

(19)日本国特許庁 ( J P )

# (12)特 許 公 報 ( B 1 )

(11)特許番号

## 特許第3069663号

( P 3 0 6 9 6 6 3 )

(45)発行日 平成12年 7月24日(2000.7.24)

(24)登録日 平成12年 5月26日(2000.5.26)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

G01S 3/808

G01S 3/808

請求項の数 3 (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平11 - 73764

(22)出願日 平成11年 3月18日(1999.3.18)

審査請求日 平成11年 3月18日(1999.3.18)

(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

(73)特許権者 390011095

ジェイ・アール・シー特機株式会社

神奈川県横浜市港北区新吉田町781番地

(72)発明者 佐藤 隆一

神奈川県横浜市金沢区富岡西 5 - 30 - 27

(72)発明者 鈴木 尚也

東京都目黒区大岡山 2 - 10 - 42 東工大

大岡山宿舎 C A - 7

(74)代理人 100078617

弁理士 高橋 修一

審査官 松下 公一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】音源方向測定方法及び装置

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ある音源から到来する音波を、間隔を置いて設置された複数の音波センサで受信する段階と、前記複数の音波センサで受信した前記音波の受信信号間の相関度が一定のしきい値以上の周波数帯域について受信信号間の周波数に対する位相差変化率を抽出する位相情報抽出段階と、この位相差変化率と前記間隔及び音速から、前記間隔の方向と前記音波の到来方向のなす角度を算出する段階とを備えたことを特徴とする音源方向測定方法。

【請求項 2】 前記位相情報抽出段階は、前記受信信号のそれぞれを周波数領域信号に変換する F F T (高速フーリエ変換) 処理段階と、この周波数領域信号間の相関度を算出する段階と、この周波数領域信号間の位相差を算出する段階と、

2

この相関度が一定のしきい値以上の周波数帯域の、前記位相差の周波数に対する変化率から前記位相差変化率を抽出する段階とを備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の音源方向測定方法。

【請求項 3】 間隔を置いて設置され、到来音波を時間領域電気信号に変換する 2 つの音波センサと、この時間領域電気信号のそれぞれを周波数領域信号に変換する 2 チャンネル F F T 処理部と、この周波数領域信号の相関度が一定のしきい値以上の周波数帯域の、位相差の周波数に対する変化率と前記間隔及び音速から前記間隔の方向と前記音波の到来方向のなす角度を算出する位相情報解析部とを備えたことを特徴とする音源方向測定装置。

【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、音源方向測定方法及び装置に関し、特に周波数帯域の広がりを持つ音波の到来方向を高い信頼度で測定できる音源方向測定方法及び装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】到来する音波を解析して音源方向を測定する音源方向測定装置は、例えば十分に離れた 2 点、もしくは 3 点において到来する水中音の音源方向を測定することにより、3 角法を用いて音源の位置を特定するソナー等に広く応用されており、例えば特開平 2 - 6 6 4 8 1 号公報には移動する音源から到来する水中音のドップラー効果をも併せて解析することにより、音源の位置及び移動方向や速度を検出する目標位置検出装置等も提案されている。

【 0 0 0 3 】図 2 は、このような従来の音源方向測定装置の基本原理を説明する概念図であり、間隔  $L$  をおいて設置された 2 つのセンサ 1 1、1 2 を用いて到来音波を測定する。間隔  $L$  に比べて音源が十分に遠い場合は、到来音波を平面波と見なすことができるので、同位相の音波の受信時間差  $\mu$  を計測することにより音速を  $c$  とするとき、次式にしたがって両センサ 1 1、1 2 を結ぶ線分に対する音源方向の角度  $\theta$  を求めることができる。

$$\theta = \cos^{-1}(\mu c / L) \cdots (1)$$

さらに例えば、センサ 1 1 に対してセンサ 1 1、1 2 を結ぶ線分と直角方向にセンサ 1 3 を設置してセンサ 1 1 とセンサ 1 3 を結ぶ線分に対する音源方向の角度を求めることによりセンサ平面に対する音源方向を特定することができる。また、十分に離れた 2 点で、同様にして音源方向を特定することにより、両方向線の交点から音源位置を算出することができる。

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来の音源方向測定装置には、次のような問題点があった。すなわち、同位相の音波の受信時間差  $\mu$  を計測しているため、音波長を  $\lambda$  とする時、到来音波のうち  $\lambda / 2 > L$  (センサ間隔) の周波数成分しか計測に利用することが出来ない。このため、例えば低周波成分の多い海中雑音を避け、高周波領域で計測するためにはセンサ間隔  $L$  を大きくとることが出来ず、このことにより計測精度が制約されてしまう問題があった。

【 0 0 0 5 】また、上記制約から通常到来音波の基本波を用いて受信時間差を計測しているが、基本波長が  $2L$  以下の音源の測定ができず、また基本波長が  $2L$  以上であっても、当該周波数領域に環境雑音が多い場合に正しい測定が出来ない等、測定可能音源周波数が制約される問題があった。

【 0 0 0 6 】さらに、音源の周波数が測定可能領域にある場合でも、通常到来音の基本波一波を用いて受信時間差  $\mu$  を測定するため十分な確信度が得られない場合があった。また確信度を上げるために複数の周波数成分を利

用しようとする上記制約を受ける他、複雑な操作を必要とする問題点があった。

【 0 0 0 7 】本発明は、かかる問題点を解消し、センサ間距離により制約されることのない、従って、所望の精度に応じたセンサ間隔を設定することができ、音源、また測定環境に応じて容易に最適の周波数帯域の到来波を選択的に解析して音源方向を計測でき、さらに広帯域の到来波を活用することにより確信度の高い計測結果の得られる音源方向計測方法及び装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明に係る音源方向測定方法は、ある音源から到来する音波を、間隔をおいて設置された複数の音波センサで受信する段階と、前記複数の音波センサで受信した前記音波の受信信号間の周波数に対する位相差変化率を抽出する位相情報抽出段階と、この位相差変化率と前記間隔及び音速から、前記間隔の方向と前記音波の到来方向のなす角度を算出する段階とを備えたことを特徴とする。

【 0 0 0 9 】また、前記位相情報抽出段階は、前記受信信号のそれぞれを周波数領域信号に変換する FFT (高速フーリエ変換) 処理段階と、この周波数領域信号間の相関度を算出する段階と、この周波数領域信号間の位相差を算出する段階と、この相関度が一定のしきい値以上の周波数帯域の、前記位相差の周波数に対する変化率から前記位相差変化率を抽出する段階とを備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 0 】またさらに、本発明に係る音源方向測定装置は、間隔をおいて設置され、到来音波を時間領域電気信号に変換する 2 つの音波センサと、この時間領域電気信号のそれぞれを周波数領域信号に変換する 2 チャンネル FFT 処理部と、この周波数領域信号の相関度が一定のしきい値以上の周波数帯域の、位相差の周波数に対する変化率と前記間隔及び音速から前記間隔の方向と前記音波の到来方向のなす角度を算出する位相情報解析部とを備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 1 】従って、本発明の音源方向測定方法及び測定装置によれば、受信波長によってセンサ間隔の制約を受けないため、所望の精度に応じたセンサ間隔を設定することができる。また、相関度を参照することにより、音源、また測定環境に応じて容易に最適の周波数帯域の到来波を選択することができ、広帯域の到来波を活用することにより確信度の高い計測結果を得ることができ

【 0 0 1 2 】

【発明の実施の形態】本発明では、両センサ 1 1、1 2 の受信時間差  $\mu$  によって生ずる到来音波の位相差  $\theta$  の周波数による変化 (周波数微分) を抽出することにより、受信時間差  $\mu$  を得て、上記 (1) 式により音源方向を求

める。図 2 を参照して、同一音源から両センサ 1 1、1 2 に到来する音波のある周波数成分の位相差は当該周波数を f とするとき下式によって表される。

$$= 2 \pi f \cdot \mu \cdot \dots (2)$$

従って ( 1 ) 式より、

$$= 2 \pi f \cdot (L \cos \theta / c) \cdot \dots (3)$$

が得られる。ここで、センサ間隔 L と音源周波数 f の波長との比を r とすると、その関係は下記の式で表せる。

$$r = c / f \quad c : \text{水中音速 (m/s)}$$

$$r = L / \lambda$$

図 3 はセンサ間隔 L ( m )、音源周波数 f の波長  $\lambda$  の比 r を、

$$r = 5.5 \times 10^{-4} \sim 3,$$

音源方向の角度  $\theta = 0^\circ \sim 180^\circ$  (  $10^\circ$  ステップ )

の範囲で、( 3 ) 式に従って位相差  $\Delta \phi$  ( 度 ) の変化を表したグラフ図で、図 3 に見られるように位相差  $\Delta \phi$  のグラフの傾き、すなわちその周波数微分  $d\Delta \phi / df$  を求めることにより、 $10^\circ \sim 170^\circ$  の範囲で十分実用的に音源方向を計測することができる。

【 0 0 1 3 】すなわち、センサ受信信号から位相差の周波数に対する変化率  $d\Delta \phi / df$  が抽出できれば、次式により音源方向の角度  $\theta$  を算出することができる。

$$\theta = \cos^{-1} ( c \cdot d\Delta \phi / ( 2 \pi L \cdot f ) ) \cdot \dots (4)$$

この位相差変化率は、例えば両センサ 1 1、1 2 の受信信号を 2 チャンネル FFT ( 高速フーリエ変換 ) 処理し、クロススペクトラムの位相情報を解析することにより、両受信信号間の相関度と共に容易に求めることができる。

【 0 0 1 4 】以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。図 1 は、本発明に係る音源方向測定装置の一実施形態を説明するブロック図であり、間隔 L をおいて設置された 2 つのセンサ 1 1 及び 1 2 と、この 2 つのセンサ 1 1 及び 1 2 の受信信号を周波数領域信号に変換する 2 チャンネル FFT 部 1 3 と、この周波数領域信号の、相関度の高い周波数帯域の最尤位相変化率  $\theta'$  を抽出し、( 4 ) 式に従って音源方向の角度  $\theta$  を算出する位相情報解析部 1 4 とを備えている。

【 0 0 1 5 】図 5 及び図 6 は本実施形態の動作を説明するための実測データ例であり、図 4 に示す環境で測定を行った。図 4 を参照して、実測は、間隔 L = 1 m でセンサ 1 1、1 2 を設置した剛体をセンサ間隔 L ( m ) に対して水深約 10 ( m )、実海面下約 6 ( m ) に吊下し、送波器を音源位置 1 ~ 7 の各点に吊下して、 $r = 1 \sim 3$  のランダムノイズを送波した。図 5 及び図 6 はそれぞれ、音源位置 2 及び 6 からの受信信号を 2 チャンネル FFT 部 1 3 で周波数領域信号に変換し、位相情報解析部 1 4 で解析して得られた位相差及び相関度の例である。

【 0 0 1 6 】例えば、図 5 の位相差の周波数変化を見ると海面反射の影響によると思われる周期的なばらつきが

見られるが、相関度を参照して十分な相関が得られる  $r = 1 \sim 3$  の帯域の位相変化率から、例えば最小二乗法等により最尤値を推定することにより、十分に確信度の高い位相変化率が得られることが解る。海底反射の影響を受ける図 6 についても同様のことがいえる。

【 0 0 1 7 】位相情報解析部 1 4 では、このようにして、相関度が一定のしきい値以上の周波数帯域を選定し、位相変化率の最尤値  $\theta'$  を求め、( 3 ) 式に従って、音源方向とセンサ間を結ぶ線分のなす角度  $\theta$  を算出、出力する。

【 0 0 1 8 】図 4 の各音源位置 1 ~ 7 に付した矢印は、このようにして測定された音源方向と、実際の音源方向との差を模式的に示したものである。音源入射角が鋭角になる音源位置 1、2、7 では海面、海底の影響や近距離音源からの球面波を平面波で近似していること等により若干の誤差が見られるが、音源位置 3 ~ 6 では十分に正確な音源方向の角度  $\theta$  を得ることが出来た。

【 0 0 1 9 】

【発明の効果】以上述べたように本発明に係る音源測定方法及び装置によれば、音源に位相変化率を検出できるだけの帯域幅があれば、センサ間隔 L による波長の制約を受けることなく音源方向を求めることができる。一般にソナー等の計測対象が純音源に近いことはまれであるので従来の音源測定装置に比べ、応用性の高い音源測定装置を得ることができる。

【 0 0 2 0 】また、機械雑音等のように純音に近いスパイク性の音源についても、その高調波等の複数のスパイクを解析することにより、位相変化率を求めることができるので、やはり応用性の高い音源測定装置を得ることができる。

【 0 0 2 1 】また、( 3 ) 式の示すようにセンサ間隔 L を広げることにより、位相差  $\Delta \phi$  の解像度を高めることができるので、従来の音源測定装置に比べ精度の高い測定が可能となる。

【 0 0 2 2 】またさらに、相関度を参照することにより、雑音の多い周波数帯を除外して、有意な広帯域での位相情報から最尤位相変化率を求めることができるので確度の高い測定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る音源方向測定装置の一実施形態を説明するブロック図である。

【図 2】音源方向測定の原理を説明する概念図である。

【図 3】周波数による位相差の変化を表したグラフ図である。

【図 4】図 1 の音源方向測定装置による実測例を説明する模式図である。

【図 5】図 4 の音源位置 2 からの受信信号の位相差、相関度の実測例を示すグラフ図である。

【図 6】図 4 の音源位置 6 からの受信信号の位相差、相関度の実測例を示すグラフ図である。

10

20

30

40

50

【符号の説明】

- 1 ~ 7 音源位置
- 11、12 センサ
- 14 2チャンネルFFT
- 15 位相情報解析部

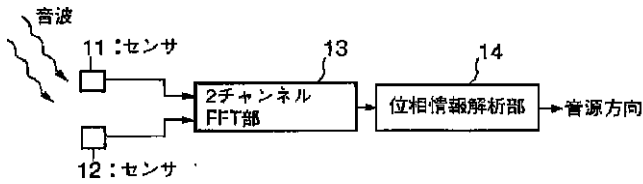
【要約】

【課題】 センサ間隔による音源の波長制限のない、ま

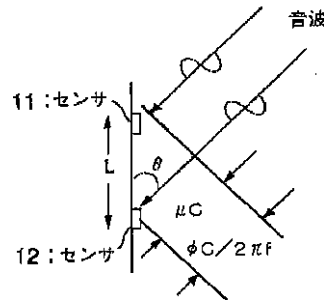
た精度、確度の高い音源方向測定方法と装置を実現する。

【解決手段】 2つのセンサで受信した信号をFFT処理し、位相情報を解析して、相関度の高い周波数帯域において、両信号の位相差の周波数に対する変化率から音源方向を算出することとした。

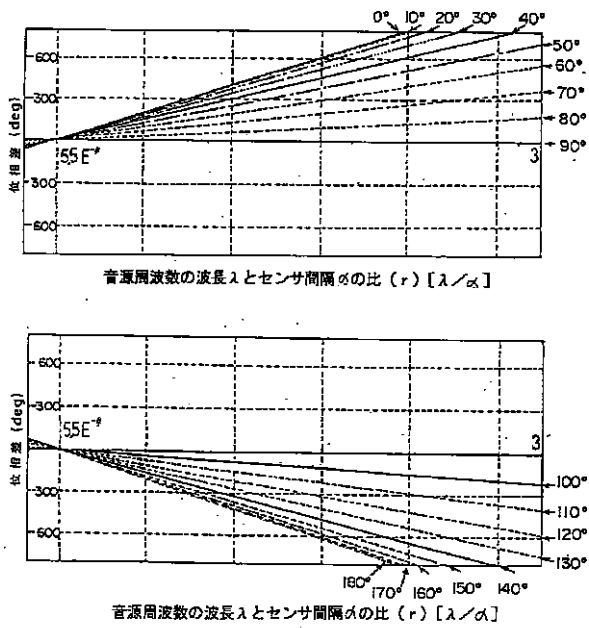
【図1】



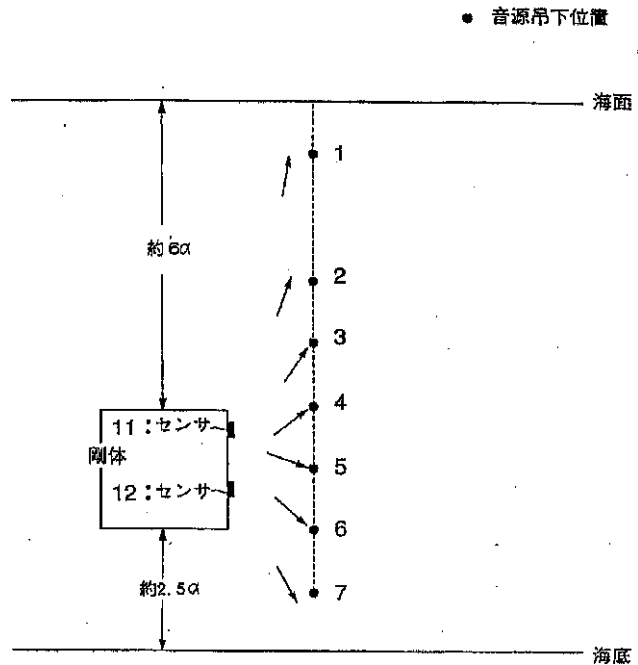
【図2】



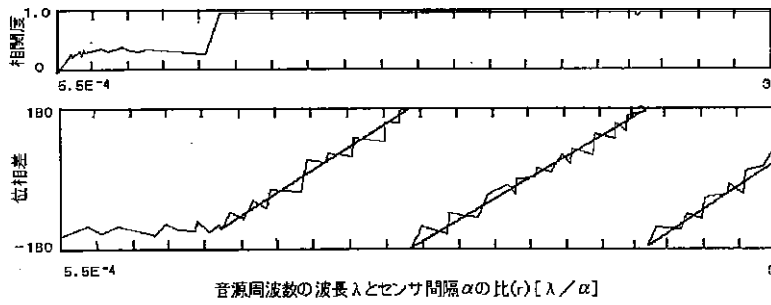
【図3】



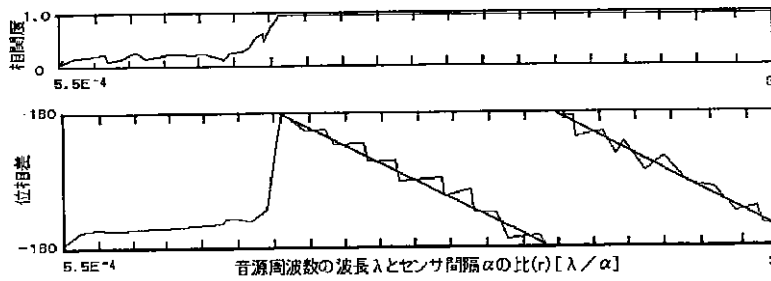
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 石前 浩蔵  
 神奈川県横浜市港北区新吉田町781番地  
 ジェイ・アール・シー特機株式会社内

(56)参考文献 特開 平5 - 323013 ( J P , A )  
 特開 平2 - 66481 ( J P , A )  
 特開 平1 - 219684 ( J P , A )  
 実公 平3 - 7822 ( J P , Y 2 )

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup> , D B 名)  
 G01S 3/80 - 3/86  
 G01S 5/18 - 5/30