

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水の流速を計測する流速計測システムであって、
前記水が流れている場所を自律的に移動するための推進機構を備えた移動装置と、
前記推進機構の推進力を計測する推進力計測手段と、
前記移動装置の対地速度を計測する対地速度計測手段と、
前記推進力および前記対地速度に基づいて、前記水の流速を演算する流速演算手段と、
を備えることを特徴とする流速計測システム。

【請求項 2】

前記流速演算手段は、前記対地速度が 0 であるときの前記推進力に基づいて、前記流速を演算することを特徴とする請求項 1 に記載の流速計測システム。 10

【請求項 3】

前記推進機構は、プロペラと、前記プロペラを回転させるモータとを備え、
前記推進力計測手段は、前記モータの出力を前記推進力として計測することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の流速計測システム。

【請求項 4】

前記移動装置は潜水可能であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の流速計測システム。

【請求項 5】

前記場所は河川であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の流速計測システム。 20

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の流速計測システムの前記推進力計測手段、前記対地速度計測手段および前記流速演算手段としてコンピュータを動作させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、河川などの流速を計測する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

河川の流量観測とそのデータベース構築は、適切な河川整備計画や治水事業を進めるにあたって必要不可欠である。また河川洪水時には正確なダム操作が求められるため、流況のリアルタイム観測は極めて重要である。現在、実河川における流速観測は、浮子流下の目視や曳航式浮体に取り付けた計測装置による方法（浮子法）が主流である。しかしながら、台風襲来時のような暴風河川における観測作業は危険を伴い、正確かつ迅速な情報が得られないのが実情である。

【0003】

これに対し、洪水流量観測の新しい手段としてビデオ画像を用いた方法が注目されている（非特許文献 1）。この方法は、河川表面の波紋パターンの時空間変化より、多点における流速を同時に算出するものである。リモートコントロールによってビデオ撮影ができるため、安全かつ迅速に緊急災害時の洪水データを得ることができる。また、遠赤外線カメラを使用しているため、通常カメラでは困難であった夜間における河川表面の画像を取得して、画像を解析することにより、流速を算出することができる。これにより画像計測法の時間的な制約条件が緩和され、実用性を向上させている。 40

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】藤田一郎、他 3 名、「遠赤外線カメラを用いた融雪洪水の昼夜間表面流画像計測」、土木学会論文集 B1（水工学）、2013 年、第 69 巻、第 4 号、p. 703 - 708

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】**【0005】**

しかしながら、非特許文献1の方法では、モニタリングカメラの整備がまだ十分でなく、さらには計測精度が画質に大きく依存しデータ信頼性の確認に時間を要するという問題がある。また、暗渠部における観測も困難である。

【0006】

本発明は、上記問題を解決するためになされたものであって、水の流速を容易かつ高精度に計測することのできる流速計測システムの提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0007】**

本発明に係る流速計測システムは、水の流速を計測する流速計測システムであって、前記水が流れている場所を自律的に移動するための推進機構を備えた移動装置と、前記推進機構の推進力を計測する推進力計測手段と、前記移動装置の対地速度を計測する対地速度計測手段と、前記推進力および前記対地速度に基づいて、前記水の流速を演算する流速演算手段と、を備えることを特徴とする。

【0008】

また、上記流速計測システムにおいて、前記流速演算手段は、前記対地速度が0であるときの前記推進力に基づいて、前記流速を演算することが好ましい。

【0009】

また、上記流速計測システムにおいて、前記推進機構は、プロペラと、前記プロペラを回転させるモータとを備え、前記推進力計測手段は、前記モータの出力を前記推進力として計測することが好ましい。

【0010】

また、上記流速計測システムにおいて、前記移動装置は潜水可能であることが好ましい。

【0011】

また、上記流速計測システムにおいて、例えば、前記場所は河川である。

【0012】

また、本発明に係るプログラムは、上記いずれかの流速計測システムの前記推進力計測手段、前記対地速度計測手段および前記流速演算手段としてコンピュータを動作させる。

【発明の効果】**【0013】**

本発明によれば、水の流速を容易かつ高精度に計測することのできる流速計測システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】**【0014】**

【図1】本発明の一実施形態に係る流速計測システムの構成を示す概略図である。

【図2】上記流速計測システムの機能を示すブロック図である。

【図3】上記流速計測システムによる流速計測の手順の一例を示すフローチャートである。

【図4】上記の実施形態の一変形例に係る流速計測システムの構成を示す概略図である。

【図5】図4に示す流速計測システムの機能を示すブロック図である。

【図6】計測用ボートの船体にヨー角が生じた場合の、超音波計測の補正を説明するための図である。

【図7】計測用ボートの位置、および、モータの出力の時間変化を示すグラフである。

【図8】対地速度が0のときのモータの出力と主流速との対応関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】**【0015】**

以下、本発明の一実施形態について添付図面を参照して説明する。なお、本発明は、下記の実施形態に限定されるものではない。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 6 】

(流速計測システム)

図 1 は、本実施形態に係る流速計測システム 1 の構成を示す概略図であり、図 2 は、流速計測システム 1 の機能を示すブロック図である。

【 0 0 1 7 】

図 1 に示すように、流速計測システム 1 は、水 W の流速を計測するシステムであり、計測用ポート (移動装置) 2 およびコントローラ 3 を備えている。計測用ポート 2 は、水 W が流れている場所 (本実施形態では河川) に投入される。コントローラ 3 は、無線通信によって計測用ポート 2 を遠隔制御する機器である。観測員は、例えば河川の橋梁 B 1 から計測用ポート 2 を河川に投入し、コントローラ 3 によって計測用ポート 2 を制御する。

10

【 0 0 1 8 】

(計測用ポート)

図 2 に示すように、計測用ポート 2 は、送受信部 2 1、プロペラ 2 2、モータ 2 3、出力計測部 2 4、方向舵 2 5、2 つの超音波センサ 2 6 a, 2 6 b、対地速度計測部 2 7 および推進制御部 2 8 を備えている。

【 0 0 1 9 】

送受信部 2 1 は、コントローラ 3 との無線通信を行う機能を有している。すなわち、送受信部 2 1 は、コントローラ 3 から受信した信号の復調、およびコントローラ 3 へ送信する信号の変調を行う。

【 0 0 2 0 】

プロペラ 2 2 は、計測用ポート 2 の船底後尾に設けられている。モータ 2 3 は、計測用ポート 2 が河川を自律的に移動するための推進機構であり、プロペラ 2 2 を回転させる。

20

【 0 0 2 1 】

出力計測部 2 4 は、前記推進機構の推進力を計測する推進力計測手段である。本実施形態では、出力計測部 2 4 は、モータ 2 3 に内蔵されている回転速度センサで構成されており、モータ 2 3 の無次元の出力 M P (トルク) を前記推進力として計測する。計測された出力 M P は、送受信部 2 1 を介してコントローラ 3 に送信される。

【 0 0 2 2 】

方向舵 2 5 は、プロペラ 2 2 の近傍に設けられており、計測用ポート 2 の進行方向を制御するものである。

30

【 0 0 2 3 】

2 つの超音波センサ 2 6 a, 2 6 b は、図 1 に示すように、計測用ポート 2 の上面に設けられている。超音波センサ 2 6 a は、計測用ポート 2 の長手方向に指向する超音波を発信し、超音波センサ 2 6 b は、計測用ポート 2 の幅方向に指向する超音波を発信する。超音波センサ 2 6 a が発信した超音波は、例えば橋脚 B 2 によって超音波センサ 2 6 a の方向に反射される。これにより、超音波センサ 2 6 a は、超音波を発信した時間と、反射された超音波を受信した時間とに基づいて、橋脚 B 2 と計測用ポート 2 との距離を計測することができる。また、超音波センサ 2 6 b が発信した超音波は、例えば護岸などによって超音波センサ 2 6 b の方向に反射される。これにより、超音波センサ 2 6 b は、超音波を発信した時間と、反射された超音波を受信した時間とに基づいて、護岸と計測用ポート 2 との距離を計測することができる。超音波センサ 2 6 a および超音波センサ 2 6 b の計測結果に基づき、計測用ポート 2 の河川における平面位置情報を得ることができる。

40

【 0 0 2 4 】

対地速度計測部 (対地速度計測手段) 2 7 は、前記平面位置情報の時間変化に基づき、計測用ポート 2 の対地速度 G S (少なくとも主流方向 (流速方向) における対地速度) を計測するものである。計測された対地速度 G S は、送受信部 2 1 を介してコントローラ 3 に送信される。

【 0 0 2 5 】

推進制御部 2 8 は、2 つの超音波センサ 2 6 a, 2 6 b からの位置情報、並びに、送受信部 2 1 によって受信されたコントローラ 3 からの制御信号に基づき、モータ 2 3 および

50

方向舵 25 を制御する。具体的には、コントローラ 3 からの制御信号には、流速を計測すべき目標位置情報が含まれており、推進制御部 28 は、超音波センサ 26 a, 26 b からの位置情報が、前記目標位置情報と一致するように、モータ 23 の回転速度および方向舵 25 の方向を P I D 制御する。これにより、流速を計測すべき所望の位置に計測用ポート 2 を相対静止させる（対地速度 G S を 0 とする）ことができる。

【 0 0 2 6 】

（コントローラ）

図 2 に示すように、コントローラ 3 は、送受信部 3 1、流速演算部 3 2、表示部 3 3、入力部 3 4 および制御信号生成部 3 5 を備えている。

【 0 0 2 7 】

送受信部 3 1 は、計測用ポート 2 との無線通信を行う機能を有している。すなわち、送受信部 3 1 は、計測用ポート 2 から受信した信号の復調、および計測用ポート 2 へ送信する信号の変調を行う。

【 0 0 2 8 】

計測用ポート 2 の出力計測部 2 4 によって計測された出力 M P、および、対地速度計測部 2 7 によって計測された対地速度 G S は、送受信部 2 1 および送受信部 3 1 を介して、流速演算部 3 2 に入力される。流速演算部 3 2 は、これらの出力 M P および対地速度 G S に基づいて、水 W の流速を演算する。具体的には、流速演算部 3 2 には、出力と流速との相関を示す関係式が設定されており、流速演算部 3 2 は、当該関係式に、対地速度 G S が 0 であるときの出力 M P を当てはめることにより、水 W の流速を算出する。上記の関係式は、後述の〔実施例〕において説明する実験によって求めることができる。

【 0 0 2 9 】

表示部 3 3 は、液晶ディスプレイなどで構成されており、観測員が計測用ポート 2 を制御するための画面を表示する。例えば、流速演算部 3 2 によって算出された流速の数値も、表示部 3 3 に表示することができる。

【 0 0 3 0 】

入力部 3 4 は、表示部 3 3 の周囲に設けられたボタン、または、表示部 3 3 上に設けられたタッチパネルなどで構成することができる。観測員は、入力部 3 4 を介して、計測用ポート 2 の駆動開始 / 駆動終了、流速の計測を行う目標位置情報などを入力することができる。

【 0 0 3 1 】

制御信号生成部 3 5 は、入力部 3 4 が受け付けた入力情報に基づき、計測用ポート 2 を制御するための制御信号を生成する。当該制御信号は、送受信部 3 1 を介して計測用ポート 2 に送信される。

【 0 0 3 2 】

（流速の演算）

【 0 0 3 3 】

以上のように、流速演算部 3 2 は、計測用ポート 2 のモータ 23 の出力 M P および計測用ポート 2 の対地速度 G S に基づいて、水 W の流速を演算している。一般に、モータ 23 の出力 M P が大きくなるほど、プロペラ 22 の回転速度が大きくなるので、計測用ポート 2 の水 W に対する相対速度 R V が大きくなる。そのため、モータ 23 の出力 M P は、相対速度 R V と高い相関性を有している。また、この相対速度 R V は、計測用ポート 2 が相対静止している（対地速度 G S = 0）のときの流速 U に等しい。すなわち、対地速度 G S = 0 であるときのモータ 23 の出力を M P₀ とすると、出力 M P₀ は流速 U と高い相関性を有しており、以下の関係式

$$U = f(M P_0) \quad \dots \text{式 1}$$

が成り立つ。この関係式は、計測用ポート 2 の形状、質量、モータ 23 の種類、取り付け位置、プロペラ 22 の形状、サイズなどによって定まるものであり、後述の実験によって得ることができる。本実施形態において、流速演算部 3 2 は、対地速度 G S = 0 であるときの出力 M P₀ を上記式 1 に当てはめることにより、流速 U₀ を算出している。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

なお、対地速度 $G S = x$ のときのモータ 2 3 の出力を $M P x$ とすると、

$$U = f (M P x) + x \quad \dots \text{式 2}$$

が成り立つ。よって、対地速度 $G S$ が 0 でない場合であっても、計測用ポート 2 の対地速度およびモータ 2 3 の出力に基づいて、流速を算出することは可能である。

【 0 0 3 5 】

ただし、対地速度 $G S$ が 0 でない場合、計測用ポート 2 が常に移動するため、上記式 2 に基づいて算出された流速は、各計測位置における瞬間的な流速である。これに対し、対地速度 $G S$ が 0 である場合、計測用ポート 2 は同じ位置に留まるため、所定期間における出力 $M P_0$ の平均を計測することにより、上記式 1 に基づいて、同じ計測位置における平均流速を演算することができる。したがって、河川のより正確な流況を把握することができる。また、計測用ポート 2 を横断方向に順次移動させることが容易となる。

10

【 0 0 3 6 】

(流速計測の手順)

続いて、流速計測システム 1 による流速計測の手順の一例を、図 3 に示すフローチャートを用いて説明する。

【 0 0 3 7 】

まず、観測員が計測用ポート 2 を河川に投入する (ステップ S 1)。投入場所は特に限定されないが、例えば、図 1 に示すように、橋梁 B 1 の上から河川の下流の方向に計測用ポート 2 を投入する。

20

【 0 0 3 8 】

続いて、計測用ポート 2 を駆動する (ステップ S 2)。これにより、モータ 2 3 などの推進機構、および、推進制御部 2 8 などの制御機構が起動する。計測用ポート 2 の推進制御部 2 8 には、河川における複数の目標計測位置が設定されている。目標計測位置は、例えば、下流方向における橋脚 B 2 からの距離、および、横断方向 (河川の幅方向) における護岸からの距離によって指定される。推進制御部 2 8 は、超音波センサ 2 6 a , 2 6 b から入力された位置情報が、コントローラ 3 から受信した目標計測位置に一致するように、モータ 2 3 および方向舵 2 5 を制御する。これにより、計測用ポート 2 は、目標計測位置に移動する (ステップ S 3)。

【 0 0 3 9 】

また、出力計測部 2 4 および対地速度計測部 2 7 はそれぞれ、モータ 2 3 の出力 $M P$ および計測用ポート 2 の対地速度 $G S$ を計測している (ステップ S 4)。計測された出力 $M P$ および対地速度 $G S$ は、コントローラ 3 に送信され、コントローラ 3 の流速演算部 3 2 は、対地速度 $G S$ が 0 になったか否かを判定する (ステップ S 5)。

30

【 0 0 4 0 】

計測用ポート 2 の位置が、コントローラ 3 から受信した目標計測位置に一致すると、推進制御部 2 8 は、目標計測位置で計測用ポート 2 が相対静止するように、モータ 2 3 および方向舵 2 5 を制御する。これにより、流速演算部 3 2 は、対地速度 $G S$ が 0 になったと判定し (ステップ S 5 において Y E S)、このときの出力 $M P_0$ を所定の関係式 (上述の式 1) に当てはめることにより、流速を算出する (ステップ S 6)。これにより、計測用ポート 2 の位置における流速を計測することができる。算出された流速値は、例えば、コントローラ 3 のメモリに記憶される。

40

【 0 0 4 1 】

さらに、河川の他の箇所では計測する場合は (ステップ S 7 において Y E S)、計測用ポート 2 は他の目標計測位置に移動する (ステップ S 8)。当該他の目標計測位置は、例えば、直前の計測位置から横断方向に所定距離だけ移動した位置である。

【 0 0 4 2 】

その後、上述のステップ S 4 ~ S 6 を、計測箇所の数だけ繰り返し、全箇所における計測が完了した場合 (ステップ S 7 において N O)、計測用ポート 2 を投入位置に帰還させ (ステップ S 9)、網などによって計測用ポート 2 を回収する (ステップ S 1 0)。この

50

ように、横断方向の複数箇所の流速を計測することにより、河川のより詳細な流速を計測することができる。

【0043】

以上のように、本実施形態の流速計測システム1によって、河川のリアルタイムの流況データを安全かつ確実に取得できる。

【0044】

(ソフトウェアによる実施)

流速計測システム1における一連の制御は、観測員によるマニュアル操作によって行ってもよいが、特に、ステップS3～S9の制御は、マイコンの自動制御によって行うことが好ましい。

【0045】

その場合、図2に示す機能ブロックのうち、特に、出力計測部(推進力計測手段)24、対地速度計測部(対地速度計測手段)27および流速演算部(流速演算手段)32は、集積回路(ICチップ)上に形成された論理回路によってハードウェア的に実現してもよいし、CPU(Central Processing Unit)を用いてソフトウェア的に実現してもよい。また、これらの3つの機能ブロックを、計測用ポート2のみに設けてもよいし、コントローラ3のみに設けてもよい。すなわち、図2において、計測用ポート2が流速演算部32を備えてもよいし、コントローラ3が出力計測部24および対地速度計測部27を備えてもよい。

【0046】

これらの機能ブロックの各機能を実現するプログラムを、計測用ポート2またはコントローラ3に内蔵された制御用コンピュータ(マイコン)にインストールすることにより、各機能をソフトウェア的に実現することができる。上記プログラムは、当該プログラムを記録したCD-ROM等の記録媒体によって提供されてもよいし、計測用ポート2またはコントローラ3を通信ネットワークと接続し、当該通信ネットワークを介して提供されてもよい。

【0047】

(従来技術に対する優位性)

本実施形態に係る流速計測システム1は、非特許文献1に記載されている画像解析処理による流速計測技術と比較して、簡便性、確実性、量産性、自律性の点で以下の利点を有する。

【0048】

簡便性

従来技術では、機材の運搬や計測作業に数名の人員が必要である。一方、本実施形態では、計測用ポート2およびコントローラ3は軽量かつコンパクトであるため、1名でも流速計測作業が可能であり、携帯性も優れているため、計測用ポート2を河川へ投下できる環境であれば場所に制限がない。また、計測用ポート2を河川に投入した後は、自動制御により流速を計測できるため、計測作業が比較的簡便である。さらに、本実施形態における演算処理は、所定の関係式に出力MP(および対地速度GS)を当てはめるだけであるので、従来技術の画像解析処理に比べ簡単である。

【0049】

確実性

従来技術では、画像の取得状態は、天候や河川水面(波紋の有無)といった自然要因に大きく影響を受けるため、画像解析による流速の計測精度を高めることは難しく、環境によっては計測が不可能となる。これに対し、本実施形態では、出力MPと相対速度RVとの相関性が高いため、高精度で流速を算出することができる。また、自然要因による影響が少ないため、環境によらず確実に流速を計測できる。

【0050】

量産性

【0051】

10

20

30

40

50

画像解析では、撮影対象領域の校正作業が必要なため、計測を行う領域ごとに、校正のための測量が必要となる。これに対し、本実施形態では、流速、出力（および対地速度）の関係式がいったん得られれば、あらゆる場所で流速を計測できる。よって、計測開始までの準備労力が小さく、また、計測場所を変更しても、関係式を変える必要がない。また、この関係式は、計測用ポート2の形状、質量、モータ23の種類、取り付け位置、プロペラ22の形状、サイズなどによって定まるので、1つの計測用ポート2について関係式が得られれば、同一の設計で製造された他の計測用ポート2についても、同一の関係式を適用することができる。よって、計測用ポート2を容易に量産できる。

【0052】

自律性

従来技術では、観測員の目視による操作（遠隔操作も含む）が必要である。したがって、広い視野が確保できない暗渠部等での計測は困難である。これに対し、本実施形態では、計測用ポート2をプログラムによって自動制御できるので、通信環境さえ整えば、暗渠部等であっても安全に計測が可能である。

【0053】

以上のように、流速計測システム1は、水の流速を容易かつ高精度に計測することができる。

【0054】

（さらに好ましい形態）

上述した計測用ポート2は、船体の一部が水面から露出しているが、潜水可能であることがさらに好ましい。これにより、風雨の影響をなくすることができるので、計測精度をさらに高めることができる。また一般に、河川の流量は、横断面における複数の流速データの平均値に断面積を乗ずることで評価するため、計測用ポート2を横断方向だけでなく深さ方向にも移動させて、水中の流速のデータを取得することで、河川の流量を正確に推定することができる。

【0055】

なお、潜水制御を主流方向の推進制御と独立させるため、潜水方式はスラスタ・ダイブ式であることが好ましい。

【0056】

また、計測用ポート2にサイドスラスタが取り付けられていることが好ましい。これにより、計測用ポート2の横断方向への移動が容易になる。

【0057】

また、計測用ポート2は、超音波センサ26a, 26bに加え、水深を計測するための超音波センサをさらに備えることが好ましい。これにより、河川の流量をより正確に推定することができる。

【0058】

また、上記の実施形態では、1台の計測用ポート2を移動させながら、複数箇所の流速を計測していたが、複数台の計測用ポート2を用いて、同時に複数箇所の流速を計測してもよい。これにより、短時間で流速計測が可能となるため、迅速性が求められる洪水時において非常に有利である。

【0059】

（その他）

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上記の実施形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない限りにおいて、種々の変更が可能である。

【0060】

例えば、上記の実施形態では、観測員が橋梁B1において計測用ポート2を制御していたが、計測用ポート2が投入できる場所であれば、計測場所は特に限定されない。

【0061】

上記の実施形態では、超音波センサを用いて計測用ポート2の位置を計測していたが、計測用ポート2の位置の計測方法は、特に限定されない。例えば、慣性センサを用いた位

10

20

30

40

50

置計測や、将来的にさらなる精度向上が見込まれるGPS機能による位置計測を用いてもよい。また、カメラ画像によるトラッキング技術を用いて、計測用ボートの位置を計測してもよい。この計測方法については、下記の変形例において具体的に説明する。

【0062】

また、流速計測システム1は、一定量以上の水が流れている場所であれば、あらゆる場所で用いることができる。例えば、河川よりも小規模な用水路や側溝を流れる水の流速計測や、海の潮流の流速計測にも、流速計測システム1を適用できる。

【0063】

また、上記の実施形態において、推進力計測手段(出力計測部24)は、モータ23の出力を計測用ポート2の推進力として計測していたが、これに限定されず、例えば、モータ23の回転速度や消費電力を推進力として計測してもよい。

10

【0064】

また、上記の実施形態では、計測用ポート2を無線によって制御していたが、計測用ポート2をコントローラ3と有線で接続してもよい。この場合、計測作業終了後、計測用ポート2とコントローラ3とを繋ぐワイヤを手繰り寄せることにより、計測用ポート2を回収できる。

【0065】

(変形例)

以下、上記の実施形態の一変形例について説明する。本変形例では、計測用ボートの位置をカメラ画像によるトラッキング技術を用いて計測する。

20

【0066】

図4は、本変形例に係る流速計測システム1'の構成を示す概略図であり、図5は、流速計測システム1'の機能を示すブロック図である。なお、図4は、図1と異なり、流速計測システム1'を上方から見た平面図である。

【0067】

図4に示すように、流速計測システム1'は、水Wの流速を計測するシステムであり、計測用ポート(移動装置)2'、コントローラ3'およびWebカメラ(撮影装置)5を備えている。計測用ポート2'は、水Wが流れている場所(本変形例では河川)に投入される。コントローラ3'は、無線通信によって計測用ポート2'を遠隔制御する機器である。コントローラ3'は、携帯型の機器であってもよいし、パーソナルコンピュータのような据置型の機器であってもよい。

30

【0068】

Webカメラ5は、水Wが流れている河川の近辺(本変形例では河岸)に設置されており、河川の所定範囲を連続的に撮影可能である。計測用ポート2'は、河川のWebカメラ5の撮影範囲内に投入されることが好ましい。Webカメラ5は、映像を連続的に撮影可能な機器であれば、特に限定されない。Webカメラ5は、三脚等に取り付けられてもよいし、河岸の建造物や柵等に固定してもよい。また、Webカメラ5は、コントローラ3'に有線(USBケーブル等)または無線で接続されており、これにより、Webカメラ5が撮影した画像データは、コントローラ3'にリアルタイムで送信される。

【0069】

図5に示すように、計測用ポート2'は、送受信部21、プロペラ22、モータ23、出力計測部24、方向舵25および推進制御部28を備えている。すなわち、計測用ポート2'は、図2に示す計測用ポート2において、2つの超音波センサ26a, 26bおよび対地速度計測部27を省略した構成である。計測用ポート2'の他の機能ブロックは、計測用ポート2におけるものと同一であるので、その説明を省略する。

40

【0070】

コントローラ3'は、送受信部31、流速演算部32、表示部33、入力部34、制御信号生成部35、画像解析部36および対地速度計測部37を備えている。すなわち、コントローラ3'は、図2に示すコントローラ3において、画像解析部36および対地速度計測部37をさらに備えた構成である。コントローラ3'の他の機能ブロックは、コント

50

ローラ 3 におけるものと同一であるので、その説明を省略する。

【 0 0 7 1 】

画像解析部 3 6 は、Webカメラ 5 から受信した画像データの輝度情報（カラー）を解析（トラッキング）して、撮影範囲内における計測用ポート 2 ' の位置情報を特定する機能を有している。当該位置情報は、制御信号生成部 3 5 および対地速度計測部 3 7 に送られる。コントローラ 3 ' がパーソナルコンピュータである場合、画像解析部 3 6 は、例えば、オープンソースの統合開発環境である processing をインストールすることにより実現することができる。

【 0 0 7 2 】

制御信号生成部 3 5 は、入力部 3 4 からの目標位置情報と、画像解析部 3 6 からの位置情報とを比較して、両者が一致するように、計測用ポート 2 ' を制御するための制御信号（目標位置までの距離・方角情報を含む）を生成する。これにより、計測用ポート 2 ' の推進制御部 2 8 は、制御信号に基づいてモータ 2 3 の回転速度および方向舵 2 5 の方向を PID 制御し、目標位置に計測用ポート 2 ' を相対静止させることができる。

【 0 0 7 3 】

対地速度計測部 3 7 は、画像解析部 3 6 が特定した計測用ポート 2 ' の位置情報の時間変化に基づき、計測用ポート 2 ' の対地速度 GS を計測する。計測された対地速度 GS は流速演算部 3 2 に入力される。

【 0 0 7 4 】

流速演算部 3 2 には、対地速度 GS の他、計測用ポート 2 ' の出力計測部 2 4 によって計測された出力 MP が送受信部 3 1 を介して入力される。流速演算部 3 2 は、これらの出力 MP および対地速度 GS に基づいて、水 W の流速を演算することができる。具体的な演算内容は、上記の実施形態におけるものと同一である。

【 0 0 7 5 】

以上のように、本変形例では、Webカメラ 5 で計測用ポート 2 ' を撮影し、カメラ画像を解析することによって、計測用ポート 2 ' の位置および対地速度を計測している。これにより、超音波センサおよび反射板を用いる場合に比べ、容易かつ高精度に計測用ポート 2 ' の位置および対地速度を計測することができる。

【 0 0 7 6 】

なお、計測用ポート 2 ' の外面の少なくとも一部を、蛍光塗料で塗装したり、周囲の色彩と異なる色（赤色、黄色等）とすることが好ましい。これにより、画像データにおける計測用ポート 2 ' とその他の部分とのコントラスト比が大きくなるので、画像解析部 3 6 による解析精度を高めることができる。また、本変形例における画像解析は、計測用ポートの画像データを解析している点で、非特許文献 1 に記載されている従来の流速計測方法における画像解析とは異なる概念である。

【実施例】

【 0 0 7 7 】

本発明の流速計測システムの実用性を実証するために、室内水路において、計測用ポート 2 の試作機による実験を行い、モータ 2 3 の出力と流速との相関性を検証した。

【 0 0 7 8 】

（実験方法）

室内水路として、京都大学乱流推理実験室の幅 4 0 c m、長さ 1 0 m の水路を用いた。水路に基準面となる超音波反射板を設置した。水路に計測用ポート 2 の試作機を投入し、水深を 1 1 c m に固定したまま、流量 Q (l / s) を 2, 3, 4, 5, 6, 7 および 7 . 5 の 7 通りに系統変化させた。

【 0 0 7 9 】

計測用ポート 2 の試作機は、双胴型の浮体に、図 1 に示す超音波センサ 2 6 a, 2 6 b などの各種センサ類、推進・姿勢制御用のモータ 2 3、およびこれらを制御するマイコンを取り付け、モータ 2 3 にシャフトを介してプロペラ（スクリュウ）2 2 を取り付けることにより製作した。計測用ポート 2 の全長は 3 5 c m、全幅は 2 3 c m である。マイコン

10

20

30

40

50

およびシャーシは、レゴ社製のマインドストームEV3のパーツによって組み上げた。また、横方向への移動を可能とするために、サイドスラスト（サイドスクリュウ）を浮体の重心横断軸近くに取り付けた。主流に対するヨー角の検出にはコンパスセンサを用い、ラダーによって浮体が常に主流と平行になるように計測用ポート2の姿勢を制御した。より具体的には、1°単位で動作するサーボモータにプラスチック製のラダーを取り付けた。これらのモータにはレゴマインドストーム用のMモータ（定格トルク：0.08Nm、停動トルク：0.12Nm）を用いた。推進機構に平ギアを組み合わせ、プロペラ22の回転数を25倍（サイドスラストは5倍）に増速させた。プロペラ22は、いずれも外径25mmのプラスチック製である。超音波センサ26a, 26bはいずれも、レゴ社製EV3専用センサである。

10

【0080】

超音波センサ26a, 26bはいずれも、レゴ社製EV3専用センサである。超音波センサ26aは、超音波反射板に超音波を発信することにより、計測用ポート2の主流方向の絶対座標を得ることができる。超音波センサ26bは、水路側壁に超音波を発信することにより、計測用ポート2の横断方向の絶対座標を得ることができる。また、計測用ポート2の方向を計測するために、コンパスセンサ（Hittech社製）を取り付けた。

【0081】

なお、図6に示すように、計測用ポート2の船体にヨー角が生じた場合、超音波反射板4に対して超音波が斜め入射になるため次式による補正を行った。

$$S' = S \cos \theta$$

20

ここで、Sは実測距離値、S'は補正距離値、 θ はヨー角である。

【0082】

超音波反射板から40cm下流の位置を流速の目標計測位置とした。計測用ポート2を超音波反射板より下流90cmの水路センターライン上にセットし、PID制御のためのプログラムを実行すると同時に支えをはずし、約20秒後、計測用ポート2は目標計測位置において相対静止した。

【0083】

図7は、流量 $Q = 3 (l/s)$ における、計測用ポート2の超音波反射板からの主流方向における位置X、モータ23の出力MP（無負荷時の最大出力で無次元化）の時間変化を示すグラフである。支えをはずした直後は、出力MPがゼロのため少し下流に流されるが、すぐに推進力が増加する。20秒後には、計測用ポート2は、対地速度がほぼ0となるとともに目標計測位置まで移動したことが確認できる。なお、支えをはずした時点からの計測用ポート2の横断方向の移動量は小さく、少なくとも実験水路のような外乱の小さい環境下ではラダーのみで制御できると考えてよい。0.5秒間の主流方向の変動が1mm以下であるモータ23の出力MPを100サンプル分平均したものを、各流量 $Q (2, 3, 4, 5, 6, 7$ および 7.5 の7通り)における、対地速度が0のときの出力 MP_0 の代表値とした。

30

【0084】

図8は、対地速度が0のときのモータ23の出力 MP_0 と主流速 U_m との対応関係を示すグラフである。主流速とは、流量を断面積で除した断面平均流速である。このグラフから、出力 MP_0 と主流速 U_m とは、1対1に対応していることが分かる。図8に示す対応曲線から、モータ23の出力と流速との相関を示す関係式（上述の式1）を得ることができた。

40

【産業上の利用可能性】

【0085】

本発明は、災害対策分野や環境モデリング分野への様々な活用が期待される。上記の実施形態では、定点における流速計測について説明したが、計測用ポートに各種計測センサを取り付けることで、土砂濃度、水質、河床形状の定点観測も可能となり、計測用ポートを多目的の河川調査装置として使用できる。特に大河川では、流れの中央部は岸辺から距離があるため、従来技術における浮子やカメラを近くに設けることは難しいが、本発明で

50

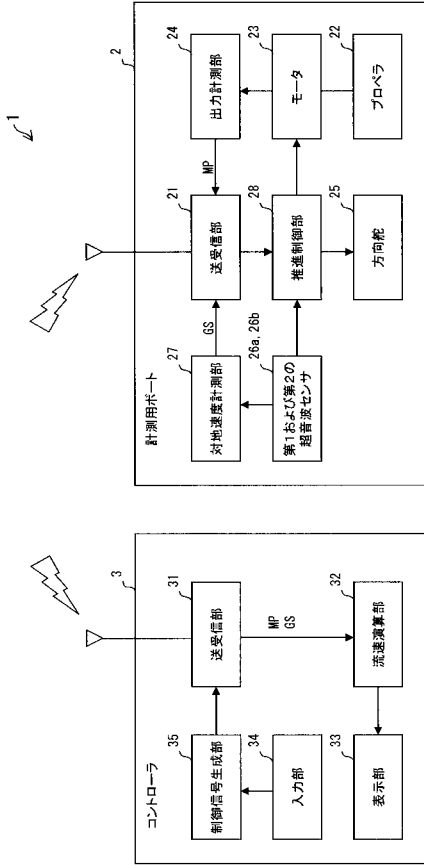
は、計測用ポートを移動させればよいので、このような問題を解決することができる。また、計測用ポートに水中カメラを装着することで、災害時の探査や救助支援としても活用できる。

【符号の説明】

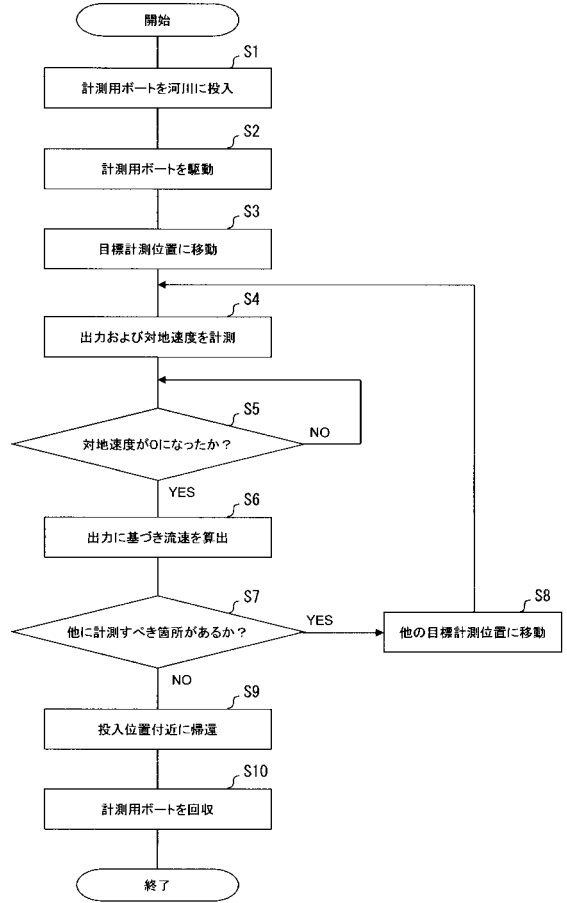
【 0 0 8 6 】

1	流速計測システム	
1'	流速計測システム	
2	計測用ポート	
2'	計測用ポート	
3	コントローラ	10
3'	コントローラ	
4	超音波反射板	
5	Webカメラ	
21	送受信部	
22	プロペラ	
23	モータ	
24	出力計測部	
25	方向舵	
26a	超音波センサ	
26b	超音波センサ	20
27	対地速度計測部	
28	推進制御部	
31	送受信部	
32	流速演算部	
33	表示部	
34	入力部	
35	制御信号生成部	
36	画像解析部	
37	対地速度計測部	
B1	橋梁	30
B2	橋脚	

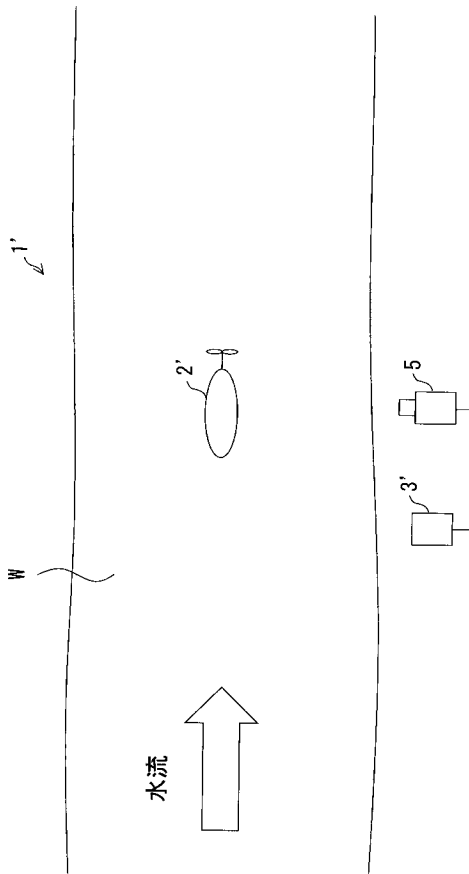
【図2】



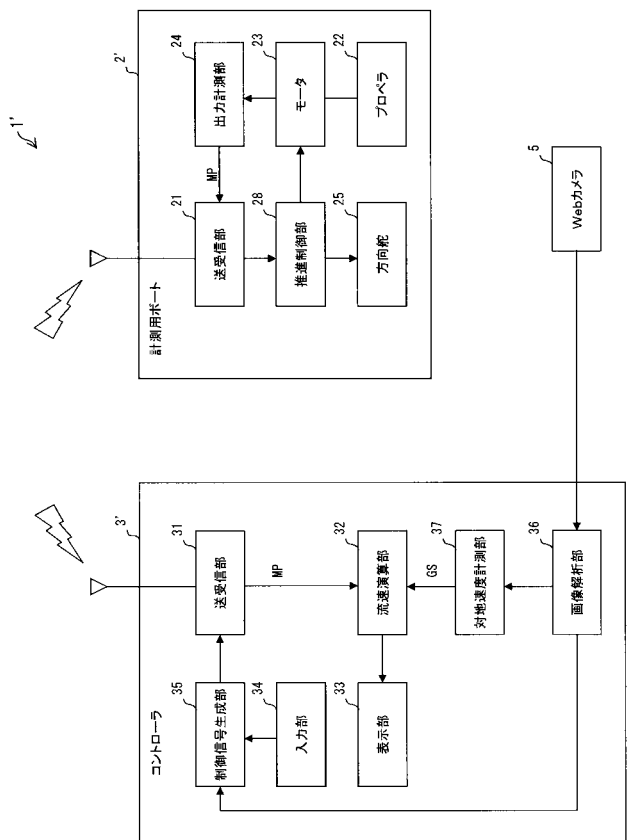
【図3】



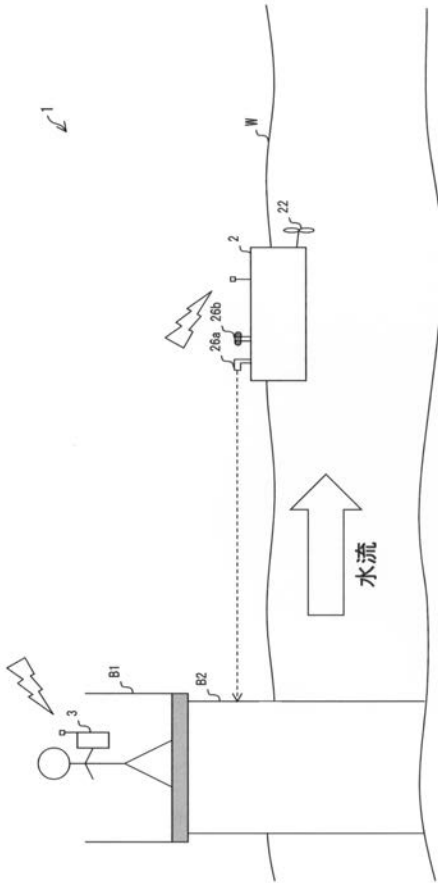
【図4】



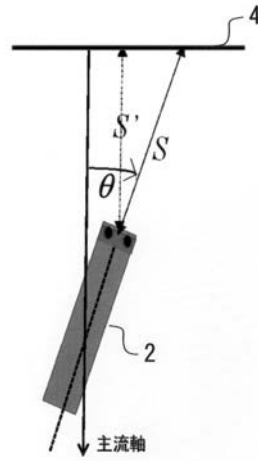
【図5】



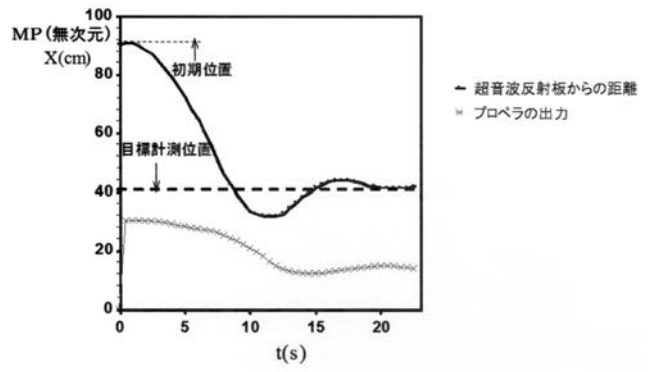
【 図 1 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

