

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 7 月 24 日(24.07.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/112261 A1

- (51) 国際特許分類:
G01V 1/38 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/083441
- (22) 国際出願日: 2013 年 12 月 13 日(13.12.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-007095 2013 年 1 月 18 日(18.01.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社 I H I (IHI CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目 1 番
1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (71) 出願人: 三ヶ田 均(MIKADA, Hitoshi) [JP/JP]; 〒
6128307 京都府京都市伏見区景勝町 3 1 番地 5
イニシア伏見 4 1 0 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 小笹 弘晃(OZASA, Hiroaki); 〒1358710
東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号 株式会社 I
H I 内 Tokyo (JP). 佐藤 文男(SATO, Fumio); 〒

1358710 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号 株
式会社 I H I 内 Tokyo (JP). 長屋 茂樹(NAGAYA,
Shigeki); 〒1358710 東京都江東区豊洲三丁目 1 番
1 号 株式会社 I H I 内 Tokyo (JP). 山西 晃郎
(YAMANISHI, Akio); 〒1358710 東京都江東区豊洲
三丁目 1 番 1 号 株式会社 I H I 内 Tokyo (JP).

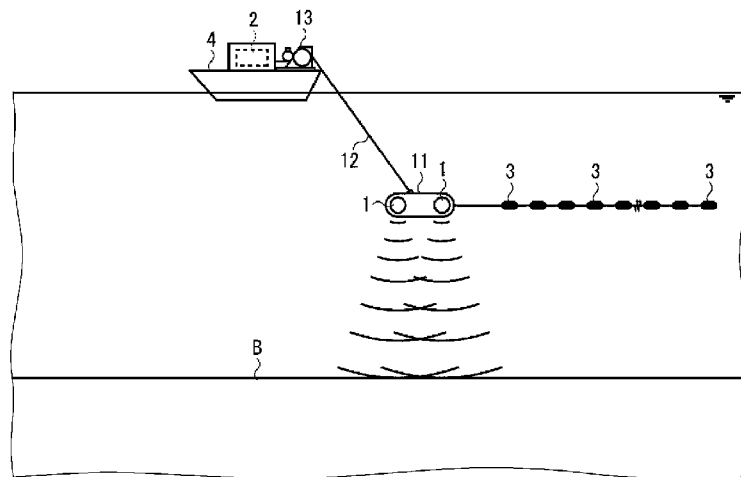
(74) 代理人: 長門 侃二(NAGATO, Kanji); 〒1050004
東京都港区新橋 5 丁目 8 番 1 号 百楽ビル 5 階
Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: UNDERWATER/UNDERGROUND SURVEY SYSTEM AND UNDERWATER/UNDERGROUND SURVEY METH-
OD

(54) 発明の名称: 水域地中探査システム及び水域地中探査方法



(57) Abstract: An underwater/underground survey system using a seismic reflection survey method, having a plurality of sound sources (1) for generating sound waves in water, a control device (2) for controlling the phase of the sound waves, a geophone (3) for receiving reflected sound waves, and an observation boat (4) provided with the sound sources (1), the control device (2) being configured so as to control the occurrence of shear waves propagated underground by controlling the phase of the sound sources (1) so that the sound waves generated from each of the sound sources (1) have a phase difference at a sea floor (B).

(57) 要約: 反射法地震探査法を用いた水域地中探査システムであって、水中に音波を発震する複数の音源 1 と、音波の位相を制御する制御装置 2 と、音波の反射波を受振する受振器 3 と、音源 1 を備えた観測船 4 と、を有し、制御装置 2 は、音源 1 から各々発震される音波が水底面 B で位相差を有するように音源 1 の位相を制御することにより地中に伝播するせん断波の発生を制御するように構成されている。

WO 2014/112261 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：水域地中探査システム及び水域地中探査方法

技術分野

[0001] 本発明は、水域地中探査システム及び水域地中探査方法に関し、特に、反射法地震探査法を用いた水域地中探査システム及び水域地中探査方法に関する。

背景技術

[0002] 大陸棚や深海底には豊富な資源（例えば、石油、天然ガス、メタンハイドレート、多金属団塊、マンガン・クラスト、海底熱水鉱床等）が存在しており、近年の資源価格の高騰により海洋資源開発の必要性が高まっている。また、陸上における天然資源は、一定の地域に偏在しており、国内産出量が少ない資源については、外国からの輸入に頼らざるを得ず、地政学的リスクが少なくない。そして、四方を海に囲まれた我が国においては、安定した資源供給のためにも、海洋地域が資源開発の新たなフロンティアとして注目されている。

[0003] 海底資源探査技術としては、反射法地震探査法を用いたものが既に提案されている（例えば、特許文献1、非特許文献1等参照）。

[0004] 特許文献1には、「海面付近や海中や海底で、圧縮した空気を瞬時に海中に放出するエアガンや圧電素子や超磁歪合金等の振動源（送波器）で、振動（音波）を発生させ、海底面や海底下の地層の境界面等で反射して戻って来る音波を、ストリーマーとよばれるケーブルに間隔を設けて配置されたハイドロフォン（受波器）で受信し、この受信記録、即ち、海底面下の地震探査記録に現れる物性が異なる地層同士の境界面を探り、地質構造を解析する」ことが記載されている。

[0005] また、非特許文献1には、S波（せん断波）は、P波（疎密波）と比べて孔隙内流体に左右されにくい、フラクチャーの発達する層を通過すると波が分離する、等の特徴を有し、P波反射法地震探査のみでは得がたい油ガス層

の構造・貯留層性状の把握が可能とされており、S波反射法地震探査が注目を浴びていることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2008-14830号公報

非特許文献

[0007] 非特許文献1：松澤 進一、S波を利用した貯留層解析技術、石油・天然ガスレビュー、（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構、2007.9 Vol.41 No.5 P. 91-103

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 非特許文献1にも記載されているように、S波（せん断波）は海中を伝播しないことから海域における有効なS波震源が存在していないという問題がある。そこで、水中を伝播するP波（疎密波）が海底でS波（せん断波）に変換するP-S変換波を使用することが非特許文献1に記載されている。

[0009] しかしながら、水中の単一のエアガン等の震源から発生するP波から解析に必要なP-S変換波を得る場合、非常に大きな音圧を必要とするだけでなく、海底の土質が大きな制約条件となる。したがって、海洋ほ乳類等の海洋生物への影響が懸念されるだけでなく、S波（せん断波）の発生を制御することが困難であり、安定した探査を行うことができないという問題もあった。

[0010] 本発明は、上述した問題点に鑑み創案されたものであり、せん断波の発生を制御することができ、安定した探査を行うことができる、水域地中探査システム及び水域地中探査方法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

[0011] 本発明によれば、反射法地震探査法を用いた水域地中探査システムにおいて、水中に音波を発震する複数の音源と、前記音波の位相を制御する制御装置と、前記音波の反射波を受振する受振器と、前記音源を備えた探査設備と

、を有し、前記制御装置は、前記音源から各々発震される音波が水底面で位相差を有するように前記音源の水中高さ又は位相を制御することにより地中に伝播するせん断波の発生を制御する、ことを特徴とする水域地中探査システムが提供される。

[0012] ここで、前記制御装置は、前記音源の水中高さが発震する音波の半波長分だけずれるように制御してもよいし、前記音源の位相差が半周期となるように制御してもよい。また、前記音源は前記探査設備によって曳航されていてもよい。また、前記受振器は曳航型受振器や水底設置型受振器であってもよい。

[0013] また、本発明によれば、反射法地震探査法を用いた水域地中探査方法において、複数の音源から各々発震される音波が水底面で位相差を有するように該音源の水中高さ又は位相を調整する調整工程と、前記音源から音波を水中に発震する発震工程と、前記音波によって水底面でせん断波が発生して地中に伝播するせん断波伝播工程と、前記せん断波の反射波を受振する受振工程と、前記反射波の受振データを用いて地質構造を解析する解析工程と、を有することを特徴とする水域地中探査方法が提供される。

[0014] ここで、前記調整工程は、前記音源の水中高さが発震する音波の半波長分だけずれるように調整する工程であってもよいし、前記音源の位相差が半周期となるように調整する工程であってもよい。また、前記発震工程は、前記音源を曳航しながら水面又は水中で前記音波を発震するようにしてもよい。また、前記受振工程は、前記反射波によって水底面で発生し水中に伝播する疎密波を受振する工程であってもよいし、前記反射波を水底面でせん断波のまま受振する工程であってもよい。

発明の効果

[0015] 上述した水域地中探査システム及び水域地中探査方法によれば、複数の音源から発震される音波に位相差を付与することにより、積極的に水底面から地中に伝播するせん断波を発生させることができる。したがって、本発明によれば、せん断波の発生を制御することができ、安定した水域地中探査を行

うことができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の第一実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって発震時を示している。

[図2]本発明の第一実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって受振時を示している。

[図3]本発明の第一実施形態に係る水域地中探査方法を示す概念図であって発震時を示している。

[図4]本発明の第一実施形態に係る水域地中探査方法を示す概念図であって受振時を示している。

[図5]水底面におけるせん断波の発生状況を示す図であって逆位相の場合を示している。

[図6]水底面におけるせん断波の発生状況を示す図であって同位相の場合を示している。

[図7]水底面における波の発生状況を示す拡大図であって逆位相のせん断波を示している。

[図8]水底面における波の発生状況を示す拡大図であって同位相のせん断波を示している。

[図9]水底面における波の発生状況を示す拡大図であって逆位相の疎密波を示している。

[図10]水底面における波の発生状況を示す拡大図であって同位相の疎密波を示している。

[図11]音源の間隔とせん断波の発生との関係を示す図であって離隔状態を示している。

[図12]音源の間隔とせん断波の発生との関係を示す図であって接近状態を示している。

[図13]本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって第二実施形態を示している。

[図14]本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって第三実施形態を示している。

[図15]本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって第四実施形態を示している。

[図16]本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって第五実施形態を示している。

[図17]本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって第六実施形態を示している。

[図18]本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって第七実施形態を示している。

[図19]本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって第八実施形態を示している。

[図20]本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって第九実施形態を示している。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の実施形態について図1～図20を用いて説明する。ここで、図1は、本発明の第一実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって発震時を示し、図2は、本発明の第一実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であって受振時を示している。図3は、本発明の第一実施形態に係る水域地中探査方法を示す概念図であって発震時を示し、図4は、本発明の第一実施形態に係る水域地中探査方法を示す概念図であって受振時を示している。

[0018] 本発明の第一実施形態に係る水域地中探査システムは、図1及び図2に示したように、反射法地震探査法を用いた水域地中探査システムであって、水中に音波を発震する複数の音源1と、音波の位相を制御する制御装置2と、音波の反射波を受振する受振器3と、音源1を備えた観測船4と、を有し、制御装置2は、音源1から各々発震される音波が水底面Bで位相差を有するように音源1の位相を制御することにより地中に伝播するせん断波（「S波

」又は「横波」と称される場合もある)の発生を制御するように構成されている。

[0019] 本実施形態に係る水域地中探査システムは、一般的には海域の資源探査を対象としているが、これに限定されるものではなく、河川域、湖沼域等、水分を有する帯域全般において使用することができる。すなわち、本実施形態において、「水域」とは、海域、河川域、湖沼域等、水分を有する帯域全般を含む趣旨である。

[0020] 音源 1 は、例えば、油圧サーボを用いた低周波発生装置 11 である。低周波発生装置 11 としては、例えば、特開平 8-280089 号公報に記載されたような水中音源装置が使用可能である。低周波発生装置 11 は、少なくとも一対(二つ)の音源 1 を有しており、各音源 1 は振動板の振動を油圧で制御することにより、所望の周波数の音波を発生させるように構成されている。また、各音源 1 は、それぞれ個別に音波を発生させることができるように構成されており、異なる位相で音波を発生することが可能である。

[0021] ここで、音源 1 により水中に発震される音波は、疎密波(「P 波」又は「縦波」と称される場合もある)である。なお、音源 1 は、上述した油圧サーボ式の低周波発生装置 11 に限定されるものではなく、圧電素子駆動式のように発生する音波の位相を制御可能なものであれば他の方式のものであってもよい。

[0022] 制御装置 2 は、各音源 1 で発生される音波の位相を個別に制御することができるように構成されている。かかる制御装置 2 は、観測船 4 に搭載されていてもよいし、低周波発生装置 11 に搭載されていてもよい。また、制御装置 2 は、音源 1 で発生させる音波の周波数を制御する機能も有する。音源 1 から水中に発震される音波は、例えば、10~100Hz 程度の低周波であることが好ましいが、上述した油圧サーボ式の低周波発生装置 11 であれば、200~300Hz 程度の周波数の音波まで発生させることができる。

[0023] 受振器 3 は、例えば、複数のハイドロフォンをケーブルに連結したストリーマケーブル(曳航型受振器)により構成される。受振器 3 は、図示したよ

うに、低周波発生装置 11 に接続するようにしてもよいし、低周波発生装置 11 とは別の揚重装置により観測船 4 から水中に浸水させるようにしてもよいし、音源 1 を曳航する観測船 4 とは異なる曳航船によって曳航するようにしてもよい。低周波発生装置 11 及び受振器 3 は、図示したように、例えば、水底面 B から 100～500 m 程度の位置に浸水され、曳航索 12 により観測船 4 に接続され曳航される。

[0024] 観測船 4 は、音源 1 を水中に配置するための探査設備を構成している。観測船 4 は、いわゆる曳航船であり、図 1 に示したように、低周波発生装置 11 及び受振器 3 を曳航しながら音波を水中に発震し、図 2 に示したように、低周波発生装置 11 及び受振器 3 を曳航しながら反射波を受振するように操作される。観測船 4 は、例えば、低周波発生装置 11 及び受振器 3 に接続された曳航索 12 と、曳航索 12 を巻き取り・巻き戻し可能に支持する揚重装置 13 と、を有している。なお、音源 1 を備えた探査設備は、観測船 4 のような船舶に限定されるものではなく、観測ブイ、水上プラットフォーム、掘削リグ、セミサブリグ、潜水艦、水中航走体等、所定の水域において音源を水中に配置可能な設備であればよい。

[0025] ここで、図 1 乃至図 4 を参照しつつ、本実施形態に係る水域地中探査方法について説明する。本実施形態に係る水域地中探査方法は、反射法地震探査法を用いた水域地中探査方法であって、複数の音源 1 から各々発震される音波が水底面 B で位相差を有するように音源 1 の位相を調整する調整工程と、音源 1 から音波（疎密波）を水中に発震する発震工程と、音波（疎密波）によって水底面 B でせん断波が発生して地中に伝播するせん断波伝播工程と、せん断波の反射波を受振する受振工程と、反射波の受振データを用いて地質構造を解析する解析工程と、を有している。

[0026] 調整工程は、複数の音源 1 の位相を制御装置 2 により個別に制御することによって、水底面 B で位相差が生じるように調整する工程である。具体的には、音源 1 の位相差が半周期となるように調整する工程である。音源 1 の位相差を半周期とした場合、一对の音源は逆位相の音波を水中に発震すること

となる。ただし、音源 1 の位相差は、半周期に限定されるものではなく、位相がずれてさえいれば、例えば、 $0 \sim 1/2$ 周期の範囲内で任意に設定することができる。

[0027] 発震工程は、少なくとも一対（二つ）の音源 1 から異なる位相で音波を水中に発震する工程である。このとき、図 1 に示したように、音源 1 を曳航しながら水中で音波を発震するようにしてもよいし、停船した観測船 4 や所定の水域に配置された探査設備に接続された音源 1 から音波を発震して定点観測するようにしてもよい。

[0028] セン断波伝播工程は、音源 1 からの音波（疎密波）に基づいて水底面 B でセン断波を発生させる工程である。図 3 に示したように、一対の音源 1 から位相差を付与した音波を水中に発震すると（位相差が付与されている状態を図では＋で表示している）、水中に疎密波が伝播する。水底面 B に到達した疎密波は、二つの疎密波の位相が異なっていることから、水底面 B で両音波が干渉する際に、音波の進行方向における疎密の濃度が異なっており、特に、一方が進行波であり他方が後退波である場合に、水底面 B に沿った水平方向成分が増幅され、セン断波を生じやすい。本実施形態では、音源 1 から水中に発震される音波（疎密波）を制御することができ、疎密波の波長、振幅（音圧）、位相差、音源 1 間の距離等の条件によって、水底面 B で発生するセン断波の大きさを任意に調整することができる。また、本実施形態では、セン断波の発生を制御することができることから、水底面 B の土質による影響を低減することができる。

[0029] 受振工程は、図 3 に示したように、地層や埋蔵物 D で反射したセン断波の反射波を受振する工程である。セン断波伝播工程において発生したセン断波は、地中に伝播し、地中に液体やガスの塊や層が存在していた場合にその一部が反射することとなる。反射したセン断波は、水底面 B に到達すると疎密波を生じ、セン断波由来の疎密波が水中を伝播することとなる。このセン断波由来の疎密波は受振器 3 によって受振される。

[0030] なお、疎密波が地中に伝播する場合に、セン断波の他に疎密波も地中に伝

播することになるが、疎密波が液体やガスの塊や層に到達した場合には減衰が大きく、一般にその反射波を受振することは困難である。

[0031] 解析工程は、反射波（せん断波由来の疎密波）の受振データ（受振時間、音圧分布等）を用いて地質構造を解析する工程である。具体的には、受振器 3 により受振した受振データを解析プログラムを搭載したコンピュータ（図示せず）で処理することにより、地質構造を解析する。

[0032] 受振器 3 は、主として、音源 1 から発震された疎密波の水底面 B、水底面 B 下の地層や埋蔵物 D における反射波と、上述したせん断波の反射波とを受振することとなるが、反射波を受振した時間や音圧の大きさによって、疎密波由来の反射波であるのか、せん断波由来の反射波であるのか、区別することができ、せん断波由来の疎密波によって、従来の方法では明らかにできなかった地質構造を解析することができる。

[0033] また、本実施形態において、疎密波の水底面 B や固体埋蔵物における反射波も受振することができることから、この疎密波由来の反射波の受振データを用いて水底面 B 及び地中の構造を解析することもできる。特に、せん断波由来の反射波の受振データと疎密波由来の反射波の受振データの両方を用いて同じ水域を探索することにより、より詳細かつ正確な資源探索を行うことができる。

[0034] ここで、図 5 乃至図 10 を参照しつつ、せん断波の発生状況をシミュレーションした結果について説明する。図 5 は、水底面におけるせん断波の発生状況を示す図であって逆位相の場合を示し、図 6 は、水底面におけるせん断波の発生状況を示す図であって同位相の場合を示している。図 7 は、水底面における波の発生状況を示す拡大図であって逆位相のせん断波を示し、図 8 は、水底面における波の発生状況を示す拡大図であって同位相のせん断波を示し、図 9 は、水底面における波の発生状況を示す拡大図であって逆位相の疎密波を示し、図 10 は、水底面における波の発生状況を示す拡大図であって同位相の疎密波を示している。

[0035] 二つの音源（ダイポール音源）を 26.4 m（3.5 波長分）だけ離隔さ

せた状態で、水底面から500mの位置に配置して、200Hzの音波を水中に発震してから0.36秒後の音波の伝播状況をシミュレーションした結果を図5乃至図10に示している。なお、図5及び図6において、地中には疎密波も伝播しているが、説明の便宜上、せん断波のみを図示している。

[0036] 図5は音源1から逆位相の音波を発生させたものである。図示したように、水中を伝播した疎密波は、水底面Bにおいてせん断波を生じ、地中に略半円形状に連続したせん断波が伝播することとなる。この様子は、図7に示した拡大図でより明確に確認することができる。図7に示した拡大図によれば、地中で発生したせん断波が略半円形状に連続しており、せん断波の中心部における水底面Bに垂直な方向においてもせん断波が発生していることを容易に理解することができる。

[0037] 一般に、反射法地震探査法を用いた水域地中探査において、水底面Bから斜めに地中に伝播したせん断波は反射波が水底面Bに沿って水平方向に流れやすいことから、受振器3でその反射波（せん断波由来の疎密波）を受振することは困難である。したがって、反射法地震探査法を用いた水域地中探査において、水底面Bから垂直に伝播するせん断波を生成することが重要である。

[0038] それに対して、図6は音源1から同位相の音波を発生させたものである。図示したように、水中を伝播した疎密波は、水底面Bにおいてせん断波を生じ、地中に中央部で分離した不連続のせん断波が伝播することとなる。この様子は、図8に示した拡大図でより明確に確認することができる。図8に示した拡大図によれば、地中で発生したせん断波が二つの略1/4円形状に不連続に分離しており、せん断波の中心部における水底面Bに垂直な方向においてせん断波が発生していないことを容易に理解することができる。

[0039] また、上述したように、疎密波も水底面から地中に伝播することから、その様子を図9及び図10に示している。図9に示した波は逆位相の疎密波であり、図10に示した波は同位相の疎密波である。これらの図に示したように、水底面Bから地中に伝播する疎密波は、せん断波とは逆の現象が生じて

おり、逆位相の疎密波は二つの略1／4円形状に不連続に分離しており、同位相の疎密波は略半円形状に連続している。

[0040] 一般に、疎密波は、せん断波と比較して屈折率が大きくないことから、水底面Bから斜めに地中に伝播した疎密波であっても、その反射波を受振器3で受振することが可能である。したがって、図9に示したような波形の疎密波であっても地質構造の解析に役立てることができる。すなわち、一对の音源1から位相の異なる音波を発震させた場合には、水底面Bで生じるせん断波に加えて、地中に伝播する疎密波によっても地質構造を解析することができ、両者の解析結果を組み合わせることによって、より正確な又はより詳細な解析結果を得ることができる。

[0041] 上述した水域地中探査システム及び水域地中探査方法によれば、複数の音源から発震される音波に位相差を付与することにより、積極的に水底面Bから地中に伝播するせん断波を発生させることができる。したがって、本発明によれば、せん断波を発生させる疎密波の位相や音圧等を制御することにより、せん断波の発生を制御することができ、安定した水域地中探査を行うことができる。

[0042] ここで、図11は、音源の間隔とせん断波の発生との関係を示す図であって離隔状態を示し、図12は、音源の間隔とせん断波の発生との関係を示す図であって接近状態を示している。図11及び図12は、音源1から水中に発震される音波（疎密波）の山を実線で表示し、谷を破線で表示したものである。なお、図11及び図12において説明の便宜上、水底面を省略している。

[0043] 図11に示したように、図12と比較して、音源1の離隔距離を広くした場合には、水中を伝播する音波（疎密波）が干渉し合う部分における水平方向成分が大きくなることから、水底面で生じるせん断波の振幅（又は音圧）を大きくすることができる。したがって、一对の音源1間の距離はできるだけ広くした方が好ましい。

[0044] また、水底面において想定どおりに音波を干渉させて所望のせん断波を発

生させるためには、複数の音源 1 の水中高さをできるだけ同じレベルに合わせることが好ましい。例えば、一对の音源 1 から 100 Hz の音波を半周期の位相差を付与して（逆位相に設定して）発震した場合、一对の音源 1 の水中高さが半波長分（7.4 m）だけずれた場合には、同位相の音波を発震しているのと変わらないことになってしまうことから、音源 1 の水中高さの誤差が半波長分未満となるように、音源 1（低周波発生装置 11）の水中高さを制御する必要がある。音源 1 の高さは水圧計により容易に制御することができる。

[0045] 次に、本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムについて、図 13 乃至図 20 を参照しつつ説明する。ここで、図 13 乃至図 20 は、本発明の他の実施形態に係る水域地中探査システムを示す全体構成図であり、図 13 は第二実施形態、図 14 は第三実施形態、図 15 は第四実施形態、図 16 は第五実施形態、図 17 は第六実施形態、図 18 は第七実施形態、図 19 は第八実施形態、図 20 は第九実施形態、を示している。なお、上述した第一実施形態に係る水域地中探査システムと同じ構成部品については、同じ符号を付して重複した説明を省略する。

[0046] 図 13 に示した第二実施形態に係る水域地中探査システムは、複数の音源 1a, 1b を異なる低周波発生装置 11a, 11b に搭載したものである。このように、複数の音源 1a, 1b を物理的に分離することにより、音源 1a, 1b 間の距離をより広く確保することができる。低周波発生装置 11a, 11b は、例えば、それぞれ曳航索 12a, 12b 及び揚重装置 13a, 13b を介して観測船 4 に接続され、曳航される。かかる第二実施形態では、低周波発生装置 11a, 11b の水中高さは略同じ高さに維持され、各音源 1a, 1b から位相差を有する音波を発震させることにより、水底面 B でせん断波を生じさせるように構成されている。

[0047] なお、図示しないが、受振器 3 については、下流側の低周波発生装置 11b の後端に接続するようにしてもよいし、低周波発生装置 11a, 11b とは別に観測船 4 により曳航するようにしてもよいし、観測船 4 とは別の曳航

船により曳航するようにしてもよい。

[0048] 図 1 4 に示した第三実施形態に係る水域地中探査システムは、複数の音源 1 a, 1 b を異なる低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b に搭載し、さらに、低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b の水中高さを異ならせるようにしたものである。特に、低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b の水中高さを、音源 1 a, 1 b が発震する音波の半波長分だけずれるように調整することが好ましい。ただし、この水中高さの差分は、音波の半波長に限定されるものではなく、0～半波長の範囲で任意に設定することができる。

[0049] かかる第三実施形態は、水底面 B における音波の位相差を音源 1 a, 1 b の水中高さと制御するようにしたものであり、音源 1 a, 1 b から発震される音波は同位相であることが好ましい。低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b の水中高さは、水圧計（図示せず）及び制御装置 2 により制御される。勿論、水底面 B における音波の位相差を、音源 1 a, 1 b の水中高さと音源 1 a, 1 b から発震される音波の位相差の両方で制御するようにしてもよい。なお、その他の構成については、上述した第二実施形態と同じ構成であることから、ここでは詳細な説明を省略する。

[0050] 図 1 5 に示した第四実施形態に係る水域地中探査システムは、複数の音源 1 a, 1 b を異なる低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b に搭載し、さらに、低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b を異なる観測船 4 a, 4 b に接続し、観測船 4 a, 4 b を前後に配列して低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b を曳航させるようにしたものである。かかる構成によれば、音源 1 a, 1 b の位置や水中高さを任意に調整することができ、利便性を向上させることができる。かかる第四実施形態では、水底面 B における音波の位相差は、音源 1 a, 1 b の水中高さと制御するようにしてもよいし、音源 1 a, 1 b から発震される音波の位相差によって制御するようにしてもよい。

[0051] 図 1 6 に示した第五実施形態に係る水域地中探査システムは、複数の音源 1 a, 1 b を異なる低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b に搭載し、さらに、低周波発生装置 1 1 a, 1 1 b を異なる観測船 4 a, 4 b に接続し、観測船 4 a

、4 bを左右に配列して低周波発生装置11 a、11 bを曳航させるようにしたものである。かかる構成によっても、音源1 a、1 bの位置や水中高さを任意に調整することができ、利便性を向上させることができる。かかる第四実施形態では、水底面Bにおける音波の位相差は、音源1 a、1 bの水中高さで制御するようにしてもよいし、音源1 a、1 bから発震される音波の位相差によって制御するようにしてもよい。

[0052] なお、上述した第四実施形態及び第五実施形態において、その他の構成については、上述した第二実施形態と同じ構成であることから、ここでは詳細な説明を省略する。

[0053] 図17に示した第六実施形態に係る水域地中探査システムは、第一実施形態における受振器3を水底設置型受振器に変更したものである。受振器3を水底設置型受振器とした場合には、受振器3は地中に伝播したせん断波の反射波を水底面Bでせん断波のまま受振することとなる。かかる水底設置型受振器としては、例えば、OBC（Ocean Bottom Cable）やOBS（Ocean Bottom Seismometer）等を使用することができる。

[0054] 図18に示した第七実施形態に係る水域地中探査システムは、第六実施形態における低周波発生装置11（音源1）を観測船4の船底に配置したものである。かかる構成によっても、音源1を任意の水域に搬送することができる。なお、受振器3は、水底設置型受振器であってもよいし、曳航型受振器であってもよい。

[0055] 図19に示した第八実施形態に係る水域地中探査システム及び図20に示した第八実施形態に係る水域地中探査システムは、探査設備を自走式の水中航走体41により構成したものである。これらの実施形態では、水中航走体41が所定の水中高さを潜行可能であることから、水中航走体41に低周波発生装置11（音源1）を配置しておくことが好ましい。受振器3は、図19に示した第八実施形態のように曳航型受振器であってもよいし、図20に示した第九実施形態のように水底設置型受振器であってもよい。

[0056] 本発明は上述した実施形態に限定されず、例えば、第一実施形態～第九実施形態を必要に応じて適宜組み合わせることができる等、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変更が可能であることは勿論である。

符号の説明

[0057] 1, 1 a, 1 b 音源
2 制御装置
3 受振器
4, 4 a, 4 b 観測船
1 1, 1 1 a, 1 1 b 低周波発生装置
1 2, 1 2 a, 1 2 b 曳航索
1 3, 1 3 a, 1 3 b 揚重装置
4 1 水中航走体

請求の範囲

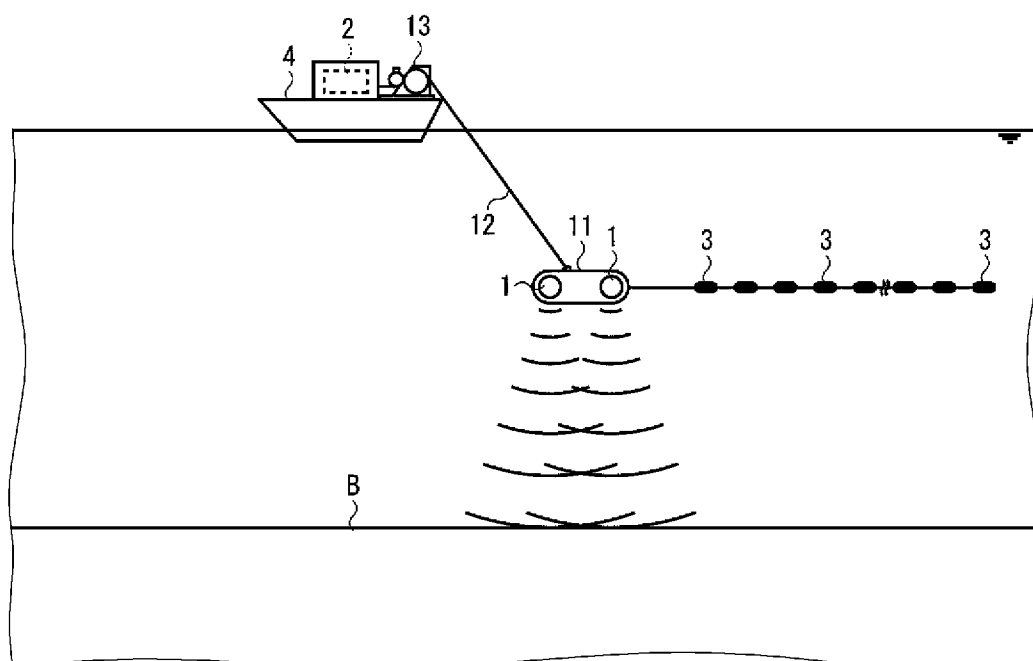
- [請求項1] 反射法地震探査法を用いた水域地中探査システムにおいて、
水中に音波を発震する複数の音源と、
前記音波の位相を制御する制御装置と、
前記音波の反射波を受振する受振器と、
前記音源を備えた探査設備と、を有し、
前記制御装置は、前記音源から各々発震される音波が水底面で位相差を有するように前記音源の水中高さ又は位相を制御することにより地中に伝播するせん断波の発生を制御する、
ことを特徴とする水域地中探査システム。
- [請求項2] 前記制御装置は、前記音源の水中高さが発震する音波の半波長分だけずれるように制御する、又は、前記音源の位相差が半周期となるように制御する、ことを特徴とする請求項1に記載の水域地中探査システム。
- [請求項3] 前記音源は、前記探査設備によって曳航される、ことを特徴とする請求項1に記載の水域地中探査システム。
- [請求項4] 前記受振器は、曳航型受振器又は水底設置型受振器である、ことを特徴とする請求項1に記載の水域地中探査システム。
- [請求項5] 反射法地震探査法を用いた水域地中探査方法において、
複数の音源から各々発震される音波が水底面で位相差を有するように該音源の水中高さ又は位相を調整する調整工程と、
前記音源から音波を水中に発震する発震工程と、
前記音波によって水底面でせん断波が発生して地中に伝播するせん断波伝播工程と、
前記せん断波の反射波を受振する受振工程と、
前記反射波の受振データを用いて地質構造を解析する解析工程と、
を有することを特徴とする水域地中探査方法。
- [請求項6] 前記調整工程は、前記音源の水中高さが発震する音波の半波長分だ

けずれるように調整する工程、又は、前記音源の位相差が半周期となるように調整する工程である、ことを特徴とする請求項5に記載の水域地中探査方法。

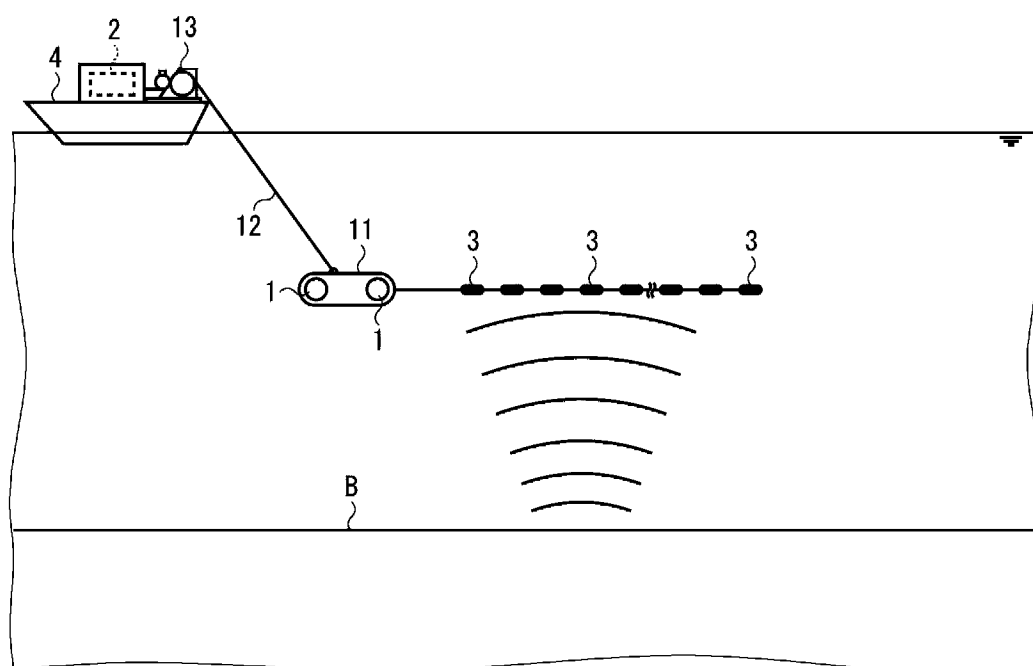
[請求項7] 前記発震工程は、前記音源を曳航しながら水面又は水中で前記音波を発震する、ことを特徴とする請求項5に記載の水域地中探査方法。

[請求項8] 前記受振工程は、前記反射波によって水底面で発生し水中に伝播する疎密波を受振する工程である、又は、前記反射波を水底面でせん断波のまま受振する工程である、ことを特徴とする請求項5に記載の水域地中探査方法。

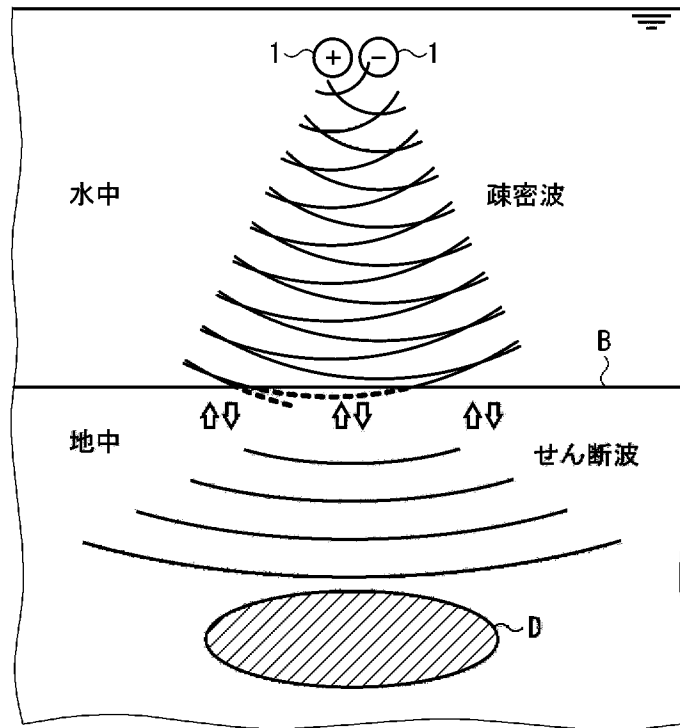
[図1]



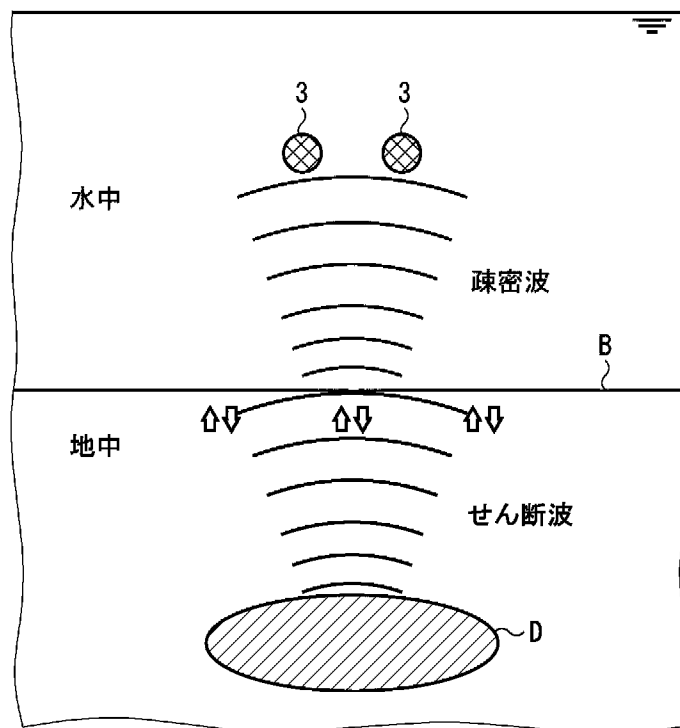
[図2]



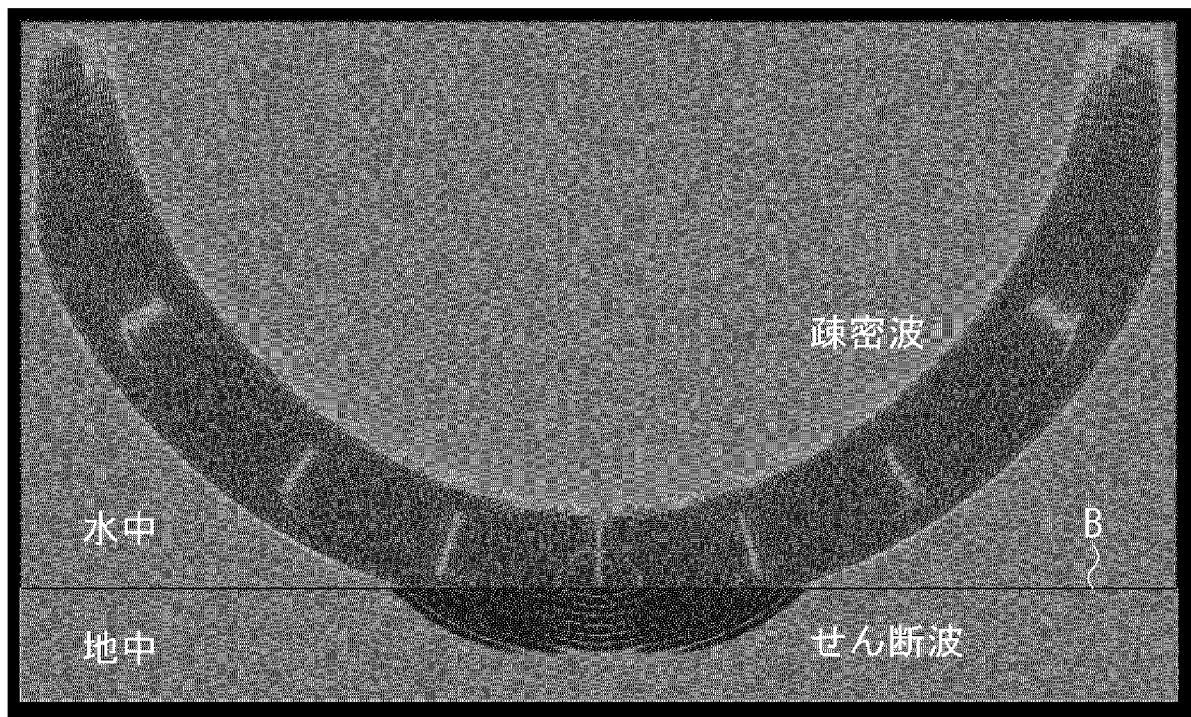
[図3]



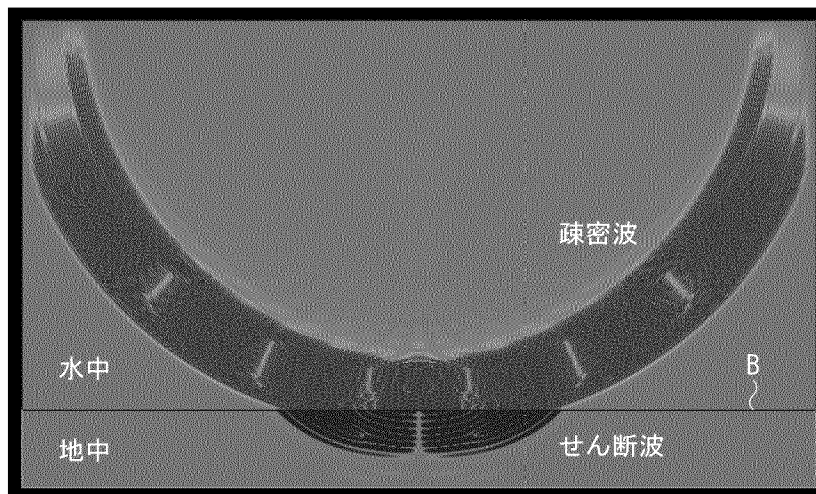
[図4]



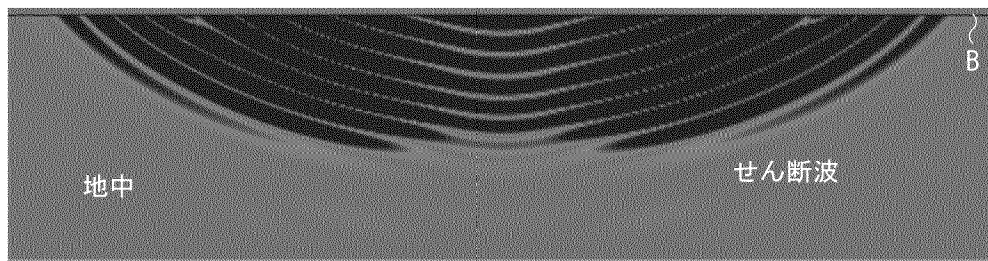
[図5]



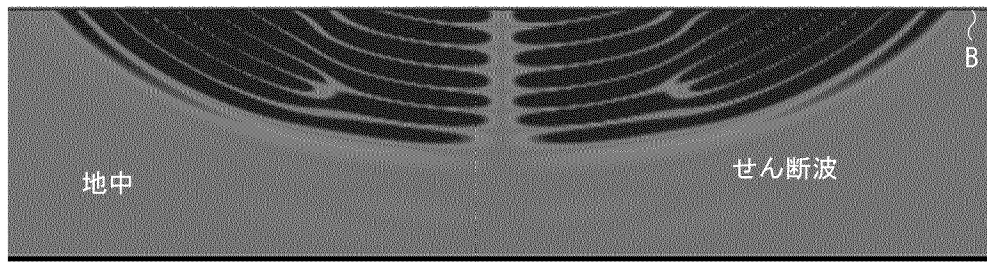
[図6]



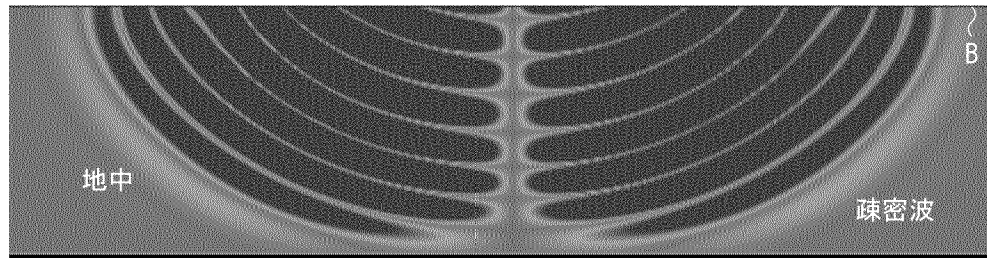
[図7]



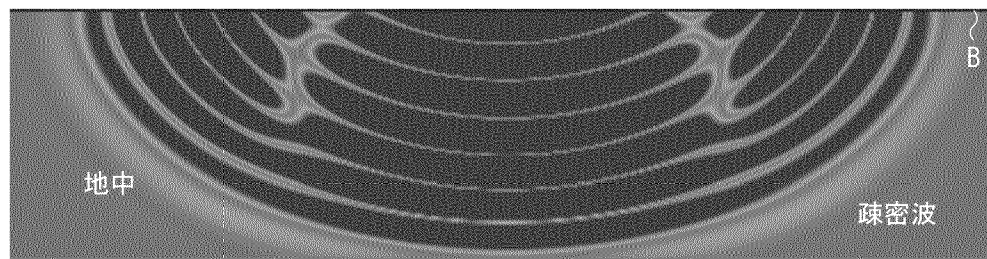
[図8]



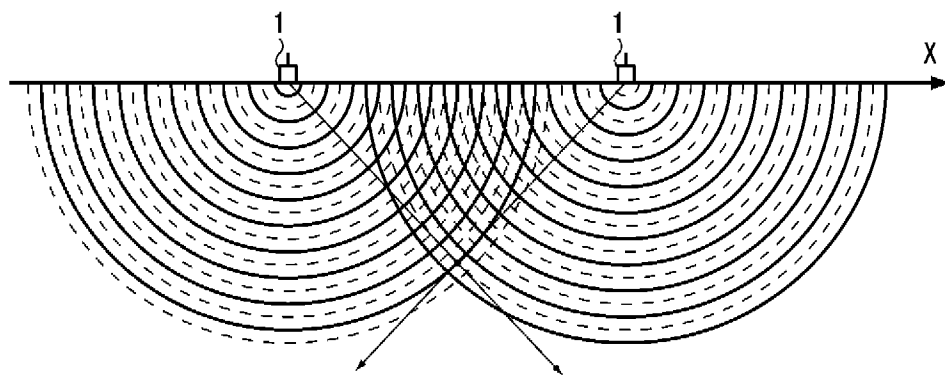
[図9]



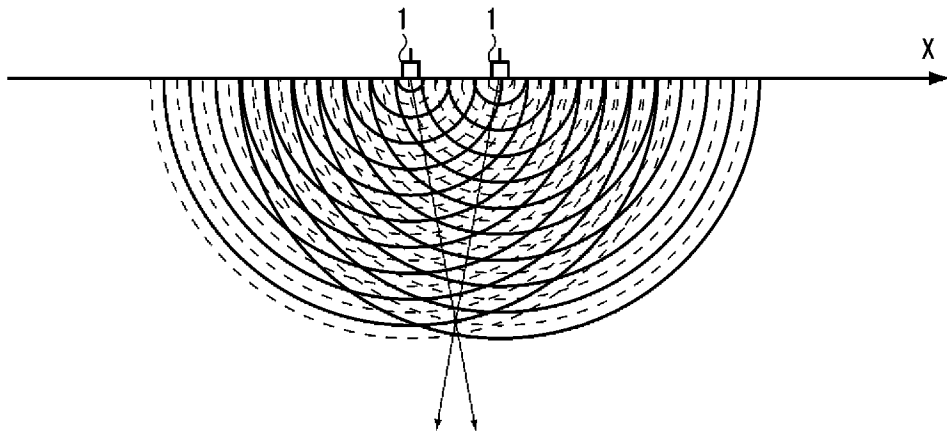
[図10]



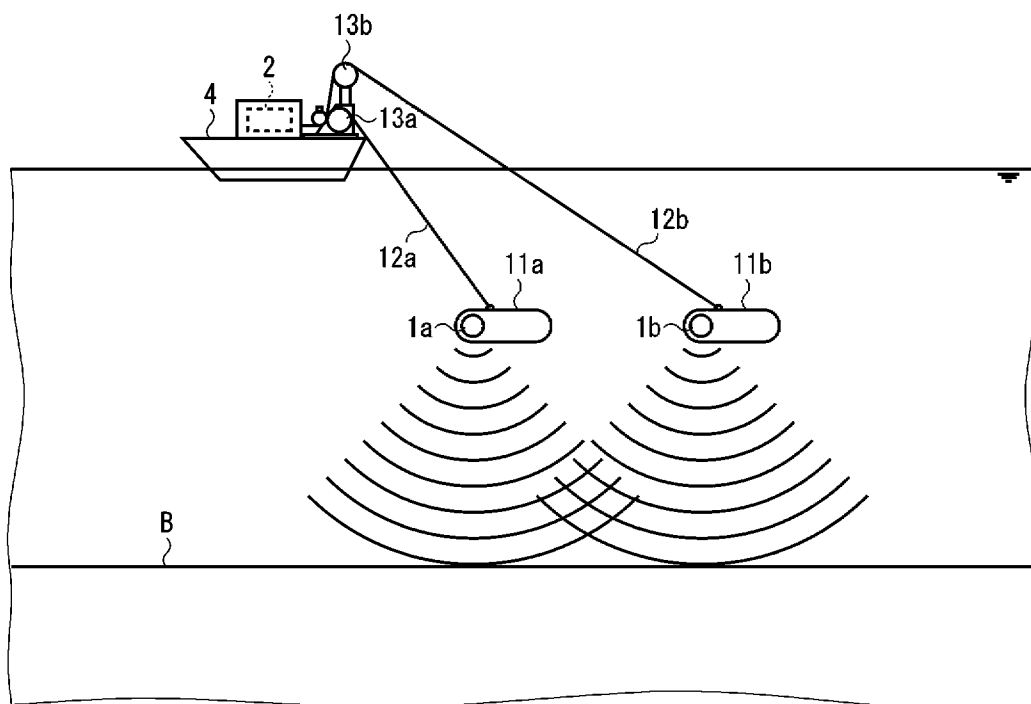
[図11]



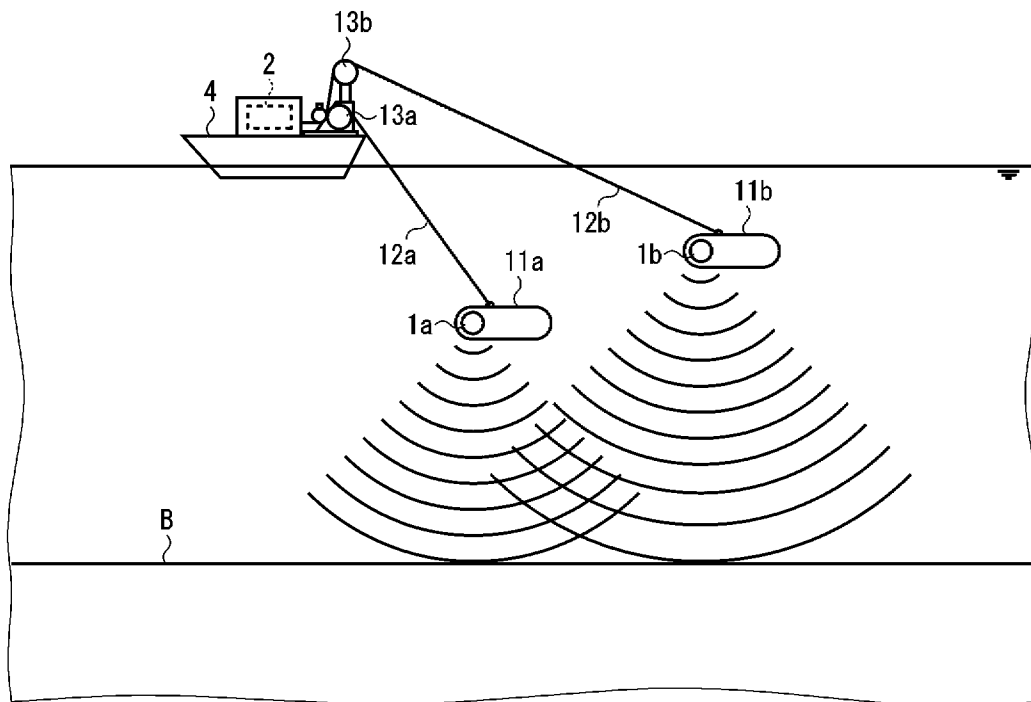
[図12]



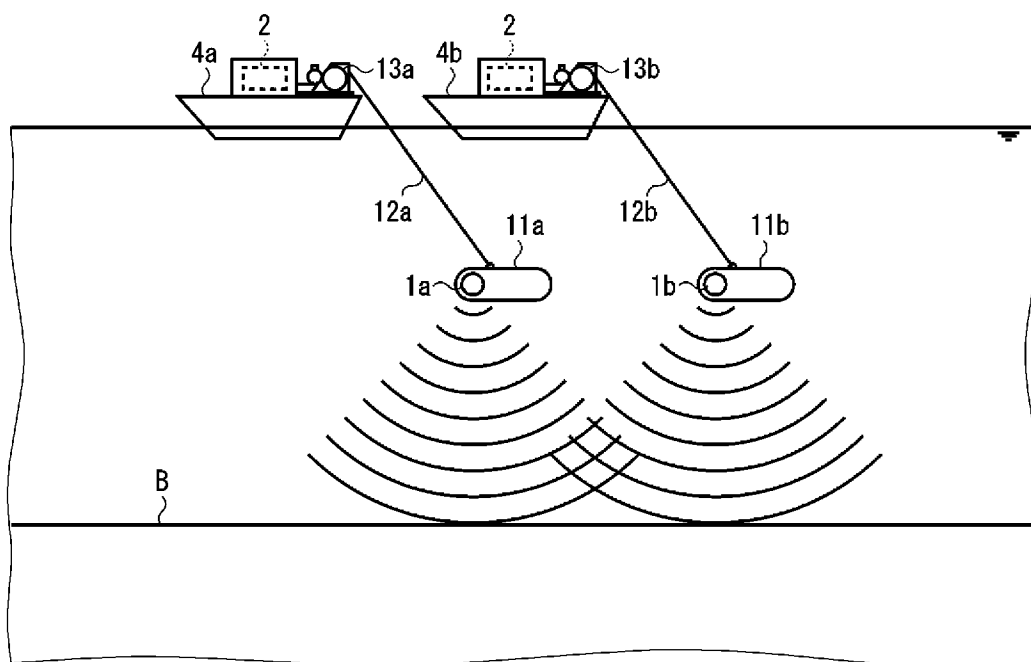
[図13]



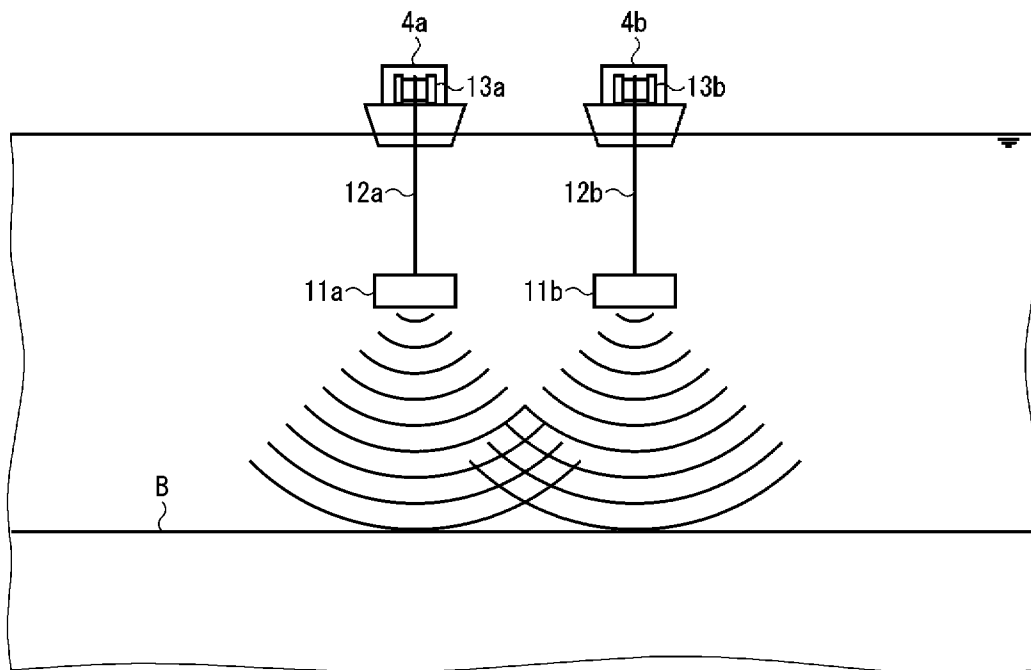
[図14]



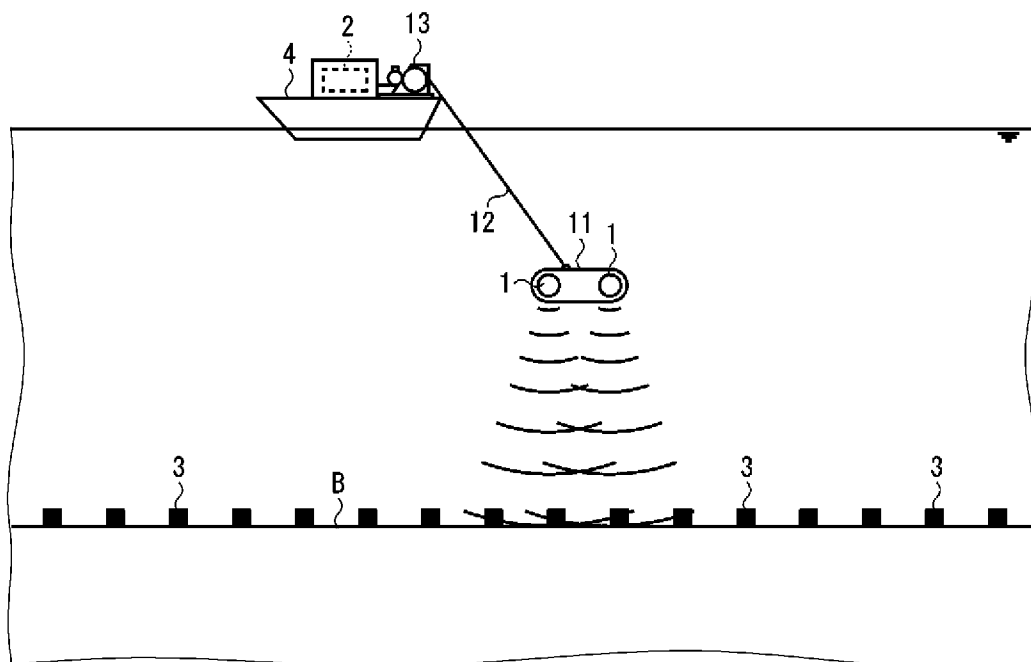
[図15]



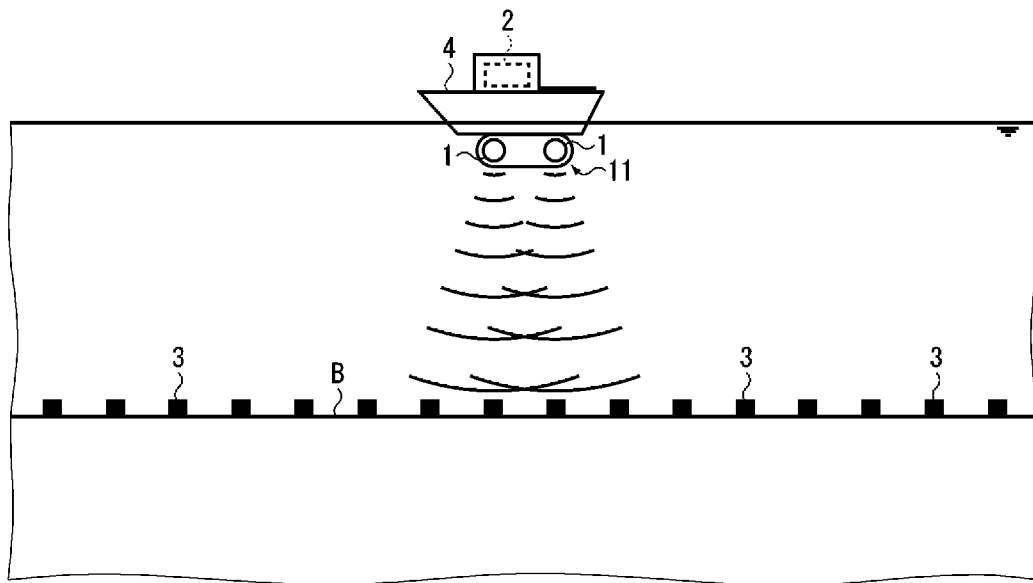
[図16]



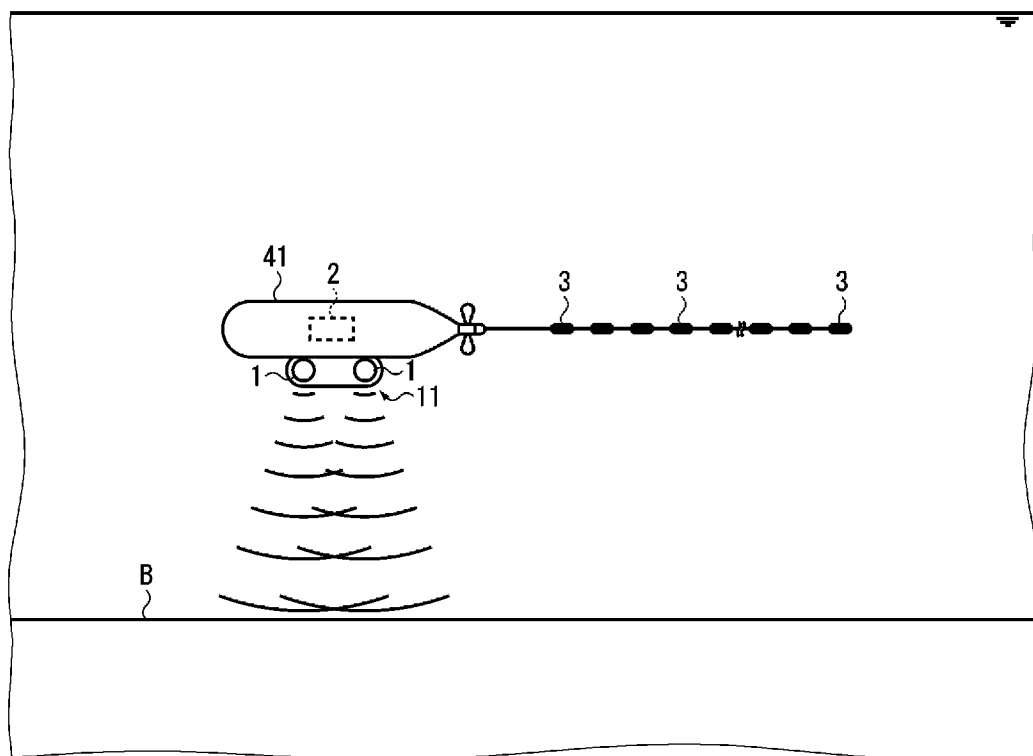
[図17]



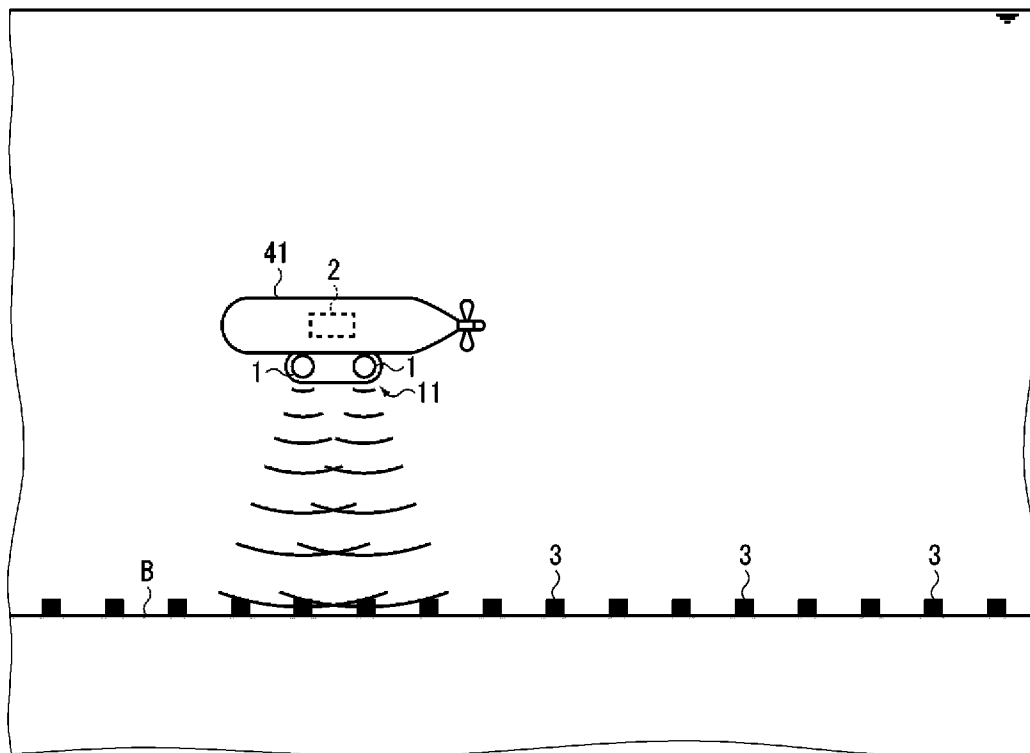
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/083441

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V1/38 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01V1/38

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 3-21886 A (Adrien P. Pascouet), 30 January 1991 (30.01.1991), entire text; all drawings & US 4735281 A & EP 196754 A2	1-8
A	JP 63-502138 A (GJESSING, Dag, T.), 18 August 1988 (18.08.1988), entire text; all drawings & US 4843597 A & EP 252971 A & WO 1987/004258 A1	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 February, 2014 (03.02.14)

Date of mailing of the international search report
10 February, 2014 (10.02.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01V1/38(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01V1/38

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 3-21886 A（アドリエン・ビー・バスク）1991.01.30, 全文・全図 & US 4735281 A & EP 196754 A2	1 - 8
A	JP 63-502138 A（グエスシング, ダツグ, テイー）1988.08.18, 全文・全図 & US 4843597 A & EP 252971 A & WO 1987/004258 A1	1 - 8

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 2 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 0 . 0 2 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

田中 秀直

2 J

3 4 0 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2