船底清掃を目的とした水中システムの開発 —第2報：船底清掃用水中ロボットの姿勢制御—

Development of an Underwater System to Improve Ship Fuel Efficiency - Second Report : Attitude Control of Ship-Wall Cleaning Robot -

○ 竹光 考昭 (九工大) 田坂 大蔵 (九工大)
アミールアリ フォローナシライ (九工大) 正 石井 和男 (九工大)

Takaaki TAKEMITSU, Kyushu Institute of Technology, takemitsu-takaaki@edu.brain.kyutech.ac.jp
Taizo TASAKA, Kyushu Institute of Technology, tasaka-taizo@edu.brain.kyutech.ac.jp
AmirAli Forough Nassiraei, Kyushu Institute of Technology, nassiraei@brain.kyutech.ac.jp
Kazuo ISHII, Kyushu Institute of Technology, ishii@brain.kyutech.ac.jp

The sea transportation by ships covers most of trade, and the technologies for fuel efficiency and reductions of carbon-dioxide emissions should be developed. One of the technical issues to improve fuel efficiency of ships is how to prevent the marine biofouling to the ship hulls and remove organisms from ships. In general, the cleaning of ship hull is carried out on the ship inspection in dock yard or by divers in harbor. Frequent cleaning of ship walls is desirable to keep good fuel efficiency, however, the ship inspection on dock is done once a year and the cleaning by divers is high-cost and involves high risk. One of the solutions to the problem is to apply underwater robots into cleaning of ship surfaces. In this paper, we describe dynamics and motion control system of the underwater robots to clean ship surfaces.

Key Words: Under Water Robot, Ship Wall Cleaning, Attitude Control

1. 緒言

船舶は長期間停泊すると、アオサなどの海草やフジツボなどの貝類が付着し、推進抵抗が増加することが報告されている。それに伴い、設計通りのスピードが出せなくなり、燃費が悪化する問題があるため、船底を清掃する必要がある。通常、船がドック入りした時、或はダイバーによって船底清掃が行われるが、ダイバーによる水中での船底清掃は危険が伴う。著者らは船底清掃の自動化を目的に船底清掃ロボットの研究・開発を進めている[1]。開発したロボットは、遠隔操作型のロボットであり、ケーブルを介して支援計算機に接続されている。ロボットに搭載されたカメラで状況を確認しながら操作、或は深度を制御しながら決められた時間前進することで船底清掃を行うため、オペレータの負担が大きい。

本研究では、ユーザやオペレータの負担軽減を図るため、船底清掃ロボットの自律性向上及び小型化による運用コストの軽減を目的として、船底清掃ロボットの操縦支援システムの開発を行う。まず、ブラシによる船底清掃を確実にするための姿勢制御法の確立を目指す。本稿では、新たに開発されたブラシユニットの吸引力の測定、およびリミットサイクル実験の結果に基づくシミュレーションを行ったので報告する。

2. 船底清掃水中ロボット

2.1 水中ロボットの概要

我々が開発した船底清掃ロボットは、6基のスラスタと2基のブラシユニットを搭載しており、Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yawの6自由度に関して制御する。

船底清掃ロボットの仕様をTable 1に示す。船底清掃ロボットは、小型・軽量であるため、少人数での運用が可能である。また、浅海域のみで作業を行うため、最大潜航深度は50[m]とした。ロボットはAC200[V]電源を必要とし、電源供給用ケーブルを介して電力を供給する。また、Yawの制御を実現するための方位角センサ、Pitch, Rollの制御を行うための姿勢角センサを搭載している。Heaveの制御は深度測定用の圧力センサを用いて行う。ロボット内部には、MPUを用いた専用の

制御ボードが2枚搭載されており、一枚はセンサデータの取得及びスラスタの制御を行っている。もう一枚の制御ボードでは、ブラシユニットの制御を行っている。制御ボードはI2C通信、外部PCと制御ボード間は光ファイバケーブルを介してシリアル通信によるデータ交換を行っている。

Fig.1. Ship Wall Cleaning Robot

Fig.2. Brush Unit

3. 船底清掃用ブラシの吸引力測定実験

新たに開発されたブラシユニットをFig.2に示す。このブラシユニットはスラスタも兼ねている。船底清掃ロボットは、ブラシユニットの吸引力を利用して、船底に密着しながら移動することで、清掃を行う。ブラシユニットの吸引力に関する特性を実験により確かめた。

実験装置の構成図をFig.3に示す。フレームに固定したブラ

Table 1 Specification of Ship Wall Cleaning Robot

Dimensions	1.1 × 0.8 × 0.5 [m] (L × W × H) 41.73 [kg] (Dry weight)
Operating depth	50 [m] max
Power Source	AC200 [V] Power Supply
Actuators	110[W] Thrusters × 6 150[W] Thrusters × 2 (Brush Unit)
Sensors	Attitude sensor (Precision Navigator TCM2.6) Depth sensor (YOKOGAWA FP101A) High Vision Camera × 2
MPU	dsPIC30F6014

Fig.3. Experimental set up

Fig.4. Result of Brush power of absorption

シユニットを、水槽底面から任意の距離に設置することができる。定電流電源を用いてブラシユニットに0~5[A]の電流を流すことで、ブラシを回転させ、その際に回転軸方向に発生する推力を測定することで、吸引力の測定を行った。力覚センサを用い、ブラシの回転軸方向への推力を測定した。

3.1 実験結果

実験結果を Fig.4 に示す。電流と吸引力には、正の相関関係があることが分かる。ブラシユニットと水槽底面の距離に関わらず、電流が低い場合は、吸引力も低い。また、ブラシユニットと水槽底面の距離が短くなるにつれて、吸引力が増すことがわかる。現在用いているロボットの運動方程式はブラシユニットの吸引力による推力の増加が考慮されていない。より正確な船底に密着しながらの移動を実現するためには、ブラシユニットの吸引力を考慮した運動方程式を立てる必要がある。

4. 姿勢制御

4.1 実験結果

水中ロボットの運動方程式を、慣性と速度の符号付自乗に比例する抗力のみを考慮して簡略化すると

$$M\dot{v} + C|v|v = F \quad (1)$$

と表わされる。ここで、 v : 速度、 F : 推力、 M : 質量と付加質量、 C : 流体抗力係数である。

4.2 リミットサイクル実験

リミットサイクル試験とは、ロボットに周期的な力を与えて持続振動させ、その実験値から、ロボットの運動特性を知るための試験である。式(1)の M と C を実験データから最小自乗法で推定する。Yaw 運動に関する実験は、ロボットに2.0[N]のモーメントを与え、0.0[rad] (初期位置) と $1/4\pi$ [rad]で推力を反転した。位置は、TCM2.6 から送信された方位角センサの値を用い、速度は位置の微分、加速度は位置の2階微分した値を用いた。速度に関する実験結果を Fig.4 に、加速度に関する実験結果を Fig.5 に示す。今回推定した Yaw 方向の運動パラメータは、 $M = 65.52[\text{kgm}^2]$ 、 $C = 196.30[\text{kg}]$ であった。

Fig.4. Angular velocity (Experimental)

Fig.5. Angular acceleration (Experimental)

Fig.6. Angular velocity (Simulation)

Fig.7. Angular acceleration (Simulation)

4.3 シミュレーション

実験によって推定した M と C の値を基に、シミュレーションを行った。速度に関するシミュレーション結果を Fig.6 に、加速度に関するシミュレーション結果を Fig.7 に示す。速度については、実機の応答に近い応答が得られた。加速度については、実機との差異が大きい。これは、位置を2階微分した際の誤差が大きいと考えられる。

5. 結言

今回、ブラシユニットの吸引力測定実験と Yaw に関する運動特性の解析を行った。今後は、他の自由度についても運動特性の解析を行い、PID 制御の適用や実海域での姿勢制御実験を行っていく。

謝辞

本研究は、NPO 環境テクノロジーセンター、三友プラントサービス (株)、海上保安庁の協力のもと実施している。

文献

- [1] 石井和男ほか, "船底清掃を目的とした水中システムの開発 (第1報: 船底清掃用水中ロボットの開発及び実験結果報告)", 日本ロボット学会 学術講演会 講演概要集, IG3-5, pp147, 2010
- [2] 首藤慎吾ほか, "自律型水中ロボット" Twin-Burger における運動制御システムの開発", "PROCEEDINGS 2008 JSME Conference on Robotics and Mechatronics", 3pages, 2008