

(51)Int.Cl.⁷ 識別記号 F I
G01S 3/808 G01S 3/808
7/526 7/52 J

請求項の数 6 (全16頁)

(21)出願番号	特願平11 - 69924	(73)特許権者	390014306 防衛庁技術研究本部長 東京都新宿区市谷本村町 5 番 1 号
(22)出願日	平成11年 3月16日(1999.3.16)	(73)特許権者	000000295 沖電気工業株式会社 東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番12号
(65)公開番号	特開2000 - 266833(P 2000 - 266833 A)	(72)発明者	倉野 重光 神奈川県横須賀市久比里 2 - 3 陸自官舎 I 棟 4 - 5
(43)公開日	平成12年 9月29日(2000.9.29)	(72)発明者	中野 武吉 神奈川県横須賀市汐見台 2 - 26 - 9
審査請求日	平成11年 3月16日(1999.3.16)	(74)代理人	100089635 弁理士 清水 守 (外 1 名)
		審査官	宮川 哲伸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置及び方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】 航走体の放射雑音を 2 つ以上の受波器で受信し、受信された受波信号間の相互相関をとることにより、音響の方位を求める測位装置において、航走体の放射雑音を検出する受波器 A (5) , 受波器 B (6) と、入力された波形信号を一定レベルまで振幅増幅する受信回路 (7 , 8) と、アナログ波形信号をデジタル波形信号に変換する A / D 変換器 (9 , 1 0) と、該デジタル波形信号を F F T 処理し時間 - 周波数信号に変換する F F T 処理器 (1 1 , 1 2) と、 F F T 処理された時間 - 周波数信号を記憶する記憶装置 (1 3 , 1 4) と、航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域を検出する検出器 (1 5) と、航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域でバンドパスフィルター処理をするバンドパスフィルター処理器 (1 6 , 1 7) と、ドップラー周

2

波数による航走体速度検出器 (1 8) と、前記バンドパスフィルター処理された波形信号についてドップラー現象による時間伸縮率を求めて、ドップラー補正を行うドップラー補正演算器 (1 9) と、ドップラー補正された受波信号について相互相関処理を行いその最大値から航走雑音の受波器 A (5) と受波器 B (6) への到達時間差を検出する相互相関演算器 (2 0) と、相互相関演算の結果から目標航走体の方位と位置を算出し表示する表示器 (2 1) を具備し、音源が高速で航走した場合に、2 つ以上の受波器で受信した受波信号間に生じるドップラー効果の影響を補正し、各受波信号間の相互相関の最大値の算出を可能にして、航走体放射雑音の各受波器までの到達時間差を検出し、音源の位置を特定することを特徴とするドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置。

10

【請求項 2】 請求項 1 記載のドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置において、前記航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域を検出する検出器 (1 5) は、

(a) 第 1 の受波器による受波信号に基づいて、前記記憶装置 (1 3 , 1 4) から F F T 処理された時間 - 周波数受波信号を読み込んで、サンプリング時間 N 秒毎のローファークラムを作成する手段と、

(b) 前記ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z 間のスペクトルラインにおけるパワー値極大値列を抽出する手段と、

(c) 前記 (a) 及び (b) 手段の処理を前記ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z の範囲にある航走雑音のパワー値の極大値列群の全部について実施する手段とを備え、

(d) 第 2 の受波器による受波信号に基づいて、上記 (a) 、 (b) 及び (c) 手段による処理を行い、前記第 1 の受波器受波信号に基づいて検出された航走雑音周波数帯域の上限値と下限値が、前記第 2 の受波器受波信号に基づいて検出された航走雑音周波数帯域の上限値と下限値とに一致した場合に、航走体振動特性に起因する航走雑音の周波数帯域と判定する手段とを具備することを特徴とするドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置。

【請求項 3】 請求項 1 記載のドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置において、ドップラー周波数による航走体速度検出器 (1 8) 以外の他の手段によって、目標航走体速度が検出される場合には、ドップラー周波数による航走体速度検出器 (1 8) に代えて、前記他の手段による目標航走体速度の値をドップラー補正演算器 (1 9) に入力することによって、各受波信号間の相互相関の最大値の算出を可能にして、航走体放射雑音の各受波器までの到達時間差を検出し、音源の位置を特定することを特徴とするドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置。

【請求項 4】 請求項 1 記載のドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置を水平方向に多数設置し、それぞれの装置が求めた音源の方位からその交点を求め、音源位置を特定することを特徴とするドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置。

【請求項 5】 請求項 1 記載のドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置を垂直方向に多数設置し、それぞれの装置が求めた音源の方位からその交点を求め、音源位置を特定することを特徴とするドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置。

【請求項 6】 航走体の放射雑音を 2 つ以上の受波器で受信し、受信された受波信号間の相互相関をとることにより、音響の方位を求める測位方法において、第 1 の受波器による受波信号から音源の航走速度が求まることを基にして、航走体が発生する航走雑音を複数の受波器で

受信して、音源が高速で航走した場合に、2 つ以上の受波器で受信した受波信号間に生じるドップラー効果の影響を補正し、各受波信号間の相互相関の最大値の算出を可能にして、航走体放射雑音の各受波器までの到達時間差を検出し、音源の位置を特定するドップラー補正を行う航走雑音用音響測位方法であって、

(a) 第 1 の受波器による受波信号に基づいて、記憶装置から F F T 処理された時間 - 周波数受波信号を読み込んで、サンプリング時間 N 秒毎のローファークラムを作成し、

(b) 該ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z 間のスペクトルラインにおけるパワー値極大値列を抽出し、

(c) 前記 (a) 及び (b) の処理を前記ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z の範囲にある航走雑音のパワー値の極大値列群の全部について実施し、

(d) 前記 (a) 、 (b) 及び (c) の処理を第 2 の受波器受波信号に基づいて行い、そこで検出された航走雑音周波数帯域の上限値と下限値が第 1 の受波器による受波信号の周波数帯域の上限値と下限値とに一致した場合に、航走体振動特性に起因する航走雑音の周波数帯域とすることを特徴とするドップラー補正を行う航走雑音用音響測位方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】 本発明は、航走体の放射雑音を用いて、航走体の位置を測定する音響測位装置及び方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】 従来の音響測位装置は、文献 1 : 「海洋音響 (基礎と応用) 」 海洋音響学会 P . 2 0 9 ~ 2 1 3 と、文献 2 : 特許公報 特許番号第 2 7 2 3 8 6 6 号 「発明の名称 : 信号検出装置」に開示されているものがあり、原理は文献 1 で示された S B L 測位方式又は S S B L 方式と同様である。文献 1 で開示された装置のブロック図は、図 2 に示すものであり、原理等を説明するために、図 3、図 4 及び図 5 を示す。

【 0 0 0 3 】 図 2 において、1 は水中、2 は水面、3 は海底、4 は航走体、5 は受波器 A、6 は受波器 B、7、8 は受信回路、9、1 0 は A / D 変換器、2 0 は相互相関演算部、2 1 は表示器である。

【 0 0 0 4 】 以下、各構成機器の作動状況を説明する。

【 0 0 0 5 】 水中 1 及び水面 2 を航走体 4 が航走している場合、航走体 4 からは航走雑音が発生しており、受波器 A 5 及び受波器 B 6 で受信された信号は受信回路 7 及び 8 で一定レベルまで振幅増幅された後、A / D 変換器 9 及び 1 0 に入力される。ここでアナログ信号はデジタル信号に変換され、相互相関演算部 2 0 に入力される。相互相関演算部 2 0 では A / D 変換器 9 と 1 0 から送られてきたデジタル信号である受波信号 A と受波信号 B に

ついて、図 3 に原理を示すように相互相関処理により雑音の到達時間差を求める。さらに、図 4 と図 5 に示す受波信号 A と、受波信号 B の到達時間差から音源の方位及び位置を測位し、その結果を表示器 2 1 に表示する。

【 0 0 0 6 】文献 2 は、文献 1 で開示された原理におけるピンガー音の代わりに航走体の放射雑音を含む広帯域雑音を用いるもので、異なる二箇所に配置された受波器で受信した該広帯域雑音に生じる音源の移動に伴うドップラー効果の影響を補正する信号検出装置に関するものである。すなわち、二箇所で受信した信号の一方の入力信号を予め定めた複数の比率でそれぞれ時間圧縮または時間延伸する複数のドップラー補正部と、該複数のドッ

$$x_1(t) = s(t) + n_1(t)$$

【 0 0 0 9 】

$$x_2(t) = s[t + D(t)] + n_2(t)$$

【 0 0 1 0 】D (t) : 時刻 t での受波器 A と B との航走雑音到達時間差

n₁ (t) : 時刻 t に受波器 A 5 が受信するガウス性白色雑音

n₂ (t) : 時刻 t に受波器 B 6 が受信するガウス性白色雑音

n₁ (t) と n₂ (t) は無相関とする。

$$x_1(t) = s[\beta_1(t)t] + n_1(t)$$

【 0 0 1 3 】

$$x_2(t) = s\{\beta_2(t)[t + D(t)]\} + n_2(t)$$

【 0 0 1 4 】x₁ (t) : 時刻 t での受波器 A 5 と音源での音波の時間軸伸縮係数

x₂ (t) : 時刻 t での受波器 B 6 と音源での音波の時間軸伸縮係数

上記式 (3) と式 (4) において予め定めた複数の比率でそれぞれ時間圧縮又は時間延伸する複数のドップラー

$$x_1'(t) = x_1(\beta t) = s(\beta n t) + n_1(\beta t)$$

【 0 0 1 6 】x₁ (t) : 時刻 t での受波器 A 5 と音源での音波の時間軸伸縮係数

よって、x₂ (t) と x₁ (t) の相互相関関数 R_i

$$R_i(\tau) = 1/T \int_0^T x_1'(t + \tau) \times x_2(t) dt$$

【 0 0 1 8 】T : 受信波形計測時間

積分時間 T が十分大きい場合、上記式 (6) の R_i () は雑音 n₁ (t) 及び n₂ (t) に相関がないため、x₁ (t) かつ x₂ (t) = D (t) において相関の

$$R[D(t)] = 1/T \int_0^T x_1'[t + D(t)] \times x_2(t) dt$$

プラー補正部の出力と他方の信号の相互相関をそれぞれ求める複数の相互相関部と、各相互相関部の出力から最大値を選択する最大選択部を有している。図 3 を用いて、文献 2 で開示された従来の発明を数式で説明する。

【 0 0 0 7 】異なる二箇所に配置された受波器による受信波形は次式で表示される。s (t) を時刻 t での受波器 A 5 の受波信号から雑音とドップラー効果を除去した振幅とすると、受波器 A 5 及び受波器 B 6 の受信波形 x₁ (t) と x₂ (t) はドップラー効果を包含して次式で表示される。

【 0 0 0 8 】

【数 1】

$$\dots (1)$$

【数 2】

$$\dots (2)$$

【 0 0 1 1 】ここで、文献 2 で開示された発明は、受波器 A 5 及び受波器 B 6 の受信波形の周波数を一致させるため一方の波形のドップラー周波数を補正する方法として、時間軸伸縮係数を用いた。

【 0 0 1 2 】

【数 3】

【 0 0 1 5 】x₁ (t) : 時刻 t での受波器 A 5 及び受波器 B 6 の受信波形間の最大相関値を検出している。すなわち、補正後の受信波形を x₁ (t) とすると、

【 0 0 1 5 】

【数 5】

$$\dots (5)$$

() は、次式で表示される。

【 0 0 1 7 】

【数 6】

最大値

【 0 0 1 9 】

【数 7】

$$\dots (7)$$

【 0 0 2 0 】を検出できるものとしている。

【 0 0 2 1 】

【発明が解決しようとする課題】しかし、文献 2 で開示された発明の問題点は、水中 1 または水面 2 を航走する航走体 4 からの航走音と受波器 A 5 又は受波器 B 6 で受信される受信波形間で生じるドップラー周波数は、文献 2 で開示された発明が対象とする広帯域雑音では非常に範囲が広く、複数のドップラー補正部を用いても、正確な補正はできない。なぜなら、文献 3 : Jack R

$$f_D = f_0 \left\{ (V_P + V_W - V_H) / (V_P + V_W - V_t) - 1 \right\} \dots (8)$$

【 0 0 2 3 】ここで、

f_D : ドップラー周波数

f_0 : 音源周波数

V_P : 水中音波伝搬速度

V_W : 受波器 A 5 を中心とする円の半径方向水速度

V_H : 受波器 A 5 を中心とする円の半径方向受波器速度

V_t : 音源航走体速度

上記式 (8) より、ドップラー周波数 f_D は音源周波数 f_0 と音源航走体速度 V_t 等によって異なることが分かる。文献 2 の発明は、音源周波数 f_0 として広帯域周波数を用いることを原理としている。したがって、予め定められた複数の時間伸縮比を持った複数のドップラー補正部に受信波形を入力することによって、有限個である複数のドップラー周波数成分を除去して相互相関を算出し、その最大値を検出するものである。したがって、文献 2 において開示された発明では、用いる広帯域周波数音源に生ずる無数のドップラー周波数 f_0 を有限個のドップラー補正部で補正することになり、相互相関部に入力されたドップラー補正された受信波形の相互相関の最大値検出には大きな誤差を持つか又は検出不可能になるという問題がある。

【 0 0 2 4 】本発明は、水上又は水中を航走する航走体の水中雑音の中の、船体やプロペラ等航走体の形状と材質によって定まる振動特性に起因する放射雑音が、航走体の航走速度が増減した場合、雑音源音圧が増減しても、周波数スペクトルにおける周波数帯域が変化しないことの既知事実と本発明での検証事実を利用するものであり、該航走体の振動特性に起因する放射雑音を航走体の水中放射雑音から検出する方法を新たに発明したものである。

【 0 0 2 5 】そして、本発明は、これらの事実に着目し、さらに文献 3 において開示された内容により受波器 A による受信信号から音源の航走速度が求まることを基にして、航走体が発生する航走雑音を複数の受波器で受信して、航走体の位置を検出するドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置及び方法を提供することを目的としている。

【 0 0 2 6 】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達

Williams : 「 A Nomogram for VELOCITY AND RANGE DETERMINATION FROM ACOUSTIC DOPPLER », INTERSTATE ELECTRONICS CORPORATION November 1970 からドップラー周波数と音源速度の関係は、次式で表示されている。

【 0 0 2 2 】

【数 8】

成するために、〔 1 〕航走体の放射雑音を 2 つ以上の受波器で受信し、受信された受信信号間の相互相関をとることにより、音響の方位を求める測位装置において、航走体の放射雑音を検出する受波器 A (5) , 受波器 B (6) と、入力された波形信号を一定レベルまで振幅増幅する受信回路 (7 , 8) と、アナログ波形信号をデジタル波形信号に変換する A / D 変換器 (9 , 1 0) と、このデジタル波形信号を F F T 処理し時間 - 周波数信号に変換する F F T 処理器 (1 1 , 1 2) と、 F F T 処理された時間 - 周波数信号を記憶する記憶装置 (1 3 , 1 4) と、航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域を検出する検出器 (1 5) と、航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域でバンドパスフィルター処理をするバンドパスフィルター処理器 (1 6 , 1 7) と、ドップラー周波数による航走体速度検出器 (1 8) と、前記バンドパスフィルター処理された波形信号についてドップラー現象による時間伸縮率を求めて、ドップラー補正を行うドップラー補正演算器 (1 9) と、ドップラー補正された受信信号について相互相関処理を行いその最大値から航走雑音の受波器 A (5) と受波器 B (6) への到達時間差を検出する相互相関演算器 (2 0) と、相互相関演算の結果から目標航走体の方位と位置を算出し表示する表示器 (2 1) を具備し、音源が高速で航走した場合に、 2 つ以上の受波器で受信した受信信号間に生じるドップラー効果の影響を補正し、各受信信号間の相互相関の最大値の算出を可能にして、航走体放射雑音の各受波器までの到達時間差を検出し、音源の位置を特定するようにしたものである。

【 0 0 2 7 〕〔 2 〕特に、上記〔 1 〕記載のドップラー補正を行う航走雑音用音響測位装置において、前記航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域を検出する検出器 (1 5) は、 (a) 第 1 の受波器による受信信号に基づいて、前記記憶装置 (1 3 , 1 4) から F F T 処理された時間 - 周波数受信信号を読み込んで、サンプリング時間 N 秒毎のローファークラムを作成する手段と、 (b) 前記ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z 間のスペクトルラインにおけるパワー値極大値列を抽出する手段と、 (c) 前記 (a) 及び (b) 手段の処理を前記ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z の範囲

にある航走雑音のパワー値の極大値列群の全部について実施する手段とを備え、(d) 第 2 の受波器による受波信号に基づいて、上記 (a)、(b) 及び (c) 手段による処理を行い、前記第 1 の受波器受波信号に基づいて検出された航走雑音周波数帯域の上限値と下限値が、前記第 2 の受波器受波信号に基づいて検出された航走雑音周波数帯域の上限値と下限値とに一致した場合に、航走体振動特性に起因する航走雑音の周波数帯域と判定する手段とを具備するようにしたものである。

【 0 0 2 8 】また、本発明のドップラー補正を行う航走雑音用音響測位方法においては、

(6) 航走体の放射雑音を 2 つ以上の受波器で受信し、受信された受波信号間の相互相関をとることにより、音響の方位を求める測位方法において、第 1 の受波器による受波信号から音源の航走速度が求まることを基にして、航走体が発生する航走雑音を複数の受波器で受信して、音源が高速で航走した場合に、2 つ以上の受波器で受信した受波信号間に生じるドップラー効果の影響を補正し、各受波信号間の相互相関の最大値の算出を可能にして、航走体放射雑音の各受波器までの到達時間差を検出し、音源の位置を特定するドップラー補正を行う航走雑音用音響測位方法であって、

【 0 0 2 9 】(a) 第 1 の受波器による受波信号に基づいて、記憶装置から FFT 処理された時間 - 周波数受波

$$f_D = (f_2 - f_1) / 2 = f - f_0$$

【 0 0 3 3 】ここで、

f_0 = ドップラー周波数

f_2 = 上限ドップラー周波数

f_1 = 下限ドップラー周波数

また、上記式 (9) は、受波器を中心とする円の半径方

$$f_D = f_0 [V_P / (V_P - V_t) - 1] = f_0 \cdot V_t / (V_P - V_t)$$

$$\dots (9)$$

【 0 0 3 5 】ここで、一般に V_p 、 V_t であるから、

【 0 0 3 6 】

$$f_D = f_0 \cdot V_t / (V_P - V_t) \approx f_0 \cdot V_t / V_P \dots (11)$$

【 0 0 3 7 】式 (1 0) と式 (1 1) から、

【 0 0 3 8 】

$$V_t = f_D \cdot V_P / f_0 = V_P (f_2 - f_1) / 2 f_0 \dots (12)$$

【 0 0 3 9 】が導かれ、ここで、($f_2 - f_1$) f_0

であり、水中音波伝搬速度 $V_P = 1500 \text{ m/s}$ を式

(1 0) に代入すると、

$$V_t = 1500 (f_2 - f_1) / 2 f_0 = 750 (f_2 - f_1) / f_0$$

$$\dots (13)$$

【 0 0 4 1 】また、式 (8) から、

【 0 0 4 2 】

信号を読み込んで、サンプリング時間 N 秒毎のローファークラムを作成し、(b) そのローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z 間のスペクトルラインにおけるパワー値極大値列を抽出し、(c) 前記 (a) 及び (b) の処理を前記ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z の範囲にある航走雑音のパワー値の極大値列群の全部について実施し、(d) 前記 (a)、(b) 及び (c) の処理を第 2 の受波器受波信号に基づいて行い、そこで検出された航走雑音周波数帯域の上限値と下限値が第 1 の受波器による受波信号の周波数帯域の上限値と下限値とに一致した場合に、航走体振動特性に起因する航走雑音の周波数帯域とするようにしたものである。

【 0 0 3 0 】以下、より詳細に説明すると、音源航走体の速度は、船体やプロペラ等航走体の形状と材質によって定まる振動特性に起因する各種雑音の周波数帯域の内、上記した本発明での検証事実と従来の技術による既知事実から、F H z 以下の低周波数帯域の雑音を音源周波数として、ドップラー現象を考えると、以下に説明する原理から求められる。

【 0 0 3 1 】文献 3 に開示された技術により、受波器 A 5 又は受波器 B 6 で受信された音波において、次式 (9) が成り立つ。

【 0 0 3 2 】

【数 9】

向水速度 V_w と受波器を中心とする円の半径方向音源航走体速度 V_H とは、共に受波器が静止しているものとして、 $V_w = V_H = 0$ とすると、上記式 (9) は、

【 0 0 3 4 】

【数 1 0】

【数 1 1】

【数 1 2】

【 0 0 4 0 】

【数 1 3】

【数 1 4】

$$f_D = f_0 \cdot V_r / (V_P - V_r) \quad (14)$$

$$\dots (14)$$

【0043】ここで、
 V_r : 受波器を中心とする円の半径方向の音源航走体速度

式(14)から
 【0044】
 【数15】

$$V_r = f_D \cdot V_P / (f_D + f_0) \quad \dots (15)$$

【0045】この上記式(15)によってドップラー周波数と音源周波数が分かれば航走体速度が検出できる。

ら雑音とドップラー効果を除去した振幅とすると、受波器A5及び受波器B6での受信波形 $x_1(t)$ と $x_2(t)$ は、ドップラー効果を包含して次式で表示される。

【0046】受波器A5及びB6からの音源航走体の方位測定については次の原理による。

【0048】
 【数16】

【0047】受波器A5で受信した受信波形を $x_1(t)$ 、受波器B6で受信した受信波形を $x_2(t)$ とする。 $s(t)$ を時刻tでの受波器A5の受信波形か

$$x_1(t) = s[\beta_1(t)t] + n_1(t) \quad \dots (16)$$

【0049】

【数17】

$$x_2(t) = s\{\beta_2(t)[t+D(t)]\} + n_2(t) \quad \dots (17)$$

【0050】ここで、
 $\beta_1(t)$: 時刻tでの受波器A5と目標の受信波形時間軸伸縮係数

20 $n_2(t)$: 時刻tに受波器B6が受信するガウス性白色雑音

$\beta_2(t)$: 時刻tでの受波器B6と目標の受信波形時間軸伸縮係数

$n_1(t)$ と $n_2(t)$ は無相関とする。

$D(t)$: 時刻tでの受波器A5とB6の受信波形到達時間差

【0051】ここで、受波器A5と受波器B6の受信波形の周波数を一致させるため受波器B6のドップラー周波数を補正する。

$n_1(t)$: 時刻tに受波器A5が受信するガウス性白色雑音

【0052】補正後の信号波形を $x_2'(t)$ とすると

【0053】

【数18】

$$x_2'(t) = x_2(\beta t) = \alpha s[\beta_1(t+D)] + n_2(\beta t)$$

$$\dots (18)$$

【0054】ただし、 $\beta = \beta_1 / \beta_2$
 よって、 $x_1(t)$ と $x_2(t)$ の相互相関関数R()は、次式で表される。

【0055】

【数19】

$$R(\tau) = \{1/T \int_0^T x_1(t) \times x_2'(t+\tau) \} dt \\ = \alpha E \{s(\beta_1 t) s[\beta_1(t+D) + \tau]\} \\ + E \{n_1(t) n_2(\beta t + \tau)\} \quad \dots (19)$$

【0056】ここで、 $\beta(t)$ は、時刻tでの信号減衰係数である。

【0058】第1項は、 $\beta = \beta_1 / \beta_2$ Dにおいて

【0059】

【0057】上記式(19)の第2項は $n_1(t)$ と $n_2(t)$ が無相関であるから0である。

【数20】

$$R(-\beta_1 D) = \alpha R_s$$

$$\text{ただし、} R_s = 1/T \int_0^T \{s(\beta_1 t) s(\beta_1 t)\} dt \quad \dots (20)$$

【0060】よって、 R_s において相互相関は最大となる。

形 $x_2(t)$ の時間軸を β 倍伸縮させてドップラー補正することにより、 $\beta = \beta_1 / \beta_2$ Dで相関が最大となる。し

【0061】上記式(20)から分かるように、受信波

50 かし、相関が最大となる (β_1 / β_2) が得られて

も、 β_1 と β_2 の値は得られず、最大値の位置は、 β_1 倍ずれた誤差が残る。以上のことを正弦波で説明する。

【 0 0 6 2 】 図 3 において、航走体の速度を V 、とし受波器 A への速度成分を V_1 、受波器 B への速度成分を V_2 、目標航走体の放射雑音の周波数を f_0 とすると、受

$$f_A = f_0 (1 - V_1 / V_P) = f_0 \beta_1 \quad \dots (21)$$

【 0 0 6 4 】 【数 2 2】

$$f_B = f_0 (1 - V_2 / V_P) = f_0 \beta_2 \quad \dots (22)$$

【 0 0 6 5 】 ただし、 $\beta_1 = 1 - V_1 / V_P$ 【 0 0 6 6】
 $\beta_2 = 1 - V_2 / V_P$ 【数 2 3】

よって、入力となる受信波形は、

$$x_1 (t) = s (\beta_1 t) \quad \dots (23)$$

【 0 0 6 7 】 【数 2 4】

$$x_2 (t) = s \{ \beta_2 [t + D(t)] \} \quad \dots (24)$$

【 0 0 6 8 】 と置いたものとなる。さらに、受波器 B の 二つの受信波形 $x_1 (t)$ と $x_2 (t)$ は、次式で表
受信波形をドップラー補正により受波器 A の受信波形に 20 示される。
一致させると図 3 の $x_2 (t)$ となる。 【 0 0 7 0】

【 0 0 6 9 】 よって、図 3 におけるドップラー補正後の 【数 2 5】

$$x_1 (t) = s (\beta_1 t) \quad : \text{受波器 A} \quad \dots (25)$$

【 0 0 7 1 】 【数 2 6】

$$x_2' (t) = x_2 (\beta t) = s \{ \beta_1 (t + D) \} \quad \dots (26)$$

: 受波器 B

【 0 0 7 2 】 よって、 $x_1 (t)$ と $x_2 (t)$ の相互 【 0 0 7 3】
相関関数 $R (\tau)$ は、 30 【数 2 7】

$$R (\tau) = 1/T \int_0^T [x_1 (t) \times x_2' (t + \tau)] dt \quad \dots (27)$$

【 0 0 7 4 】 以上のドップラー補正により二つの音響波形 $x_1 (t)$ と $x_2 (t)$ の相互相関の最大値を上記式 (2 7) によって検出すれば目標航走体放射雑音の二つの受波器 A 及び受波器 B までの到達時間差 θ の検出が可能となる。

【 0 0 7 5 】 すなわち、上記式 (2 1) と上記式 (2 2) による値は、図 1 の相互相関演算器 2 0 に入力され処理される。相互相関演算器 2 0 では、図 3 に示すよう 40
に相互相関を演算し雑音到来方向を求め表示器 2 1 に表示する。

$$\theta = \cos^{-1} (r/d) \quad \dots (28)$$

【 0 0 7 8 】 が成り立つので、この上記式 (2 8) から音波の到来方向を求めることが出来る。

【 0 0 7 9 】 以上は、受波器が 2 個の場合について説明したが、図 5 に示すように複数の受波器を水中に設置して、受波器 A と受波器 B によって方位角 θ_1 を得、受波器 C と受波器 D により θ_2 を得る。これよりそれぞれの 50

波器 A で受信される周波数 f_A 、受波器 B で受信される周波数 f_B はそれぞれ次式で表示される。

【 0 0 6 3】

【数 2 1】

【数 2 2】

【 0 0 6 6】

【数 2 3】

【数 2 4】

【 0 0 7 0】

【数 2 5】

【数 2 6】

【 0 0 7 3】

【数 2 7】

【 0 0 7 6 】 図 4 は、到来方向を求める原理を示したものである。受波器 A と受波器 B の信号は同一の音源から発生した雑音であり、航走体 4 からは十分に遠いとする
と受波器 A 及び受波器 B に入力する信号は平行な波と見なせる。ここで、受波器 A と受波器 B とに同一な波が受信される時刻が分かるとその到達時間差から、該到達時間差に相当する距離 r が求められる。受波器 A と受波器 B の間隔を d とすると

【 0 0 7 7】

【数 2 8】

受波器の位置から方位角 θ_1 、 θ_2 で直線を描き、交点を P_0 とすることによって目標航走体の位置を特定できる。

【 0 0 8 0】 以上説明した原理は、予め定められた周波数を用いるピンガー方式やトランスポンダ方式による測位装置についても実現可能である。

【 0 0 8 1 】

【 発明の実施の形態 】 以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 8 2 】 図 1 は本発明に係る航走雑音のドップラー補正を行い目標航走体の位置を測位する装置の一実施例の構成を示している。

【 0 0 8 3 】 この図において、1 は水中、2 は水面、3 は海底、4 は航走体、5 は受波器 A、6 は受波器 B、7 と 8 は受信回路、9 と 1 0 は A / D 変換器、1 1 と 1 2 は F F T 処理器、1 3 と 1 4 は記憶装置、1 5 は航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域検出器、1 6 と 1 7 はバンドパスフィルタ処理器、1 8 はドップラー周波数による航走体速度検出器、1 9 はドップラー補正演算器、2 0 は相互相関演算器、2 1 は表示器である。

【 0 0 8 4 】 受波器 A 5 及び受波器 B 6 は水面または水中を航走する航走体の航走音を検出するものであり、例えばハイドロホン等である。

【 0 0 8 5 】 受信回路 7 と 8 は受波器 A 5 と、受波器 B 6 から入力された波形信号を一定レベルまで増幅した後、A / D 変換器 9 と 1 0 に信号を出力する。

【 0 0 8 6 】 A / D 変換器 9 と 1 0 は、受信回路 7 と 8 から転送されたアナログ波形信号をデジタル波形信号に変換し、該デジタル波形信号を F F T 処理器 1 1 と 1 2 に転送する。

【 0 0 8 7 】 図 6 は受波器 A、受波器 B、受波器 C が検出する航走雑音受波信号の一例を示す図であり、図 6 (a) は受波器 A による航走雑音受波信号、図 6 (b) は受波器 B による航走雑音受波信号、図 6 (c) は受波器 C による航走雑音受波信号をそれぞれ示している。なお、縦軸に振幅、横軸に計測時間を表している。

【 0 0 8 8 】 F F T 処理器 1 1 と 1 2 は、デジタル波形信号を N 秒毎に F F T 処理し、時間 - 周波数信号に変換して記憶装置 1 3 と 1 4 に転送する。

【 0 0 8 9 】 図 7 は受波器 A、受波器 B、受波器 C が検出する航走雑音の周波数スペクトルの一例を示す図であり、図 7 (a) は受波器 A による航走雑音周波数スペクトル、図 7 (b) は受波器 B による航走雑音周波数スペクトル、図 7 (c) は受波器 C による航走雑音周波数スペクトルをそれぞれ示しており、図中の は航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域の一例である。ここで、縦軸はパワー値、横軸は周波数である。

【 0 0 9 0 】 航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域検出器 1 5 は、記憶装置 1 3 と 1 4 から時間 - 周波数信号に変換された波形信号を個々に検出器内に取り込んで、受波器 A 5 の受信波形 $x_1(t)$ と受波器 B 6 の受信波形 $x_2(t)$ のそれぞれについてサンプリング時間 N 秒毎のローファークラムを作成する。該ローファークラムにおける一つのスペクトルラインの縦軸の値はパワー値、横軸は周波数である。すなわち、図 7 に示した周波数スペクトルを一つのスペクトルラインとして N 秒

毎に T / N ライン並べたものが該ローファークラムである。ここで該ローファークラムを基に航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域を検出する。

【 0 0 9 1 】 該航走雑音周波数帯域の検出方法を以下に説明する。

【 0 0 9 2 】 航走体振動特性に起因する航走雑音は、既知事実と本発明での検証事実から、次の特徴を示す。

(1) 航走速度が変化しても雑音の周波数帯域は変化しない。

10 (2) エンジン、発電機等船体に固定された振動源からの振動が船体を伝搬して水中に放射される場合、水中放射雑音は、航走体の振動特性に同期した固有周波数帯域を持つ。

(3) 低周波数 F H z 以下の航走雑音は、パワー値が大きな連続波であり、遠方まで伝搬する。

【 0 0 9 3 】 よって、以上の特徴を持つドップラー現象を生じている航走雑音の検出を次の手順で行う。

20 【 0 0 9 4 】 ①記憶装置から F F T 処理された時間 - 周波数受波信号を読み込んで、サンプリング時間 N 秒毎のローファークラムを作成する。

【 0 0 9 5 】 ②該ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z 間のスペクトルラインにおけるパワー値極大値列を抽出する。抽出条件は次の通りである。

【 0 0 9 6 】 i . 周波数 0 ~ F H z の範囲で (c - 1) 番目、c 番目、(c + 1) 番目のいずれかのスペクトルラインに極大値がなくてはならない。すなわち、航走雑音内で、上記 (1) , (2) , (3) の特徴を満たし、かつドップラー現象が生じている周波数の存否を見ている。

30 【 0 0 9 7 】 ii . 隣り合うスペクトルラインでの極大周波数の差が、航走体の移動によって隣のスペクトルラインで生じる周波数のずれを表す増分上限値 f (ここでは、例えば $d f$ を周波数分解能としたとき、 $d f < f < 3 d f$) を超えてはならない。すなわち、(1) , (2) , (3) の特徴を満たし、かつドップラー現象を引き起こしている当該周波数のものに属しているかどうかを見ている。

【 0 0 9 8 】 iii . ii の増分上限値 f を超えた場合は、データ欠損として次のスペクトルラインに移る。

40 【 0 0 9 9 】 iv . 周波数のずれを表す増分上限値 f を超えた周波数範囲において、条件 i , ii を満たす次のスペクトルラインの極大値列を検出する。

【 0 1 0 0 】 ③ 上記①, ②の処理を該ローファークラムにおいて周波数 0 ~ F H z の範囲にある航走雑音のパワー値の極大値列群の全部について実施する。

【 0 1 0 1 】 以上の①, ②, ③の処理手順を受波器 B による受波信号 $x_2(t)$ にも同様に行い、そこで検出された航走雑音周波数帯域の上限値と下限値が受波器 A による受波信号 $x_1(t)$ の周波数帯域の上限値と下限値とに一致した場合に、航走体振動特性に起因する航走雑

音の周波数帯域とする。

【0102】図8は航走雑音受信信号についてのサンプリング時間N秒毎ローファークラムの一例を示す図であり、縦軸に周波数、横軸に計測時間を示している。

【0103】図8中に航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域検出器15によるN秒毎の周波数スペクトルライン上のパワー値が極大値列を成す航走雑音の時間-周波数信号と航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域の上限値と下限値の検出例を示す。

【0104】該航走雑音周波数帯域検出器15は、検出した航走雑音周波数帯域の上限値と下限値の値をバンドパスフィルター処理器に入力するとともに、N秒毎の周波数スペクトルライン上のパワー値が極大値列を成す時間-周波数波形信号をドップラー周波数による航走体速度検出器18に転送する。

【0105】バンドパスフィルター処理器16と17は航走雑音周波数帯域検出器15から入力された周波数帯域の上限値と下限値の範囲で、記憶装置13と14に記憶された波形信号についてバンドパスフィルター処理を行いドップラー補正演算器19に転送する。

【0106】図9に航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域の上限値と下限値の範囲でバンドパスフィルター処理を実施した受波器A、受波器Bおよび受波器Cによる信号波形の一例を示す。

【0107】ドップラー周波数による航走体速度検出器18は、航走雑音周波数帯域検出器15から転送されたN秒毎周波数スペクトルライン上のパワー値が該ローファークラムにおいて極大値列を成す時間-周波数波形信号から上記式(15)及び文献4：特願平10-190212号で本願発明者によって提案された技術によりドップラー周波数を求め航走体速度を検出する。そして検出した航走体速度の値をドップラー補正演算器19に入力する。

【0108】図10はドップラー周波数による航走体速度検出器18による上限ドップラー周波数 f_2 と下限ドップラー周波数 f_1 の検出結果の一例を示す図であり、縦軸に周波数、横軸に時間を示している。

【0109】ドップラー補正演算器19はバンドパスフィルター処理器16と17から入力された波形信号について、上記式(27)からドップラー現象による受信波形の時間伸縮率を求めて、ドップラー補正を行う。なお、 f_1 については、ドップラー周波数による航走体速度検出器18から入力された航走体速度 V_f を上記式(21)及び上記式(22)に代入してドップラー補正を行う。なお、本発明は、予め目標航走体の速度が他の計測手段によって検出される場合にはドップラー周波数による航走体速度検出器18によることなく、他の計測手段によって検出された目標航走体速度をドップラー補正演算器19に入力することによっても実施可能である。

【0110】相互相関演算器20ではドップラー補正演算器19において、検出された受信波形 $x_1(t)$ と $x_2(t)$ について上記式(27)より相互相関関数の最大値を算出し、その時の到達時間差を求める。

【0111】図11に相互相関演算器20により受波器A、受波器B、受波器Cにより受信された波形信号について各受波器間の到達時間差を求めた結果を示す。

【0112】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

【0113】

【発明の効果】以上説明した如く、本発明によれば、航走体の放射雑音を2つ以上の受波器で受信し、該受信信号間の相互相関をとることにより、音源の方位を求める測位装置において、音源の航走によるドップラー効果が受波器の波形信号に与える影響により生じる相互相関の誤差を、航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域検出器と、ドップラー周波数による航走体速度検出器及びドップラー補正器により補正し、容易に相互相関による航走体放射雑音の各受波器までの到達時間差を検出することが出来るので、目標航走体の位置を特定することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るドップラー補正を行う航走雑音からの航走体測位装置の一実施例構成図である。

【図2】文献1で開示された従来の技術の一実施例構成図である。

【図3】音源速度とドップラー周波数差の発生との関係説明図である。

【図4】目標音源の方位検出原理説明図である。

【図5】複数受波器による目標音源の測位原理説明図である。

【図6】受波器A、受波器B、受波器Cが検出する航走雑音受信信号の一例を示す図である。

【図7】受波器A、受波器B、受波器Cが検出する航走雑音の周波数スペクトルの一例を示す図である。が航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域の一例である。

【図8】航走雑音受信波形についてのサンプリング時間N秒毎ローファークラムの一例を示す図である。

【図9】航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域の上限値と下限値の範囲でバンドパスフィルター処理を実施した受波器Aと受波器Bによる波形信号の一例を示す図である。

【図10】ドップラー周波数による航走体速度検出器による上限ドップラー周波数 f_1 と下限ドップラー周波数 f_2 の一検出例を示す図である。

【図11】相互相関演算器により受波器A、受波器B、受波器Cにより計測された受信波形について各受波器間

の到達時間差を求めた一例を示す図である。

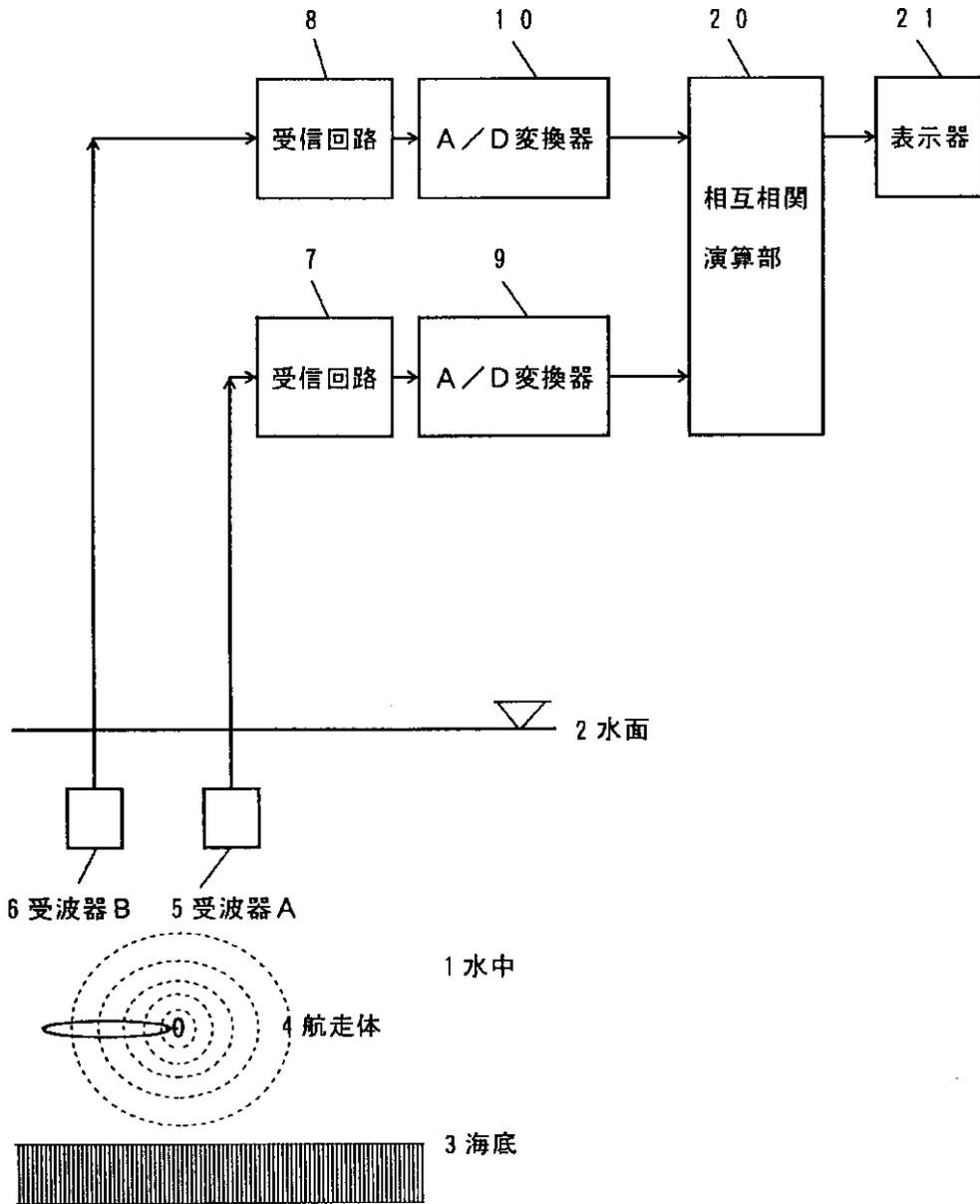
【符号の説明】

- 1 水中
- 2 水面
- 3 海底
- 4 航走体
- 5 受波器 A
- 6 受波器 B
- 7, 8 受信回路
- 9, 10 A / D 変換器

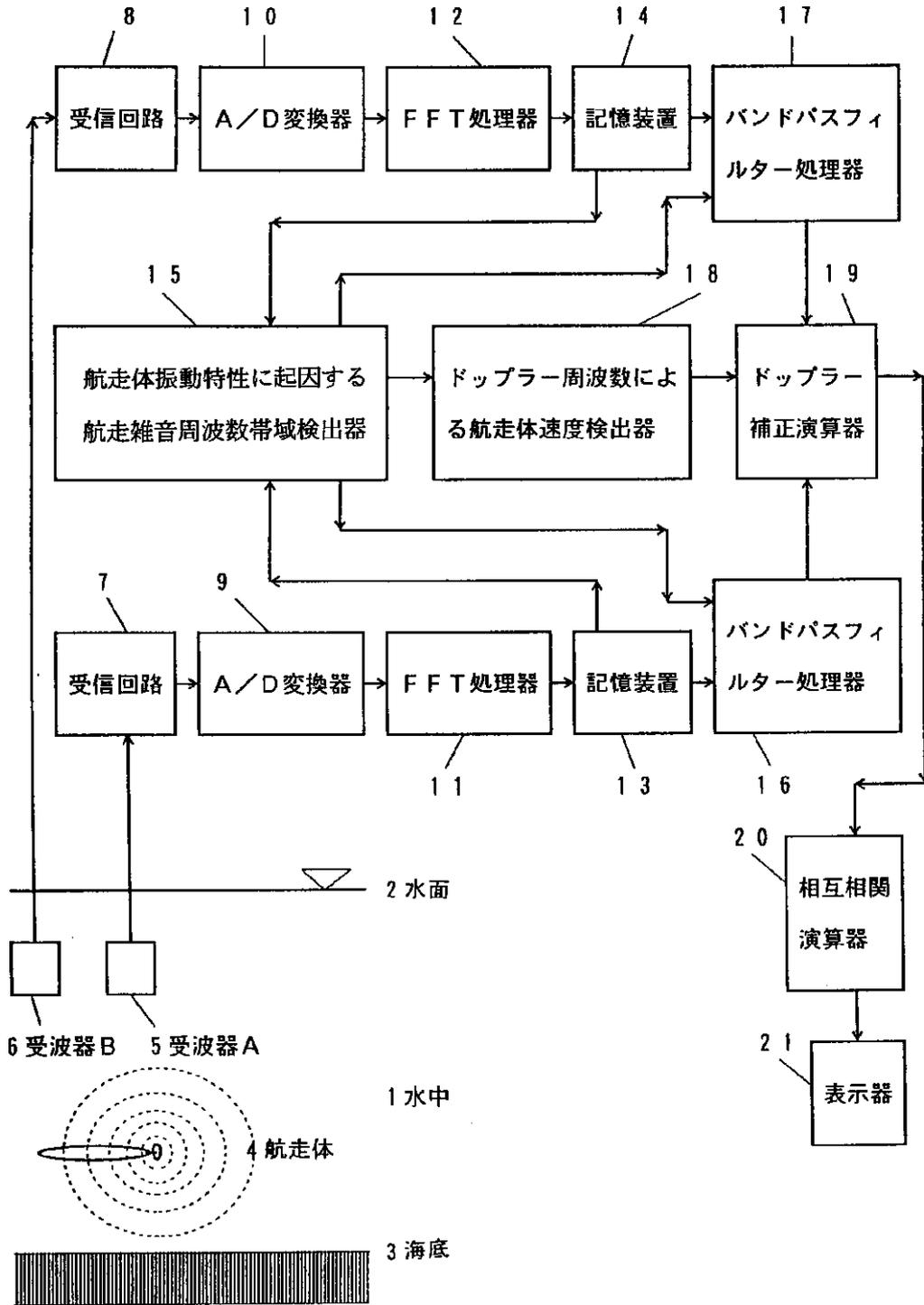
- 11, 12 F F T 処理器
- 13, 14 記憶装置
- 15 航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域検出器
- 16, 17 バンドパスフィルター処理器
- 18 ドップラー周波数による航走体速度検出器
- 19 ドップラー補正演算器
- 20 相互相関演算器
- 21 表示器

10

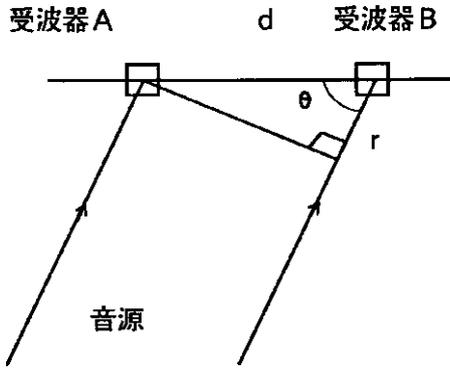
【図 2】



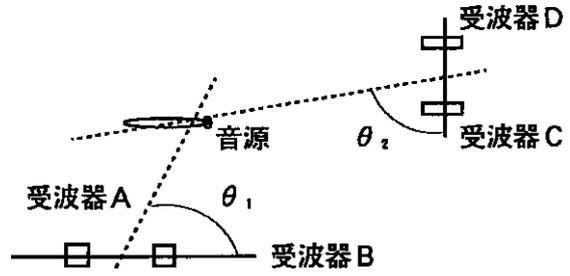
【 図 1 】



【図 4】



【図 5】

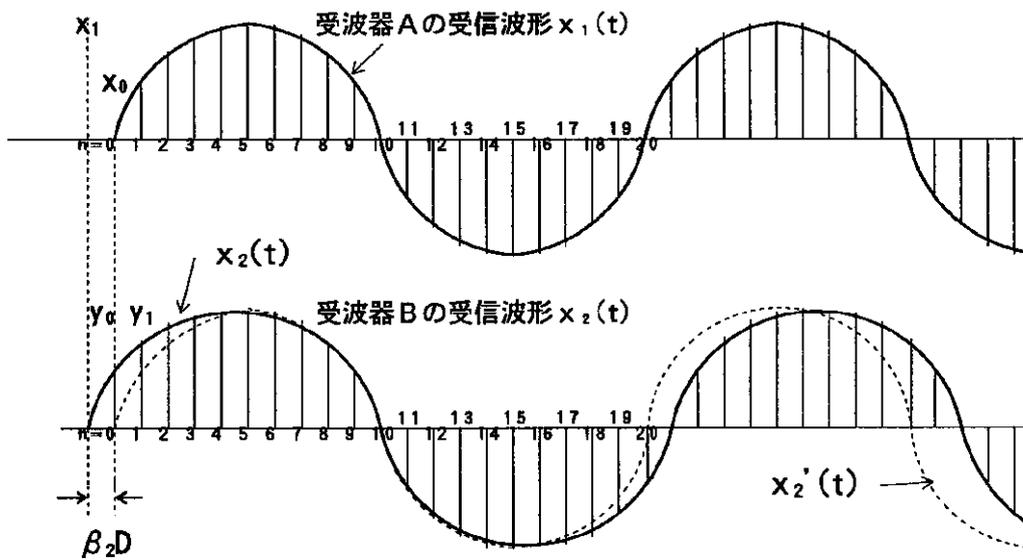
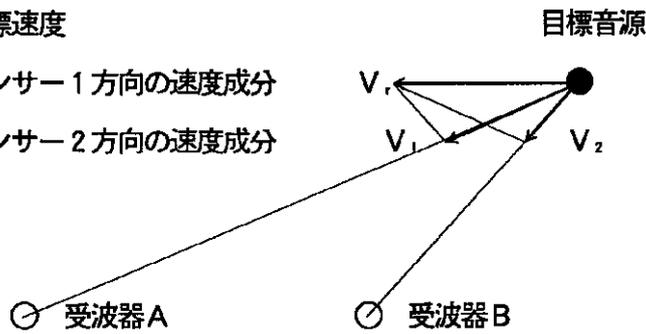


【図 3】

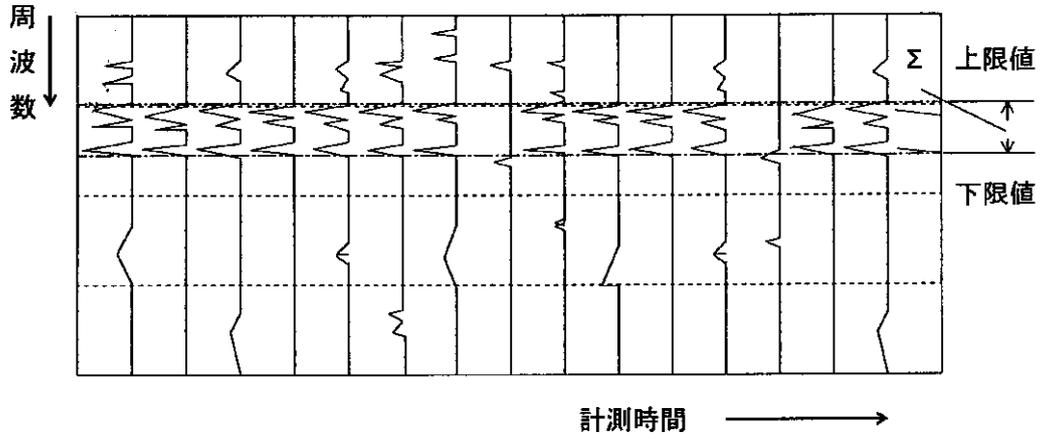
V_r : 目標速度

V_1 : センサー 1 方向の速度成分

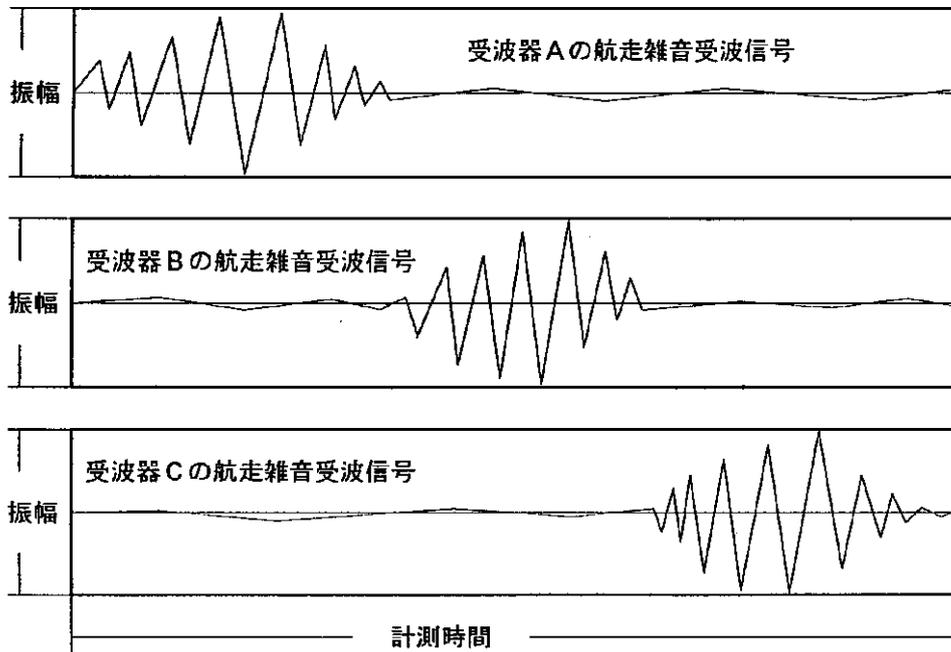
V_2 : センサー 2 方向の速度成分



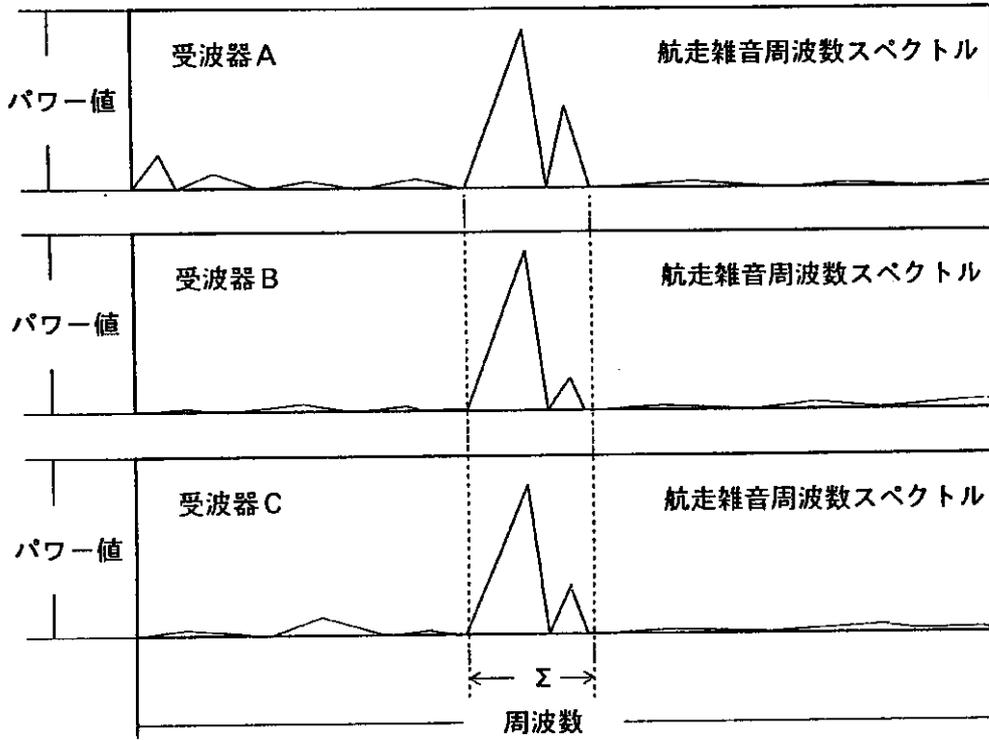
【 図 8 】



【 図 6 】

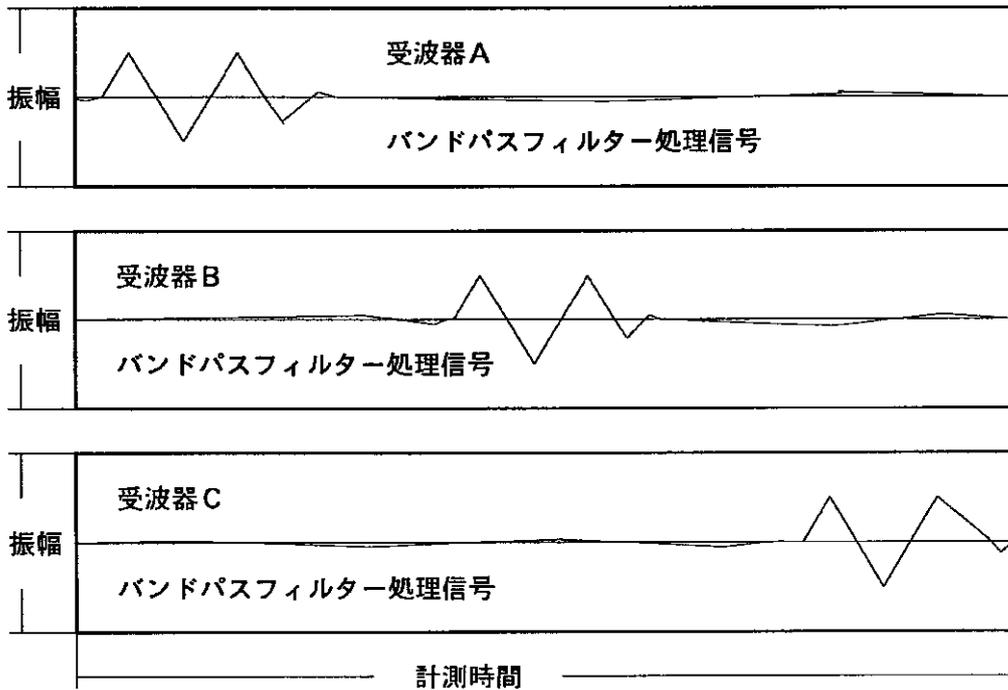


【図 7】

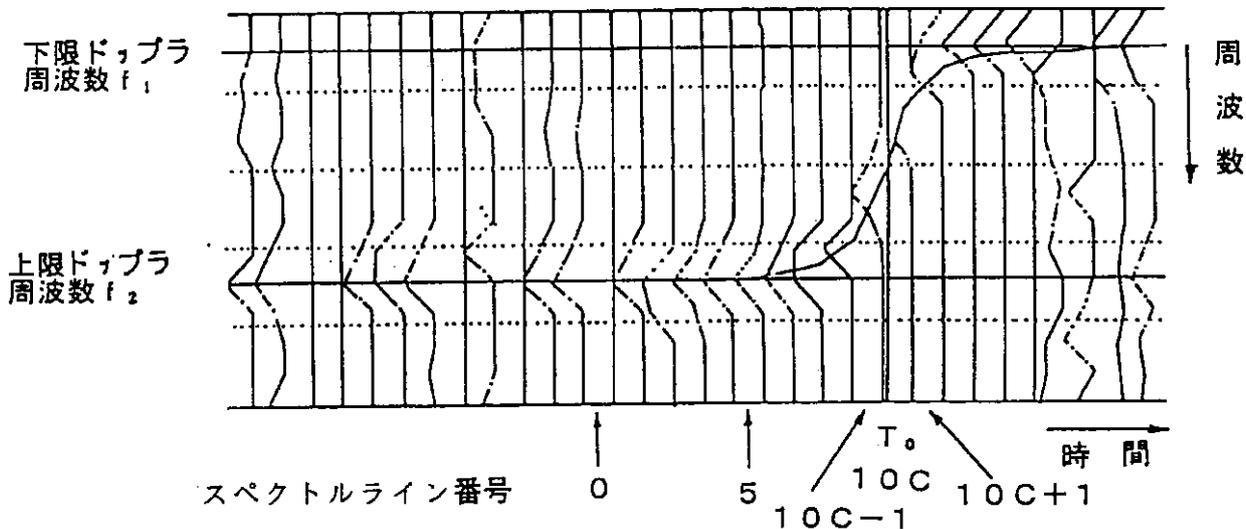


Σ : 航走体振動特性に起因する航走雑音周波数帯域

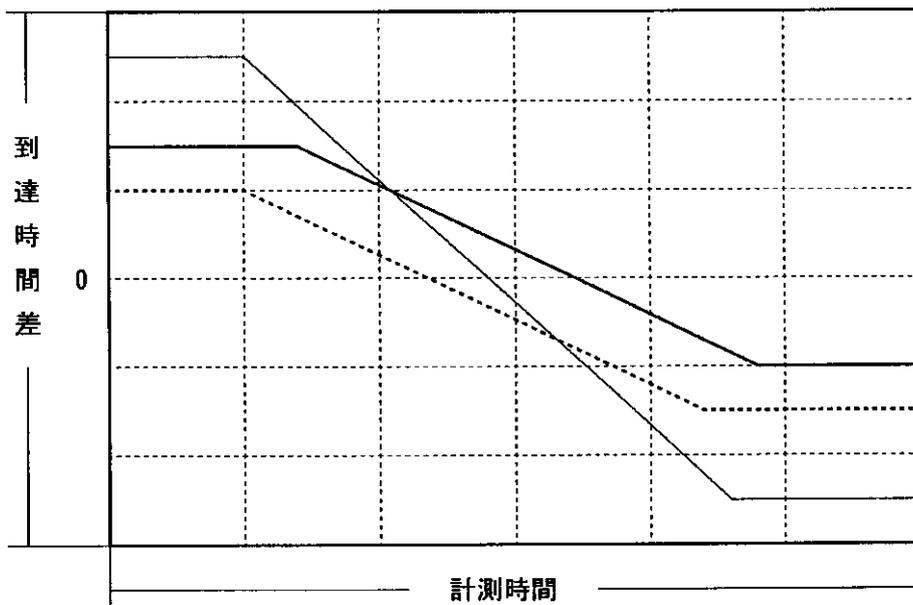
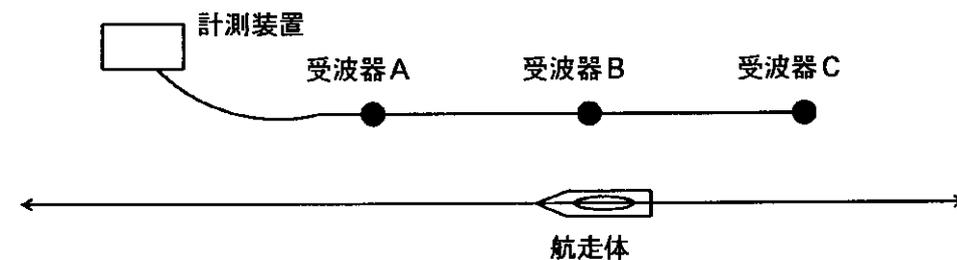
【図 9】



【図 10】



【図 11】



- 受波器 A と B の到達時間差
- - - 受波器 A と C の到達時間差
- 受波器 B と C の到達時間差

フロントページの続き

(72)発明者 高橋 秀幸

東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 12 号 沖電
気工業株式会社内

(56)参考文献

特開 平 9 - 145820 (J P , A)

特開 平 10 - 2949 (J P , A)

特開 平 3 - 242577 (J P , A)

特開 平 9 - 43332 (J P , A)

特開 平 5 - 87903 (J P , A)

特公 平 7 - 107549 (J P , B 2)

特許 2845850 (J P , B 2)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B 名)

G01S 3/80 - 3/86

G01S 5/18 - 5/30

G01S 7/52 - 7/64

G01S 15/00 - 15/96