

(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
2018年3月8日(08.03.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/043006 A1

(51) 国際特許分類:

G01V 7/16 (2006.01) G01B 11/24 (2006.01)
B63C 11/00 (2006.01) G01B 17/06 (2006.01)
B63G 8/39 (2006.01) G01C 15/00 (2006.01)
B63H 25/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/027945

(22) 国際出願日: 2017年8月1日(01.08.2017)

(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 2016-166497 2016年8月29日(29.08.2016) JP

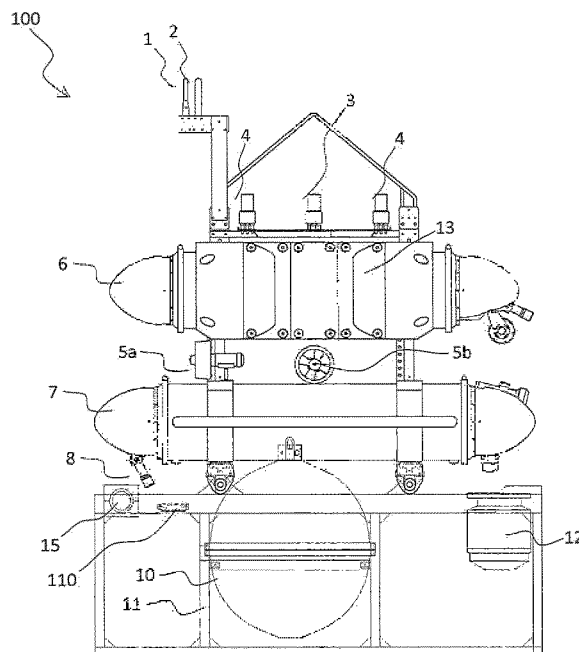
(71) 出願人: 川崎地質株式会社 (KAWASAKI
GEOLOGICAL ENGINEERING CO., LTD.) [JP/
JP]; 〒1088337 東京都港区三田二丁目1番1
5号 Tokyo (JP). 国立大学法人 東京

大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP];
〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号
Tokyo (JP). 国立研究開発法人産業技術総合研
究所 (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED
INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY)
[JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関
1丁目3番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 押田 淳 (OSHIDA Atsushi); 〒1088337
東京都港区三田二丁目1番15号 川崎
地質株式会社内 Tokyo (JP). 巻 俊宏 (MAKI
Toshihiro); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目
3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).
松田 匠未 (MATSUDA Takumi); 〒1138654 東
京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大
学法人東京大学内 Tokyo (JP). 大熊 茂雄
(OKUMA Shigeo); 〒3058567 茨城県つくば市
東1-1-1 中央第7 国立研究開発法人産

(54) Title: GRAVITY MEASURING DEVICE

(54) 発明の名称: 重力測定装置



(57) Abstract: Provided is a gravity measuring device which is capable of autonomous navigation and hovering in water and which is grounded on a body-of-water bottom to measure gravity. The gravity measuring device comprises: a gravity measuring unit for measuring gravity; a propulsion generating unit for generating propulsion such that the gravity measuring device can move in the water; a laser for irradiating the body-of-water bottom with laser light; a camera for capturing the body-of-water bottom that has been irradiated with laser light by the laser; a body-of-water bottom shape acquiring unit for acquiring a three-dimensional body-of-water bottom shape on the basis of images captured by the camera; a grounding position determining unit for determining a target grounding position of the gravity measuring device on the basis of the body-of-water bottom shape acquired by the body-of-water bottom shape acquiring unit; a grounding control unit for controlling the propulsion generating unit such that the device arrives at the target grounding position determined by the grounding position determining unit, the grounding control unit causing the gravity measuring device to be grounded at the target grounding position; and an attitude sensor for detecting changes in the attitude of the gravity measuring device.



業技術総合研究所内 Ibaraki (JP), 駒澤 正夫
(KOMAZAWA Masao); 〒3058567 茨城県つく
ば市東 1 - 1 - 1 中央第 7 国立研究開発法
人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人開知国際特許事務所
(KAICHI IP); 〒1030022 東京都中央区日本橋
室町四丁目 3 番 1 6 号 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, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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.

(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, ST, 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:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))
- 一 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第19条
(1))

(57) 要約: 水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底して重力を測定する重力測定装置であって、重力を測定する重力測定部と、前記重力測定装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力発生部と、水底にレーザ光を照射するレーザと、前記レーザによりレーザ光を照射した水底を撮影するカメラと、前記カメラにより撮影した画像に基づいて三次元の水底形状を取得する水底形状取得部と、前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記重力測定装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部と、前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記重力測定装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部と、前記重力測定装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサとを備える。

明 細 書

発明の名称：重力測定装置

技術分野

[0001] 本発明は、重力測定装置に関し、詳しくは、例えば海底において重力を測定する重力測定装置に関する。

背景技術

[0002] 重力は、測定地点から地球の中心までの距離や地下の密度構造などに応じて、その大きさがわずかながら異なることが知られている。これを利用し、重力を測定することによって地下密度構造を調査することが知られている。

[0003] 特許文献1に記載の発明では、ヘリコプターのような航行体に重力計を搭載し、航行体によって飛行しながら重力を測定する重力測定装置を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2002-40155号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1に記載の重力測定装置では、DGPSによって現在位置を測定し、飛行しながら重力測定を行うことを可能としている。しかしながら、この重力測定装置では、重力計を搭載した航行体によって飛行するものであるため、例えば海底や湖底や川底といった水底における重力測定には適さないという問題があった。

[0006] 例えば海底において重力を測定することにより、海底の地下の鉱床などを高い精度で探査することができ、海底資源の発見に寄与することができるため、海底における重力測定が重要であると考えられる。

[0007] 本発明は、水底における重力測定を無人無索で安定して実行可能な重力測定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

[0008] 本発明は上記の目的を達成するために、水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底して重力を測定する重力測定装置であって、重力を測定する重力測定部と、前記重力測定装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力発生部と、水底にレーザ光を照射するレーザと、前記レーザによりレーザ光を照射した水底を撮影するカメラと、前記カメラにより撮影した画像に基づいて三次元の水底形状を取得する水底形状取得部と、前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記重力測定装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部と、前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記重力測定装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部と、前記重力測定装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサと、を備えた、ことを特徴とする。

[0009] また本発明は、水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底して重力を測定する重力測定装置であって、重力を測定する重力測定部と、前記重力測定装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力発生部と、水底地形を計測するソナーと、前記ソナーによる計測結果に基づいて三次元の水底形状を取得する水底形状取得部と、前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記重力測定装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部と、前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記重力測定装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部と、前記重力測定装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサと、を備えた、ことを特徴とする。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、水底における重力測定を無人無索で安定して実行可能な重力測定装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の一実施形態に係る重力測定装置の左側面図である。

[図2]図1に示した重力測定装置の正面図である。

[図3]図 1 に示した重力測定装置の底面図である。

[図4]図 1 に示した重力測定装置の概略ブロック図である。

[図5]図 1 に示した重力測定装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[図6]図 1 に示した重力測定装置の動作の一例を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

[0013] 図 1 は、本発明の一実施形態に係る重力測定装置の左側面図であり、図 2 は、図 1 に示した重力測定装置の正面図であり、図 3 は、図 1 に示した重力測定装置の底面図である。

[0014] 本実施形態の重力測定装置 100 は、主に、各種制御基板等を収容したメイン容器 6 と、重力測定装置 100 を動作させる電源であるバッテリー 115 (図 4 参照) を収容したバッテリー容器 7 と、重力測定を行う重力計 111 (図 4 参照) を収容した球形容器 10 と、を有して構成される。重力測定装置 100 は、詳しくは後述するが水中を航行可能に構成され、水底に着底して重力計 111 により重力測定を行う。なお、重力測定装置 100 は、海底、湖底、川底などの水底に着底して重力を測定可能であるが、以下では、海底に着底する場合の例について説明を行う。メイン容器 6、バッテリー容器 7 および球形容器 10 は内部に海水が進入しないように防水加工がされ、また、水圧に耐えられるよう耐圧加工がされている。

[0015] 重力計 111 は、球形容器 10 に収容され、例えば、不図示のジンバル機構によって水平が保持されるように構成されている。重力計 111 の水平が保持されることで、重力計 111 が測定する重力が鉛直方向の重力であることが担保される。なお、重力計 111 はジンバル機構に支持されているが、完全に水平が維持できない場合やその他の外因がある場合には、重力計 111 による測定結果をそれに応じて補正する構成としてもよい。

[0016] 重力計 111 を収容した球形容器 10 は、荷受け台であるスキッド 11 に固定され、重力測定装置 100 の下部中央に設けられる。また、重力測定装置 100 の下部には、バラストリリーサ 110、ドップラ式対地速度計 12

、CTD15、を設けている。なお、CTD15は、周囲の海水の電気伝導度（Conductivity）（＝塩分）、温度（Temperature）、深度（Depth）を測る装置であり、このCTD15で測定したCTDデータから、海水の密度と正確な深度を計算で求めることができる。このCTDデータを用いることで、重力計111で測定した重力の補正を精密に行うことができる。このCTDデータは例えば測定時刻とともにCTD15の内部に保存される。

[0017] 重力測定装置100の上部には、無線LANアンテナ1を設けており、この無線LANアンテナ1を介し、メイン容器6内の無線LAN通信装置103（図4参照）によって外部と無線LANによるデータ通信を実行可能である。

[0018] また、重力測定装置100の上部には、無線LANアンテナ1と隣接してGPSアンテナ2を設けており、このGPSアンテナ2を介してメイン容器6内のGPS装置105（図4参照）が、不図示のGPS衛星からのGPS信号を受信することにより、水面での重力測定装置100の位置を特定可能にしている。

[0019] さらに、重力測定装置100の上部中央には、音響によりデータ通信を可能とするメイン容器6内の音響測位通信装置104（図4参照）で用いる一本の送信アンテナ3および4本の受信アンテナ4を設けている。重力測定装置100が海上にある場合には、無線LAN通信装置103によって、例えば海上の船などの外部と通信が可能である。しかし、重力測定装置100が海中に潜ると、無線LAN通信装置103による通信は困難になる。そこで本実施形態では、重力測定装置100に音響測位通信装置104を設け、これにより海中の重力測定装置100と例えば海上の船などの外部とで通信可能にしている。

[0020] 重力測定装置100は、重力測定装置100が海中で移動可能なように推進力を発生させるスラスタ108（図4参照）を設けている。本実施形態のスラスタ108は、プロペラ状の部材であって、前後方向の推進力を発生さ

せる二つのサージスラスタ 5 a と、左右方向の推進力を発生させる一つのスウェイスラスタ 5 b と、上下方向の推進力を発生させる二つのヒープスラスタ 5 c と、を有する。これら二つのサージスラスタ 5 a、一つのスウェイスラスタ 5 b および二つのヒープスラスタ 5 c のプロペラの回転開始、回転停止、回転方向および回転速度を切り替えることによって、重力測定装置 100 を自在に移動させることが可能である。

[0021] 重力測定装置 100 においてメイン容器 6 の周囲には浮力材 13 を設けている。また、重力測定装置 100 には不図示のバラスト（浮力のバランスを取るための重り）を設けており、スラスタ 108 をすべて停止させた場合には、重力測定装置 100 は着底した状態となる。また、バラストリリーサ 110（図 4 参照）によってバラストをリリース（投棄）すると、重力測定装置 100 は浮力材 13 の浮力によって海面に浮き上がる。

[0022] 重力測定装置 100 のバッテリー容器 7 の下部には、海底にレーザ光を照射可能なレーザ 8 を設けており、重力測定装置 100 の底面には、レーザ 8 でレーザ光を照射した海底を撮影可能なカメラ 14 を設けている。レーザ 8 からは線状のレーザ光を海底に照射し、その画像をカメラ 14 で撮影し、例えば光切断法により、海底の三次元形状を取得することができる。本実施形態では光切断法によって海底の三次元形状を取得するようにしているが本発明はこれに限られるものではなく、既知の如何なる手法を用いるものであってもよい。

[0023] 図 4 は、図 1 に示した重力測定装置の概略ブロック図である。

[0024] 図 4 の制御装置 101 は、例えば、CPU、MPU と呼ばれる演算装置から成り、メイン容器 6 に収容される。重力測定装置 100 の動作制御は、この制御装置 101 によって行われる。記憶装置 102 は、RAM、ROM といった記憶装置であり、不揮発性記憶装置を含み、重力測定装置 100 を動作させるために制御装置 101 で実行するプログラムや、各種データを記憶する。記憶装置 102 には、GPS 装置 105 によって取得した時刻や位置に対応づけて各種測定データを記憶しておくものであってもよい。また、制

御装置１０１は、不図示の時計を有するものであってもよく、海中のためＧＰＳ装置１０５によって時刻が得られない場合には、この制御装置１０１の時計によって取得した時刻に対応づけて各種測定データを記憶装置１０２に記憶しておくものであってもよい。また、不図示のステーションを海底に予め設置しておくことにより、音響測位通信装置１０４を用いて、そのステーションに対する重力測定装置１００の相対位置を取得することができる。海中のためＧＰＳ装置１０５によって位置が得られない場合には、この音響測位通信装置１０４によって得た相対位置を、時刻や各種測定データに対応づけて記憶装置１０２に記憶しておくものであってもよい。

[0025] 制御装置１０１は、記憶装置１０２に予め記憶されたプログラムにより動作し、重力測定装置１００の各部の制御を行う。また、制御装置１０１は、無線ＬＡＮ通信装置１０３や音響測位通信装置１０４を介して得た動作指示により遠隔操作により、重力測定装置１００の各部の制御を行うこともできる。

[0026] カメラ１０６は、図３に示したカメラ１４を含み、不図示の他のカメラ（例えば、海底を撮影する他のカメラ、重力測定装置１００の周囲を撮影する他のカメラ）を含むものであってもよい。カメラ１０６は、制御装置１０１からの指示で撮影を行い、撮影した画像（あるいは映像）を制御装置１０１に送り、これを受けた制御装置１０１は記憶装置１０２に記憶する。

[0027] レーザ１０７は、図１に示したレーザ８を含み、不図示の他のレーザ（例えば、レーザ８とは異なるレーザ）を含むものであってもよい。レーザ１０７は、制御装置１０１からの指示でレーザ光の照射を行う。

[0028] カメラ１０６およびレーザ１０７は、代わりに不図示のソナーであってもよい。

[0029] スラスタ１０８は、制御装置１０１からの指示でプロペラの回転開始、回転停止、回転方向、回転速度の切り替えを行う。なお、本実施形態では、サージスラスタ５ａ、スウェイスラスタ５ｂ、ヒープスラスタ５ｃのそれぞれの向きは固定であるが、制御装置１０１からの指示で任意の向きに変えるこ

とができるようにしてもよい。

[0030] センサ１０９は、対地速度を計測するドップラ式対地速度計（D o p p l e r V e l o c i t y L o g, D V L）１２、方位角速度を計る光ファイバジャイロ（F i b e r O p t i c G y r o, F O G）（不図示）、水深を測る圧力計（不図示）、流速計（不図示）、姿勢センサ（不図示）等を含み、制御装置１０１からの指示で動作し、計測結果、検知結果を制御装置１０１に送信する。なお、姿勢センサおよびD V Lには磁気コンパスを付属している。また、光ファイバジャイロと姿勢センサを慣性航法装置（I n e r t i a l N a v i g a t i o n S y s t e m, I N S）に換装することで、より高精度の位置・姿勢データを得ることができる。また、センサ１０９としては、この他、障害物探知用にスキャニングソーナール（不図示）を搭載し、さらに、実海域での運用時には、安全対策としてフラッシュ（不図示）とトランスポンダ（不図示）を装備する。

[0031] バラストリリーサ１１０は、制御装置１０１からの指示で上述のバラストをリリース（投棄）する。

[0032] 重力計１１１は、常に重力を測定し、測定結果を記憶装置１１２に送信する。なお、記憶装置１１２は、制御装置１０１からの指示で、重力の測定結果の記憶を開始し、測定結果の記憶を停止するものであってもよいし、記憶装置１１２に予め記憶してあるプログラムに応じて重力の測定結果の記憶を行うものであってもよいし、測定結果を制御装置１０１に送信するものであってもよいし、測定時のエラーやその他の動作状況を制御装置１０１に送信するものであってもよい。記憶装置１１２は、例えばデータロガーと呼ばれる装置である。

[0033] バッテリ１１５は、重力測定装置１００の各構成に電源を供給する。ただし、重力計１１１と記憶装置１１２には常時通電が必要（例えば、重力計１１１は周辺温度を一定に保った環境で測定する必要がある、重力計１１１を収容する恒温槽のために常時通電が必要である。）なため専用のバッテリ１１３から電源を供給する。重力計１１１と記憶装置１１２とバッテリ１１３

とで重力測定部 114 を構成する。

[0034] 図 5 は、図 1 に示した重力測定装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[0035] まず、重力測定装置 100 を船などに載せて海上を進み、重力測定を実施する地域まで海上を運び、重力測定装置 100 を海面に降ろす。なお、重力測定装置 100 は、スラスト 108 を駆動することで海中を自律航行およびホバリング可能であり、重力測定装置 100 の自重と浮力材 13 と上述のバラストとの浮力バランスにより、スラスト 108 を停止した状態では、海底で安定するように、マイナス浮力となるよう構成されている。なお、本発明はこれに限られるものではなく、中性浮力とし、着底時にはヒープスラスト 5c により下向きの推力を継続させるようにしてもよいし、例えば浮力調整装置（不図示）により浮力を調整してもよい。

[0036] その後、例えば、重力測定装置 100 が海上にある場合は船上の操作者が不図示の端末装置等を操作して、無線 LAN アンテナ 1 および無線 LAN 通信装置 103 を介して重力測定装置 100 の遠隔操作を行い、図 5 の処理の実行を指示する。これを受けた重力測定装置 100 では、記憶装置 102 に予め記憶してあるプログラムが制御装置 101 で実行され、図 5 のフローチャートに示す処理が自動で実行される。また、重力測定装置 100 が海中にある場合には音響測位通信装置 104 を介しての遠隔操作も可能である。

[0037] 制御装置 101 は、センサ 109 による計測結果、検知結果に基づき、また、音響測位通信装置 104 による測位結果に基づき、また、カメラ 106 で撮影した海底画像を分析し、重力測定装置 100 が海底付近まで潜航し、予め定めた着底エリアに到達するよう、スラスト 108 を駆動する（ステップ S-0、S-1）。着底エリアは、一つまたは複数を記憶装置 102 に予め記憶しておき、各着底エリアのうちの一を選択し、後述するようにそれぞれの着底エリアで順に重力の測定を行う。

[0038] 続いて、重力測定装置 100 が着底エリアに到達したならば、制御装置 101 は、レーザ 8 でライン状のレーザ光を海底に照射するとともに、そのレ

ーザ光を照射した海底をカメラ 14 で撮影し、その撮影画像を用いて、例えば光切断法により海底の三次元形状を取得する（ステップ S-2）。なお、レーザ 8 およびカメラ 14 の代わりにソナーを設けた構成の場合には、このステップ S-2 では、ソナーによって海底地形を計測し、ソナーによる計測結果に基づいて三次元の海底形状を取得するようにしてもよい。

[0039] 続いて、制御装置 101 では、ステップ S-2 で取得した海底の三次元形状を参照し、着底地点すなわち着底目標位置を決定する（ステップ S-3）。この着底目標位置としては、海底のうち凹凸が少なく、且つ傾斜の小さい（できるだけ水平に近い角度の）重力測定装置 100 が着底可能な位置を選択し、決定する。

[0040] 着底目標位置を決定したならば、制御装置 101 では、スラスト 108 を駆動し、重力測定装置 100 をその着底目標位置に着底させる（ステップ S-4）。例えば、重力測定装置 100 は海底面に対して静止した状態でセンサ 109 の流速計により流向を計測し、流れに正対する方位を向く。その方位を維持したまま、例えばセンサ 109 のドップラ式対地速度計 12 により海底からの高度と対地速度を計測しながら、ヒープスラスト 5c の推力を下げることでまっすぐ降下し、そのまま着底する。着底完了したならば、スラスト 108（すなわちサージスラスト 5a、スウェイスラスト 5b、ヒープスラスト 5c の全てのスラスト）を停止する。

[0041] その後、制御装置 101 では、センサ 109 の姿勢センサにより、一定時間（例えば、数秒から数分）重力測定装置 100 の姿勢を監視し（ステップ S-5）、姿勢の変動がない場合（ステップ S-5：Yes）には、そのまま着底を継続し、重力計 111 による重力測定を実行する（ステップ S-6）。測定結果は、記憶装置 102 や 112 に記憶される。

[0042] ステップ S-5 で姿勢の変動がある場合（ステップ S-5：No）には、ステップ S-1 に戻り、着底目標位置の選定からやり直す。

[0043] ステップ S-6 で重力測定を終了したならば、記憶装置 102 に予め記憶してある全ての着底エリアでの重力測定が完了したかを判断し（ステップ S

ー 7)、完了していなければ(ステップ S-7: No)、ステップ S-1 に戻り、新たな着底エリアでの重力測定を実施する。完了したならば(ステップ S-7: Yes)、ステップ S-8 に進み、海面に浮上する。このとき、制御装置 101 では、スラスタを駆動するとともに、バラストリリーサ 110 によってバラストをリリースして浮力を上昇させプラス浮力とすることで、浮上速度を速めることができる。

[0044] 図 6 は、図 1 に示した重力測定装置の動作の一例を説明する図である。この図 6 の例では、重力測定装置 100 が、A 地点、B 地点、C 地点および D 地点で重力測定を行う場合を示している。

[0045] この例では、重力測定装置 100 は、まず A 地点で図 5 のステップ S-1 ~ S-7 の処理を実行し、続いて B 地点で図 5 のステップ S-1 ~ S-7 の処理を実行し、続いて C 地点で図 5 のステップ S-1 ~ S-7 の処理を実行し、続いて D 地点で図 5 のステップ S-1 ~ S-7 の処理を実行し、最後に、閉塞測定として、A 地点(起点)に戻り、A 地点で図 5 のステップ S-1 ~ S-7 の処理を実行し、その後、図 5 のステップ S-8 の処理で海面に浮上する。

[0046] A ~ D 地点での重力測定の結果を比較すると、A および D 地点での重力よりも、B および C 地点での重力が大きく、B 地点から C 地点に亘り周囲と比較して高密度な物質(例えば熱水鉱床等)が存在することが考えられる。

[0047] 本実施形態によれば、海底の三次元形状を取得し、この海底の三次元形状に基づいて着底目標位置を決定することで、重力測定装置の安全且つ安定な着底を可能とし、海底での重力測定を可能とすることができる。

[0048] また本実施形態によれば、海底で重力測定を実施することができ、空中、海上、海中で測定する場合と比べて高い精度で重力を測定することができる。

[0049] また本実施形態によれば、記憶装置 102 に予め記憶してあるプログラムによって動作し、一連の重力測定処理を実行することができるので、例えば、海上の船と有線で繋いだ状態にする必要がなく、より深い海底での重力測

定も可能である。

[0050] <付記 1>

なお、本発明は、

1.

水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底して重力を測定する重力測定装置（例えば、重力測定装置 100）であって、

重力を測定する重力測定部（例えば、重力測定部 114）と、

前記重力測定装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力発生部（例えば、スラスタ 108）と、

水底にレーザ光を照射するレーザ（例えば、レーザ 107）と、

前記レーザによりレーザ光を照射した水底を撮影するカメラ（例えば、カメラ 106）と、

前記カメラにより撮影した画像に基づいて三次元の水底形状を取得する水底形状取得部（例えば、制御装置 101）と、

前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記重力測定装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部（例えば、制御装置 101）と、

前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記重力測定装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部（例えば、制御装置 101）と、

前記重力測定装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサ（例えば、センサ 109に含まれる姿勢センサ）と、

を備えた、

ことを特徴とする重力測定装置、としたので、

・水底における重力測定を無人無索で安定して実行可能な重力測定装置を提供することができる。

[0051] また本発明は、

2.

水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底して重力を測定

する重力測定装置であって、

重力を測定する重力測定部と、

前記重力測定装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力発生部と、

水底地形を計測するソナーと、

前記ソナーによる計測結果に基づいて三次元の水底形状を取得する水底形状取得部と、

前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記重力測定装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部と、

前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記重力測定装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部と、

前記重力測定装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサと、
を備えた、

ことを特徴とする重力測定装置、としたので、

・水底における重力測定を無人無索で安定して実行可能な重力測定装置を提供することができる。

[0052] また本発明は、

3.

1. または2. に記載の重力測定装置において、

前記着底位置決定部は、前記重力測定装置が着底した状態で、前記姿勢センサにより検出した姿勢に変動がある場合、着底目標位置を変更し、新たな着底目標位置を決定する、

ことを特徴とする重力測定装置、とした。

[0053] 本発明の態様は、上述した個々の実施例に限定されるものではなく、個々の実施例の各要素のいかなる組合せも本発明に含み、また、当業者が想到しうる種々の変形も含むものであり、本発明の効果も上述した内容に限定されない。すなわち、特許請求の範囲に規定された内容およびその均等物から導

き出される本発明の概念的な思想と趣旨を逸脱しない範囲で種々の追加、変更および部分的削除が可能である。

符号の説明

[0054] 1…無線LANアンテナ、2…GPSアンテナ、3…送信アンテナ、4…受信アンテナ、5a…サージスラスト、5b…スウェイスラスト、5c…ヒープスラスト、6…メイン容器、7…バッテリー容器、8…レーザ、10…球形容器、11…スキッド、12…ドップラ式対地速度計、13…浮力材、14…カメラ、15…CTD、110…バラストリリーサ

請求の範囲

- [請求項1] 水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底して重力を測定する重力測定装置であって、
- 重力を測定する重力測定部と、
- 前記重力測定装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力発生部と、
- 水底にレーザ光を照射するレーザと、
- 前記レーザによりレーザ光を照射した水底を撮影するカメラと、
- 前記カメラにより撮影した画像に基づいて三次元の水底形状を取得する水底形状取得部
- と、
- 前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記重力測定装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部と、
- 前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記重力測定装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部と、
- 前記重力測定装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサと、
- を備えた、
- ことを特徴とする重力測定装置。
- [請求項2] 水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底して重力を測定する重力測定装置であって、
- 重力を測定する重力測定部と、
- 前記重力測定装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力発生部と、
- 水底地形を計測するソナーと、
- 前記ソナーによる計測結果に基づいて三次元の水底形状を取得する水底形状取得部と、
- 前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記重力測

定装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部と、

前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記重力測定装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部と、

前記重力測定装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサと、
を備えた、

ことを特徴とする重力測定装置。

[請求項3]

請求項 1 または 2 に記載の重力測定装置において、

前記着底位置決定部は、前記重力測定装置が着底した状態で、前記姿勢センサにより検出した姿勢に変動がある場合、着底目標位置を変更し、新たな着底目標位置を決定する、
ことを特徴とする重力測定装置。

補正された請求の範囲

[2017年12月14日 (14.12.2017) 国際事務局受理]

- [請求項1] (追加) 水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底して重力を測定する重力測定装置であって、
- 重力を測定する重力測定部と、
- 前記重力測定装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力発生部と、
- 三次元の水底形状を取得する水底形状取得部と、
- 前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記重力測定装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部と、
- 前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記重力測定装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部と、
- 前記重力測定装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサと、
- を備えた、
- ことを特徴とする重力測定装置。
- [請求項2] (補正後) 請求項1の重力測定装置において、
- 水底にレーザ光を照射するレーザと、
- 前記レーザによりレーザ光を照射した水底を撮影するカメラとをさらに備え、
- 前記水底形状取得部は、前記カメラにより撮影した画像に基づいて前記三次元の水底形状を取得する
- ことを特徴とする重力測定装置。
- [請求項3] (補正後) 請求項1の重力測定装置において、
- 水底地形を計測するソナーをさらに備え、
- 前記水底形状取得部は、前記ソナーによる計測結果に基づいて前記三次元の水底形状を取得する、
- ことを特徴とする重力測定装置。
- [請求項4] (補正後) 請求項1に記載の重力測定装置において、

前記着底位置決定部は、前記重力測定装置が着底した状態で、前記姿勢センサにより検出した姿勢に変動がある場合、着底目標位置を変更し、新たな着底目標位置を決定する、
ことを特徴とする重力測定装置。

[請求項5] (追加) 請求項1に記載の重力測定装置において、
前記着底位置決定部は、前記三次元の水底形状の凹凸及び傾斜に基づいて前記着底目標位置を決定する、
ことを特徴とする重力測定装置。

[請求項6] (追加) 請求項1に記載の重力測定装置において、
水の流向を計測する流速計と、
前記重力測定装置の水底からの高度と対地速度を計測する対地速度計とをさらに備え、
前記着底制御部は、水底に対して静止した状態で前記流速計により流向を計測し、その流向に正対する方位を前記重力測定装置が維持するように前記推力発生部を制御しつつ、前記対地速度計により前記重力測定装置の水底からの高度と対地速度を計測しながら前記重力測定装置が降下するように前記推進力発生部を制御することで、前記重力測定装置を前記着底目標位置に着底させる、
ことを特徴とする重力測定装置。

[請求項7] (追加) 請求項1に記載の重力測定装置において、
前記着底制御部は、前記重力測定装置が着底した後の一定時間、前記重力測定装置の姿勢を前記姿勢センサにより監視し、前記重力測定装置の姿勢の変動が無い場合には、そのまま着底を継続し、前記重力計による重力測定を実行する、
ことを特徴とする重力測定装置。

[請求項8] (追加) 水中を自律航行およびホバリング可能であり、水底に着底可能な自律航行装置であって、
前記自律航行装置が水中移動可能なように推進力を発生する推進力

発生部と、

三次元の水底形状を取得する水底形状取得部と、

前記水底形状取得部により取得した水底形状に基づいて前記自律航行装置の着底目標位置を決定する着底位置決定部と、

前記着底位置決定部により決定した着底目標位置に到達するよう前記推進力発生部を制御し、前記自律航行装置を該着底目標位置に着底させる着底制御部と、

前記自律航行装置の姿勢の変動を検出する姿勢センサと、
を備えた、

ことを特徴とする自律航行装置。

条約第 19 条（1）に基づく説明書

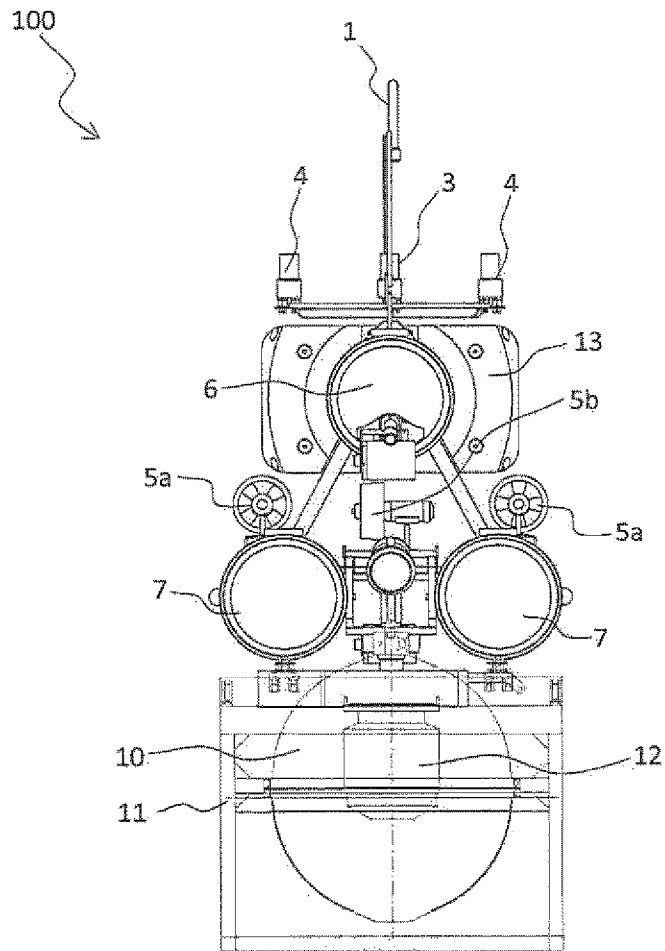
（1）新たな独立項として請求項 1 を追加した。新たな請求項 1 は補正前の請求項 1，2 の上位概念に相当する。

（2）新たな従属項として請求項 5－8 を追加した。

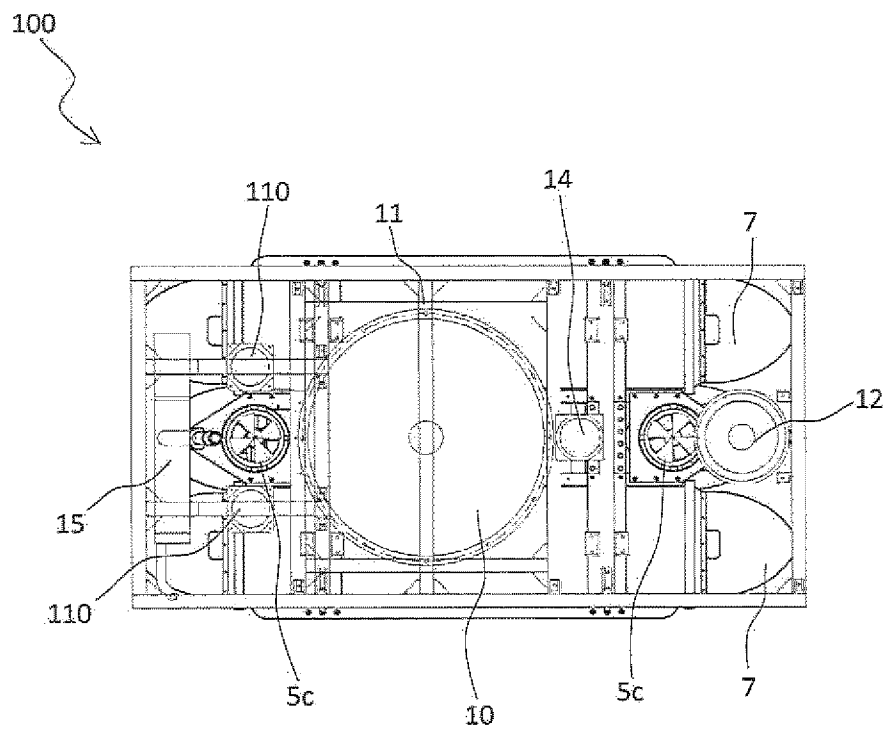
（3）補正前の請求項 1－3 は補正後の請求項 2－4 に対応する。

（4）見解書において国際調査機関は、請求項 1 に係る「着底位置決定部」及び「着底制御部」に相当する構成を設けることは当業者で容易に想到できたことである旨指摘する。しかし、「着底位置決定部」及び「着底制御部」はいずれの文献にも開示されておらず、これらの構成を設けて着底目標位置を決定し、その着底目標位置に重力測定装置を着底させることは当業者であっても容易ではない。文献 2 の「地形計測装置」は専ら海底形状を計測するためのものであって、着底に利用するものではない。

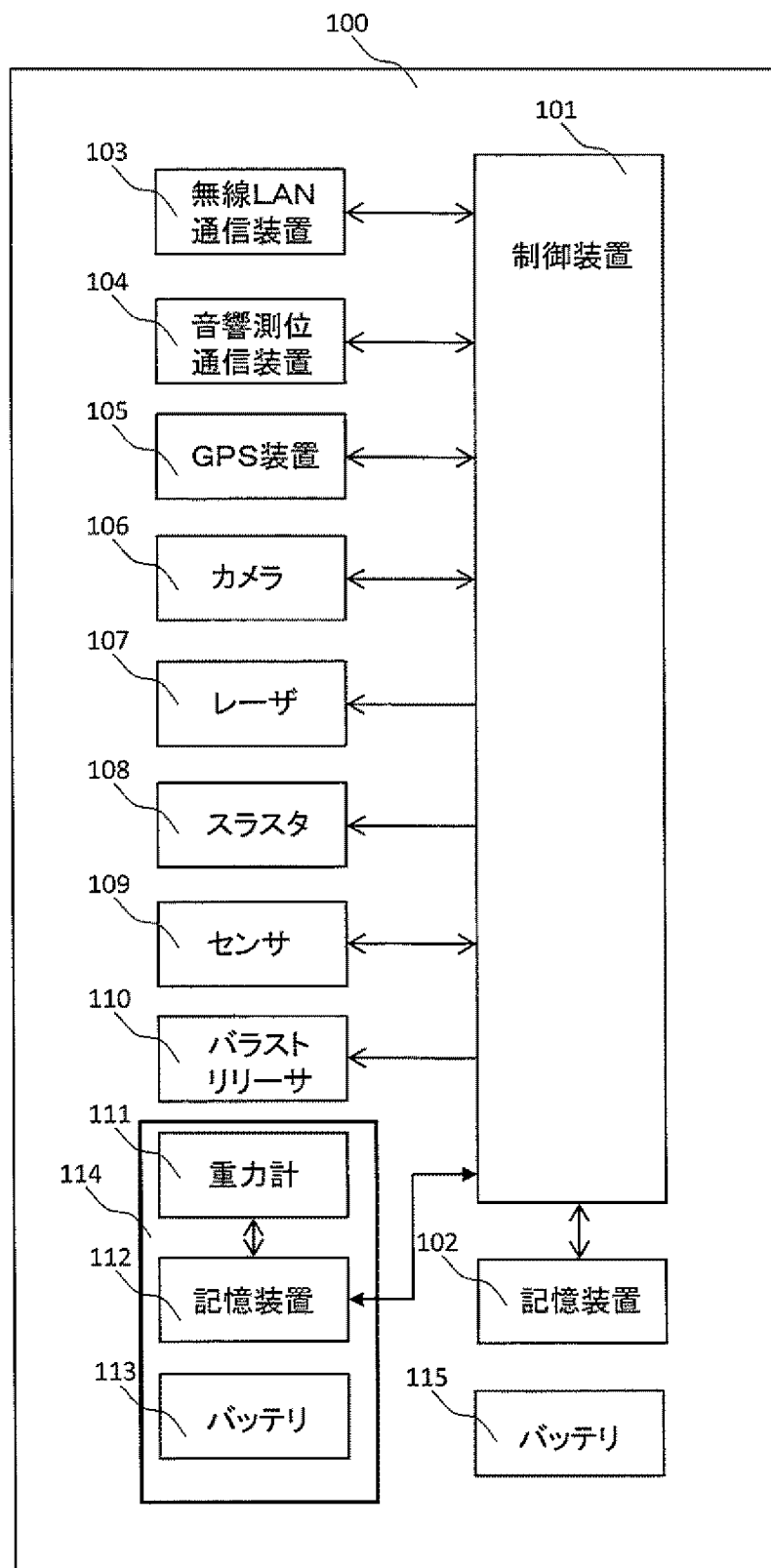
[図2]



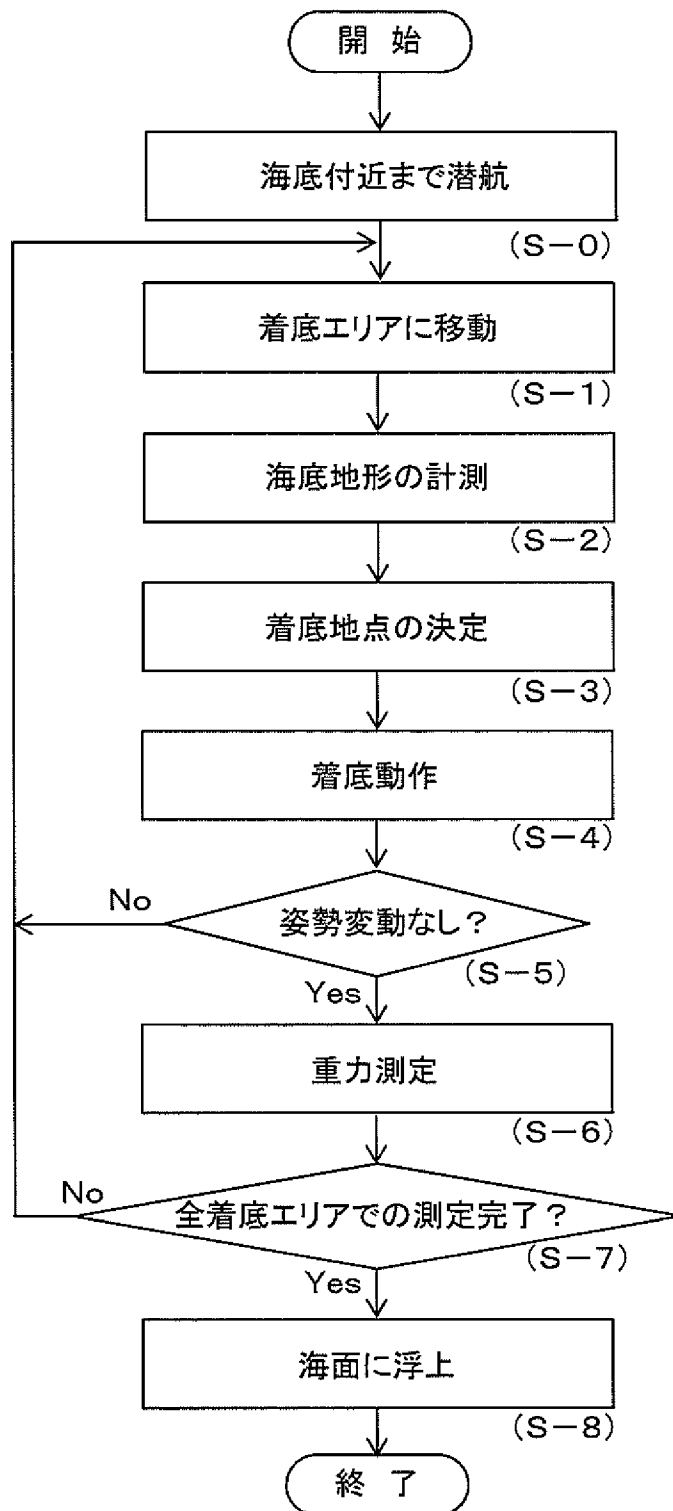
[図3]



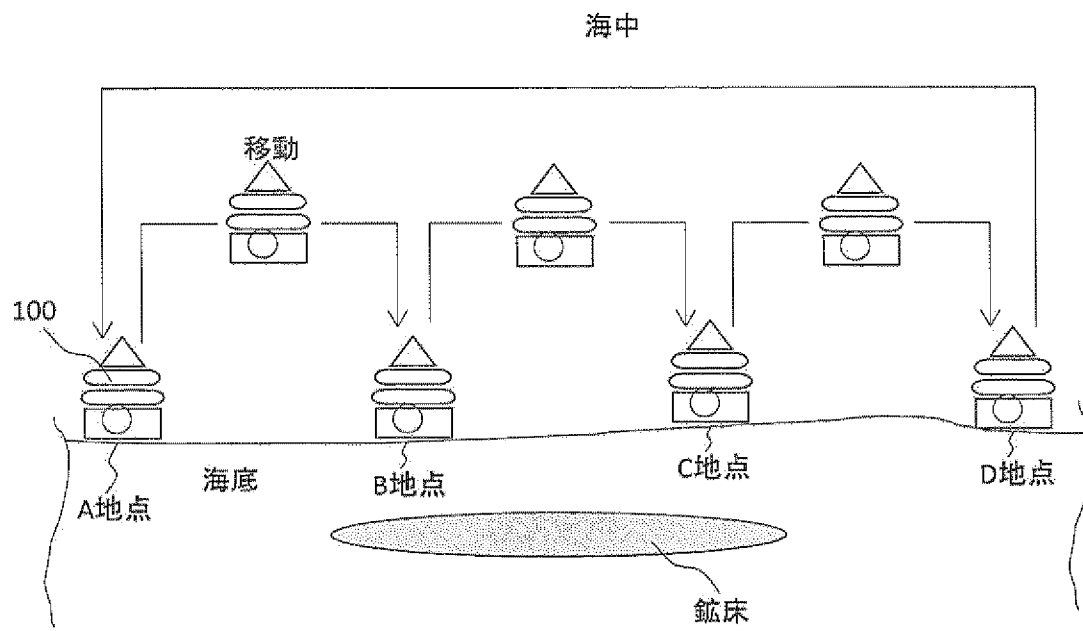
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/027945

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V7/16(2006.01)i, B63C11/00(2006.01)i, B63G8/39(2006.01)i, B63H25/04(2006.01)i, G01B11/24(2006.01)i, G01B17/06(2006.01)i, G01C15/00(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)

G01V7/16, B63C11/00, B63G8/39, B63H25/04, G01B11/24, G01B17/06, G01C15/00

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	KINSEY, James C., TIVEY, Maurice A. and YOERGER, Dana R., Toward High-Spatial Resolution Gravity Surveying of the Mid-Ocean Ridges with Autonomous Underwater Vehicles, OCEANS 2008, 2008.09	1-2 3
Y A	Toshihiro MAKI, Hayato KONDO, Tamaki URA, Takashi SAKAMAKI, "Autonomous Underwater Vehicle 'Tri-Dog 1'", Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, 2008, vol.43, no.4, pages 73 to 76	1-2 3
Y A	Toshihiro MAKI, "Maps for Underwater Vehicles", Journal of the Robotics Society of Japan, 2015. 12, vol.33, no.10, pages 766 to 772	2 3

☒ 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
12 October 2017 (12.10.17)

Date of mailing of the international search report
24 October 2017 (24.10.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/027945

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2010/0153050 A1 (ZUMBERGE et al.), 17 June 2010 (17.06.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-3

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01V7/16(2006.01)i, B63C11/00(2006.01)i, B63G8/39(2006.01)i, B63H25/04(2006.01)i,
G01B11/24(2006.01)i, G01B17/06(2006.01)i, G01C15/00(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. G01V7/16, B63C11/00, B63G8/39, B63H25/04, G01B11/24, G01B17/06, G01C15/00

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

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

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
Y A	KINSEY, James C., TIVEY, Maurice A. and YOERGER, Dana R., Toward High-Spatial Resolution Gravity Surveying of the Mid-Ocean Ridges with Autonomous Underwater Vehicles, OCEANS 2008, 2008. 09	1-2 3
Y A	巻俊宏、近藤逸人、浦環、坂巻隆、自律型水中ロボット「トライドッグ1号」、日本マリンエンジニアリング学会誌, 2008, Vol. 43/No. 4, Pages 73-76	1-2 3

☒ 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

1 2 . 1 0 . 2 0 1 7

国際調査報告の発送日

2 4 . 1 0 . 2 0 1 7

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)

北川 創

2 J

9 8 0 4

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

C (続き) . 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
Y A	巻俊宏, 海中ロボットと地図, 日本ロボット学会誌, 2015. 12, Vol. 33/No. 10, Pages 766-772	2 3
A	US 2010/0153050 A1 (ZUMBERGE et al.) 2010. 06. 17, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-3