

令和元年6月7日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06188

研究課題名(和文) 群集探査のためのヒレ推進小型水中ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of Miniature Aquatic Robot with Elastic Fins

研究代表者

武居 直行 (Takesue, Naoyuki)

首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：70324803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：水中ロボットの推進機にはスクリーブローペラが主流であるが、混濁水中では絡まりや巻き込みによる事故の破損や環境への危害などのリスクがあるために使用困難であり、水棲生物のようなヒレ推進が有効である。そのような背景のもと、完全な気密性を保ちながらも、シンプルでコンパクトな原理で水中をヒレ推進する方法として、振動モータをロボット筐体内に内蔵し、筐体外部に固定した弾性板の共振を利用することで推進する小型水中推進機を考案した。共振周波数の異なる複数の弾性板を選択的に加振することで操縦することが可能な小型水中ロボットのプラットフォームを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スクリーブローペラは、自然環境のような混濁水中では絡まりや巻き込みによる事故の破損や環境への危害などのリスクがある。一方、水棲生物のようなヒレ推進が期待されているが、ヒレ駆動には防水性の課題がある。本研究では、振動モータをロボット筐体内に内蔵し、筐体外部に固定した弾性板の共振を利用することで推進するシンプルでコンパクトな水中推進機を考案した。単一の振動モータでも、その回転数を制御することにより、共振周波数の異なる複数の弾性板を選択的に加振することができ、ロボットを操縦することが可能である。このような原理で動作するロボットは学術的に新規なものであり、管内探査などの用途に利用可能である。

研究成果の概要(英文)：Although screw propeller is a popular propulsive method for underwater robots, it has risks of damage in muddy water. Fins that aquatic organism have are effective in such an environment. In this study, a miniature aquatic robot with elastic fins is developed, which is propelled by utilizing the resonance of fins fixed on the outer shell. This method makes the waterproofing design easy since a vibration motor can be fixed inside. The platform, which has two or three types of fins whose natural frequencies are different and can be wireless operated, is fabricated.

研究分野：ロボティクス・メカトロニクス

キーワード：水中ロボット 共振 振動モータ 弾性板

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、水中での活動を目的としたロボットの研究が数多く行われ、人の手が届きにくい海洋での探索や作業などに期待され、すでに成果を挙げているものもある。推進機に焦点を当てるとスクリュプロペラが主流な一方で、静粛性や効率が優れている等の理由から、ヒレによる泳ぎを利用したものに関しても研究がなされており、水中での移動手段として注目を集めている。近年、ゲリラ豪雨や自然災害で市街地などが浸水することが少なくないが、そのような混濁水中では、従来のスクリュプロペラは絡まりや巻き込みのために使用困難であり、特にヒレ推進が有効であると期待されている。研究代表者もこれまでにヒレ駆動の魚型ロボットの研究開発を行ってきた。

また、カプセル内視鏡のような移動ロボットでは、外部磁場で操作する研究やピエゾアクチュエータや形状記憶合金アクチュエータなどを利用した研究などがある。しかし、外部磁場環境に制限されたり、特殊電源が必要などの制約があったりした。体内や水道管内のような狭小空間を移動する cm オーダでの小型ロボットを開発する場合、絡まりや巻き込みの他に、環境への危害や自己の破損のリスクにも配慮が必要であり、スクリュを使うことはできない。また、一般に用いられるサーボモータによるヒレ駆動もサイズの制約により難しい。小型化のためできるだけ単純な機構であることに加え、駆動環境の制約が少ない方が望ましい。

2. 研究の目的

そのような背景のもと、研究代表者はこれまで、完全な気密性を保ちながらも、シンプルな機構で水中をヒレ推進する方法を思案していた。その結果、図 1 のように振動モータをロボット筐体内に内蔵し、筐体外部に固定した弾性板の共振を利用することで推進する小型水中推進機を考案した。駆動部を筐体内にすべて内蔵するため防水設計が容易で、外部に固定したヒレ（弾性板）の形状やモータ振動数によって推進性能が変化することを実験により確認した。図 2 のように推進し、最高速度は 120mm/s 以上であり、体長比ではコイなどの魚と同程度の 2BL/s 以上 (BL は Body Length の略) を記録した。試作したロボットは、比較的安価に製作可能であり、多数の製造も可能である。すなわち、広範囲の水中を探索するような群集ロボットにも適していると考えられる。

しかし、当初はまだ基礎実験として推進に成功した段階にあり、現在は振動モータ、バッテリーと赤外線通信回路を搭載しているのみで、複数台を動作させるための回路を搭載していなかった。さらに、センサや回路を搭載した場合の、より適したヒレ形状、配置、重心位置、加振位置の条件を明確にしていく必要があった。そこで、本研究では、実験条件に対する移動性能を再現し、性能向上した実機による群集探索用水中ロボットのプラットフォームを開発することを目的とした。

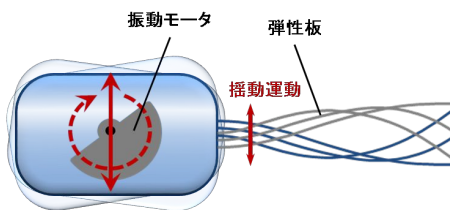


図 1 弾性板の共振による推進原理



図 2 推進実験の様子（連続写真）

3. 研究の方法

本ロボットの中でももっとも重要なパラメータである振動周波数をリアルタイムに測定・制御できるようにし、再現性のあるデータの取得を行う。周囲流体のダイナミクスを考慮した厳密な再現性（定量的な一致）を持つモデルの構築は現実的ではないと考えられるため、種々の弾性板を用いて得られた実験データを踏まえて、実機において定性的な性能（推進の可否・推進速度の優劣）を再現するモデルの構築を試み、遊泳性能を向上させたロボット実機を開発する。また、小型化・ワイヤレス通信のために電装機器の基板化を行う。複数の弾性板を用いることで直進・旋回の任意の操縦が可能なものにし、複数台の実機を連携できるようなプラットフォームを完成する。さらに、カメラ画像により、個々のロボットの位置を検知し、任意の目標位置に誘導するシステムを構築し、有効性を示す。

4. 研究成果

まず、実験条件の中でも重要な項目の一つである振動周波数の再現性を高めるために、振動モータの回転数（振動数）制御系を構築した。振動子の回転位置に応じて反射光の強度が変化するため、図 3 のようにフォトリフレクタをセンサとして使い、マイコンにより振動モータを PWM（パルス幅変調）で回転数制御した。これにより今まで高速度カメラによる観察後の計測で求めていた振動周波数をリアルタイムで任意に指令することができるようになり、またバッテリー残量による変動を低減することができた。このシステムはワイヤレスで指令・計測できるように構築したため、ケーブルの張力といった誤差要因も排除することができた。

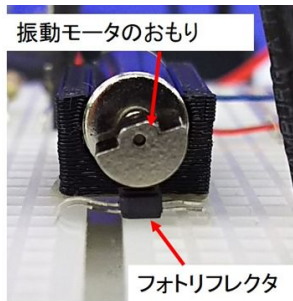


図3 フォトリフレクタによる回転数制御

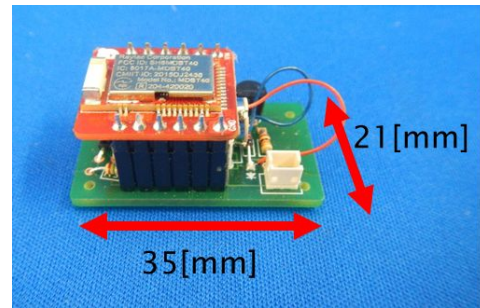


図4 小型化・ワイヤレス通信の基板

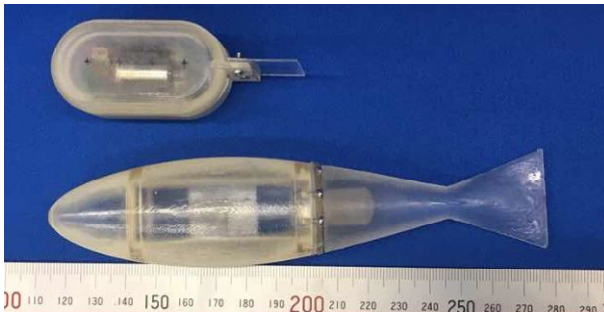


図5 楕円形と流線形状の外形を持つロボット

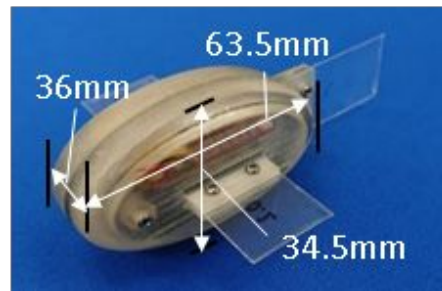


図6 3枚の弾性板を持つロボット

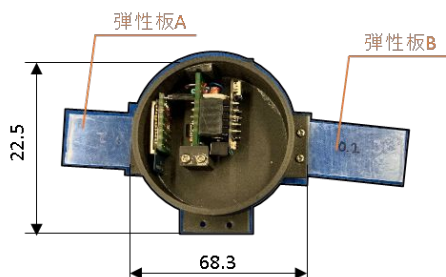


図7 2枚の弾性板を持つロボット

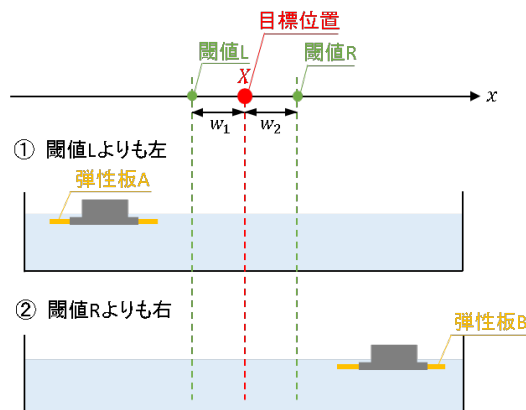


図8 目標位置への運動制御の概念図

つぎに、図4に示すように、ワイヤレス指令・計測可能で小型化のために基板化した実機を用いて、実験条件をさまざまに変えた遊泳実験により、観察およびデータ取得を行った。実機パラメータとして弾性板の大きさ・厚さ、加振位置、振動周波数などが遊泳性能に影響する。プラスチック薄板からカットした弾性板および、3Dプリンタで製作したロボット本体を組み合わせる実験に用いた。また、ロボット本体の外形状の影響を調べるため、流線形状のロボットの試作も行った(図5)。

ロボット内部のモータ・回路系の固定方法(再現性を高める)および弾性板の固定方法(等方性を高める)を改善し、モデルの精緻性を高めた。図6のように3枚の弾性板により、直進性能および旋回性能の実験を行い、弾性板の形状による旋回性能(小回り半径)に差異が現れることを確認した。さらに、ロボットの外形に連続性を持たせることにより流体抵抗の低減や遊泳性能の向上を試みた。最終的に、再現性を高めたロボット筐体プラットフォームを構築することができた。

さらに、図7に示す2枚の弾性板を持つロボットを用いて、カメラ画像により、ロボットの位置を検知し、2枚の弾性板を選択的に加振することで、図8のように任意の目標位置に誘導するシステムを構築し、実験によりその有効性を示した。

本研究では、共振周波数の異なる複数のヒレ(弾性板)を外部に固定し、振動モータの回転数を制御することで、単一のモータだけでも選択的に弾性板を共振させ、直進や旋回などの操縦ができるプラットフォームを開発した。本研究の水中推進手法はこれまでとは異なる新規なものであり、さらに形状・構造を変更すれば、管内探査や体内検診などの水中での群集ロボットの研究用途に適したロボットプラットフォームとして使用することができる。

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計7件)

松村悠馬, 小林優美, 望山洋, 武居直行: 俯瞰カメラとマーカを用いた小型水中ロボットの運動制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 講演論文集, 2A2-105, 2019/6.

小林優美, 松村悠馬, 望山洋, 武居直行: 弾性板の共振を利用した小型水中ロボットにおける形状と加振力の移動性能への影響, 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2018)論文集, 3B1-12, pp.2487-2489, 2018/12.

小林優美, 稲葉亜佑美, 望山洋, 武居直行: 複数枚の弾性板の共振を利用した小型水中ロボットの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集, 2P1-C08, 2018/6.

酒井悠亮, 武居直行, 望山洋: 三次元スピン可能な小型遊泳ロボット, 第 60 回自動制御連合講演会講演論文集, Sa12-6, (4pages), 2017/11.

稲葉亜佑美, 小林優美, 望山洋, 武居直行: 弾性体の共振を利用した小型水中ロボットの開発(シリコンゴム製尾柄部の寸法と共振周波数の関係), 第 60 回自動制御連合講演会講演論文集, Sa12-4, (2pages), 2017/11.

酒井悠亮, 望山洋, 武居直行: ワイヤ駆動連続体を噴射管にもつ小型遊泳機構, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 講演論文集, 2A2-F09, 2017/5.

三鼓貴史, 稲葉亜佑美, 武居直行, 望山洋: 弾性板の共振を用いた水中ロボットにおける振動モータの回転数制御, 第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2016)論文集, 1G4-4, 2016/12.

〔産業財産権〕

取得状況(計1件)

名称: 液体内移動装置

発明者: 武居 直行, 長澤 三喜郎

権利者: 公立大学法人首都大学東京

種類: 特許

番号: 特許第 6210491 号

取得年: 2017 年

国内外の別: 国内

〔その他〕

【解説】(特集:ロボットとその周辺技術)武居直行: 小型水中ロボットおよび水上パーソナルビークル, 日本 AEM 学会誌, Vol.25, No.1, pp.24-27, 2017/3.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 望山 洋

ローマ字氏名: Hiromi MOCHIYAMA

所属研究機関名: 筑波大学

部局名: システム情報系

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 40303333