

真空包装機で作る？水中ロボットを泳がせてみよう (ひらめき☆ときめきサイエンス2017)

柴田 瑞穂*1

Let's play with a fish-like robot fabricated by a vacuum packaging machine! (Hirameki Tokimeki Science 2017)

Mizuho SHIBATA*1

This manuscript describes the activities of Hirameki Tokimeki science "Let's play with a fish-like robot fabricated by a vacuum packaging machine!". This program was conducted as a summer science school for junior high school students. In this program, junior high school students assemble a fish-like robot. A plastic film encapsulates the internal component of this robot, such as a servo motor and a microcomputer and a fin mechanism. This fabrication method of this fish-like robot fabricated by a vacuum packaging machine is based on the research result of KAKENHI (No. 15K18011).

Keywords: Hirameki Tokimeki Science, Fish-like robot, Robot packaging method, Vacuum packaging machine

1. はじめに

本報告では、ひらめき☆ときめきサイエンス「真空包装機で作る？水中ロボットを泳がせてみよう」の実施内容を概説する。ひらめき☆ときめきサイエンスは、大学や研究機関で「科研費」(KAKENHI)により行われている最先端の研究成果に、小学5・6年生、中学生、高校生が、直に見る、聞く、触れることで、科学のおもしろさを感じてもらおうプログラムである⁽¹⁾。本プログラム「真空包装機で作る？水中ロボットを泳がせてみよう」は、2017年度に、中学生向けプログラムとして実施された。

参加者は、午前中、水中ロボットに必要な技術を確認するために、「防水・耐圧」および「浮力・真空包装」に関する講義を受け、実習を行う。「防水・耐圧」に関する実習では、圧力試験機を利用して物体に加圧する実験を観察する。「浮力・真空包装」に関する実習では、絶縁流体を使った実習および真空包装機を使った実習を行う。これらの実習において、参加者は、自身の予想と実験結果を比較することで、工学的な考え方への理解を深める。

参加者は、午後、外殻を樹脂フィルムとする魚型水中

ロボットの製作および動作確認を行う(図1)。参加者は簡単な組み付け、モータのプログラミングおよび真空包装を行う。本プログラムを通して参加者は、ロボットを作成するためには機械、電気、情報の知識・技術を統合する必要があることを体験する。

本プログラムで製作する水中ロボットは、筆者が研究を進める「ロボットパッキング法」⁽²⁾⁽³⁾に基づいて製作

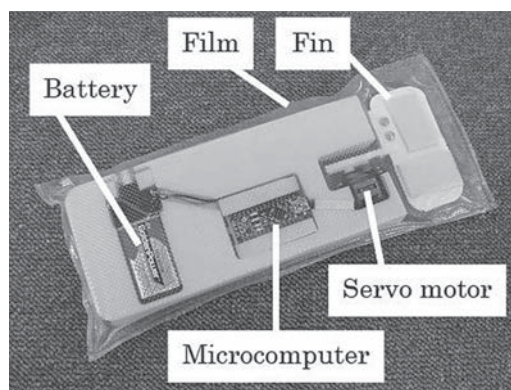


図1. 柔軟外殻水中ロボット

原稿受付 2019年4月10日

*1 近畿大学工学部 ロボティクス学科 准教授, 次世代基盤技術研究所 准教授 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番)

E-mail shibata@hiro.kindai.ac.jp

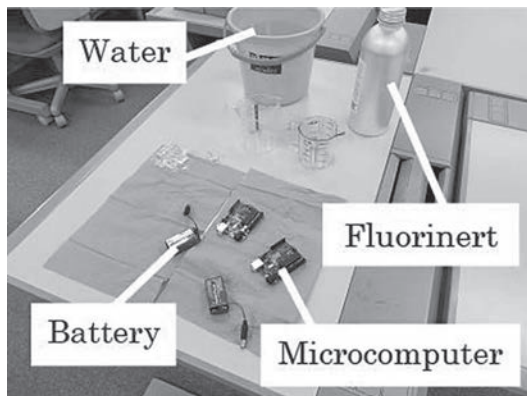


図 2. 防水実習で使用した機器

する。本手法では、ロボットの外殻を非伸縮柔軟フィルムで成形し、外殻内に駆動機構と共に絶縁流体を封入する。外殻の成形には真空包装技術を利用することで、短時間かつ低コストで水中ロボットを製作可能である。

本報告では、本プログラムの各実習の内容を概説する。第 2 章では、防水に関する実習を、第 3 章では、耐圧に関する実習を、第 4 章では、浮力に関する実習を、第 5 章では、真空包装に関する実習を概説する。第 6 章では、図 1 に示す魚型水中ロボットの製作法を概説し、第 7 章で本報告をまとめる。

2. 防水に関する実習

本プログラムで製作する水中ロボットは、外殻内に駆動機構と共に絶縁流体を封入することで防水性を確保する^②。水中ロボットを製作するためには、防水性を確保することが重要であることを説明した後、なぜ防水が必要かを体験するために、図 2 に示す機器を利用して実習を行った。LED が点滅するように設定したマイコン

(Arduino UNO ver.3) を 2 セット用意する。このマイコンを水 (水道水) と絶縁流体 (電気抵抗が非常に大きい液体) を入れた容器に漬けることで、その違いを予想してもらう。絶縁流体としては、3M 製フロリナート FC-3283 を使用した。水道水に漬けたマイコンは、その動作を停止することを観察し、水中ロボットを製作する際に防水が重要であることを確認した。

3. 耐圧に関する実習

本プログラムで製作する水中ロボットは、外殻内に駆動機構と共に絶縁流体を封入することで耐圧性を確保する^②。水中ロボットを製作するためには、耐圧性を確保することが重要であることを説明した後、なぜ耐圧性が重要であることを体験するために、図 3 に示す耐圧試験機を利用して実習を行った。この耐圧試験機は、水の入った

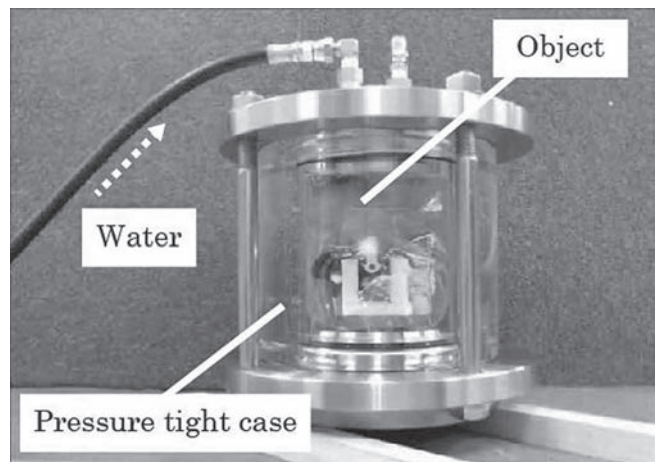


図 3. 耐圧実習で使用した機器

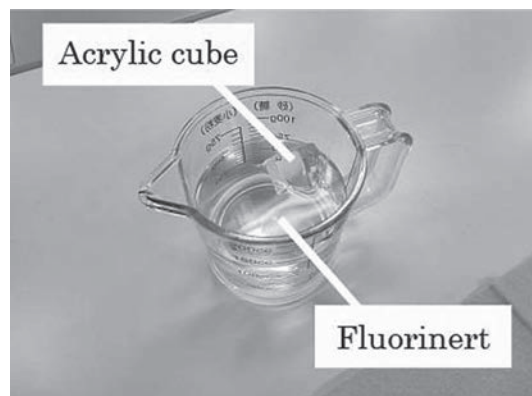


図 4. 浮力実習で使用したフロリナート

容器にポンプを使って水を入れることで、容器内の圧力を高める。本実習では、加圧する対象として発砲スチロールを用意する。この発砲スチロールに 2MPa 程度 (水深 200m 程度) の圧力を加える場合の、発砲スチロールの様子を予想してもらう。圧力を加えることで、大きく変形することを観察し、水中ロボットを製作する際に耐圧性が重要であることを確認した。

4. 浮力に関する実習

本実習では、水中ロボットを製作するためには、水中ロボットの浮力を適切に設計することが重要であることを、浮力、中性浮力、比重などのキーワードから説明した。その後、比重の違いが物体に与える影響を考えるために、図 4 に示すフロリナート、アクリル製の立方体および水道水を利用して実習を行った。フロリナート FC-3283 (比重約 1.8) と水 (比重約 1.0) の比重を事前知識として参加者に伝え、アクリル製の立方体をそれぞれの液体に入れた場合に、どのようになるかを予想してもらった。ここで、1 辺が 2cm のアクリル製の立方体の質量は 9.6g であることを伝え、比重を計算してもらう。



図 5. 真空包装実習で使用した真空包装機

アクリルの比重は約 1.2 であり、図 4 に示すように、アクリル製の立方体は、フロリナートに浮くことを観察した（水には沈む）。この結果から、フロリナートについてのどのようなこと（フロリナートは水に沈むこと、フロリナートを水中ロボットに使うことで水に沈みやすくなること等）を考えてもらった。

5. 真空包装に関する実習

本プログラムで製作する水中ロボットは、外殻を樹脂フィルム袋とし、真空包装機内でパッキングすることで成形する²⁾³⁾。本実習では、真空状態（減圧された状態）の特徴（酸素が少なくなることで真空包装すると食品が腐りにくくなることや、液体の沸点が低くなることで普段は気体になりにくい物質を気体でできること等）を説明した。また、実際に水（水道水）を真空包装し、真空包装中に、水がどのようになるかを予想してもらった。真空包装機としては、古川製作所製 TM-HV を使用した。真空包装機のチャンバ内で水の入った樹脂フィルム袋を減圧することで、水が常温で沸騰する様子を確認し、真空状態の特徴を体験してもらった。

6. 柔軟外殻水中ロボットの製作・動作確認

6.1 水中ロボットの構成要素の組立

本実習では、参加者は、水中ロボットを 2 人で 1 台組み立てた。図 6 に本ロボットの構成要素のキットを示す。このキットは、本体（日油技研製高分子樹脂フォーム）、ヒレ、サーボモータ・サーボホーン（TowerPro 製 SG51）、マイコン（Arduino Nano 3.1）、乾電池（9V 角型）、スイッチ、樹脂フィルム（福助工業製 TL12-38）、絶縁流体（3M 製フロリナート FC-3283）から成る。本体は事前に NC 加工機を利用して製作している。ヒレにも浮力調整用に

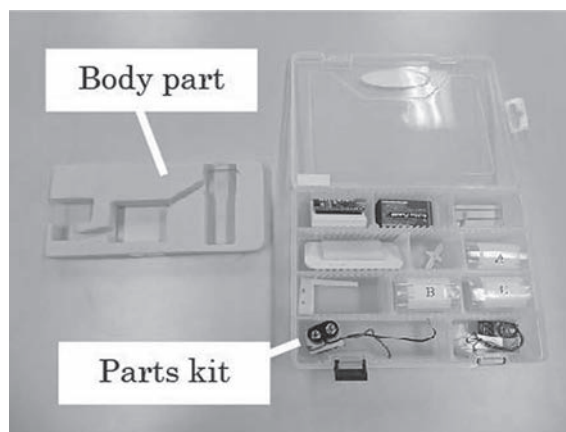


図 6. 水中ロボットの構成要素

```
#include <Servo.h>

Servo servo;

void setup(){
  servo.attach(3);
}

void loop(){
  servo.write(90);
  delay(2000);
  servo.write(0);
  delay(2000);
}
```

図 7. ヒレ運動を実現するサンプルプログラム

高分子樹脂フォームが貼り付けてある。高分子樹脂フォームの比重は約 0.2 である。ヒレと本体を固定する部材は、3D プリンタを利用して ABS 樹脂で製作した。参加者は、スライドで提示した説明資料を参考に、ヒレとヒレ固定部およびサーボモータと本体を、ねじやナットで固定する。ねじの扱いに慣れていない参加者も多いことから、ねじはドライバーを時計回りで回転させると固定することと、ねじは強く回しすぎると壊れることがあることを注意喚起した。次に参加者は、サーボモータとマイコンの配線を行う。マイコンは、ブレッドボード上に配置しており、参加者はスライドで提示した説明資料を参考に、サーボモータの電源線、信号線、グラウンド線をブレッドボードに接続した。

6.2 ひれ運動の生成

本実習では、ヒレの運動を実現するために、サーボモータの動作をプログラミングする。プログラミング言語

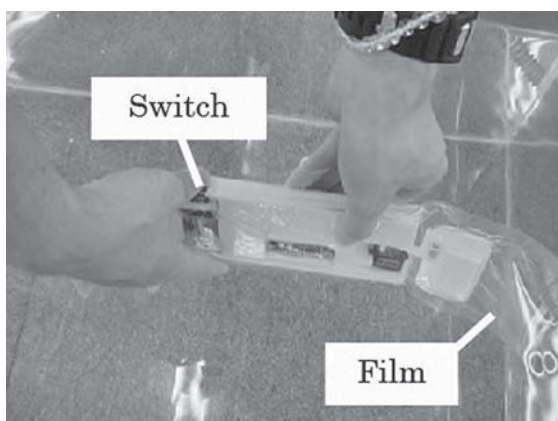


図 8. 水中ロボットの動作試験

は、Arduino 言語を使用した。今回使用したサーボモータは、Arduino 言語の Servo ライブラリを利用して動作させる。参加者に、基本的な動作を実現するサンプルプログラムを提示し、それぞれの文章の意味を説明した。図 7 にサンプルプログラムを示す。参加者は、プログラムの文章がヒレの運動に対応していることを確認した後、ヒレの運動に関わる部分 (servo.write に与える数字 = ヒレの運動角度に関わる数値や delay に与える数字 = ヒレの運動時間に関わる数値) を試行錯誤で変更しながら、ヒレの運動を実現する。参加者は、作成したプログラムに応じて、ヒレを取り外し、その向きを調整する。

プログラム作成後、参加者は、電池とスイッチを含めて、ロボットを組み立てる。スイッチは電池と接続し、マイコンの電源ピン (Vin) およびグラウンドピン (GND) と接続する。今回のロボットは組立の容易さから部品点数を非常に少なくしている。したがって、配線後、部品の位置が変わらないようにメンディングテープで軽く固定する。すべての組立後、スイッチを押して動作を確認し、不具合がある場合は、状況を確認しながら、プログラムの作成および配線をやり直す。

6.3 動作実験

最終工程では、真空包装機を利用して、本体を絶縁流体とともに樹脂フィルム袋に封入する。封入する絶縁流体の量は、本体の浮力だけでなく、ヒレの運動にも影響を与える (少ない場合、ヒレと外殻の摩擦力が大きくなり、ヒレが運動しない)。使用するフロリナートの量は、90ml とした。本ロボットが、やや浮く状態かつヒレが運動する量を設定した。真空包装機を閉じる際には、指などをはさむ可能性があるため、実施者側で操作した。水中で動かす前に、空中で動作確認を行い、不具合があった場合は、樹脂フィルム袋を開封し、状況を確認しながら、プログラムの作成および配線をやり直す。

真空包装後、参加者は完成した水中ロボットの動作実験を水中で行う。図 8 に示すように、スイッチを押した後、スイッチのある面を上にして、水槽に水中ロボットを入れる。その後、動作結果 (「沈んだか、浮かんだか」、「まっすぐ泳いだか」「速さはどれくらいだったか」等) を自分の言葉でまとめてもらう。水中ロボットの速さは、ストップウォッチを利用して水槽の端から端までの移動時間を計測して、水槽の長さ÷移動時間から計算してもらった。本ロボットの速さは、プログラムで設定したヒレの運動に依存するだけでなく、ヒレ部のフィルムの長さおよび形状に依存する。フィルムの長さおよび形状は、はさみで容易に変更できることから、参加者は、何度か真空包装を試みて、より早い実機の作成に取り組んだ。

7. まとめ

本報告では、2017 年度に実施したひらめき☆ときめきサイエンス「真空包装機で作る？水中ロボットを泳がせてみよう」の内容を概説した。当日の様子については、本プログラムの実施報告書⁽⁴⁾を参照されたい。

謝辞

ひらめき☆ときめきサイエンスは、日本学術振興会の委託事業である。また、本プログラムで使用した真空包装機および真空に関する資料は、株式会社古川製作所の支援を受けた。本プログラムで使用した水中ロボットの製作および耐圧性の評価に関する研究は、科学研究費補助金若手研究 (B)「高圧環境下での駆動を可能とする柔軟外殻水中ロボットの力学」(課題番号: 15K18011) の研究成果に基づいている。ここに謝意を表する。

参考文献

- (1) ひらめき☆ときめきサイエンス,
<https://www.jsps.go.jp/hirameki/> (2019 年 3 月 2 日アクセス)。
- (2) Shibata, M. Sakagami, N. "Fabrication of A Fish-like Underwater Robot with Flexible Plastic Film Body", *Advanced Robotics*, Vol. 29, Issue 1, pp. 103-113, 2015.
- (3) Shibata, M. "Fish-Like Robot Encapsulated by a Plastic Film (Chapter 11)", *Recent Advances in Robotic Systems, InTech*, pp. 235-251, 2016.
- (4) ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～KAKENHI (研究成果の社会還元・普及事業) 実施報告書 (HT29252) ,
https://www.jsps.go.jp/hirameki/ht29000_jisshi/ht29252jisshi.pdf (2019 年 3 月 2 日アクセス)。