

公立はこだて未来大学 2018 年度 システム情報科学実習  
グループ報告書

Future University Hakodate 2018 System Information Science Practice

Group Report

プロジェクト名

Fab Live : 学び, 作り, 魅せるファブ

Project Name

Fab Live : Learn, make, fascinate Fab

グループ名

カガク班

Group Name

Kagaku Group

プロジェクト番号/Project No.

22

プロジェクトリーダー/Project Leader

1016017 晴山京汰 Kyota Hareyama

グループリーダー/Group Leader

1016043 金澤朋也 Tomoya Kanazawa

グループメンバー/Group Member

1016043 金澤朋也 Tomoya Kanazawa

1016062 計良美来 Miku Keira

1016185 中川瑠星 Ryusei Nakagawa

指導教員

塚田浩二 美馬のゆり 角康之

Advisor

Koji Tsukada Noyuri Mima Yasuyuki Sumi

提出日

2019 年 1 月 16 日

Date of Submission

Jan. 16, 2019

## 概要

本プロジェクトでは、Fab 文化の発展を目指し、昨年度まで (2014~2017 年度) に「はこだてみらい館」に「FabLab Hakodate  $\beta$ 」の拠点を確保する、函館市内でワークショップを行う、等の Fab の広報活動を続けてきた。今年度の我々の目的は、さらなる Fab 文化の発展のため、この拠点で活用できる新しい魅力的な Fab コンテンツを制作することである。また、各要素を魅力的に見せる記録・提示方法を考案し、それらをワークショップを通して世に発信することを目標とした。

カガク班では、それらに加えて、子供への Fab 文化の啓発、創造力・科学的思考の定着を目的とし、教育コンテンツの製作を行う。活動に際しては、学研「もののしくみ研究室」との連携を行った。もののしくみ研究室は、小中学生向けの科学教育講座である。身の回りのものをロボットとして組み立て、プログラミングにより実際に動かす、という形で教育を行っている。これを参考とし、テーマは ArTec 社が販売するブロック玩具 (以下ブロックと呼称) と Arduino によるロボットの製作とした。

まずは既存の教材を分析し、制作物の題材の選定を行った。条件としては、子供に興味を抱いてもらえること、既存の教材と内容が重複しないこと、教育的な内容であることなどが挙げられた。以上を踏まえて協議した結果、実際に制作するコンテンツは浮力についての学習をテーマとした、水中で浮き沈みの動作を行う潜水艇ロボットとなった。

テーマの決定後は、潜水艇ロボットの構造について検討を行った。検討を行う上では、科学教育を目的としている点から、潜水艇ロボットの構造はモチーフと一致していること、水周りで電子部品を扱う上で、安全にも配慮されていることなどを条件とした。結果、潜水艇ロボットの内部に密閉された空間を設け、その内部の水・空気量を操作することで重量を変化させて浮き沈みを行う構造となった。

実際の製作にあたっては、まず前期の活動期間を用いて、潜水艇ロボットの動力として使用するチューブポンプを製作した。チューブポンプは DC モータ 1 つで稼働すること、構造が単純で強固な点から採用した。機能実現にあたっては、ローラ等のブロックでは表現できない箇所が存在が課題となった。よって、これらは 3D プリンタでポンプ用のパーツを新造することで解決した。これらのパーツは、全てブロックと実際に組み合わせて使える精度で設計している。

後期の活動期間では、実際に水中を動く潜水艇ロボットを製作した。本体はチューブポンプ同様にブロックと、3D プリンタによって新造したパーツで製作した。潜水艇ロボットは、内部を水で満たすことで沈み、逆に水を抜くことで浮き上がるように重量を調整した。また、潜水艇ロボットの外見についても改善を行った。当初はロボットをブロックだけで製作したが、ブロックは平面から成る形状のものしかなかった為、モチーフである潜水艇に相応しい曲面を表現できなかった。そのため、前後に半球形のパーツを取り付け、デザインの改善を図った。また、発展内容として潜水艇ロボットの動作の手動・自動の切り替えを行う学習内容を追加した。深度センサを取り付け、

プログラムを変更することで、潜水艇ロボットが沈降を感知すると自動で浮上を始めるよう変更できる。感電のリスクを避ける為、深度センサを潜水艇ロボットに搭載することはできなかったが、透明な水槽の底に赤外線フォトリフレクタを取り付けることで機能を実現している。

最後に、これらのコンテンツを実際に教材として使用できるようテキストを製作した。構成は、「もののしくみ研究室」のものを参考とし、チューブポンプや潜水艇の仕組み、潜水艇ロボットの組み立て方や動作のためのプログラミングについて掲載している.. 組み立ての工程については、各工程ごとの使用パーツと完成形だけを示す形とした。これはページの視認性を考慮している他、学習者に完成形から組み立て方を逆算させることで思考力を身に付けさせることを狙いとしている。

今後の展望としては、まず潜水艇ロボットやテキストの未完成な箇所を改善することが挙げられる。不十分な点のうち現在判明している点を補う他、実際に各専門家や一般の方々に教材を使用してもらい、フィードバックを受けてより質を高めていきたい。

キーワード Fab, 教育, 学研, もののしくみ研究室

(\*文責:金澤朋也)

## Abstract

We aim to develop Fab culture, securing the foundation of "Fablub Hakodate beta" of "Hakodate Miraikan" and holding a workshop in Hakodate city by last year, etc. We continue to do a lot of activities and Fab publicity activities (2014 - 2017) I came. The goal of this fiscal year is to create a new attractive Fab content curriculum that can be used at this base to further develop Fab culture and distribute production to the world through workshops and recipes.

Kagaku group make education contents for teaching children about creation and scientific method. This time, we cooperate the Gakken's contents, "Mononoshikumi-Kenkyushitsu". Mononoshikumi-Kenkyushitsu is science education course for children. In the course, students learn through making familiar items as robot. We referred to the course and decided that the theme is making robots of blocks "ArTec" company selling (hereinafter, this is called "Block") and programming.

First, we analyzed existing contents. The requirements are "It can be attract children.", "There isn't overlap with other teaching materials." and "Children can learn something through the contents.". As a result of discussion, the content we make in fact is "Robot like submarine to learn about buoyancy (hereinafter, this is called "Robot")".

After deciding theme, we consider about structure of robot. The requirements are "Its structure match with the motif (This time, the motif is submarine).", "It's safe when children use the contents". As a result of consideration, the structure is that the robot can control inside its ratio of air to water and move in water.

In the first half, we built the tube pump as engine. The reason adopting tube pump is that can work by only a DC motor and the structure is solid. However, blocks can't work as roller and etc. So, we made the parts of robot by 3D printer to solve the problem.

In the second half, we made the robot moving in water. It is built of blocks and parts made 3D printer like the tube pump. The robot was adjusted the weight, so it sink when it's filled with water and it float when it's emptied. Also, we improved the design. In first, the robot was made by only blocks. However, it's not suitable because blocks don't have curved surface and can't express curving like submarine. So, we made hemisphere of parts and join to robot and improve the design.

Also, we made another contents to better learning. In the subject, learners automate the movement of the robot. If the robot is added depth sensor and program, the robot automatically float when the robot sink to the bottom. We can't use depth sensor because

we need to avoid risk of electric shock and we can't put electronic parts into water. So, we put infrared photo-reflector under the transparent aquarium to resolve the problem.

Finally, we made the textbook to be able to use the contents made in this project as teaching material. It's written about structure of tube pump and submarine, the how about building robot and programming. When we made the text, we refer to construction of the text of "Mononoshikumi-kenkyushitsu". The pages about building robot show used parts and figure of completed robot. The visibility is improved because the page is simple. In addition, there is the aim that learners think the way to build and obtain the ability to think.

As future prospects, it is necessary to improve unfinished places of robot and text. We'd like to supplement the insufficient points that we grasped, have each experts and general people use texts, and get feedbacks to improve the quality.

keywords Fab, education, Gakken, Mononoshikumi-kenkyushitsu

(\*Responsibility for wording: Tomoya Kanazawa)

## 目次

<b>1</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	背景	1
1.2	目的	1
1.3	従来例	1
1.4	問題点と解決方法	2
<b>2</b>	<b>カガク班の概要</b>	<b>3</b>
2.1	カガク班の目的	3
2.2	もののしくみ研究室について	3
2.3	課題	5
2.3.1	もののしくみ研究室の問題点	5
2.3.2	課題の設定	5
<b>3</b>	<b>課題解決のプロセス</b>	<b>6</b>
3.1	各人の役割	6
3.2	制作物決定のプロセス	7
3.2.1	アイデア検討	7
3.2.2	試作	10
3.3	3D パーツの制作プロセス	10
3.4	チューブポンプの概要	12
3.5	チューブポンプの制作プロセス	12
3.6	潜水艇ロボットの概要	14
3.7	潜水艇ロボットの制作プロセス	14
3.8	深度センサの概要	20
3.9	深度センサの制作プロセス	20
3.10	プログラムの考案	22
3.11	テキストの概要	22
3.12	テキストの制作プロセス	23
<b>4</b>	<b>まとめ</b>	<b>27</b>
4.1	まとめ	27
4.2	今後の課題	29

<b>5</b>	<b>参考文献</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>付録</b>	<b>31</b>
6.1	技術習得 . . . . .	31
6.2	リンク . . . . .	31
6.3	相互評価 . . . . .	32

# 1 はじめに

## 1.1 背景

近年、3D プリンタやレーザーカッターといったデジタル工作機器が一般に普及している。その中で、Fab と呼ばれる文化が発展を見せている。Fab は「自分たちの使うものを、使う人自身がつくる文化」である。加えて、その普及を目指し「FabLab と呼ばれる開放型工房が各地に設置されている。Fablab では各種工作機器を一般に貸し出しており、日本では 2018 年現在 18 か所、世界では 2011 年の時点で、20 か国以上 50 か所以上に広がっている。当プロジェクトでは、昨年度 (2014~2017 年度) までに、Fab のさらなる発展を目指し「はこだてみらい館」への「FabLab Hakodate  $\beta$ 」の拠点の確保や、函館市内でのワークショップ開催など、Fab の広報の数々を行ってきた。しかし、我々は Fab 文化をより発展させるべく、新しく魅力的なコンテンツを構築し、それらを魅力的に見せる記録・提示方法を考案する。

(\*文責:金澤朋也)

## 1.2 目的

本プロジェクトの目的は 2 つある。1 つ目は魅力的な Fab コンテンツを制作することである。2 つ目はそれらの作品を魅力的に見せる記録・提示方法を考案することである。最終的にはワークショップやレシピ化により制作物を発信し、Fab 文化の発展を目指す。

(\*文責:金澤朋也)

## 1.3 従来例

2017 年度の Fablab 函館のプロジェクトでは、カガク班、アート班、ハック班の 3 班が活動してきた。設定した課題に対して各班で解決に取り組んできた。カガク班は、1 つの学習内容に対して選択式のコンテンツが複数あるべきとの観点から、学習内容は既存のものと同じでありつつコンテンツとしての楽しみ方は異なる、新しいロボットを製作した。ハック班では、創作の表現の幅を広げるべく、砂の上に描画するプロッタや、マイクで歌を取り込み、3D プリンタでオルゴールとして出力するプログラムを設計した。アート班では、Fab の特性を生かした制作物・表現を提案するべく、美しい幾何学模様を光で描写する装置、正多角形などの幾何学模様を簡単かつ正確に描写する新しい文具の製作を行った。

(\*文責:晴山京汰)

## 1.4 問題点と解決方法

昨年度までの FabLab プロジェクトと今年度 FabLab プロジェクトを遂行するにあたって、以下のような問題点が挙げられた。

- (1) 物を作る際に必要な知識が利用者に不足している。
- (2) Illustrator や Inkscape などのベクタレイヤソフトを使うためには特別な技術が必要とする。
- (3) 「Fab の特性」を活かしたものづくりが行われていない。
- (4) 作品の制作過程を美しくわかりやすく見せる手法が明確に確立されていない。

また、我々はコンテンツに必要な要件として、以下の3つが必要であると考えた。

- Fab の特性の理解
- 表現の多様性の提示
- 魅せ方の新たな手法やシステムの提示

問題点 (1), (4) の解決と、コンテンツに必要な要件の取り入れの為、以下の3つの分野に分かれて課題解決に取り組むこととなった。

- 教材制作
- 作品制作
- 映像制作

この3つの観点から作品制作を進める為、我々は「カガク班」「メイク班」「メディア班」の3班に分かれて活動に取り組んだ。それぞれの班の担当分野は以下の通りである。

- 問題点 (1) をカガク班が担当する。
- 問題点 (2)(3) をメイク班が担当する。
- 問題点 (4) をメディア班が担当する。

制作したコンテンツについては、教育や Fab 技術の専門家、一般の方々からのフィードバックを通じて品質を向上させる。さらにワークショップを通じて制作したコンテンツの評価と改善を行う。

(\*文責:晴山京汰)

## 2 カガク班の概要

### 2.1 カガク班の目的

カガク班の目的は、Fab 技術を用いて小中学生が楽しく簡単に科学的思考を身に付けられる教材制作することである。この活動にあたり、学研「もののしくみ研究室」の協力を得た。

(\*文責:計良美来)

### 2.2 もののしくみ研究室について

「もののしくみ研究室」(図 1)とは、学研教室で行われている STEAM 型ロボットプログラミング講座であり、プログラミング能力や創造力、科学的思考能力を養成する事を目的としている[1]。対象年齢は、小学校高学年から中学校 1 年生である。コースは難易度別に Developer, Master, Innovator の 3 つにわかれており、それぞれ一年かけて学習する。各カリキュラムはテキストをもとにブロックを組み立てロボットを制作し、それをプログラミングによって動かすことで身近なもののしくみを学んでいく構成になっている。



図 1: もののしくみ研究室

教材を体験するにあたり主に使用するものは以下の通りである。

- テキスト
- ブロック
- Studuino
- ブロックプログラミング環境

テキスト(図 2)は、ものづくりメーカー協力のもと制作されている。ロボットの作り方だけでなくものの作られた理由なども書かれているため、様々な知識を学びながら制作を進めていくことができる。ブロックは AeTec で制作されているものであり、簡単に見分けがつくように形ごとに色が異なっている。

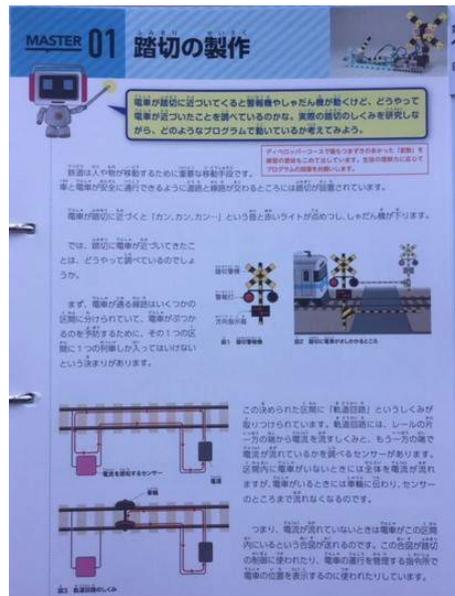


図 2: もののしくみ研究室のテキスト

また、ブロックと組み合わせて使用する Arduino の互換基盤である Studuino(図 3) には接続口が多く取り付けられていて、モーターやセンサなどのパーツを同時に接続することで複雑な動作も可能になっている。プログラミングを行う際には、ブロックプログラミング言語(図 4)を使用する。ブロックプログラミング言語とは、プログラムをテキストで記述するのではなく、ブロックをパズルのように組み合わせてプログラミングする言語である。ブロックを動かすだけでプログラムを組むことができるため、子どもたちが楽しんで学べるようになっている。



図 3: Studuino



図 4: ブロックプログラミング環境

(\*文責:計良美来)

## 2.3 課題

### 2.3.1 もののしくみ研究室の問題点

既存の教材を分析した結果、以下の問題点が挙げられた。

- (1) ブロックの種類が少ない
- (2) 小学生の学習要領に沿ったものが少ない
- (3) 使うブロックの種類・数がわかりにくい
- (4) 組み立て方の写真が見にくくブロックの組み立てが難しい
- (5) 教材の解説がわかりにくい

問題点のうち (1) をブロックの問題、(2) を題材の問題、(3)～(5) を教材の問題とした。

(\*文責:計良美来)

### 2.3.2 課題の設定

カガク班では、上記問題点の解決方法を、もののしくみ教室の教材を作る、Fab 技術を取り入れるという制約の下検討した。その結果、以下の3つを課題として設定することにした。

- 3D プリンタを用いて新たなパーツやブロックを制作
- 学習指導要領に沿った、もののしくみ研究室で使われていない題材の考案
- ブロックの組み立て方、解説がわかりやすい教材を制作

これらの課題を設定した理由は、ブロックが少ないことで制作物の幅が狭められているほか、ブロックでは表現できない機構もあり、新たなパーツが必要だと感じたため。もののしくみ研究室の教材には小学生には馴染みのないものも多く、小学生の理解をより深めるには学習指導要領を参考に、発展的な内容も盛り込んでいくことが必要だと判断したため。ブロックの組み立てる過程で行き詰ってしまうと、本題に入る前に子供たちの学習意欲が低下してしまう可能性があると考えたためである。

以上の点から、今回制作する教材の題材は「浮力」とした。「浮力」は学習指導要領に沿っており、小中学生では習わない分野であるため学習を先取りする形になる。そのため、詳しい公式などを習う前に、楽しく感覚で学ぶことができるもののしくみ研究室の教材として、適切であると判断した。また、もののしくみ研究室の教材には水を扱ったものはないため、教材の幅を広げる新しい試みとなると考えた。これに伴い水中で浮き沈みする潜水艇ロボットとその動力となるチューブポンプ、潜水艇ロボットを自動化するための深度センサ、制作物を解説するテキストを制作することにした。

(\*文責:計良美来)

### 3 課題解決のプロセス

#### 3.1 各人の役割

- 金澤朋也 (班リーダー)

- (1) 教材分析
- (2) 制作進行
- (3) 物品管理
- (4) テキストの文章執筆
- (5) テキストに用いる写真の撮影

(\*文責:金澤朋也)

- 計良美来 (副リーダー)

- (1) 教材分析
- (2) 写真の撮影・編集
- (3) テキストのレイアウト作成
- (4) テキスト用のアイコン作成

(\*文責:計良美来)

- 中川瑠星 (書記)

- (1) 教材分析
- (2) 必要なブロック・パーツの 3D モデル作成, 印刷
- (3) チューブポンプの設計, 組み立て, 実験
- (4) 潜水艇ロボットの設計, 組み立て, 実験
- (5) 深度センサの設計, 組み立て, 実験
- (6) チューブポンプ・深度センサ制御用プログラムの作成

(\*文責:中川瑠星)

## 3.2 制作物決定のプロセス

### 3.2.1 アイデア検討

カガク班では、既存の教材について以下の3つを確認し、Google スプレッドシートにまとめた。なお、完成したシートについては、付録に URL を記載した。

- 研究内容
- 学べること
- 使用するセンサ・モータ

また、以下のようなアームロボット、イモムシ型ロボット、ライントレースカーロボットを実際に制作した。(図5, 6, 7).

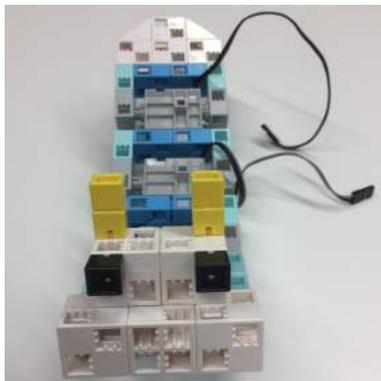


図 5: イモムシ型ロボット

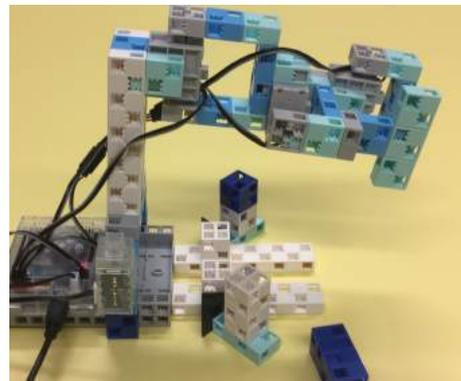


図 6: アームロボット

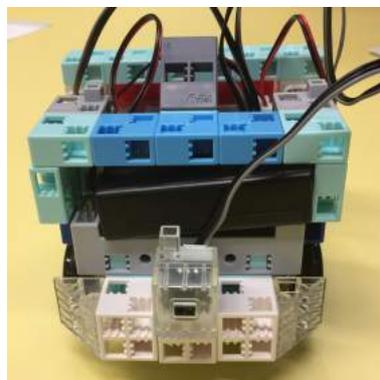


図 7: ライントレースカーロボット

その結果, 既存の教材で制作できるロボットは大きく分けて以下の3つに分類できることがわかった.

- 実在する機械の構造を簡略化して再現したもの
- 生物の動きの模倣するもの
- 力や重心の概念といった物理分野に関係するもの

これらの結果をもとに, 今回カガク班で制作する教材のアイデア検討を行った. はじめに出たアイデアは以下の6つである.

- 砂や雪の上を進む蛇
- 裏返すと起き上がる亀
- スクリューで水の上を進む魚
- 異物を避けて進む象
- 浮力を学べるクラゲ
- リモートお絵描き装置

これらについて必要になるセンサやモータ課題点を抽出して再度検討した. その結果, 砂や雪の上を進む蛇はモータの数が足りない恐れがあるため, スクリューで水の上を進む魚はモータを水中にいれなければならないだけでなく防水面で不安があるため, 異物を避けて進む象は四足歩行を表現するのは関節の動きが複雑であるため没となった.

その後, 残った案について各1枚ずつ資料を作成し, 専門家の方にアドバイスをいただいた. 作成したスライドは以下の図である (図 8,9,10)

## 浮力を学べるクラゲ



図 8: 浮力を学べるクラゲ

## 裏返すと起き上がる亀

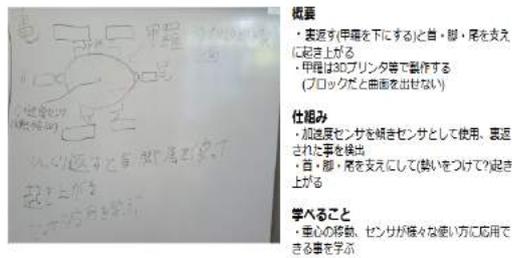


図 9: 裏返すと起き上がる亀

## リモートお絵描き装置

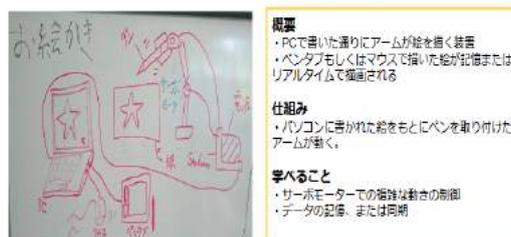


図 10: リモートお絵描き装置

その結果、リモートお絵描きは学研でも制作が進められているが、座標を指定して絵を描くことができてもペンを固定することが困難であると分かったため没とした。よって、制作物は裏返すと起き上がる亀と浮力を学べるクラゲに絞られた。

(\*文責:計良美来)

### 3.2.2 試作

上記のアイデア検討の結果、制作物として、2種類の動物型のロボットが候補に挙げられた。1つ目の候補は、重心の移動で起き上がる亀型ロボットである。2つ目の候補は、浮き袋を用いて水中を浮き沈みし、LEDで光ることが可能なクラゲ型ロボットである。そして、亀型ロボットとクラゲロボットをブロックで実際に制作可能かどうかを検証した。制作したものが以下の図である(図11,12)。

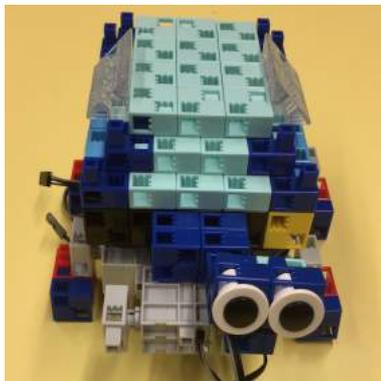


図 11: 亀型ロボットのブロック案



図 12: クラゲ型ロボットのブロック案

その後、専門家の方からフィードバックを得て再検討した結果、亀型ロボットで重心を扱うことは難しいとの結論に至った。また、実際のクラゲは浮き袋を持たずに浮き沈みするため、上記のクラゲ型ロボットは実現しても現実に即した構造にはならないことがわかった。これはもののしくみというテーマに相応しくなく、構造を変更しない場合はより相応しいモチーフを用いた方が良く、との意見が挙がった。以上を踏まえ、実際に製作するコンテンツは、内部の水・空気の比率を操作することで水中を浮き沈みする、潜水艇がモチーフのロボットとなった。

(\*文責:中川瑠星)

## 3.3 3D パーツの制作プロセス

前述のチューブポンプと潜水艇ロボットを制作する際に、既存のブロックでは表現できない部分があった。そのため、カガク班では、Fab 技術を用いて新しく拡張パーツを制作することが必要

になった。

拡張パーツを制作する手段として、3D モデルを制作し、3D プリンタでパーツを出力する方法と、切り抜き方を設計し、レーザーカッターで木材を切断する方法が候補に挙げられた。3D モデルの制作や切り抜き方の設計はアプリケーションで行った。

カガク班では、上記の方法について検討を行った。3D プリンタでフィラメントから制作する場合は、モデリングの段階で穴や突起の位置、サイズを調整することができる。加えて、同じ3D モデルがあればすぐに次の制作に移すことができ、効率的であると判断された。対して、レーザーカッターで木材の切り抜きを行う場合は、各面ごとに木材の調整を行う必要があり、加えて、穴の切り抜きが難しく、ある面と反対の面に突起を制作するのにもバランスの調整が必要になり、制作に手間が掛かってしまうため、拡張パーツの制作には向いていないと判断された。これらを踏まえた結果、教材用の拡張パーツを制作する手段として、3D プリンタを用いることとなった。また、設計支援ツールとして Autodesk Fusion 360 を用いて必要なブロックのモデリングを行い、3D プリンタで出力することとした。

はじめに、基礎となるブロックの採寸を行った。直方体のブロックを採寸した結果、縦が19.75mm、横が19.75mm、高さが9.73mm であることが得られた。また、凹ブロックには縦が6.5mm、横が6.5mm、深さが8.13mm の穴があり、凸ブロックには縦が6.32mm、横が6.32mm、高さが8.1mm の突起があることがわかった。

次に、上記で得られた結果をもとに、3D モデルのモデリングを行った。最初に図13のような基礎となるブロックを制作した。凹の部分を作成する際は、出力途中で繊維が縮むことを考慮して、穴を切り抜いた後に0.5mm ずつ内側に穴を広げた。また、穴の位置はブロックの端から1.52mm になるように調整した。また、凸の部分を作成する時は、凸の中心が凹の中心と一致するように配置した。さらにブロックの角にはフィレットを用いて0.5mm ずつ丸くした。

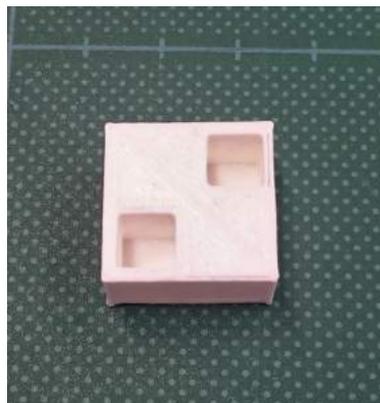


図 13: 基礎ブロック

(\*文責:中川瑠星)

### 3.4 チューブポンプの概要

カガク班は浮力を学べる教材である潜水艇ロボットを制作することにし、その動力としてチューブポンプを制作した。このポンプは、シリコン素材のチューブを搾り出すことで機能し、構造が容易であるため採用した。図 14 のような原理でチューブポンプに組み込んだローラブロックの軸でチューブを潰し、チューブが弾性でもとに戻ると同時に水を運ぶようになっている。この一連の動作を繰り返すことでポンプとして機能し、排水と吸水が行えるようになっている [2]。



図 14: チューブポンプの原理

(\*文責:中川瑠星)

### 3.5 チューブポンプの制作プロセス

潜水艇ロボットを制作するにあたって、容器の中の水を増減させるための動力が必要になった。学習教材として安価に制作する必要があるため、ブロックとチューブを用いるチューブポンプを制作することにした。このチューブポンプはチューブを搾り出すことで機能し、DC モータ1つで動かすことができる。制作したものが以下の図 15 である。

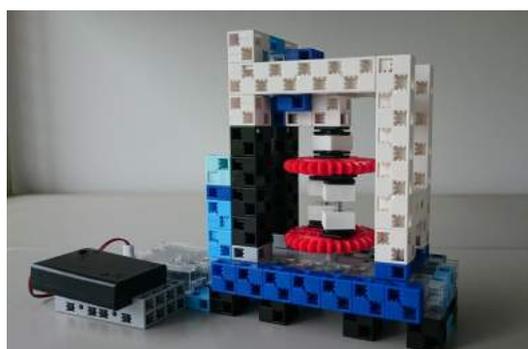


図 15: 制作したチューブポンプ

チューブポンプを制作するにあたって、既存のブロックではチューブを固定できない点と十分な性能を発揮出来ない点が問題になった。そのため、図 16 のようにチューブを固定するためのブ

ロックと図17のようなチューブを潰しやすいローラの役割を果たすブロックを3Dプリンタで制作した。

前述したローラブロックを制作するにあたり、当初は既存の立方体ブロックを2個使用していたが、ローラブロックの軸が太く、チューブを上手く潰せなかったため、図18のように段階的に軸を細くする実験を行った。軸の太さを19.75mm, 10mm, 5mmと徐々に細くし、3Dプリンタで出力したが、19.75mmと10mmでは上手く潰すことができず、5mmの軸は強度の低下によって破損してしまった。そのため、最終的に4mm径のネジを使用することにした。これによってチューブを潰すことが可能となった。

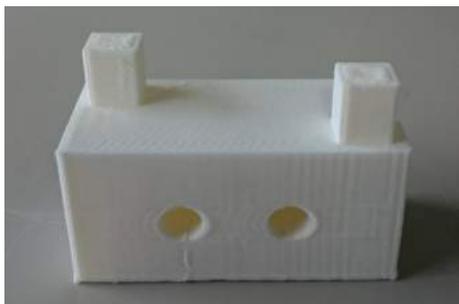


図 16: チューブ固定用ブロック

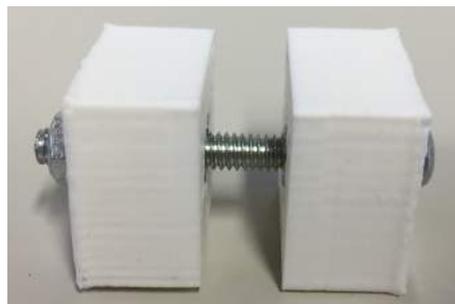


図 17: ネジを用いたローラブロック

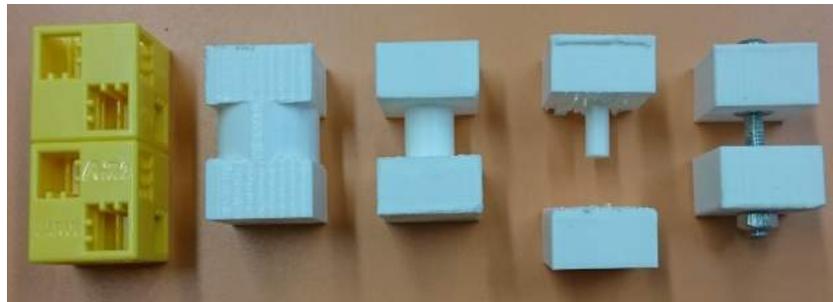


図 18: ローラブロック

さらに Studuino で DC モータを制御するためのプログラムを作成した。このプログラムではボタン操作によって吸水と排水、停止をコントロールできる。そして、チューブの先を水と容器に入れて図19のように実際に吸水と排水が行えることを確認した。

(\*文責:中川瑠星)

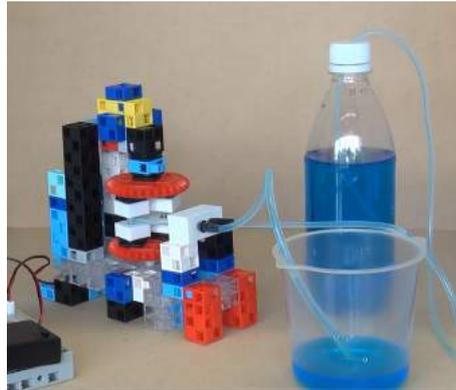


図 19: チューブポンプでの水の排水・吸水

### 3.6 潜水艇ロボットの概要

後期の活動で、カガク班は潜水艇ロボットを制作した。潜水艇ロボットの内部には市販のカプセルとチューブポンプが取り付けられている。そのカプセルにチューブポンプから水を送ることで潜水艇ロボット全体の重さを変化させ、浮力より大きくすることで潜水が可能となっている。

(\*文責:中川瑠星)

### 3.7 潜水艇ロボットの制作プロセス

カガク班では潜水艇ロボットの設計を行った。初期の案では、潜水艇の本体をすべて 3D プリンタで出力する予定であった。3D プリンタで出力した本体は、カプセルを上下に分けたようなものである。上面には円柱状の凸を、下面にはその凸に刺すことができる穴を含んだ円柱を設置することにしていった。加えて、上面には空気抜き用のチューブを通す穴と、チューブポンプから水を入れるための穴を設けるようにした。また、その本体の重さと本体を満たす水の重さでは沈められると考えられないため、重りを本体の隙間に設置することにした。

この潜水艇の本体の円柱同士の噛み合わせが成功するかのテストを、3D プリンタで図の試作品を出力しながら行った。はじめに、直径が 7mm の円柱を設置したブロックを出力した。その後、全体の直径が 10mm で、穴の直径が 8mm, 7.5mm, 7.3mm, 7.0mm, 7.8mm, 7.6mm, 7.57mm, 7.55mm の凹型の円柱を設置したブロックを複数出力した (図 20)。しかし、今回使用した 3D プリンタで誤差が生じてしまい、穴が縮んでしまったため、丁度良い噛み合わせが実現できなかった。

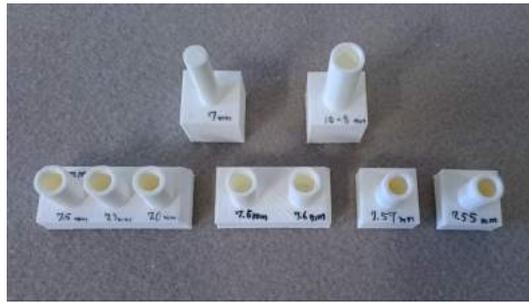


図 20: 潜水艇ロボットの接続部分の調整

その結果を踏まえて、カガク班のメンバー間で話し合った結果、3D プリンタで本体をすべて出力すると、次のような問題点が発生することが挙げられた。

- (1) ArTec ブロックを全く使用していない
- (2) (1) のため、学研の教材の要素が薄い
- (3) 本体を出力するのに時間が掛かってしまい、教材に向かない
- (4) 出力を行う 3D プリンタによって、誤差が異なり、精密なデータが作りにくい

上記の問題点を踏まえて、潜水艇の本体を ArTec ブロックで制作することにした。潜水艇の本体は左右対称になるように図 21 のようにブロックを組み合わせた、また、外観において本体の前後で必要なパーツがあったため、3D プリンタで出力することにした。前後の半球状のカプセルでは、壁が厚いほど空気が溜まりやすく、潜水艇が沈みにくくなるため、なるべく薄く設計し、厚さを 5mm にした。

半球状のカプセルに図 22 のような凸ブロックを応用したパーツを取り付けて 3D プリンタで出力し、潜水艇の本体の凹の部分に刺し込めるようにしたが、取り付けの段階でカプセルの凸の部分が破損してしまった。これは、出力した凸部分の強度が低いことが関係していると考えられる。

この問題を解決するために、半球状のカプセルに取り付けるブロックを凸型から凹型に変更し、本体のブロックもそれに合わせて組み直した。組み直したブロックが図 23 で、変更したパーツは図 24 である。これによって、破損の可能性は軽減された。

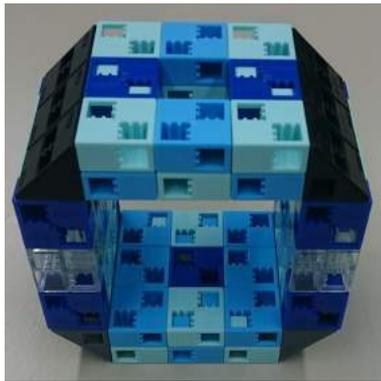


図 21: 潜水艇ロボットのブロック案

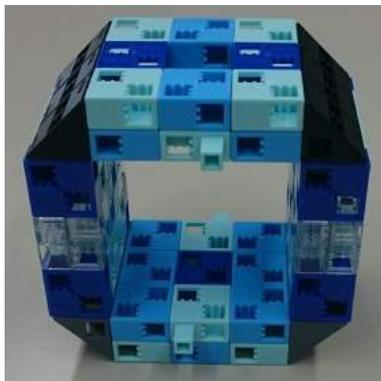


図 23: 組みなおした潜水艇ブロック



図 22: 凸ブロック付きのカプセル型パーツ



図 24: 凹ブロック付きのカプセル型パーツ

続けて、潜水艇ロボットの装飾を行った。これらの装飾は、本体の上面と側面に取り付けることとした。本体の上面には、潜水艇の入り口を模したブロックを取り付けた。側面にはライトの役割として、電球やLEDを取り付ける予定であったが、防水といった安全面に配慮し、小さめのブロックで表現した。また、側面の装飾ブロックにはスクリューを模したブロックを取り付けた。これらのブロックは、既存のブロックで組み立て、潜水艇のバランスが崩れないように左右対称に取り付けた。出来上がったものが図 25 である。

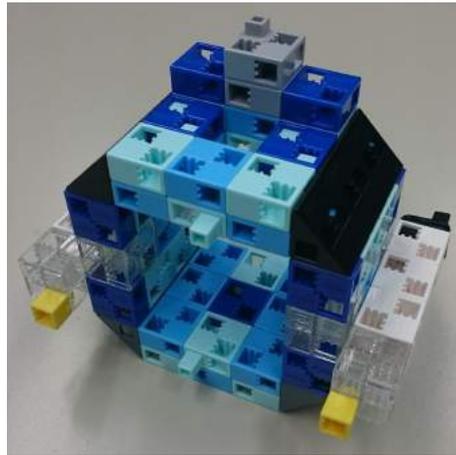


図 25: 装飾つきの本体

ブロックを使って制作した潜水艇は、ブロックとブロックの隙間から水を通してしまい、素のままでは重さを変えることができず、沈めることができなかった。潜水艇の本体の重さを変化させやすくするため、実際の潜水艇で用いられているバラストタンクの仕組みを参考にした。バラストタンクでは、水を入れて重さを増やすことで、潜水艇全体の重さを浮力より大きくする。そうすることで潜水艇を沈めることができる。このバラストタンクの代わりとして、小型の容器を使用することにした。

潜水艇に使用する小型の容器として、図 26 のような市販の自販機に用いられているカプセルと塗料ビンが候補に挙げられた。



図 26: 小型容器の候補であるカプセル (左) とビン (右)

ブロックと 3D パーツで制作した潜水艇の本体と水で満たした 2 つの容器を 1 つずつ使用して、潜水可能であるかの実験を行った。その実験によって、以下の結果が得られた。

- (1) 市販のカプセルの場合：水を満たしただけでは完全に沈まなかった
  - (2) ビンの場合：水を満たす前の重さによって沈んでしまった
- (2) の結果から、ビンでは自重によって潜水艇ロボットが沈んでしまい、教材で行う実験が難し

いと判断された。また、ビン自体の入手が容易ではなく、チューブを通す穴を開ける加工にも手間がかかり、容量も小さいため、ビンの使用は断念した。

(1)の結果から、カプセルの中に重りを入れて重さを調整すれば、潜水艇ロボットを沈められると判断した。また、市販のカプセルには誤飲による事故防止のために穴が複数設けられており、チューブを通すことが容易であったため、バラストタンクの役割として市販のカプセルを採用することに決定した。

潜水艇ロボットのバラストタンクとして、重さ 10g、上下に穴が4つずつ開いた市販のカプセルを使用した。チューブポンプから水を送るチューブを通す穴とカプセル内の空気を抜く役割を果たすチューブを通す穴を除いた穴をすべて図 27 のように銀テープで閉じた。チューブポンプから引っ張ってきたチューブは、カプセルに水を入れた後に、カプセルから水を吸い上げやすいように、可能な限りカプセルの底に近づけるようにした。

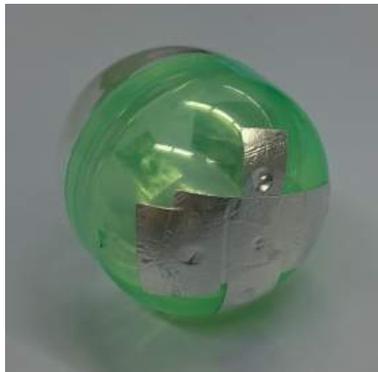


図 27: 銀テープで穴を閉じたカプセル

前述のように、カプセルを水で満たしただけでは潜水艇ロボットを沈めることができないため、カプセルの内部に重りを入れる実験を行った。実験に使用した重りは1つ 30g であった。重りの数が1つの時、潜水艇ロボットは完全に沈まなかった。重りの数が2つの時、潜水艇ロボットは水を満たした状態で沈ませることができた。重りの数が3つ以上の時は、水を満たす前に潜水艇ロボットが沈んでしまった。この実験から、カプセルの内部に入れる重りの個数は2つになった。

使用した市販のカプセルでは、上下の噛み合わせで多少の隙間が生じてしまい、潜水艇の内部から水を通して正常な実験ができないと判断したため、前述のカプセルの穴と同様に銀テープで閉じた。

空気抜き用のチューブとチューブポンプから引っ張ってきたチューブを市販のカプセルに通して銀テープで密閉したものを、ブロックと 3D パーツで制作した潜水艇ロボットの内部に設置し、実際に潜水艇ロボットが潜水・浮上できるかを実験した。この実験では、前述のチューブポンプのプログラムを使用し、チューブポンプから水を内部のカプセルに送り、尚且つ、カプセルを水で満

たして潜水艇ロボット全体の重さを変化させて、沈めることができるかを確認した。

しかし、潜水中に空気抜き用のチューブがカプセル内の水に触れてしまい、そのチューブから水が出てきてしまった。これによって、カプセル内の水の量が途中で変化しなくなり、潜水艇ロボットの重さが増えすぎてしまったため、潜水の実験は失敗してしまった。この原因は、カプセル内の重りが潜水中に動いてしまったことで、カプセル全体のバランスが崩れてしまい、空気抜き用のチューブが内部の水に触れてしまったことだと考えられる。

カプセル内の重りが移動してバランスを崩さないようにするために、図 28 のような、カプセルの直径に合わせた円形の亚克力板を制作した。この亚克力板とカプセルの底の間に重りを入れて押さえつけるようにした。また、この亚克力板には中央と周りの 4 か所に穴が合計 5 つ開いており、水を通すことができる。これは、亚克力板によってカプセル内を仕切った場合、底の方に水が入らなくなってしまうことを防止するための処置である。

亚克力板の設置によって、潜水艇内部のカプセルに取り付ける 2 本のチューブの取り付け方を変更した。はじめに、チューブポンプから引っ張ってきたチューブを前述の亚克力板の中央の穴に通し、2 つの重りの間に入れることで、チューブをカプセルの底の中心に設置した。次に、図 29 のように空気抜き用のチューブの先端にチューブコネクタを取り付け、余った部分を切り落とし、カプセルの穴よりも大きくすることで、チューブをはずれにくくした。



図 28: 重りを固定する亚克力板



図 29: 外れにくくした空気抜き用のチューブ

改良したカプセルを潜水艇の内部に取り付け、チューブを固定し、再び潜水艇ロボットの潜水と浮上の実験を行った。チューブポンプから水を送り、およそ 6 分から 7 分で潜水艇ロボットが沈むことを確認できた。その後、チューブポンプの回転を反対にし、潜水艇の内部のカプセルから水を吸い上げ、潜水艇全体の重さを軽くして浮上できるかを確認した結果、およそ 5 分から 6 分で浮上することができた。

実験後、後述のテキストの組み立てページで用いる写真を撮影するために、一度潜水艇ロボットを分解した。ブロックの撮影終了後、再び組み立てて、潜水艇の機能の確認のために潜水の実験を行ったところ、潜水艇ロボットの潜水が途中で止まってしまった。前の実験との違いとして、潜水

艇と装飾に使用していた一部のブロックを、撮影の都合で同じ形状の別のブロックに変えてしまったことが分かった。

ブロックの色で、沈み方に違いがあるかの実験を行った。この実験では、透明、白、赤、黒の4種類の立方体ブロックを使用した。その結果、透明、白のブロックは沈みやすかったが、赤、黒のブロックは沈みにくかった。赤、黒、白のブロックは同じ製品に付属していたが、塗料による違いが影響したと考えられる。これらの結果を考慮し、教材の実験を行いやすくするため、沈みやすい白のブロックを使用することにした。

(\*文責:中川瑠星)

### 3.8 深度センサの概要

潜水艇ロボットを自動化するために、カガク班は深度センサを制作した。深度センサは水槽の下に設置されており、潜水艇ロボットが水槽の底に到達した時に、赤外線フォトリフレクタによって自動的に浮上できるようになっている。

(\*文責:中川瑠星)

### 3.9 深度センサの制作プロセス

前述の実験によって、チューブポンプを動力として潜水艇ロボットを潜水・浮上できることが確認できた。しかし、これらの要素では教材として要素が不足していると考えられたため、これらに発展的な内容を盛り込むことにした。現在はボタン操作で潜水と浮上を行っており、教材をより発展させるために潜水艇ロボットの動作の一部を自動化することにした。

自動化する動作を検討した結果、潜水艇ロボットがある深さまで沈んだ後に、チューブポンプの回転を反対にして、自動的に浮上の動作に切り替える仕組みを導入することにした。この動作を実現するために、図30のような深さを測る深度センサをモチーフにした追加コンテンツを制作することとなった。深度センサを制作するにあたって、既存の教材に付属されている赤外線フォトリフレクタを用いることにした。ここで、赤外線フォトリフレクタとは、物体との距離を赤外線で測るセンサのことである。

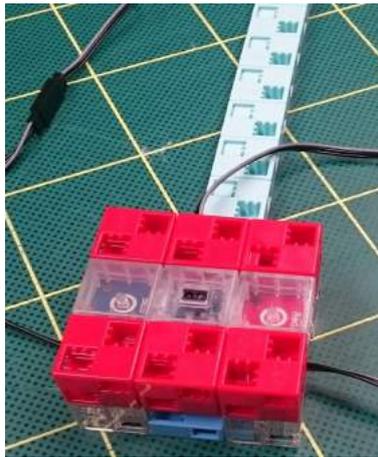


図 30: 深度センサ

また、前述までの装置では、潜水艇の内部のカプセルの水の量がある程度変化するまで、潜水艇の状態の変化が少なかった。そのため、潜水艇ロボットの動作が潜水を行っている途中であるのか浮上を行っている途中であるのかを視覚的に捉えることが容易ではなかった。この問題を解決するため、深度センサに赤色 LED と青色 LED を取り付けることにした。これらの LED は、潜水中に青色に、浮上中に赤色に点灯するように設定した。

赤外線フォトリフレクタと 2 色の LED を取り付け新たに制作した深度センサを以下に示す。この深度センサの高さは、赤外線フォトリフレクタと LED のコードのスペースを十分に確保するために、立方体ブロック 2 個分と同じ高さになっている。また、この深度センサには、実験中に好きな位置に調整できるように持ち手が取り付けられている。この持ち手は、実験を行う水槽によって自由に長さを変更できるように、単純な構造にした。

完成した深度センサとチューブポンプを Studuino に接続し、深度センサをチューブポンプと同時に動かせることと、赤外線フォトリフレクタの反応によってチューブポンプの回転が反対になることを確認した。その後、チューブポンプと潜水艇ロボット、深度センサを使用して、潜水艇ロボットが潜水した後に深度センサによって自動的にチューブポンプの回転を切り替え、浮上ができるかの実験を行った。その際、深度センサを水槽の下に入れるために、水槽を立方体ブロック 2 個分と 5mm ほど持ち上げた。実験の結果、潜水艇ロボットが水槽の底に到達した後、深度センサを反応させてチューブポンプの回転を反対にさせることができ、潜水艇ロボットを自動で浮上させることに成功した。また、潜水時には LED が青色に、浮上時には LED が赤色に点灯させることで、行われている動作を視覚的に判断しやすくなった。

(\*文責:中川瑠星)

### 3.10 プログラムの考案

深度センサの導入によって赤外線フォトリフレクタと2色のLEDを追加したため、それらに合わせてプログラムを改良した。改良前のプログラムでは浮上の動作の切り替えをボタン操作で行っていたので、条件分岐を追加して赤外線フォトリフレクタの値でも切り替えられるようにした。また、改良前はDCモータしか使用できていなかったため、チューブポンプの動作を1つのプログラムで管理していたが、LEDや赤外線フォトリフレクタの追加に伴い、潜水・浮上・停止の動作を3つの関数に分け、変数で管理できるようにした。完成したプログラムが図31である。

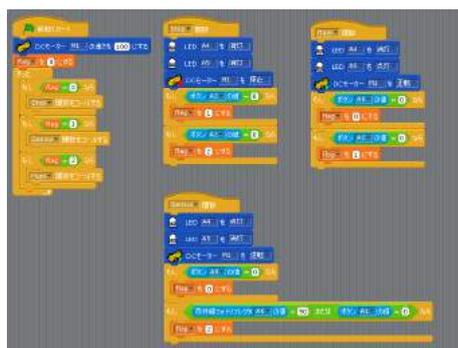


図 31: 完成したプログラム

(\*文責:中川瑠星)

### 3.11 テキストの概要

カガク班はチューブポンプや潜水艇をもとに最終成果物としてテキストを制作した(図32)。テキストの制作にあたり、まずものしくみ研究室のテキスト構成を分析した。テキストの大まかなレイアウトはものしくみ研究室のものに準拠し、その上で分析の結果や設定した課題を考慮し構成を決定した。

(\*文責:計良美来)



図 32: 制作したテキスト

### 3.12 テキストの制作プロセス

テキストを分析した結果、もののしくみ研究室のテキストは以下のような構成であることがわかった。

- (1) 題材や制作物についての説明
- (2) ブロックの組み立て
- (3) プログラミング
- (4) ものづくりメーカーの解説

(1)~(3) の工程は数回繰り返され、はじめに作った制作物に少しずつ機能を追加していくものや、発展的な別の制作物を作れるようになっているものがある。このとき追加されるパーツも、ブロックやセンサ、モータなど制作物の特性にあわせて様々であった。

この分析結果をもとに、以下のようにテキストの構成を決定した。

- (1) 目次
- (2) 浮力・制作物についての説明
- (3) チューブポンプの組み立て
- (4) ブロックプログラミング
- (5) 潜水艇の組み立て
- (6) 深度センサの組み立て
- (7) ブロックプログラミング

テキストを制作するにあたり解決しなければいけない課題は「ブロックの組み立て方、解説がわかりやすい教材を制作」であり、問題点は以下の 3 つであった。

- 使うブロックの種類・数がわかりづらい
- 組み立て方の写真をみにくくブロックの組み立てが難しい
- 教材の解説がわかりづらい

まず, 1つ目の「使うブロックの種類・数をわかりやすく」という問題については, 組み立て方の写真の左上に使うブロックの種類と数を記載することで解決した. このとき, ブロックの種類を文字で表すのはわかりづらいと考えたため, 各ブロックのアイコンを作成し, 一目で使うものが理解できるようにした (図 33). ブロック, 3D プリンタで印刷したパーツのアイコンは Adobe illustrator で作成した.

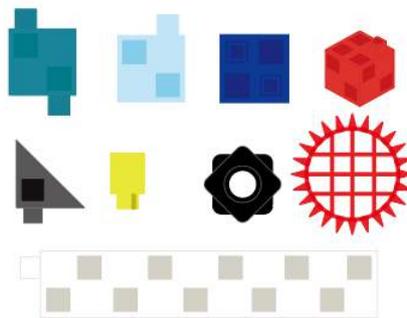


図 33: 制作したアイコン

次に, 2つ目「組み立て方の写真が見にくく, ブロックの組み立てが難しい」という問題については, 写真の撮り方やレイアウトを工夫することで解決した. 具体的には, 既存の教材ではブロックの差し込む箇所や向きなどがわかりづらいことが問題だったため, 写真の撮り方を工夫した. さらに, 撮影した写真は背景を切り抜いて使用することにより視認性を向上させた. また, 組み立て方の解説は, 海外のレゴブロックの説明書を参考に, 文字では説明せず組み立てる順番と必要なパーツ, 完成形のみを提示するシンプルな形とした (図 34). 完成形のみではブロックの差し込む方向などが分かりにくい部分には補助用に分解図ものせるようにした. これは, 子どもたちに思考力を身に付けさせるという目的に関係している. なぜなら, すべての手順を記載するとただその通り手を動かすという作業になってしまい思考力が身につかないからである. このような形をとることにより, どう組み立てれば完成図の通りになるのか, 立体的に考える力が身につくと考えた. また, 説明文がなく写真のみで理解させる構成のため, 写真を詰めこんでしまうと写真の細部がわかりづらくなり, 目的に対して効果的ではないので写真は大きく配置した.

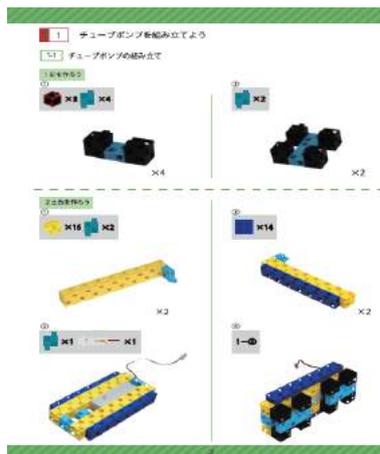


図 34: ブロックの組み立てページ

最後に、3つ目の「教材の解説がわかりにくい」という問題については、解説文章や構成など様々な部分でわかりやすくなるように工夫して解決を図った。具体的には、今回は制作物がチューブポンプ、潜水艇、深度センサの3つであり、それぞれ説明するページがわかれている。そのため、ページ番号を記載し1ページ目に目次を作成することで、組み立て方を確認する場合や解説を読み直したいときにすぐ該当ページを探せるようにした(図35)。

目次	
研究0 潜水艇ロボットの制作	1
研究1 チューブポンプを組み立てよう	2
1-1 チューブポンプの組み立て	2
部品を準備しよう	
部品を準備しよう	
部品を準備しよう	
チューブポンプを組み立てよう	
1-2 チューブポンプの組み立てとプログラム	4
入出力の設定	
コイル	
1-3 チューブポンプを動かそう	7
研究2 潜水艇を組み立てよう	8
2-1 潜水艇の組み立て	8
部品を準備しよう	
部品を準備しよう	
部品を準備しよう	
2-2 潜水艇ロボットを動かそう	12
研究3 潜水艇の浮き沈みを確認しよう	13
3-1 浮力調整センサの組み立て	13
3-2 潜水艇を自動化しよう	15

図 35: 目次

3Dプリンタで使うパーツのダウンロードは、使うたびに印刷すると手間がかかってしまうため、データファイルを全てまとめて1度に見られるようにした。また、コードの差し込み口など、細かい部分は写真だけだと伝わりにくいため、つなぐ位置を文字で示した(図36)。



図 36: コードの差し込み口

ものづくり研究のテキストでは、最後のページに各制作物を実際に作成しているものづくりメーカーについての解説を載せている。カガク班の教材では、そのかわりにテキスト内にコラムを作成した（図 37）。コラムは潜水艇に関する書籍を参考に作成している [5]。読者に語り掛けるような文体で他の解説との差別化をはかり、子どもたちに親しみを持ってもらえるようにした。プログラムの解説ページでは、文章での解説の後、フローチャートを作ることでプログラムの流れを理解させ、そのうえで実際にブロックプログラミングを行っていくことで段階的にブロックプログラミングを学べるようにした。現在制作してあるフローチャート（図 38）は全て埋められているが、フローチャートの一部を空欄にし、内容を考えさせる仕様も検討している。

**コラム**

**しんかい 6500**

みんなはしんかい 6500 についてどのくらい知っているかな？

- ・ 6500m まで潜航できるよ作られたのは、地震を予知する研究のため。
- ・ 潜水艇の中でしんかい 6500 だけ、カラー画像を音波で送ることができる機能が搭載されているよ。
- ・ しんかい 6500 で潜水すれば、マリンスノーだけでなく、マリンスターを見ることができるよ。でも残念ながら、マリンスターの輝きは写真やカメラには映らないんだ。
- ・ 4-12 月の間に計 60 回ほど潜航調査を行っている。残りの 4 か月は部品の分解と掃除、修理に費やしているよ。

出典：山本省三 (2012) すごいぞ! 「しんかい 6500」地球の中の宇宙、深海を探る, くもん出版

図 37: コラム

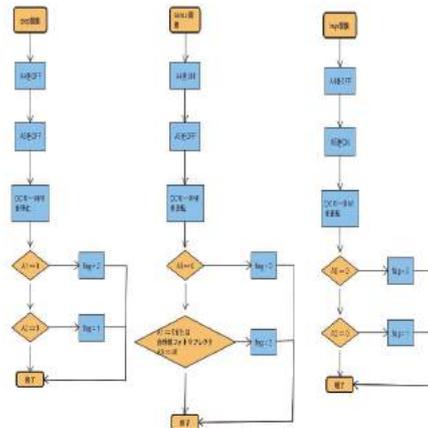


図 38: フローチャート

(\*文責:計良美来)

## 4 まとめ

### 4.1 まとめ

本プロジェクトでは、Fab文化の発展を目指し、魅力的で新しいコンテンツの製作を目指し活動を行ってきた。カガク班では、それに加えて子供への創造力・科学的思考の定着を目的に、教育コンテンツの製作を行った。活動にあたっては、学研「もののしくみ研究室」の協力を得た。もののしくみ研究室では、小中学生を対象とし、身の回りのものを自分の手でロボットとして組み立て、プログラミングを行い実際に動かす、という形で教育を行っている。これを参考とし、テーマはブロックとArduino、及びモータ、センサ等の各種電子部品を材料に用いてロボットを組み立てながら、学習を行う教材とした。

実際の活動は大きく分けて6つに分類される。

- (1) 題材の選定
- (2) コンテンツ全体の構造設計
- (3) チューブポンプの設計
- (4) 潜水艇型ロボットの設計
- (5) ロボットの追加コンテンツ(動作を手動から自動へ切り替える手順)の設計
- (6) テキスト製作(上記コンテンツを実際に教材として使用する為)

1つ目に、(1)について、組み立てるロボットの題材の選定は

- 教育的な内容であること
- 子供に興味を持ってもらうこと
- 既存の教育コンテンツと内容が重複しないこと
- Fab技術とその学習を取り入れること

以上を条件とした。以上を踏まえて学研の方と協議を行った結果、制作物は「浮力」についての学習を目的とした、水中を移動する潜水艇型ロボットとなった。浮力をテーマとして取り上げた理由は以下の3つである。

- 義務教育の学習指導要領に含まれる内容である
- 中高生が学習する内容であり、対象である小中学生にとっては新鮮な内容になることが期待できる
- 「もののしくみ研究室」の既存の教材に水を扱ったものが無く、差別化が容易である

2つ目に、(2)について。潜水艇ロボットを製作するにあたって、まず潜水艇の構造の検討を行った。検討の結果、潜水艇ロボットの内部に、バラストタンクの代わりとして密閉された空間を設け、その内部の水や空気の量を操作する事で潜水艇ロボットの重量を変化させ、水中を浮き沈みする動作を行う仕組みとなった。実在するものを題材とした科学教育という観点から、実際の潜水艇に近い仕組みで動作するようにした。また、安全に配慮し、電子部品を直接水中に入れない構造にすることで感電のリスクを避けている。

3つ目に、(3)について。前期の活動期間を用いて、潜水艇ロボット内部の水・空気を移動させる動力となる箇所的设计を行った。動力の方式は、チューブポンプを採用した。チューブポンプは液体・気体を運搬する為のポンプの一種であり、シリコン等の軟質素材で作られたチューブをローラで連続して搾り出すようにして機能を実現している。DC モータ1つで稼働するため構造が非常に簡易かつ強固で、実装が容易な点が特徴である。ポンプを設計する上では、ローラとして使用できるブロックやチューブを固定するのに使えるブロックが無いことが問題となった。そのため、それらは3Dプリンタでパーツを新造する事で解決した。パーツはABS樹脂で出力し、また全てArTecブロックと組み合わせて使える精度で設計している。ローラについては、軸の部分でチューブを両壁が接触するまで押し潰す必要があったが、軸が太すぎると満足な圧力が得られず、理想とする細さ(太さ5mm)では軸が破損してしまった。そのため、軸の部分は金属製のネジ(4mm)を用いることで細さと強度を両立した。チューブ固定パーツは、チューブの外径(4mm)よりやや太い径の穴(5mm)が2つ開いており、チューブを通した後にチューブコネクタで栓をするようにして使用する。チューブコネクタは市販のものを使用している。ポンプの完成後は、動作確認を行った。モータの正転・逆転をコントローラのボタンに振り分けて動作させるプログラムを設計し動作させたところ、想定通りに吸水・排水を行うことが確認できた。

4つ目に、(4)について。前期に動力となるポンプが完成したため、後期には潜水艇ロボット本体の製作を行うこととなった。潜水艇ロボットは内部に市販のカプセルトイのカプセルが取り付けられており、チューブのみで外気とポンプに繋がるような構造になっている。そこへポンプで水を汲み入れると空気が抜けていき、逆に水を抜くと空気で満たされるようシリコンチューブを配置した。また、僅かな重量の変化で浮き沈みするよう、釣り用の錘を内部に取り付けて潜水艇ロボットの重量を調整した。これにより、内部が水で満たされると底へ沈み、水を抜くと水上へ浮き上がる機能を実現した。さらに、潜水艇ロボットの外装についても改善を図った。初めは、本体をブロックのみで製作していた。しかし、平面から成るブロックでは潜水艇らしい曲面を表現することができず、デザインが題材に相応しくなかった。そのため、前後の面に半球形のパーツを3Dプリンタで製作して取り付け、デザインを改善した。

5つ目に、(5)について。完成した潜水艇ロボットに、発展内容として、動作を任意で自動化できるように学習内容を追加した。通常時は、ボタン操作で浮上・沈降を切り替えるようになって

いるが、底が透明な水槽の下に赤外線フォトリフレクタを設置し、プログラムを変更することで、潜水艇ロボットが沈んだことを検知して自動で浮上するよう設定を変えることができる。潜水艇ロボットの沈降の検知に赤外線フォトリフレクタを使用したのは、深度センサのような電子部品を水中に入れて感電するなどのリスクを避けたためである。また、沈降中は青色、浮上中は赤色のLEDが点灯するようになっており、現在吸水・排水のどちらの動作を行っているかが一目で分かる。この、手動での動作を自動化する過程は、プログラミング初心者が躓きやすいと思われる制御について、分かり易く目に見える形で学習してもらう狙いがある。

6つ目に、(6)について。最後に、製作したこれらのコンテンツを実際に教材として利用できるよう、解説テキストを製作した。テキストは、チューブポンプや潜水艇の仕組み、ロボットの組み立て方や動作のためのプログラミングについて掲載している。製作にあたっては、「もののしくみ研究室」で用いられているテキストを参考にした。全体の構成は以下のように決定した。

- (1) 目次
- (2) 浮力・制作物についての説明
- (3) チューブポンプの組み立て
- (4) ブロックプログラミング
- (5) 潜水艇ロボットの組み立て
- (6) 深度センサの組み立て
- (7) ブロックプログラミング

また、3Dプリンタで出力しなければならないパーツについて、データをダウンロードする為のURLを掲載している。潜水艇ロボットの組み立て方の解説ページは、各工程毎に使うパーツと完成形だけを提示する形式とした。これはどう組み立てるかを学習者自身に考えさせることにより、立体的にももの考える力や、完成形から逆算して物事を考える力を身に付けさせることを目的としている。また、組み立てに必要なブロックの数と種類をシンプルに、かつ分かり易く伝えるため、各ブロックのアイコンを製作し表示している。

(\*文責:金澤朋也)

## 4.2 今後の課題

本コンテンツにおいて不十分な点として、以下の3つが挙げられた。

- ポンプへのチューブの接続が完全ではない
- テキストの記述が不足している
- 教材の評価実験を行えなかった

まず、1つ目の「ポンプへのチューブの接続が完全ではない」については、チューブの接続には3Dプリンタで製作したパーツと、市販のチューブコネクタを使用しているが、時折チューブが外れ水が漏れ出すことがあった。長時間連続稼働させたため、振動やチューブの伸縮により徐々に接続が緩んだことが原因だと推測される。モータやバッテリーといった電子部品が濡れる危険があるが、プロジェクト内ではこの問題の解決に至らなかった。これについては、チューブの接続方式をネジ穴などの他の方式に変更するなどの解決方法が考えられる。

次に、2つ目の「テキストの記述が不足している」について。作成したテキストにはカプセルやチューブの取り付け方など不足している点があった。これについては、図解やイラストを用いて分かり易く製作し追加することを予定している。なお、現時点で完成したテキストについては、付録に URL を記載した。

最後に、3つ目「教材の評価実験を行えなかった」について。対象となる小学生・中学生のみならず、それ以外の年齢層を対象とした実験も行うことは出来なかった。これについては、ワークショップを開くなどして、フィードバックを収集する機会を設けることを予定している。

また、本コンテンツの今後の展望としては以下の2つが挙げられた。

- 教材に、浮力に関する事象やそれ以外の題材を導入する
- 潜水艇ロボット以外の制作物を考案する

まず、1つ目の「この教材に、浮力に関する事象やそれ以外の題材を導入する」について。例えば、浮力を求める公式は「 $\text{浮力} = \text{物体の体積} * \text{液体の密度} * \text{重力加速度}$ 」である。このことから、水に食塩を溶かす等して密度を上げる事で浮力を大きくできることが分かる。これを用いれば、潜水艇ロボットの浮き沈みを物体の重量を変えること以外の方法で実現できる。このように多角的に題材を取り上げると、より効果的かつ興味を惹く教材となることが期待できる。

次に、2つ目の「潜水艇ロボット以外の制作物を考案する」について。今回のプロジェクトでは浮力をテーマとして潜水艇型ロボットを製作したが、他の形でも、プログラミングの学習、Fab や科学的思考の定着を組み合わせたコンテンツは製作できると考えた。

(\*文責:金澤朋也)

## 5 参考文献

- [1] もののしくみ研究室. <http://robot.gakken.jp/> (2019年1月15日参照)
- [2] ダイナミックバキュームポンプ (チューブポンプ) | 製品情報 | 株式会社タクミナ, 株式会社タクミナ, <https://www.tacmina.co.jp/products/ca1047/> (2019年1月15日参照)
- [3] 赤外線フォトリフレクタ – KOOV ヘルプセンター, KOOV ヘルプセンター, <http://qq2q.biz/P8Js> (2019年1月15日参照)
- [4] 組み立て説明書.<http://qq2q.biz/P8Jz> (2019年1月15日参照)
- [5] 山本省三 (2012) すごいぞ! 「しんかい6500」地球の中の宇宙, 深海を探る. くもん出版.

## 6 付録

### 6.1 技術習得

- CAD: CADとはコンピュータを用いて設計や製図を行うこと, コンピュータによる設計支援ツールのこと (CADシステム) である. 今回は Autodesk Fusion 360 を用いてブロックの3Dモデルを製作することで, 3Dモデルのモデリング方法を学んだ.
- 3Dプリンタ: 3Dプリンタとは3DCADのデータをもとにして立体モデルを制作するデジタル工作機器である. CADを用いて制作した3Dモデルを出力することで使い方を学んだ.
- Adobe Illustrator: Adobe IllustratorはAdobe社が販売するグラフィック制作ツールである. 今回はテキストやポスターの編集を通して使い方を学んだ.

(\*文責:計良美来)

### 6.2 リンク

- 取り扱い内容確認  
<http://ur0.biz/PhZL>
- 潜水艇ロボットの制作  
<http://qq2q.biz/P8LU>

(\*文責:計良美来)

### 6.3 相互評価

- 金澤朋也に対するコメント

計良：テキストに使用する写真の撮影では、見やすい写真になるように工夫して撮影してくれていた。また、テキストの文章の大部分を担当してくれており、教材完成に貢献してくれた。

中川：制作した児童向けの教材の文章をほとんど考えて頂き、助かった。また、活動の記録をする際、不足した部分を補ってくれた点で作業に貢献していたと感じた。

- 計良美来に対するコメント

金澤：主にテキストのレイアウトやアイコン作成、ポスター作成などのデザイン関連を担当してくれた。実際にはほとんど大部分を製作して頂いた。特に、完成した教材が見やすく美しいものになったのは計良さんの力が大きい。Adobe Illustrator などのデザイン製作ツールに関しては、グループのメンバーの中で最も習熟している。

中川：制作した教材のデザインやレイアウトを考えてくれて助かった。また、使用する写真の加工作業をほとんど行って頂いた点で、作業に貢献していたと思った。

- 中川瑠星に対するコメント

金澤：主にチューブポンプやロボットなどの制作物の設計を担当してもらった。それらをブロックで組み立てる作業のほか、3D プリンタで新造するパーツの CAD での設計、動作プログラムの作成など、構想を形にする過程に関して大部分を一人で制作してくれた。

計良：制作物であるロボットの構想から組み立てまで設計部分をほとんど担当してくれていた。また、3D プリンタなどを用いたパーツ制作などで、制作物の質の向上に多大に貢献してくれた。