解説

魚ロボットの開発

Development of Robotic Fish

山本 郁夫* *独立行政法人海洋研究開発機構
Ikuo Yamamoto* *JAMSTEC, Headquarters

1. はじめに

水中ロボットの開発が盛んになっているが、生物運動の応用ロボットの例として魚ロボットを開発した。最初に開発した鯛ロボットは、本物そっくりに動力および通信ケーブルなしで泳ぐことで世の中の評判となり、様々な雑誌[1]でその技術力の高さを評価されている。その技術はシラカンス、鯉等のロボットにも適用され、様々な種類の魚ロボットが世の中に送り出されるに至っている[2]。本稿では魚ロボットの生み出された経緯について解説したい。

2. 開発の発端

海洋の分野において、プロペラに替わる新しいアクチュエータは何かないかと模索し始めたのが研究の発端であった。研究を進めていくうちに、魚のヒレの動きがヒントになるのではと思い、休日を利用して魚の観察のため頻繁に水族館を訪れた。観察を続けていくうちに、魚は生活環境によって泳ぎ方が異なり、長い年月をかけて体の構造・推進法がその泳ぎ方に適した独自のものに進化していることが分かり、魚そのものをロボット化することに興味が注がれていった。同時に、科学的アプローチの必要性を感じ、流体力学、材料力学、振動学、トライボロジー、電気工学、制御工学等の技術をベースに魚ロボット開発の科学的アプローチを進めていくこととなった[3]。

3. 開発の経緯

3.1 弾性振動翼推進システムの開発

魚ロボットの開発において、まず取り組んだのは、魚のヒレのようなアクチュエータの開発である。魚の動きの観察を通して、魚はヒレの柔らかいしなりを利用して効率良く運動していることが分かり、そのようなアクチュエータを弾性振動翼推進システムと名付けて開発に取り組んだ。初期の弾性振動翼推進システムの駆動原理概要を図1に示

す。弾性振動翼の弾性率分布を様々に変化させて、数値シミュレーションおよび水槽試験を通して、翼の最適形状を選んだ。次に、弾性振動翼推進システムを小型船舶に取り付けて運動性能の検証を行った。ここで、弾性振動翼推進システムにより、船の前進はもちろん、後進、左右旋回を一つの翼で制御できることが分かった。また、ニューラルネットワーク制御アルゴリズムを制御コンピュータに搭載し、運動の仕方を学習できるシステムを構築した[4]。

3.2 鯛型魚ロボットの開発

弾性振動翼推進システムの開発をベースに、水中無線、ソナー情報通信技術、高リアルティ整形技術、画像認識技術を開発し、図2のような鯛型魚ロボットを開発した。長さ

図1 弾性振動翼推進システムの駆動原理

図2 鯛型魚ロボット

原稿受付 2004年4月16日

キーワード: Robotic Fish, Oscillating Fin, 3D-untethered Motion

*〒237-0061 横須賀市夏島町 2-15

*Yokosuka-shi, Kanagawa

図3 魚ロボットの遊泳状況

図4 魚ロボットの流体試験

60 [cm], 重さ 2.6 [kg], 電池 (バッテリー) 内蔵で, ケーブルレス三次元運動が可能である. 速度約 30 [m/min]. 外皮はシリコン樹脂で, 自律航走とパソコンからの無線による遠隔操縦も可能である. 図3に本ロボットの遊泳試験の状況を示す. 魚の動きのリアリティを高めるため, 図4に示すような流体試験を行い本物の魚の動きに合うよう, 運動制御系を開発した. 例えば, 本ロボットの後流渦発生間隔 (長さ/幅) は 0.26 で安定なカルマン渦であり, ストローハル数は 0.25 で実際の魚とほぼ同じ数値で遊泳する. 浮沈制御についても魚の遊泳ロジックを搭載している. なお本ロボットは, 1999年に「世界で最も本物のように見える魚ロボット」としてギネスブックに認定されている.

3.3 シーラカンス型魚ロボットの開発

古代魚を遊泳させたいとの世の中のニーズに応え, 図5のようなシーラカンス型魚ロボットを開発した. 長さ 1.2 [m], 重さ 40 [kg] の大型のものと長さ 0.8 [m], 重さ 13 [kg] の小型のもの2種類を製作した. 複数翼を駆動でき, 細かな運動制御が可能であるとともに, カオス制御を取り入れて, よりリアリティを増したロボットとなっている. なお, 本ロボットは, 1938年に世界で初めて生きたシーラカンスを発見した生物学者のラティマ女史にご鑑定いただき高い技術評価をいただいている.

図5 シーラカンス型魚ロボット

図6 魚ロボット自動遊泳システム

3.4 全体遊泳システム

魚ロボットのアミューズメント施設での遊泳を目的に, 全自動遊泳システムを開発した. これは, 図6に示すように, 魚ロボットの位置を水槽に設置した超音波センサーによってとらえ, コンピュータにより自動制御を行い, 制御指令を水中無線によって魚ロボットに送るものである. これにより操作ボタンを押した後, 魚ロボットは自動で遊泳を開始し, 深度とコースがずれたら自動補正を行い, バッテリーが切れたら充電器まで泳いで自動充電後再び遊泳するといった一連のシステムが実現できた. 図7に本システムを使った魚ロボット (シーラカンス) の遊泳状況を示す.

4. ま と め

魚ロボットの開発を通して, 新しい推進装置である弾性振動翼推進技術, ケーブルレスで自由航走させるための水中情報通信技術, リアリティを高めるための整形技術, 遊泳コース・深度保持のための水中遊泳自動制御技術, 連続遊泳を可能とする自動充電技術等のキー技術を構築することができた. 今後, 本技術は, アミューズメント遊泳向け

図 7 シーラカンスロボットの遊泳状況

魚ロボットのみならず，水中調査・監視用 ROV [5] や海洋観測用長距離航行ビークルの要素技術として応用できる可能性がある。

謝 辞 本研究開発におきまして，お世話になりました福井工業大学寺田教授殿，三菱重工業殿，菱明技研殿に深甚の感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] 例えば, TIME, APRIL, 1999, SCIENCE, vol.284, APRIL, 1999.
- [2] E. Madeen: "Doctor Robopet," ANA WINGSPAN (ANA 国際線機内誌 "翼の王国"), no.416, pp.24-29, February, 2004.
- [3] 山本: "ロボット技術の最前線", Let's 不思議! 第 16 回公開セミナーテキスト, 1999.
- [4] I. Yamamoto, et al.: "Propulsion system with flexible/rigid oscillating fin," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.20, no.1, 1994.
- [5] I. Yamamoto and Y. Terada: "Robotic fish and its Technology," Proc. SICE Annual Conference, August, 2003.

山本郁夫 (Ikuko Yamamoto)

1983 年九州大学工学部航空工学科卒業, 1985 年九州大学大学院工学研究科応用力学専攻修了, 現在, 独立行政法人海洋研究開発機構海洋工学センター海洋技術研究開発プログラム自律型無人探査機技術研究グループリーダー (旧研究主幹), 工学博士, Editorial Boards of

Springer-Verlag, London. 専門はビークル・ロボット工学, 運動力学, 制御工学, 先端 IT 工学等。