

生物の特徴を活かした筋配列モデル水中ロボットのシミュレーション

早野 洋起[†] 中沢 実[‡] 渡辺 弥壽夫[‡]

金沢工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻[†]

金沢工業大学 情報技術研究所[‡]

1. はじめに

既存にあるほとんどのロボットは、動作ごと各関節のサーボモータ角を計算し、直接その角度だけモータを回転させるタイプである。それに対し、近年、ロボットの自然な動作を実現するため、人間や動物の腕や足の拮抗多関節筋構造の仕組みを活用したタイプのロボット研究が注目されている[2]。その仕組みとは、各関節の周りに、拮抗多関節筋配列に並べた複数の人工筋肉アクチュエータを配置し、それらを協調動作させることで関節を回転させるタイプである。

この仕組みを水中生物ロボットへ応用しているものでは、ナメクジウオの筋配列モデルのロボットを運動制御し、その挙動を模擬する研究[1][2]である。この研究で取り上げられているナメクジウオの遊泳は、「魚ロボットの推進方法[3]」で分類すると、細長い身体全体をS字運動させ推進力を得る方法である。

現在、この遊泳方法以外かつ拮抗多関節筋構造のロボットについては検討されている研究は存在しない。そこで、本稿では、拮抗多関節筋構造の仕組みかつ、身体の後部のみが動作する魚型水中ロボットの筋配列モデルを新たに考案する。さらに、そのモデルの挙動を評価するために簡単な動作シミュレーションを行う。

2. 生物の筋肉について

生物の特徴的な筋肉として拮抗筋、多関節筋がある。これらの筋肉は複雑な動きをするために必要不可欠である。

拮抗筋とは、関節をある方向に動作させるときに作動する筋肉に対して、その動きと逆の方向に働く筋肉のことを指す。この2つの筋肉を1対の拮抗筋とする。この拮抗筋は、図1のように一方が収縮するとき、もう一方が弛緩する。

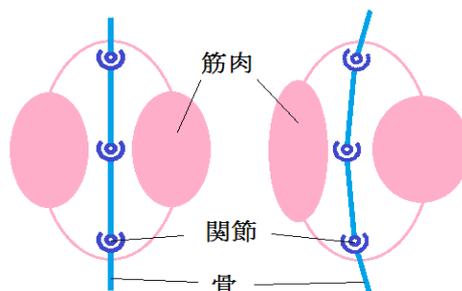


図1. 1対の拮抗多関節筋の構造と収縮弛緩

これによって、お互い動きを補助し、動作をスムーズに行えるようにしている。なお、魚類の場合は、中骨を中心に左右対称の位置のある筋肉同士を1対の拮抗筋とする。

また、多関節筋とは、多数の関節にまたがって配置している筋肉である。したがって、この筋肉が収縮弛緩するとき、図1のように、またがっている関節すべて同時に力が加わり、動作に影響する。なお、魚類の場合は、人や動物のような、多関節構造ではないが、仮想的に機能する三関節筋と仮定することができ、その筋配列モデルで実験を行っている。

3. 実験に用いる拮抗多関節筋のモデル

本実験では、図2、3のように、魚の頭部から胴部の前の部分はほとんど動作せず、胴部の後ろの部分から尾部のみ進行波によって、推進力を得る魚の筋配列モデルを考える。

このタイプの魚は、後部に進むほど振幅が大きくなる。そのために、図4のように、6対の拮抗筋を配列したモデルを考案した。このモデルのR(L)1~4は拮抗三関節筋対、R(L)5は拮抗二関節筋対、R(L)6は拮抗単関節筋対である。R(L)1~6には、異なる位相を付け動作させる。さらに、R(L)4~6には、R(L)1~3の2倍の筋力を加える。また、拮抗

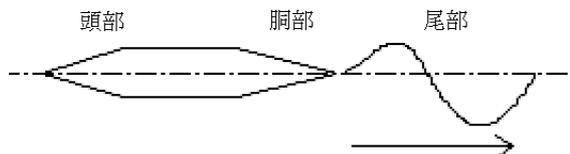


図2. 波状運動の概念図[4]

Simulation of striped muscle type underwater robot using feature of biological

[†] Hiroki Hayano, Graduate Program in Information and Computer Engineering, Kanazawa Institute of Technology

[‡] Minoru Nakazawa, Yasuo Watanabe, Information Technological Laboratory, Kanazawa Institute of Technology

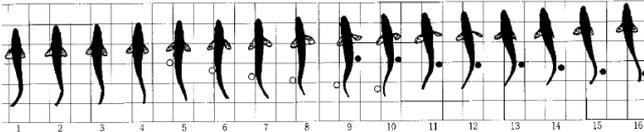


図3. 実際の魚(タラ)の遊泳形態^[5]

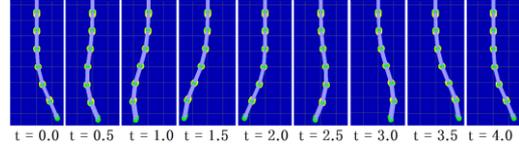


図5. シミュレーションでの動作推移

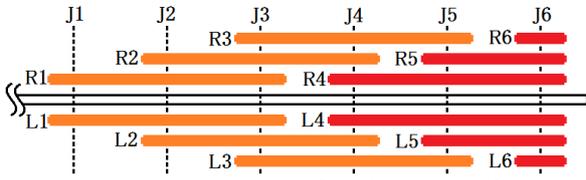


図4. 実験に用いる魚の筋配列モデル

筋対 R 1 ~ 6 と L 1 ~ 6 の収縮力は、真逆の入力となる。それと、各関節 J 1 ~ 6 には、またがっている拮抗筋対の筋力の合力が加わる。

4. 筋配列モデルの挙動制御式

左右それぞれの拮抗筋の収縮力、その拮抗筋対の筋力の合力、各関節に加わる筋力の合力をそれぞれ(1)、(2)、(3)、(4)式で求める。また、そのために必要なパラメータを以下に示す。なお、(1)式は「進行波を生成するために、各筋対に分配される入力式^[1]」を参考に立てた。

n : 拮抗筋対の番号 (1 ~ 6)

m : 関節の番号 (1 ~ 6)

F_{Rn} : 右側の拮抗筋の収縮力

F_{Ln} : 左側の拮抗筋の収縮力

F_{Rn-Ln} : 拮抗筋対の筋力の合力

F_{Jm} : 各関節に加わる筋力の合力

F_{MAXn} : 拮抗筋の収縮力の最大値

(ただし、 $2F_{MAX1} = 2F_{MAX2} = 2F_{MAX3} = F_{MAX4} = F_{MAX5} = F_{MAX6}$ とする)

$\psi = \frac{2\pi}{N}$: 進行波の位相差

$N = 6$: 拮抗筋対の数

$\varphi = \omega t$: 進行波の時間的位相

ω : 遊泳運動の周波数

t : 時間

$$F_{Rn} = F_{MAXn} \{ -\sin \varphi \cos((n-1)\psi) + \cos \varphi \sin((n-1)\psi) \} \quad (1)$$

$$F_{Ln} = -F_{Rn} \quad (2)$$

$$F_{Rn-Ln} = F_{Rn} - F_{Ln} \quad (3)$$

$$F_{J1} = F_{R1-L1} \quad (4)$$

$$F_{J2} = F_{R1-L1} + F_{R2-L2}$$

$$F_{J3} = F_{R1-L1} + F_{R2-L2} + F_{R3-L3}$$

$$F_{J4} = F_{R2-L2} + F_{R3-L3} + F_{R4-L4}$$

$$F_{J5} = F_{R3-L3} + F_{R4-L4} + F_{R5-L5}$$

$$F_{J6} = F_{R4-L4} + F_{R5-L5} + F_{R6-L6}$$

5. 動作シミュレーション実験

本実験では、シミュレーションを簡易に行うために、水の抵抗やロボットの質量や表面積考慮しない。その代り、各関節に加わる力とその関節角に比例関係があると仮定し、そのための比例係数を定めた(5)式で関節の角度を求める。

θ_m : 関節の角度

k : 関節に加わる力と関節角の比例係数

$$\theta_m = k F_{Jm} \quad (5)$$

また、各パラメータを

$$F_{MAX4} = F_{MAX5} = F_{MAX6} = 2.0,$$

$$F_{MAX1} = F_{MAX2} = F_{MAX3} = 1.0, \quad \omega = \frac{\pi}{4}, \quad k = 1.0$$

としてシミュレーションを行った。

シミュレーション結果として、 $0.0 \leq t \leq 4.0$ の間(1周期分)の動作推移を図5に示す。これより、このモデルによって、図3の魚の後部と類似した動作が行われていることが分かる。

6. まとめ

本稿では、生物の特徴である拮抗多関節筋構造を魚型水中ロボットに応用するために、新たに筋配列モデルを考案した。さらに、その挙動制御式を立て、そのモデルと式を簡単な動作シミュレーションによって評価した。その結果、実際の魚の遊泳運動を模擬することができた。

今回行ったような複数の拮抗筋対を組み合わせ方やその制御式の立て方のバリエーションは豊富に存在する。そのため、今後は、他の魚類の遊泳方法や、より複雑な挙動する水中生物への応用が期待できると考える。

参考文献

[1] 辻敏明: “ナメクジウオロボットの筋骨格と運動制御—進化史に学ぶロボティクス—”, 日本ロボット学会誌, vol. 28, no. 6, pp. 37-40, 2010.

[2] 熊本水頼 編著: ヒューマノイド工学—生物進化から学ぶ2 関節筋ロボット機構—. 東京電機大学出版局, 2006.

[3] 平田宏一: 「魚ロボットの推進方法」 <http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/fish/general/principle/index_j.html>(2010/05/25 アクセス)

[4] 「泳ぎアルゴリズムのページ」 <http://www2.plala.or.jp/k_y_yoshino/fish1/swim.html>(2010/10/25 アクセス)

[5] 田中一郎, 永井実: 抵抗と推進の流体力学—水棲動物の高速遊泳能力に学ぶ—, シップ・アンド・オーシャン財団, 1996.