

(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  
2017年6月15日(15.06.2017)



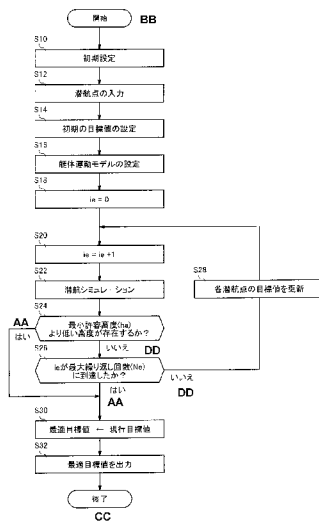
(10) 国際公開番号  
WO 2017/099219 A1

- (51) 国際特許分類:  
B63C 11/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/086723
- (22) 国際出願日: 2016年12月9日(09.12.2016)
- (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 2015-240252 2015年12月9日(09.12.2015) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人 海上・港湾・航空  
技術研究所 (NATIONAL INSTITUTE OF MARI-  
TIME, PORT AND AVIATION TECHNOLOGY)  
[JP/JP]; 〒1810004 東京都三鷹市新川6丁目3  
番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 金 岡秀(KIM Kangsoo); 〒1810004 東京  
都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発  
法人 海上・港湾・航空技術研究所内 Tokyo  
(JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人 Y K I 国際特許事務所  
(YKI PATENT ATTORNEYS); 〒1800004 東京都武  
蔵野市吉祥寺本町一丁目3番12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, 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,

[続葉有]

(54) Title: ROUTE SETTING METHOD FOR UNDERWATER VEHICLE, UNDERWATER VEHICLE OPTIMUM CONTROL METHOD USING SAME, AND UNDERWATER VEHICLE

(54) 発明の名称: 水中航走体の経路設定方法、それを用いた水中航走体の最適制御方法及び水中航走体



S10 Initial setting  
S12 Input of underwater navigation points  
S14 Setting of initial target values  
S16 Setting of the dynamics model of the vehicle body  
S22 Underwater navigation simulation  
S24 Is there a height lower than a minimum allowable height (ha)?  
S26 Has the counter (ie) reached the maximum number of repetition (Ne)?  
S28 Update of the respective underwater navigation points  
S30 Optimum target values ← current target values  
S32 Output of the optimum target values  
AA Yes  
BB Start  
CC End  
DD No

(57) Abstract: The present invention enables navigation control of an underwater vehicle by setting an optimum underwater navigation route with respect to a reference. The route setting method is provided with: an underwater navigation point input step S12 for inputting underwater navigation points of the underwater vehicle; a target value setting step S14 for setting initial target values at the underwater navigation points; an underwater navigation simulation step S22 for simulating an underwater navigation route of the underwater vehicle by using water bottom topography data and the target values on the basis of a dynamics model of the underwater vehicle; and a target value update step S28 for updating the target values on the basis of an evaluation function which is calculated on the basis of the underwater navigation route obtained through the simulation in the underwater navigation simulation step S22. Optimum target values are derived by repeating the underwater navigation simulation step S22 and the target value update step S28.

(57) 要約: 水中航走体に対して、基準に対する最適な潜航経路を設定して航行制御することを可能とする。水中航走体の潜航点を入力する潜航点入力ステップS12と、潜航点における初期の目標値を設定する目標値設定ステップS14と、水底地形のデータと目標値とを用いて水中航走体の運動モデルに基づいて目標値に対する水中航走体の潜航経路をシミュレーションする潜航シミュレーションステップS22と、潜航シミュレーションステップS22におけるシミュレーションで得られた潜航経路に基づいて算出される評価関数に基づいて目標値を更新する目標値更新ステップS28とを備え、潜航シミュレーションステップS22と目標値更新ステップS28を繰り返すことによって最適な目標値を導出する。



WO 2017/099219 A1

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:  
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, — 國際調查報告 (條約第 21 條(3))  
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

## 明 細 書

発明の名称：

水中航走体の経路設定方法、それを用いた水中航走体の最適制御方法及び水中航走体

### 技術分野

[0001] 本発明は、水中航走体の経路設定方法、それを用いた水中航走体の最適制御方法及び水中航走体に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、鉱物資源をはじめとするあらゆる資源の供給源として海底等の水底が注目を集めている。それに伴って、水底調査の必要性も高まりつつある。水底の調査には、音波、レーザ、可視光線、電磁波等の信号を媒介とするリモートセンシングの手法が一般に用いられるが、こうした信号には伝搬損失が発生するため、できるだけ水底に近い位置で用いることにより高解像度及び高精度の情報が得られる。そこで、水底付近を所望する軌道や姿勢で水中航走体（例えば潜水艇）を航行（航走）させる技術が必要とされている。

[0003] 水中航走体の深度を設定する深度設定手段を備え、設定された所定の深度に基づいて船尾舵を駆動制御する技術が開示されている（特許文献1）。ここで、深度設定手段と深度制御手段との間にリミット回路が設けられ、リミット回路によって水中航走体が水底に接触しないように制御される。

[0004] 水中航走体の自動操縦を行うに当って、運動状態量を推定するために、水中航走体の運動特性に追従する運動モデルを用いて運動状態量の推定精度を向上させた技術が開示されている（特許文献2）。また、潮流等の影響を考慮して、水中航走体の操舵制御を行う技術が開示されている（特許文献3）。

[0005] また、水中航走体を航行制御するためには水中航走体の正確な位置を取得する必要があるが、マルチビーム測深器で深度を複数の位置について計測することによって水中航走体の位置を特定する測位技術が開示されている（特

許文献4)。水中航走体の速度、深度、高度、姿勢角等の状態情報を取得し、状態情報に基づき安全に航行できる安全域を設定し、安全域内を航行できるように水中航走体を制御する技術が開示されている（特許文献5）。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0006] 特許文献1：特開昭63-273797号公報  
特許文献2：特開平05-016878号公報  
特許文献3：特開2003-127983号公報  
特許文献4：特開2007-292729号公報  
特許文献5：特開2015-063181号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 音波等の探査信号の反射強度は水底への入射角に反比例する性質がある。すなわち、水底に対して浅い入射（大きな入射角）では垂直入射（0度入射）に比べて反射強度が格段と弱まる。したがって、起伏に富んだ複雑な水底地形の場合には反射信号の強度が地形と相関し、平坦な面である場合に比べて弱くなる。さらに、複雑な水底地形では平らな水底面と比べてマルチパスの問題も顕著となる。その結果、高度計による高度計測値の信頼性も低下する。
- [0008] こうした事情から、航行安全のために、平坦な水底のように高度の情報が安定的に高い精度で得られる場合を除いて、高度制御航法が採用されることは稀であり、深度制御航法が多く用いられている。
- [0009] 現状、深度制御航法の適用の際は航走体が水底から適切な距離で離れるように目標深度を設定し、水底への衝突を防ぐように制御している。ところが、深度設定では水底地形とAUVダイナミクスとの関係が定量的に評価されておらず、険しい水底地形等において水底衝突のおそれがある。一方、水底への衝突を避けるために水底から十分な距離で離れるように目標深度を設定

すると、水底から取得できるデータの質と解像度は著しく低下する。このため、実際は経験と勘に基づき水底から適度の距離を離して目標深度を設定することが行われている。また、水底調査に用いられるセンサ類に応じて水中航走体を特定の姿勢、例えば水底に平行の姿勢をとることが好ましい場合もある。この場合は、水底への衝突を避けながら、水底の斜面に最も近似した軌道で航行することが望まれる。

[0010] 上記した引用文献1から5は、いずれも潜航点を決めて、水中航走体の水底への衝突を防ぎつつ、最も近づくことができる最適な潜航経路を得ているものではない。

[0011] 本発明は、上記課題の少なくとも一つを解決するために、水中航走体に対して、基準に対する最適な経路を設定して航行制御することを可能とする水中航走体の経路設定方法、それを用いた水中航走体の最適制御方法及び水中航走体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

[0012] 請求項1に対応した水中航走体の経路設定方法は、水中航走体の潜航点を入力する潜航点入力ステップと、前記潜航点における初期の目標値を設定する目標値設定ステップと、基準としての水底地形のデータと前記目標値とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標値に対する前記水中航走体の潜航経路をシミュレーションする潜航シミュレーションステップと、前記潜航シミュレーションステップにおけるシミュレーションで得られた前記潜航経路に基づいて算出される評価関数の値に基づいて前記目標値を更新する目標値更新ステップとを備え、前記潜航シミュレーションステップと前記目標値更新ステップを繰り返すことによって最適な前記目標値を導出する。

[0013] ここで、前記目標値は、前記潜航点における目標深度であることが好適である。

[0014] また、前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステップを備え、前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと

前記目標深度とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標深度に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標深度を導出することが好適である。

[0015] また、前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度の最小値と前記最小許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の前記最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標深度を更新することが好適である。

[0016] また、前記評価関数の値は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、前記目標値更新ステップは、前記評価関数の値が小さくなるように前記目標深度を更新することが好適である。

[0017] また、前記目標値は、前記潜航点における目標高度であることが好適である。

[0018] また、前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステップを備え、前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと前記目標高度とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標高度に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標高度を導出することが好適である。

[0019] また、前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度の最小値と前記最小許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の前記最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標高度を更新することが好適である。

[0020] また、前記評価関数の値は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、前記目標値更新ステップは、前記評価関数の値が小さくなるように前記目標高度を更新することが好適である。

[0021] ここで、前記目標値は、前記潜航点における前記水中航走体の目標基準姿勢であることが好適である。

- [0022] また、前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステップを備え、前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと前記目標基本姿勢とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標基本姿勢に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標基本姿勢を導出することが好適である。
- [0023] また、前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度の最小値と前記最小許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の前記最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標基本姿勢を更新することが好適である。
- [0024] また、前記評価関数の値は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、前記目標値更新ステップは、前記評価関数の値が小さくなるように前記目標基本姿勢を更新することが好適である。
- [0025] また、前記潜航シミュレーションステップと前記目標値更新ステップの繰り返し回数が予め定められていることが好適である。
- [0026] また、前記水底地形のデータの代わりに基準経路を用いることが好適である。また、前記水底地形のデータの代わりに前記潜航点における前記水中航走体の基準姿勢を用いることが好適である。また、前記水底地形のデータの代わりに前記潜航点における前記水中航走体の基準角度を用いることが好適である。
- [0027] 請求項 17 に記載の水中航走体の最適制御方法は、上記水中航走体の経路設定方法で得られた最適な前記目標値を用いて前記水中航走体を制御する。
- [0028] ここで、最適な前記目標値と前記水中航走体の位置を比較して、比較結果に応じて前記水中航走体の運動制御系を制御することが好適である。
- [0029] また、最適な前記目標値と前記水中航走体の前記位置が所定の条件を外れた場合に前記水中航走体を緊急浮上させることが好適である。
- [0030] また、さらに前記水底地形を観測する観測制御を行うことが好適である。
- [0031] 請求項 21 に記載の水中航走体は、上記水中航走体の経路設定方法で得ら

れた最適な前記目標値を取得する目標値取得部と、取得された前記目標値を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶された前記目標値を用いて駆動手段を制御する運動制御部を備える。

[0032] ここで、深度計測手段、高度計測手段、及び姿勢計測手段の少なくとも1つを備え、前記運動制御部は、前記深度計測手段、高度計測手段、及び姿勢計測手段の少なくとも1つの測定値と前記記憶部に記憶された前記目標値とを比較して前記駆動手段を制御することが好適である。

[0033] また、障害物探知手段を備え、前記運動制御部は、前記障害物探知手段による検出結果に応じて前記駆動手段を制御することが好適である。

[0034] また、慣性航法手段を備え、前記運動制御部は、前記慣性航法手段の出力に基づいて前記駆動手段を制御することが好適である。

[0035] また、前記水底地形を観測する観測手段を備えることが好適である。

### 発明の効果

[0036] 請求項1に対応した水中航走体の経路設定方法によれば、水中航走体の潜航点を入力する潜航点入力ステップと、前記潜航点における初期の目標値を設定する目標値設定ステップと、基準としての水底地形のデータと前記目標値とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標値に対する前記水中航走体の潜航経路をシミュレーションする潜航シミュレーションステップと、前記潜航シミュレーションステップにおけるシミュレーションで得られた前記潜航経路に基づいて算出される評価関数の値に基づいて前記目標値を更新する目標値更新ステップとを備え、前記潜航シミュレーションステップと前記目標値更新ステップを繰り返すことによって最適な前記目標値を導出することによって、前記潜航点において水底地形に合わせて最適化された最適な目標値を設定することができる。これにより、前記潜航点において前記水中航走体を最適な目標値で潜航させることができ、目的に応じた最適な潜航状態での航行を実現することができる経路設定が可能となる。

[0037] ここで、前記目標値は、前記潜航点における目標深度であることによって、前記潜航点において水底地形に合わせて最適化された最適目標深度を設定



することができる。これにより、前記潜航点において前記水中航走体を最適目標深度となるように潜航させることができ、観測等の目的に応じた最適な潜航深度での航行を実現することができる経路設定が可能となる。

[0038] また、前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステップを備え、前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと前記目標深度とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標深度に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標深度を導出することによって、前記水中航走体が前記最小許容高度よりも水底に近づくことを避けつつ、前記潜航点において前記水中航走体を最適目標深度となるように潜航させることができる経路設定が可能となる。

[0039] また、前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度と前記最小許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標深度を更新することによって、前記水中航走体が前記最小許容高度よりも水底に近づくことを避けつつ、前記潜航点においてできるだけ水底に近づくように最適目標深度を設定することができる。

[0040] また、前記評価関数は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、前記目標値更新ステップは、前記評価関数が小さくなるように前記目標深度を更新することによって、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和が最も小さくなるように複数の前記潜航点において最適目標深度を設定することができる。

[0041] また、前記目標値は、前記潜航点における目標高度であることによって、前記潜航点において水底地形に合わせて最適化された最適目標高度を設定することができる。これにより、前記潜航点において前記水中航走体を最適目標高度となるように潜航させることができ、観測等の目的に応じた最適な潜航高度での航行を実現することができる経路設定が可能となる。

[0042] また、前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステッ

プを備え、前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと前記目標高度とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標高度に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標高度を導出することによって、前記水中航走体が前記最小許容高度よりも水底に近づくことを避けつつ、前記潜航点において前記水中航走体を最適目標高度となるように潜航させることができる経路設定が可能となる。

[0043] また、前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度と前記最小許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標高度を更新することによって、前記水中航走体が前記最小許容高度よりも水底に近づくことを避けつつ、前記潜航点においてできるだけ水底に近づくように最適目標高度を設定することができる。

[0044] また、前記評価関数は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、前記目標値更新ステップは、前記評価関数が小さくなるように前記目標高度を更新することによって、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和が最も小さくなるように複数の前記潜航点において最適目標高度を設定することができる。

[0045] ここで、前記目標値は、前記潜航点における前記水中航走体の目標基準姿勢であることによって、前記潜航点において水底地形に合わせて最適化された最適目標基準姿勢を設定することができる。これにより、前記潜航点において前記水中航走体を最適目標基準姿勢となるように潜航させることができ、観測等の目的に応じた最適な潜航姿勢での航行を実現することができる経路設定が可能となる。

[0046] また、前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステップを備え、前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと前記目標基本姿勢とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標基本姿勢に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、

前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標基本姿勢を導出することによって、前記水中航走体が前記最小許容高度よりも水底に近づくことを避けつつ、前記潜航点において前記水中航走体を最適目標基準姿勢となるように潜航させることができる経路設定が可能となる。

[0047] また、前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度の最小値と前記最小許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の前記最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標基本姿勢を更新することによって、前記水中航走体が前記最小許容高度よりも水底に近づくことを避けつつ、前記潜航点においてできるだけ水底に近づくように最適目標基準姿勢を設定することができる。

[0048] また、前記評価関数の値は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、前記目標値更新ステップは、前記評価関数の値が小さくなるように前記目標基本姿勢を更新することによって、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和が最も小さくなるように複数の前記潜航点において最適目標基準姿勢を設定することができる。

[0049] また、前記潜航シミュレーションステップと前記目標値更新ステップの繰り返し回数が予め定められていることによって、潜航シミュレーションを適切な回数で切り上げることができる。

[0050] また、前記水底地形のデータの代わりに基準経路を用いること、又は、前記水底地形のデータの代わりに前記潜航点における前記水中航走体の基準角度を用いることによって、前記潜航点において前記水中航走体が基準経路又は基準角度に近づくように前記目標値を最適化することができる。

[0051] 請求項 17 に記載の水中航走体の最適制御方法は、上記水中航走体の経路設定方法で得られた最適な前記目標値を用いて前記水中航走体を制御することによって、前記潜航点において水底地形に合わせて最適化された最適な目

標値で前記水中航走体を潜航させることができ、目的に応じた最適な潜航状態での航行を実現することができる。

[0052] ここで、最適な前記目標値と前記水中航走体の位置を比較して、比較結果に応じて前記水中航走体の運動制御系を制御することによって、前記水中航走体の最適制御方法を具体的に実現することができる。

[0053] また、最適な前記目標値と前記水中航走体の前記位置が所定の条件を外れた場合に前記水中航走体を緊急浮上させることによって、前記水中航走体が障害物等に衝突しそうな場合等において危険を回避することができる。

[0054] また、さらに前記水底地形を観測する観測制御を行うことによって、観測に適した潜航状態で航行しつつ観測を行うことができる。

[0055] 請求項 2 1 に記載の水中航走体は、上記水中航走体の経路設定方法で得られた最適な前記目標値を取得する目標値取得部と、取得された前記目標値を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶された前記目標値を用いて駆動手段を制御する運動制御部を備えることによって、前記潜航点において水底地形に合わせて最適化された最適な目標値で潜航することができ、目的に応じた最適な潜航状態での航行を実現することができる。

[0056] ここで、深度測手段、高度計測手段、及び姿勢計測手段の少なくとも 1 つを備え、前記運動制御部は、前記深度計測手段、高度計測手段、及び姿勢計測手段の少なくとも 1 つの測定値と前記記憶部に記憶された前記目標値とを比較して前記駆動手段を制御することによって、最適な前記目標値を得る前記水中航走体の最適制御方法を具体的に実現することができる。

[0057] また、障害物探知手段を備え、前記運動制御部は、前記障害物探知手段による検出結果に応じて前記駆動手段を制御することによって、前記水中航走体が障害物等に衝突しそうな場合等において危険を回避することができる。

[0058] また、慣性航法手段を備え、前記運動制御部は、前記慣性航法手段の出力に基づいて前記駆動手段を制御することによって、外部から位置情報を取得することなく、自機のみによって前記潜航点において水底地形に合わせて最適化された最適な目標値で潜航することができる。

[0059] また、前記水底地形を観測する観測手段を備えることによって、観測に適した潜航状態で航行しつつ観測を行うことができる。

### 図面の簡単な説明

- [0060] [図1]本発明の実施の形態における水中航走体の構成概念図である。
- [図2]本発明の実施の形態における水中航走体の経路設定装置の構成を示す図である。
- [図3]本発明の実施の形態における水中航走体の経路設定方法のフローチャートである。
- [図4]本発明の実施の形態における水中航走体の経路設定装置の機能ブロック図である。
- [図5]本発明の実施の形態における水中航走体の経路設定処理を説明する図である。
- [図6]本発明の実施の形態における水中航走体の最適航行制御のフローチャートである。
- [図7]本発明の実施の形態における水中航走体の機能ブロック図である。
- [図8]本発明の実施の形態における水中航走体を用いた水底地形の観測システム図である。

### 発明を実施するための形態

#### [0061] <システムの構成>

図8は、本発明の実施の形態における水中航走体を用いた水底地形の観測システム図である。観測システムは、水中に投入された水中航走体100と、経路設定装置200と、これを搭載した水上の支援船300から成る。水中航走体100は、潜航点における水底地形400を観測するため、水底への衝突を防ぎつつ、最も近づくことができる設定された最適な潜航経路に沿って航行する。

支援船300は、人工衛星500からのGPS信号を受信することで、自船の地理的位置が分かるため、水中航走体100の地理的位置を割り出すことができる。支援船300には、音響測位装置310が搭載されており、水

中の水中航走体 100 の支援船 300 からの相対的位置が把握できる。また、水中航走体 100 に搭載された位置検出手段により水中航走体 100 自身で支援船 300 との相対位置を検出することもでき、これらの相対位置は音響通信装置 320 を通じて、支援船 300 と水中航走体 100 で相互に把握することができる。従って、支援船 300 で得た地理的位置と音響測位装置 310 又は水中航走体 100 の位置検出手段による相対位置を組み合わせ、水中航走体 100 の地理的位置を支援船 300 及び／又は水中航走体 100 で把握することができる。

[0062] <水中航走体の構成>

本発明の実施の形態における水中航走体 100 は、図 1 の構成概念図に示すように、艇体 10、主推進器 12、主推進器駆動モータ 14、垂直舵 16、垂直舵駆動モータ 18、水平舵 20、水平舵駆動モータ 22、深度計 24、高度計 26、障害物センサ 28、観測用センサ 30、位置検出手段でもある慣性航法装置 32、制御装置 34、音響通信装置 36 及び音響測位装置 38 を含んで構成される。水中航走体 100 は、例えば、自律型無人潜水機 (AUV) であるが、これに限定されるものではない。

[0063] 艇体 10 は、艇室等の空間を構成する密閉可能な構造体である。艇体 10 は、金属や強化プラスチック等により構成され、水中航走体 100 の構成要素を機械的に支持する役割も果たす。

[0064] 主推進器 12 は、水中航走体 100 を推進させるための駆動力を発生させる構成要素である。主推進器 12 は、例えば、プロペラ、回転軸等を含んで構成される。主推進器駆動モータ 14 は、主推進器 12 に対して駆動力を与えるためのモータである。主推進器駆動モータ 14 は、制御装置 34 からの駆動制御信号を受けて、電池 14 a からの電力によって駆動制御信号に応じた回転数及びトルクで主推進器 12 の回転軸を回転駆動させる。これにより、駆動軸に接続されたプロペラが回転されて、水中航走体 100 に推進力が与えられる。

[0065] 垂直舵 16 は、艇体 10 を左右方向に旋回 (回頭) させるための舵である

。垂直舵 16 を艇体 10 に対して右又は左に傾けることによって、艇体 10 を左又は右に回頭させることができる。垂直舵駆動モータ 18 は、垂直舵 16 を回転させるための駆動力を発生させるモータである。垂直舵駆動モータ 18 は、制御装置 34 からの垂直舵制御信号を受けて、垂直舵制御信号に応じた角度になるように垂直舵 16 を回転駆動させる。

[0066] なお、左右にそれぞれ個別の主推進器 12 を設けておき、垂直舵 16 に依らず、左右の主推進器 12 の推力のバランスを調整することにより艇体 10 を左右方向に旋回（回頭）させる構成としてもよい。

[0067] 水平舵 20 は、艇体 10 を上昇及び下降させるための舵である。水平舵 20 を艇体 10 に対して上又は下に傾けることによって、艇体 10 を頭下げ（ピッチダウン）又は頭上げ（ピッチアップ）させることができる。水平舵駆動モータ 22 は、水平舵 20 を回転させるための駆動力を発生させるモータである。水平舵駆動モータ 22 は、制御装置 34 からの水平舵制御信号を受けて、水平舵制御信号に応じた角度になるように水平舵 20 を回転駆動させる。

[0068] 深度計 24 は、水中航走体 100 の水面からの距離（深度）を測定して出力する装置である。深度計 24 は、例えば、水中航走体 100 の艇体 10 に掛かる水圧から深度を測定する。深度計 24 は、測定された深度を制御装置 34 へ出力する。高度計 26 は、水中航走体 100 の水底からの距離（高度）を測定して出力する装置である。高度計 26 は、例えば、艇体 10 の下方に向けて音波を出力し、水底で反射した音波を受信するまでの時間から高度を測定する。高度計 26 は、測定された高度を制御装置 34 へ出力する。

[0069] 障害物センサ 28 は、水中航走体 100 の進行方向（前方）に存在する障害物を検知するためのセンサである。障害物センサ 28 は、例えば、艇体 10 の前方（又は前方やや下方向）に向けて音波を出力し、その方向に存在する障害物で反射した音波を受信するまでの時間から障害物の存在及びそこまでの距離を測定する。障害物センサ 28 は、障害物の検知結果を制御装置 34 へ出力する。

- [0070] 観測用センサ30は、水中航走体100によって行われる観測のためのセンサである。観測用センサ30は、観測の目的に合わせて様々なセンサとすることができる。観測用センサ30は、例えば、音波センサ、電磁波センサ、光センサ、圧力センサ、熱センサ等とすることができる。観測用センサ30は、観測結果を制御装置34へ出力する。
- [0071] 慣性航法装置32は、艇体10の移動の際の加速度を測定する加速度センサ及びジャイロセンサを備え、これらで測定された加速度を時間で2回積分することによって艇体10の位置情報を求める。制御装置34で得られた水中航走体100の位置情報は制御装置34へ出力される。
- [0072] 制御装置34は、深度計24、高度計26、障害物センサ28、観測用センサ30及び慣性航法装置32から情報を受けて、これらの情報に基づいて水中航走体100の航行制御を行う。制御装置34は、慣性航法装置32からの位置情報、深度計24からの深度、高度計26からの高度の情報に基づいて、予め設定された潜航点及び後述する経路設定方法により設定された目標値（目標深度、目標高度、目標姿勢、目標角度等）に艇体10が近づくように主推進器12、垂直舵駆動モータ18及び水平舵駆動モータ22を制御する。制御装置34による航行制御については後述する。
- [0073] 音響通信装置36は、水中航走体100の外部と音波によって通信するための装置である。音響通信装置36は、制御装置34から深度計24、高度計26、障害物センサ28、観測用センサ30及び慣性航法装置32の測定結果や航行に関する情報等を受けて、それらの情報を水中航走体100の外部（例えば、海上の船舶等）に送信する。また、外部（例えば、海上の船舶等）においてGPS等によって測定された絶対位置を受信する。
- [0074] 音響測位装置38は、水中航走体100の外部の船舶等との相対位置を受信する。音響測位装置38は、海上の船舶等に設けられたと水中航走体100の相対位置の情報を取得する。この相対位置情報は、制御装置34へ入力される。制御装置34は、音響通信装置36によって取得された海上の船舶等の絶対位置の情報も取得し、船舶の絶対位置と船舶からの水中航走体100



0の相対位置から水中航走体100の絶対位置を得ることができる。制御装置34は、このようにして得られた水中航走体100の絶対位置情報によって慣性航法装置32から取得した位置情報を補正することができる。例えば、制御装置34は、音響測位装置38から取得した相対位置情報から算出された位置と慣性航法装置32から取得した位置の差が所定値よりも大きくなった場合に音響測位装置38の位置によって慣性航法装置32の位置を補正する。慣性航法装置32は、補正された位置を新たな初期値として水中航走体100の位置の推定を続ける。

[0075] <水中航走体の経路設定方法>

本実施の形態における水中航走体100の経路設定処理について以下に説明する。本実施の形態では、水中航走体100とは別の経路設定装置200にて経路設定を行う態様について説明する。ただし、これに限定されるものではなく、水中航走体100に経路設定装置200を搭載してもよい。

[0076] 経路設定装置200は、図2に示すように、処理部40、記憶部42、入力部44、出力部46を備えるコンピュータである。処理部40は、CPU等から構成される。処理部40は、記憶部42に予め記憶されている経路設定プログラムを実行することにより、後述する経路設定処理を行う。記憶部42は、経路設定プログラム、艇体運動計算モデル、各種データを記憶するための記憶装置である。記憶部42は、例えば、半導体メモリ、ハードディスク等とすることができる。入力部44は、経路設定装置200に経路設定処理に必要な情報を入力するための装置を備える。入力部44は、キーボード、マウス、タッチパネル等とすることができる。また、入力部44をネットインターフェース等として他の装置から情報を取得するようにしてもよい。出力部46は、経路設定装置200によって得られた経路等の情報を出力するための装置を備える。出力部46は、ディスプレイ、プリンタ等とすることができる。また、出力部46をネットインターフェース等として、水中航走体100の制御装置34に情報を出力できるようにしてもよい。

[0077] 経路設定処理は、図3のフローチャートに沿って処理される。経路設定処

理を実行することによって、経路設定装置200は、図4の機能ブロック図に示す各手段として機能する。

[0078] ステップS10では、初期設定が行われる。当該処理によって、経路設定装置200は初期設定手段50として機能する。初期設定では、入力部44を用いて、基準としての水底地形400の情報の入力、最大繰り返し回数（ $N_e$ ）の設定及び最小許容高度（ $h_a$ ）の設定が行われる。水底地形400の情報は、図5の太実線で示すように、水中航走体100の航行対象となる領域の水底の座標毎の地形の高低を表す情報である。最大繰り返し回数（ $N_e$ ）は、経路設定処理における繰り返しの回数の最大値である。最小許容高度（ $h_a$ ）は、水中航走体100が水底に接触しないような経路を設定するための水底からの最小の許容高度である。

[0079] ステップS12では、潜航点の入力処理が行われる。当該処理によって、経路設定装置200は潜航点設定手段52として機能する。潜航点は、平面内（水面、海面に対して平行な面）において水中航走体100が航行する経路上を離散的な座標点として示した情報である。すなわち、潜航点を順に繋ぐことによって水中航走体100の二次元の航行経路が得られる。潜航点は、予め観測計画等に基づいた全潜航経路計画によって設定される。

[0080] ステップS14では、各潜航点における初期の目標値が設定される。当該処理によって、経路設定装置200は目標値設定手段54として機能する。本実施の形態では、目標値は、水中航走体100の目標深度とする。すなわち、図5に示すように、ステップS12で入力された潜航点毎に水中航走体100の航行する水中の経路の目標となる深度の初期値（図中、白三角で示す）が設定される。

[0081] ステップS16では、艇体運動モデルが設定される。当該処理によって、経路設定装置200は艇体運動モデル設定手段56として機能する。艇体運動モデルは、AUVダイナミクスとも呼ばれ、水中における艇体10（又は水中航走体100）の運動を計算ベースで求めるもので、時間領域における微分方程式として表される運動方程式(equations of motion)がその代表例で

ある。運動方程式では未知数としての速度、角速度成分を対象に与えられる力やモーメント成分を入力としてその解を求めるのが一般的な解法で、多くの場合一般解が求まる解析的手法より、初期条件を与え時間の経過に伴う速度、角速度の時系列を求める数値的手法が用いられる。具体的には、主推進器12、垂直舵16、水平舵20等の応答特性や艇体10の移動特性等に基づいて決められる。

本発明で最適な目標値（深度や高度）を求める際は、図3に示すように逐次的方法で目標値を更新して行く手法が用いられるが、艇体運動モデルはその過程における潜航シミュレーションにて艇体10（AUV）の挙動を数値的に求める道具として使われる。

運動方程式における係数項は艇体10に作用する流体力の関数で、よく動流体力係数(hydrodynamic coefficient)と呼ばれる。この動流体力係数は艇体の縮小モデルを用いた水槽試験や、計算流体力学(Computational Fluid Dynamics)の手法による数値計算で求めることができる。運動方程式にて動流体力係数以外は変数や外力項になるため、動流体力係数を求めることで運動方程式は完成する。

[0082] ステップS18～S32において、水底地形400のデータと目標深度とを用いて水中航走体100の運動モデルに基づいて目標値に対する水中航走体100の潜航経路をシミュレーションする潜航シミュレーションと、潜航シミュレーションにおいて得られた潜航経路に基づいて算出される評価関数に基づいて目標深度を更新する目標値更新処理を繰り返して各潜航点における目標値（目標深度）の最適化解析が行われる。

[0083] ステップS18では、カウンタ*i*<sub>e</sub>が初期値0に設定される。カウンタ*i*<sub>e</sub>は、シミュレーションの繰り返し回数を数えるため用いられる。ステップS20では、カウンタ*i*<sub>e</sub>に1が加算される。

[0084] ステップS22では、潜航シミュレーションが行われる。当該処理によって、経路設定装置200は目標値追従シミュレーション実施部58として機能する。処理部40は、ステップS10で入力された水底地形400の情報

、ステップS 1 2で入力された潜航点及び現在の各潜航点の目標深度を用いて、ステップS 1 6で設定された艇体運動モデルをもとに艇体1 0が各潜航点において水底地形4 0 0に近づくように水中航走体1 0 0の潜航経路をシミュレーションする。また、艇体1 0が最小許容高度 ( $h_a$ ) により近づくように水中航走体1 0 0の潜航経路をシミュレーションしてもよい。シミュレーションによって、水中航走体1 0 0の新たな潜航経路、すなわち各潜航点における潜航深度（水面から艇体1 0までの距離：以下、計算潜航深度という）及び潜航高度（水底から艇体1 0までの距離：以下、計算潜航高度という）が得られる。

[0085] ステップS 2 4では、ステップS 2 2におけるシミュレーションで得られた新たな潜航経路での各潜航点における水底からの距離（計算潜航高度）が最小許容高度 ( $h_a$ ) より大きいかが判定される。当該処理によって、経路設定装置2 0 0は潜航高度確認手段6 0として機能する。最小許容高度 ( $h_a$ ) より計算潜航高度が低い潜航点が存在する場合、シミュレーションを終了して、ステップS 3 0に処理を移行させる。最小許容高度 ( $h_a$ ) より計算潜航高度が低い潜航点が存在しない場合、ステップS 2 6に処理を移行させる。

[0086] ステップS 2 6では、カウンタ  $i_e$  が最大繰り返し回数 ( $N_e$ ) 以下かが判定される。当該処理によって、経路設定装置2 0 0は繰り返し回数確認手段6 2として機能する。カウンタ  $i_e$  が最大繰り返し回数 ( $N_e$ ) 以下であればステップS 2 8に処理を移行させ、そうでなければステップS 3 0に処理を移行させる。

[0087] ステップS 2 8では、評価関数に基づく最適化手法を適用し、各潜航点の目標深度を更新する。当該処理によって、経路設定装置2 0 0は目標値更新手段6 4として機能する。評価関数は、水中航走体1 0 0の航行における具体的な目標に対して設定される。例えば、艇体1 0をなるべく水面から深く潜水させたい場合は全潜航経路における艇体1 0の計算潜航深度の総和を評価関数とする。そして、処理部4 0は、評価関数の値ができるだけ大きくな

るように各潜航点における目標値を更新する。その後、ステップS 20に処理を戻し、新たな目標値を用いて再び潜航経路のシミュレーションを繰り返す。

[0088] ステップS 30に移行した場合、最適目標値（最適目標深度）を設定する。当該処理によって、経路設定装置200は最適目標値設定手段66として機能する。ステップS 32では、処理部40は、図5に示すように、現在設定されている目標深度を最適目標深度（図中、黒丸として示す）として設定して出力する。当該処理によって、経路設定装置200は最適目標値出力手段68として機能する。最適目標深度は、水中航走体100が潜航する際に、水底に接触しないように最小許容高度（ $h_a$ ）を維持しつつ、できるだけ水面から深い潜航経路を取るための各潜航点における目標となる深度である。

[0089] 以上の処理により、水中航走体100の航行制御を行う際の各潜航点における目標となる深度（目標深度）が最適化される。したがって、各潜航点において当該最適目標深度となるように水中航走体100の運動制御系を制御することによって、水中航走体100を適切な潜航経路で潜航させることができる。

[0090] なお、艇体10をなるべく水底に接近させたい場合には、ステップS 28において、全潜航経路における艇体10の計算潜航高度の総和を評価関数とすればよい。そして、処理部40は、当該評価関数の値ができるだけ小さくなるように各潜航点における目標値を更新する。その後、ステップS 20に処理を戻し、新たな目標値を用いて再び潜航経路のシミュレーションを繰り返す。そして、ステップS 30に移行した場合、最適目標値（最適目標高度）を設定する。

[0091] 以上の処理により、水中航走体100の航行制御を行う際の各潜航点における目標となる深度（目標高度）が最適化される。したがって、各潜航点において当該最適目標高度となるように水中航走体100の運動制御系を制御することによって、水中航走体100を適切な潜航経路で潜航させることが

できる。

なお、水中航走体100の速度を遅くすれば慣性の影響が少なくなるため、水底への衝突を避けながら水面からより深い潜航経路を取ることができるように思われる。しかし、速度が遅くなれば垂直舵16及び水平舵20の効きが悪くなり、また水底調査の効率も落ちることになるので限界がある。また、速度が速くなりすぎると、制御系の限界や観測時の解像度や精度の問題があるため、水中航走体100ごとに適切な速度範囲が存在する。

[0092] また、本実施の形態では、評価関数を全潜航経路における艇体10の深度や高度の総和としたがこれに限定されるものではない。例えば、水底地形400に基づいて艇体10を水底に近づける代わりに、予め定められた基準としての基準経路（基準深度や基準高度）に近づけたい場合、全潜航経路における艇体10の深度と基準経路（基準深度や基準高度）との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和を評価関数とし、当該評価関数に基づいて目標値（目標深度や目標高度）を最適化すればよい。

[0093] また、艇体10の姿勢を制御したい場合、基準として各潜航点における姿勢（例えば、水底の傾斜角度に対して艇体10を平行にする艇体角度）を基準姿勢として予め設定しておき、ステップS28において、全潜航経路における艇体10の姿勢（艇体角度）と基準姿勢との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和を評価関数とすればよい。そして、処理部40は、当該評価関数の値ができるだけ小さくなるように各潜航点における目標値を更新する。そして、ステップS30に移行した場合、最適目標値を設定する。

[0094] <水中航走体の最適航行制御>

以下、上記水中航走体100の経路設定処理にて設定された最適目標値に基づいた水中航走体100の航行制御について説明する。

[0095] 航行制御処理は、図6のフローチャートに沿って処理される。水中航走体100の各部は、図7の機能ブロック図に示す各手段として機能して航行制御が実現される。

[0096] ステップS40では、最適目標値（最適目標深度）が入力設定される。当該処理によって、水中航走体100の制御装置34は最適目標値入力部70として機能する。制御装置34の入力手段（図示しない）によって上記水中航走体100の経路設定方法により設定された最適目標値（最適目標深度）が制御装置34に入力され、制御装置34の記憶部72に記憶される。ここで、水中航走体100への入力は、制御装置34に付設した入力装置を用いてもよいし、音響通信装置36等の外部インターフェースを用いてもよい。なお、図3に沿った最適な目標値の導出は、通常は支援船300上、又は支援船300の出港前に観測計画に沿って実施され、最適な目標値が制御装置34に入力されるが、水中航走体100の制御装置34で潜航に当たり経路設定方法を実行することも可能である。

[0097] 水中航走体100として自律型無人潜水機（AUV）に適用する場合、予め求めた最適目標値（最適目標深度）や条件を、海上の船舶等で水中航走体100に入力し、海中に投入して自律航走させることもできる。予め求めた最適目標値（最適目標深度）を入力して水中航走体100の制御を行う利点は、潜航経路をシミュレーションを繰り返して行う時間の遅れに左右されることなく、水中航走体100を的確に制御できる点である。

[0098] ステップS42では、慣性航法装置32及び音響通信装置36による水中航走体100の測位が行われる。制御装置34は、慣性航法装置32によって求められた水中航走体100の位置情報を取得する。当該処理によって、水中航走体100は自機運動検知部76として機能する。制御装置34は、上記のように、音響通信装置36から得られた位置情報により慣性航法装置32によって求められた水中航走体100の位置情報を補正して用いるようにしてもよい。当該処理によって、水中航走体100は自機位置計算部78として機能する。

[0099] ステップS44では、水中航走体100の水中航行の制御が行われる。制御装置34は、ステップS42において取得した位置情報を用いて、現在の水中航走体100の位置から各潜航点における最適目標値（最適目標深度）

を順に追従するように水中航走体100を航行制御する。制御装置34は、主推進器駆動モータ14、垂直舵駆動モータ18、水平舵駆動モータ22に対して駆動制御信号、垂直舵制御信号及び水平舵制御信号をそれぞれ出力して駆動制御し、主推進器12、垂直舵16及び水平舵20を動かして艇体10の挙動を制御する。また、慣性航法装置32の加速度センサやジャイロセンサによって艇体10の運動を検知して艇体10の挙動から位置情報を求められるようにする。このような処理によって、制御装置34は、艇体10を各潜航点において最適目標値（最適目標深度）となるように水中航走体100の運動を制御する。当該処理によって、水中航走体100は艇体運動制御部74として機能する。

[0100] ステップS46では、観測用センサ30によって必要な観測が行われる。すなわち、水中航走体100の潜航の目的である、例えば水底地形400の観測が実施される。制御装置34は、音響通信装置36を介して観測結果を艇体10の外部へ送信するようにしてもよい。当該処理によって、水中航走体100は観測行動実施部80として機能する。

[0101] ステップS48では、緊急浮上が必要か否かが判定される。制御装置34は、障害物センサ28によって水中航走体100の航行の障害となる障害物が検知された場合、ステップS50に処理を移行させて艇体10を緊急浮上させて潜航を終了させる。一方、障害物が検知されていない場合、処理をステップS52に移行させる。当該処理により、水中航走体100は緊急浮上判断部82として機能する。なお、緊急浮上は音響通信装置36を介し、海上の船舶等からの指令により行うこともできる。

[0102] ステップS52では、最終の潜航点に到達したか否かが判定される。制御装置34は、予め設定された潜航点のうち潜航経路の最終地点となる潜航点まで艇体10が到達したか否かを判定し、到達していればステップS54に処理を移行させて、水中航走体100を通常浮上させて潜航を終了させる。最中地点となる潜航点まで艇体10が到達していなければ、ステップS44に処理を戻して次の潜航点に向けての航行制御を継続する。



[0103] 以上のように、本実施の形態における水中航走体の経路設定方法によって設定された潜航経路（各潜航点における目標値）を実現するように水中航走体100の航行制御を行うことによって、水中航走体100を目的に適した潜航経路や潜航姿勢で航行させることができる。これにより、水中航走体100による観測等を最適な状態で実現することができる。

なお、図5として示した本発明の実施の形態における水中航走体の経路設定処理を説明する図は、本実施形態の経路設定方法や水中航走体100を実海域に適用した例である。

水中航走体100として、海洋研究開発機構（Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology）の航行型無人潜水機「うらしま」を使用し、2015年6月に日本の伊豆諸島海域に位置する明神海丘カルデラで海底資源調査の実験を行った例である。この潜航で「うらしま」は全潜航区間を平均高度67m、最小高度39m（設定最小高度40m）で航行している。「うらしま」が全長8mの大型潜水機（AUV）であり、明神海丘カルデラが最大53度の急斜面を有する極めて険しい地形の海底であることを考えると、この結果が大変高い難易度をクリアしたものであることが分かる。最適航路点の導出の際、各航路点の初期深度は当該座標（緯度・経度）の海底深度から120mの上方に設定され、本径路設定方法を用いて各航路点の最適深度（最適な目標値）を導出した。このように、本実施形態の水中航走体100の経路設定方法によれば、初期の目標値120mに対して、平均67m、最小39mまで高度を小さく（目標深度を深く）でき、実海域潜航においても定められた潜航経路に沿っての航行が可能であることが実証できた。

### 産業上の利用可能性

[0104] 本発明は、水中航走体の経路設定及び航行制御のみならず、地形のデータや基準姿勢等の予め設定された条件に応じた移動体の移動経路や移動制御に適用することができる。例えば、航空機、ドローンの移動経路の設定や移動制御に適用することができる。

### 符号の説明

[0105] 10 艇体、12 主推進器、14 主推進器駆動モータ、14a 電池、16 垂直舵、18 垂直舵駆動モータ、20 水平舵、22 水平舵駆動モータ、24 深度計、26 高度計、28 障害物センサ、30 観測用センサ、32 慣性航法装置、34 制御装置、36 音響通信装置、38 音響測位装置、40 処理部、42 記憶部、44 入力部、46 出力部、50 初期設定手段、52 潜航点設定手段、54 目標値設定手段、56 艇体運動モデル設定手段、58 目標値追従シミュレーション実施部、60 潜航高度確認手段、62 繰り返し回数確認手段、64 目標値更新手段、66 最適目標値設定手段、68 最適目標値出力手段、70 最適目標値入力部、72 記憶部、74 艇体運動制御部、76 自機運動検知部、78 自機位置計算部、80 観測行動実施部、82 緊急浮上判断部、100 水中航走体、200 経路設定装置、300 支援船、400 水底地形、500 人工衛星。

## 請求の範囲

- [請求項1] 水中航走体の潜航点を入力する潜航点入力ステップと、  
前記潜航点における初期の目標値を設定する目標値設定ステップと、  
、  
基準としての水底地形のデータと前記目標値とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標値に対する前記水中航走体の潜航経路をシミュレーションする潜航シミュレーションステップと、  
前記潜航シミュレーションステップにおけるシミュレーションで得られた前記潜航経路に基づいて算出される評価関数の値に基づいて前記目標値を更新する目標値更新ステップとを備え、  
前記潜航シミュレーションステップと前記目標値更新ステップを繰り返すことによって最適な前記目標値を導出することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。
- [請求項2] 請求項1に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記目標値は、前記潜航点における目標深度であることを特徴とする水中航走体の経路設定方法。
- [請求項3] 請求項2に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステップを備え、  
前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと前記目標深度とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標深度に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、  
、  
前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標深度を導出することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。
- [請求項4] 請求項3に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度の最小値と前記最小

許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の前記最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標深度を更新することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

[請求項5] 請求項3又は4に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記評価関数の値は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、  
前記目標値更新ステップは、前記評価関数の値が小さくなるように前記目標深度を更新することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

[請求項6] 請求項1に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記目標値は、前記潜航点における目標高度であることを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

[請求項7] 請求項6に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステップを備え、  
前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと前記目標高度とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標高度に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、  
前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標高度を導出することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

[請求項8] 請求項7に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度の最小値と前記最小許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の前記最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標高度を更新することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

- [請求項9] 請求項7又は8に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記評価関数の値は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、  
前記目標値更新ステップは、前記評価関数の値が小さくなるように前記目標高度を更新することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。
- [請求項10] 請求項1に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記目標値は、前記潜航点における前記水中航走体の目標基準姿勢であることを特徴とする水中航走体の経路設定方法。
- [請求項11] 請求項10に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記水中航走体の最小許容高度を設定する最小許容高度設定ステップを備え、前記潜航シミュレーションステップは、前記水底地形のデータと前記目標基本姿勢とを用いて前記水中航走体の運動モデルに基づいて前記目標基本姿勢に対する前記水中航走体の計算潜航高度をシミュレーションし、  
前記計算潜航高度と前記最小許容高度を比較することによって最適な前記目標基本姿勢を導出することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。
- [請求項12] 請求項11に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記目標値更新ステップは、前記計算潜航高度の最小値と前記最小許容高度に差がある場合に、前記計算潜航高度の前記最小値が前記最小許容高度に近づくように前記目標基本姿勢を更新することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。
- [請求項13] 請求項11又は12に記載の水中航走体の経路設定方法であって、  
前記評価関数の値は、複数の前記潜航点における前記計算潜航高度と前記最小許容高度との差の絶対値の総和、もしくは差の二乗の総和とし、前記目標値更新ステップは、前記評価関数の値が小さくなるよ

うに前記目標基本姿勢を更新することを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

[請求項14] 請求項1～13のいずれか1項に記載の水中航走体の経路設定方法であって、

前記潜航シミュレーションステップと前記目標値更新ステップの繰り返し回数が予め定められていることを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

[請求項15] 請求項1に記載の水中航走体の経路設定方法であって、

前記水底地形のデータの代わりに基準経路を用いることを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

[請求項16] 請求項1に記載の水中航走体の経路設定方法であって、

前記水底地形のデータの代わりに、前記潜航点における前記水中航走体の基準角度を用いることを特徴とする水中航走体の経路設定方法。

[請求項17] 請求項1～16のいずれか1項に記載の水中航走体の経路設定方法で得られた最適な前記目標値を用いて前記水中航走体を制御することを特徴とする水中航走体の最適制御方法。

[請求項18] 請求項17に記載の水中航走体の最適制御方法であって、

最適な前記目標値と前記水中航走体の位置を比較して、比較結果に応じて前記水中航走体の運動制御系を制御することを特徴とする水中航走体の最適制御方法。

[請求項19] 請求項18に記載の水中航走体の最適制御方法であって、

最適な前記目標値と前記水中航走体の前記位置が所定の条件を外れた場合に前記水中航走体を緊急浮上させることを特徴とする水中航走体の最適制御方法。

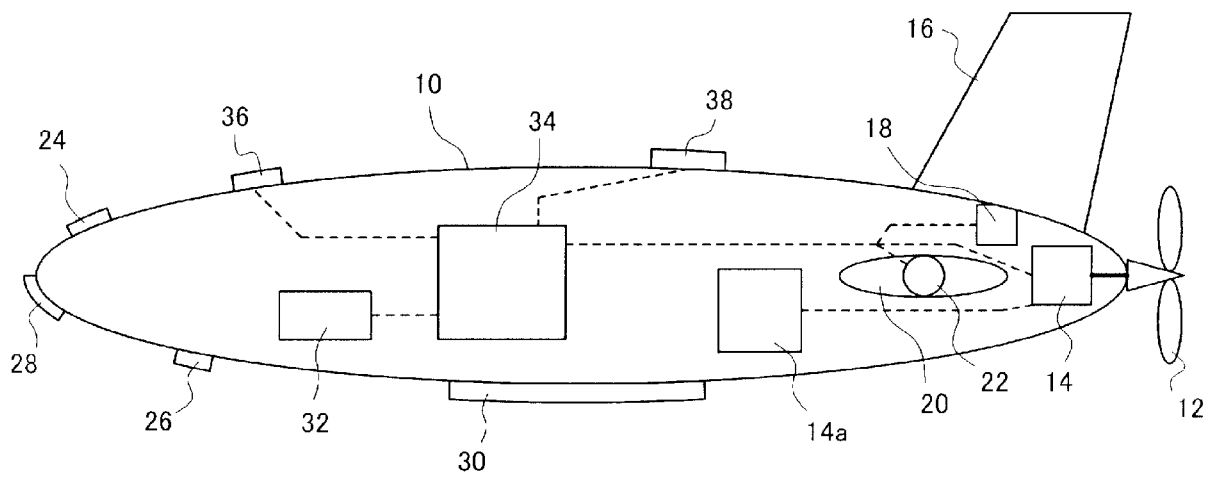
[請求項20] 請求項17～19のいずれか1項に記載の水中航走体の最適制御方法であって、

さらに前記水底地形を観測する観測制御を行うことを特徴とする水

中航走体の最適制御方法。

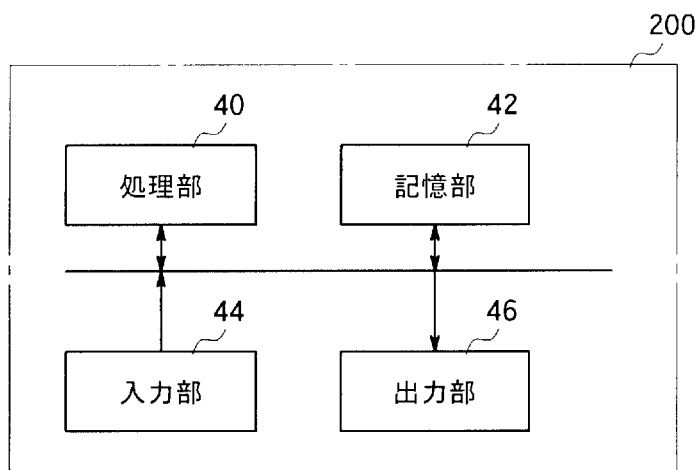
- [請求項21] 請求項1～16のいずれか1項に記載の水中航走体の経路設定方法で得られた最適な前記目標値を取得する目標値取得部と、  
取得された前記目標値を記憶する記憶部と、  
前記記憶部に記憶された前記目標値を用いて駆動手段を制御する運動制御部を備えることを特徴とする水中航走体。
- [請求項22] 請求項21に記載の水中航走体であって、  
深度計測手段、高度計測手段、及び姿勢計測手段の少なくとも1つを備え、  
前記運動制御部は、前記深度計測手段、高度計測手段、及び姿勢計測手段の少なくとも1つの測定値と前記記憶部に記憶された前記目標値とを比較して前記駆動手段を制御することを特徴とする水中航走体。
- [請求項23] 請求項21又は22に記載の水中航走体であって、  
障害物探知手段を備え、  
前記運動制御部は、前記障害物探知手段による検出結果に応じて前記駆動手段を制御することを特徴とする水中航走体。
- [請求項24] 請求項21～23のいずれか1項に記載の水中航走体であって、  
慣性航法手段を備え、  
前記運動制御部は、前記慣性航法手段の出力に基づいて前記駆動手段を制御することを特徴とする水中航走体。
- [請求項25] 請求項21～24のいずれか1項に記載の水中航走体であって、  
前記水底地形を観測する観測手段を備えることを特徴とする水中航走体。

[図1]



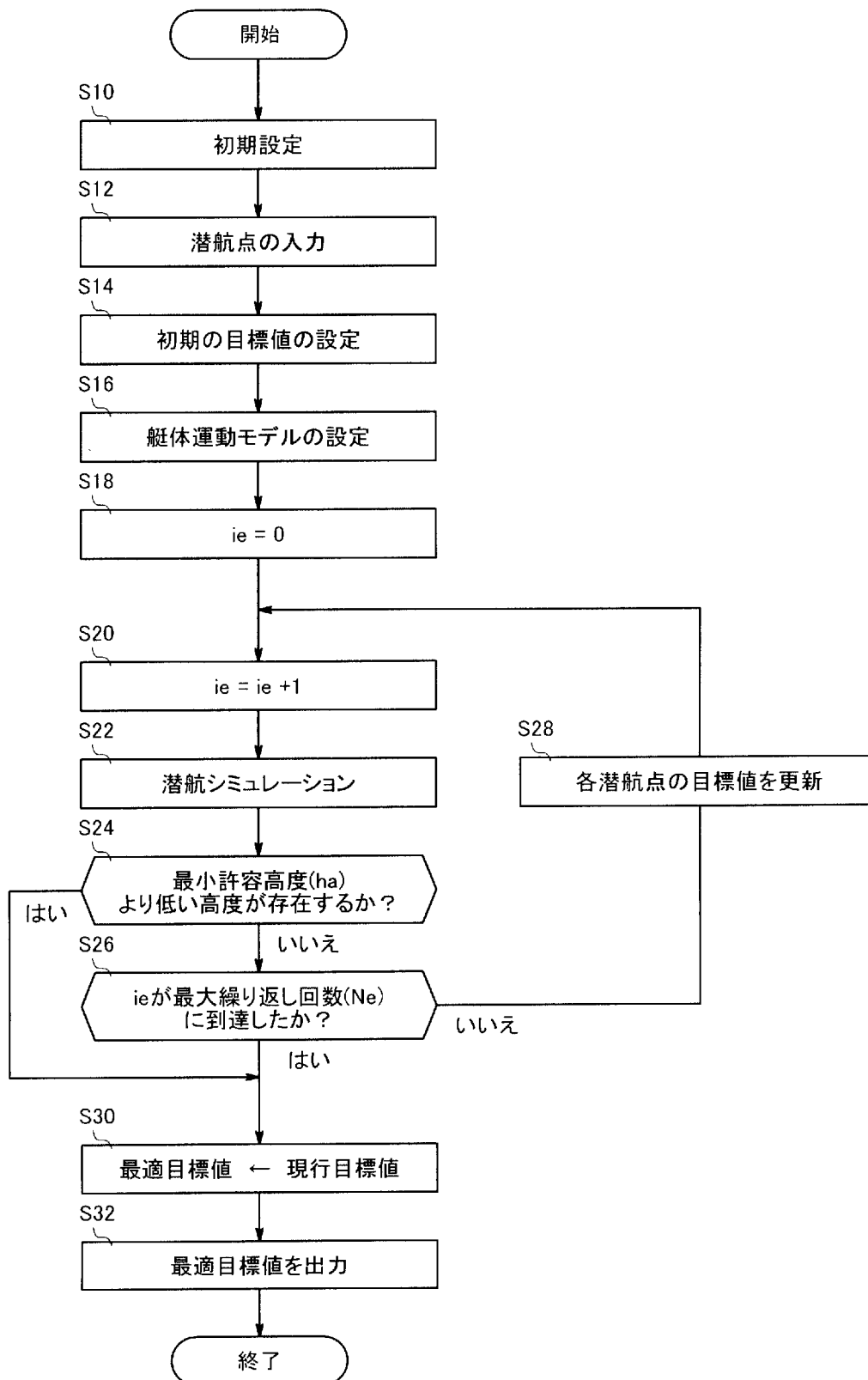
100

[図2]

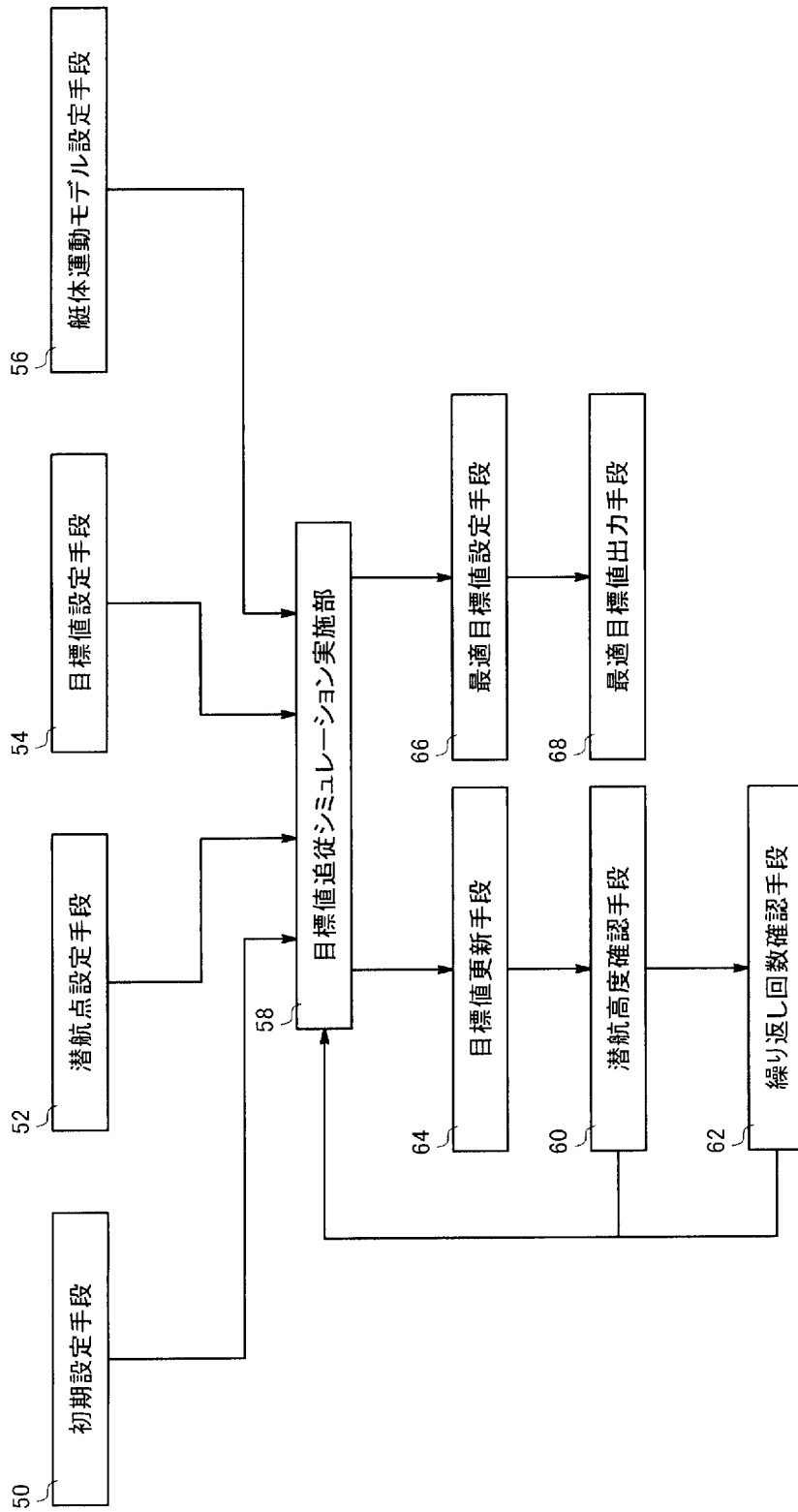




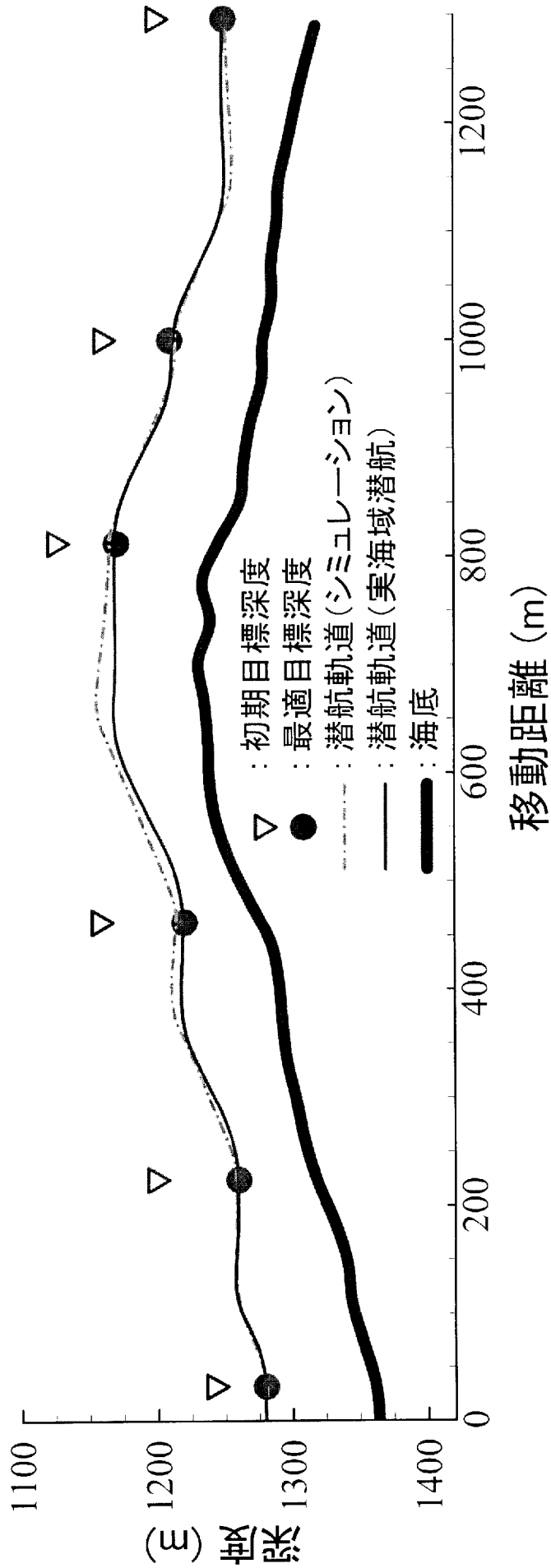
[図3]



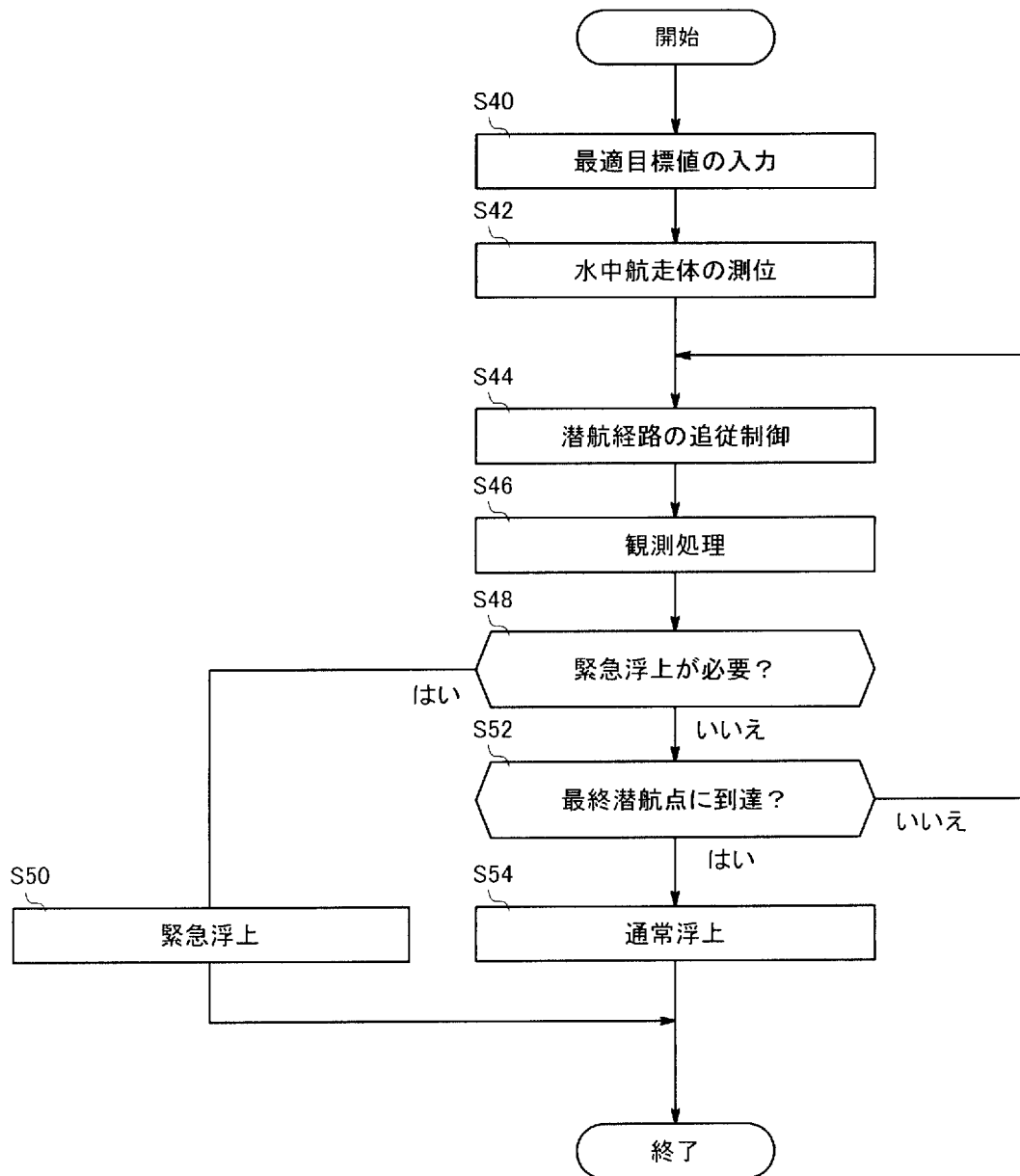
[図4]



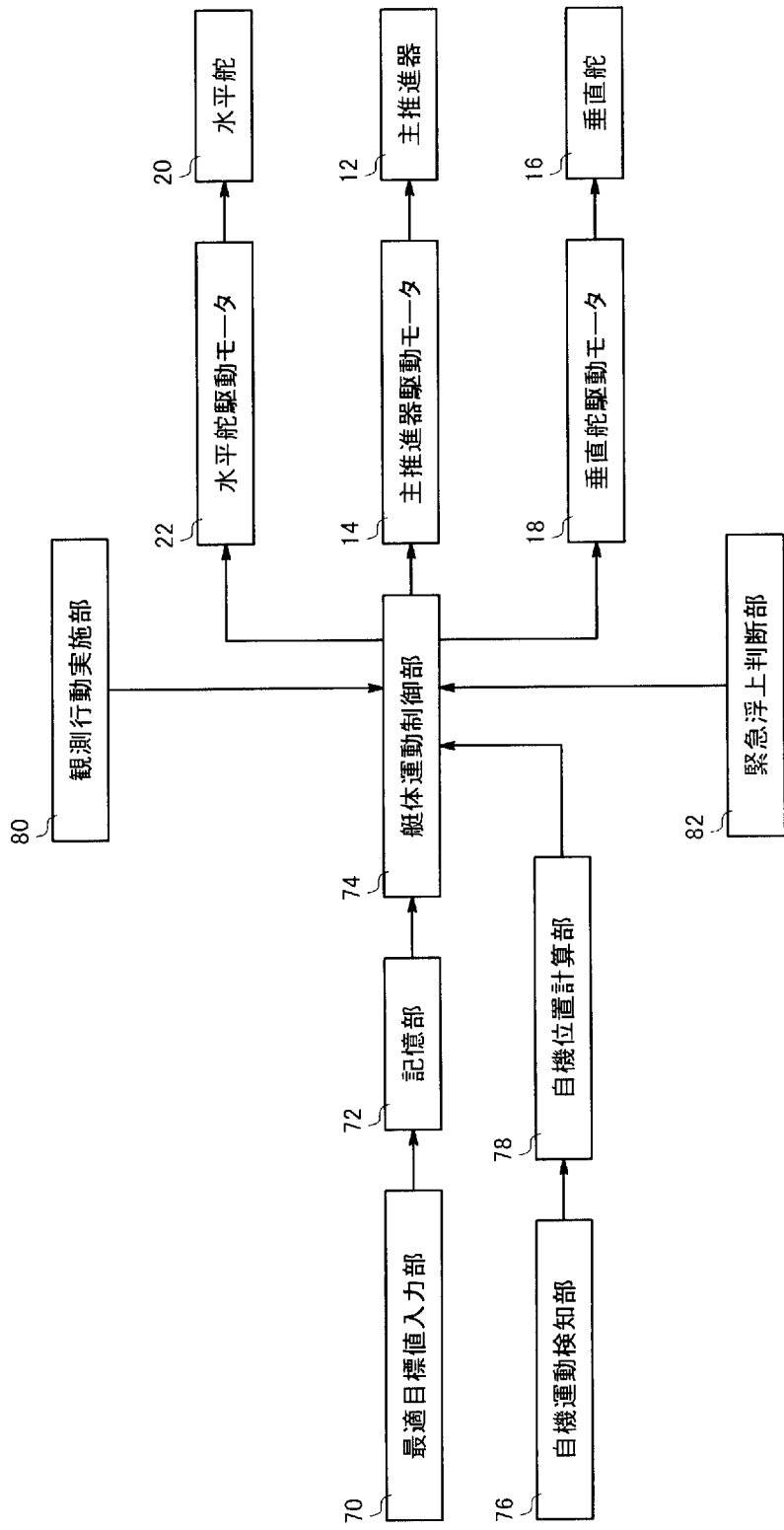
[図5]



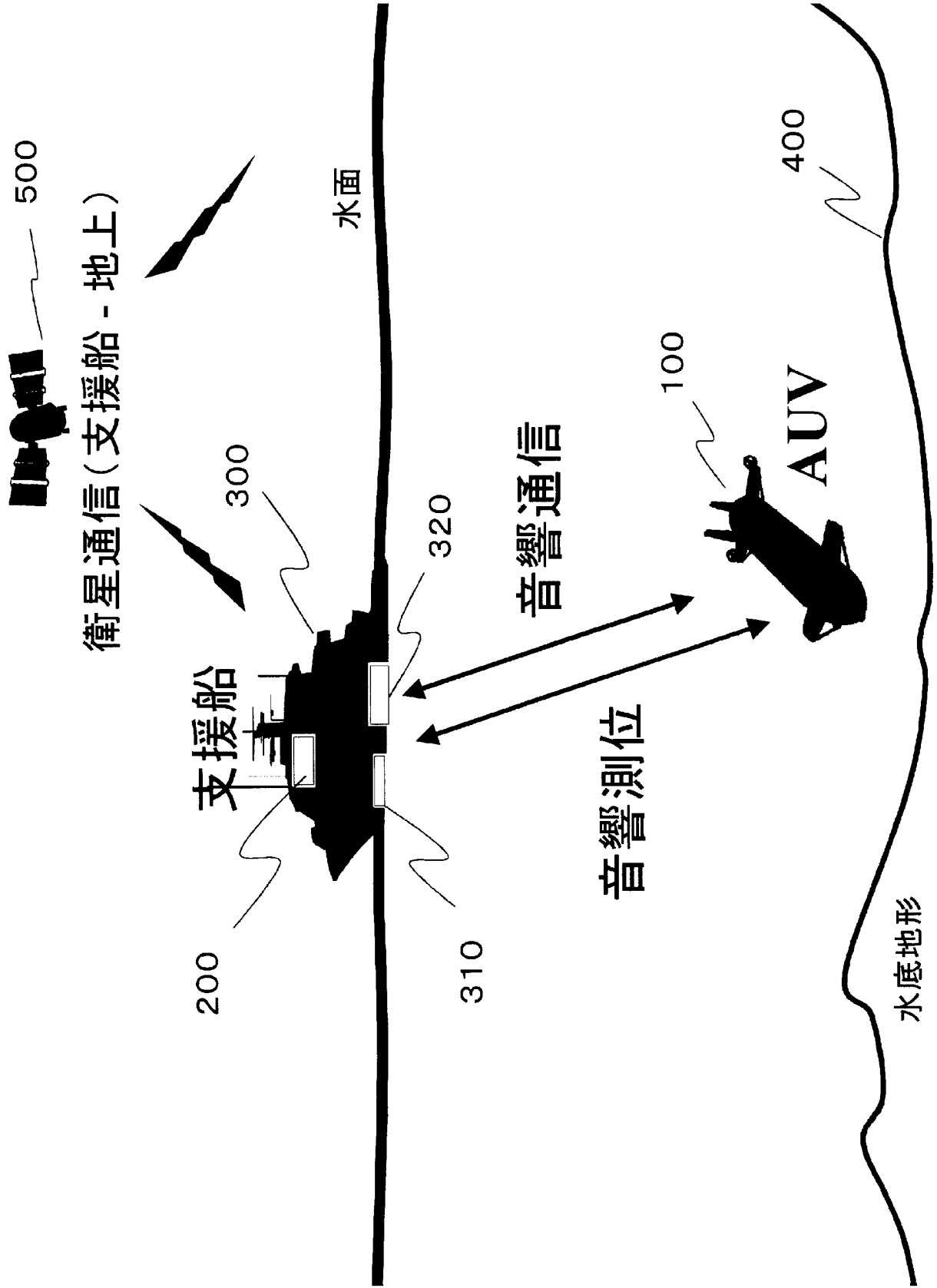
[図6]



[図7]



[图8]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2016/086723

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
B63C11/00(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)  
B63C11/00

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)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2008-265651 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 06 November 2008 (06.11.2008), paragraphs [0007] to [0047]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-2 3-25
Y	JP 2005-193767 A (Kaiyo Denshi Kogyo Co., Ltd.), 21 July 2005 (21.07.2005), paragraphs [0012] to [0014]; fig. 1 (Family: none)	3-25
Y	JP 2005-239027 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 08 September 2005 (08.09.2005), paragraphs [0024] to [0050]; fig. 1 to 8 (Family: none)	6-25

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 16 January 2017 (16.01.17)	Date of mailing of the international search report 14 February 2017 (14.02.17)
---	---

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/JP2016/086723

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2013-141916 A (Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.), 22 July 2013 (22.07.2013), paragraphs [0021] to [0083]; fig. 1 to 17 (Family: none)	10-25
Y	JP 2014-121927 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 03 July 2014 (03.07.2014), paragraphs [0018] to [0051]; fig. 1 to 6 (Family: none)	19-20, 23-25



A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B63C11/00(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 (IPC))

Int.Cl. B63C11/00

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
X Y	JP 2008-265651 A (三菱重工業株式会社) 2008.11.06, 段落[0007]-[0047], 第1-5図 (ファミリーなし)	1-2 3-25
Y	JP 2005-193767 A (海洋電子工業株式会社) 2005.07.21, 段落[0012]-[0014], 第1図 (ファミリーなし)	3-25
Y	JP 2005-239027 A (三菱重工業株式会社) 2005.09.08, 段落[0024]-[0050], 第1-8図 (ファミリーなし)	6-25

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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

16.01.2017

国際調査報告の発送日

14.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 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)

加藤 信秀

3D

3745

電話番号 03-3581-1101 内線 3341

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	JP 2013-141916 A (三井造船株式会社) 2013.07.22, 段落[0021] -[0083], 第1-17図 (ファミリーなし)	10-25
Y	JP 2014-121927 A (三菱重工業株式会社) 2014.07.03, 段落[0018] -[0051], 第1-6図 (ファミリーなし)	19-20, 23-25