

令和 5 年 5 月 5 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04402

研究課題名（和文）エビの遊泳脚に基づいた推進力の創出と水中ロボットの移動機構への挑戦

研究課題名（英文）Development of paddle-type propulsion unit using phase difference

研究代表者

李 根浩（Lee, Geunho）

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号：60595776

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：現在、水中探査ロボットの主な推進装置はスクロップローパーである。問題点として、低い機動性・羽の回転による停止や故障・生物に害を与えるおそれ等が挙げられる。そこで、上記の限界を乗り越えるために、「エビの遊泳運動」を模倣したパドル式推進メカニズムの開発に取り組む。本研究では、試作機として実験機を開発し、提案する推進メカニズムで、推進する手法について研究を行う。この実験機から、一連の動作制御を行い、提案する推進メカニズムの有効性を示す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エビは、4対の遊泳脚をパドルさせることで遊泳している。動作解析を通してエビは遊泳脚を後側から順に動かしていくが、このとき各遊泳脚の動作のタイミングに一定のずれ（位相差）がある。このずれは、直前の運動により生じた流れを、次の遊泳脚が運動することで更に流れを添加する。この一連の動作をすべての遊泳脚で行うことにより、通常のパドルリングより高い推力を発生させている。本研究では、このエビ特有の遊泳運動をモデル化し、推進原理として活用可能な運動式を創出する。さらに、創出した運動式を導入したパドル式推進装置と制御手法を開発し、水中ロボットの推進機としての可能性を試みる。

研究成果の概要（英文）：We aim to develop a new propulsion mechanism for seabed exploration. The main propulsion mechanism of the currently used for underwater exploration robots is a screw propeller. While screw propellers can generate high-efficiency propulsion, the screw-propellers propulsion suffers from problems such as a reduction in propulsion efficiency when speed increases and a risk of injury due to contact with aquatic organisms. To overcome these limitations, we take attention to the swimming leg of a shrimp and propose a paddle-type propulsion mechanism that applies the motion of the abdomen when the swimming of the shrimp. The shrimp swim in the water by paddle-exercising the swimming legs provided under the abdomen like paddles. Through extensive experiments, we verified the effectiveness of the proposed mechanism by performing an operation experiment using the developed prototype.

研究分野：ロボット工学

キーワード：パドル推進メカニズム エビの遊泳脚

1. 研究開始当初の背景

現在、水中の探査・調査の研究活動において、多様な水中探査ロボットが用いられている。これら水中探査ロボットの主な推進装置は、スクリュープロペラである。スクリュープロペラは、羽根により水をかき、後方へ押し出すことによる反動を推力として利用する。形状の異なるものや、羽根の向きを変化できるものといった多数バリエーションが存在し、幅広い用途に使用されている。その反面、様々な問題を抱えている。代表的な問題の一つ目は、羽根の回転によって付近の藻やゴミを巻き込み絡まってしまうことによる、停止や故障という問題。二つ目は、スクリュープロペラの推進力を高めるために回転速度を上げ過ぎると、刃の背面の圧力が低くなり、水蒸気や細かい気泡が生じるキャビテーションという現象が起きて推進効率が著しく低下してしまうという問題。三つ目に、海洋生物が羽根と接触してしまうことで、負傷させてしまい、最悪、殺傷してしまう危険性の問題。実際に、イルカやマナティーがスクリュープロペラにより傷を負ってしまう事故が数例発生している。海洋生物を観察する上でこの危険は無視できないと思われる。

そこで、前提条件として上記の危険性が少ない、パドル式推進方式に注目する。この方式は、櫂や外輪船に代表される推進方法であり、高速回転を行わないため、キャビテーションが起こらならず、航行中の推進効率の低下が起こらない。流れが、推進機本体に向かう一方向だけではないため、異物を吸い寄せることが少ない。パドルを低速で掻くだけなので、生物と接触してしまった際の被害が少なくすむと考えられる。スクリュープロペラでは藻や泥を巻き込む可能性がある湿地帯でも使用できると考えられる。しかしながら、パドル式推進機は一般的に、スクリュープロペラと比べ、推進効率が低いと言われる。

2. 研究の目的

(1) エビは、4対の遊泳脚をパドルングさせることで深海と浅瀬両方で遊泳している。興味深いことに、各遊泳脚の動作には、パドルング開始にタイムラグがある。このタイムラグを、時間と各遊泳脚の角度をモデル化する際、位相差として現れる(図1を参照)。本研究は、この位相差を活用したパドル式推進方式で、効率がよい推進力の生成について取り組む。さらに、パドル間に位相差を導入したパドル式推進機を開発し、それによる水中ロボットの推進機としての制御手法の創出を目的とする。

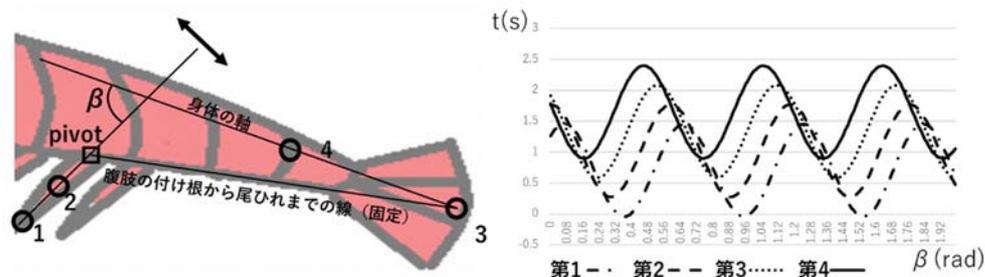


図1. エビの遊泳脚のモデル図と角度の時間変化のグラフ

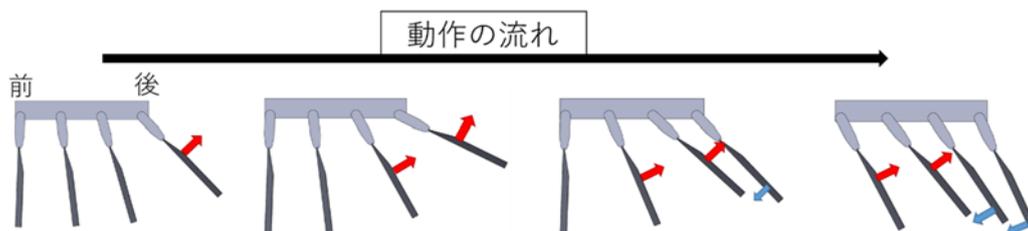


図2. 試作機及び試作機動作の流れの概要

(2) エビは遊泳脚を後側から順に、角度の変化に位相差をつけて運動させている。これは、直前の運動により生じた後方への流れが消失する前に、次の遊泳脚が運動することで、更に流れを添加する(図2を参照)。この一連の動作をすべての遊泳脚で行うことにより、通常のパドルングより高い推力を発生させている。このパドル運動をモデル化し、推進機として活用可能な運動式を創出する。さらに、位相差を持った4対のパドルが発生させる推力を求め、ロボット本体

の運動式を創出し、制御方針を決定する。

(3) 本研究では、エビの遊泳動作に対して、推進機への応用という新しいアプローチを行う。エビの遊泳運動を新たに工学的活用可能にするためにモデル化するという、バイオミメティクスの観点で非常に特色がある。また、スクリュープロペラよりも設計製造が容易といった利点を保ちながら、従来よりも高い推進力を出せるパドル式推進機開発が実現できると期待される。さらに、位相差の制御手法を確立することにより、今後の研究で行われることであろうエイやイカといった一定のパターンでヒレを動作させるタイプの水中ロボットの研究開発にも貢献できる。

3. 研究の方法

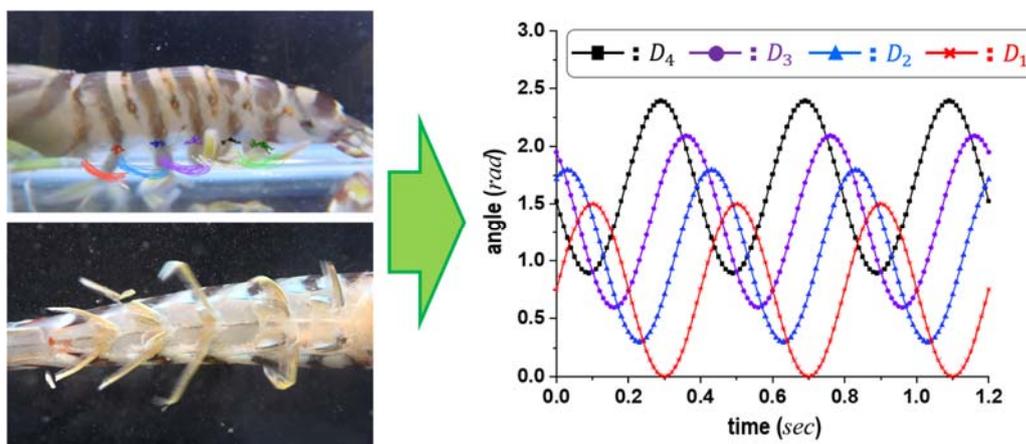


図3. エビの遊泳運動の解析と創出した遊泳運動の軌跡

エビの遊泳動作を模倣するにあたり、実際のエビの遊泳動作を観察し、分析を行った（図3の左）。その結果、エビの身体的特徴と運動的特徴の2点が効率の良い遊泳運動を可能にしていることが分かった。身体的特徴は、各遊泳脚の行きと帰りの一連のストローク動作において異なるストローク軌跡と異なるパドル形状のストローク差により、推力を生み出していることが分かった。運動的特徴は、各パドル間に特定の位相差があり、それがエビの遊泳運動を効率の良いものになっていることが分かった。解析（図3の右）によって得られたエビの遊泳運動の軌跡から、周期、振幅、位相差、振幅差を読み取ることで、以下の遊泳脚の運動式を創出した。

創出した遊泳脚の運動式を出力可能な実験機を開発し、提案するモデルの有効性を検証した。水面に浮いた状態で実験機にエビの遊泳脚の運動式を入力した結果、まっすぐに前進した。これにより、エビの遊泳運動を模倣した推進メカニズムは水上において推進機として有効であることが示された。さらに、実験機の2D水面上での運動性能と、位相差による推進力への影響の検証実験を行った。

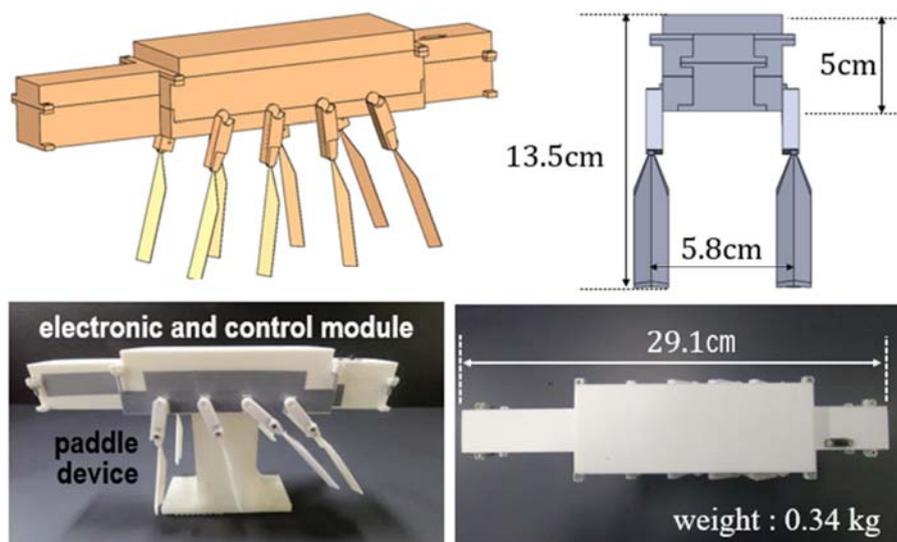


図4. 開発実験機の様子

4. 研究成果

(1) 実験機 (図4参照) に創出したエビの遊泳脚の運動式を入力することで、提案する推進メカニズムの推進機としての有効性を検証した。エビの遊泳脚の運動式を入力した結果、実験機は水上用の浮きを備えつけ、水面に浮いた状態で動作実験を行った。これによって推進機が水中で実際に推進力を生み出しているか検証した。動画分析ソフトウェアを用いて、提案した遊泳運動の軌跡 (図5の左) と、この式を入力した試作機の水中での運動の様子を比較結果として図5の右に示す。具体的にモデルの有効性を検証するため、水中での試作機の運動の様子を動画解析した各パドルの軌跡を示した。結果より、入力と出力の軌跡が同様であることから提案したモデルが試作機において正しく動作することが確認された。

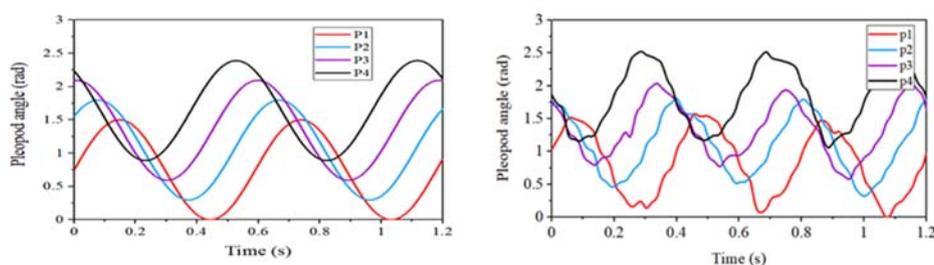


図5. 遊泳脚の運動式(左)と実験機による軌跡結果(右)

(2) 図6に示したように、実験機はまっすぐに前進した。このときの各パドルの軌跡を、運動解析ソフトを用いて解析した。その結果、入力した軌跡と同様な軌跡の出力が得られた。これにより、エビの遊泳運動を模倣した推進メカニズムは水上において推進機として有効であることが示された。さらに、実験機の2D水面上での運動性能と、位相差による推進力への影響の検証実験を行った。実験機に目標とする2D運動をさせた結果、図6のように目標通りの軌跡を描いた。よって、提案するモデルの動作制御が可能であることを示した。

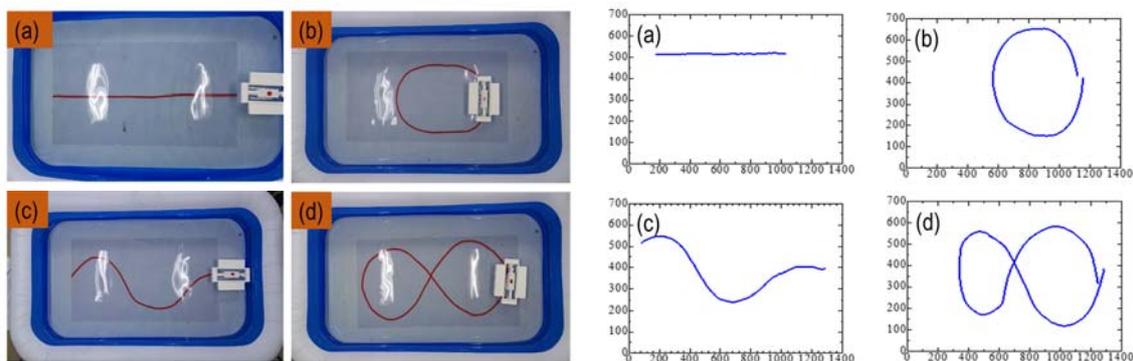


図6. 実験機による運動性能の検証実験様子(左)その軌跡結果(右)

(3) エビの遊泳運動を模倣した推進メカニズムを実験機で位相差が与える影響についても実験を行った。具体的には実験機のパドルをパワーストロークとリカバリーストロークで同じ形にした。その結果、実験機は行ったり来たりを繰り返すだけで前進しなかった。この状態で位相差の信号を与えても前進はしなかった。このことから、この推進メカニズムが機能するにはストローク差が重要であることが分かった。さらに位相差がある場合とない場合で比較実験を行った。実験内容は、推進力と推進速度を、フォースゲージを用いて測定した。実験の結果、推進力については位相差なしの方が位相差ありに比べて大きな推力を測定した。一方、推進速度については、位相差ありの方が位相差なしよりも速かった。このことから、この推進メカニズムにおいて位相差なしは一回のストロークで大きな推進力を生み出すことができ、位相差ありは推進速度を高める働きをすることが分かった。

本研究では、エビの遊泳運動をモデル化し、推進機へ応用することで水中ロボットとしての可能性を試みた。実験の結果、提案する運動モデルは推進機として有効であり、一定の動作制御ができることを確認した。この研究を通して、水上において十分な推進機能を発揮することを明確にした。今後の研究では、水中におけるエビの遊泳動作を模倣した推進生成手法を確立することを目標とする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Geunho Lee and Teppei Inoue
2. 発表標題 Drag force based propulsion mechanism for underwater robots
3. 学会等名 10th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Geunho Lee, Teppei Inoue, Aye Aye More, and Sousuke Hamada
2. 発表標題 First step toward underwater explorations using paddle-based propulsion mechanism
3. 学会等名 Antarctic and Southern Ocean Forum 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上哲平, 李根浩, 春日井稿樹
2. 発表標題 エビの遊泳運動を模倣した水中における新たな推進メカニズム
3. 学会等名 日本機械学会九州支部 第53回卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 春日井稿樹, 井上哲平, 李根浩
2. 発表標題 水上移動ロボットの旋回制御手法の提案
3. 学会等名 第40回計測自動制御学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上哲平, 李根浩
2. 発表標題 水中ロボットにおける昇降可能な推進メカニズム
3. 学会等名 日本機械学会Dynamics and Design Conference 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aye Aye Moe, Haruka Noritake, Kouki Ogata, Kazuma Takemoto, Shousuke Hamada, and Geunho Lee
2. 発表標題 Bionic shrimp paddle-type mechanism and its realization
3. 学会等名 Proc. IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤津橋誠, 李根浩, 濱田庄助, Aye Aye Moe
2. 発表標題 エビの遊泳運動における位相差を取り入れたパドル式推進機の開発
3. 学会等名 日本機械学会 九州支部第73期総会・講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------