物質の相変化を利用した浮力調整装置の開発 —金属ベローズを用いた内部搭載型浮力調整装置の開発—

Development of a Buoyancy Control Device

Utilizing Phase Change of Material

- Development of a Buoyancy Control Device within a Robot Body Utilizing Metallic Bellows -

○学 井出口宏徳（龍谷大） 学 吉井 星（龍谷大）
正 渋谷 恒司（龍谷大）

Hironori IDEGUCHI, Ryukoku University, Sho YOSHII, Ryukoku University
Koji SHIBUYA, Ryukoku University

The final goal of this study is to develop a buoyancy control device for underwater robots utilizing phase change of material. A conventional underwater robot and a conventional submarine adjust buoyancy by discarding a set of iron balls or seawater in other place, which is harmful to the environment. Therefore, we proposed new buoyancy control method utilizing phase change of material. Our previous method for inducing volume change use rubber for changing the volume, but rubber is not so strong. Therefore, we developed a new buoyancy control device using metallic bellows. The control part of the device is within a robot body to prevent it from suffered from water. As a result of experiments, we confirmed that the durability of the device was improved without suffering heat and cooling ability.

Key Words: underwater robot, buoyancy control, Metallic bellows

1. 緒言

現在、一般に使用されている潜水能力を有する機械には、金属塊をおもりとして潜航し、そのおもりを投棄することにより浮上する方式や、圧縮空気を使用してタンクに海水を注入・排出することによって潜水する方式がとられている。しかし、これらの方式では、海中への物質の投棄や他海域への海水排出といった環境破壊の原因となる問題が生じる。そこで、外部と物質のやり取りを行わない浮力調整方式が必要となる。

本研究では、物質の相変化による体積変化を利用した浮力調整装置の開発を行っている。これまでの研究では、体積変化物質にパラフィンワックスやラードを使用し、ゴム膜や金属製ピストンを介して体積変化を外部へ伝達した^{[1]-[5]}。しかし、ゴムの劣化や金属ピストンの摩擦によるエネルギー損失という問題が生じたため、装置を新しく製作した。本報告では、金属ベローズを用いた体積伝達機構と浮力調整時を機体内部に搭載した時の浮力調整について述べる。

2. 浮力調整装置・機体の概要

2.1 原理

今回の浮力調整装置は、体積変化の伝達に金属ベローズの伸縮を利用する。体積変化物質には、パラフィンワックスを使用し、その加熱・冷却にはペルチェ素子を用いる。

2.2 装置製作

製作した装置の概略図を図1に示す。装置上部はアルミニウムを用いて製作し、図2のようにペルチェ素子設置用の溝を加工した。ベローズの伸縮部分には、断熱のため水を封入した。

2.3 機体製作

浮力調整装置の浮力実験のために実験用ロボット機体を製作した。機体の概略図を図3に示す。機体は主にアクリルを用い、機体上面のみペルチェ素子の放熱用にアルミ板を使用して製作した。

Fig. 1 Schematic diagram of buoyancy control device

Fig. 2 Photograph of buoyancy control device

Fig.3 Schematic diagram of prototype robot

3. 実験

3.1 稼働実験

室内において、水平な台の上に載せた浮力調整装置単体をペルチェ素子により加熱し、その時のペローズ伸縮部分伸びをポテンショメータにより測定した。

ペローズの伸縮量とペローズ伸縮部分の内径・外径を基に算出した予想浮力変化と、封入したパラフィン量から算出した最大浮力変化量を図4に示す。このグラフから、金属ペローズにより体積伝達を行うことが十分に可能であることが分かる。

Fig. 4 Expectation buoyancy from amount of expansion

3.2 浮力調整実験 I

浮力調整装置を搭載した機体をワイヤに取り付け、機体上部のアルミ板上に重りを載せて水中に沈めた。ひずみゲージを取り付けたステンレス板（厚さ 3mm）に、先ほどのワイヤを取り付けた。このひずみゲージにより浮力変化を測定した。また、図3に示す位置に設置した温度センサで浮力調整装置上部の側面温度を測定した。なお、各測定のサンプリング周波数は 1Hz である。

浮力変化量と温度データを図5に示す。このグラフから、

浮力増加を十分に得られる事が分かる。しかし、浮力を減少させる過程では、常温付近の温度において浮力が完全に元に戻っていないことがわかる。初期浮力まで戻すには長い時間を要することが予想される。

Fig.5 Amount of buoyancy change and temperature

3.3 冷却実験 II

3.2と同様に機体をひずみゲージを取り付けたステンレス板に吊るした状態で水中にしずめ、20分毎に加熱・冷却を切り替えて浮力変化量と温度を測定した。冷却方法はペルチェ素子を使用するもの（A）と、ペルチェ素子を使用せずに自然冷却のみのもの（B）、2種類の条件で測定を行った。

浮力変化量と温度のデータを図6に示す。このグラフから、常温近辺を除きペルチェ素子の冷却利用による、浮力調整効果はないことが分かる。

Fig.6 Cooling effect of peltier device

3.4 装置単体との比較

シーリング剤と断熱シートにより防水を施した浮力調整装置単体にワイヤと取り付け、ひずみゲージを取り付けたステンレス板（厚さ 3mm）に吊るした状態で水中に沈め、ペルチェ素子により 20 分毎に加熱・冷却・加熱を行い、浮力変化量を測定した。

この浮力変化量と機体に搭載した場合の浮力変化量を比較したグラフを図7に示す。このグラフから、内部搭載した浮力調整装置の方が容易に大きな浮力変化を得られることが分かる。また、冷却時の浮力減少量を比較しても内部搭載型が劣っているわけではないので、浮力調整装置を内部搭載する事で、加熱時には大きな断熱性を得て、冷却時には変わらぬ放熱性を保つことが出来たと考えられる。

Fig.7 Comparison of device and prototype robot

4. 結言

体積伝達機構に金属ベローズを使用する事で、耐久性が向上した。機体内部に浮力調整装置を搭載する事で、冷却時の放熱性を損なうことなく、加熱時の断熱性を向上できた。浮力調整装置内部に電子機器を封入しないことで保守性・メンテナンス性が向上した。

課題としては、より効率の良い放熱・断熱を行える機体と浮力調整装置の設置方法の検討、装置の軽量化、内部電源を搭載した遠隔操作可能なロボットの開発などが挙げられる。

文 献

- [1]. Koji Shibuya, Yuichi Kado, Suguru Honda, Taro Iwamoto and Kazuyoshi Tsutsumi, "Underwater Robot with a Buoyancy Control System Based on the spermaceti Oil Hypothesis," Proc. Of 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2006),(2006.10)
- [2]. 渋谷恒司, 門裕一, 本田卓, 岩本太郎, 堤一義, マッコウクジラの脳油仮説に基づく浮力調整装置を有する水中ロボットの試作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会' 06 (ROBOMECH' 06), 1P1-E31, (2006.5)
- [3]. 渋谷恒司, 門裕一, 本田卓, 岩本太郎, 堤一義, マッコウクジラの脳油仮説に基づく浮力調整装置を用いた水中ロボットの姿勢制御, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 3A26, (2006.9)
- [4]. 渋谷恒司, 河合光太, 吉田晃浩, 物質の相変化を利用した浮力調整装置の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会' 07 (ROBOMECH' 07)
- [5]. 渋谷恒司, 井上智隆, 加柴裕成, 河合光太, 物質の相変化を利用した浮力調整装置の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会' 08 (ROBOMECH' 08)