

## エビ型ロボットの推進力生成の原理とPIV解析

村山泰清\*, 李根浩\*\*, 竹下千喜\*\*, 椎木孝成\*\*, 徳野叶人\*

(\*宮崎大学工学部, \*\*宮崎大学大学院工学研究科)

## 1. 緒言

地球表面の約70%を占める海は未踏の領域が多く、日本は地理的特性から海洋探査が盛んである。従来の水中探査ロボットは推進機構としてスクリュウプロペラを用いるが、キャビテーションによる騒音や損傷、生物や異物との接触といった問題がある。これに対し、パドル式推進機は低速での駆動により、環境負荷が少なく、安全性が高い。特に、エビの遊泳動作に着目した生物模倣型のパドル式推進方式は、湿地帯などでも使用可能な利点を持つ。本研究では、エビの動きを再現した推進機を開発し、パドル運動による推進力の数値的解明に取り組む。パドルの動作範囲と抗力の関係をモデル化し、実験と比較することで推進モデルの妥当性を検証し、水中ロボットへの応用可能性を示すことを目的とする。

## 2. エビの遊泳メカニズム

エビは遊泳脚を順にパドルングさせて遊泳し、各脚の動作には開始タイミングのズレ（位相差）がある（図1参照）。これは正弦波状に表れ、後方から順に位相差を持って動くことで、前の脚が生んだ水流が消える前に次の脚が動き、流れを連続的に強めることで高い推進力を得る。この推進力は主に抗力によって生じる。エビは遊泳脚先の毛を使って水をかき、パワーストローク時には脚を伸ばして毛を逆立てて表面積を大きくし、大きな抗力を得る。一方リカバリーストロークでは脚を曲げ、毛が寝て表面積が小さくなり、抗力も小さくなる。このストロークの差により、一方向の推進力が生まれる。



図1 エビの特徴の1つである位相差

## 3. 模倣ロボットの開発

模倣ロボットでは、パドルのベース部とブレード部の間にバネを設置し、パワーストローク時にはブレード部がベース部に抑えられて伸びたまま、リカバリーストローク時には抑えられずに屈曲する仕組みを作ることで、モータを使わずに動作の違いを再現する。パドルのブレード部をV字型にして表面積の変化を模倣し、パワーストローク時は大きな抗力を受け、リカバリーストローク時は小さな抗力となる。この表面積の変化は抗力の受けやすさを示し、抗力係数の変化で同様の効果を得る。V字型の形状により、パワーストローク時は凹面が抗力を受け、リカバリーストローク時は凸面が抗力を受けるため、モータを用いずに抗力の差を人工的に再現できる。

さらに、位相差は運動学方程式をプログラムに組み込むことで再現できる。

## 4. PIV解析と評価実験

模倣ロボットにより生成される推進力を把握するため、PIV（粒子画像流速測定）解析を用いて周囲の流れを可視化し、数値的な検証を行った（図2参照）。これにより、ロボットの運動が生み出す推進力の分布を明らかにした。さらに、水中実験を実施し、PIV解析の結果と組み合わせることで、構築した推進モデルの妥当性と有効性を評価した。

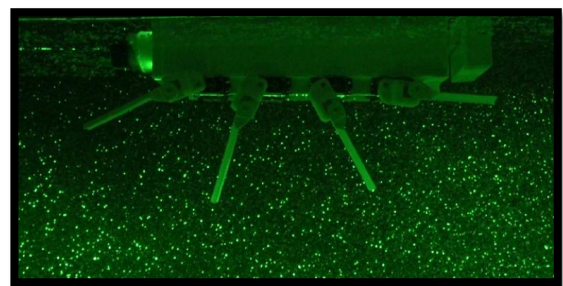


図2 PIV解析による流れの可視化

## 5. 結言

本研究では、エビの運動様式を模倣したロボットの推進性能を評価するため、PIV解析を用いて周囲流体の挙動を可視化し、推進力の発生を確認した。その結果、開発した試作機は、水中移動に必要な十分な推進力を生み出せることが明らかとなった。今後は、水中環境における実験を通じてロボットの挙動を詳細に検証し、さらなる性能向上を図る予定である。加えて、カメラを活用した制御・動的流体上での姿勢制御等、海底探査のような複雑かつ多様な地形に対応可能な多機能水中ロボットの実現を目指す。

## 謝辞

本研究の一部は、公益財団法人 原田記念財団の研究助成を受けています。

## 参考文献

- [1] Y. Shen, N. Harada, S. Katagiri, and H. Tanaka, "Biomimetic realization of a robotic penguin wing: Design and thrust characteristics", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol.26, no.5, pp. 2350-2361, 2021
- [2] T. Buren, D. Floryan, and A. Smits, "Bioinspired underwater propulsors" in W. Soboyejo and L. Daniel (Eds.), Bioinspired Structures and Design, Cambridge University Press oo.113 139, 2020