Effect of Yaw Motion on the Propulsive Performance of Robotic Fish with Tail Fin Actuators

学 ○福崎 昇 (阪市大院) 学 宇佐美 雄大 (阪市大院)

正 高田 洋吾 (阪市大院)

Noboru FUKUZAKI, Osaka City University, 3-3-138, Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka

Takahiro USAMI, Osaka City University

Yogo TAKADA, Osaka City University

1 緒 言

水中生物に多くみられる尾ひれによる推進は、プロペラ推進に比べ、最高速度、加速性能、旋回性能などの面において優れているとされている。しかし、現在の尾ひれ推進による魚ロボットの推進速度や推進効率、実際の生きた魚に比べ未だに十分ではなく、生態系調査用などに実用化を試みる場合は、現状よりも数倍高速化する必要がある。過去の研究より、魚ロボットは一関節で駆動する場合と比べて二関節で駆動する方が、推進性能が向上することが判っている⁽¹⁾。

しかし、二関節駆動型の魚ロボットは遊泳中に体幹部に回転中心を持つヨー運動を行い、体全体を左右に揺動する。また、実際に体全体を揺動している魚の種類は多い。著者らが過去に行った研究では、頭部を固定し、体幹部と尾ひれのみを揺動する計算格子を用いて解析を行っていた。そのため、ヨー運動が魚ロボットの推進性能に及ぼす影響について検討することが出来ず、また、魚の遊泳を忠実に再現出来ていないという問題があった。

そこで本研究では、頭部を固定せず、体全体を左右に揺動することが出来るように、計算格子に改良を加えた。この改良によって、ヨー運動が推進性能に与える影響について三次元流体構造連成計算で検討することを可能にした。推進性能を向上させるためには魚ロボットがヨー運動を抑えるように設計すべきか否かについて検討した。

2 流体・構造連成計算手法

本研究では、流体・構造連成解析において、流体の支配方程式と構造の支配方程式を別々に解き、流体構造境界面において構造に対しては力学的境界、流体に対しては幾何学的境界を与える弱連成法を採用した。流体解析(CFD)には著者らの開発してきた3次元流動数値解析コード⁽²⁾(GTTコード)を用いた。本 GTT コードは境界適合格子を適用して流動解析を有限体積法に基づいて行い、今回は、ソルバーとして SIMPLER 法を用いた。尾ひれの弾性変形解析には20節点6面体 Serendipity 要素を用いた有限要素法⁽³⁾により定式化を行った。

3 ヨー運動が推進性能に与える影響

3.1 使用した計算格子

本研究で使用した計算格子は $62 \times 50 \times 159$ に分割し、魚ロボット周りおよび尾ひれ後方は細かく分割している。ヨー運動を再現するために、まず、体幹部に中心のある揺動を魚ロボット全体に対して行わせ、その状態で各関節を揺動させた。今回、体幹部の揺動角を $\pm 10^\circ$ 、尾ひれの揺動角を $\pm 20^\circ$ とし、ヨー運動を行わない場合と行う場合で推進力等の比較を行った。尾ひれ揺動角に対する体幹部揺動角の位相差は 120° としている。

推進性能の評価方法として、式(1)に示す流体から受ける力は流れに向かって進む力(正味推進力) $\overline{F_p}$ と、流れに対して垂直な力(横力) $\overline{F_s}$ の比(推進特性) R_a を用いた。正味推進力は、尾ひれを左右に揺動した結果、前に進もうとする力、横力は、尾ひれを左右に揺動するのに必要な力である。

$$R_a = \frac{\overline{F_p}}{\overline{F_s}} \quad (1)$$

3.2 ヨー運動の有無による推進性能の比較

体幹部と尾ひれを揺動させるとともに体全体も揺動し、ヨー運動を考慮した場合(Case A)、及び、頭部を固定した状態で体幹部と尾ひれのみを揺動させた場合(Case B)の渦度分布を図1に示す。

生きた魚が尾ひれを左右に揺動して遊泳する際、尾ひれ後方に広がり小さい渦列が発生する。渦列の広がり方はヨー運動をしない場合に比べて、する場合の方が小さい。このことからヨー運動をしている場合の方が生きた魚の遊泳に近いことが判る。

次に、正味推進力、横力、推進特性の値を図2に示す。ヨー運動を行う場合と行わない場合を比較すると、行う場合の方が、正味推進力は小さく、横力は大きくなるという結果になり、推進特性が低下するという結果になった。これはヨー運動を行うことで流れに対する全面投影面積が大きくなってこれが原因であると考えられる。

Fig.1 Result of Computer Simulation

Fig.2 Evaluation results

4 結 言

遊泳中に行うヨー運動を考慮し、体全体を揺動させ、頭部の揺動も行った場合、推進力は低下し、尾ひれを揺動するのに必要な力は増加している。これらの影響によって推進性能は低下してしまう。以上のことから、魚ロボットを設計する際は、ヨー運動を行わないように、揺動角や、重心位置、機構を決定する必要があると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費(基盤研究(C)24560301)の援助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- (1) Y.Takada, T.Ochiai, N.Fukuzaki, T.Tajiri and T.Wakisaka, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, 3(1), (2013), pp.57-64.
- (2) 高田洋吾, 荒木良介, 落合利紀, 田尻智紀, 脇坂知行, 機論 C, 77(778), (2011), PP.2351-2362.
- (3) 下関正義, 藤沼平一 PC-9801 有限要素法プログラミングの実際[Ⅱ], (1991), 日刊工業新聞.