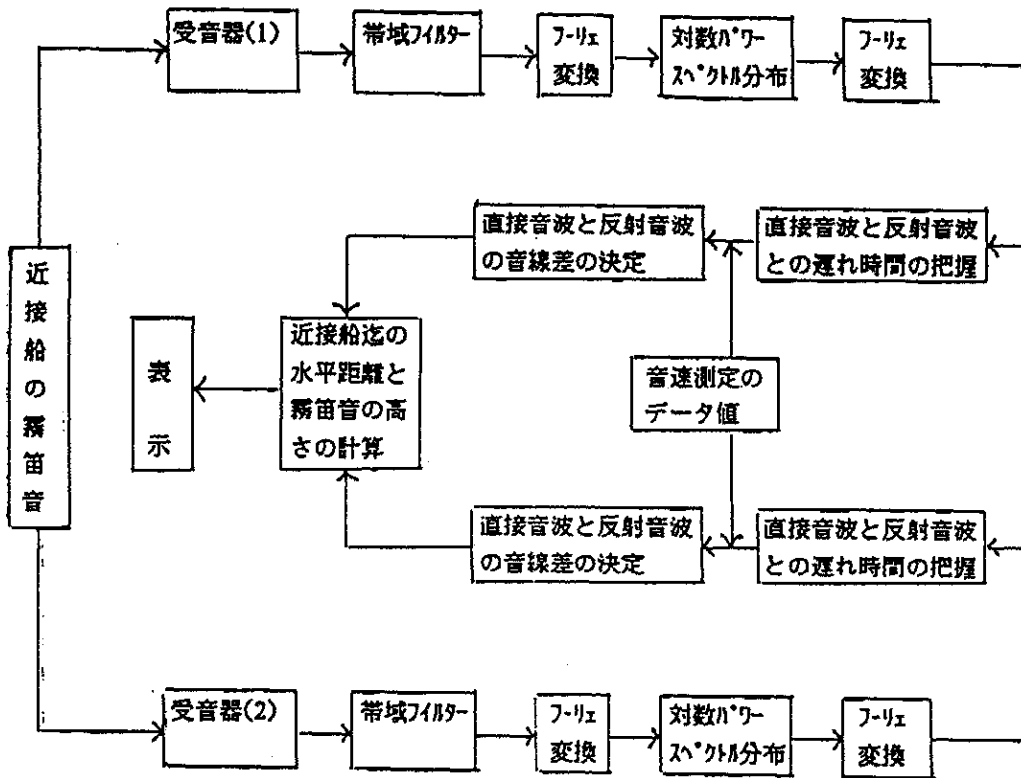


【第4図】



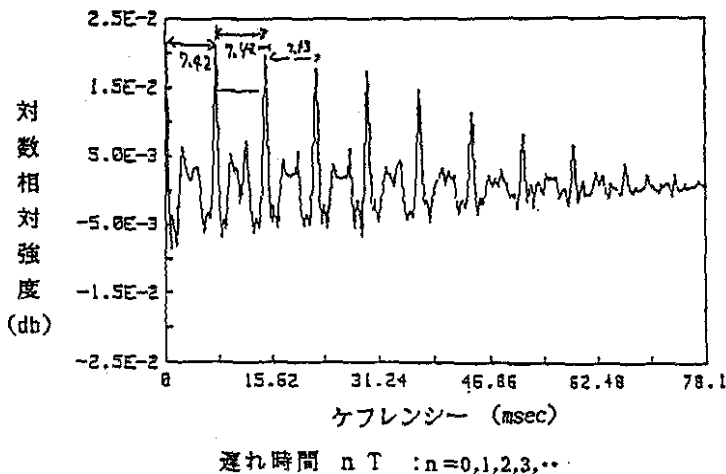
【第3図】

霧笛音による距離検知システム装置の信号処理のフロー



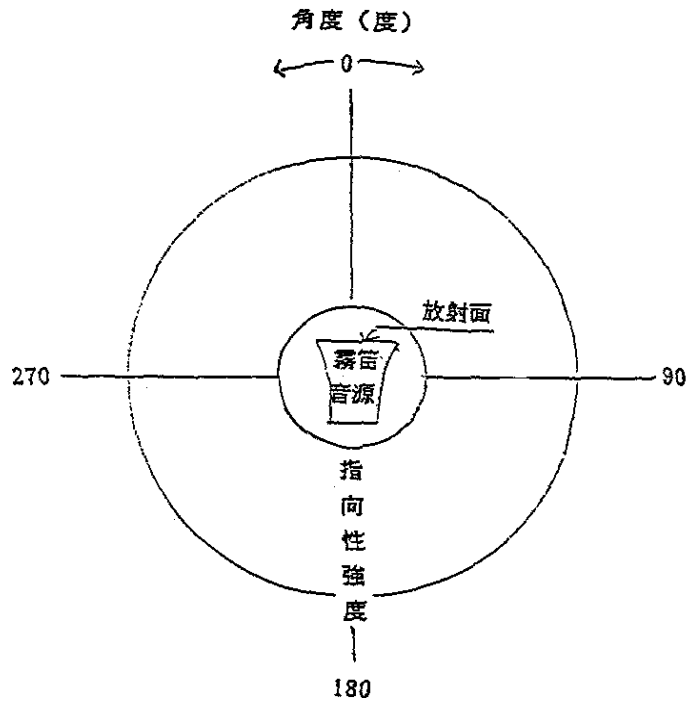
【第6図】

霧笛音のケブストラム分析の実測値



【第5図】

霧笛音源の指向性モデル



フロントページの続き

審査官 倉地 保幸