

(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9月27日(27.09.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/173563 A1

- (51) 国際特許分類:
G01F 1/00 (2006.01) **F04D 15/00** (2006.01)
F04B 51/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/005265
- (22) 国際出願日: 2018年2月15日(15.02.2018)
- (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 2017-056242 2017年3月22日(22.03.2017) JP
- (71) 出願人: 日本電産株式会社 (NIDEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 山縣 裕巳 (YAMAGATA Hiromi); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP). 稲葉 正剛 (INABA Masatake); 〒6018205 京都

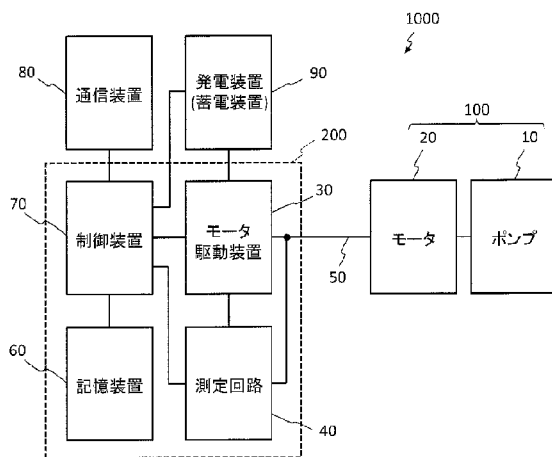
府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 奥田 誠司 (OKUDA Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目 8 番 1 6 号 大阪証券取引所ビル 1 0 階 奥田国際特許事務所 Osaka (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, JP, 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.

(54) Title: PUMP SYSTEM, PUMP FLOW RATE ESTIMATION DEVICE, AND PUMP FLOW RATE ESTIMATION METHOD

(54) 発明の名称: ポンプシステム、ポンプ流量推定装置およびポンプ流量推定方法



- 10 Pump
20 Motor
30 Motor driving device
40 Measurement circuit
60 Storage device
70 Control device
80 Communication device
90 Power generation device (power storage device)

(57) Abstract: In an example embodiment, this pump system is provided with: a pump (10) for drawing a liquid at a first level up to a second level higher than the first level; a motor (20) for causing the pump to operate; a motor driving device (30) for supplying power to the motor; a measurement circuit (40) for monitoring the power; a storage device (60) having, stored therein, first data defining the relationship of the head, which is defined as the difference between the first level and the second level, with the number of rotations of the motor per unit of time and the power and second data defining the relationship of the pump discharge amount per prescribed period of time with the head and the power; and a control device (70). The control device determines an estimated value for the head from the first data on the basis of a measured or estimated value for the rotation speed and the monitored power value, determines an estimated value for the discharge amount from the second data on the basis of the estimated value for the head and the monitored power value, and outputs the estimated value for the discharge amount.

(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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 本開示のポンプシステムは、例示的な実施形態において、第1レベルにある液体を第1レベルよりも高い第2レベルに汲みあげるポンプ(10)と、ポンプを動作させるモータ(20)と、モータに電力を供給するモータ駆動装置(30)と、電力をモニタする測定回路(40)と、第1レベルと第2レベルとの差異によって規定される揚程とモータの単位時間あたりの回転数および電力との関係を規定する第1データ、ならびに、ポンプによる所定時間あたりの吐出し量と揚程および電力との関係を規定する第2データが格納された記憶装置(60)と制御装置(70)とを備える。制御装置は、回転数の測定値または推定値と電力のモニタ値とに基づいて第1データから揚程の推定値を決定し、揚程の推定値と電力のモニタ値とに基づいて第2データから前記吐出し量の推定値を決定し、吐出し量の前記推定値を出力する。

明 細 書

発明の名称：

ポンプシステム、ポンプ流量推定装置およびポンプ流量推定方法

技術分野

[0001] 本願は、ポンプシステム、ポンプ流量推定装置およびポンプ流量推定方法に関する。

背景技術

[0002] 一般にポンプの流量測定は流量計を用いて行われる。特開２００９－２８８２３１号公報は、流量計を用いずに流量を推定する技術を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：特開２００９－２８８２３１号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特開２００９－２８８２３１号公報に開示されている技術では、吸水槽の水位レベルとポンプ中心レベルとの高低差である吸込み実揚程が既知の一定値であることを前提として流量の推定が行われる。しかし、ポンプで例えば井戸の水を汲みあげる場合、井戸の水位は季節によって異なり、また、周りにある他の井戸の汲みあげ状況に応じて大きく変化し得る。言い換えると、上記の吸込み実揚程が一定値であるという仮定は成立しない。従って、上記の流量推定方法には、井戸のように水位が変化する状況で正確な流量推定ができないという課題がある。一方、流量を正確に測定できる流量計は一般に高価である。例えば発展途上にある国々において、多数の深井戸からポンプによって汲みあげた水を灌漑に利用するためには、高価な流量計を用いずにポンプ流量を正確に推定する技術が求められる。

[0005] 本開示の実施形態は、揚程が変化し得る場合でも流量計を用いずに正確度の高い流量推定が可能なポンプシステム、ポンプ流量推定装置およびポンプ

流量推定方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示のポンプシステムは、例示的な実施形態において、第1レベルにある液体を前記第1レベルよりも高い第2レベルに汲みあげるポンプと、前記ポンプを動作させる永久磁石同期モータと、前記永久磁石同期モータに電氣的に接続され、前記永久磁石同期モータに電力を供給するモータ駆動装置と、前記永久磁石同期モータおよび前記モータ駆動装置の少なくとも一方に電氣的に接続され、前記電力をモニタする測定回路と、前記第1レベルと前記第2レベルとの差異によって規定される揚程と前記永久磁石同期モータの単位時間あたりの回転数および前記電力との関係を規定する第1データ、ならびに、前記ポンプによる所定時間あたりの吐出し量と前記揚程および前記電力との関係を規定する第2データが格納された記憶装置と、前記モータ駆動装置、前記測定回路、および前記記憶装置に接続された制御装置とを備える。前記制御装置は、前記回転数の測定値または推定値と前記電力のモニタ値とに基づいて、前記記憶装置に格納された前記第1データから前記揚程の推定値を決定し、前記揚程の前記推定値と前記電力のモニタ値とに基づいて、前記記憶装置に格納された前記第2データから前記吐出し量の推定値を決定し、前記吐出し量の前記推定値を出力する。

[0007] 本開示のポンプ流量推定装置は、例示的な実施形態において、ポンプシステムとともに用いられるポンプ流量推定装置であって、前記ポンプシステムは、第1レベルにある液体を前記第1レベルよりも高い第2レベルに汲みあげるポンプと、前記ポンプを動作させる永久磁石同期モータと、前記永久磁石同期モータに電氣的に接続され、前記永久磁石同期モータに電力を供給するモータ駆動装置とを有している。前記ポンプ流量推定装置は、前記永久磁石同期モータおよび前記モータ駆動装置の少なくとも一方に電氣的に接続され、前記電力をモニタする測定回路と、前記第1レベルと前記第2レベルとの差異によって規定される揚程と前記永久磁石同期モータの単位時間あたりの回転数および前記電力との関係を規定する第1データ、ならびに、前記ポ

ンプによる所定時間あたりの吐出し量と前記揚程および前記電力との関係を規定する第2データが格納された記憶装置と、前記モータ駆動装置、前記測定回路、および前記記憶装置に接続された制御装置とを備える。前記制御装置は、前記回転数の測定値または推定値と前記電力のモニタ値とに基づいて、前記記憶装置に格納された前記第1データから前記揚程の推定値を決定し、前記揚程の前記推定値と前記電力のモニタ値とに基づいて、前記記憶装置に格納された前記第2データから前記吐出し量の推定値を決定し、前記吐出し量の前記推定値を出力する。

[0008] 本開示のポンプ流量推定方法は、例示的な実施形態において、第1レベルにある液体を前記第1レベルよりも高い第2レベルに汲みあげるポンプと、前記ポンプを動作させる永久磁石同期モータと、前記永久磁石同期モータに電氣的に接続され、前記永久磁石同期モータに電力を供給するモータ駆動装置とを備えるポンプシステムにおけるポンプ流量推定方法であって、前記第1レベルと前記第2レベルとの差異によって規定される揚程と前記永久磁石同期モータの単位時間あたりの回転数および前記電力との関係を規定する第1データを用いて、前記回転数の測定値または推定値と前記電力のモニタ値とから前記揚程の推定値を決定し、前記ポンプによる所定時間あたりの吐出し量と前記揚程および前記電力との関係を規定する第2データを用いて、前記揚程の前記推定値と前記電力のモニタ値とから前記吐出し量の推定値を決定する。

発明の効果

[0009] 本開示のポンプシステムの実施形態によれば、実揚程が変化しても正確度の高い流量の推定が可能になる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、水中ポンプによる液体の汲みあげを模式的に示す図である。

[図2A]図2Aは、5個の異なる揚程 ($H = h_1, h_2, \dots, h_5$) ごとに、モータの回転数 R とモータの消費電力 P との関係を示すグラフである。

[図2B]図2Bは、より多数の異なる揚程 ($H = h_0, \dots, h_p, \dots$)

、 h_n ）ごとに、モータの回転数 R とモータの消費電力 P との関係を示すグラフである。

[図3A]図3 Aは、5個の異なる揚程（ $H=h_1$ 、 h_2 、 $\dots$ 、 h_5 ）ごとに、ポンプ吐出し量 Q とモータの消費電力 P との関係を示すグラフである。

[図3B]図3 Bは、より多数の異なる揚程（ $H=h_0$ 、 $\dots$ 、 h_p 、 $\dots$ 、 h_n ）ごとに、ポンプ吐出し量 Q とモータの消費電力 P との関係を示すグラフである。

[図4]図4は、本開示によるポンプシステムの例を示すブロック図である。

[図5]図5は、本開示によるポンプシステムの実施形態の構成例を模式的に示す図である。

[図6]図6は、本開示の実施形態において、水位の変化を模式的に示す図である。

[図7]図7は、本開示の実施形態に用いられ得るコントロールユニットの内部構成の例を示す図である。

[図8]図8は、本開示の実施形態に用いられ得るインバータ回路の構成例を示す図である。

[図9]図9は、本開示のポンプシステムで実行され得る動作の一部を示すフローチャートである。

[図10]図10は、本開示のポンプシステムで実行され得る動作の他の一部を示すフローチャートである。

[図11]図11は、本開示によるポンプシステムの変形例を模式的に示す図である。

[図12]図12は、本開示の実施例における電力（発電電力およびモータ消費電力）の時間依存性を示すグラフである。

[図13]図13は、本開示の実施例における流量の推定値および揚程の推定値の時間依存性を示すグラフである。

[図14]図14は、本開示の実施例におけるモータ回転数および流量の時間依存性を示すグラフである。

[図15]図 1 5 は、本開示の実施例における流量の推定値、および流量計で測定された流量の値（比較例）との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0011] <流量推定の基本原理>

本開示のポンプシステムの実施形態を説明する前に、本開示のポンプシステムで実行するポンプ流量推定の基本原理を説明する。

[0012] 本発明者らは、第 1 レベルにある液体を第 1 レベルよりも高い第 2 レベルに汲みあげるポンプシステムにおいて、ポンプ流量の推定に必要な「揚程」を、モータの消費電力およびモータの単位時間あたりの回転数から求め得ることを見いだした。本明細書における「揚程」の用語は、第 1 レベルと第 2 レベルとの差異（高低差）によって規定される。また本明細書では「モータの単位時間あたりの回転数」を単に「モータの回転数」または「モータ速度」と称することがある。

[0013] 図 1 は、第 1 液槽 1 1 L に蓄えられた液体 1 2 を揚水管 1 3 で汲みあげ、第 2 液槽 1 1 U に与える構成例を模式的に示す図である。ポンプユニット 1 0 0 は、後に詳しく説明するように、ポンプとモータとを有し、第 1 液槽 1 1 L の液体内に完全に浸かった状態で動作する。ポンプユニット 1 0 0 のポンプは、例えばインペラなどの不図示の羽根を有している。この羽根はモータの回転軸と機械的に連結され、モータの回転に応じて回転する。ポンプユニット 1 0 0 の不図示の吸い込み口から吸い込まれた液体 1 2 は、ポンプユニット 1 0 0 によって揚水管 1 3 の内部を上方に押し上げられる。図示される例においては、第 1 液槽 1 1 L の液面のレベル（第 1 レベル）L 1 から、汲みあげの最高位置（第 2 レベル）L 2 までの高低差 H が実揚程である。

[0014] ポンプユニット 1 0 0 が例えば深井戸の水を汲みあげる場合、ポンプユニット 1 0 0 が液体に与えるエネルギーの大部分は位置エネルギーの増加に転化する。しかし、残りのエネルギーは管内損失および流体運動エネルギーとして消費され得る。管内損失および流体運動エネルギーを無視できる場合、第 1 レベルと第 2 レベルとの高低差（実揚程）を全揚程として扱うこともできる。一方

、管内損失などを無視できない場合は、本開示における「揚程」として、例えば管内損失を実揚程に加算した値を用いればよい。以下、簡単のため、管内損失などが無視できる場合、すなわち「全揚程」が「実揚程」に等しいと近似できる例を説明する。また、単なる「揚程」の用語は「実揚程」を意味するものとする。

[0015] 図2Aは、複数の異なる揚程 ($H = h_1, h_2, \dots, h_5$) ごとに、モータの回転数 R とモータの消費電力 P との関係を示すグラフである。ここで、 $h_1 < h_2 < h_3 < h_4 < h_5$ の不等式が成立する。図2Aに示されるように、各揚程 ($H = h_1, h_2, \dots, h_5$) で、モータの回転数 R は消費電力 P の増加に伴って増大する。また、モータの回転数 R が同じでも、揚程 H が大きくなるほど、モータの消費電力 P は増大する。なお、前述したように、モータの回転数 R は、モータの単位時間あたりの回転数であり、典型的には、1分あたりの回転数 (単位: rpm) である。

[0016] 図2Aのグラフは、揚程 H とモータの回転数 R および消費電力 P との関係を表現しているといえる。本開示においてポンプ流量または吐出し量を推定するには、まず、揚程 H とモータの回転数 R および消費電力 P との関係を示すデータを、実験またはシミュレーションにより、取得しておき、このデータを参照して、回転数 R および消費電力 P から揚程 H の値を決定する。

[0017] 図2Aのグラフに示されるデータでは、揚程 H が離散的かつ疎である。より多数の異なる揚程についてモータの回転数 R と消費電力 P との関係を実験などによって求めることもできる。しかし、図2Aのグラフに示されるデータの補間処理を実行することにより、更の他の多数の揚程についてモータの回転数 R および消費電力 P との関係を取得することもできる。図2Bのグラフは、図2Aのデータから補完処理によって得られた極めて多数の揚程 ($H = h_0$ から h_n) ごとにモータの回転数 R および消費電力 P との関係を示す曲線を示している。図2Bのグラフでは、揚程 H は密であり、補完回数の極限では連続し得る。このグラフにおける揚程 H の間隔またはピッチは、揚程の推定値の分解能に相当する。分解能として例えば0.5メートルが設定され

る場合、0.5メートルずつ異なる複数の揚程について、モータの回転数Rおよび消費電力Pとの関係を求めればよい。揚程の想定される変動の幅が例えば10メートルから60メートルの場合、揚程については、 $H = 10$ 、 10.5 、 11 、 11.5 、 $\dots$ 、 55.5 、60メートルのそれぞれについて、モータの回転数Rおよび消費電力Pとの関係を決定しておけばよい。

[0018] 揚程Hとモータ回転数Rおよび消費電力Pとの関係は、近似関数 $F_1(R, P)$ によっても表現され得る。このような近似関数 $F_1(R, P)$ を用いれば、モータの回転数Rおよび消費電力Pを与えると、揚程Hが算出される。

[0019] 近似関数を用いる代わりに、ルックアップテーブルなどのテーブルによって上記の関係を表現することもできる。図2Bを参照して、回転数 $R = R_p$ および消費電力 $P = P_p$ が与えられたときの、揚程Hの決定の仕方を説明する。回転数 $R = R_p$ を示す矢印と消費電力 $P = P_p$ を示す矢印とが交差する位置（ドット）を通過する曲線が破線で示されている。この破線の曲線は、揚程 $H = h_p$ のときにおける回転数Rと消費電力Pとの関係を示している。このことから、揚程Hは h_p であると推定できる。前述のテーブルは、回転数Rおよび消費電力Pの可能なセットのそれぞれに対して揚程Hの値が割り当てられた構成を有している。

[0020] 上記の近似関数（数式）およびテーブルは、いずれも、揚程とモータの回転数および消費電力との関係を規定するデータ（第1データ）である。揚程とモータの回転数および消費電力との関係を規定する第1データがあれば、ポンプシステムの動作時において、モータの回転数および消費電力から、揚程を推定することができる。深井戸のように水位を実際に測定することが困難な状況でも、本開示によれば高い精度で揚程の推定が可能になる。なお、モータの回転数および消費電力は、永久磁石同期モータの制御アルゴリズムを実行する際に、容易に測定または推定することができる。また、モータの消費電力は、モータに供給される電力（供給電力）に略一致するため、本開示においては、モータの消費電力は、モータに供給される電力（供給電力）

と等価的に扱われてもよい。

[0021] 図3 Aは、複数の異なる揚程 ($H = h_1, h_2, \dots, h_5$) ごとに、モータの消費電力 P とポンプ吐出し量 Q との関係を示すグラフである。ポンプ吐出し量 Q は、所定時間あたりの吐出し量である。所定時間を1分とするとき、所定時間あたりの吐出し量は、リットル／分または立方メートル／分の単位で表される「流量 (flow rate)」に相当する。図3 Aおよび図3 Bのグラフにおける縦軸の「吐出し量 Q 」は、1分あたりの吐出し量 (単位: リットル／分) であり、ポンプの流量に相当する。縦軸のスケールは任意である。横軸の単位は、例えばワットであり、そのスケールも任意である。

[0022] 図3 Aのデータは、異なる複数の揚程ごとに、モータの消費電力 P とポンプ吐出し量 Q との関係を実測することによって取得できる。図3 Bは、図3 Aのデータを補完して作成されたグラフを示している。図3 Bのグラフは、ポンプ吐出し量 Q と揚程 H およびモータ消費電力 P との関係を示している。この関係に基づくと、ポンプ吐出し量 Q は近似関数 $F_2(P, H)$ によって表現され得る。このような近似関数 $F_2(P, H)$ を用いれば、モータの消費電力 P および揚程 H を与えると、ポンプ吐出し量 Q が算出される。

[0023] 近似関数を用いる代わりに、ルックアップテーブルなどのテーブルによって上記の関係を表現することもできる。図3 Bを参照して、揚程 $H = h_p$ および消費電力 $P = P_p$ が与えられたときの、ポンプ吐出し量 Q の決定の仕方を説明する。揚程 $H = h_p$ の曲線 (破線) と消費電力 $P = P_p$ を示す矢印とが交差する位置 (ドット) を求める。この位置 (ドット) におけるポンプ吐出し量 Q の読み、すなわち $Q = Q_p$ がポンプ吐出し量 Q の推定値である。

[0024] このように本開示のポンプシステムによれば、ポンプの流量またはポンプ吐出し量を求めるために、まず、モータの回転数および消費電力に基づいて揚程の推定を行う。このため、例えば井戸の水位が周辺地域の汲みあげ状況、季節によって変化しても、それに伴う揚程の変化が考慮された、正確度の高いポンプ吐出し量の推定が実現する。

[0025] なお、深井戸において、水中ポンプにモータの回転数検出センサを取り付けるには、センサ用の長いケーブル配線が必要であるため、敷設の手間およびコストが増加するという問題がある。しかし、センサレスのベクトル制御によって動作する永久磁石同期モータによれば、回転数検出センサを水中ポンプに取り付けなくとも、モータの回転数を正確に求めることが可能である。また、モータの消費電力も、モータ駆動装置の回路によって測定可能であるため、特別の装置を水中ポンプに取り付ける必要もない。

[0026] 上記の説明から明らかなように、本開示における「揚程」は、現実の揚程の変動を流量の推定に反映させるパラメータであると解釈することもできる。従って、揚程の推定値が、第1レベルから第2レベルまでの距離Hの現実の値に一致している必要はない。

[0027] なお、モータの消費電力は、モータに供給される電力から「損失」を差し引いた値を持つ。この損失の大部分はケーブルのジュール熱である。ケーブルによる損失の大きさは、モータに供給される電力の数パーセント程度である。このため、損失は無視することもできる。また、個々のポンプシステムにおいて、ケーブルの長さおよび導体部の比抵抗は変動しないため、損失の原因となる抵抗の大きさは一定値と取り扱える。モータの消費電力とモータに供給される電力との関係も単純な関係（例えば比例関係）で近似できる。本願では、モータの消費電力を例として本開示の動作を説明するが、前述したように、モータの消費電力とモータに供給される電力とは等価に扱うことができ、両者を区別する意義はない。

[0028] <ポンプシステムの基本構成>

以下、図4を参照して、本開示のポンプシステムの基本構成例を説明する。

[0029] 図4は、本実施形態におけるポンプシステム1000の一例を示している。図示される例において、ポンプシステム1000は、ポンプユニット100とコントロールユニット200とを備えている。

[0030] ポンプユニット100は、ポンプ10と、ポンプ10を動作させるモータ

20とを有している。本実施形態におけるポンプ10は、水中に浸かった状態で使用される水中ポンプである。本開示のポンプシステムは、深井戸の水の汲みあげに好適に用いられ得るが、汲みあげの対象は水に限定されず、湯、石油、その他の液体であってもよい。ポンプ10は、図4には記載されていない揚水管を用いて第1レベルにある液体を第1レベルよりも高い第2レベルに汲みあげることができる。揚程は、図1を参照して説明したように、第1レベルと第2レベルとの差異（高低差）によって規定される。

[0031] モータ20は、永久磁石同期モータである。永久磁石同期モータの典型例は、ブラシスレDCモータである。モータ20は、水中での動作が可能な構成を備えている。好ましい態様において、モータ20は、ホール素子、ロータリエンコーダなどの回転位置検出センサを有していない「センサレス型」である。

[0032] コントロールユニット200は、通常、地上に設置されて使用される。コントロールユニット200は、モータ20に電力を供給してモータ20を駆動するモータ駆動装置30と、この電力（消費電力）をモニタする測定回路40とを備えている。

[0033] モータ駆動装置30は、ケーブル50によってモータ20に電氣的に接続されている。簡単のため、ケーブル50は1本の線で図示されているが、現実のケーブル50は、例えばU、V、W相の電流がそれぞれ流れる複数の配線の束であり得る。ケーブル50は、不図示の水位計に接続される配線を含んでいてもよい。モータ駆動装置30の典型例は、インバータ回路を含む。インバータ回路は、複数のスイッチング素子が相互に接続されたブリッジ回路を含み、直流電源から複数相の交流電力を生成することができる。モータ駆動装置30は、インバータ回路における各スイッチング素子のゲートを駆動するゲートドライバ回路を含み得る。ゲートドライバ回路は、後述する制御装置70に含まれていてもよい。

[0034] 測定回路40は、モータ20およびモータ駆動装置30の少なくとも一方に電氣的に接続されている。測定回路40は、モータ駆動装置30からモータ

タ 20 に供給される電力（モータの消費電力）をモニタする。この電力（モータの消費電力）は、モータ 20 に印加される電圧とモータ 20 を流れる電流とから求めることができる。一般に、モータに印加される電圧とモータを流れる電流は、ブラシレス DC モータなどの永久磁石同期モータを駆動するときに測定される。このため、電力をモニタするための測定回路 40 を用いることは、特に装置の構成を複雑にすることはなく、製造コストの増加も生じない。測定回路 40 は、電圧を測定する回路と電流を測定する回路とに分離されていてもよい。図 4 の例において、測定回路 40 はモータ駆動装置 30 およびケーブル 50 に接続されているが、測定回路 40 の接続先は、この例に限定されない。

[0035] 本実施形態におけるポンプシステム 1000 は、さらに記憶装置 60 および制御装置 70 を備えている。図示されている例において、記憶装置 60 および制御装置 70 は、コントロールユニット 200 の内部に設けられている。記憶装置 60 の典型例は半導体メモリであるが、記憶装置 60 は、他の記憶媒体から構成されていてもよい。また、図において、記憶装置 60 は 1 個のブロックとして記載されているが、記憶装置 60 は複数のメモリデバイスを含んでいてもよい。記憶装置 60 を構成する複数のメモリデバイスは、異なる種類の記憶媒体、例えば、EEPROM、ソリッドステートドライブ、ハードディスクドライブなどの不揮発性メモリデバイス、および RAM などの揮発性メモリデバイスを含み得る。複数のメモリデバイスの一部が着脱可能なメモリデバイスであってもよい。

[0036] 制御装置 70 の典型例は、1 個または複数の半導体集積回路チップから構成された半導体装置である。本実施形態における制御装置 70 の主要部は、市販のマイクロコントローラユニット (MCU) から実現され得る。制御装置 70 と記憶装置 60 とが別々の電子部品である必要はない。記憶装置 60 の少なくとも一部が、制御装置 70 を構成する半導体チップとともに 1 個の半導体パッケージ内に搭載されていてもよい。

[0037] 記憶装置 60 には、揚程とモータ 20 の回転数および消費電力との関係を

規定する第1データが格納されている。第1データを用いることにより、モータ20の回転数および消費電力から、揚程の推定値を決定することができる。モータ20の回転数、すなわちモータ速度は、モータ20に取り付けられたロータ位置センサによっても検出され得るが、本実施形態で使用されているモータ20は、ロータ位置センサを備えていないセンサレス型である。このため、本実施形態では、ベクトル制御アルゴリズムを実行する過程で推定されるロータの回転位置からモータ速度（回転数）の推定値を取得する。

[0038] 記憶装置60には、ポンプ10による所定時間あたりの吐出し量（ポンプ流量）と揚程およびモータ消費電力との関係を規定する第2データも格納されている。第2データを用いることにより、揚程および消費電力から、ポンプ10による所定時間あたりの吐出し量の推定値を決定することができる。

[0039] ある好ましい態様において、第1データおよび第2データは、ポンプシステムの出荷段階から記憶装置60に格納されている。しかし、ポンプシステム1000が現場に設置されたとき、または、それ以降に、第1データおよび第2データが記憶装置60に書き込まれてもよい。また、第1データおよび第2データの内容が、ポンプシステム1000の設置後にアップデートされたり、部分的に修正されたりしてもよい。

[0040] 制御装置70は、バスラインまたは他の配線などにより、モータ駆動装置30、測定回路40、および記憶装置60に接続されている。制御装置70は、モータ速度の測定値または推定値とモータ消費電力のモニタ値とに基づいて、記憶装置60に格納された第1データから揚程の推定値を決定する。制御装置70は、揚程の推定値を決定したとき、揚程の推定値を記憶装置60または他の記憶装置に保存する。また、制御装置70は、揚程の推定値とモータ消費電力のモニタ値とに基づいて、記憶装置60に格納された第2データから吐出し量の推定値を決定し、吐出し量の推定値を出力する。なお、吐出し量の推定値を決定するときは、保存されている揚程の推定値を記憶装置から読み出し、モータ消費電力のモニタ値を測定回路から取得する。

[0041] 第1データは、必ずしも図2Bに示されているような補間後のデータであ

る必要はない。例えば図 2 A に示されるように、揚程の予め選択された比較的少数の値（例えば 5 から 10 個）のそれぞれについて回転数と電力との関係を規定する数値データを含んでいてもよい。この場合、制御装置 70 は、回転数の測定値または推定値と電力のモニタ値とを取得した後、この数値データに基づいて、揚程の予め選択された複数の値から、例えば補間計算により、揚程の推定値を算出することができる。

[0042] 図 4 に示される例において、ポンプシステム 1000 は、さらに通信装置 80 および発電装置 90 を備える。モータへの電力供給源としては、発電装置 90 に加えて、または発電装置 90 の代わりに、二次電池などの蓄電装置を備えていてもよい。

[0043] 通信装置 80 は、制御装置 70 に接続されている。通信装置 80 は、無線および／または有線により、インターネットその他のネットワークに接続され得る。通信装置 80 を介してポンプシステム 1000 と通信する外部の機器の例は、スマートフォンなどの携帯端末、およびクラウドサーバとして機能し得るコンピュータなどを含み得る。

[0044] 制御装置 70 は、1 日に少なくとも 1 回、回転数の測定値または推定値と電力のモニタ値とを取得し、揚程の推定値を更新する。制御装置 70 は、ポンプ 10 による単位時間あたりの吐出し量の推定値を含む情報を通信装置 80 から外部に送信し得る。また、制御装置 70 は、ポンプ 10 による単位時間あたりの吐出し量（流量）の推定値を含む情報を通信装置 80 から外部に周期的に送信してもよいし、外部からの要求に応答して送信してもよい。吐出し量の推定値を含む情報は、例えば、1 日あたりの吐出し量、1 時間あたりの吐出し量、数分ごとの吐出し量を含み得る。このような情報は、モータ 20 の消費電力、回転数などに関する他のモータ情報を含んでよい。このように本開示のポンプシステムによれば、通信装置 80 を用いることにより、遠隔からでもポンプの吐出し量（流量）などをモニタすることが可能になる。

[0045] 制御装置 70 は、発電装置 90 にも接続されている。好ましい態様におい

て、発電装置 90 の動作を制御するようにプログラムされている。発電装置 90 は、モータ駆動装置 30 の電力を供給する。発電装置 90 の例は、太陽電池 (Photovoltaic Cells) パネルを含む太陽光発電装置であり、直流電力をモータ駆動装置 30 に供給する。発電装置 90 の代わりに蓄電装置がモータ駆動装置 30 に接続されている場合も、蓄電装置からモータ駆動装置 30 には直流電力が供給される。

[0046] 発電装置 90 を用いることなく、系統 (グリッド) から直接または間接的にモータ駆動装置 30 に電力が供給されてもよい。その場合、交流を直流に変換する回路がモータ駆動装置 30 の前段または内部に設けられ得る。

[0047] 制御装置 70 は、揚程および吐出し量の推定に必要な動作を行うだけでなく、モータ制御および発電制御に必要な動作を行うこともできる。すなわち、制御装置 70 は、モータ駆動装置 30 を制御する信号を生成し、この信号をモータ駆動装置 30 に送出する。また、制御装置 70 は、発電装置 90 太陽電池パネルの発電量に応じて、モータ駆動装置を制御する信号を生成する。

[0048] <実施形態>

1. 構成

以下、本開示のポンプシステムの非限定的で例示的な実施形態を説明する。

[0049] 図 5 は、太陽電池パネルがポンプシステムの発電機能を担う実施形態 (ソーラポンプシステム) の構成例を模式的に示している。

[0050] 本実施形態におけるポンプシステム 2000 は、井戸 400 の底近くに位置するポンプ 10 およびモータ 20 を含むポンプユニット 100 と、ポンプユニット 100 に接続された揚水管 13 と、地上に位置するコントロールユニット 200 と、ポンプユニット 100 に供給する電力を生成する太陽電池パネル 300 とを備えている。揚水管 13 の長さは、例えば 10 メートル以上 100 メートル以下であり得る。

[0051] ポンプ 10 は、揚水管 13 を介して、第 1 レベル L1 にある水を第 1 レベ

ル L_1 よりも高い第2レベル L_2 に汲みあげることができる。第1レベル L_1 から地面 G までの距離を H_1 、地面 G から第2レベル L_2 までの距離を H_2 とすると、揚程 H は、 $H_1 + H_2$ で示される。図6は、本実施形態のポンプシステム2000において、第1レベル L_1 で示される井戸の水位が図5の例に比べて低下した状態を模式的に示している。井戸の水位が変動すると、第1レベル L_1 から地面 G までの距離 H_1 が変化するため、地面 G から第2レベル L_2 までの距離 H_2 が一定であっても、揚程 H が変化する。揚程 H が変化することは、吐出し量の推定を行うとき、図3Bのグラフに示される曲線群から選択すべき曲線を変更することを必要とする。本実施形態によれば、モータ20の動作状態を地上でモニタすることにより、前述した第1データに基づいて揚程 H の推定値を取得することができる。このため、揚程 H の変動に応じて、適切な式またはテーブルを選択して正確度が向上した吐出し量の推定が実現する。

[0052] 井戸400の上部は蓋15で閉じられている。揚水管13の一端はポンプユニット100に接続され、他端は吐出管14に接続されている。吐出管14の先は、水を貯えるタンク、または灌漑用水路などに水を吐き出すように配置される。ケーブル50は、蓋15の開口孔を通してポンプユニット100内のモータ20と地上のコントロールユニット200とを電氣的に接続している。

[0053] 太陽電池パネル300は、地面 G に固定された台62の支柱64によって支持されている。太陽電池パネル300を含む発電装置は、コントロールユニット200に電氣的に接続されている（図4参照）。図5に示されている例では、コントロールユニット200も支柱64によって支持されている。図に記載されている地面 G は平坦であるが、地面 G は傾斜していたり、起伏を有していたりしてもよい。

[0054] コントロールユニット200の内部構成は、図4を参照して説明したように、モータ駆動装置30と、測定回路40と、記憶装置60と、制御装置70と備えている。図4の通信装置80の回路部分は、コントロールユニット

200と同一の筐体内に設けられており、通信装置80のアンテナは図示されていない。図4の発電装置90が図5に示されるような太陽電池パネル300を含む場合、太陽電池パネル300が生成する電力を制御するための公知の発電制御回路（不図示）がコントロールユニット200に付加され得る。発電制御回路は、降圧回路または昇圧回路などのコンバータを含み得る。好ましい実施形態において、MPPT（Maximum Power Point Tracker：最大電力点追従）制御が行われる。MPPT制御に必要な演算の一部または全部は、図4の制御装置70が実行してもよい。MPPT制御に必要な演算は他のマイクロコントローラ（不図示）が行ってもよい。

[0055] 太陽電池パネル300の発電量は太陽高度に応じて変化する。このため、本実施形態における制御装置70は、太陽電池パネル300の発電量に応じてモータ駆動装置30を制御する信号を生成する。太陽高度が高く、太陽電池パネル300の発電量が相対的に多いとき、モータ20は、その消費電力が大きくなるようにモータ駆動装置30によって駆動される。

[0056] 図7を参照して、本実施形態におけるコントロールユニット200の構成例を説明する。図7に示される例において、コントロールユニット200は、モータ駆動装置30として機能するインバータ回路30Aと、測定回路40として機能する電流測定器40Aおよび電圧測定器40Bと、制御装置70として機能する半導体集積回路72とを有している。半導体集積回路72は、マイクロコントローラユニット（MCU）70Aと、メモリ46と、A/D変換回路42、44とをさらに有している。

[0057] インバータ回路30Aは、ステータ20Sおよびロータ20Rを有するブラシレスDCモータ20Aに電氣的に接続されている。より詳細には、ステータ20SはU相巻線、V相巻線、およびW相巻線を有しており、それぞれ、インバータ回路30AのU相出力、V相出力、およびW相出力に電氣的に接続されている。

[0058] 図8は、インバータ回路30Aの基本構成を示す図である。インバータ回

路30Aは、モータ20Aの3相（U、V、W相）の巻線に電氣的に接続されている。図8に例示されるインバータ回路30Aは、フルブリッジインバータを備える汎用的なインバータ回路であり、一般的には、直流電源500に接続されて使用され得る。前述した発電装置90が直流電源500として機能する。MPP T制御を行うため、直流電源500が出力する電圧は、太陽電池パネルの発電量に応じて変化し得る。

[0059] 図8のインバータ回路30Aは、スイッチング素子 HS_1 、 HS_2 、 HS_3 、 LS_1 、 LS_2 、 LS_3 を備えている。スイッチング素子 HS_1 、 HS_2 、 HS_3 、 LS_1 、 LS_2 、 LS_3 は、それぞれ、例えば還流ダイオードを内蔵したMOS型電界効果トランジスタ（MOSFET）、または、還流ダイオード素子が並列的に接続されたMOSFETであり得る。MOSFETの代わりに、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）が用いられてもよい。これらのスイッチング素子 HS_1 、 HS_2 、 HS_3 、 LS_1 、 LS_2 、 LS_3 は、3相のフルブリッジ回路を構成している。スイッチング素子 HS_1 、 HS_2 、 HS_3 、 LS_1 、 LS_2 、 LS_3 のそれぞれのゲート電極（ゲート端子）は、図7のMCU70Aに接続されている。

[0060] より詳細には、スイッチング素子 HS_1 および LS_1 は、直流電源500の正側に接続されたハイサイドラインPLと、負側に接続されたローサイドラインNLとの間で第1の接続点N1を介して直列に接続されている。第1の接続点N1は、ステータ20SにおけるU相巻線の一端に接続されている。スイッチング素子 HS_2 および LS_2 は、ハイサイドラインPLとローサイドラインNLとの間で第2の接続点N2を介して直列に接続されている。第2の接続点N2は、ステータ20SにおけるV相巻線の一端に接続されている。スイッチング素子 HS_3 および LS_3 は、ハイサイドラインPLとローサイドラインNLとの間で第3の接続点N3を介して直列に接続されている。第3の接続点N3は、ステータ20SにおけるW相巻線の一端に接続されている。

[0061] この例において、U相、V相、およびW相の巻線は、Y結線またはデルタ結線によって接続されている。このため、例えばU相巻線に電流を流すとき

、その電流は、V相巻線およびW相巻線の少なくとも一方を通して帰還する必要がある。

[0062] インバータ回路30Aにおけるスイッチング素子 HS_1 、 HS_2 、 HS_3 、 LS_1 、 LS_2 、 LS_3 の開閉は、典型的には、MCU70Aが形成するパルス幅変調(PWM)信号に応じて制御され得る。PWM信号のデューティを周期的に変化させることにより、擬似的正弦波の波形を持つ交流電圧をU相、V相、およびW相巻線に印加することができる。

[0063] ロータ20Rは複数の永久磁石(不図示)を有している。インバータ回路30Aからステータ20SのU相巻線、V相巻線、およびW相巻線のそれぞれに交流電圧が印加されることにより、ロータ20Rが回転する。ロータ20Rの回転速度、すなわち単位時間あたりの回転数は、ステータ20SのU相巻線、V相巻線、およびW相巻線のそれぞれに印加される交流電圧の周波数によって可変に制御され得る。

[0064] ステータ20SのU相巻線、V相巻線、およびW相巻線のそれぞれを流れる電流の大きさは電流測定器40Aによって測定される。電流測定器40Aの測定結果は、半導体集積回路72のA/D変換回路42に入力される。電流測定器40Aの構成および接続は、図示される例に限定されず、任意である。

[0065] モータ20Aに印加される電圧の大きさは、インバータ回路30Aに与えられる電圧、すなわちハイサイドラインPLとローサイドラインNLとの間の電圧の大きさによって規定される。この電圧は、電圧測定器40Bによって測定される。電圧測定器40Bの測定結果は、半導体集積回路72のA/D変換回路44に入力される。電圧測定器40Bの構成および接続は、図示される例に限定されず、任意である。電圧測定器40Bは、電圧保護回路の機能も果たし得る。

[0066] 再び図7を参照する。MCU70Aは、A/D変換回路42、44の出力を受け取る。MCU70Aは、メモリ46に記録されているプログラムに従って種々のアルゴリズムを実行する。これらのアルゴリズムは、モータ20

Aの制御アルゴリズムを含む。モータ制御アルゴリズムの典型例は、ベクトル制御アルゴリズムである。センサレス・ベクトル制御アルゴリズムによれば、モータの動作状態をモニタするため、モータの電流値、電圧値、および回転数などを例えば50マイクロ秒ごとにセンシングする。具体的には、電流測定器40Aによって検出される電流の大きさに基づいて、ロータ20Rの回転位置および回転速度を高い正確度で推定することができる。このようにして、本実施形態のMCU70Aは、ロータ20Rの回転速度の推定値、言い換えると、単位時間あたりのモータ回転数の推定値を取得する。この回転数の推定値は、モータ20Aの制御のためだけではなく、MCU70Aによる揚程の推定にも利用される。

[0067] MCU70Aは、A/D変換回路42、44の出力に基づいてモータ20Aの消費電力の値を取得することができる。この消費電力は、揚程の推定、および吐出し量の推定の両方に用いられる。

[0068] メモリ46は、前述した第1データおよび第2データを格納する記憶装置60として機能してもよい。また、このような記憶装置60は、メモリ46とは別のメモリデバイスから構成されていてもよい。

[0069] 2. 流量推定の動作

次に、図9および図10を参照して、本実施形態におけるポンプシステム2000の流量推定動作の一例を説明する。また、適宜、図4、図5および図7も参照する。

[0070] まず図9を参照する。ポンプシステム2000を起動すると、ステップS1において、図7のMCU70Aは、図4の記憶装置60（または図7のメモリ46）から揚程の起動前設定値を読み込む。起動前設定値は、固定されたデフォルト値であってもよいし、前回の動作終了時点で記憶装置60などに記録されていた揚程の推定値であってもよい。

[0071] ステップS2において、MCU70Aは、第1規定時間を経過したか否かを判定する。時間の計測は、例えばMCU70Aが備える不図示のタイマによるカウント値に基づいて実行され得る。第1規定時間は、例えば1秒であ

る。Ｙｅｓの場合、ステップＳ３に進む。Ｎｏの場合、第１規定時間を経過するまで、ステップＳ２の判定が繰り返される。

[0072] ステップＳ３において、ＭＣＵ７０Ａは、モータ電流の測定値を取得する。ステップＳ４において、ＭＣＵ７０Ａは、モータ電圧の測定値を取得する。これらの測定値の取得（モニタ）は、図７に示される電流測定器４０Ａおよび電圧測定器４０Ｂによって行われ得る。モータの電流および電圧の測定値からはモータの消費電力が定まる。ステップＳ５において、ＭＣＵ７０Ａは、モータ回転数の推定値を取得する。モータ回転数の推定値は、ＭＣＵ７０Ａが実行するベクトル制御の処理中に取得され得る。ステップＳ３、Ｓ４、Ｓ５の順序は、特に限定されず、ステップＳ３、Ｓ４、Ｓ５が同時に実行されてもよい。

[0073] ステップＳ６において、ＭＣＵ７０Ａは、モータ動作の安定度チェックを行う。より詳細には、ＭＣＵ７０Ａは、例えばモータの回転数、入力電力、および消費電力の大きさおよび／または変動に基づいて、モータの制御動作が正常であるか否かを監視しているため、これらの値に応じてモータ動作の安定度を評価することができる。モータ動作が安定状態にないと判定されたときは、ステップＳ１０に進み、前回の揚程推定値を読み出す。なお、モータの回転数、入力電力、および消費電力の大きさは、センサレス・ベクトル制御を実行する過程において、例えば５０マイクロ秒間隔で検出される。このため、モータの動作に異常が発生したときは、図９に示されるフローとは別に迅速に検出される。また、ステップＳ３からＳ５におけるモータの電流値、電圧値、および回転数の取得は、モータのベクトル制御を行うために取得した測定値または推定値の例えば１分間における平均値であり得る。

[0074] ステップＳ７において、ＭＣＵ７０Ａは、第２規定時間を経過したか否かを判定する。第２規定時間は、例えば１０分である。Ｙｅｓの場合、図１０のステップＳ８に進む。Ｎｏの場合、第２規定時間を経過するまで、ステップＳ２からステップＳ７までの処理が繰り返される。ポンプシステムの設計者が第２規定時間を変更することにより、揚程推定値の更新間隔が調整さ

れる。

[0075] ステップS 8において、MC U 7 0 Aは、モータ動作が本開示の流量推定処理を行うために十分に安定した状態にあるか否かを判定する。Y e sの場合、ステップS 9に進む。N oの場合、揚程の推定は行わず、ステップS 1 0に進む。ステップS 1 0では、MC U 7 0 Aが前回の処理によって取得されて記憶装置に記録されている揚程の推定値を記憶装置から読み出す。ポンプシステムの起動直後、停止直前、または日照変動が激しいときなど、モータの消費電力および回転数が変動する場合がある。このような場合は、揚程の推定を実行しないことが好ましい。本実施形態では、ステップS 8において、MC U 7 0 Aは、モータ動作が安定しているか否かを判定し、モータ動作が安定しているときを選択して揚程の推定値を取得する。揚程は短時間（例えば1 0分以下の時間）では大きく変化しないため、モータの動作が安定しているときを選択して揚程の推定値を取得し、モータの動作が安定するまでの過渡期間は、その推定値を継続的に使用しつづけても大きな誤差は生じない。動作が安定しているか否かは、例えばモータの回転数および電力の変動が所定レベル以下か否かによって判定可能である。

[0076] ステップS 9において、MC U 7 0 Aは、ステップS 3、S 4、S 5で得たモータの消費電力のモニタ値およびモータ回転数の推定値から、第1データを参照して、揚程の推定値を取得する。具体記には、MC U 7 0 Aが、図4の記憶装置6 0または図7のメモリ4 6から第1データの数値を読み出す。この数値は、第1データがテーブル形式の場合、モータの消費電力のモニタ値およびモータ回転数の推定値に対応する揚程の値である。第1データが揚程算出のための数式を規定する係数のセットを含んでいる場合、MC U 7 0 Aは、当該係数のセットを第1データから得て、揚程の推定値を求めるための演算を実行する。

[0077] ステップS 1 1において、MC U 7 0 Aは、取得した現在の揚程の推定値と前回の揚程推定値との差異が規定値以下か否かを判定する。この規定値は、例えば2メートルである。Y e sの場合、ステップS 1 2に進み、MC U

70Aが揚程推定値を更新する。Noの場合、ステップS13に進む。ステップS13において、MCU70Aは、最新の揚程推定値と前回の揚程推定値との差異の正負に応じて、前回の揚程推定値から規定値（例えば2メートル）だけ増加または減少させた値に更新する。このような処理を行うことにより、1度の更新によって変化し得る揚程変化量を規制することができる。前述したように揚程が短時間で大きく変動することは稀であり、規制範囲を超える大きな変動は、測定または計算のエラーに起因している可能性があるからである。

[0078] ステップS14において、MCU70Aは、揚程の推定値およびモータの消費電力から、第2データを参照して、流量（吐出し量）の推定値を取得する。ステップS14の処理を行った後、図9のステップS2に戻る。

[0079] 上記の例では、モータの消費電力のモニタ値および回転数の推定値は1分ごとに取得され、揚程の推定値は10分ごとに更新される。揚程の推定値が更新されると、流量の推定値が取得される。

[0080] この例におけるポンプ流量推定方法よれば、流量の推定値が10分ごとに得られる。例えば時刻 t に取得された流量の推定値が $q(t)$ リットル/分であったとすると、10分間の吐出し量は、 $q(t) \times 10$ リットルである。時刻 t_1 から時刻 t_2 までの期間に取得された流量の推定値を積算すると、その期間における合計吐出し量を求めることができる。例えば、毎日、ポンプシステムが稼働している時間の合計吐出し量（1日に汲みあげた水の総量）を求めることができる。

[0081] 太陽光発電によって動作するポンプシステムは、発電しない夜間は停止する。このため、毎日、その日最初に起動するときは、ポンプシステムの揚水管内に水がないという状態が生じ得る。そのため、起動後、ポンプから揚水管の吐出口まで水が押し上げられていく期間は、ポンプシステムから水は吐出されない。従って、現実の吐出し量の積算値を求めるとき、起動直後に取得される吐出し量の推定値は計算に含めるべきではない。本実施形態では、制御装置が、吐出し量の推定値を決定して吐出し量の前記推定値を出力する

とき、ポンプ起動後に液体が第1レベルから第2レベルに初めて汲みあげられるまでの液体量に相当する値を吐出し量の推定値から差し引く。このため、起動後、空であった揚水管の内部が水で満たされて吐出しが始まるまでの時間を求め、その時間においては、モータの消費電力に関わらず、合計吐出し量（水量）の積算を実行しない。空であった揚水管の内部が水で満たされて吐出しが始まるまでの時間は、揚水管などの配管の長さに応じて算出され得る。このような処理の内容は、図7のMCU70Aの動作を規定するプログラムによって決定され得る。

[0082] なお、上記の実施形態において「ポンプ流量推定装置」として機能する部品のセットが、ポンプユニット100から分離して製造販売されてもよい。このようなポンプ流量推定装置は、永久磁石同期モータおよびモータ駆動装置の少なくとも一方に電氣的に接続され、電力をモニタする測定回路と、第1レベルと第2レベルとの差異によって規定される揚程と永久磁石同期モータの単位時間あたりの回転数および電力との関係を規定する第1データ、ならびに、ポンプによる所定時間あたりの吐出し量と揚程および電力との関係を規定する第2データが格納された記憶装置と、モータ駆動装置、前記測定回路、および記憶装置に接続された制御装置とを備える。この制御装置は、前述した制御装置と同様に、回転数の測定値または推定値と電力のモニタ値とに基づいて、記憶装置に格納された第1データから揚程の推定値を決定し、揚程の推定値と電力のモニタ値とに基づいて、記憶装置に格納された第2データから吐出し量の推定値を決定し、吐出し量の前記推定値を出力する。

[0083] <変形例1>

図11は、設置現場で配管（揚水管13および吐出管14）の長さが当初の設計値から変更された例を示している。揚水管13の上端が上昇すると、地面Gから第2レベルL2までの距離H2が長くなる。このことは、 $H1 + H2$ で示される揚程（実揚程）Hの増加を招く。一方、吐出管14が水平横方向に延びることは、 $H1 + H2$ で示される揚程（実揚程）Hを変化させない。しかし、吐出管14が長くなると、管内損失が無視できる範囲を超えて

増加する可能性がある。このようなことに起因して、第1データおよび第2データを作製したときの揚程 ($H = h_1, h_2, \dots, h_5$) と、実際に設置されたポンプシステムにおける揚程との間に差異が発生し得る。

[0084] このような差異によって吐出し量の推定に大きな誤差が生じないようにするためには、現場にポンプシステムを設置したとき、水量計または流量計を用いて、ポンプ動作時における吐出し量（流量）を実測することが好ましい。この場合、ポンプシステムの動作時に取得された吐出し量（流量）の推定値と実測値と比較し、推定値が実測値に近づくように補正を実行すればよい。このような補正は、第1データおよび第2データを規定する数式またはテーブルを補正する方法、または、前述した方法で推定された値に補正量を加算したり、補正係数を掛けたりする方法を用いて実現し得る。実測値と推定値との差の原因が揚程の推定誤差に起因する場合、第1データを参照して得られた揚程の推定値を補正するだけで、流量推定の正確度を高めることもできる。

[0085] なお、上記の実施形態では、インバータ回路を含むモータ駆動装置30が地上に位置するコントロールユニット200に配置されているが、本開示のポンプシステムは、この例に限定されない。モータ駆動装置30の一部または全部がポンプユニット100内に配置されていてもよい。1個のモータモジュールがモータ20およびモータ駆動装置30を備えていてもよい。このようなモータモジュールがポンプユニット100内に配置される場合、ポンプユニット100から地上に延びるケーブルには、発電装置に接続された電源線と、制御装置に接続された信号線とが含まれ得る。

[0086] <実施例>

図12は、本開示の実施形態におけるポンプシステム2000について、電力および出力の時間依存性を示すグラフである。横軸は時間であり、1日のうちの日の出から日の入りまでの期間を示している。縦軸は、電力である。グラフ中の破線は、太陽電池パネルを備える発電装置が作り出す電力（単位時間あたりの発電量）を示し、実線はモータの消費電力を示している。こ

これらの電力は相互に略等しい大きさを持ち、1日のうちでも大きく変化する。太陽光による単位時間あたりの発電量は、太陽高度および雲の拡がり状態にも依存する。

[0087] 図13は、本開示の実施形態におけるポンプシステム2000によって得られた流量の推定値および揚程の推定値を示すグラフである。左側の縦軸は流量の推定値であり、右側の縦軸は揚程の推定値である。横軸は時間であり、1日のうちの日の出から日の入りまでの期間を示している。このグラフからは、揚程の推定値が安定して約30メートルを示している期間（安定期間）と、その期間の前後に不安定に変動する期間（不安定期間）とが観察される。モータに供給される電力が小さすぎると、モータの制御動作は不安定になる。グラフに示されるような不安定期間に取得された揚程の推定値は、揚程の現実の値から大きく異なり得るため、流量の推定に用いることは好ましくない。図9および図10を参照しながら説明した手順に従えば、このような不安定期間に揚程の推定値の更新は行わない。

[0088] なお、図13に示される例では、流量が図12に示されるモータ消費電力に応じて増減している。揚程が実質的に一定であるときは、モータに供給される電力が大きいほど、モータの消費電力が増加し、流量（単位時間あたりの吐出し量）も増加する。

[0089] 図14は、モータ回転数（1分あたりの回転数）および流量（1分あたりの吐出し量）の時間依存性を示すグラフである。図14に示されている流量のデータは、図13に示されている流量のデータに等しい。この例では、揚程が実質的に一定であるため、モータの回転数に応じて流量が変化している。

[0090] 図15は、本開示の実施形態におけるポンプシステム2000によって推定された流量、および流量計で測定された流量の値（比較例）のモータ消費電力依存性を示すグラフである。本実施形態によれば、モータ消費電力が1500ワットを超えると、流量の推定値と実測値との間の誤差は約5%以下であった。

[0091] 本実施例のポンプシステムによれば、流量計を備えることなく、高い正確度で流量、すちわち所定時間あたりの吐出し量を推定することができる。この推定の正確度は、揚程が変化しても維持されるため、従来技術に比べて毎日または所定時間ごとの井戸くみ上げ量を正確にモニタすることが可能になる。

産業上の利用可能性

[0092] 本開示のポンプシステムは、流量計を必要とせず、揚程が変化する状況でも吐出し量を高い正確度でモニタすることができる。このため、井戸から水を汲みあげて灌漑または飲用に供する用途に利用され得る。また、本開示のポンプシステムは、井戸水の汲みあげに限定されず、液体を汲みあげることが求められる種々の装置またはシステムに利用され得る。

符号の説明

[0093] 10・・・ポンプ、11L・・・第1液槽、11U・・・第2液槽、12・・・液体（水）、13・・・揚水管、14・・・吐出管、15・・・井戸の蓋、20・・・モータ、30・・・モータ駆動装置、30A・・・インバータ回路、40・・・測定回路、40A・・・電流測定回路、40B・・・電圧測定回路、50・・・ケーブル、60・・・記憶装置、70・・・制御装置、80・・・通信装置、90・・・発電装置、100・・・ポンプユニット、200・・・コントロールユニット、300・・・太陽電池パネル、1000・・・ポンプシステム、2000・・・ポンプシステム

請求の範囲

- [請求項1] 第1レベルにある液体を前記第1レベルよりも高い第2レベルに汲みあげるポンプと、
- 前記ポンプを動作させる永久磁石同期モータと、
- 前記永久磁石同期モータに電氣的に接続され、前記永久磁石同期モータに電力を供給するモータ駆動装置と、
- 前記永久磁石同期モータおよび前記モータ駆動装置の少なくとも一方に電氣的に接続され、前記電力をモニタする測定回路と、
- 前記第1レベルと前記第2レベルとの差異によって規定される揚程と前記永久磁石同期モータの単位時間あたりの回転数および前記電力との関係を規定する第1データ、ならびに、前記ポンプによる所定時間あたりの吐出し量と前記揚程および前記電力との関係を規定する第2データが格納された記憶装置と、
- 前記モータ駆動装置、前記測定回路、および前記記憶装置に接続された制御装置と、
- を備え、
- 前記制御装置は、
- 前記回転数の測定値または推定値と前記電力のモニタ値とに基づいて、前記記憶装置に格納された前記第1データから前記揚程の推定値を決定し、
- 前記揚程の前記推定値と前記電力のモニタ値とに基づいて、前記記憶装置に格納された前記第2データから前記吐出し量の推定値を決定し、前記吐出し量の前記推定値を出力する、ポンプシステム。
- [請求項2] 前記第1データおよび前記第2データのそれぞれは、テーブルまたは式によって表現されている、請求項1に記載のポンプシステム。
- [請求項3] 前記制御装置は、前記揚程の推定値を決定したとき、前記揚程の前記推定値を前記記憶装置または他の記憶装置に保存し、
- 前記吐出し量の推定値を決定するときは、保存されている前記揚程

の前記推定値を読み出し、前記電力のモニタ値を前記測定回路から取得する、請求項 1 または 2 に記載のポンプシステム。

[請求項4] 前記制御装置は、1 日に少なくとも 1 回、前記回転数の測定値または推定値と前記電力のモニタ値とを取得し、前記揚程の前記推定値を更新する、請求項 3 に記載のポンプシステム。

[請求項5] 前記制御装置は、前記回転数および前記電力の変動が所定レベル以下のときに、前記回転数の測定値または推定値および前記電力のモニタ値を取得し、前記揚程の推定値を決定する、請求項 1 から 4 のいずれかに記載のポンプシステム。

[請求項6] 前記制御装置は、前記吐出し量の推定値を決定して前記吐出し量の前記推定値を出力するとき、ポンプ起動後に前記液体が前記第 1 レベルから前記第 2 レベルに初めて汲みあげられるまでの液体量に相当する値を前記吐出し量の前記推定値から差し引いて前記推定値を補正する、請求項 1 から 5 のいずれかに記載のポンプシステム。

[請求項7] 前記制御装置に接続された通信装置をさらに備え、
前記制御装置は、前記吐出し量の前記推定値を含む情報を前記通信装置から外部に送信する、請求項 1 から 6 のいずれかに記載のポンプシステム。

[請求項8] 前記制御装置は、前記吐出し量の前記推定値を含む前記情報を前記通信装置から外部に周期的に送信する、請求項 7 に記載のポンプシステム。

[請求項9] 前記制御装置は、外部からの要求に応答して、前記吐出し量の前記推定値を含む前記情報を前記通信装置から外部に送信する、請求項 7 または 8 に記載のポンプシステム。

[請求項10] 前記電力の供給源として機能する発電装置または蓄電装置をさらに備える、請求項 1 から 9 のいずれかに記載のポンプシステム。

[請求項11] 前記発電装置は太陽電池パネルを含む、請求項 10 に記載のポンプシステム。

- [請求項12] 前記第1データおよび前記第2データは、出荷段階から前記記憶装置に格納されている、請求項1から11のいずれかに記載のポンプシステム。
- [請求項13] 前記第1データは、前記揚程の予め選択された複数の値のそれぞれについて前記回転数と前記電力との関係を規定する数値データを含み、
前記制御装置は、前記回転数の測定値または推定値と前記電力のモニタ値とを取得した後、前記数値データに基づいて、前記揚程の予め選択された前記複数の値から計算によって前記揚程の推定値を算出する、請求項1から12のいずれかに記載のポンプシステム。
- [請求項14] 前記制御装置は、前記第1データおよび前記第2データの少なくとも一方を補正して用いる、請求項1から13のいずれかに記載のポンプシステム。
- [請求項15] 前記制御装置は、前記モータ駆動装置を制御する信号を生成し、前記信号を前記モータ駆動装置に送出する、請求項1から14のいずれかに記載のポンプシステム。
- [請求項16] 前記制御装置は、前記太陽電池パネルの発電量に応じて、前記モータ駆動装置を制御する信号を生成し、前記信号を前記モータ駆動装置に送出する、請求項11に記載のポンプシステム。
- [請求項17] ポンプシステムとともに用いられるポンプ流量推定装置であって、前記ポンプシステムは、第1レベルにある液体を前記第1レベルよりも高い第2レベルに汲みあげるポンプと、前記ポンプを動作させる永久磁石同期モータと、前記永久磁石同期モータに電氣的に接続され、前記永久磁石同期モータに電力を供給するモータ駆動装置とを有しており、
前記ポンプ流量推定装置は、
前記永久磁石同期モータおよび前記モータ駆動装置の少なくとも一方に電氣的に接続され、前記電力をモニタする測定回路と、

前記第1レベルと前記第2レベルとの差異によって規定される揚程と前記永久磁石同期モータの単位時間あたりの回転数および前記電力との関係を規定する第1データ、ならびに、前記ポンプによる所定時間あたりの吐出し量と前記揚程および前記電力との関係を規定する第2データが格納された記憶装置と、

前記モータ駆動装置、前記測定回路、および前記記憶装置に接続された制御装置と、

を備え、

前記制御装置は、

前記回転数の測定値または推定値と前記電力のモニタ値とに基づいて、前記記憶装置に格納された前記第1データから前記揚程の推定値を決定し、

前記揚程の前記推定値と前記電力のモニタ値とに基づいて、前記記憶装置に格納された前記第2データから前記吐出し量の推定値を決定し、前記吐出し量の前記推定値を出力する、ポンプ流量推定装置。

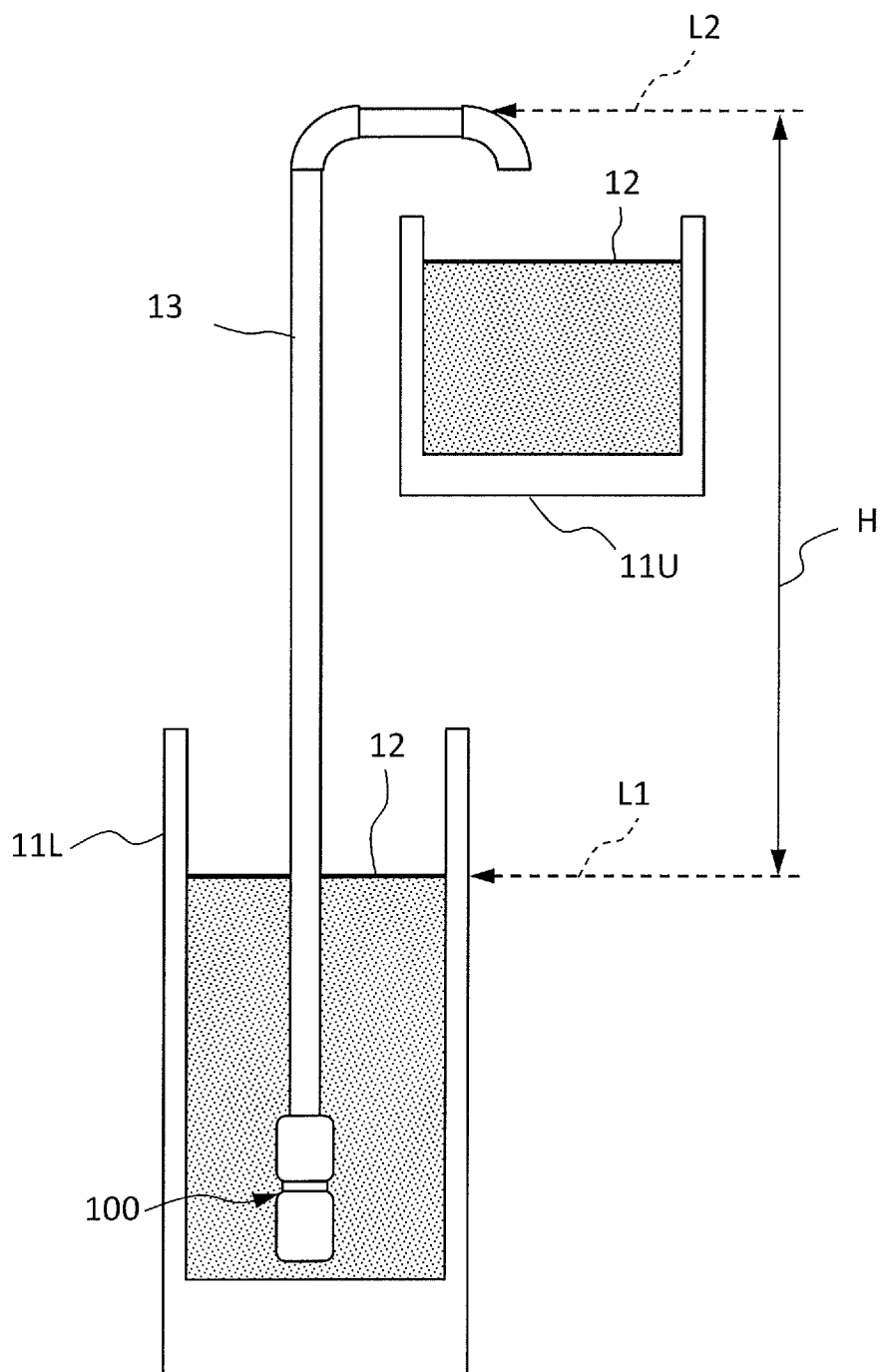
[請求項18]

第1レベルにある液体を前記第1レベルよりも高い第2レベルに汲みあげるポンプと、前記ポンプを動作させる永久磁石同期モータと、前記永久磁石同期モータに電氣的に接続され、前記永久磁石同期モータに電力を供給するモータ駆動装置とを備えるポンプシステムにおけるポンプ流量推定方法であって、

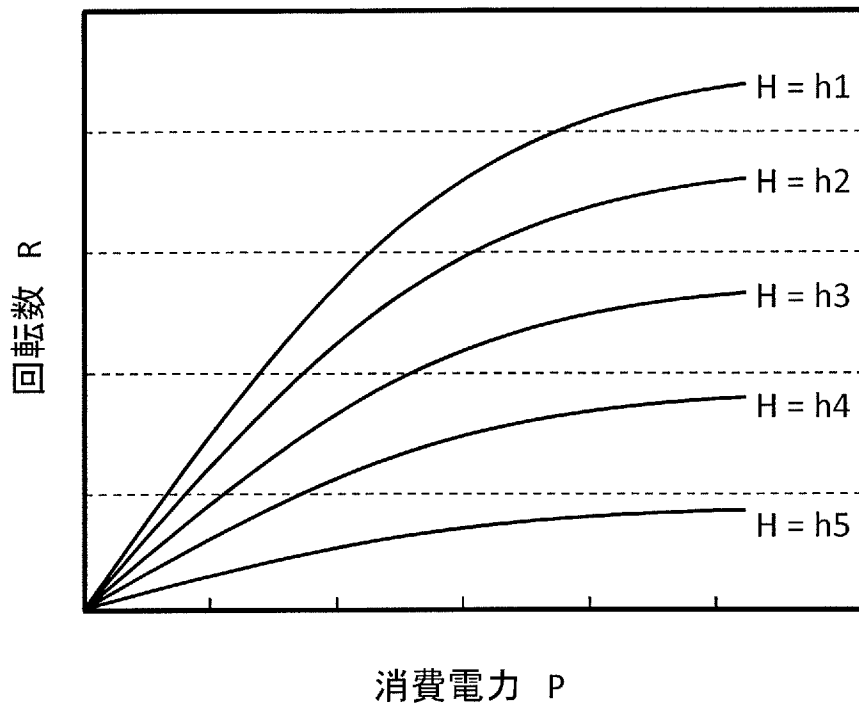
前記第1レベルと前記第2レベルとの差異によって規定される揚程と前記永久磁石同期モータの単位時間あたりの回転数および前記電力との関係を規定する第1データを用いて、前記回転数の測定値または推定値と前記電力のモニタ値とから、前記揚程の推定値を決定し、

前記ポンプによる所定時間あたりの吐出し量と前記揚程および前記電力との関係を規定する第2データを用いて、前記揚程の前記推定値と前記電力のモニタ値とをかせ、前記吐出し量の推定値を決定する、ポンプ流量推定方法。

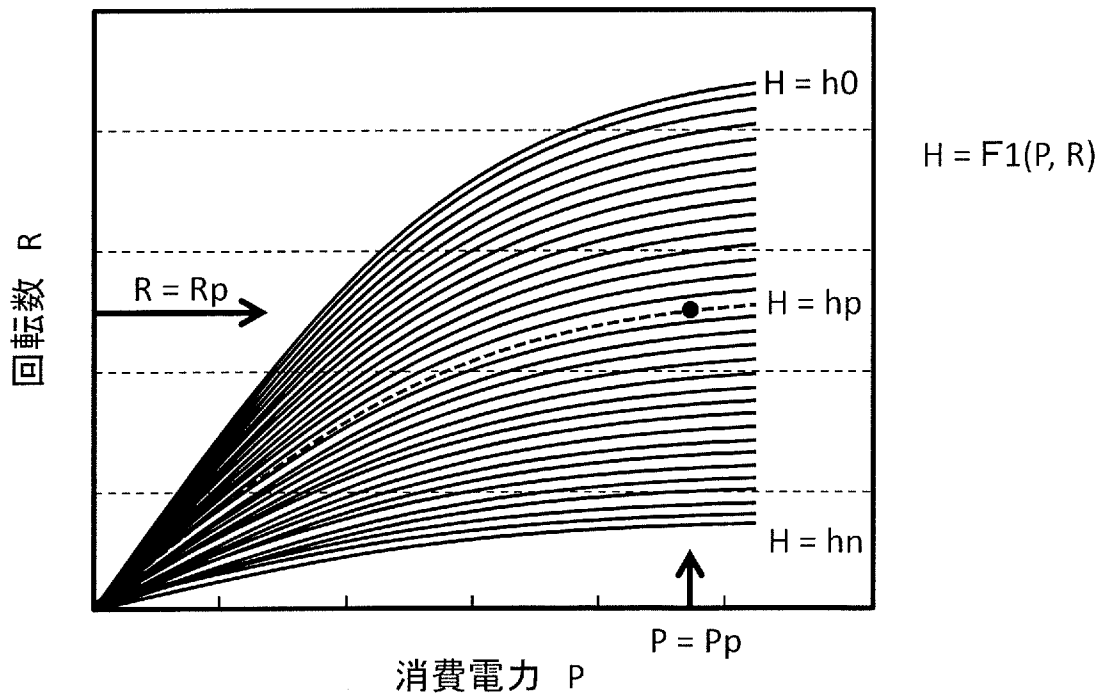
[図1]



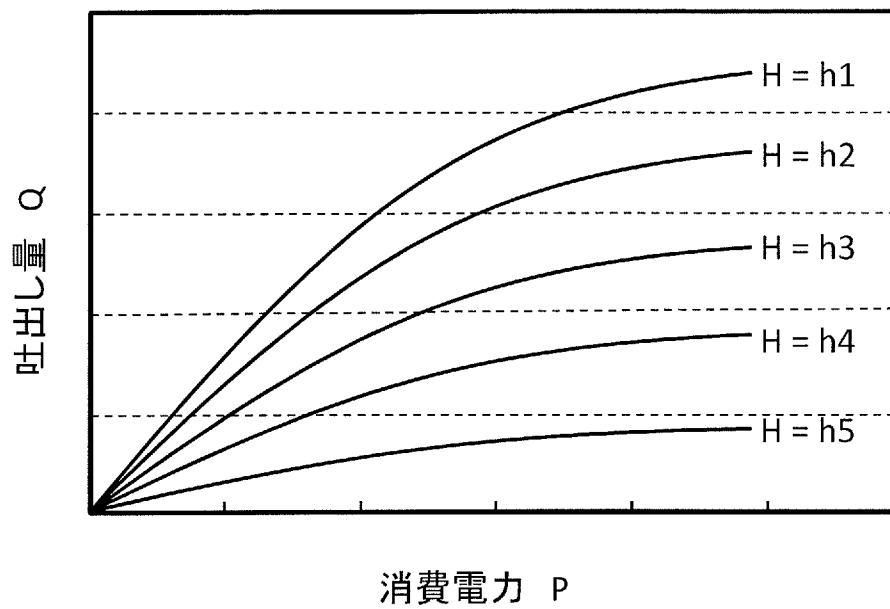
[図2A]



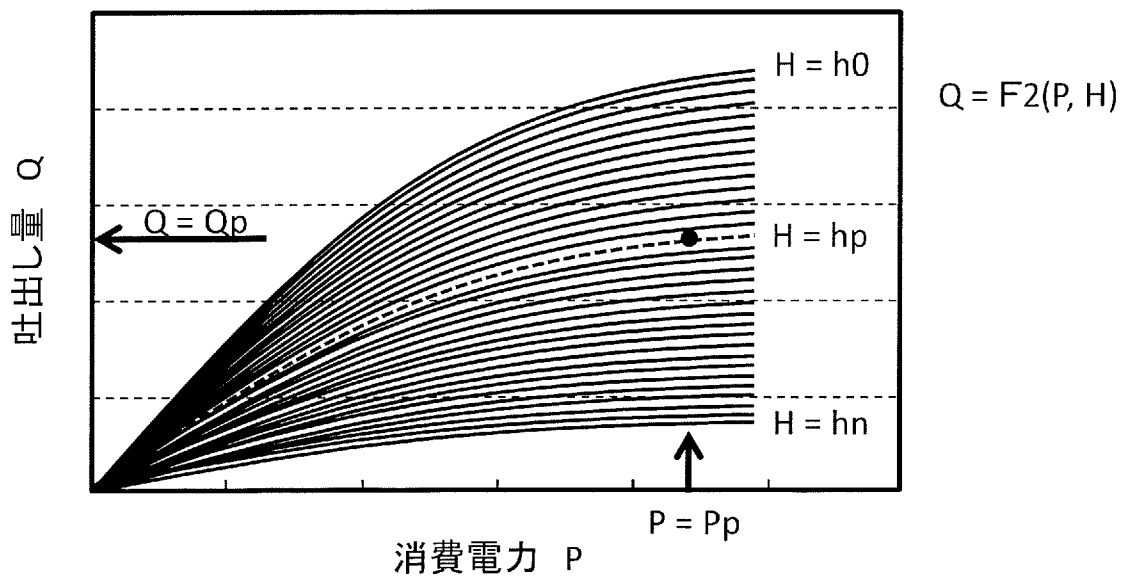
[図2B]



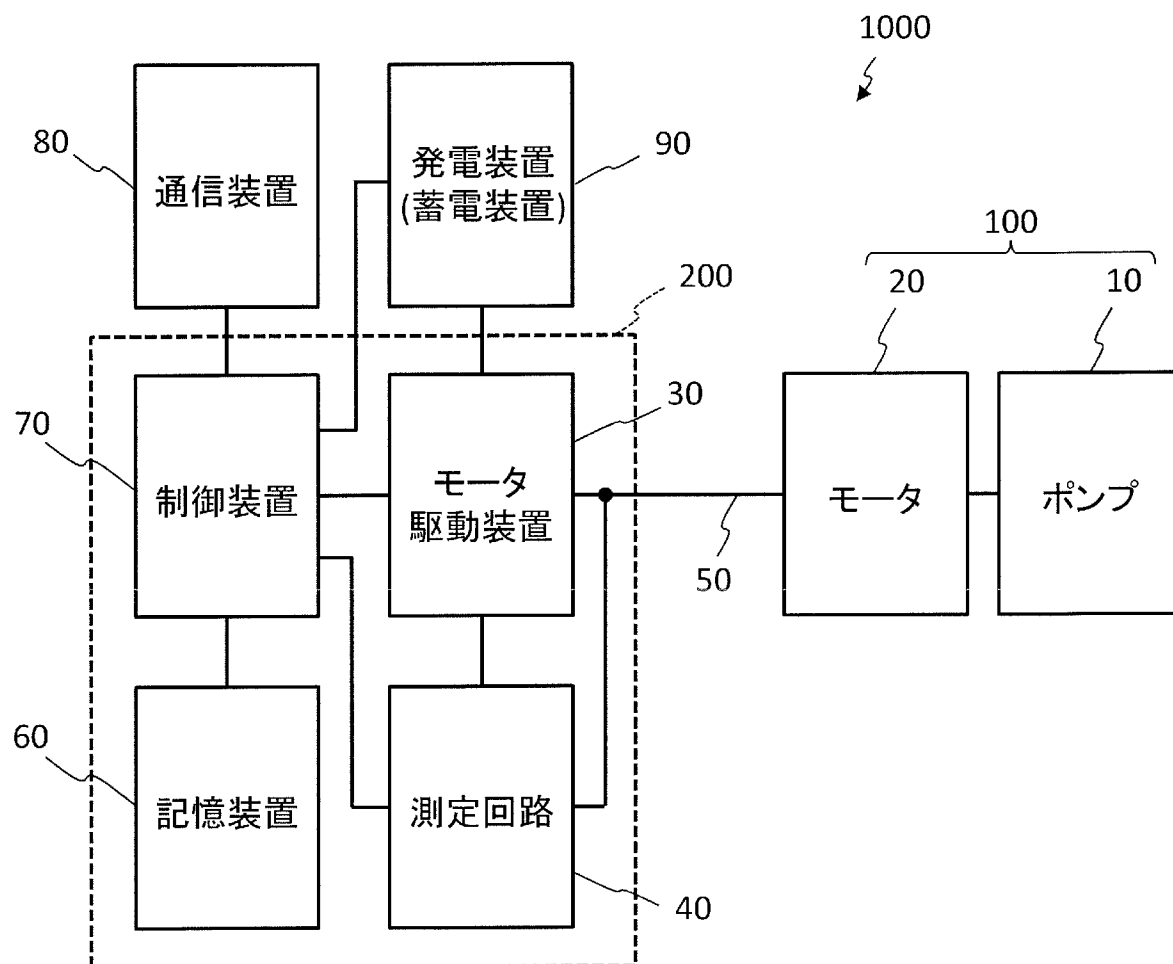
[図3A]



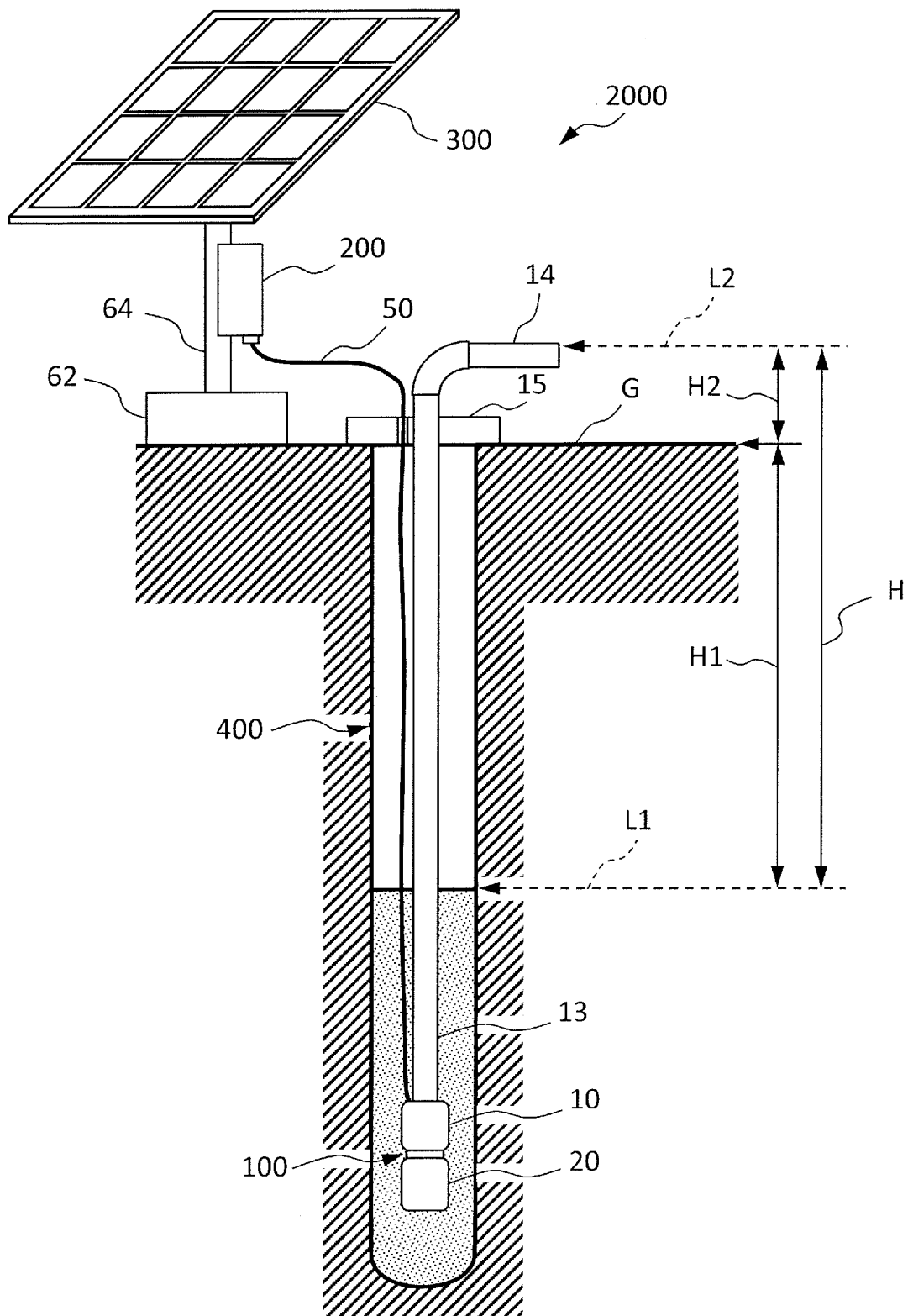
[図3B]



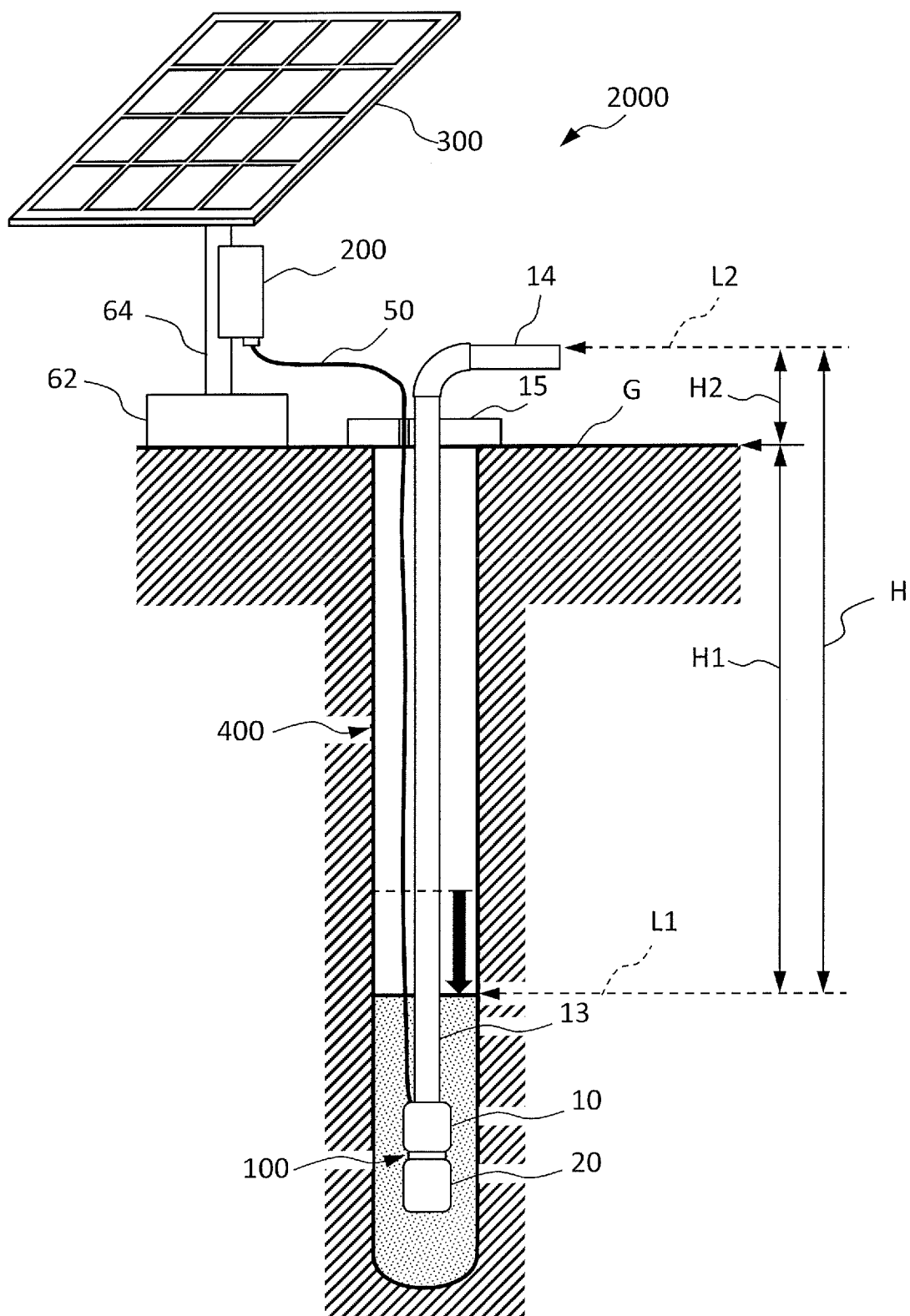
[図4]



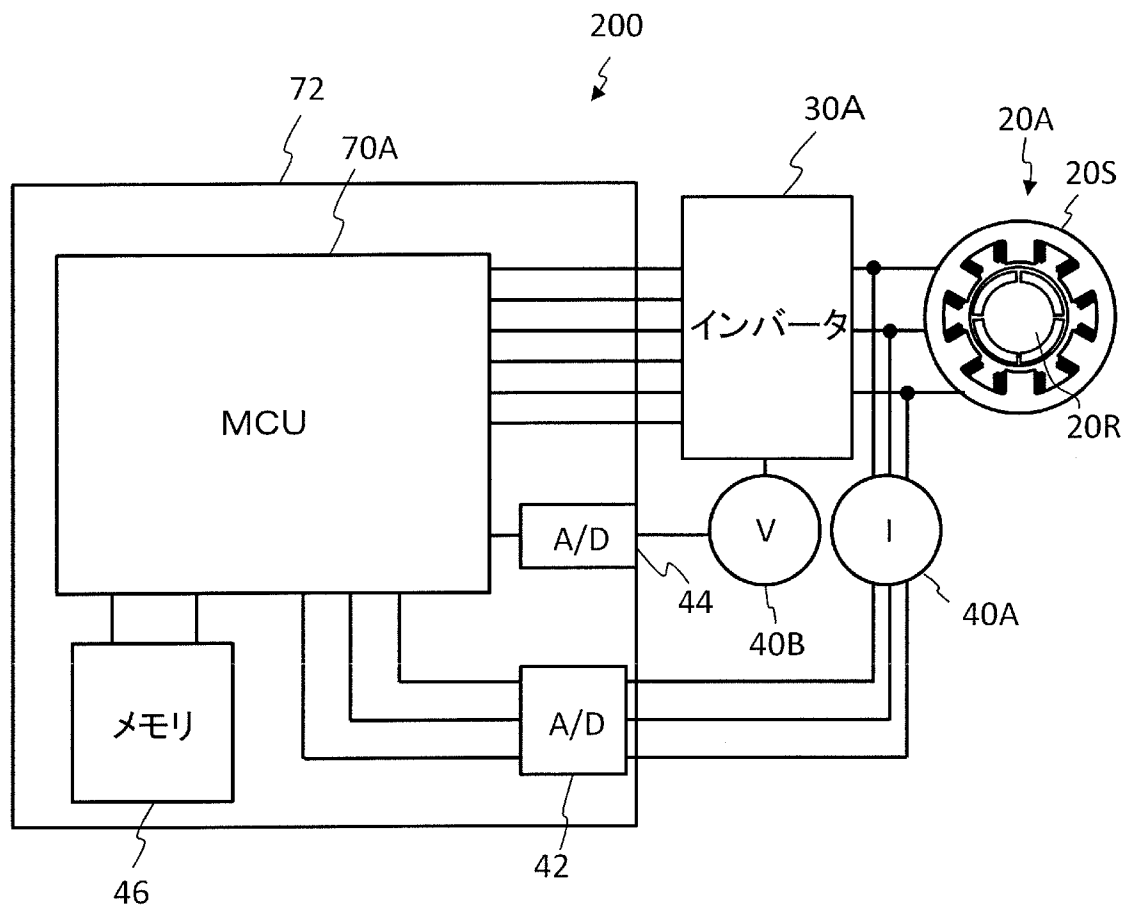
[図5]



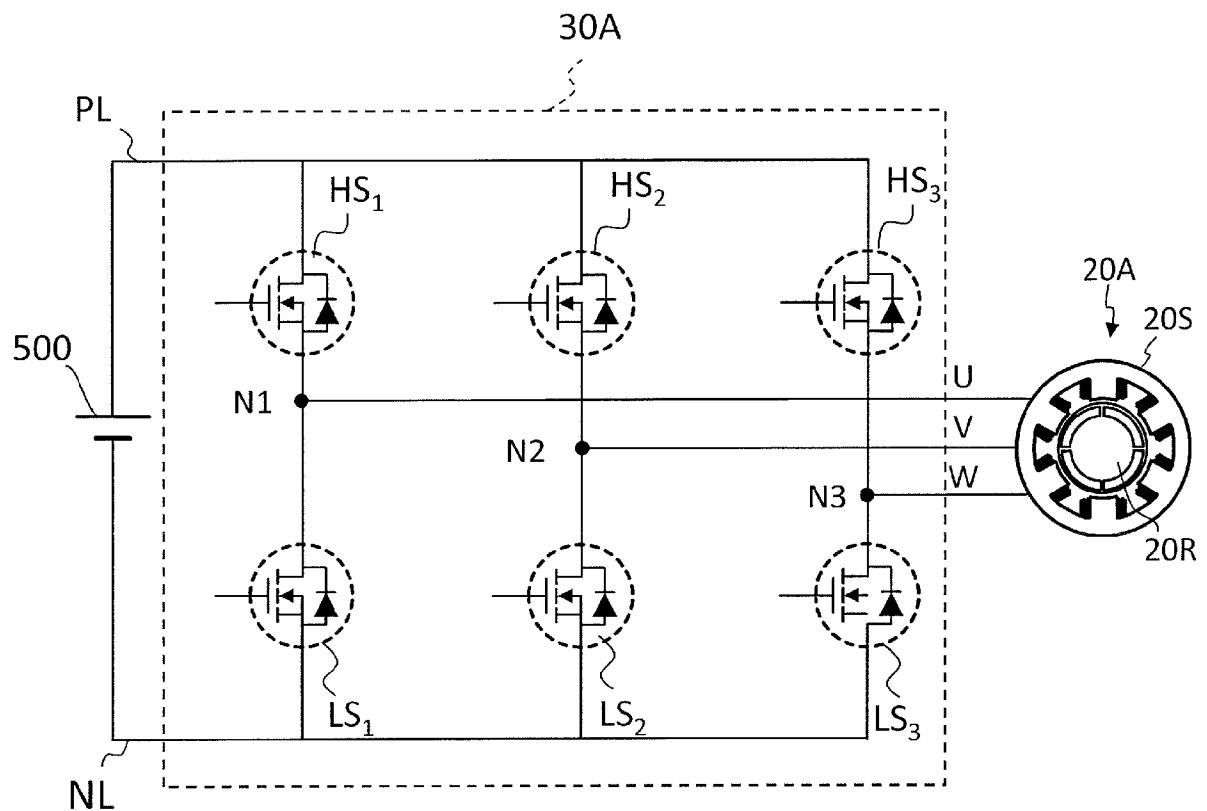
[図6]



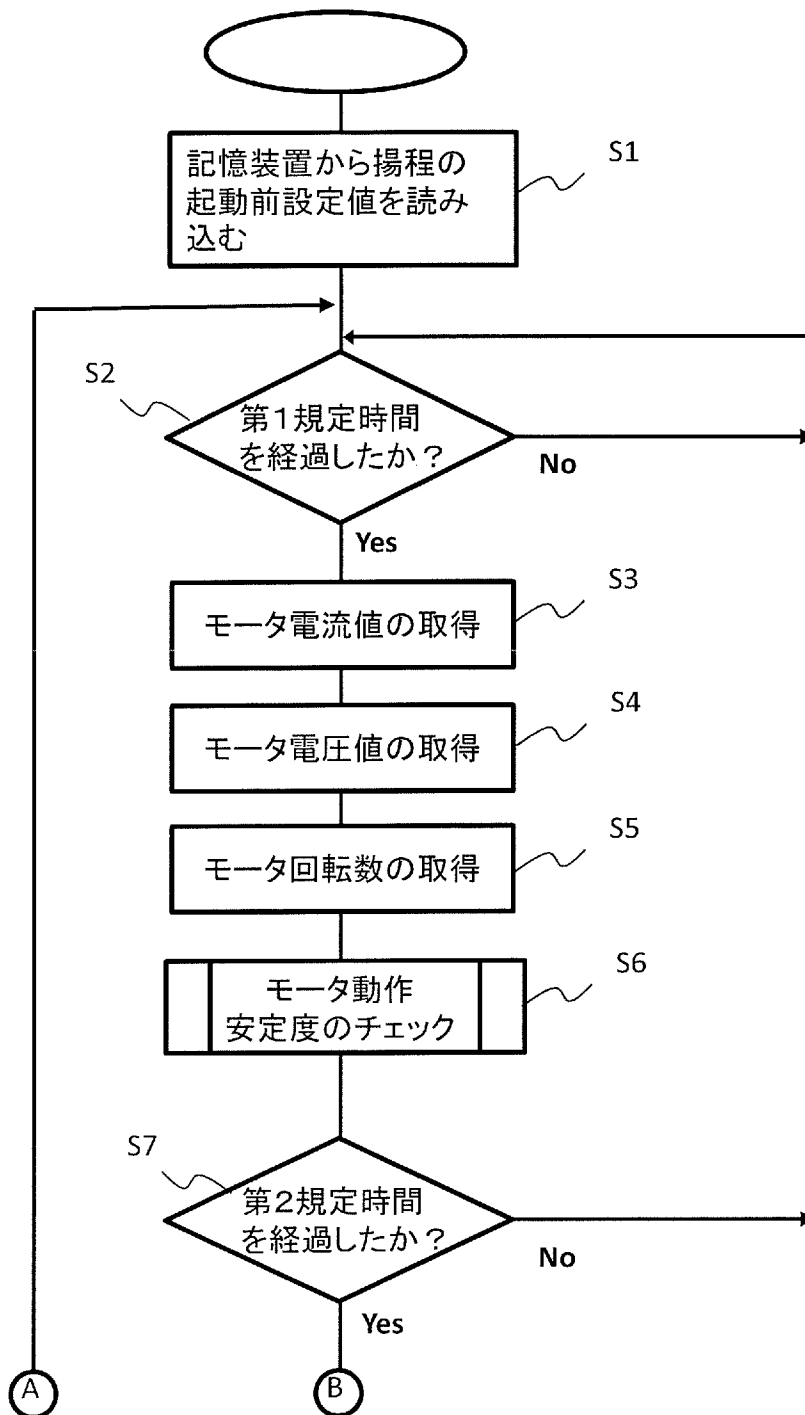
[図7]



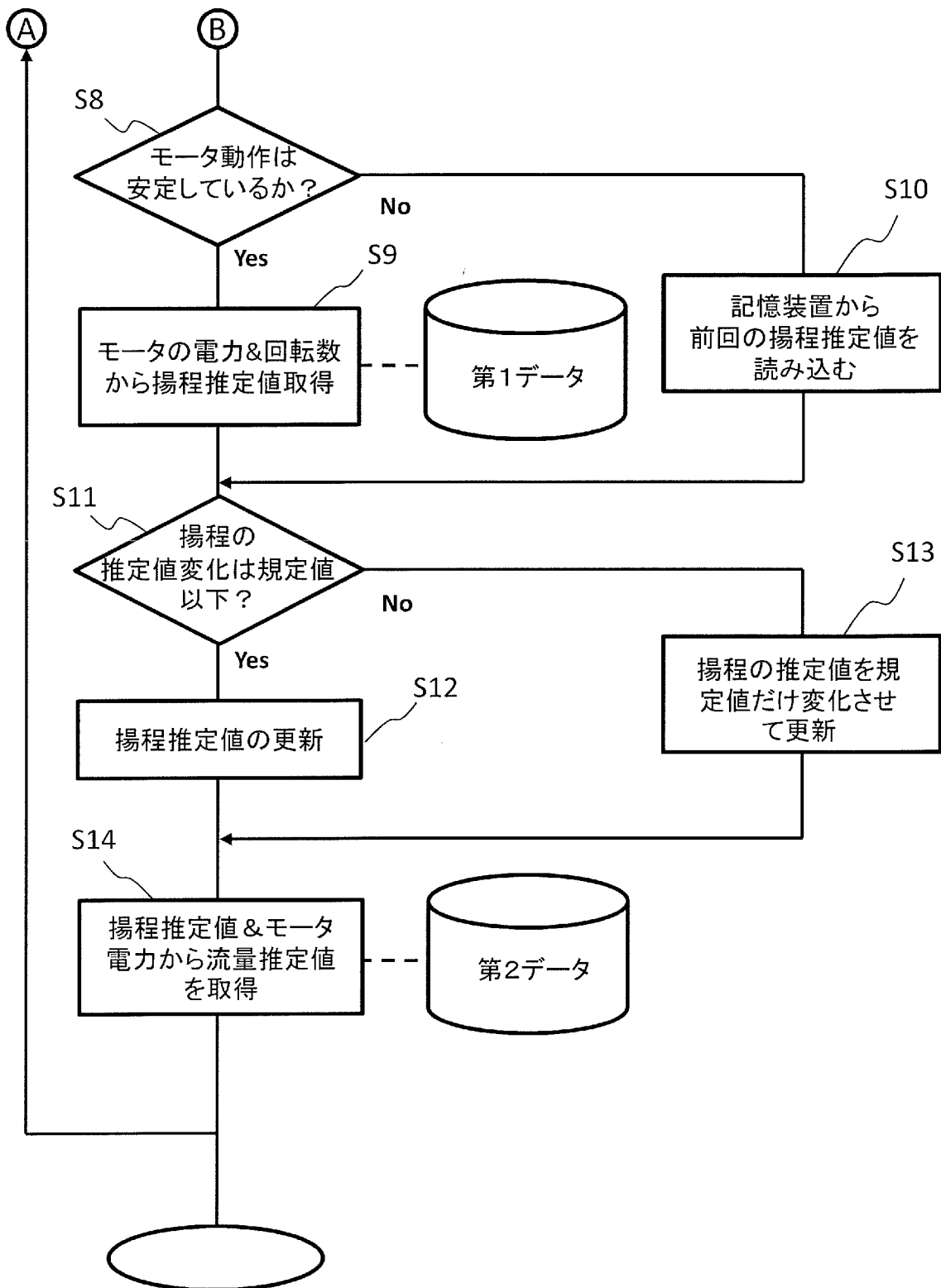
[図8]



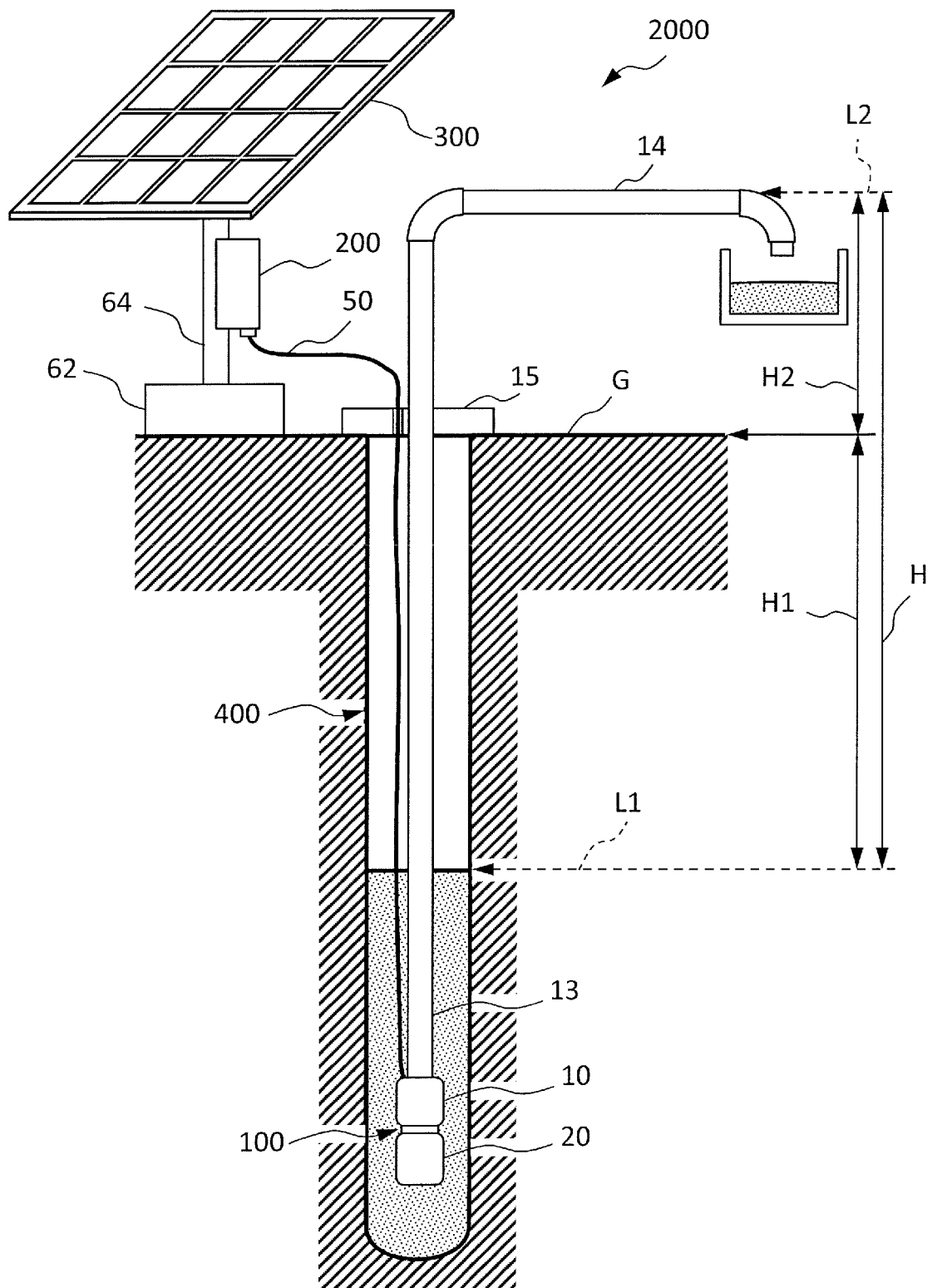
[図9]



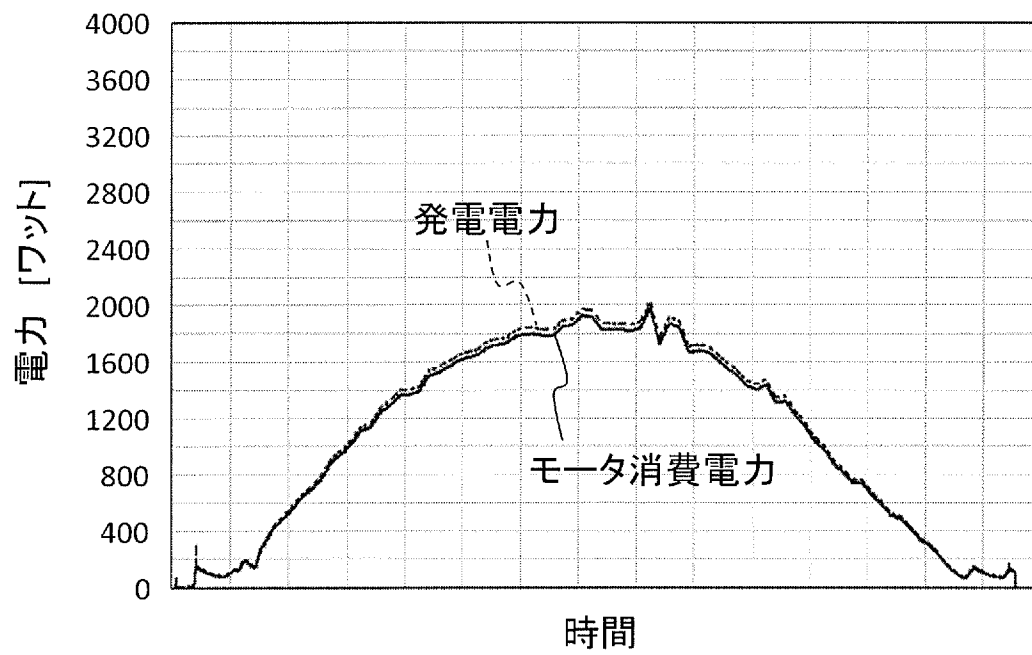
[図10]



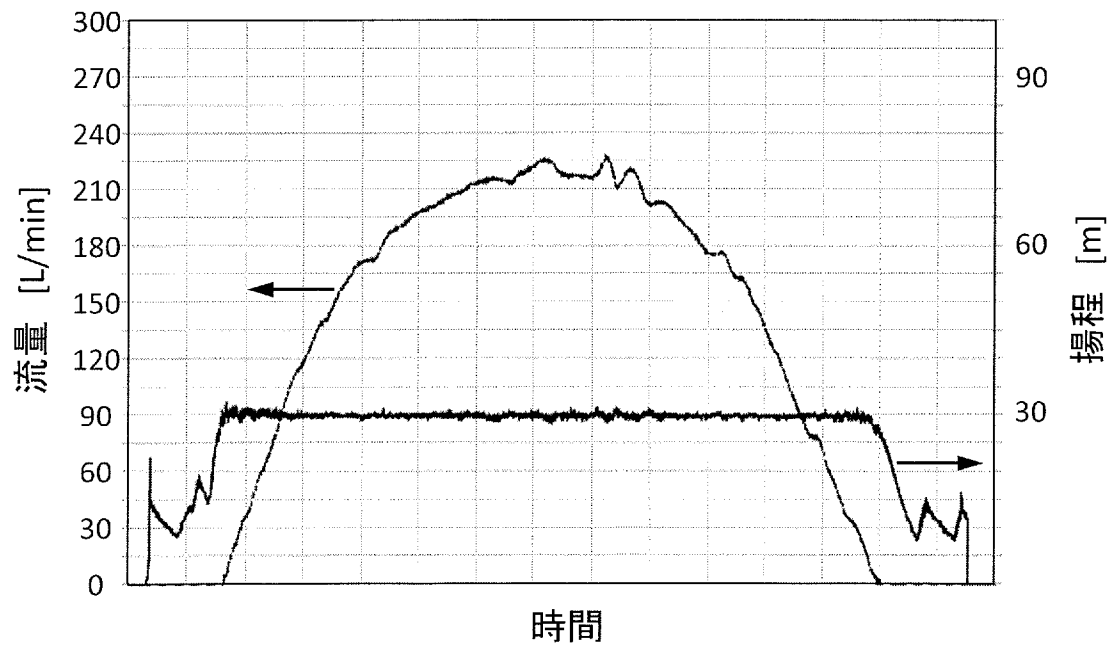
[図11]



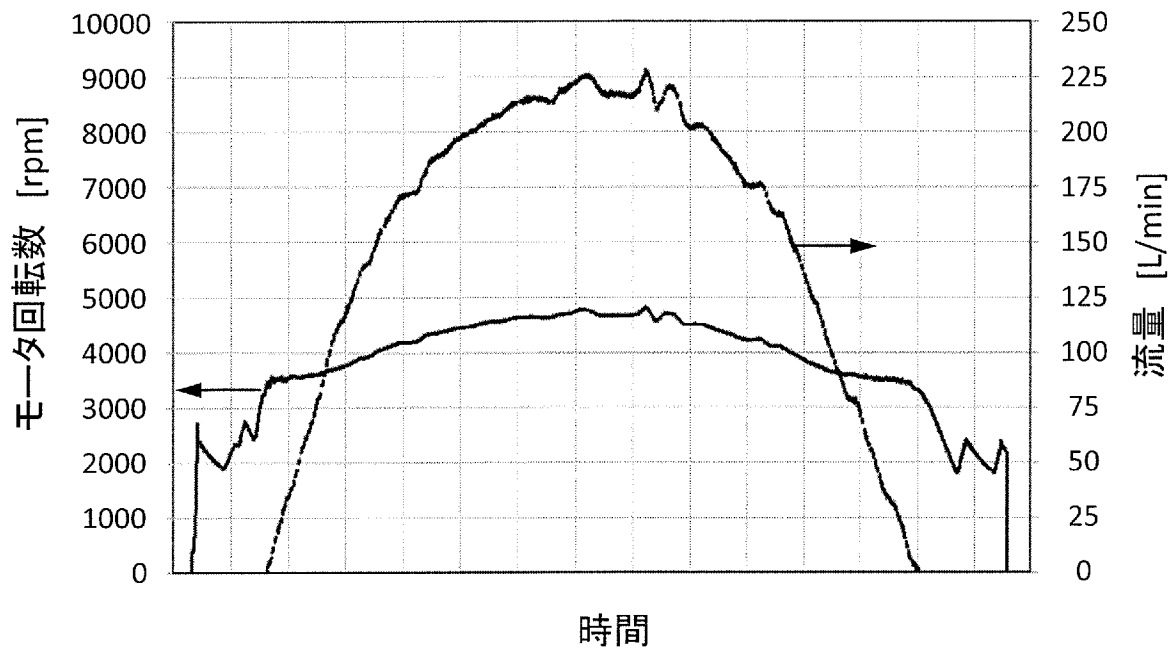
[図12]



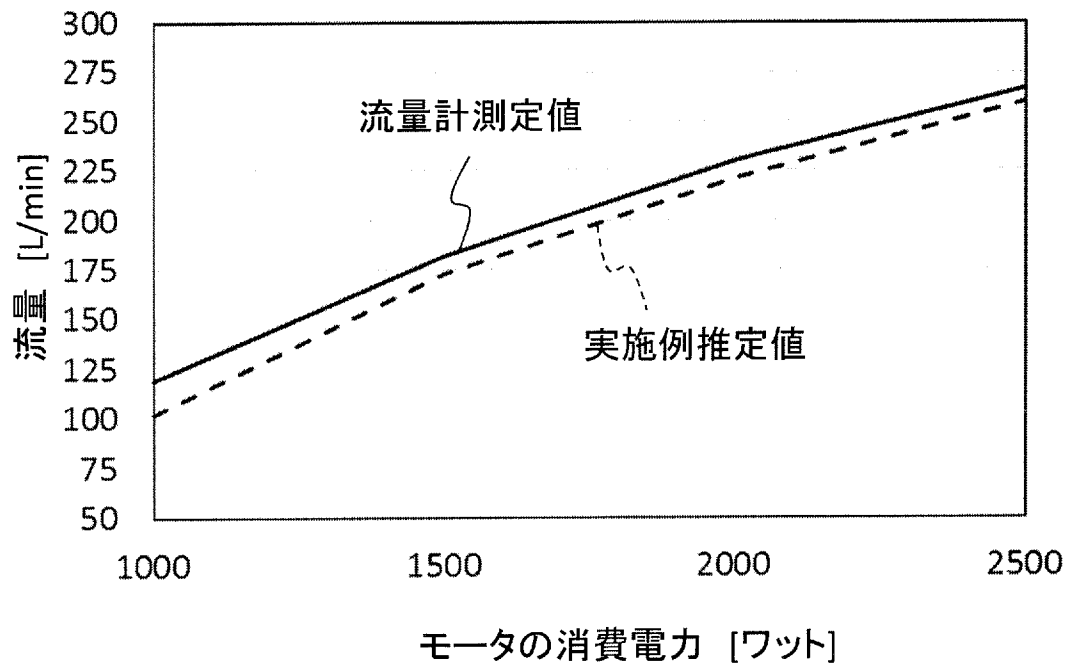
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/005265

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01F1/00 (2006.01) i, F04B51/00 (2006.01) i, F04D15/00 (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)

Int.Cl. G01F1/00, F04B51/00, F04D15/00

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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.
Y	JP 2006-307682 A (EBARA DENSAN LTD.) 09 November 2006, paragraphs [0001]-[0007], [0012]-[0027], [0034]-[0050], fig. 1-9 (Family: none)	1-18
Y	JP 2004-232497 A (EBARA CORPORATION) 19 August 2004, paragraphs [0001]-[0009], [0014]-[0017] (Family: none)	1-18

☒ 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 09.04.2018	Date of mailing of the international search report 17.04.2018
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/JP2018/005265

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 8-210291 A (EBARA CORPORATION) 20 August 1996, paragraphs [0001]-[0006], [0013], [0051], [0052], [0055], [0056], [0061]-[0067], [0073], fig. 9-12 (Family: none)	1-18
Y A	JP 2-045692 A (SHELL INT RESEARCH MIJ BV) 15 February 1990, page 3, lower left column, line 18 to page 4, upper left column, line 1 (Family: none)	4-16 1-3, 17-18
Y A	JP 11-294845 A (TOSHIBA ELECTRIC APPLIANCES CO., LTD.) 29 October 1999, paragraph [0059], fig. 7 (Family: none)	5-16 1-4, 17-18
Y A	JP 8-284841 A (EBARA CORPORATION) 29 October 1996, paragraph [0020] (Family: none)	13-16 1-12, 17-18
Y A	JP 62-103499 A (KYOCERA CORPORATION) 13 May 1987, page 2, column 3, line 1 to column 4, line 14 & JP 61-160721 A	16 1-15, 17-18
A	US 2012/0251340 A1 (ABB OY) 04 October 2012, entire text, all drawings & EP 2505845 A1 & CN 102734182 A	1-18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01F1/00(2006.01)i, F04B51/00(2006.01)i, F04D15/00(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. G01F1/00, F04B51/00, F04D15/00

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
Y	JP 2006-307682 A（株式会社荏原電産） 2006.11.09, 段落[0001]-[0007], [0012]-[0027], [0034]-[0050], 図1-9 (ファミリーなし)	1-18
Y	JP 2004-232497 A（株式会社荏原製作所） 2004.08.19, 段落[0001]-[0009], [0014]-[0017] (ファミリーなし)	1-18

☒ 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

09.04.2018

国際調査報告の発送日

17.04.2018

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）

細見 斉子

2 F

6000

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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 8-210291 A (株式会社荏原製作所) 1996.08.20, 段落[0001]-[0006], [0013], [0051]-[0052], [0055]-[0056], [0061]-[0067], [0073], 図9-12 (ファミリーなし)	1-18
Y A	JP 2-045692 A (シエル・インターナショナル・リサーチ・マートス ハツペイ・ベー・ヴェー) 1990.02.15, 3頁左下欄18目-4頁左上欄1行目 (ファミリーなし)	4-16 1-3, 17-18
Y A	JP 11-294845 A (東芝機器株式会社) 1999.10.29, 段落[0059], 図7 (ファミリーなし)	5-16 1-4, 17-18
Y A	JP 8-284841 A (株式会社荏原製作所) 1996.10.29, 段落[0020] (ファミリーなし)	13-16 1-12, 17-18
Y A	JP 62-103499 A (京セラ株式会社) 1987.05.13, 2頁第3欄1行目-第4欄14行目 & JP 61-160721 A	16 1-15, 17-18
A	US 2012/0251340 A1 (ABB OY) 2012.10.04, 全文, 全図 & EP 2505845 A1 & CN 102734182 A	1-18