

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B1)

(11) 特許番号

特許第5716219号
(P5716219)

(45) 発行日 平成27年5月13日(2015.5.13)

(24) 登録日 平成27年3月27日(2015.3.27)

(51) Int.Cl. F I
G O I S 5/22 (2006.01) G O I S 5/22

請求項の数 6 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2014-25227 (P2014-25227) (22) 出願日 平成26年2月13日(2014.2.13) 審査請求日 平成26年2月13日(2014.2.13)</p>	<p>(73) 特許権者 390014306 防衛省技術研究本部長 東京都新宿区市谷本村町5番1号 (74) 代理人 110000796 特許業務法人三枝国際特許事務所 (72) 発明者 大川 圭一 東京都新宿区市谷本村町5番1号 防衛省 内 審査官 小川 亮</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位置推定方法及び位置推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

海水面と海底面との間からパルス波を放射する波源の位置を推定するための方法であって、

前記海水面と前記海底面との間に設置された受波器に、前記波源から放射されたパルス波を受信させる受信ステップと、

前記波源から前記受波器に直接到達した直接波の到達時刻、前記海水面で1回反射して前記受波器に到達した第1反射波の到達時刻、及び前記海底面で1回反射して前記受波器に到達した第2反射波の到達時刻を特定する到達時刻特定ステップと、

前記直接波の到達時刻と前記第1反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差を算出し、前記直接波の到達時刻と前記第2反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差を算出する経路差算出ステップと、

前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記受波器を通過する双曲線であって、前記波源と前記海水面に対する前記波源の鏡像とを焦点とする第1双曲線の式を求め、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記受波器を通過する双曲線であって、前記波源と前記海底面に対する前記波源の鏡像とを焦点とする第2双曲線の式を求める双曲線取得ステップと、

前記第1双曲線の式と前記第2双曲線の式とを連立することで、前記波源の座標である前記第1双曲線及び前記第2双曲線の共通の焦点の座標を求める焦点座標算出ステップとを備える波源の位置推定方法。

10

20

【請求項 2】

海水面と海底面との間からパルス波を放射する波源の位置を推定するための方法であって、

前記海水面と前記海底面との間に設置された受波器に、前記波源から放射されたパルス波を受信させる受信ステップと、

前記波源から前記受波器に直接到達した直接波の到達時刻、前記海水面で1回反射して前記受波器に到達した第1反射波の到達時刻、及び前記海底面で1回反射して前記受波器に到達した第2反射波の到達時刻を特定する到達時刻特定ステップと、

前記直接波の到達時刻と前記第1反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差を算出し、前記直接波の到達時刻と前記第2反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差を算出する経路差算出ステップと、

前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記波源を通過する双曲線であって、前記受波器と前記海水面に対する前記受波器の鏡像とを焦点とする第1双曲線の式を求め、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記波源を通過する双曲線であって、前記受波器と前記海底面に対する前記受波器の鏡像とを焦点とする第2双曲線の式を求める双曲線取得ステップと、

前記第1双曲線の式と前記第2双曲線の式とを連立して、前記波源の座標である前記第1双曲線及び前記第2双曲線の交点の座標を求める交点座標算出ステップとを備える波源の位置推定方法。

【請求項 3】

前記波源は、前記海水面と前記海底面との間から、前記パルス波である音波を放射するものであり、前記受波器には、当該受波器の位置における水圧を測定可能な圧力センサが設けられ、

前記圧力センサが計測した水圧に基づき、前記受波器の座標を求める受波器座標算出ステップをさらに有し、

前記双曲線取得ステップでは、前記受波器座標算出ステップで算出された前記受波器の座標を用いて、前記第1双曲線や前記第2双曲線の式が求められる請求項1又は2に記載の波源の位置推定方法。

【請求項 4】

海水面と海底面との間からパルス波を放射する波源の位置を推定するための装置であって、

前記海水面と前記海底面との間に設置されて、前記波源から放射されたパルス波を受信する受波器と、

前記波源から前記受波器に直接到達した直接波の到達時刻、前記海水面で1回反射して前記受波器に到達した第1反射波の到達時刻、及び前記海底面で1回反射して前記受波器に到達した第2反射波の到達時刻を特定する到達時刻特定部と、

前記直接波の到達時刻と前記第1反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差を算出し、前記直接波の到達時刻と前記第2反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差を算出する経路差算出部と、

前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記受波器を通過する双曲線であって、前記波源と前記海水面に対する前記波源の鏡像とを焦点とする第1双曲線の式を求め、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記受波器を通過する双曲線であって、前記波源と前記海底面に対する前記波源の鏡像とを焦点とする第2双曲線の式を求める双曲線取得部と、

前記第1双曲線の式と前記第2双曲線の式とを連立することで、前記波源の座標である前記第1双曲線及び前記第2双曲線の共通の焦点の座標を求める焦点座標算出部とを備える位置推定装置。

【請求項 5】

海水面と海底面との間からパルス波を放射する波源の位置を推定するための装置であって、

10

20

30

40

50

前記海水面と前記海底面との間に設置されて、前記波源から放射されたパルス波を受信する受波器と、

前記波源から前記受波器に直接到達した直接波の到達時刻、前記海水面で1回反射して前記受波器に到達した第1反射波の到達時刻、及び前記海底面で1回反射して前記受波器に到達した第2反射波の到達時刻を特定する到達時刻特定部と、

前記直接波の到達時刻と前記第1反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差を算出し、前記直接波の到達時刻と前記第2反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差を算出する経路差算出部と、

前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記波源を通過する双曲線であって、前記受波器と前記海水面に対する前記受波器の鏡像とを焦点とする第1双曲線の式を求め、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記波源を通過する双曲線であって、前記受波器と前記海底面に対する前記受波器の鏡像とを焦点とする第2双曲線の式を求める双曲線取得部と、

前記第1双曲線の式と前記第2双曲線の式とを連立して、前記波源の座標である前記第1双曲線及び前記第2双曲線の交点の座標を求める交点座標算出部とを備える位置推定装置。

【請求項6】

前記波源は、前記海水面と前記海底面との間から、前記パルス波である音波を放射するものであり、

前記受波器に設けられて、当該受波器の位置における水圧を測定可能な圧力センサと、前記圧力センサが計測した水圧に基づき、前記受波器の座標を求める受波器座標算出部とをさらに有し、

前記双曲線取得部は、前記受波器座標算出部が算出した前記受波器の座標を用いて、前記第1双曲線や前記第2双曲線の式を求める請求項4又は5に記載の位置推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パルス波の波源の位置を推定する方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

水中では電磁波の減衰が大きいため、一般的に水中物体の探知には音波が利用される。音波を利用して水中物体を探知する方式として、アクティブソナーと呼ばれる方式や、パッシブソナーと呼ばれる方式がある。アクティブソナーは、波源から音を送波して物体から反射するエコー音を検出し、物体までの距離と方位を求めるものであるが、自ら音を出すために自身の存在を暴露してしまうことになる。一方、パッシブソナーは、水中物体の放射音を検出するものであり、自ら音を出さないため、秘密裏に水中物体を探知することができる。しかしながら、パッシブソナーでは、物体の方位を求めるのは容易であるが、物体までの距離を求めるためには目標運動解析やマッチドフィールド処理などによる複雑な計算が必要であった。目標運動解析では連続的な放射音により物体までの距離を推定することができるが、一時的な過渡音では物体までの距離を求めることができない。また、マッチドフィールド処理は海洋環境を事前に把握しておく必要があるが、時間空間的に変化する海洋環境の複雑な特性をデータベース化するのには困難である。

【0003】

一時的な過渡音で物体までの距離を求める方法として、音波の伝搬時間差を利用する方法が研究されている。このような方法として、非特許文献1に開示される総当たり法と称される方法がある。以下、図7及び図8を参照して、総当たり法について説明する。

【0004】

総当たり法は、図7(a)に示すように、実目標hが発生する過渡音を受波器jに受信させるものであり、実目標hから反射することなく受波器jに直接到達した直接波Dhの伝搬時間と、海水面w1や海底面w2で反射して受波器jに到達した反射波Rh1, Rh

10

20

30

40

50

2の伝搬時間との差(1), (2)が測定される(図8(a))。そして、図7(b)に示すように、実目標hが存在すると想定される範囲が格子化されて、各格子点上にある仮目標kが過渡音を発生するとした場合に、受波器jに直接到達する直接波Dkの伝搬時間と、海水面w1や海底面w2で反射して受波器jに到達する反射波Rk1, Rk2の伝搬時間との差(3), (4)が、総当たりの(格子点ごとに)に計算される(図8(b))。そして、各仮目標k(各格子点)について計算された伝搬時間差(3), (4)と、実目標hについて測定された伝搬時間差(1), (2)との差が算出されて、当該差が最小となる仮目標kの位置情報(仮目標の深度、仮目標と受波器との間の距離)が、実目標hの位置を示す情報として取得される。

【0005】

10

また、伝搬経路の違いにより波源の位置を推定する方法が、特許文献1, 2に開示されている。特許文献1, 2の方法では、異なる位置に複数の音響センサが設置されて、各音響センサが、それぞれ波源からの直接波を受信する。そして、任意の2つの音響センサに受信される直接波の伝搬時間差が算出されて、上記2つの音響センサ間での伝搬時間差が一定となる双曲線が求められる。この双曲線は、任意の2つの音響センサからなる組毎に求められ、2組以上で求められた双曲線の交点が、波源の位置として推定される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2000-121719号公報

20

【特許文献2】特開平11-326489号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】水中無人航走体に搭載されたソナーに対する逆探方式、防衛技術シンポジウム2009

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、上記の総当たり法では、実目標hが存在すると想定される範囲(深度及び距離)が大きい場合や、格子の刻み幅が小さい場合には、格子点の数が多くなる。このため、格子点ごとに伝搬時間差(3), (4)を算出する計算に、長い時間を要する。この問題を改善する手法として、Simulated Annealing法やGenetic Algorithm法などの確率論的解法があるが、これらの方法は、解を確実に搜索する方法とはいえない。

30

【0009】

また、特許文献1, 2に開示される方法では、波源位置を求めるために、音響センサを複数の地点に設ける必要がある。

【0010】

本発明は、受波器を複数の地点に設けることを要せずに、短時間で波源位置を推定可能な方法及び装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

40

【0011】

上記目的を達成するため、本発明の第1観点に係る位置推定方法は、第1境界面と第2境界面との間からパルス波を放射する波源の位置を推定するための方法であって、前記第1境界面と前記第2境界面との間に設置された受波器に、前記波源から放射されたパルス波を受信させる受信ステップと、前記波源から前記受波器に直接到達した直接波の到達時刻、前記第1境界面で1回反射して前記受波器に到達した第1反射波の到達時刻、及び前記第2境界面で1回反射して前記受波器に到達した第2反射波の到達時刻を特定する到達時刻特定ステップと、前記直接波の到達時刻と前記第1反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差を算出し、前記直接波の到達時刻と前記第2反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差を算出する経路

50

差算出ステップと、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記受波器を通過する双曲線であって、前記波源と前記第1境界面に対する前記波源の鏡像とを焦点とする第1双曲線の式を求め、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記受波器を通過する双曲線であって、前記波源と前記第2境界面に対する前記波源の鏡像とを焦点とする第2双曲線の式を求める双曲線取得ステップと、前記第1双曲線の式と前記第2双曲線の式とを連立することで、前記波源の座標である前記第1双曲線及び前記第2双曲線の共通の焦点の座標を求める焦点座標算出ステップとを備える。

【0012】

また、本発明の第2観点に係る位置推定方法は、第1境界面と第2境界面との間からパルス波を放射する波源の位置を推定するための方法であって、前記第1境界面と前記第2境界面との間に設置された受波器に、前記波源から放射されたパルス波を受信させる受信ステップと、前記波源から前記受波器に直接到達した直接波の到達時刻、前記第1境界面で1回反射して前記受波器に到達した第1反射波の到達時刻、及び前記第2境界面で1回反射して前記受波器に到達した第2反射波の到達時刻を特定する到達時刻特定ステップと、前記直接波の到達時刻と前記第1反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差を算出し、前記直接波の到達時刻と前記第2反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差を算出する経路差算出ステップと、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記波源を通過する双曲線であって、前記受波器と前記第1境界面に対する前記受波器の鏡像とを焦点とする第1双曲線の式を求め、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記波源を通過する双曲線であって、前記受波器と前記第2境界面に対する前記受波器の鏡像とを焦点とする第2双曲線の式を求める双曲線取得ステップと、前記第1双曲線の式と前記第2双曲線の式とを連立して、前記波源の座標である前記第1双曲線及び前記第2双曲線の交点の座標を求める交点座標算出ステップとを備える。

【0013】

また、本発明の第1及び第2観点に係る位置推定方法では、前記波源は、前記第1境界面としての海水面と、前記第2境界面としての海底面との間から、前記パルス波である音波を放射するものであり、前記受波器には、当該受波器の位置における水圧を測定可能な圧力センサが設けられ、前記圧力センサが計測した水圧に基づき、前記受波器の座標を求める受波器座標算出ステップをさらに有し、前記双曲線取得ステップでは、前記受波器座標算出ステップで算出された前記受波器の座標を用いて、前記第1双曲線や前記第2双曲線の式が求められる。

【0014】

また、本発明の第3観点に係る位置推定装置は、第1境界面と第2境界面との間からパルス波を放射する波源の位置を推定するための装置であって、前記第1境界面と前記第2境界面との間に設置されて、前記波源から放射されたパルス波を受信する受波器と、前記波源から前記受波器に直接到達した直接波の到達時刻、前記第1境界面で1回反射して前記受波器に到達した第1反射波の到達時刻、及び前記第2境界面で1回反射して前記受波器に到達した第2反射波の到達時刻を特定する到達時刻特定部と、前記直接波の到達時刻と前記第1反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差を算出し、前記直接波の到達時刻と前記第2反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差を算出する経路差算出部と、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記受波器を通過する双曲線であって、前記波源と前記第1境界面に対する前記波源の鏡像とを焦点とする第1双曲線の式を求め、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記受波器を通過する双曲線であって、前記波源と前記第2境界面に対する前記波源の鏡像とを焦点とする第2双曲線の式を求める双曲線取得部と、前記第1双曲線の式と前記第2双曲線の式とを連立することで、前記波源の座標である前記第1双曲線及び前記第2双曲線の

10

20

30

40

50

共通の焦点の座標を求める焦点座標算出部とを備える。

【0015】

また、本発明の第4観点に係る位置推定装置は、第1境界面と第2境界面との間からパルス波を放射する波源の位置を推定するための装置であって、前記第1境界面と前記第2境界面との間に設置されて、前記波源から放射されたパルス波を受信する受波器と、前記波源から前記受波器に直接到達した直接波の到達時刻、前記第1境界面で1回反射して前記受波器に到達した第1反射波の到達時刻、及び前記第2境界面で1回反射して前記受波器に到達した第2反射波の到達時刻を特定する到達時刻特定部と、前記直接波の到達時刻と前記第1反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差を算出し、前記直接波の到達時刻と前記第2反射波の到達時刻とに基づき、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差を算出する経路差算出部と、前記直接波と前記第1反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記波源を通過する双曲線であって、前記受波器と前記第1境界面に対する前記受波器の鏡像とを焦点とする第1双曲線の式を求め、前記直接波と前記第2反射波との伝搬経路差と、前記受波器の座標とに基づき、前記波源を通過する双曲線であって、前記受波器と前記第2境界面に対する前記受波器の鏡像とを焦点とする第2双曲線の式を求める双曲線取得部と、前記第1双曲線の式と前記第2双曲線の式とを連立して、前記波源の座標である前記第1双曲線及び前記第2双曲線の交点の座標を求める交点座標算出部とを備える。

10

【0016】

また、本発明の第3及び第4観点に係る位置推定装置では、前記波源は、前記第1境界面としての海面と、前記第2境界面としての海底面との間から、前記パルス波である音波を放射するものであり、前記受波器に設けられて、当該受波器の位置における水圧を測定可能な圧力センサと、前記圧力センサが計測した水圧に基づき、前記受波器の座標を求める受波器座標算出部とをさらに有し、前記双曲線取得部は、前記受波器座標算出部が算出した前記受波器の座標を用いて、前記第1双曲線や前記第2双曲線の式を求める。

20

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、波源の座標が求められるので、波源の位置を推定することができる。そして、波源の座標は、一箇所の受波器に受信される直接波と反射波との伝搬経路差に基づき求められる。このため、受波器を複数の地点に設けることを要しない。よって、受波器を複数の地点に設ける場合のように、設備コストが高額にならず、複数の受波器を設置する手間や、複数の受波器の位置を特定する手間を要しない。

30

【0018】

また、本発明によれば、直接波と反射波との伝搬時間差を複数の地点ごとに求める反復計算を要しない。このため、短時間で波源の位置を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】第1実施形態の位置推定方法の原理を示す概要図である。

【図2】第1実施形態の位置推定装置の構成を示すブロック図である。

【図3】第1実施形態の位置推定方法の手順を示すフローチャートである。

40

【図4】第2実施形態の位置推定方法の原理を示す概要図である。

【図5】第2実施形態の位置推定装置の構成を示すブロック図である。

【図6】第2実施形態の位置推定方法の手順を示すフローチャートである。

【図7】伝搬時間差から目標波源の距離を求める従来の方法の原理を示す概要図である。

【図8】従来の方法で求められる伝搬時間差を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0020】

<第1実施形態>

本発明の第1実施形態について詳細に説明する。図1は、第1実施形態の位置推定方法の原理を示す概要図である。

50

【 0 0 2 1 】

第 1 実施形態は、海水面 W 1 (第 1 境界面) と海底面 W 2 (第 2 境界面) との間から、パルス波である音波を放射する波源 H の位置を、受波器 J を用いて推定するものである。海水面 W 1 や海底面 W 2 は、凹凸のない平面であり、平行である。海水面 W 1 と海底面 W 2 との間は、音波を伝える一様な媒質で満たされている。

【 0 0 2 2 】

図 1 は、高さ方向 (深さ方向) を Z 軸で表し、水平方向を r 軸で表すものである。以下では、図 1 に示すように、受波器 J が座標 (r , z r) にあるときに、波源 H の座標 (0 , z s) を求める場合を例に説明する。

【 0 0 2 3 】

波源 H から音波が放射されると、受波器 J には、まず、受波器 J と波源 H とを結ぶ直線上を進んだ直接波 D が到達し、次に、海水面 W 1 又は海底面 W 2 で 1 回反射した反射波 R 1 , R 2 が受波器 J に到達し、この後、海水面 W 1 及び海底面 W 2 での多重反射波が受波器 J に到達する。

【 0 0 2 4 】

海水面 W 1 で 1 回反射して受波器 J に到達する第 1 反射波 R 1 の伝搬経路長は、海水面 W 1 に対する波源 H の鏡像 H 1 (以下、嘘波源 H 1) から直接受波器 J に到達する音波の伝搬経路長に等しい。そして、直接波 D と第 1 反射波 R 1 との伝搬経路差が一定となる軌跡は、波源 H と嘘波源 H 1 を焦点とし、受波器 J を通過する第 1 双曲線 S 1 になる。

【 0 0 2 5 】

また、波源 H から放射された音波のうち、海底面 W 2 で 1 回反射して受波器 J に到達する第 2 反射波 R 2 の伝搬経路長は、海底面 W 2 に対する波源 H の鏡像 H 2 (以下、嘘波源 H 2) から直接受波器 J に到達する音波の伝搬経路長に等しい。そして、直接波 D と第 2 反射波 R 2 との伝搬経路差が一定となる軌跡は、波源 H と嘘波源 H 2 を焦点とし、受波器 J を通過する第 2 双曲線 S 2 になる。

【 0 0 2 6 】

上述した第 1 双曲線 S 1 や第 2 双曲線 S 2 は、以下の式 1 で表すことができる。

【 0 0 2 7 】

【 数 1 】

$$\frac{Z^2}{a^2} - \frac{r^2}{b^2} = 1 \quad \dots \text{式 1}$$

【 0 0 2 8 】

式 1 の係数 a は、直接波 D と反射波 R との伝搬経路差で表される (第 1 双曲線 S 1 の式 1 では、係数 a は、直接波 D と第 1 反射波 R 1 との伝搬経路差で表される。第 2 双曲線 S 2 の式 1 では、係数 a は、直接波 D と第 2 反射波 R 2 との伝搬経路差で表される)。式 1 の係数 b は、係数 a と、波源 H の Z 座標 z s とから求められる。

【 0 0 2 9 】

そして、受波器 J の Z 座標 z r や、直接波 D と第 1 反射波 R 1 との伝搬経路差が求められる場合には、係数 a や Z (= z r) を実数とし、係数 b や r を未知数とする第 1 双曲線 S 1 の式 1 を求めることができる。

【 0 0 3 0 】

また、受波器 J の Z 座標 z r や、直接波 D と第 2 反射波 R 2 との伝搬経路差が求められる場合には、係数 a や Z (= z r) を実数とし、係数 b や r を未知数とする第 2 双曲線 S 2 の式 1 を求めることができる。

【0031】

そして、上述のように第1, 第2双曲線 S_1, S_2 の式1が求められる場合には、これら2つの双曲線 S_1, S_2 の式1を連立することで、2つの未知数 b, r を求めることができる。この結果、求められる r は、受波器Jと波源Hとの間の水平距離に該当する。そしてさらに、係数 a, b から、第1, 第2双曲線 $S_1, 2$ の共通の焦点である波源HのZ座標 z_s を求めることができる。

【0032】

以上に基づき、第1実施形態では、直接波Dが受波器Jに到達した時刻 T_1 や、第1反射波 R_1 が受波器Jに到達した時刻 T_2 や、第2反射波 R_2 が受波器Jに到達した時刻 T_3 が特定される。

10

【0033】

そして、直接波Dの到達時刻 T_1 と第1反射波 R_1 の到達時刻 T_2 とに基づき、直接波Dと第1反射波 R_1 との伝搬経路差 K_1 が算出される。また、直接波Dの到達時刻 T_1 と第2反射波 R_2 の到達時刻 T_3 とに基づき、直接波Dと第2反射波 R_2 との伝搬経路差 K_2 が算出される。

【0034】

また、受波器Jの位置における水圧に基づき、受波器JのZ座標 z_r が求められる。

【0035】

そして、直接波Dと第1反射波 R_1 との伝搬経路差 K_1 と、受波器JのZ座標 z_r とに基づき、第1双曲線 S_1 の式1が求められる。また、直接波Dと第2反射波 R_2 との伝搬経路差 K_2 と、受波器JのZ座標 z_r とに基づき、第2双曲線 S_2 の式1が求められる。

20

【0036】

そして、第1双曲線 S_1 の式1と第2双曲線 S_2 の式1とを連立して、受波器Jと波源Hとの間の水平距離 r や、第1, 第2双曲線 $S_1, 2$ の共通の焦点のZ座標 z_s が求められる。

【0037】

図2は、上記の処理を実行する位置推定装置Aのハードウェア構成を示している。

【0038】

位置推定装置Aは、上述の受波器Jと、演算処理装置Eとを備える。

【0039】

受波器Jには、音圧センサ10と、圧力センサ11とが設けられる。音圧センサ10は、圧電素子を備えるものであって、複数配列される。なお、音圧センサ10は、光ファイバ方式のものであってもよい。圧力センサ11は、受波器Jの位置における水圧を測定する。

30

【0040】

演算処理装置Eは、受波器Jの近傍あるいは受波器Jと一体的に設けられる。演算処理装置Eは、通信回線を介して受波器Jと接続されるものであり、到達時刻特定部20と、経路差算出部21と、双曲線取得部22と、焦点座標算出部23と、受波器座標算出部24とを備える。上記の各部は、例えば回路から実現される。或いは、上記の各部は、CPU(Central Processing Unit)が、外部記憶部に記憶されているプログラムに従った処理を実行することで実現される。

40

【0041】

また、演算処理装置Eには、海水面 W_1 と海底面 W_2 との間にある媒質で音が伝わる速さ(以下、音速)や、圧力センサ11が測定した水圧を入力するための入力装置(図示せず)が設けられる。また、演算処理装置Eは、音波の到来方向を判別するためのビームフォーミングと称される信号処理を実行可能である。

【0042】

次に、図3を参照して、上記の位置推定装置Aで実行される処理を説明する。

【0043】

受波器Jの音圧センサ10は、波源Hから発されて、受波器Jに到達する音波を順次受

50

信する（ステップS101）。そして、音圧センサ10は、音波を受信するたびに、音波をAD変換して、演算処理装置Eの到達時刻特定部20に伝送する（ステップS102）。

【0044】

到達時刻特定部20は、音圧センサ10から音波の信号を受け取るたびに、当該音波が受波器Jに到達した時刻T（以下、到達時刻T）を決定する（ステップS103）。時刻検知の方法としては、信号の立ち上がり点や最大振幅点などから検知する等種々の方法がある。

【0045】

ついで、到達時刻特定部20は、振幅の大きい3つの音波の信号を選択する。そして、到達時刻特定部20は、これら3つの音波の到達時刻Tのうち、最も早い音波の到達時刻Tを直接波Dの到達時刻T1と特定する。また、到達時刻特定部20は、直接波Dに遅れて到達した音波（2番目、3番目に到達した音波）に対して、演算処理装置E内でのビームフォーミングと称される信号処理により音波の上下の到来方向を判別する。そして、到達時刻特定部20は、上方向から到達した音波を第1反射波R1とし、下方向から到達した音波を第2反射波R2として、これら反射波R1, R2の到達時刻T2, T3を特定する（ステップS104）。

10

【0046】

ついで、経路差算出部21は、直接波Dの到達時刻T1と第1反射波R1の到達時刻T2との間の時間差を、直接波Dと第1反射波R1との伝搬時間差S1として算出する（ステップS105）。

20

【0047】

また、経路差算出部21は、直接波Dの到達時刻T1と第2反射波R2の到達時刻T3との間の時間差を、直接波Dと第2反射波R2との伝搬時間差S2として算出する（ステップS105）。

【0048】

ついで、経路差算出部21は、ステップS105で算出された伝搬時間差S1に、入力装置に入力された音速を乗じることで、直接波Dと第1反射波R1との伝搬経路差K1を算出する（ステップS106）。

【0049】

また、経路差算出部21は、ステップS105で算出された伝搬時間差S2に、入力装置に入力された音速を乗じることで、直接波Dと第2反射波R2との伝搬経路差K2を算出する（ステップS106）。

30

【0050】

ついで、受波器座標算出部24は、圧力センサ11が測定した水圧に基づき、受波器JのZ座標 z_r （深度）を算出する（ステップS107）。

【0051】

ついで、双曲線取得部22は、ステップS106で算出された直接波Dと第1反射波R1との伝搬経路差K1と、ステップS107で算出された受波器JのZ座標 z_r とに基づき、第1双曲線S1の式1を求める（ステップS108）。

40

【0052】

また、双曲線取得部22は、ステップS106で算出された直接波Dと第2反射波R2との伝搬経路差K2と、ステップS107で算出された受波器JのZ座標 z_r とに基づき、第2双曲線S2の式1を求める（ステップS108）。

【0053】

上記のステップS108で求められる第1, 第2双曲線S1, S2の式1は、係数aやZ(= z_r)を実数とし、係数bやrを未知数とするものである。

【0054】

ついで、焦点座標算出部23は、第1双曲線S1の式1と第2双曲線S2の式1とを連立して、未知数b, rを求める（ステップS109）。この結果、求められるrは、受波

50

器 J と波源 H との間の水平距離に該当する。さらに、焦点座標算出部 23 は、係数 a , b から、第 1 , 第 2 双曲線 S_1 , S_2 の共通の焦点である波源 H の Z 座標 z_s を求める (ステップ S109)。

【0055】

以上のように、第 1 実施形態によれば、波源 H の Z 座標 z_s や、受波器 J と波源 H との間の水平距離 r が求められるので、波源 H の位置を推定することができる。

【0056】

そして、上述の波源 H の Z 座標 z_s や水平距離 r は、一箇所の受波器 J に受信される直接波 D と反射波 R_1 , R_2 との伝搬経路差に基づき求められる。このため、受波器 J を複数の地点に設けることを要しない。よって、受波器を複数の地点に設ける場合のように、
10 設備コストが高額にならず、複数の受波器を設置する手間や、複数の受波器の位置を特定する手間を要しない。

【0057】

また従来 of 総当り法のように、直接波と反射波との伝搬時間差を複数の地点ごとに求める反復計算を要しない。このため、短時間で波源の位置を推定することができる。

【0058】

また、受波器 J の圧力センサ 11 が計測した水圧に基づき、受波器 J の座標が求められ、当該受波器 J の座標を用いて、第 1 双曲線 S_1 や第 2 双曲線 S_2 の式が求められる。このため、受波器 J の位置が既知でない場合や、受波器 J が移動する場合であっても、第 1
20 双曲線 S_1 や第 2 双曲線 S_2 の式を求めて、これらの式に基づき波源 H の座標を求めることができる。

【0059】

< 第 2 実施形態 >

【0060】

次に、本発明の第 2 実施形態について詳細に説明する。図 4 は、第 2 実施形態の位置推定方法の原理を示す概要図である。

【0061】

第 2 実施形態も、第 1 実施形態と同様、海水面 W_1 と海底面 W_2 との間から、パルス波である音波を放射する波源 H の位置を、受波器 J を用いて推定するものである。また、第 1
30 実施形態と同様、海水面 W_1 や海底面 W_2 は、凹凸がない平面であり、平行である。海水面 W_1 と海底面 W_2 との間は音波を伝える一様な媒質で満たされる。

【0062】

以下では、図 4 に示すように、受波器 J が座標 $(0, z_r)$ にあるときに、波源 H の座標 (r, z_s) を求める場合を例に説明する。

【0063】

波源 H から発せられた音波のうち、海水面 W_1 で 1 回反射して受波器 J に到達する第 1 反射波 R_1 の経路長は、海水面 W_1 に対する受波器 J の鏡像 J_1 (以下、嘘受波器 J_1) に直接到達する音波の経路長に等しい。そして、波源 H から直接受波器 J に到達する直接波 D と、第 1 反射波 R_1 との伝搬経路差が一定となる軌跡は、受波器 J と嘘受波器 J_1 を
40 焦点とし、波源 H を通過する第 1 双曲線 S_3 になる。

【0064】

また、波源 H から放射された音波のうち、海底面 W_2 で 1 回反射して受波器 J に到達する第 2 反射波 R_2 の経路長は、海底面 W_2 に対する受波器 J の鏡像 J_2 (以下、嘘受波器 J_2) に直接到達する音波の経路長に等しい。そして、波源 H から直接受波器 J に到達する直接波 D と、第 2 反射波 R_2 との伝搬経路差が一定となる軌跡は、受波器 J と嘘受波器 J_2 を焦点とし、波源 H を通過する第 2 双曲線 S_4 になる。

【0065】

上述した第 1 双曲線 S_3 や第 2 双曲線 S_4 は、以下の式 2 で表すことができる。

【0066】

【数 2】

$$\frac{Z^2}{a^2} - \frac{r^2}{c^2} = 1 \quad \dots \text{式 2}$$

【0067】

式 2 の係数 a は、直接波 D と反射波 R との伝搬経路差で表される（第 1 双曲線 S_3 の式 2 では、係数 a は、直接波 D と第 1 反射波 R_1 との伝搬経路差 K_1 で表される。第 2 双曲線 S_4 の式 2 では、係数 a は、直接波 D と第 2 反射波 R_2 との伝搬経路差 K_2 で表される）。式 2 の係数 c は、係数 a と、受波器 J の Z 座標 z_r で表すことができる。

10

【0068】

受波器 J の Z 座標 z_r や、直接波 D と第 1 反射波 R_1 との伝搬経路差 K_1 が求められる場合には、係数 a , c を実数とし、 Z や r を未知数とする第 1 双曲線 S_3 の式 2 を求めることができる。

【0069】

また、受波器 J の Z 座標 z_r や、直接波 D と第 2 反射波 R_2 との伝搬経路差 K_2 が求められる場合には、係数 a , c を実数とし、 Z や r を未知数とする第 2 双曲線 S_4 の式 2 を求めることができる。

20

【0070】

そして、上述のように第 1 , 第 2 双曲線 S_3 , S_4 の式 2 が求められる場合には、これら 2 つの双曲線 S_3 , S_4 の式 2 を連立することで、2 つの未知数 Z , r を求めることができる。この結果、求められる Z は、第 2 双曲線 S_3 , S_4 の交点である波源 H の Z 座標 z_s に該当し、求められる r は、受波器 J と波源 H との間の水平距離（波源 H の r 座標）に該当する。

【0071】

以上に基づき、第 2 実施形態では、第 1 実施形態と同様、直接波 D や反射波 R_1 , R_2 の到達時刻 T_1 , T_2 , T_3 が特定される。そして、これらの到達時刻 T_1 , T_2 , T_3 に基づき、直接波 D と第 1 反射波 R_1 との伝搬経路差 K_1 や、直接波 D と第 2 反射波 R_2 との伝搬経路差 K_2 が算出される。

30

【0072】

そして、受波器 J の位置における水圧に基づき、受波器 J の Z 座標 z_r が求められる。

【0073】

そして、直接波 D と第 1 反射波 R_1 との伝搬経路差 K_1 と、受波器 J の Z 座標 z_r とに基づき、第 1 双曲線 S_3 の式 2 が求められる。また、直接波 D と第 2 反射波 R_2 との伝搬経路差 K_2 と、受波器 J の Z 座標 z_r とに基づき、第 2 双曲線 S_4 の式 2 が求められる。

【0074】

そして、双曲線 S_3 , S_4 の式 2 を連立して、第 2 双曲線 S_3 , S_4 の交点である波源 H の Z 座標 z_s や、受波器 J と波源 H との間の水平距離 r が算出される。

40

【0075】

図 5 は、上記の処理を実行する位置推定装置 B のハードウェア構成を示している。

【0076】

位置推定装置 B は、受波器 J と、演算処理装置 F とを備える。

【0077】

受波器 J には、音圧センサ 10 と、圧力センサ 11 とが設けられる。音圧センサ 10 や圧力センサ 11 は、第 1 実施形態と同様である。このため、詳細な説明を省略する。

【0078】

演算処理装置 F は、通信回線を介して受波器 J と接続されるものであり、到達時刻特定

50

部 20 と、経路差算出部 21 と、双曲線取得部 25 と、交点座標算出部 26 と、受波器座標算出部 24 とを備える。上記の各部は、例えば回路から構成される。或いは、上記の各部は、CPUが、外部記憶部に記憶されているプログラムに従った処理を実行することで構成される。また、演算処理装置 F には、媒質中の音速や、圧力センサ 11 が測定した水圧を入力するための入力装置が設けられる。また、演算処理装置 E は、ビームフォーミングと称される信号処理を実行可能である。

【0079】

次に図 6 を参照して、上記の位置推定装置 F で実行される処理を説明する。

【0080】

ステップ S 201, S 202 は、受波器 J で実行され、ステップ S 203, S 204 は、到達時刻特定部 20 で実行され、ステップ S 205, S 206 は、経路差算出部 21 で実行され、ステップ S 207 は受波器座標算出部 24 で実行される。これらステップ S 201 ~ ステップ S 207 は、図 3 のステップ S 101 ~ S 107 と同様である。よって以下では、ステップ S 208 以降について説明する。

【0081】

双曲線取得部 25 は、ステップ S 206 で算出された直接波 D と第 1 反射波 R 1 との伝搬経路差 K 1 と、ステップ S 207 で算出された受波器 J の Z 座標 z_r とに基づき、第 1 双曲線 S 3 の式 2 を求める (ステップ S 208)。

【0082】

また、双曲線取得部 25 は、ステップ S 206 で算出された直接波 D と第 2 反射波 R 2 との伝搬経路差 K 2 と、ステップ S 207 で求められた受波器 J の Z 座標 z_r とに基づき、第 2 双曲線 S 4 の式 2 を求める (ステップ S 208)。

【0083】

上記のステップ S 208 で求められる第 1, 第 2 双曲線 S 3, S 4 の式 2 は、係数 a, c を実数とし、Z や r を未知数とするものである。

【0084】

ついで、交点座標算出部 26 は、第 1 双曲線 S 3 の式 2 と第 2 双曲線 S 4 の式 2 とを連立して、未知数 Z, r を求める (ステップ S 209)。この処理により、求められる Z は、第 1, 第 2 双曲線 S 3, S 4 の交点である波源 H の Z 座標 z_s であり、求められる r は、受波器 J と波源 H との間の水平距離 (波源 H の r 座標) である。

【0085】

以上のように、第 2 実施形態においても、波源 H の Z 座標 z_s や水平距離 r が求められるので、波源 H の位置を推定することができる。

【0086】

また、第 2 実施形態においても、一箇所の受波器 J に受信される直接波 D と反射波との伝搬経路差を利用して、波源 H の位置が推定される。このため、受波器 J を複数の地点に設けることを要しない。よって、設備コストが高額にならず、複数の受波器 J を所望の位置に設置する手間や、複数の受波器 J の位置を特定する手間を要しない。また、複数点における直接波 D と反射波との伝搬時間差を求める反復計算を要しないので、短時間で波源 H 位置を推定可能である。

【0087】

また、受波器 J の圧力センサ 11 が計測した水圧に基づき、受波器 J の座標が求められるとともに、当該受波器 J の座標を用いて、第 1 双曲線 S 3 や第 2 双曲線 S 4 の式が求められる。このため、受波器 J の位置が既知でない場合や、受波器 J が移動する場合であっても、第 1 双曲線 S 3 や第 2 双曲線 S 4 の式を求めて、これらの式に基づき波源 H の座標を求めることができる。

【0088】

なお、本発明は、上記の第 1, 第 2 実施形態に限定されず、種々改変することができる。

【0089】

10

20

30

40

50

例えば、上記の第1, 第2実施形態では、媒質中の音速が一様である例を示したが、媒質中の音速は一様でなくてもよい。この場合、音速の平均値が演算処理装置E, F(図2, 図5)に入力される。そして、図3のステップS106や、図6のステップS206では、音速の平均値を伝搬時間差S1, S2に乘じることで、伝搬経路差K1, K2が算出される。

【0090】

また、第1, 第2実施形態では、境界面(海水面W1や海底面W2)が平面である例を示したが、本発明は、境界面に起伏や凸凹がある場合にも適用可能である。境界面に起伏や凸凹がある場合には、その平均平面が、境界面の伸びる方向(図1や図4のr軸に相当)に設定される。

10

【0091】

また、第1, 第2実施形態では、圧力センサの測定値に基づき、受波器Jの座標を求める例を示したが、受波器Jが固定されて静止するものである場合には、受波器Jの座標を演算処理装置E, Fに入力して、この入力値に基づき、第1の双曲線や第2の双曲線の式が求められてもよい。

【0092】

また、第1, 第2実施形態では、波源Hが音波を出力する例を示したが、本発明は、波源が音波以外のパルス波(電磁波や弾性波等)を出力する場合にも適用可能である。

【0093】

例えば、波源が電磁波や弾性波を出力する場合には、電磁波や弾性波を受信可能な受波器が、第1境界面と第2境界面との間に設けられる。そして、図3のステップS101や図6のステップS201に対応する処理では、上記の受波器に、波源から直接受波器に到達した直接波や、第1境界面で1回反射して受波器に到達した第1反射波や、第2境界面で1回反射して受波器に到達した第2反射波が受信される。そして、図3のステップS106や図6のステップS206に対応する処理では、演算処理装置に入力された光速や弾性波の速度に基づき、直接波と第1, 第2反射波との伝搬経路差が算出される。

20

【符号の説明】

【0094】

- 11 圧力センサ
- 20 到達時刻特定部
- 21 経路差算出部
- 22, 25 双曲線取得部
- 23 焦点座標算出部
- 24 受波器座標算出部
- 26 交点座標算出部
- A 位置推定装置
- D 直接波
- J 受波器
- H 波源
- H1 第1境界面に対する波源Hの鏡像
- H2 第2境界面に対する波源Hの鏡像
- S1 第1双曲線
- S2 第2双曲線
- R1 第1反射波
- R2 第2反射波
- W1 海水面(第1境界面)
- W2 海底面(第2境界面)

30

40

【要約】

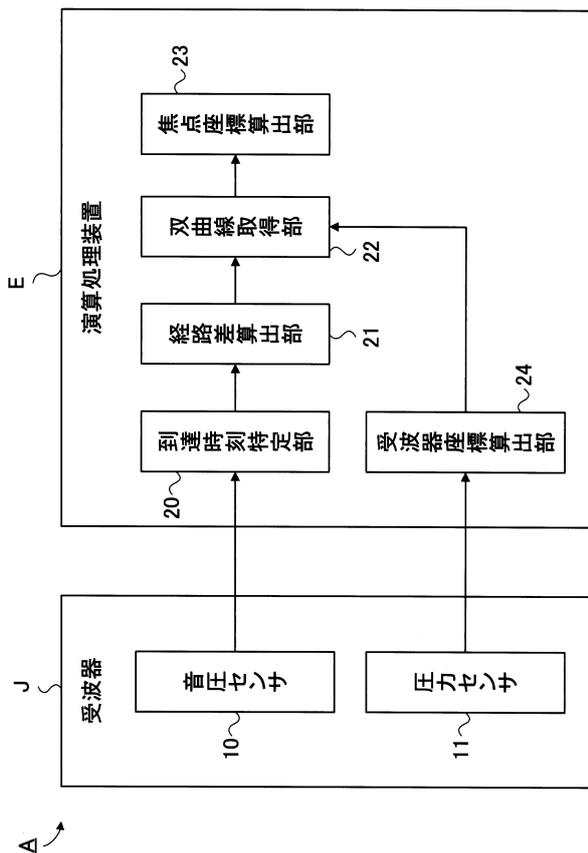
【課題】受波器を複数の地点に設けることを要せずに、短時間で波源位置を推定可能な方法を提供する。

50

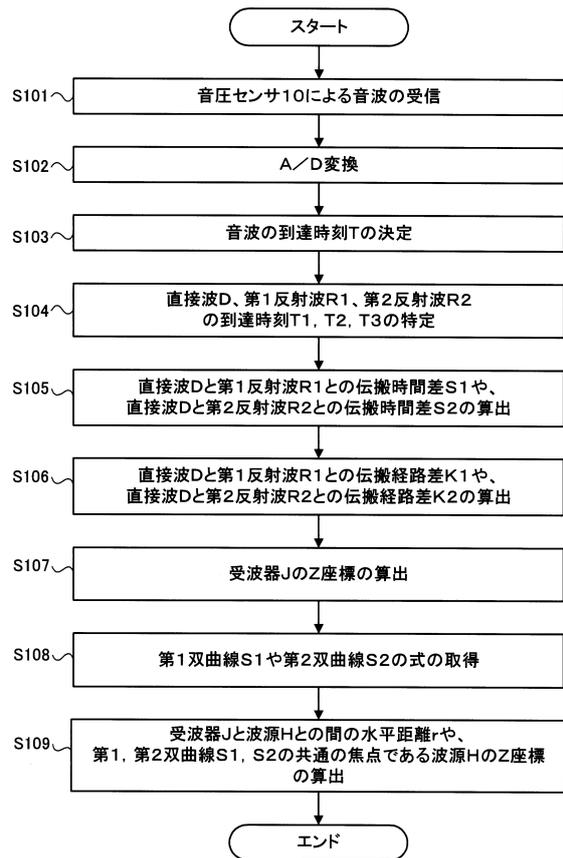
【解決手段】海水面W1と海底面W2との間に設置された受波器Jが、波源Hから受波器Jに直接到達した直接波Dや、海水面W1で1回反射して受波器Jに到達した第1反射波R1や、海底面W2で1回反射して受波器Jに到達した第2反射波R2を受信する。そして、波源Hと第1境界面に対する波源Hの鏡像H1とを焦点とする第1双曲線S1の式や、波源Hと海底面W2に対する波源Hの鏡像H2とを焦点とする第2双曲線S2の式が求められる。そして、第1双曲線S1の式と第2双曲線S2の式とを連立することで、波源Hの座標である第1双曲線S1及び第2双曲線S2の共通の焦点の座標が求められる。

【選択図】図1

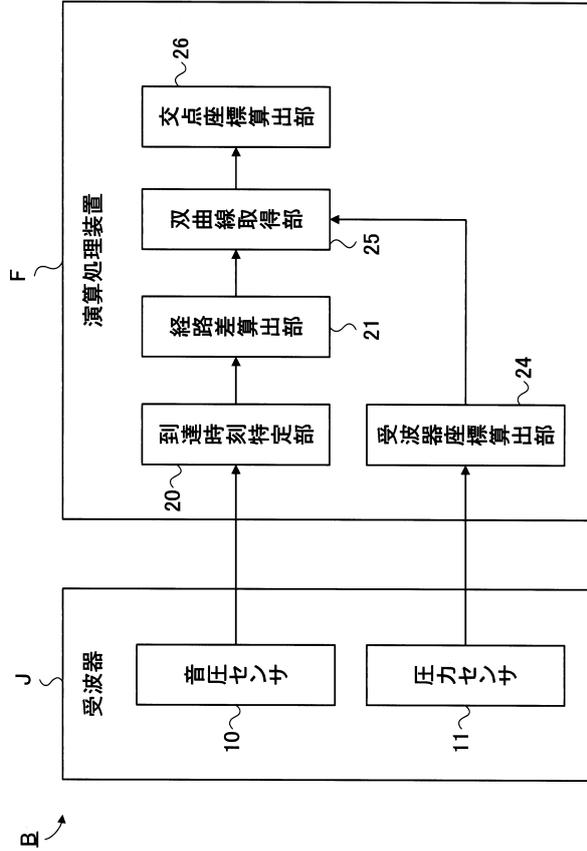
【図2】



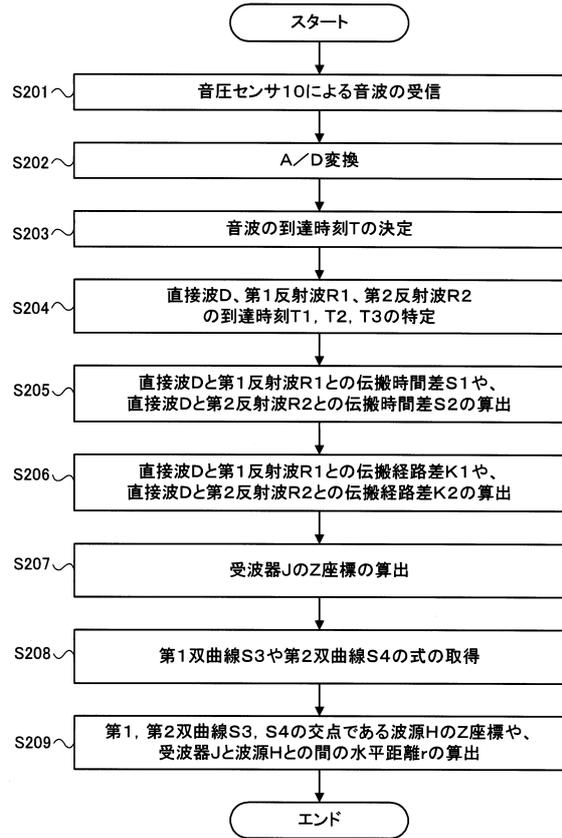
【図3】



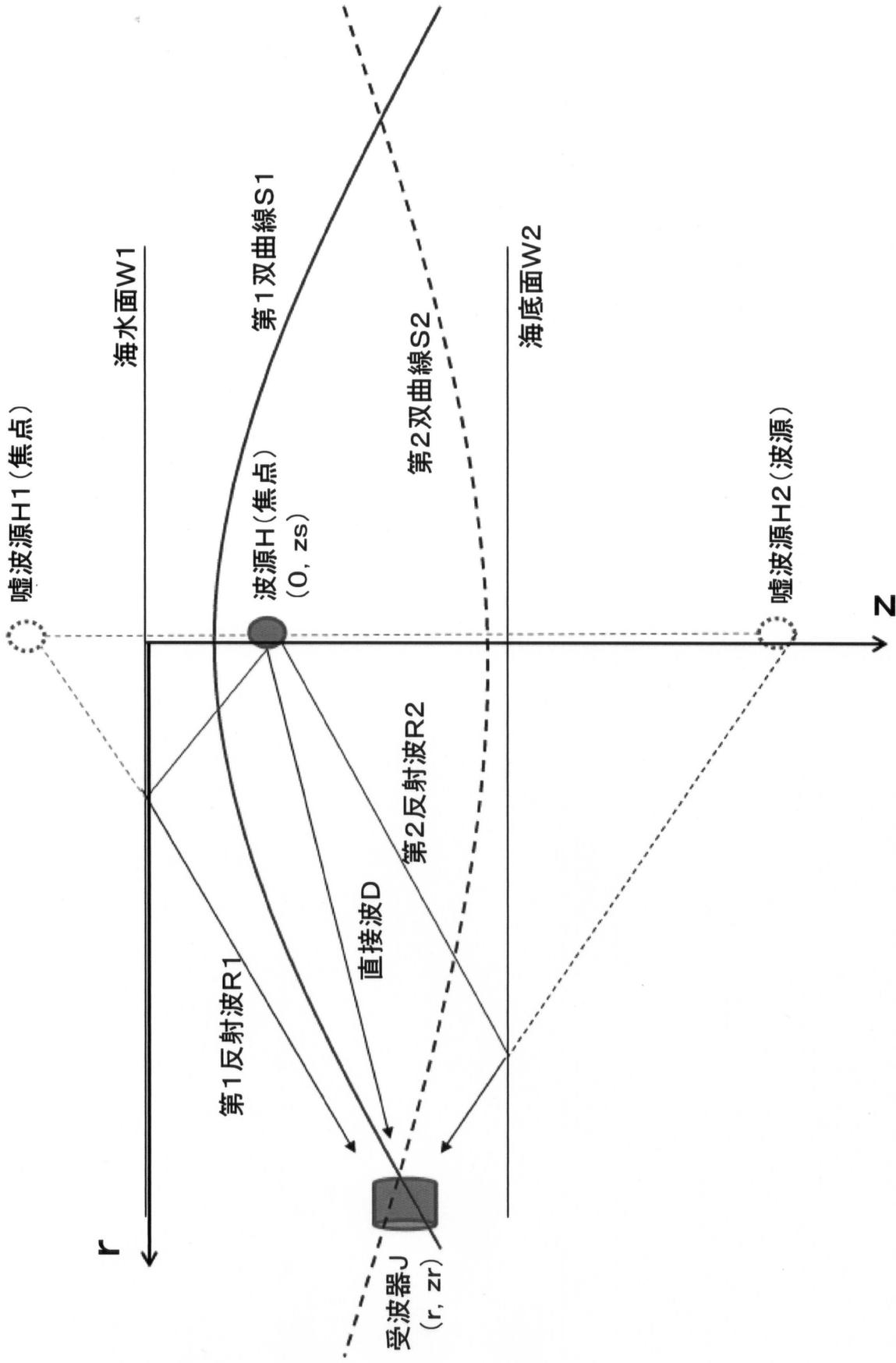
【図5】



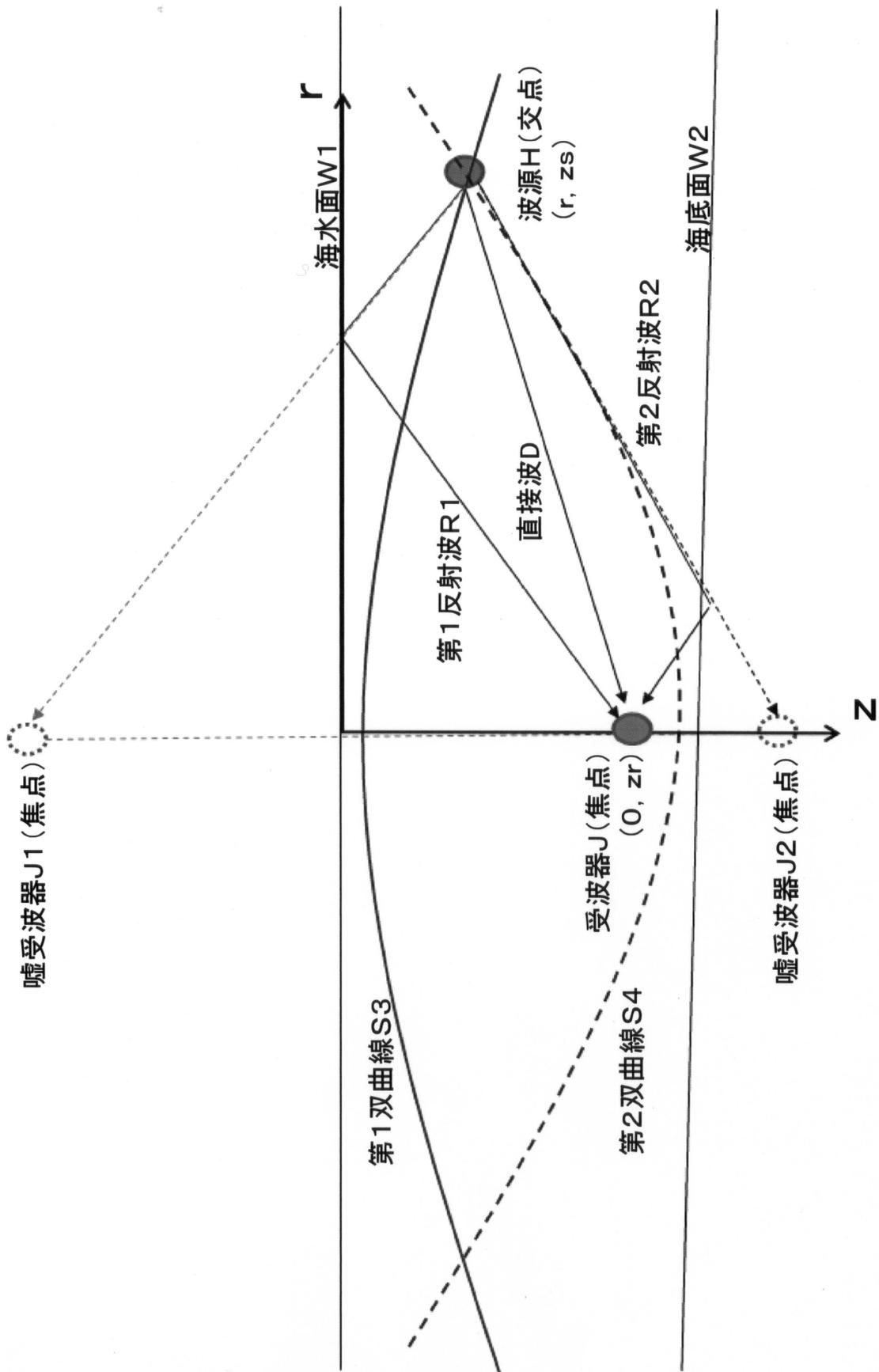
【図6】



【 図 1 】

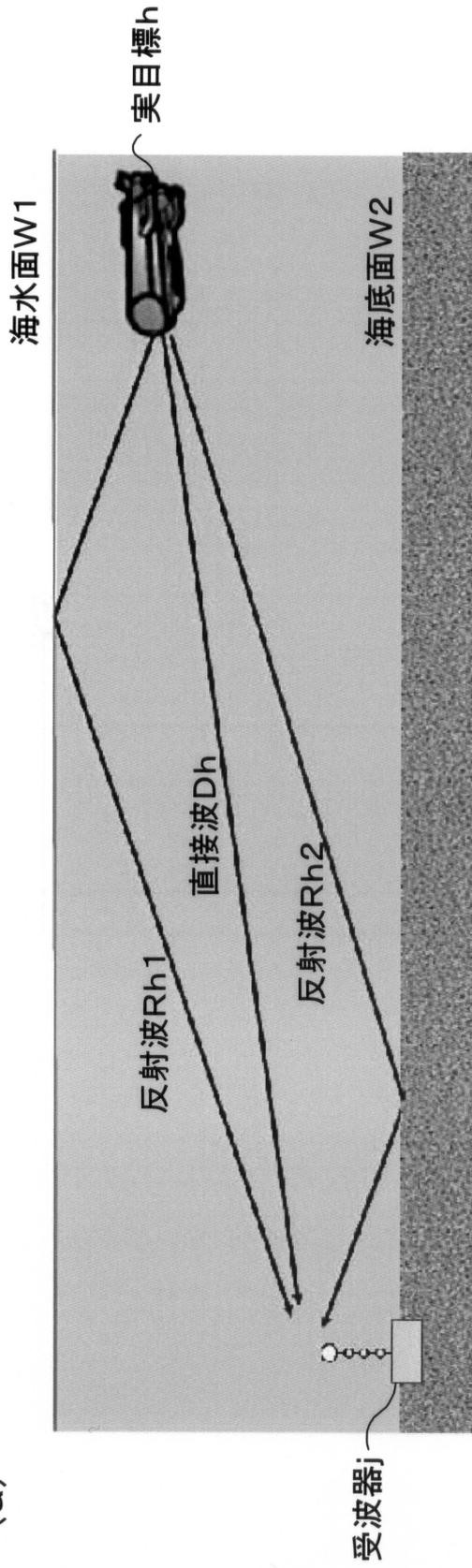


【 図 4 】

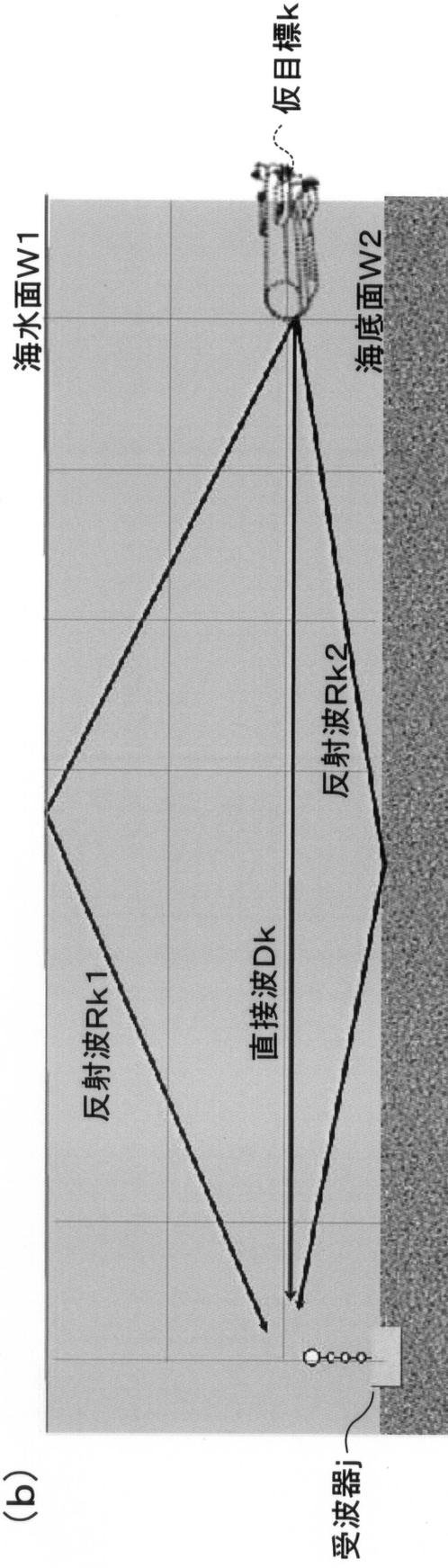


【 図 7 】

(a)

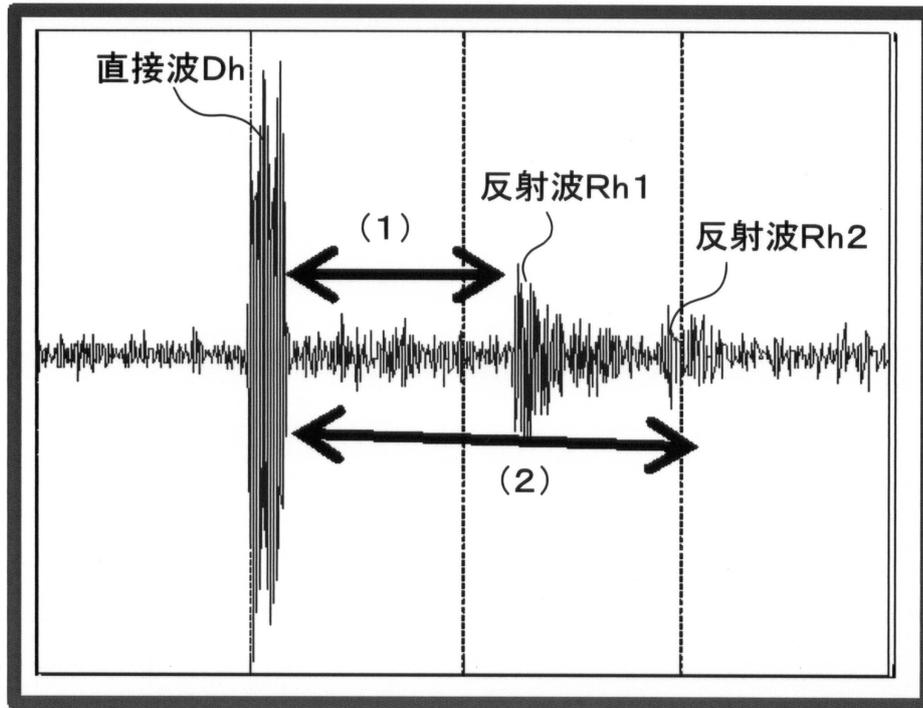


(b)

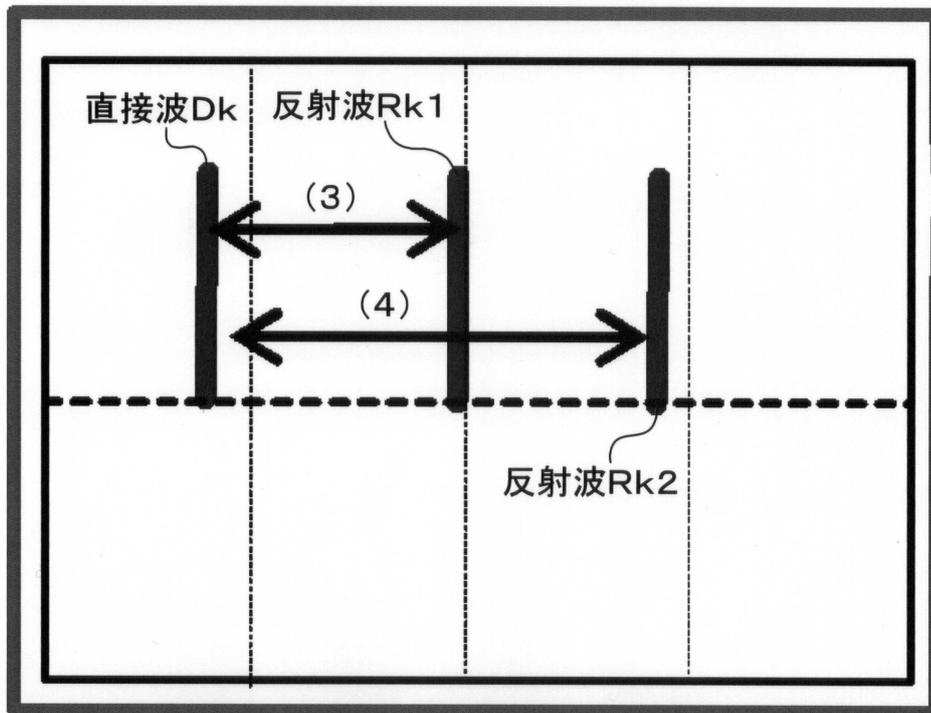


【 図 8 】

(a)



(b)



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭54-106184(JP,A)
特開2000-147084(JP,A)
特開2000-121719(JP,A)
特開平11-326489(JP,A)
特開平11-231039(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 5/22

G01S 1/76