物質の相変化を利用した浮力調整装置の開発 —金属ベローズの伸縮を利用した体積変化の評価—

Development of a Buoyancy Control Device Utilizing Phase Change of Material - Evaluation of a Volume Change Mechanism Utilizing Metal bellows Stretch -

○学 吉井星 井出口宏徳 正 渋谷恒司 (龍谷大)

Sho YOSHII, Hironori IDEGUCHI, and Koji SHIBUYA
(Ryukoku University)

The final goal of this study is to develop a buoyancy control device for underwater robot utilizing phase change of material. A conventional underwater robot and 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. In this paper, we report a new buoyancy control device that utilizes metal bellows stretch. Paraffin wax filled in the device was cooled by peltier devices and heated by them and a nichrome wire, resulting in volume change. We conducted experiments and confirmed that the proposed mechanism could increase and decrease its buoyancy. As a result, we confirmed that improve the proposed device can change buoyancy, but the amount of buoyancy change was smaller than expected.

Key Words: underwater robot, buoyancy control, metal bellows stretch, phase change

1. 緒言

現在、製造・運用されている多くの水中探査艇や潜水艦には、金属を投棄して浮力を調整する方式と海水の注排水により浮力を調整する方式の2通りの方式が挙げられる。前者の方式では金属塊をおもりとして潜水し、浮上はそのおもりを海中に投棄することによって浮力の調整を行う。この方式では潜水・浮上の動作を1度きりしか行うことができず、また金属塊は投棄されたまま回収されない。また後者の方式では浮き袋の役割を果たすタンクを設けており、潜水はこのタンクの空気を抜き海水を取り入れ浮力を失うことで行う。しかし、海水の注排水を遠い海域にて行うと海水とともに取り込んだ生物等が別の海域に運ばれてしまうことになる。このように、どちらの浮力調整方式をとっても環境や生態系に悪影響を及ぼす可能性がある。このため、新しく外部と物質のやり取りなしに浮力を調整できる方式が必要となる。

本券研究では、外部と物質のやりとりのない浮力調整方法として、マッコウクジラの頭部にある脳油の働きに着目した。マッコウクジラはこの脳油を自身の浮力調整に利用しているのではないかという仮説がある^[1]。その仮説によると、脳油を自身の血液や海水によって加熱冷却し、液体や固体に状態を変化させることで体積変化を生じさせ、浮力を調整しているとする。

本研究では、この仮説を基に浮力調整装置の開発を行っている^{[2]・[6]}。脳油の代替物質としてパラフィンワックスを用い、それを加熱冷却することで体積を変化させ、それにより浮力が変化することを確認した。これまでに作製された体積変化機構にはシリンダやゴム膜が用いた浮力実験装置によって実験を行っていた。しかし、これらの機構ではシリンダの摩擦による減衰やゴム膜の劣化などの問題点があった。それらを踏まえて、新しく体積変化機構として金属ベローズの伸縮を利用した装置を考案した。本報告ではこの金属ベローズの伸縮を利用した新型の体積変化機構について述べる。

2. 浮力調整装置の概要

2.1 原理

今回考案したのは、体積変化を金属ベローズの伸縮によって実現しようとするものである。パラフィンワックスの加熱

にはニクロム線とペルチェ素子を、冷却にはペルチェ素子と外部の水による水冷を用いる。

2.2 封入物質

温度変化による体積変化を起こす物質に求められる性質には、相変化に伴う体積変化が大きいこと、相変化を起こす温度が高すぎないことが挙げられる。昨年度の研究ではラードが用いられていたが、ラードは天然の物質であるためその性質には個体差があり実用性に欠ける。そこで、本研究では従来の装置と同じパラフィンワックスを封入することとする。利用したパラフィンワックス 115° の特性を表1に示す。

Table 1 characteristic of paraffin wax

融点[°C]	密度(25°C) [g/cm ³]	密度(70°C) [g/cm ³]
47.0	0.901	0.769

2.3 体積変化機構

従来の浮力調整装置にはシリンダやゴム膜が体積変化機構に用いられてきた。しかし、シリンダ方式はピストンの摩擦や気密性、ゴム膜方式においてはゴム膜の強度や老化に問題があった。そこで、強度や気密性が高い金属ベローズを体積変化機構に新しく用いることにした。金属ベローズとは、薄い金属がひだ状になっていることで伸縮が可能となった部品のことである。ベローズの写真を図1に示す。

Fig.1 Metal bellows

2.4 装置製作

製作した装置の概略図を図2に示す。直径 140mm、高さ 70mm のアルミ円柱に直径 50mm、深さ 50mm の穴を空け、この内部にニクロム線と温度センサを取り付けた。配線はアルミ材とベローズの間にはさむゴムを通して外に出し、制御装置や電源に繋ぐ。外部はペルチェ素子を上面に1つと側面に2つの計3つを取り付けるので、側面に取り付けられるようにフランジ部を残してRの付いた 50×50mm の正方形に加工した。ペルチェ素子を取り付けるところは熱を伝えやすくするために他より薄く加工してある。空けた穴にパラフィンワックスを 60g 入れ、残りや金属ベローズ内部を水で満たした。これは金属ベローズにパラフィンワックスが付着し、稼働の阻害となるのを防ぐためである。ペルチェ素子にはヒートシンクを取り付け、本体加熱部やボルト部にシリコンゴムを塗布し、シーリングと断熱を施した。装置写真を図3に示す。

Fig.2 Structure of the mechanism

Fig.3 Photograph of buoyancy control device

3. 浮力変化実験

3.1 実験方法

新体積変化機構の動作を確認するために、水中で浮力実験を行う。浮力調整装置にワイヤを取り付け、水中に沈める。そのワイヤのもう一端は、ひずみゲージを取り付けたステンレス板の梁に取り付けた。このひずみゲージにより、浮力の

増減を下記の3つの条件の下で計測した。なお、サンプリング周波数は 1[Hz]である。各手順とも 20 分毎に加熱と冷却の切り替えを2回ずつ行い計測した。

- (1) ペルチェ素子3つとニクロム線による加熱・冷却
- (2) ペルチェ素子1つとニクロム線による加熱・冷却
- (3) ペルチェ素子3つのみによる加熱・冷却

上記の実験結果を比較したものを図4に示す。縦軸が発生した浮力変化量、横軸が時間を表す。図4から、金属ベローズを用いた浮力調整装置において加熱・冷却ともに浮力変化を確認することができた。この装置の浮力変化による理論値は 0.112[N]である。しかし、今回得られた最大浮力変化量は 0.078[N]で、理論値の約 70[%]である。ペルチェ素子のみを用いた(3)の条件に至っては理論値の 50[%]にも満たない結果となった。これは最大浮力変化量が得られた時の内部温度が約 70[°C]、装置壁面温度が約 30[°C]までしか上昇していないことから、装置加熱部の断熱加工が不十分であることが原因であると考えられる。そのため、外部からのみの加熱を行う(3)の条件では十分な浮力が得られなかったと考えられる。また、ペルチェ素子を1つしか使用していない(2)の条件では、十分な冷却が行えず、初期位置まで戻っていない。しかし、(1)の条件では消費電力がどうしても大きくなるので、今後はその兼合いが課題となる。

Fig.4 Results of buoyancy change

4. 結言

金属ベローズの伸縮を利用した新型の体積変化機構の提案および装置の試作・稼働実験により強度や気密性の向上を図ることができた。また、ペルチェ素子とニクロム線の性能を比較することができた。

課題としては、金属ベローズを用いた装置の材質や形状を見直すことによる軽量化、断熱処理の向上、内部電源を装備した自律型ロボットの開発などが挙げられる。

文 献

- [1]. Clarke, M.R., "Buoyancy control as a function of the spermaceti organ," J. Mar. Bio. Ass. U.K. 58, 27-71, 1978.
- [2]. 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)
- [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)
 - [4]. 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)
 - [5]. 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)
 - [6]. 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'09(ROBOMECH'09)