

公立はこだて未来大学 2023 年度 システム情報科学実習  
グループ報告書

Future University Hakodate 2023 Systems Information Science Practice  
Group Report

プロジェクト名

ミライノサファリ

Project Name

Safari of the Future

グループ名

グループ C

Group Name

GroupC

プロジェクト番号/Project No.

18

プロジェクトリーダー/Project Leader

川田芽依 Mei Kawata

グループリーダー/Group Leader

桃井悠汰 Yuta Momoi

プロジェクトメンバ/Project Member

長谷川晃汰 Kouta Hasegawa

中尾実柚 Miyu Nakagawa

齋藤総一郎 Soichiro Saito

松岡ひなた Hinata Matsuoka

福地厚太 Kota Fukuchi

坂本海斗 Kaito-Sakamoto

指導教員

竹川佳成 坂井田瑠衣 佐藤直行 塚田浩二

Advisor

Yoshinari Takegawa Rui Sakaida Naoyuki Sato Koji Tsukada

提出日

2023 年 1 月 17 日

Date of Submission

January 17, 2023



# 概要

現代社会において、動物園やサファリパークは動物たちと直接触れ合う機会を提供している。特にサファリパークは動物園より柵や檻などといった動物と人をさえぎるものが少なく、動物たちにとってより自然に近い環境が作られている。これにより、私たちはサファリパークでより自然な状態の動物たちを見ることができる。私たちミライノサファリプロジェクトは、富士サファリパークと協働して ICT を用いた人と動物の新たな関係性を構築することを目的とし、活動を行っている。

前期では、サファリパークの目的である「種の保存」、「調査・研究」、「教育」、「レクリエーション」を支援することを根底に置いて活動を進めた。はじめに、サファリパークや動物たちについての知識を深めるために ICT と動物に関する先行研究の調査とその結果の共有を行った。その後、サファリパークとの交流の一環であるオンラインサファリツアーを通して、現場ならではの知識や問題点を得た。これらの活動を通じて、たくさんのアイデアをもとに3つのコンセプト案を決定し、7月に大学で行われたプロジェクト学習に関する中間発表会に臨んだ。後期では、前期に決定したコンセプト案をもとに成果物の制作を行った。私たちのグループは、動物ごとに一回の拍動で送られる血液の量が違うことに注目し、それらを可視化したデバイスである「SENSE OF HEAER」を成果物とした。このデバイスは動物や人の心臓の機能違いを体験できるもので、心臓の機能の中でも、一定時間内に心臓が拍動する回数である「脈拍」と心臓によって送り出される血液量である「心拍出量」の人間と動物の違いに着目し、2つの製作物の開発を行った。一つ目は、心拍センサを用いて自分の脈拍と各動物の脈拍の違いを体験できるデバイスである。二つ目は、ポンプによってそれぞれの動物の拍出量の違いを体験できるものである。この成果物の制作にあたって、外側の枠となる部分はアクリル板で作成した。Adobe Illustrator を使用し、レーザーカッターでアクリル板を切り取った。心臓の模型は3Dプリンターでゴムライクレジンを使用し作成した。血液を模した水の流れは電磁弁と電動弁で操作し、HTMR を使用し遠隔で水の出し入れを可能にした。最終発表の段階では、実際に体験者に心臓を動かしてもらい様々な動物たちの一回の拍動における血液量の違いを理解してもらうことができた。今後の課題としては、心臓の模型の耐久性の確認、外観の改良、動物の種類を増やすことなどが挙げられた。

**キーワード** サファリパーク, ICT, 人, 動物, ふれあい

(※文責: 齊藤総一郎)

# Abstract

In today's society, zoos and safari parks provide opportunities for direct contact with animals. Safari parks, in particular, provide a more natural environment for animals than zoos, as there are fewer fences and cages between animals and people. This allows us to see the animals in their natural state. The Safari Project aims to build a new relationship between people and animals using ICT in collaboration with Fuji Safari Park. In the first semester, our activities were based on supporting the Safari Park's objectives of "species conservation," "research and investigation," "education," and "recreation. First, previous research was surveyed and shared to deepen knowledge about the safari park and its animals. Then, as part of our interaction with the safari park, we were able to learn about knowledge and issues unique to the field through online safari tours. Based on the many ideas generated through these activities, we decided on three concept ideas for the mid-term presentation. In the second semester, we produced deliverables based on the concept ideas decided in the first semester. Our group focused on the fact that the amount of blood delivered in a single heartbeat differs from animal to animal, and created the "SENSE OF HEAR," a device that visualizes this difference. This device allows users to experience the differences in heart functions between animals and humans. The second is a device that allows the user to experience the difference between their own pulse and that of each animal, and the third is a pump that allows the user to experience the difference between the pulsation rate of each animal. The outer frame of the device was made of acrylic sheet, which was cut out using Adobe Illustrator and a laser cutter. The model of the heart was created using a 3D printer with rubberized lycra resin. The flow of water, which imitates blood, is controlled by solenoid valves and electric valves, and water can be remotely pumped in and out using HTMR. In the final presentation, we asked participants to actually move their hearts to understand the differences in the amount of blood in a single beat of various animals. Future tasks include confirming the durability of the heart model, improving its appearance, and increasing the number of animal species.

**Keyword** Safari park, ICT, person, animal, relationship

(※文責: Soichiro Saito)

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	該当分野の現状・従来例	1
1.2	現状の問題点・従来の問題点	2
1.3	課題の概要	3
<b>第 2 章</b>	<b>到達目標</b>	<b>4</b>
2.1	本プロジェクトにおける目的	4
2.1.1	通常の講義ではなく、プロジェクト学習で行う利点	4
2.1.2	富士サファリパークとの交流について	4
2.2	課題設定	4
2.3	到達目標	5
<b>第 3 章</b>	<b>事前調査と技術習得</b>	<b>6</b>
3.1	富士サファリパークオンラインツアー	6
3.2	スケッチ道場	6
3.3	フィールドワーク in 函館公園	7
3.4	学童保育「楽」& 遠友塾への展示	7
3.5	富士サファリパークへの中間報告	8
3.6	富士サファリパークでの活動	8
3.7	電子工作道場	9
3.7.1	概要	9
3.7.2	加速度センサ	10
3.7.3	Bluetooth	10
<b>第 4 章</b>	<b>前期制作物に関して</b>	<b>11</b>
4.1	5つの前期制作物の概要	11
4.2	前期制作物の課題と改良に関する概要	12
4.3	各ブラッシュアップ課題における評価を受けて	12
4.3.1	ポケレポ	12
4.3.2	いのちのぬいぐるみ	13
4.3.3	SENSE OF LIFE	13
4.3.4	ELEG	13
4.3.5	elEmotion	14
4.4	前期制作物に関するの評価	14
<b>第 5 章</b>	<b>最終制作物について</b>	<b>16</b>
5.1	概要	16
5.2	背景	16
5.3	先行研究の調査	17

5.4	解決方法1：拍出量の再現	19
5.4.1	心臓部の構造について	19
5.4.2	使用した技術について	20
5.4.3	Web サイトについて	20
5.4.4	Javascript	21
5.4.5	Arduino	21
5.4.6	Arduino UNO	21
5.4.7	無線接続に関して	21
5.4.8	Bluetooth Low Energy	22
5.4.9	送水機能に関して	22
5.4.10	全体構造に関して	23
5.4.11	心臓を再現した動物に関してに関して	24
5.5	解決方法2：水による脈拍の再現	24
5.5.1	目標・目的	24
5.5.2	背景	24
5.5.3	方針	25
5.5.4	機構の検討	25
5.5.5	プロダクトの設計	26
5.5.6	使用した機器、用いた技術	27
5.5.7	ESP-WROOM-32	27
5.5.8	M5Stack Basic	28
5.5.9	昇圧型 DC-DC コンバータ	28
5.5.10	はんだ付け	28
5.5.11	リレーモジュール	28
5.5.12	電磁弁	29
5.5.13	SPIFFS/WebServer	29
5.5.14	HTML/CSS	30
5.5.15	心拍センサ	30
5.6	最終成果発表	30
5.6.1	最終発表のフィードバック	30
5.6.2	最終成果発表ポスター	32
5.6.3	最終成果発表スライド	33
5.6.4	今後の展望と課題	33
5.6.5	今後の活動について	34
5.6.6	グループ活動での反省点、役割分担について	34
<b>第6章</b>	<b>プロジェクトと学習のまとめ</b>	<b>36</b>
6.1	全体の計画	36
6.2	中間発表のフィードバック	36
6.3	サファリパークへの中間報告のフィードバック	37
6.4	サファリ見学を経て	37
6.5	最終成果発表のフィードバック	38

6.6	今後の展望と課題 . . . . .	39
	参考文献	41

# 第1章 はじめに

## 1.1 該当分野の現状・従来例

私たちは動物園を訪れ、動物を見て、触れ合い、娯楽を得る。しかしながら、動物園の役割はそれだけではない。日本動物園水族館協会は動物園の役割として、「種の保存」、「教育・環境教育」、「調査・研究」、「レクリエーション」の4つを示している。「種の保存」とは、生き物は、私たちみんなの財産という認識のもと、動物園が数が少なくなり絶滅しそうな生き物などに、生息地外でも生きていける場を与える。これは、現代における箱舟の役割を果たしていることを意味する。「教育・環境教育」とは、本や映像では得ることのできない、生き物のおいや鳴き声を実際に体験できるという動物園の特徴を活かし、訪問者に動物の生態を理解してもらい、環境教育にも結びつけるという役割を意味する。動物園水族館協会は、今、野生の生き物が住むことのできる場所が減少傾向にあることなどを知り、人間がどうすればいいのかを考えるきっかけを作りたいと考えている。「調査・研究」とは、生き物などの生態をよく知り、動物園で快適に暮らせるようにするための生物の研究を行なっていることを意味する。今では、ほとんどの動物園や水族館では新しく捕まえてくるのではなく、飼育している生き物を増やそうと努力するため、こうした研究が行われている。その結果、飼育されている生き物の多くは、野生のものより長生きで、子供もたくさん増えるようになってきている。「レクリエーション」とは、私たちが動物園に対するイメージとして代表的なものである。動物園は、来園者に楽しい時間を提供し、楽しく過ごしながら「命の大切さ」や「生きることの美しさ」を感じ取ってもらうレクリエーションの場であることを意味する。サファリパークとは、動物園の一種である。サファリパークとは、金網などの高いフェンスを周囲に巡らせて動物を飼育し、自然の中で生活しているような姿を自動車から見せる施設のことを意味する。そのため、サファリパークの役割には、これらの動物園の4つの役割が含まれている。

ミライノサファリプロジェクトでは、この動物園の4つの役割のうち「種の保存」、「教育・環境教育」、「調査・研究」について着目し、人間と動物をつなげるICT技術の開発を進めている。この人間と動物をつなげるICT技術として、従来例の以下3つが挙げられる。

1点目は、東京大学大学院農学生命科学研究科生物多様性科学研究室の樋口広芳が行った高度情報通信技術を利用した野生動物の移動追跡である。長距離移動を行う動物にとって、長距離の移動は生存や繁殖に重要な関わりを持っている(樋口2001)。長距離移動する動物は、移動先々でいろいろな環境問題に遭遇し、近年、個体数を減少させている(樋口2001)。樋口(2001)は、この問題を解決するため、対象種の保全という観点から、優れた移動追跡方法が必要されていると考えた。そして、高度情報通信技術を利用した野生動物の移動追跡を可能にする開発を行った。この研究では、人工衛星と発信機を使い野生動物の長距離移動を地図上へ可視化や、移動距離の数値化などを行った。この衛星追跡の研究では、移動経路を明らかにすると同時に、重要な中継地、繁殖地、越冬地などを見つけ出し、対象種とその生息環境の保全に役立てるといった目的のもと行われている。これは、動物園の役割である「種の保護」、「調査・研究」に当たる研究である。

2点目は、IoTソリューションLABによる未来型テーマパークとしてウェアラブルデバイスを活用した未来の「動物園」である。ウェアラブルデバイスとは、手首や腕、頭などに装着するコンピュータデバイスである。代表的なウェアラブルデバイスとして、スマートウォッチやスマート



グラスが挙げられる。未来の動物園では、従来の動物園の「動物の姿をみることはできたが、習性や特徴などの詳細はわからないまま立ち去ってしまった」、「餌やりやショーなどイベントを見たかったけれど、時間も場所も分からず見逃してしまった」、「見たい動物のコーナーに近づけない」のような来場者からの声はお客様の体験の満足度を引き上げ、来場者数を増やすヒントに繋がると考え、開発を進めている。この未来の「動物園」で行われる開発は3つある。1つ目は、ウェアラブルデバイスが、動物について詳しく解説する機能である。例えば、デバイス（スマートウォッチ）を装着した来場者がキリンに近づくと、キリンの生態や特徴などの解説が表示されたり、普段は聞けない鳴き声などを音声で紹介してくれるなど、さまざまな体験をデザインする機能である。目の前の動物をみるだけでは伝わらない、さらなる情報の提供を目指している。2つ目は、マップ機能で園内を迷わず混雑も避けられる機能である。来場者がストレスなく、スムーズに動物園を体験してもらうことを支援する機能である。3つ目は、端末の通知機能でイベントやキャンペーンを見逃さない機能である。ウェアラブルデバイスの通知機能を利用し、ショーや餌やりなどの開催時間が決まったイベントの見逃し防止や、GPS機能で会場までの案内といった機能である。また、動物園でウェアラブルデバイスを利用することは「来場者の導線や滞在場所・時間の傾向のデータを得られること」から、顧客満足度の向上を図ることができると考えられる。これらは動物園の役割である「教育・環境教育」、「レクリエーション」の2つが含まれていると考える。

3点目は、昨年度まで当プロジェクト（昨年度以前の名称は「サファリプロジェクト」であり、今年度は「ミライノサファリ」プロジェクト）で行われてきた制作物である「いのちのぬいぐるみ」、「Sence of Life」である。「いのちのぬいぐるみ」は遠隔地から動物の呼吸を感じられるシステムである。ぬいぐるみを触ることで、動物園やサファリパークからリアルタイムで配信されている動物の呼吸を体験することで、遠隔地の動物が自分たちと同じように生きていることを実感してもらうことを目的としている。「Sence of Life」は動物の心臓を模した体験型のシステムである。動物の心臓の大きさ、鼓動の速さや強さを再現している。さまざまな動物の鼓動を比較することによって、人間と動物の鼓動の違いを知り、動物の生態を理解することを目的としている。

（※文責: 松岡ひなた）

## 1.2 現状の問題点・従来の問題点

当分野における問題点として、動物園の4つの役割のうち「レクリエーション」ばかりに着目され、ほか3つの「種の保存」、「教育・環境教育」、「調査・研究」が来場者にはあまり知られておらず、動物園の役割を全て果たすことができていない点が考えられる。現状、動物園の来場者は、動物の生態まで興味を示す人は少ない。来場者のほとんどは、親子連れなどの子供中心が多く、動物園をエンターテインメントとして楽しむことが中心になってしまっている。これは、動物園の展示の仕方などの現状が原因と考えられる。現状の動物園では、来園者が柵越しに動物を鑑賞する形式である。これでは、動物の見たい様子や状態を訪れたときに見ることができるとは限らない。例えば、餌の食べ方や食べている様子を見たいときに、餌やり体験ができたり、飼育員が餌をあげられる瞬間が見られるとは限らない。また、鳴き声を聞きたいときに動物が実際に鳴くとは限らないのである。これらを改善するために、さまざまな動物園でパネルやホームページなどを利用して普段の動物の様子や生態を発信している。しかし、この効果はいまいちである。実際に、6月初旬に訪れた函館公園の動物展示をフィールドワークした結果、それらのパネルを見ているのはごく少数であった。また、子供の目線の高さにはそれらのパネルは無く、漢字も使われているため、ごく一

部の大人のみが眺めていた。このような現状から、動物園の役割である「種の保存」、「教育・環境教育」、「調査・研究」の3つの役割が果たせていないことが問題点であると考える。

(※文責: 松岡ひなた)

### 1.3 課題の概要

上記問題点を改善するため、当プロジェクトでは以下の課題を設定した。教育の「education」とエンターテインメント「entertainment」の造語である「edutainment」を目指し、動物中心の体験型デバイスを作成することにより、動物園やサファリパークへの来場者が動物園の役割である「種の保存」、「教育・環境教育」、「調査・研究」の3つの役割を知るきっかけ作りを行う。そうすることで、人間と動物をつなぐ ICT 技術の開発を目指す。

(※文責: 松岡ひなた)

## 第 2 章 到達目標

### 2.1 本プロジェクトにおける目的

本プロジェクトにおける目的は、人と動物の新たな関係を ICT で支援することである。

#### 2.1.1 通常の講義ではなく、プロジェクト学習で行う利点

講義ではなく、プロジェクト学習で行うことのメリットは以下の通りである。まずは新たな視点から問題解決ができる点である。プロジェクト学習では各コースの学生が集まるので様々な視点から物事を考えることが可能である。よって、難儀な課題に直面した際にも比較的問題解決に至りやすいと考える。また、学生主体で行動することによって、社会人に必要な課題発見能力やコミュニケーション能力を養うことができる。

(※文責: 齋藤総一郎)

#### 2.1.2 富士サファリパークとの交流について

富士サファリパークとは、静岡県裾野市にある日本最大級のサファリ形式の動物園である。サファリパークは通常の動物園より動物を生息環境に近づけて飼育している。具体的には、動物を檻に入れて展示するのではなく、放し飼いの状態で展示している。

私たちのプロジェクトは、年に1度9月に富士サファリパークで、プロジェクト内で作成した物を展示している。前期に行われるオンラインツアーを通して、フィールドワークの準備を行った。同時に、去年までの展示物のフィードバックをいただいた。オンラインツアー内で飼育員目線のフィードバックをもらうことで、既存の制作物の改良を進めやすくするとともに、展示物の改良や後期から作るプロダクトのイメージを掴んだ。

(※文責: 中尾実柚)

### 2.2 課題設定

このプロジェクトでは「はじめに」で述べた通り「種の保存」、「教育・環境教育」、「調査・研究」を ICT で支援することを課題として行なっている。これを課題として設けた理由は、動物園の機能がレクリエーションの面しか訪問者に理解されていないという点である。可愛い動物たちを見に来るといふ人間主体の考え方だけでなく、上記に述べた課題のような動物主体の考え方も訪問者には理解して欲しいと考えた。

この課題を設定した背景として、オンラインツアーで実際のサファリパークの見学と飼育員さんの話を聞いたことで、サファリパークに置ける本来の目的と現状が乖離していることを認知した。また、函館公園内の動物園にてフィールドワークを行い、「種の保存」、「教育・環境教育」、「調査・研究」に関する様々な工夫が施されていることを知ったことなどが挙げられる。

これらの課題を解決する手立てとして、坂井田先生からフィールドワークの方法を、アドバイザーの岡本先生にはスケッチ道場を開催していただいた。また、各制作物ごとに M5 stack の技術の習得や UIflow を用いた Python でのプログラム作成を行った。

(※文責: 福地厚太)

## 2.3 到達目標

到達目標を、前期、富士サファリパークで行う展示、後期、最終目標の四つに分けて述べる。

前期の目標は、過去の展示のブラッシュアップと後期に制作するプロダクトのアイデア出しである。特に9月に行う富士サファリパークの展示を意識した活動を行う。展示の目標は、子どもたちのニーズに合わせた展示を行い、後期のプロダクトに生かすフィードバックを貰うことである。後期の目標は、9月の展示から得た知識や経験を元に、人間と動物を繋ぐ ICT 技術の開発を目指す。作成するプロダクトは人間が楽しむことが目的ではなく、動物の生態の理解を深めることを目的として活動する。最終目標として、得られたフィードバックをもとに、「はじめに」で述べた通り、「種の保存」、「教育・環境教育」、「調査・研究」を ICT で支援することができる成果物を制作する。

(※文責: 齋藤総一郎)

## 第3章 事前調査と技術習得

事前調査とフィードバックを得る活動として、当プロジェクトではさまざまな活動を行った。これらはさまざまな動物や動物園、サファリパークなどについての知識と共に、ICTに関する技術を得て、制作物のアイデアをより具体的にするためにおこなってきた。詳細は以下である。

### 3.1 富士サファリパークオンラインツアー

本プロジェクトは、静岡県にある国内最大級のサファリパークである富士サファリパークと協働して進めていく。その過程の1つとし、2023年5、6月にzoomで現地の飼育員の方々と繋いで富士サファリパークをオンライン上で周るオンラインツアーを実施した。オンラインツアーでは、5月に歩いて動物を見たり触れ合うことができるふれあいゾーンのツアーを行い、6月には車で動物を見て周るサファリゾーンのツアーを行った。ふれあいゾーンのツアーでは、カピバラやワラビー、リスザルと言った可愛い動物たちや、カバやハイエナ、ヒョウなどと言ったサファリならではの感じられる動物が見ることができた。飼育員がミーアキャットに餌を与えられている様子などを、飼育員の目線から見ることができた点はとても興味深かった。その解説では、ミーアキャットの群れにはピラミッドのような階級があり、餌の奪い合いなども行われるという習性を学ぶことができた。サファリゾーンのツアーでは、クマやライオンなどを観察することができた。両日のオンラインツアーを実施後に、飼育員との交流時間を設けられ、質疑応答をする機会があった。そこでは、私たちは前期期間中に肉球に関して興味深く、後期制作物のテーマ候補でもあったためそれに関する質問が多くなされた。例えば、肉球の機能として飼育員が1番興味深い点は何かや、各動物の肉球の触感などを質問をした。また、このオンラインツアーのカメラには前期活動でブラッシュアップを予定していた昨年度以前に制作した「ポケレポ」が使用された。そのため、その使用感に関する質問なども多くなされた。通信環境や重さなど様々な課題が発見され、より改良について具体的に解決策を考える良い機会となった。このオンラインツアーは、富士サファリパークに夏季休業中に訪問する予定であったが、その前に実態を知ることができ、前期活動を充実させることができる良い活動であった。

(※文責: 松岡ひなた)

### 3.2 スケッチ道場

2023年5月にスケッチ道場と称し、本大学の特命教授である岡本誠一教授にフィールドワークにおけるスケッチの基本的な観察点や書き方、面白さを学んだ。内容としては、大きく2つある。1つ目は、2人1組になり互いの顔をスケッチするというものである。しかし、ただ互いの顔を書くのではなく、円や四角、三角と言った単純な図形のみを使用して似顔絵を書くというものであった。単純な図形のみという制約を受けながら描くことで、モデルの情報を正確に捉えると共に、他のメンバーとの捉え方の違いなどを学ぶことができた。2つ目は、実際に外にでて花や草、木など自分が気になったものをスケッチするというものであった。スケッチしたものは、その後プロジェクトのメンバー全員でどのような点に面白さを見出したのか、描く時にどのような工夫をしたの

か、という部分を共有した。この活動から、スケッチをすることでじっくり見なければわからない特徴や面白さがあるということや、人により同じものをスケッチしたとしてもその観点は相違になるということを学ぶことができ、フィールドワークにおけるスケッチの重要性を理解した。この習得した技術は、函館公園や富士サファリパークで行うフィールドワークで活用をした。

(※文責: 松岡ひなた)

### 3.3 フィールドワーク in 函館公園

2023年6月上旬に、本大学の教授である坂井田教授のご指導のもと、函館市内で動物が展示されている函館公園でフィールドワークを行った。スケッチブックやスマートフォンを持参し、気になる点や面白いと感じた点を絵や写真、動画に収めた。この活動は、事前に函館公園の歴史や展示されている動物の種類などを調査し、気になる点をまとめてから行った。そうすることで、時間内に観点をまとめ上げ、前期活動の充実性をはかることができた。あるグループでは、動物ではなく来場者に着目し、フィールドワークを行っていた。そのグループでは、来場者の年齢層や関心度の高いエリア、子供と大人の目線の違いなどに対しフィールドワークを行っていた。例えば、動物の展示の横にその動物の生態や性格などが詳細に書かれたボードが展示されていた。それに対し、漢字が使用されている点や、展示されている高さが高く子供向けのものではない。子供はそれらに興味を示している様子が見られなかった、という意見がなされた。また、函館公園はいわゆる動物園としての動物の展示行っていたため、サファリパークとどのような点に違いがあるのかという点に着目し、フィールドワークを行うグループもあった。このフィールドワークを通じて、五感を使って動物たちに触れ、動物の魅力や人と動物の関わり方を学んだ。さらに、動物の魅せ方や動物観察の方法についても理解を深めることができた。得られた経験や発見は、9月の富士サファリパークでの動物観察にも役立て、さらには後期の製作物やプロジェクトのアイデアに繋げていきたい。

(※文責: 松岡ひなた)

### 3.4 学童保育「楽」& 遠友塾への展示

6月、7月に函館にある学童保育所「楽」の子ども約20名と50代から80代の男女約30名が所属する遠友塾の方々に前期で改良した製作物の展示を行った。大学内のミュージアムでポケレポ、いのちのぬいぐるみ、Sence of Life, ELEG, elEmotionの5つの製作物を展示し、子どもたちに紹介および体験をしてもらった。子どもたちを5つのグループに分け、15分で一つの製作物の紹介を行った。それぞれの製作物で扱いにくい、伝わらないなどの問題点があったが、改良したことで子どもの反応がよく、前年度までの問題点を解決できていた。遠友塾の方々にも同様に展示を行い、前半と後半に分かれて多くの方に体験してもらった。製作物の紹介にあたり、多くの意見や感想を聞くことができ、学童保育での意見とは違う視点での改善点を見つけることができた。子どもや遠友塾の方々と話しながら紹介をすることで親睦を深めるだけでなく、動物に対しての興味や更なる改善点など9月の展示に向けて多くの意見を知ることができた。

(※文責: 桃井悠汰)

### 3.5 富士サファリパークへの中間報告

富士サファリパークの方々に対する中間報告会は、ZOOMを用い、ミュージアムで行った。中間報告会では、前期に行った展示物のブラッシュアップや後期制作物のアイデアの紹介、9月に行う富士サファリパークでの展示会や富士サファリパーク内の動物に関する質疑応答を行った。また、ブラッシュアップの紹介ではポケレポを利用し、富士サファリパークの方々に展示物の動作を見せながら、説明を行った。富士サファリパークの方々からは、各グループのブラッシュアップ、アイデアについて「展示向けにより改良されている」「動物の生態に基づいた機能が搭載されているのが興味深い」などといった意見があがった。また、「片手での操作（ポケレポ）」「ぬいぐるみの大きさを揃える（いのちのぬいぐるみ）」「心拍数の違いを数値化することでわかりやすく（SENSE OF LIFE）」「歩かずに振動を感知（ELEG）」「ぞうの鼻でモノを掴めるように（Elemotion）」といった改良につながる意見もあがった。9月の富士サファリパークでの展示に向けて、中間報告会で得られた意見をもとに改良し、より楽しい体験を提供することを目標としている。

（※文責: 桃井悠汰）

### 3.6 富士サファリパークでの活動

私たちは夏季休業期間を利用し、2023年9月上旬に富士サファリパークへの訪問を行った。目的は、ブラッシュアップした昨年度までの作品の展示とそれに対するフィードバック、そして後期から新たに制作するプロダクトのアイデアや知識の獲得である。期間は5日間ある日程であり、1日目は前期にブラッシュアップを行った制作物の展示準備を行い、2、3日目にその展示を行うことで、来場者や富士サファリパークの飼育員からフィードバックを得た。残りの2日間については、富士サファリパークのフィールドワークを行った。具体的な詳細について説明をする。前期にブラッシュアップした制作物の展示会のターゲットは主に3歳から10歳程度の幼い子供たちであったが、それだけでなく80年代までの高齢者まで、幅広い年齢層の来場者が見られた。また、外国人観光客の来場者も見られ、日本の大学生の取り組みに興味を抱いてもらうことができ、良い体験となった。来場者の数は、合計で500人を超えた。この数字は、去年の展示を上回る良い結果であると言える。予想していた数を大きく上回る来場者の数を実現することができたため、多くのフィードバックを得ることができた。そのため、前期にブラッシュアップを行った制作物のさらなる改良点や良い点が明らかに成った。実際に富士サファリパークの飼育員の方々にも制作物を体験していただいた。動物の体毛の手触りやあまり見られない動きの意見など、飼育員ならではの目線のフィードバックを得ることができた。そのため、更にプロダクトが今後良いものになると確信できた。フィールドワークでは2023年6月上旬に行った函館公園にある動物展示でのフィールドワークと比べ、サファリパークであったためより多くの動物たちを観察、体験することができた。また、国内最大級のサファリパークであるため、豊富な種類の動物と触れ合い、知見を得ることができた。例えば、ライオンやクマ、ゾウなどがおり、車で回りながら動物をみるサファリゾーンのツアーでは、飼育員さんの説明を聞きながら動物に実際に餌をあげたりして、ツアーを回ることができる。ライオンのコーナーでは、オスがメスに囲まれるようにいる様子を観察することができ、飼育員からは「オスは高いところにいることで、縄張りを示している」という解説がされた。また、ゾウのコーナーでは日本の飼育員ではなく外国のゾウの飼育に詳しい現地人たちが飼育員と

して、実際にサファリゾーンの中に入り、飼育を行うことでゾウのストレスをなるべく減らしているということを知った。そして、ゾウがプールで実際に水浴びをするところも見ることができ、あまり知られていないゾウの生態についても知ることができた。他にも、チーターのコーナーではあえて草食動物たちが見えるように配置することで、本能を刺激して繁殖の助けにするなど動物の展示場所にもこだわっていることを知ることができた。フィールドワークでは動物たちを観察するのはもちろんだが、それを形成する周りの環境を意識するという坂井田先生の教えのもとフィールドワークを行なった。その結果、富士サファリパークの来場者がどのような点に目を向けているのかという点や、動物に関する知識を富士サファリパークの飼育員がどのように来場者へ共有をしているのかについて着目をした。函館公園では展示されている檻に動物の生態に関する説明などが文章や図で書かれたものが展示されていた。しかし、私たちはこれに対して高さが高く子供は見ずらいという点や漢字が使われていて子供は読めないということを発見した。一方で、富士サファリパークではゲリラ的に飼育員が動物に触れながら生態を説明したり、個体ごとの性格なども解説されており、来場者も興味を惹かれていた。また、富士サファリパークの飼育員さんに動物や実現した技術に関する質疑応答の時間を設けることで、専門的な知識や一般では手に入れることのできない知識を得ることができた。飼育員ならではの視点やフィールドワークを行った時に気がついた点について深掘りをして行った。例えば、複数いる動物たちの個体はどのように識別しているのかなどである。このような活動を通して、後期に開発を行うプロダクトに活かすことができる様々な動物の知識やアイデアが獲得できた意義のある訪問であったと感じる。

(※文責: 齋藤総一郎)

## 3.7 電子工作道場

### 3.7.1 概要

本プロジェクトでは、塚田先生と竹川先生のご指導のもと電子工作道場が実施された。この道場は、昨年度までのプロジェクト成果物において利用された M5stickC の ICT 技術を理解し、習得する一環として行われた。M5stickC は ESP32 マイクロコントローラを搭載し、そのコンパクトで手軽な開発プラットフォームとして注目を集めている。特に、スティック状のデバイスでありながら、組み込まれたディスプレイ、ボタン、加速度センサなどが搭載され、高い携帯性がある。さらに、WiFi や Bluetooth などの通信機能も備え、IoT プロジェクトやウェアラブルデバイスの迅速な開発が可能であり、「elEmotion」や「ELEG」にもその機能が利用された。電子工作道場では、プロジェクトメンバー全員に M5stickC や関連するコード類が提供された。これにより、Arduino にライブラリを追加するなどの手順を踏むことで M5stickC を活用できる環境が整った。提供されたサンプルコードを実行することで、M5stickC を用いた様々な実践的な結果を体験することができた。M5stickC を利用する上での基本的な使い方から、応用方法まで、幅広い知識を得ることができた。電子工作道場において、M5stickC やコードの提供により、プロジェクトメンバー全員が手元にこれらのツールを取り入れることができた。Arduino に必要なライブラリの導入や、サンプルコードの実行を通じて、M5stickC の基本的な使用方法を習得することができ、これにより M5stickC を活用した様々な実践例に触れ、実際のプロジェクトでの活用に向けたスキルを身につけられた。また、先生方から提供された M5stickC を利用した実例を通じて、具体的なプロジェクトの応用事例の理解を深めた。これらの経験は、本プロジェクトの進行において、ICT 技術の導入と応用において有益であった。



(※文責: 齋藤総一郎)

### 3.7.2 加速度センサ

加速度を取得することにより、動物の速さや行動を分析することが可能である。M5StickC には 3 軸の加速度センサがついており、M5StickC の加速度を取得することができる。液晶ディスプレイを上に向け、左右方向を x 軸、上下方向が y 軸、液晶ディスプレイに対して垂直方向が z 軸になっている。void getAccelData(float ax, float ay, float az); という関数を用いて、ax に x 軸、ay に y 軸、az に z 軸の加速度が記録される。この関数を繰り返し処理を行う loop 関数の中で使用することにより、リアルタイム同様に加速度を取得することができる。また、M5.Imu.Init(); という関数を使用することで、初期化が可能である。

(※文責: 齋藤総一郎)

### 3.7.3 Bluetooth

M5StickC では、シリアル通信を行うための機能は初めから搭載はされていない。シリアル通信を行うためには、SPP をデバイス自体に実装する必要がある。SPP とは、Bluetooth シリアルと呼ばれる仮想のシリアルモニタを使用して、データをやり取りするための手順書の役割を担っている。BluetoothSerial.h というライブラリをインポートすることで、Bluetooth でシリアル通信を行うことを可能にできる。IT 用語辞典 e-Words によると、「SPP(Serial Port Profile) とは、Bluetooth で機器の種類ごとに定義された通信規約である Bluetooth プロファイルの 1 つで、Bluetooth をシリアルポートのように使って低水準のデータ送受信をするための手順を定義したもの」である。BluetoothSerial.h をインクルードしたら、BluetoothSerial を定義し、Bluetooth 通信を始める。始めたのちに、BluetoothSerial のデバイスを PC とペアリングさせ、Bluetooth("String"); で渡した String が Bluetooth 通信を行っているデバイス名として、PC 上に表示される。BluetoothSerial のデバイスと PC を接続させたのちに、BluetoothSerial の仮想シリアルが何番のポートに割り振られているかを確認する。Arduino IDE のシリアルモニタや Tera Term で確認したポートを指定することで、どのようなデータの送受信が行われているのかを確認することが可能である。

(※文責: 齋藤総一郎)

## 第 4 章 前期制作物に関して

前期には、本プロジェクトにおける昨年度以前の 5 つの制作物の改良を行った。5 つの制作物の改良を行った。

### 4.1 5 つの前期制作物の概要

前期には、本プロジェクトの昨年度以前の 5 つの制作物であるポケレポ、いのちのぬいぐるみ、SENSE OF LIFE, ELEG, elEmotion の改良を行った。各制作物について説明する。

ポケレポは、オンラインサファリツアーを行うためのデバイスである。2020 年ごろから新型コロナウイルスが流行し、外出する機会が減った。特に年齢層が低い子供には感染のリスクが高く、動物園やサファリパークへの来場者は大幅に減少した。そこで着目されたのはオンラインでのサファリツアーである。オンラインツアーでは、現地の飼育員が動物の様子や生態を説明しながら同時視聴で動画を視聴者に共有している。また、餌をあげる様子や普段は見ることのできない飼育員の目線での動物の世話の様子をカメラに映している。このカメラを小型化し、より撮影しやすいデバイスがポケレポである。タブレットにニンテンドー Switch のコントローラーであるジョイコンでカメラの操作を直感的に行えるようにし、軽量化で簡単にカメラ操作を簡単にすることで、オンラインツアーでより鮮明に飼育員の目線からの映像を撮ることを可能にしている。

いのちのぬいぐるみは、動物のぬくもりに触れることで得られる生命の愛おしさ、癒やしを擬似体験できる装置である。動物の呼吸に合わせてぬいぐるみが膨らみ、ぬいぐるみに触れることで動物に触っているような体験ができる装置である。実際に展示する際には、呼吸を再現した動物の映像を同時に展示することでより体験者の理解を得ることができた。また、この装置は将来的には動物の赤ちゃんがお母さんがいない時でも安心できるように、利用することを目指している。

Sense of Life は、心臓の鼓動を再現したデバイスである。動物の鼓動は、個体によってさまざまである。1 分間で鼓動する回数は、象は 30 回、子供の像は 40 回、人は 60 回、うさぎは 180 回、ねずみは 600 回である。この鼓動を人肌ゲルで作成した本物の心臓の大きさを催したボールに触れることで、その鼓動を感じることができる。触れるだけで体験することができることは、気軽に体験できるという点でとても良い。

ELEG は、ゾウの足を体験できるデバイスである。ゾウは振動を足で感じるにより、遠くの音も聞くことができるように成っている。その足には、踵にゼリー状のものが含まれヒールのような状態になっており、特殊な形状をしている。その形状と振動を感じることを再現したデバイスが ELEG である。踵にあるゼリー状の部分には、人肌ゲルというシリコンの素材を使用して再現した。また、m5stack を使用して足で振動を感じることを再現した。

elEmotion は、ゾウの鼻の動きを再現したデバイスである。ヘルメットを被ることで人間がゾウの目線でゾウの鼻を体験することができるデバイスである。3D プリンターで制作した骨組みと m5stack でスイッチとサーボモータを動かすし、紐を巻き取ることでゾウの鼻の上下左右に動く様子を再現した。

前期制作物としては昨年度以前までの 5 つの制作物の改良を行った。

(※文責: 松岡ひなた)

## 4.2 前期制作物の課題と改良に関する概要

昨年までの制作物であるポケレポ、いのちのぬいぐるみ、SENSE OF LIFE、ELEG、elEmotion について各グループに分かれ改良を行った。各制作物の改良点や課題、その解決方法の概要について説明する。

ポケレポは、重量とサイズの観点から女性や子どもでは手に持ってでの撮影や持ち運びが困難なことの解決として、力のない人でも自由に扱えるようにするためにカメラの操作をジョイコンで行うことで小型化や必要最低限機能に絞ることで軽量化を行った。

いのちのぬいぐるみは、ぬいぐるみのサイズや素材、タブレット端末での操作の観点から動物の呼吸が感じづらいことの解決としてサイズを動物に合わせることや操作性の向上を行った。

SENSE OF LIFE は、鼓動を感じる部分の高さや正弦波での鼓動表現から子どもの利用が困難なことや単純すぎる鼓動を解決するために小型化と鼓動のリアルさの向上を行った。

ELEG は、サイズが大きく足の小さい人での利用を可能にするため小型化を行った。また、ゾウの足の素材に近づけるため、人肌ゲルやフェルトなどを使用した。

elEmotion は、紐での操作を行ってゾウの鼻を動かしていたため、期待されていた ICT での支援ができていなかった。そのため、サーボモータを使用し、ボタンでの操作を可能にした。

これらを行うことにより、9月の富士サファリパークで行う展示に最適な制作物の開発・改善を行うことが出来た。富士サファリパークに対する中間報告や、実際の展示では飼育員にどの制作物も格段に良くなっているという称賛を得ることができた。

(※文責: 松岡ひなた)

## 4.3 各ブラッシュアップ課題における評価を受けて

各ブラッシュアップ課題においては、富士サファリパークへの中間報告、学童保育「楽」と遠友会への展示、プロジェクト学習中間報告会、富士サファリパークでの展示を行う中でフィードバックを得ている。各ブラッシュアップ課題のフィードバック、評価については下記である。

### 4.3.1 ポケレポ

本体の画面を小さくし、背面の画面や Stream Deck、手持ちカメラなどのポケレポに付随されていたものを取り除いて、カメラと pc をポケレポ単体で完結させることで軽量化に成功した。この軽量化により、子どもから高齢者までだれでも持ち運び及び撮影が可能になった。また、ジョイコンを用いることで直感的な操作が可能になり、子ども達にも扱いやすくなったため学童保育展示ではとても好印象を得られた。富士サファリパークの展示では、子供達に馴染みのあるジョイコンを採用していることで子供たちからの関心が高かった点が評価された。ただし、富士山の麓という山の中に位置する富士サファリパークで、オンライン会議ツールである zoom の利用を前提とした制作物では、ネットワークの環境や設備では不安定になり、使用する環境下を考えられていなかった点が問題点として挙げられた。性能を下げた軽量化を行ったので、今後の改良点としては、さらに操作性能を上げての軽量化を考えている。

(※文責: 長谷川晃汰)

### 4.3.2 いのちのぬいぐるみ

まず、動物に応じてぬいぐるみのサイズを変えることで、呼吸の感覚を強くした。次に、ぬいぐるみの種類を増やすことで、毛皮を取り替える手間を省いた。また、タブレット端末ではなくMDFで作ったボタンで操作することで、ボタンの大きさや動物のイラストで直感的に動物を選べるようにした。さら、動物ごとにボタンを作り、タブレット端末を使わずに大きなモニターに動物を常時表示することで、リアルな動物の姿を見せるようにした。富士サファリパークの展示では、実際に管が動いている様子が見れる点は、普段ICTにあまり触れない来場者にとって、新鮮で興味を引くものであるという評価をいただいた。また、前回からの改良点に関して、実際の映像を制作物に触れながら見られる展示を行うことで、より来場者が理解しやすい展示になっている点が現地の飼育員から高い評価を得た。今後は、もっと多くの動物を用意して体験の幅を広げたり、今回は二つしかなかったボタンを動物ごとに分けてスペースを有効活用しながら体験してもらったりすることも考えている。

(※文責: 桃井悠汰)

### 4.3.3 SENSE OF LIFE

以前まではデザインにこだわりすぎて、現地でどのように来場者が体験するのかまで想像できていなかった。そのため、高い位置に触れる部分があり、年齢層の低い子供であると親が抱き上げて体験させなければいけない状況であった。そのため、背の小さい子どもでもデバイスに触れるよう小型化したことや、ひらがなと動物のイラストを用いて、子どもが体験することを前提とした設計を行った。この小型化により、学童保育の児童を対象とした展示会ではどの子どもでも楽しむことができるデバイスの改良に成功した。また動物の心拍音を正弦波を用いて再現したものを、実際の人間の心拍音を録音したものをそれぞれの動物の心拍音の速度に調整することにより、より再現性を高めることに成功した。富士サファリパークの展示では、5つの制作物の中で最も来場者の関心を引くことができた。常に動かしておくことで触れるだけで簡単に体験することができる点は、この結果に最も起因していると考えられる。また、展示期間中には現地の飼育員も体験に訪れ、「うさぎの鼓動がかなり本物と近い。毛や体温があれば、本物を触れているようだ。」という意見をいただくことができた。また、「実はどの個体もある程度は生涯で心臓が鼓動する回数は同じで、短命である小さい個体ほど鼓動が速く成っている」という知識を現地の飼育員から得ることができ、その場で展示の説明では組み込むことができ、展示で得た知識も大きく貢献された。

(※文責: 中尾実柚)

### 4.3.4 ELEG

ELEGは靴本体を以前のものから小さくすることで、子どもでも履きやすいように設計しなおすことを重きにおいた。以前までのものは、大人用サイズになっており、子供が体験しようとする脱げてしまうことがあった。その改善を試みる。また、センサとアクチュエーターを制御するマイコンを靴の横部分からかかと部分に移すことでより歩きやすくした。大人でも歩くことができず、重要な体験を促すことができなかった。しかし大きさだけではなく、以前のものと重さは変わらず

学童保育の児童に対しての展示では履くには重すぎるという評価を受けた。また、学童保育の児童に両足履いて歩いてもらった際には、かかと部分が取れてしまったので耐久性に問題がある。富士サファリパークへの中間報告会では、衛生面での指摘がされた。衛生面に関しては、足が触れる部分だけを取り外して消毒することが可能なので、問題は無いと考えている。しかし、フェルトの素材を使用しているため、消毒が困難な部分もあり、その部分はまだ改善の余地がありそうだ。今後は、履きやすさ向上のために軽量化と、大人が履いても壊れないようにするために耐久性の強化を行なっていく。

(※文責: 松岡ひなた)

#### 4.3.5 elEmotion

elEmotion のブラッシュアップでは、ICT 技術を用いることによりボタン操作でゾウの鼻を動かせるようにした。以前までは、鼻の動きを手元の紐を引っ張ることで実現していた。しかし、実際に体験すると紐が頭に装着するベルトを締め付けてしまい、体験者が痛みを感じる制作物に成ってしまっていた。この点に着目し、主に改良を行った。富士サファリパークへの中間報告会では、「昨年よりもより公立はこだて未来大学らしさを感じる。期待していた ICT 技術が使われ、より良く改善されている」というフィードバックを得た。また、学童保育「楽」や遠友会への展示では、紐で操作するよりもより興味を示してもらうことができたと感じる。今後の課題点としては、富士サファリパークの飼育員から「ものを掴んだりできれば、よりゾウに近づける」という意見をいただいたことから、この機能を ICT 技術を利用して実装していきたい。岡本先生からは水を汲み上げる機能があると面白いかもしれないという意見を頂いた。富士サファリパークでの展示活動では、最も機械らしい見目をしている点から子供たちの関心を得ることができた。また、子供が体験している様子を写真や動画に撮る親多く、写真映えするという点でも高い年齢層の関心も得ることができた点はとても評価された。今後の改良としては、現地の飼育員からいただいたゾウ本来の鼻の動きを再現できるように、電磁石やサーボモータの動きの大きさの調整等を考えている。

(※文責: 松岡ひなた)

### 4.4 前期制作物に関する評価

中間発表での発表技術に関するフィードバックでは、スライドの変化が少なく一部説明が分かりにくい箇所が存在していたが、内容自体はわかりやすかったとの評価された。また、目的の説明やスライドの整列、計画に関する詳細な記載が欲しいという意見をいただいた。しかし、発表者の練習の成果が伝わる成果物の体験コーナーや展示物が興味深く、成果物を体験できる点がとても好評であった。

プロジェクト全体のフィードバックでは、目的が明確であり具体的な目標設定を評価された。特に、動物中心の開発やコンセプトである「edutainment」の取り組みが全体的に面白いと感じられた。しかし、一部の評価では「なにを目的としているのかわかりにくい」という真逆の意見も得られた。このようなことが起こらないように誰が聞いても同じように認識されるように改善する必要がある。また、成果物の改善点や現在の状況が明確に示され、完成物や後期のフィールドワークに対する期待が高まっている。またプロジェクトのアイデアや制作物の面白さが好評であり、今後の展開に関心が寄せられた。

## Safari of the Future

富士サファリパークへの中間報告では、各グループで行った改良点と新たな制作物のアイデアについて報告を行った。富士サファリパークからのフィードバックでは、「ポケレポにはオンラインツアーでの実用性が欲しい」や「elEmotion は軽いものでいいから鼻で掴めるようにしたい」など、具体的な改良点を提案していただいた。また、新たな制作物のアイデアについても「既存のELEGなどと組み合わせてみてはどうか」といったフィードバックを得られた。

(※文責: 坂本海斗)

## 第 5 章 最終制作物について

### 5.1 概要

私たちは、「SENSE OF HEART」と題されるプロジェクト制作物において、動物の心臓の動態を再現するための制作物を開発した。この制作物の主な目的は、体験者に動物の心臓の「心拍出量」と「脈拍」を理解してもらうことである。動物園やサファリパークには、4つの役割があるとされている。そのうちの1つである「教育・環境教育」に私たちは着目した。動物園やサファリパークは、本や映像からでは得ることの出来ない匂いや鳴き声を体験できるという特徴を持っている。しかし、私たちは動物園やサファリパークを訪れる人々に動物の生態についても知ってもらいたいと考えている。そこで、SENSE OF HEART は心臓という見えない部分の面白さを可視化し、体験できることにより、動物の生態を知ってもらいたいという思いから制作を行った。

「心拍出量」は、心臓が1回収縮する際に体内へ送られる血液量を指し、「脈拍」は心臓の筋肉が一定のリズムで収縮することにより、動脈を通じて全身に血液が循環する現象を指す。このプロジェクトでは、動物の内部における見えないプロセスを視覚的に表現することで、体験者に動物の生命活動の魅力を具体的に感じてもらうことを意図している。

(※文責: 坂本海斗)

### 5.2 背景

2023年9月、富士サファリパークで行った前期における昨年までの制作物をブラッシュアップし、展示を行った。5つの制作物を展示した中で、動物の心臓の鼓動や大きさを触って体現する「SENSE OF LIFE」が来場者から非常に高い人気を博した。簡単に触れられることや動物に実際に触れた時に触り心地や喜んでいる姿だけでなく、このような点にも来場者に着目してもらうことができる良い機会となった。この経験から、私たちは「動物の心臓」に対して深い興味を抱き、その探求を深めることに焦点を当てた。

調査を行った結果、動物の心臓には興味深い事実が数多く存在する。

たとえば、公益財団法人の日本心臓財団のHPに掲載された情報によれば、慶應義塾大学名誉教授であり山中湖クリニック理事長でもある川田志明氏は、哺乳動物の血圧において個々の動物が持つ特異な血圧値を比較している [7]。ウサギ 110、イヌ 112、ネズミ 113、ヒト 120、ウシ 160、ブタ 169、ネコ 171、ゾウ 240mmHg に対し、キリンが 260mmHg と突出していると明らかにしている。その原因はキリンの首の長さに関連している。血圧は心臓が1回の拍動で全身に送り出す血液量や血管の弾力性、血管抵抗などによって決定されるため、この特異な現象が生じる理由が明らかになった。

動物によっては、人間とは心臓の構造が大きく異なるものも存在する。人間の心臓は右心房、右心室、左心房、左心室の4つの部屋から成り立っていますが、動物の心臓はその構造が異なる。例えば、魚類は1心房1心室型、両生類や爬虫類は2心房1心室型、そして鳥類や哺乳類は2心房2心室型となった。人類の進化の過程などが動物の心臓の構造からも理解することができると小学校で学ぶこともある。

最も興味深い例の一つとして挙げられるのが、豚の心臓を人間に移植する事例である。2022年1月の日本経済新聞の記事によれば、米メリーランド大学は10日、遺伝子操作された豚の心臓を米国人男性に移植する手術に成功した [8]。この手術においては、人体が拒絶反応を起こさないように遺伝子が操作された豚の心臓が使用された。豚の心臓は血圧や構造が人間に近いとされ、その成長が早い特性から、年代に合わせた心臓移植が可能とされている。また、宗教的な観点からも、豚が人間への心臓移植に適していると選ばれたとのこと。現時点ではこの事例は2つあるが、どちらも心臓移植を行った患者を亡くしている。そのため、現在でも移植に関する心臓の機能や遺伝子、血液に関する研究が世界中で行われている。これに触発され、他の動物においても同様のアプローチが可能ではないかと私たちは考える。例えば、犬の心臓を猫に移植することが可能かどうかについても検討した。このような実例を通じて、人間だけでなく他の動物の血圧や血液量、心臓の構造に関する研究が進むことで、未知の可能性が広がるのではないかと期待が生まれまた。

また、最も心臓が大きい動物はシロナガスクジラであることが判明した。その大きさは、平均120cm × 120cm × 150cmの大きさもあり、子供が2, 3人ほど入る大きさもある。また、重さは約180kgある。この大きさは人間の心臓の重さが0.20.3kgであるため、約600倍もある。この大きさを動かす筋肉の力ほどの程度のものなのか、圧力はどの程度のものなのか。想像を遥かに超えるものであることは確かで、とても興味深い点である。

こうした知見をもとに、動物の心臓にはまだ解明されていない奥深い謎が多く潜んでいると認識した。しかし、これらの知識を持っていても、一般の動物園やサファリパークの来場者が実際にそれらを見たり、感じたりすることは難しい現状がある。この点は、動物園やサファリパークが担う「教育・環境教育」の一環として非常に重要な役割を果たしているにもかかわらず、まだまだ活用の余地があると感じた。例えば、これらの施設では本や映像では得られない匂いや鳴き声を実際に体験できるとされている。そこで私たちは、IT技術を駆使して新たなサファリパークの在り方を模索する中で、動物の魅力をさらに深く理解し、動物の体内などの見えない部分まで体験できる展示物の開発が必要であると考え、それが「SENSE OF HEART」の開発に繋がった。この展示物を通じて、来場者が動物の心臓の不可視な魅力に触れ、学び、感動できる場を提供することが私たちの目標である。

(※文責: 松岡ひなた)

### 5.3 先行研究の調査

動物の心臓を体験できる制作物を開発する流れで、心臓の素材として私たちは光造形のゴムライクレジンに着目をした。この素材は、シリコンのようなゴムの素材で3Dプリンターでさまざまな形での印刷が可能である。動物の心臓に関する研究は医学的なものが多く、ICTに関する研究はまだほとんど行われていない状況であった。そのため、私たちは先行研究の調査では、人間の心臓の動きを3Dプリンターで再現した事例を2つ調査した。

1つ目は、チューリッヒ工科大学のNicholas Cohrs氏率いる研究チームの事例である [9]。彼らは、本物のように動く柔らかい人工心臓を開発した。シリコンと3Dプリント技術を用いたアプローチは、心臓病の治療方法に革命を起こすかもしれないと言われている。Nicholas Cohrs氏は「我々のゴールは患者自身の心臓とほぼ同じ大きさの人工心臓を開発し、できるだけヒトの心臓の形状と機能に近づけることである」と述べた。サイエンスジャーナル「Artificial Organs」に記載された内容によると、現在この新しいシリコン製の人工心臓の機能はまだ45分ほどしか保つこと



ができないが、いくつかの重要なテストをクリアしているとのこと。3D プリンターで製造されたシリコン製の人工心臓の重さは 390 グラム（ヒトの心臓の平均の重さは 310 グラム）で、容積は 679 立法センチメートル（ヒトの心臓に匹敵する大きさ）である。本物の心臓のように、左心室と右心室があり、中隔によって分け隔てられていない。その代わりに追加のチャンバーが使われており、これは空気圧によって膨張・収縮する。このことによりヒトの心臓の筋肉の収縮を置き換えるポンプの役割を果たす。しかしながら、この人工心臓は、心拍 3000 回分までしか持続しないため、平均的なヒトの心運動の 45～60 分までしか機能しない。その後は材質は歪みに絶えられず、壊れ始めてしまうと発表している。Nicholas Cohrs 氏は、「これは単なる実現可能性を示すテストに過ぎません。（今回の実験において）我々のゴールは、インプラントのための心臓ではなく、人工心臓の開発の新しい方向性について考えることでした」と述べている。今後研究チームは材質の抗張力を高めて全体的なパフォーマンスの向上に努めていくと明らかにしている。

2つ目は、2016 年 12 月 7 日に国立循環器病研究センター 小児循環器・周産期部門長で小児循環器部長の白石公氏とクロスエフェクト、SCREEN ホールディングス、共栄社化学が共同で開発した心臓レプリカについて記者会見を行った [10]。この心臓のレプリカは、インクジェット技術を応用した 3D プリンターによる臓器造形システムで作られる。国立循環器病研究センターとクロスエフェクトはかねて、患者の CT 画像データと 3D プリンターを使い、小児の心臓形状を再現した心臓レプリカの開発と制作を進めてきた。これまでの、まず患者の CT 画像を撮影し、抽出した心臓のデータから光造形の 3D プリンターを使い、樹脂で心臓の硬質モデルを作る方法を用いていた。これを基に形成した鋳型に真空下で硬度のウレタン樹脂を流し込み、臓器モデルを作成する。高解像度のデータ処理により、心臓の内部の血管構造や外側の筋肉を再現した。しかしこの手法では、臓器一つひとつに対して鋳型を作成するの必要があり、最短で 4～5 日の制作期間を必要とし、量産も困難であることがわかってきた。市川は、「小児は手術のタイミングが重要。今日明日、今週中に手術が必要な患者に、5 日後に完成するモデルは使えない」と述べている。個別の鋳型が必要なことでコストもかかる。「症例によっても異なるが、臓器 1 つ当たりおよそ数十万円のコストがかかっていた」とクロスエフェクト代表取締役の竹田正俊氏は話す。そこで今回の技術では、インクジェット技術を用いて臓器モデルを直接作ることで、鋳型を不要にしたと述べている。個別の鋳型を作る必要がないため、心臓レプリカ制作の時間短縮と低価格化が期待できるとされている。具体的には、SCREEN ホールディングス 常務取締役 最高技術責任者（CTO）の灘原壮一氏は、データ処理と造形にそれぞれ 1 日、最短 2 日間で制作することが可能だという。コストは「従来の半分」に抑えられると言っている。この技術は、患者の CT 画像から抽出した心臓データを基に、特殊な樹脂であるモデル剤（臓器モデル部分）とサポート剤（臓器以外の部分を覆う樹脂）をインクジェットで打つことにより臓器を造形する。その後サポート剤部分を除去することで臓器モデルを得ることができる仕組みである。共栄社化学奈良研究所取締役研究担当の福岡重範氏は心臓部分の素材については、モデル剤に使用する樹脂は、インクジェット技術を利用するため、「水のようにジャバジャバした樹脂にした」と述べている。

この 2 つの事例をもとに 3 D プリンターで光造形のゴムライクレジンを利用し、その素材の厚さや耐久性に十分に注意しながら、3 D プリンターで制作にあたった。

（※文責: 松岡ひなた）

## 5.4 解決方法1：拍出量の再現

今回作成した「SENCE OF HERAT」は哺乳類の生物の心臓を模した物を用いて生物が一度に心臓から送り出される血液量がどれだけの量かが実際に手を使って心臓を押すことで体験することができる。心臓部分は柔らかい素材でかつ押すときに力をかけて押さなければならないような素材にすることでただ心臓の形をしたものを押すだけでなく、力加減で拍出される液体量の調整を可能にした。私たちは人間を含めた動物の心臓の形や大きさや鼓動は知る機会があるだろう。しかし、心臓がどのくらいの力で伸縮をしてポンプの働きをしているのか、そして心臓から全身へどのくらいの量の血液を送っているのかを知っている人は少ないと考え、心臓の動きについて知ってもらう機会を持ってもらえるようなデバイスづくりを目指した。このデバイスを通して心臓について、動物に対しての興味と身体を持つ力への理解の深まりを促進することを目的としている。サファリプロジェクトでは以前に「SENCE OF LIFE」という動物の鼓動を体験できるデバイスを開発していたのでその発展としてより心臓の働きについて知ることのできるデバイスとして「SENCE OF HERAT」という名を付けた。液晶画面に表示される動物を指でタッチするとその動物に対応した一回分の拍出量と同じ量の水がアクリル管に溜まる。そして心臓に溜めた水をアクリル管に送ることによってどれだけの力で動物が体中に血液を送り出しているかを手や、目を使って体験することができる。動物は「人間」、「キリン」、「犬」、「ウサギ」の拍出量の違いを体験できることを想定して心臓の開発とどのように拍出量を体験できる構造の開発を同時進行で行いデバイスを作成した。

### 5.4.1 心臓部の構造について

動物の心臓を表すために3Dプリンターを使用して心臓の形を造形した。素材として使用したのは光造形のゴムライクレジンである。この素材は水をためる際の水圧にも耐えることのでき、なおかつ手で押すことのできる素材だ。ゴムボールや樹脂素材である人肌ゲルなどでも試行したが、どちらも耐久性に関しては不十分であった。押し心地は片手だとかなり力を入れなければ中の水をすべて出すことのできないくらいの硬さをされていて手で拍出量を調節することが出来、心臓の形に加工することもできるとも優れており、このデバイスに適した素材だと判断した。水中ポンプとホースによる給水を想定していたため、ホースのジョイントにはめ込む形で心臓部を作成した。心臓には給水と拍出の二つの入り口をつくることを目標としていたが、心臓を押しやすい形にすることを優先してジョイントには二股のホースジョイントを使用することで給水と拍出を一つのジョイントで行うことにした。これにより上からぶら下げたときに体験部分が球体となっていて押しやすさと展示の際に心臓がより目立つ構造にすることとした。

心臓は印刷の際に造形ミスで心臓の形が作れないことやジョイントとの接続部分に負荷がかかってしまい敗れたため何度か試行錯誤して形を決めた。具体的には、ジョイントとの接続部分である突起と心臓の押し出す部分であるボールの接続部分が不安定で亀裂が入りやすかった部分の造形を滑らかにするなど工夫をした。また、印刷の過程で機械の都合上、穴が空いてしまうことが何度かあり、印刷の向きについてなども試行錯誤した。3DモデルはFusion360を使用して作成した。今回は人間の心臓ですべての心臓を再現するというコンセプトでデバイスを作成したが、他の動物と比較するための心臓を他の動物の心臓の大きさにすることでさらに体験できる幅が広がると考えている。

残る課題としては、給水口と拍出口を同じ場所にしてしまったため、構造的に心臓内部が真空となってしまう給水が出来なくなってしまった。現段階では心臓部が真空にならないように水を入れ

ることで対応が出来ているが、手動での調節が必要なため心臓の形を変更して給水口と拍出口を別に作ることで解決できると考えている。また、完成品の心臓は水に耐久性があるが、何度も満杯に入った心臓にさらに圧力がかかってしまい力に耐えられなくて破けてしまった。これは心臓の形を工夫して圧力がかかりやすいところをつくりその部分の壁を厚くすることでより耐久性を向上させることが出来ると考えられる。今後も改良が必要な点である。

(※文責: 長谷川晃汰)

#### 5.4.2 使用した技術について

「SENCE OF HEART」を動作させるために様々なハードウェア、ソフトウェアを用いて作成した。これらの動作において開発言語を Python, JavaScript, 開発環境を Arduino IDE, Visual Studio Code を主にプログラムの作成を行った。これらのプログラムを制御する為に使用したマイコンは ESP32, M5Stack Basic, Arduino UNO の 3 つである。試作品には ESP32 を使って開発を行い、完成品で実装する際には安全性を鑑みて M5Stack, Arduino UNO の 2 つのマイコンでの実装を行った。次に体験する動物を選択する方法として、web サイトを使ったボタンを作成し、web サイトを作成するにあたっては HTML/CSS を用いた。「SENCE OF HEART」本体には電磁弁と電動弁を使って水を流すタイミングを信号により開閉することができるようにした。次に電磁弁に信号を送る方法として M5 Stack を使った Bluetooth での接続を行い web サイトからの信号を無線通信で受信することで電磁弁及び電動弁を制御するというような仕様にした。他に水圧ポンプも使用したが、今回使用した水圧ポンプには電気信号による ON, OFF 制御ができるものではなかったため、常に水をくみ上げるような仕様となっている。心臓に水を送る手段としてはタクトスイッチを押している間水を送り、水をためることができる仕様にし、貯める量を自分自身で調節できる。

(※文責: 長谷川晃汰)

#### 5.4.3 Web サイトについて

今回作成した「SENCE OF HEART」では 1 つの動物ではなく、様々な種類の動物の血液の拍出量を体験してもらうため「人間」、「犬」、「キリン」、「ブタ」の 4 種類の動物を選択することができるボタンを用意する必要があった。MDF を使ってボタンを作成する手段もあったが、作成するにあたって、MDF や動物ごとにボタンやマイコンを用意する必要があるため、コストがかかってしまうという問題があった。そこで、web サイトを用いて一つの画面にボタンを用意することにより、簡単にレイアウトを変えることができる他、実際のボタンでは破損や接触不良などのハード面でのデメリットを補うことができるため、web サイトを使ったボタンを採用した。実際の画面では制御するためのマイコンと無線接続をするボタンがあり、接続を行った後に動物を選択する画面が表示される。画面には文字をなるべく少なくし、それぞれの動物のイラストが描かれたボタンを表示することで、直感的にどの動物なのかを判断することができる。今回は PC を使って表示させていたことでマウスやタッチパッドを使って動物を選択していたが、本来であれば、タブレットを用いて指で簡単に動物のボタンを押すことができるような仕様となっている。しかし、画面のタッチを行うのは子供や高齢者には難しい場合があったため、画面を押しやすくする工夫をしての実装が必要である。

(※文責: 長谷川晃汰)

#### 5.4.4 Javascript

Javascript とは Web ページにおいて複雑な機能を実行することができるプログラミング言語であり、HTML や CSS などの様々なプログラミング言語と組み合わせて使うことで、ポップアップウィンドウの表示処理や入力フォームの確認画面などの様々な動作を可能にすることができる。この言語はエディタとブラウザの環境のみでも動作することが可能であり、初心者でも扱える言語である。今回の SENCE OF HEART では動物の選択の際にはシリアル通信でのデータの送信ではなく、Bluetooth を使った無線通信での入力にしたため、M5Stack Basic に BLE 接続するためのデバイス接続入力ボタン、そして各動物のボタンを入力した際に文字コードを送信するプログラムに使われた。

(※文責: 桃井悠汰)

#### 5.4.5 Arduino

Arduino 言語はマイコンである Arduino や M5Stack を使って制御を行うプログラミング言語であり、C/C++ 言語をベースにした言語であることで、初心者でも記述するのが容易であり、C 言語の機能を使用することも可能である。今回接続に使用した M5Stack Basic では電磁弁を制御、無線通信で制御を行うため、BLE を使用という点で Arduino 言語が採用された。その他に、電動弁を制御するにあたり、Arduino UNO を使って制御を行ったため、こちらも Arduino 言語を採用した。

(※文責: 桃井悠汰)

#### 5.4.6 Arduino UNO

Arduino UNO とは AVR マイコンや入出力ポートが搭載された構造がシンプルなワンボードマイコンであるため、ブレッドボードに電子部品やジャンプワイヤを用いて Arduino と接続することで簡単にハードウェアを制御することができる。さらにシールドと呼ばれる拡張パーツを使うことで無線通信などの高度な開発を行うことも可能である。Arduino UNO は他の Arduino 基盤に比べ、安価で入手することが可能であり、動作クロックが他の Arduino 基盤に劣るものの、今回の製作物では問題なく動作することがわかったため、このマイコンを採用した。出力する電力は 5V とし、電動弁は二つ使用した。

(※文責: 桃井悠汰)

#### 5.4.7 無線接続に関して

作成した完成品が大きすぎるため、有線での接続では断線や故障の原因であると判断したため、Bluetooth を用いた接続を行った。しかし、今回 web サイトからの信号の送信をする必要があったため、BLE(Bluetooth Low Energy) を用いて信号の送信を行った。BLE を搭載したプログラ

ムは JavaScript での開発であり、作成した web サイト上で今回使用した M5stack を無線接続し、制御できるような仕様にした。動作としては動物が web サイト上で選択された際に BLE を通して M5stack に動物に対応した文字列を送信することで電磁弁の制御を行うというようになっている。Web サイトでの無線接続で誤って他のデバイスとの接続を避けるため、あらかじめ決められたデバイスのみとしか接続できない仕様にするすることで、仕様がわからなくても、安心して接続することができる。そして無線であることにより、PC を固定する必要がなく、ある程度の距離であればどこでも使うことができるため、体験してもらう人に合わせて PC を移動することができるメリットもある。今回 Wi-Fi を用いなかった理由としては、ミライノサファリでは実際にサファリパークでの展示を行うという面で現地に Wi-Fi がないため、ポケット Wi-Fi やテザリングでの接続をしなければならず、今回の無線接続では Wi-Fi での接続は Bluetooth での接続よりも不安定であったため、Bluetooth での接続を採用した。

(※文責: 長谷川晃汰)

#### 5.4.8 Bluetooth Low Energy

Bluetooth には 2 種類の通信方式が存在し、「Bluetooth Classic」と「Bluetooth Low Energy」の 2 種類がある。その中で今回は BLE を採用し、製作物に実装した。BLE(Bluetooth Low Energy)とは Bluetooth に対して消費電力を大幅に低く扱うことができ、接続確立に必要な電力を最小限に抑えることができる。Bluetooth よりも通信速度が落ちてしまうというデメリットがあるため、通信速度が必須である場合には向かない。今回は Web ページとの Bluetooth 接続を行うには普通の Bluetooth では接続ができず、対応していたのが BLE のみであったため、この技術を用いた。接続時間ではリアルタイムでの取得および接続の速さは必要なかったため、このデメリットは問題ないと判断した。

(※文責: 桃井悠汰)

#### 使用ライブラリ

Arduino 言語で作成した BLE プログラムに使用したライブラリとして「BLEDevice.h」「BLEUtils.h」「BLEServer.h」の 3 つのライブラリを用いた。無線通信をするために BLE でのサーバーの作成、接続を行い、正常に文字列データを受け取るという動作をしなければならなかったため、Arduino のスケッチ例として作成されている「ESP-32 BLE Arduino」の「BLE Server」を参考にプログラムを作成した。これにより、PC 上で作成した Web ページと M5Stack Basic の BLE 接続を行うことができた。

(※文責: 長谷川晃汰)

#### 5.4.9 送水機能に関して

本体の水を流す、貯めるなどの動作を行うにあたって、電磁弁を採用し、貯めている水をくみ上げる機能として水圧ポンプを採用した。電磁弁は 2 箇所に搭載し、心臓に水を貯めるために使われる電磁弁、各動物の拍出量に対応した量の水を流すための電磁弁に使われた。心臓に水を送る電磁弁の制御として、自動で心臓に水を貯めることができるようにすることが目標であったが、動物に

よって消費する水の量が異なるため、今回はタクトスイッチによる開閉を採用し、手動で電磁弁の制御をして心臓に水を送り込む機能にし、手動にすることで使用するたびに誰かが入れなおさなければいけないというデメリットがあるが、水を貯めるという工程を管理することができるという面に関して、安全に心臓に水を貯めることができる。次に各動物の貯水部分にあたる電磁弁についての機能は web サイトで入力された信号を BLE(Bluetooth Low Energy) を通して電磁弁を制御するマイコンに送信し、その受け取った信号によって、電磁弁の開放する時間を変えて送水するという機能になっている。使用したマイコンは M5Stack で開発及び制御を行った。今回使用した電磁弁の設計上の問題があり、程度の水圧を保持しなければ水を十分な量を送水できないという問題があった。今回使用した水圧ポンプは威力の強いものと威力が弱いものがあり、心臓に水を効率的に貯めるため威力の強い水圧ポンプは心臓に使われた。これにより、動物の拍出量を貯めるのは弱い水圧ポンプを使うことになってしまい、ボタンを押してから水を貯めるまでの時間が予想以上に長くなってしまった。これは水圧の強い水圧ポンプを使うことで解決できるため、改善できるものである。次にアクリル管に貯めた水を元の貯水する水槽に排水するため、電動弁を採用した。今回排水するという面で電磁弁では水圧が足りず排水がすることができないという問題があったため、電動弁では信号を送ることで本体の中に組み込まれるボールジョイントが回転し、排水することができるため、水圧が無い状態でも水を流すことができるため電動弁が採用された。しかし、電磁弁に比べ、電動弁のコストがかかるため、排水部分のみでの搭載となった。今回電動弁 Arduino UNO での開発及び制御を行い、排水を時間で行うのではなく、心臓同様に手動で開閉を行えるようにした。時間制御を行うには、動物ごとに時間が異なるため、タイムロスが発生してしまうため、キーボードの特定のキーを手動で押すことで開閉できるという機能にし、一度の体験におけるタイムロスを大幅に削減することができた。Web サイトに排水ボタンを追加しなかった理由として、小さな子供から高齢者の方に体験してもらうため、なるべく画面の情報量を少なく、シンプルな画面にする必要がある。これより排水機能はボタンを追加するのではなく、制作側での制御による排水をすることで操作による複雑化を避けることができた。次に一つのマイコンで電磁弁と電動弁の制御を行わなかった理由として、一つのマイコンでは4つのハードウェアを動かすにはマイコンに対する負荷が大きかったためであり、故障や不具合の発生が考えられたため、それぞれのマイコンを送水と排水の役割に分けた。さらに、電動弁は排水するだけであるため、無線機能は必要ないと判断し、Arduino UNO を使ったシリアル通信での制御を行った。今回使われた水圧ポンプは電気制御を行うことができず、常に水をくみ上げてしまうため、電磁弁での開閉による制御でこの問題を解決した。

(※文責: 桃井悠汰)

#### 5.4.10 全体構造に関して

動物の血液量を示しつつ手で押した心臓からの拍出量を目視で簡単にわかるようにするため、アクリル管を縦に設置して管内に水を貯めて表現することとした。アクリル管は動物の拍出量を表現するアクリル管 A と手で心臓を押して水を貯めるアクリル管 B の二つを並べた。アクリル管内の水の排出を容易にできるようにするため水槽の上にアクリル管を設置することとした。水槽の中の水を2つの水中ポンプによって汲み上げて心臓部への給水、動物の拍出量を示すための水として使用することでデバイス内の水を循環させている。水の流れは水槽→水中ポンプ→電磁弁→アクリル管 A →電動ボール弁→水槽という循環と水槽→水中ポンプ→電磁弁→心臓→アクリル管 B →電動

ボール弁→水槽という循環で成り立っている。アクリル管はアクリル板で作製した箱で上下を挟むことで固定した。アクリル管の下部を固定する際に使用した部品は3DプリンタでZ-ULTRATを使用して作製した。この部品には電動ボール弁を接続することが出来る。この電動ボール弁はスイッチでオン/オフを切り替えることができ、圧力差が必要ないので採用した。この弁によってアクリル管に貯めた水を排出することを可能にしている。アクリル管Aの上部には電磁弁を接続して放水を可能にしている。電磁弁の開閉によってアクリル管に水を貯めることと心臓への給水を行っている。

(※文責: 長谷川晃汰)

#### 5.4.11 心臓を再現した動物に関してに関して

はじめに、「SENCE OF HERAT」を作成するにあたって、比較対象とする動物をグループメンバーで話し合った。私たちは血圧の違いから3つの動物を選んだ。血圧の大きさと小ささ、そしてアクリル管で拍出量の違いを表現できるような血圧の観点から最終的に選んだ動物は人間の他に「キリン」・「ブタ」・「犬」に決定した。キリンは血圧がとても高い動物として知られている。首がとても長いので、血液を頭に巡らせるために高い圧力が必要とされている。キリンを見るときに首が長いことに注目するが、血圧について知る機会は少なく、近くで触ることがない動物なのでキリンの特徴について興味を持ってもらいたいと考えた。このことから、人間と比較したときに大きな拍出量となると考え採用した。犬は人間よりも小さい血圧でかつ小さすぎて表現できなくなってしまうような動物として選ばれた。また身近にいる動物であるため、体験者の理解が得やすいとして採用されている。「ブタ」に関しては、背景でも述べたように豚の心臓が人間に移植された事例があり、人間と比べる際に実際に近い数値が出る動物として取り入れることにした。

(※文責: 長谷川晃汰)

### 5.5 解決方法2：水による脈拍の再現

#### 5.5.1 目標・目的

「SENSE OF HEARTS」の目的は、心拍という生体信号に焦点をあて、自分の脈拍の動きを水の流れで可視化し、更に動物の心拍と比較することで動物の自分の身体づくりの違いを直接体験できることである。動物と私たち人間のからだの違い、身体の内部で循環している血液の流れといった、見ることができない生命活動を体験できることを目標とした。ここから、数字やデジタル上で比較するのではなく、実際に水を用いて流れを魅せることでユーザが視覚的に体験できることとした。

(※文責: 福地厚太)

#### 5.5.2 背景

本グループは、動物の生体活動として心臓に焦点を当てたプロダクトの制作を希望するメンバーで構成されている。まず、9月中に行われた富士サファリパークで、動物ごとの心臓の心拍の鼓動、

大きさを実際に触ることで体験することができる「SENSE OF LIFE」の展示を行った。そこで実際の各動物の心臓の動きの迫力や違いを来園者に体験していただき、富士サファリパーク職員の方々には実際の動物のような動きをしているか多くのフィードバックをいただいた。これらから、実際に触ることができない身体の一部を、見える形にしてユーザーに提供することで新たな体験価値をもたらすことができるのではないかと考えた。そこで、自身と動物の心拍の違いを視覚的に体験することができる本プロダクトの製作に至った。

本プロジェクトの目的は、人と動物の新たな関係を ICT で支援することである。本グループは、動物の生体活動の一つである心臓の動きを可視化したプロダクトの製作を行い、数値ではなく実際の動きを体験することでより心臓への理解が深まると考え、あえてアナログ的な手法で心臓の働きを表現することとした。

(※文責: 福地厚太)

### 5.5.3 方針

心臓のどのような機能をプロダクトに活用できそうか検討した。心臓の機能を可視化したときにユーザーにも理解してもらいやすいことが重要であると考えたため、動物によって違いが分かりやすい心臓の機能をプロダクトに表現しようと考えた。そこで、心臓について詳細な知識を持っていなかったため心臓機能について調べた。心臓が一回の収縮運動で体内に送り出す血液量を一回拍出量 (stroke volume: SV) といい、心臓の収縮と拡張の繰り返しを拍動と呼ぶが、心臓が一分間に拍動する回数を心拍数 (heart rate: HR) とされていることが分かった [1]。一回拍出量と心拍数を可視化し動物や自身の身体と比較をすることで、数字で比較する以上に違いを実感することができるのではないかと考え、一回拍出量と心拍数を心臓の機能から選出した、他に心臓の機能として、心臓は右心房、右心室 (右心系) と左心房、左心室 (左心系) の 4 つの部屋に分かれており、心房は心室が十分な血液を送り出すために一時的に血液を蓄えるタンクの役割と心室が血液を送り出す効率を良くするためのプースターの役割を担っていること、それぞれの心室の入口と出口には一方向弁があり、血液が流れる方向が一方向となるように制御していることなどが挙げられる [11]。しかし、制作するプロダクトの体験者が子どもなどの低い年齢層を含めた幅広い年代を想定しており、子どもにも心臓の機能を理解してもらうためには動物によって一回拍出量や心拍数が異なることが分かりやすく、端的に心臓の機能を表現できるものと考え、こちらの二つの機能に焦点を当てて制作に着手することとした。

本プロジェクトは前期に過去のプロダクトのブラッシュアップ、後期から自身のプロダクトの制作に取り組んでいる。限られた時間で一回拍出量と心拍数の二つのテーマを基にしたプロダクトを実現するために、それぞれ二つのプロダクトに分け、並行して制作に取り組んだ。ここでは、動物とヒトの心拍数の比較をテーマにしたプロダクトについて焦点を当て記述する。

(※文責: 福地厚太)

### 5.5.4 機構の検討

最初に、心拍の動きをどのように表現することができるかを調べた。調べたところ、チューブを用いて着色流体と着色されていない流体を制御することで柔軟なプロジェクションを表示しているディスプレイの機構 [12] が活用できそうだと判断した。着色された部分の流体を拍出量分用いて、



着色されていない流体を心拍の間隔分用いることでチューブ内に表現できると考えた。そこで、複数の構成している要素が異なる流体を、適切な条件でチューブに流し込むことでスラグ流と呼ばれる、液滴または液滴と気泡がお互いに分離された状態で交互に流れる流動形態が発生することが知られている [13]。このスラグ流を用いて、心臓の動きを再現することを検討した。しかし、m スラグ流を安定させるためには流速を一定以下に抑える必要があり、スラグ流を用いた研究では流速が約 8mm/s に設定されている [13]。この条件の下、様々な動物の心臓の動きを表現するためには流速が不十分であると判断し、スラグ流を用いた制作は断念することとした。動物の心臓の動きを表現させるためには一定以上の流速、流量が必要であることから、水中ポンプと水流の流れの止水と流水を制御することができる、12VDC で作動する電磁弁を用いて心臓の動きを表現することとした。水中ポンプとは液体を揚水、移送するために水中に配置するポンプであり、プロダクト内の水源のみで液体の循環を完結させるのに適していると考え、水中ポンプを用いることとした。電磁弁とは電磁石と弁を組み合わせたもので、電源の ON、OFF の切り替えにより空気や流体を止めたり流したりすることができる。この切り替えの間隔をプログラムで調整することで動物の心拍を再現することができるのではないかと考え、これを用いることとした。電磁弁を動かすために、マイコンローラは Arduino IDE で開発が可能である ESP32 を用いることとした。今回使用した水中ポンプの水勢は一定であり調整負荷であったため、「SENSE OF HEART」のテーマである心臓の機能の中から、心拍にのみ焦点を当てて本プロダクトは制作されている。調整可能な水中ポンプは設計上収めることが不可能であったため、他の心臓の機能を取り入れることを断念し、心拍のはたらきのみ焦点を当てた。

次に、人間の心臓の動きをどのようにユーザに体験してもらうかを検討した。本グループの方針は、心臓の動きをアナログ的な手法で再現し、動物と人間の心拍の違いをユーザに体験してもらうことであった。どのように違いを再現できるか調べたとき、心拍センサが人間の心臓の動きの再現に適しているのではないかと考えた。心拍センサは Arduino や ESP32, micro:bit ボードと互換性があり、指など身体の一部に巻き付けることで自身の心拍を読み取ることができるセンサである。このセンサを用いることでユーザ自身のリアルタイムの心拍を計測することができる。心拍数は常に一定ではなく、運動強度や酸素摂取量とほぼ比例して増加することが知られている [3]。心拍センサはこのような心拍数の推移を読み取ることができるため、よりリアルな体験をユーザに提供できると考えた。以上から、心拍センサとマイコンローラを用いて人間の心臓の動きを再現することとした。

次に、動物の心臓の動きをどのように体験してもらうかを検討した。可能な限り再現度が高い心拍の動きを検討したが、心拍センサを取り付けることは断念し、電磁弁の開閉の間隔を可能な限り動物の心拍の動きに再現することとした。電磁弁の開閉の間隔はプログラムで調整が可能であるため、拡張性が高いと考えた。イヌやネコなどペットとして変えられることが多い身近な動物から、ゾウやキリンなど普段では触ることができない動物まで様々な動物の心拍を再現することを方針として進めることとした。

(※文責: 福地厚太)

### 5.5.5 プロダクトの設計

最初に、本グループは水を用いたプロダクトの制作であるため、前提条件として、水漏れが起こらない設計にする必要があった。MDF 材やアクリル板などで加工する場合、水が漏れない機構を

設計することは困難であったため、水を循環させる容器として市販の水槽を用いることとした。横 400mm × 縦 250 × 高さ 200mm のアクリル水槽を用いることとした。

次に、同一の水槽内に動物と人間の心臓の動きを再現した流体を循環させるために、水槽内に二つの水中ポンプを配置した。動物用には 3500L/H、人間用には 5000L/H の水中ポンプを一つずつ使用した。一時間あたりの放出量は動物用と人間用によって異なるが、放出量が多いほど弁から流れる流体の圧力も大きい。動物用の心拍数の調整は Arduino IDE 内のプログラムで行っている。人間用は心拍センサを用いて読み取った体験者の脈波を読み取ってリアルタイムで心拍数の様子をプロダクトに表示させているため、ユーザによって読み取った脈波を適切に流体に表現することが出来ない場合があった。そのため動物用よりも放出される際の圧力を大きく設定し、微小な脈波の変位を流体に反映させるために、人間用の水中ポンプは放出量が多いものを使用した。電磁弁も動物用と人間用で一つずつ使用し、流体の放出口は二つとなった。

次に、ユーザに流体の動きに集中してもらうために、水中ポンプや配線等を隠すための設計の検討をした。水中ポンプ等と流体が放出される電磁弁の放出口の間に二枚の仕切り板を立て、放出された流体を水中ポンプに循環させるために、壁に格子状の穴を開けた。格子状にすることで、配線等を隠しながら流体を循環させることができると考えた。壁の素材として、耐水性が高くアクリル水勢との親和性が高い乳白色のアクリル板を使用した。当初はアクリル板よりも安価で購入できる MDF 材で組み立てを行う予定であったが、耐水性が低く、湿気に弱いため水中で使用すると腐食が進行し、カビが発生するというリスクがあったため、MDF 材を断念し水中に適したアクリル版を使用することとした。放出口が二つあるため、こちらも同素材のアクリル板で仕切りを設計した。アクリル板はレーザーカットで加工し、Adobe Illustrator を用いて図面の設計を行った。

次に、アクリル水槽の外枠、外観について検討した。こちらも動物と人間の心拍を表した流体の動きのみを表示させるために、外側をハレパネ（のりつきスチレンボード）で覆い給水ポンプや配線等が見えないようにした。ハレパネは耐水性が高く、MDF 材のように腐食が進行するリスクも少ないため使用した。水漏れ、漏電を防ぐためにフタのように覆い、フタの一部に穴を開きそこから配線等を逃がしている。

(※文責: 福地厚太)

## 5.5.6 使用した機器、用いた技術

### 5.5.7 ESP-WROOM-32

ESP32-WROOM-32 は通称 ESP32 と呼ばれ、Espressif Systems 社が開発したマイクロコントローラを搭載したワイヤレスモジュールである。電磁弁と心拍センサの制御、WebServer との通信を行うために使用した。ESP32 はデフォルトで Wi-Fi 等の無線通信機能が備わっている。本プロダクトは HTML ファイルで WebServer を立てているため、この機能が必須である。また、ESP32 は 18mm × 25.5 mm という小さいサイズでありながらデュアルコアが採用されており、値が高いほど高速に動作するクロック周波数が 240 MHz という高機能に設定されており、RAM のサイズは 520 KB、ROM は 4 MB と他の有名なマイクロコントローラとして知られている Arduino Uno よりも遥かに大きく設定されている。また、デジタルピンは全ての PWM 出力に対応しており、アナログ出力ピンの本数も Arduino Uno に比べ多く、アナログ出力に対応したピンも用意されており、規模が大きい開発に向けたマイクロコントローラである点から、ESP32 を選定した。

(※文責: 福地厚太)

### 5.5.8 M5Stack Basic

M5Stack Basic は ESP-32 を搭載しており、比較的安価で無線通信や距離センサや加速度センサなどの拡張パーツを使うことで高度な開発を行うことができるデバイスである。M5Stack Basic の無線通信には Wi-Fi 通信, Bluetooth 通信が搭載されており、今回の製作において、Wi-Fi, Bluetooth のどちらも使用した。Wi-Fi 通信を行った際には問題なく接続する事ができたが、Bluetooth を使用することで通信速度及び通信での接続の安定性を確保することができたため、今回は Bluetooth を採用した。

(※文責: 桃井悠汰)

### 5.5.9 昇圧型 DC-DC コンバータ

昇圧型 DC-DC コンバータは、電流を DC (直流) から DC (直流) に変換し、変換する際に入力電圧よりも高い電圧を出力する電子回路である。今回使用した電磁弁を動作させるために必要な電圧が 12 V であるのに対して、ESP 32 の入力電圧が 5V であったため、不足分の電圧を補うために昇圧型 DC-DC コンバータを使用した。昇圧型コンバータは入力電圧範囲が 2.7 V~5.5 V であり、出力電圧範囲が 3.5 V~24 V のものを購入し、使用するにあたって端子台と電解コンデンサ、出力電圧調整用可変抵抗器のはんだ付けを行った。昇圧型 DC-DC コンバータの電圧調整は、製品内の多回転ボリュームを回転させて調整した。購入時の初期状態における出力電圧が 14 V であったため、この多回転ボリュームを回転して出力電圧が 15 V 以上になるように調整した。時計回りに回転させると電圧が上昇し、逆時計回りに回転すると電圧が低下する。電圧の測定はデジタルテスターを用いて検証し、多回転ボリュームを徐々に回転させて電圧の調整をした。

(※文責: 福地厚太)

### 5.5.10 はんだ付け

DC-DC コンバータを使用するにあたって、はんだ付けを行った。購入時の状態は電子部品が別々に付属しており、説明書を読みながら DC-DC コンバータとして扱えるようにはんだ付けを行う必要があったため今回の電磁弁および電動弁が必要とされる個数分の DC-DC コンバータのはんだ付けを行った。はんだごての設定温度は 150 度に設定し、ジャンプワイヤのはんだ付け、基盤のはんだ付けの合計 9 個行った。メンバー内でははんだごてを使用した経験がない人が多くいたため、使用方法や危険事項など確認をしながら作業を行った。

(※文責: 桃井悠汰)

### 5.5.11 リレーモジュール

リレーモジュールは制御システムにおいて外部からの電気信号を受け取り、電気回路のオンとオフの切り替えを行う部品である。スイッチのオンとオフの切り替えを行い、次の機器へ信号を伝

え、電磁弁の開閉の信号を送るためにリレーモジュールを使用した。DC（直流）で入力電圧が PC の USB 電源からでも動作することができる 5 V から動作し、比較的安価で購入することができた KKHMF というリレーモジュールを選定し、ジャンパ線を繋げて使用した。

(※文責: 福地厚太)

### 5.5.12 電磁弁

電磁弁（ソレノイドバルブ）はソレノイドと呼ばれるコイルの中にプランジャと呼ばれる可動式の鉄片が含まれており、その動きによってバルブが開閉される原理であり、流体の流れを制御する弁の一種である。電気信号を送ることで電磁弁の開閉を行い、空気や水などの流体を止めたり流したりできるため、開閉の間隔をプログラムで調整し動物やヒトの心拍数を再現している。流体に適した材質を洗濯する必要があるため、耐水性をもったプラスチック製の電磁弁を使用した。電磁弁を使用することの短所として、動作原理上前回か全閉のみ、ON-OFF タイプの弁の設計になってしまうことが挙げられる。単純な動作であるため、心臓の複雑な動きを再現するには電磁弁は不適切である。しかし電磁弁は僅か数 10～数 100 ms で動作するため、動物やヒトの細かい心拍数の調整を行うことに適している点、心拍数という機能にのみ焦点をあてているという点から、心臓の複雑な動きを再現することは断念し、電磁弁を用いて心拍数にのみ焦点をあてた単純な設計にすることとした。

(※文責: 福地厚太)

### 5.5.13 SPIFFS/WebServer

ESP32 には SPIFFS 領域と呼ばれる、ESP32 内のファイル領域が存在する。このファイル内に HTML と CSS をファイルとして保存し、実際に起動して PC やスマートフォンで操作することができる。各動物の心拍数の切り替えを HTML, CSS ファイルを用いて、PC, スマートフォン上でのクリック、タッチで行えるようにした。

次に WebServer のを立てた手順について記述する。SPIFFS 領域の HTML を送信するため、ESP32 で非同期なサーバーを実現することができる ESPAsyncWebServer というライブラリが Github にて公開されていたため、これをダウンロードし Arduino IDE のライブラリに保存した。また、ESPAsyncWebServer の動作に必要な AsyncTCP というライブラリもダウンロードした。さらに、Arduino core for ESP8266 コミュニティのページにプラグインのページがあるため、そこから zip ファイルをダウンロードする。Arduino IDE のファイル内に tools というフォルダを新規作成し、ダウンロードした zip ファイルを解凍しコピー・アンド・ペーストする。Arduino IDE を再起動するとソフト内のツールメニューに ESP8266 Sketch Data Upload という項目が表示されるため、その項目をクリックして ESP のフラッシュメモリに書き込むことができる。アップロードする際に、ESP32 に搭載されている Boot ボタンを押しながら実行することで正しく起動した。通常、ESP32 はフラッシュメモリのプログラムから動作するため Boot ボタンを押さずに起動させることができる。今回の場合はシリアル通信を使用しているため、正しく起動させるためには Boot ボタンを押す必要があったと推察された。書き込み後、シリアルモニタに表示されるアドレスをコピーし、Google Chrome や Microsoft Edge 等の Web ブラウザのアドレスバーにペーストして検索することで、あらかじめ HTML, CSS で作成した Web ページに移動することが可

能である。

(※文責: 福地厚太)

#### 5.5.14 HTML/CSS

各動物の心拍数の切り替えは、HTML/CSS で作成した Web ページ内のボタンをクリックすることで実現させている。このように各動物の心拍数の切り替えは、ハードウェアに取り付けられているスイッチ操作などのアナログではなくデジタルで実現した。現段階で切り替えることができる動物の種類は 4 種類であり、今後動物の種類を増やす場合、アナログの場合はスイッチを動かすために必要な機材が増え、水槽内の配線などが嵩張ることが予想され、水を用いているため引火や漏電などのリスクが危惧される。HTML/CSS ではソフト内でボタン機能を実現するため引火などの危険リスクがハード面に比べて少ないこと、今後動物の種類を増やす場合、既存の動物のボタンを引用することで容易に拡張することができることから、HTML/CSS 内でボタンを実現することとした。ESP32 のプログラムが保存されているファイル内に data という名前のファイルを新規作成し、そのファイル内に作成した HTML/CSS のファイルを保存している。

(※文責: 福地厚太)

#### 5.5.15 心拍センサ

心拍センサは、スイッチサイエンスで販売されている SFE-SEN-11574 を使用している。心拍センサは、心臓が血液を送り出すことで生じる血管の容積変化を脈波として連続的に計測している。センサを指にテープで固定し、ESP32 内のプログラムで制御した。スイッチサイエンスが公開している Github のソースコードでは、読み取った脈波が高い位置を示したときの数値を閾値として、LED ライトの制御を行っていたので、そちらのソースコードを引用することとした。読み取った脈波が高い位置を示した時ときの数値を閾値としたとき、その閾値よりも高い数値の脈波を読み取ったときに電磁弁を開栓し、閾値よりも低い数値の脈波を読み取ったときに電磁弁を閉栓することで、センサを取り付けたユーザの脈拍に近い流体の動きをプロダクトに表示させることができた。

(※文責: 福地厚太)

### 5.6 最終成果発表

2023 年 12 月 8 日に、プロジェクト学習の最終成果発表を公立ほこだて未来大学で行った。

#### 5.6.1 最終発表のフィードバック

プロジェクト最終発表会では、公立ほこだて未来大学の学生・職員、一般の方々に本プロジェクトの成果を紹介する実機デモとプレゼンテーションを行った。これらの発表を行った中で様々な意見をいただき、今後の課題や学習の参考になるアドバイスなどを数多くいただいた。フィードバックをいただくまでの流れとしては、ポスター+プレゼン形式による発表、実機デモ、質疑応答、見

学者体験会，Google Form による評価シートの記入の順番で行った．発表を行う際は，事前に用意したポスターやスライドなどを使用した．グループ発表のスライドは全 18 枚になっており，脈拍を表現したデバイスのスライドでは動画を用いて，実際の動きが理解しやすいように努めた．

いただいたフィードバックは Google Form で提出してもらい，それを Excel で纏めた．このフォームは主に「評価者の種別」「学籍番号・所属」「評価者氏名」「発表技術の評価」「発表技術の評価理由や改善のためのコメント」「プロジェクトの評価」「プロジェクトの評価理由や改善のためのコメント」で分かれており，評価は 10 段階の数字で行われた．49 人からフィードバックをいただき，一般の方は 2 人，教員の方は 3 人，職員の方は 1 人，学生は 44 人となった．「発表技術の評価」の平均は約 8.7 点，「プロジェクトの評価」の平均は約 8.6 点であり，どちらも高い評価をいただくことが出来た．

質疑応答や Google Form でいただいた質問や意見の例として評価が 10～8 の「発表技術の評価コメント」は「心臓の動き・力強さを身近で感じられる発想は面白いと感じた．」や「クイズ形式で聞いている人を飽きさせず興味をひきつけながら上手く発表していた．」，「デモ中心で 3 つの班を全て見たが，デモをやりながらもそれぞれに目的や課題などをかなりうまく説明できていた．成果物の出来不出来にかかわらず，それぞれのデモが自分たちのものになっているので，物足りなさはなかった．」，「スライドもシンプルで分かりやすかった．」などの好意的な意見を多くいただいた．実際の制作物のデモを通して，どのような動作をするのか分かりやすく示したことが功を成し，高い評価をいただくことができたと思われる．また，他の班にはないスライドやクイズ形式の発表も効果的であったと言える．

評価が 7～6 は「こういうものを作ったということはよく説明されていたが，もう少しなぜそれを作ったかなどの過程を知りたかった．」や「全体の発表から，各グループで個別にデモや詳しい説明をするという流れは良いと思う．興味のあるグループの話をじっくり聞けるので．」というコメントをいただいた．今回の発表では制作物の機能を理解してもらうことに重きを置いて進めていたため，過程や背景に関する説明の伝え方の工夫が足りていなかったことが分かった．富士サファリパークの方々への最終報告会ではこれらがより伝わるような工夫を施して発表したいと考える．

続いて評価が 10～8 の「プロジェクトの評価コメント」は「目に見えないものが見えるようになっていたのでとても伝わりました．強さがポンプの凹み方で分かりイメージがしやすかったです．」や「サファリパーク以外（小学校など）で展示会を行った場合の第三者からの評価も気になった．知ってもらう活動などであればそういう場での発表もアリではないかと思う．」，「自分たちが有しているスキルで表現が出来ていたと思います．もっと高度化した表現もあると思いますので是非チャレンジを続けていただければと思います．」，「実際に動いているため成果物がわかりやすく，今後の展望もわかりやすかった．」，「実際に触れるプロダクトは楽しい．正確さよりも体験重視．強度！（水漏れ）」などの様々なコメントをいただいた．制作物に関しては体験が出来て理解しやすいといった声があった一方で，途中で手動心臓が破裂したりゴム栓から水が漏れるといったトラブルが起こったため，その点を私的する声もあった．デモを複数回行ったり，体験会を開催したりするのであれば，より強度な構造に変える必要があることが分かった．また，前期に学童の児童に展示会を開催したように後期の制作物も展示する機会を設けたい．

評価が 7 6 は「全体的に体験できることで得られるものが何かわりやすかったらより良いとおもいました．」や「機能毎のシナリオで説明されていて良かったです．キャッチコピーのようなもので理解し易く出来るとなお良いですね．」，「ものを作って，結果どんな影響を与えるのかをもっと知りたかった．今の段階だと，作って終わり，というプロダクトがあったように感じた．ただ，作っているものは面白いと思ったので，意味付けなどが今後なされていくとよりよい発表，プロダ

クトになると感じた。頑張ってください！」などのコメントをいただいた。このコメントから「体験を通して何が学べるのか」や「この制作物がどんな場面でどんな価値を与えることが出来るのか」を伝えなければ、指摘に合った通り作って終わりになってしまうため、そこまでを発表に盛り込み、体験している人たちに伝えなければいけないということを痛感した。

評価4は「成果物自体は完成度が高いと思う。しかし、その目的に関しては詰めが甘いと感じた。動物との新たな関係とは何かがよくわからなかった。」というコメントであった。全体の発表においてもグループごとの発表においても、最初に提示した「人と動物の新たな関係を ICT で支援する」という目的に触れた結論を展開できるように発表を改善したい。

統括としてデモや体験会を用いた発表は制作物の理解促進に効果的であるが、制作物ばかりに囚われてしまい、プロジェクトとしての目的を果たすことが出来たのかや、今回の開発によってどんな価値を提供出来るかを伝える部分がおろそかになってしまったというコメントが多く、今後はプロジェクト全体の過程や成果、与えた影響を伝える部分に気を配っていくべきだと考えられる。

(※文責: 中尾実柚)

## 5.6.2 最終成果発表ポスター

ポスターはプロジェクト全体で1枚という形式と各グループごとに1枚という形式で行われた。私たちの最終成果物「SENSE OF HEART」は心臓の心拍出量と脈拍を再現したデバイスである。構造が複雑であり、文章だけの説明では機能が伝わりにくいため、写真や図を用いたポスターにすることで、閲覧者の理解促進を図った。全体の見やすさや英語での説明を加えるなどの条件からポスターの文字制限は厳しく、ここで解説できる内容は非常に少なくなっているため、「概要」「背景」などの言葉で説明しなくては絶対に伝わらない項目では文章をメインとし、「構造」や「体験の仕方」の項目では図や画像を添えることとした。また、私たちの最終発表会を時間の都合などで聞くことができなかった人がポスターを見たとき、私たちがいったいどのような発表をしたのか簡単なイメージができるように最終発表と同じ流れを軸にポスターを完成させた。

挿入した画像はどちらのデバイスも実際に体験している場面を撮影したものであり、実物を見ていない人でもイメージしやすくなっている。また、デバイス全体を写し見た目のイメージをしやすくした画像が1枚と、各デバイスの重要なポイントを拡大して撮影した1枚の計2枚の写真を挿入した。

構造を説明する図では、実際の制作物を見たときには見ることでできない内部の構造を図に起こして説明することで、複雑な構造を理解しやすくする工夫を施した。スイッチ操作を行う部分のイラストは実際のパソコンの画面とほとんど変わらないもので表現した。ホースの湾曲した部分の再現が難しく、シンプルな黒い曲線になってしまったことが悔やまれるが、全体としては、どこに何が配置されているかが分かりやすい図となっている。

ポスターは大方を Figma を用いて作成し、最終的な調整を Adobe Illustrator を用いて行った。グループ内にデザインに精通している学生が少なく苦労したが、メンバー間で互助しグループ発表用ポスターを作り上げた。

(※文責: 中尾実柚)

### 5.6.3 最終成果発表スライド

最終発表では全体でのスライド発表後に各グループが3つのブースに分かれて発表を行った。私たちCグループはポスターに加えてスライドを作成して発表した。

記載内容とスライドを用いた発表の流れとして、はじめに目次を提示し発表の流れを説明し、次になぜ私たちが心臓に着目したデバイスの開発を行ったのか、背景や目的を説明した。ここでは聴講者を引きつける工夫として動物の心臓に関するクイズを交えながら進めた。その後制作物の概要を説明するスライドに移行した。心臓の働きの主要要素を紹介し、拍出量や脈拍などの専門用語に関する説明を補った。詳細説明のフェーズでは、はじめに脈拍を表現したデバイスの紹介動画を再生した。最終発表当日は脈拍を表現したデバイスを実際に動かすことが出来なかったため、動画を盛り込むことで口頭説明では聴講者がイメージすることが難しい部分を伝えることが出来た。次に心拍出量を表現したデバイスは図と実機を使用して説明を行った。実際の制作物で機構を説明したため聴講者の注目度も高く、その後の実機デモへの移行もスムーズであった。

発表資料として私たちは文字の説明を少なくし、図や写真がメインである分かりやすくシンプルなものを作成した。写真や図、動画を作成することで実際のイメージが掴みやすく、どのようなフローで成果物を取り扱うのかや操作をどのように行うのかを分かりやすく伝えることができた。イラストや写真は著作権フリーのものをインターネットで探し使用した。スライドはFigmaで作成し、途中に組み込まれている図もFigma内の図形を組み合わせて作成したものである。

(※文責: 中尾実柚)

### 5.6.4 今後の展望と課題

現在 SENSE OF HEART は動物ごとの心拍出量の違いを表現したデバイスと、脈拍の違いを表現したデバイスの二つのデバイスに分かれている。しかし実際の心臓は一つの心臓に心拍数や脈拍などのいろいろな要素を含んでいる。そのため今後は現在ある二つのデバイスの機能を一つのデバイスに統合し、心臓の機能をより本格的に体験できるデバイスを作成したい。

心拍出量を表現するデバイスの改良点としては「ゴム栓と手動心臓の強度を高める」「電磁弁で放出する水量を正しく調整する」「ホースやジョイントなどがむき出しの状態であるため見た目をスマートにする」の3点があげられる。

現在の手動心臓やゴム栓はゴムライクレジンで作成しており、強い圧力が加えられた際に割れやすく水漏れしやすいという問題がある。これらは fusion360 を用いた設計の段階で構造を見直し、強度を高める必要がある。また電磁弁で各動物の拍出量を再現する際に実際の動物の量を正しく表現することが出来ていないため、各ボタンを押した際に人間が70ml、犬(20kg)が255ml、キリンが250mlの水量が放出されるように変更したい。そして、視覚的にもわかりやすいように目盛りを設定するなどの工夫が必要である。

脈拍を表現するデバイスの改良点としては、動物の種類によっては脈拍に合わせて水を放出することが出来ないことである。現在は人間、犬、キリンの3種類の動物の脈拍を正確に再現している。しかし、ウサギやネズミのような脈拍のはやい動物の場合、電磁弁の開閉の間隔が早すぎて水を放出することができないため、今後は再現する動物の種類を増やすための工夫が求められる。

また SENSE OF HEART は SENSE OF LIFE から派生してできたデバイスである。現在の SENSE OF LIFE は当初と比べて小型化され、子供向けのデザインに改良されており、富士サファ



リパークでの展示の際に子供連れの家族やお子さんからの反響が大きかった。また、意見として身近な動物の心臓を感じられるデバイスが欲しいという声が多くあがった。SENSE OF HEARTでも SENSE OF LIFE と同様の改良が求められると考える。そのため今後の展示に向けて、現在の形状では大きすぎるという問題や、身近な動物が犬しかないという問題を解決する必要がある。ここで反省点として、もっと富士サファリパークでの展示を意識して、9月にいただいたフィードバックをもとに SENSE OF HEART の作成に臨むべきであったことがあげられる。よって、私たちのグループは「子供向けの展示」と「心臓の機能を正しく伝える」の兼ね合いについて再度じっくり考える必要がある。

(※文責: 中尾実柚)

### 5.6.5 今後の活動について

今後の活動計画としては、報告会を計画している。これは富士サファリパークの職員であり、本プロジェクトでフィードバックやアドバイスをいただいている奥田龍太様と石川達也様に後期制作物を報告するものである。奥田様、石川様はインターネットで調べても分からない動物の生態について教えてくださる他、富士サファリパークに展示するためには制作物にどんな改善が求められるのかをアドバイスして下さるため、報告会でいただいたフィードバックを「SENSE OF HEART」の改良に活かしたいと考える。

(※文責: 中尾実柚)

### 5.6.6 グループ活動での反省点、役割分担について

Cグループは7人で開発を行い、プログラム班2人、外部構造班3人、設計・発表資料班2人で構成されている。各々にメインの役割があったものの互いに協力しあい、所属している班を超えて活動を進めた。開発を振り返って反省点としては3つある。1つ目は私たちの立てた仮説や予測の検証が不十分であったことである。当初心拍出量を表現するデバイスは心臓が出す血液の勢いを再現しようと考えていた。当初は水槽を横向きに使い、左右の壁から水を出す構造を考えていた。しかし、水圧ポンプの威力が足りず、実際の心臓の勢いを再現することが不可能であった。それに加え、心臓の形状や素材についても決定せずに、さまざまな心臓のプロトタイプを作成していった。このように、綿密に設計を行っていなかったために、結果的に必要のない物資などに資金を無駄に使用してしまう事態が発生してしまった。そして、横向きのデバイスでは溜まった水の処理や表したいものの分かりやすさの観点から縦向きの構造へと変更になった。縦向きに変更した後は、なるべく設計についてメンバーで話し合いを行うことで上記のような事態にはならないように努めた。メンバー全員の知識、経験が不足していたものの、初めからもっと熟考して設計を練ってから作業を進めていけば時間的、資源的なロスを削減することが出来たと考えるため、今後開発することがあればこの反省を活かしていきたい。2つ目はグループ内のコミュニケーション不足である。チーム開発の経験がないメンバーがほとんどであり、7人で意見を出し合うことはとても困難であった。活動中にグループに意見を出しても自分の意見は採用されないという思いや前述の通り成果物の機能変更が続くことなどで意見を出すことに消極的になってしまったメンバーがいた。そのメンバーが、グループから外れて作業を進める場面が出てきたりしていた。これらはメンバー間でのコミュニケーション不足が原因であると考えられる。成果物の制作に集中してしまい、1人がそのような行動に出てい

## Safari of the Future

たことに気づくことが出来ていなかった。全員が気を配り、1つのチームということ意識して会話を増やすことが出来ていたら、このようなすれ違いを防ぐことが出来たはずである。プロジェクト学習を通して、技術的な成長だけでなく、チーム開発で大事にすべきことについても学ぶことが出来たため、今後のあらゆる場面で活用したい。3つ目は計画性に欠けていたことである。光造形でゴム栓や手動心臓を作る際に、発表直前の印刷完了になってしまった。これは、プリンターが故障していたことや、卒論生と使用時期が被ってしまったことも関係している。しかし、そのような不測の事態を予想し、大幅に時間的余裕を持たせて印刷することを計画していれば、直前の完成になることはなかったはずである。またポスター印刷がA～Cグループすべて当日になり、誤字脱字が発生してしまった。これも制作物と並行してポスター作成を進め、制作物・発表資料など関係するもの全ての完成予定を「最終発表の数日前」と計画していれば、完全な状態で発表することが出来たはずである。さらに、材料の到着時期の見込みが甘く作業予定が押してしまったり、使用予定のものが足りなくなり追加購入したり、計画通りに進まないことが多数あった。今後は余裕を持って計画を立て、うまくいかない時には計画を修正する力を身につけられるよう努めていきたい。

(※文責: 中尾実柚)

## 第 6 章 プロジェクトと学習のまとめ

### 6.1 全体の計画

1年を通してのプロジェクト学習では主に以下のことを行った。

- ・前年度までの制作物のブラッシュアップ
- ・サファリパークに関する調査
- ・技術習得
- ・富士サファリパーク見学
- ・成果物の制作
- ・富士サファリパークへの報告会

以上のことを通し、サファリパークに関する知識、動物に関する知識、電子工作・スケッチ・フィールドワークに関する技術等、多くの有意義なインプットをすることができた。また、富士サファリパークの方への中間報告会などを通し、制作物のブラッシュアップなどのアウトプットもできた。後期のプロジェクト学習ではこれらの前期の活動を踏まえ、中間報告会や中間発表で頂いたフィードバックをもとに、アイデア出しや成果物の制作に向けて開発を行っていった。

(※文責: 坂本海斗)

### 6.2 中間発表のフィードバック

プロジェクト学習の中間発表会では、私たちサファリプロジェクトの前期までの成果に対するフィードバックを公立はこだて未来大学の学生、教員、職員、一般の方々から頂いた。フィードバックまでの流れは、ポスターとプレゼンテーション形式による発表、質疑応答、Google Formによる評価シートの記入の順番で行った。発表後の質疑応答では多くの意見が集まり、その場で回答できる範囲の質問に対してはすぐに回答を行った。また、実際に頂いた意見として、「SENSE OF LIFE に温度を加えて、鼓動と大きさ、温度を一気に体験できるのはどうか」「Switch のジョイコンを用いてのオンラインツアーは楽しそう」といった好印象を得られた。そして、私たちはこれらの意見を記録し、後期から始まるアイデア制作に活かそうと考えている。中間発表の Google Form による評価シートでは、発表技術についての平均評価は 10 点中約 8.3 点であり、プロジェクトについての平均評価は 10 点中約 8.6 点であった。また、発表技術についてのコメントとプロジェクトについてのコメントも寄せられ、実際のコメントとして、「聴衆を意識して話されていた」「従来の問題点を踏まえて改良を加えたという点が画像を通してわかりやすく伝えていた」「スライドに記載されていないが説明されているポイントがあったため、スライドに記載があるとよい」などがあった。この中でも特に評価されたポイントは、「聴衆を意識して話されていた」などの発表技術についてのものであった。この点に関してはサファリプロジェクト責任者の竹川先生にも高く評価された。これらの評価により、私たちサファリプロジェクトの前期までの成果を十分に発表できたといえる。しかし、当然否定的な意見もいくつか存在していた。実際のコメントを挙げると「動物目線での開発というのがあまりピンとこなかった」「動物中心で考えるという部分の説明が具体性に欠ける」などである。これらのコメントから、「動物中心で開発する」という理念はサファ

リプロジェクトの活動テーマに深く関わっている部分であり、正しく具体的な情報を発信していくべきだという反省点が挙げられた。今回のプロジェクト中間発表会で得られたフィードバックを後期の活動に活かしていこうと考えている。

(※文責: 坂本海斗)

### 6.3 サファリパークへの中間報告のフィードバック

富士サファリパークの方々に対する中間報告会は、ZOOMを用い、ミュージアムで行った。中間報告会では、前期に行った前年度までの制作物のブラッシュアップや後期制作物のアイデアの提案を行った。そして、9月に行う富士サファリパークでの展示会や富士サファリパーク内の動物に関する質疑応答を行った。また、ブラッシュアップの紹介ではポケレポを使用して、富士サファリパークの方々には展示物の動作を見せながら説明を行った。富士サファリパークの方々からは、各グループのブラッシュアップした制作物に対して、「展示向けにより改良されている」「動物の生態に基づいた機能が搭載されているのは興味深い」などといった好意的な意見を頂いた。また、「片手での操作を可能にして、オンラインツアーでの実用性を高めてほしい(ポケレポ)」「ぬいぐるみの大きさを統一して、動物の種類も増やしてほしい(いのちのぬいぐるみ)」「心拍数の違いを数値化することで分かりやすく(SENSE OF LIFE)」「歩かずにELEGを装着しただけで周りの振動を感知できるように(ELEG)」「ぞうの鼻でペンのような軽くていいので、モノを掴めるようにしてほしい(elEmotion)」といったそれぞれの成果物の改良につながる意見も頂いた。

また、後期制作物のアイデアである、肉球型体験デバイスや動物の健康管理アプリ、動物の視点体験デバイスに対してのフィードバックをいただいた。肉球型体験デバイスは、どの動物を再現するかによって使用用途が異なるというアドバイスをいただいた。また、動物の健康管理アプリについては、サファリでは常日頃から動物の餌の量や体温、採血による健康情報を取得していて、そのデータを分析することで体調の傾向を割り出せるかもしれないという提案をいただくことが出来た。また、この動物の健康管理アプリに画像認識による個体識別をする機能を加えてくれると、サファリでの有用性が上がるとの追加のアイデアを提案していただいた。最後に動物の視点体験デバイスについては、VRを使用しての実装を考えていることを伝えたところ、動物によって視野角の広さが違うため人間以上に視野角が広い動物の場合はどのように再現するのかや色の見え方も異なるためそこまで実装しようとすると難しいのではないかというアドバイスを得られた。以上の富士サファリパークの方々からの意見から、9月の富士サファリパークでの展示に向けて、成果物の改良を行い、より楽しい体験を提供することを目標とした。

(※文責: 坂本海斗)

### 6.4 サファリ見学を経て

9月に富士サファリパークでの展示会及び富士サファリパーク内の見学を行った。展示会では、来場者や富士サファリパークの方々には成果物を体験していただき、どちらともから好印象を得ることができた。特に、小学生くらいの子供からは直接的に見て、実際に触ってわかる「SENSE OF LIFE」や「いのちのぬいぐるみ」が人気であった。「SENSE OF LIFE」は前年度からのブラッシュアップにより、小型化とよりリアルな心拍の体験が非常に好評を得られた。「いのちのぬいぐる

み」は映像を用いることで、成果物の理解の手助けになっており、ぬいぐるみ自体を改良したことにより、以前よりも動物の「ぬくもりを感じられるようになったこと」やサファリでは触れない動物の皮膚を再現しているため「疑似ふれあい体験ができてよかった」との感想を多くいただいた。逆に、親世代の方々は「ポケレポ」や「ELEG」、「elEmotion」の技術的な部分について興味を持って頂いた。「ポケレポ」はジョイコンという来場者に対して、親近感が湧くようなものを使用していたため、「どのように扱うのか」「どうして Switch のジョイコンを使っているのか」などの質問が多く寄せられた。「ELEG」は子供でも体験できるように改良していたため、子供が体験している間に「どういう技術で像の足を再現しているのか」などの質問を親の方々からいただいた。「elEmotion」でも同様に像の鼻をどのように再現しているのかなどの質問をいただいた。また、富士サファリパークの方々からは、「展示向けに改良されていること」、「ポスターがあって概要が分かりやすく、満足度が高い」という評価を頂いた。その中でも、「ポケレポ」は実際に富士サファリパークの方にオンラインツアーの際に使っていただいているため、軽量化や操作性の向上について高評価を頂いた。以上のように、世代によって好まれるデバイスが異なることを知ることが出来た。そして、共通して評価していただいたのはサファリの方からの評価でも得られた「展示向けに体験しやすいデバイス」ということである。このことは後期からのアイデア制作の根幹に影響するべき、重要事項であることを意識して今後の活動に活かしていくべきである。

そして、富士サファリパークでの見学体験から様々な魅力を発見した。まず、展示の見せ方である。ふれあいゾーンでは、動物と直接触れ合うことが出来るため、ぬくもりを直接感じられるといった魅力があった。それに加えて、その動物の生態などの知識を得られるように展示されており体験と展示での情報提供の両方を兼ね備えていることを知った。また、サファリゾーンでは動物たちの生態に合わせた配置で展示されていることで園内の雰囲気を一層引き立てていた。動物の生態に関しては、富士サファリパークでは生息地に近い環境を再現し、自然な行動や生態を観察できるようになっていた。これにより、来場者は動物たちがより快適な生活をしている姿を間近に見ることができ、その生態を理解する手助けになっていた。そして、サファリゾーンツアーでは飼育員さんによる解説がなされ、どのような生態や習性があるのかなど飼育員の方しか知らないような情報を提供していただき、ここでも体験と情報の提供を同時に行われていて、来場者にとってとても印象深いツアーになっていた。また、飼育員さんの話から、富士サファリパークでは「動物とのふれあい」を大切にしていることを知った。この理念は、本プロジェクトでも重要事項として考えるべきである。本プロジェクトで制作物をより展示向けにすることで、この「動物とのふれあい」の疑似体験を可能にし、今回のサファリ見学で得られた体験と情報の提供を同時にすることで印象付けるといった方法をこれからの活動で活かすべきポイントである。

(※文責: 坂本海斗)

## 6.5 最終成果発表のフィードバック

プロジェクト学習の最終成果発表では、はこだて未来大学の学生、職員、一般の来賓者様に最終成果物の評価とフィードバックをしていただいた。様々な意見を頂き、今後の課題や学習の参考になるアドバイスなどを数多く頂いた。

フィードバックまでの流れは、ポスター+プレゼン形式による発表、質疑応答 Google Form による評価シートの記入の順番で行った。発表を行う際は、事前に用意したポスターやスライド、実機デモなどを使用した。初めに、全体で1年を通しての活動や各グループの成果物の概要について

発表を行い、その後に各グループに分かれてスライドや実機デモを行った。

最終成果発表の Google Form による評価シートでは、発表技術についての平均評価は 10 点中約 8.7 点であり、プロジェクトについての平均評価は 10 点中約 8.6 点であった。中間発表の際の発表技術についての評価よりも今回の約 0.4 点評価は高くなっているため、より技術が向上できたといえる。また、発表技術についてのコメントとプロジェクトについてのコメントも寄せられ、「全体の発表から各グループで個別にデモや詳しい説明をするという流れは良い」「デモを交えた説明で分かりやすかった」「実際のサファリパークの人からの意見を元に制作されていた」などがあった。この中でも、特に評価されていた点は「実機デモを用いた体験と説明」ということである。やはり実際に成果物を動かすことで、目的や機能が視覚的にもわかりやすく高評価を頂いた。これらの評価により、私たちサファリプロジェクトの 1 年を通しての成果を十分に発表できたといえる。しかし、全体的高い評価を頂くことができたが、プロジェクトについての評価で最低点である 4 点という評価を受けてしまった。内容としては、「成果物自体の完成度は高いが、その目的に関する詰めが甘いと感じた。動物との新たな関係とはなにかが分からず、質問したが要領を得ない答えが返ってきた」というものであった。この「動物との新たな関係」というものは、サファリプロジェクトの活動テーマに関わる部分である。中間発表の際も活動テーマに関わる部分が分かりにくいということを指摘されていた。それらを踏まえて正しい情報を発信していくことを意識して、今回の発表を行っていたが前回と同様の内容で酷評されてしまった。その原因としては、サファリプロジェクトの概要をわかっていることを前提に活動テーマを説明してしまっている、もしくはプロジェクト内での認識の統一が甘かったことが考えられる。これらを解決するために、もう一度サファリプロジェクトの活動テーマについて、外部の方々にもどのように発信していくかを決める必要がある。中間発表の際に続き、最終発表でも指摘されたこの問題点は今後同じような評価を得ないように反省する必要がある。この一つの酷評から私たちは多くの学びを得ることができた。今回の最終成果発表で得られたフィードバックを今後のサファリプロジェクトの活動に活かしていこうと考えている。

(※文責: 坂本海斗)

## 6.6 今後の展望と課題

今年度のプロジェクト学習を通し、3 グループに分かれて「PAWAP」「Teil Me」「SENSE OF HEART」の開発を行った。「PAWAP」は動物の肉球を体験できるデバイスで、「Teil Me」は動物のしっぽを体験できるデバイスである。これら二つは、人間にはない動物の特徴を体験できるデバイスである。そのため、体験できる動物の種類を増やすなどの体験の幅を広げることでより動物のことを理解でき、動物と人間との新たな関係を築くことにつながるはずである。また、「Teil Me」では動物の感情を元にしっぽの動きを再現しているため、最終発表の際に「実際に感情を脳波などから読み取って、しっぽと連動すると面白い」というコメントを頂いた。「感情」に対応するのは、まだまだ機能が足りないがブラッシュアップの手段としては興味深いものである。そして、「PAWAP」では今以上に肉球の大きさや質感などのリアリティを追求することで、より深い体験にすることが可能になると考えられる。最後に、「SENSE OF HEART」は動物と人間の心臓の拍出量の違いを体験できるデバイスと動物と人間の脈拍を体験できるデバイスである。これは、動物と人間が共通して持っている心臓に注目して、その違いを体験してもらうことでより動物を身近に感じてもらうことを目的としている。現在はまだプロトタイプの段階のため、まだまだ改善する

べきポイントはある。まずは、水分量の調整や模擬心臓の強度増加などがある。しかし、拡張性があり、心臓から血液を出すときの勢いを再現するなど、より心臓に近づける方法はあるため、今後の改良により大きく変化する可能性がある。

今後の課題としては、まず、活動テーマに関わる「動物中心の開発」「動物と人間との新たな関係」といった部分を正しく発信していくことである。今年度の間及び最終成果発表では、これらを正確に発信することができていなかったため、今後は改善して発信していく必要がある。今後の開発に関しても、これらの活動テーマは反映されていくため、これらの発信は最重要事項である。また、今年度のプロジェクト学習を通しての課題は、コミュニケーション不足である。後期から始まったアイデア制作で3グループに分かれて作業していたが、1つのグループ内で分裂が起こってしまい、別の成果物を作成するといった問題が起こってしまった。この問題を機に、プロジェクト内でも分裂が起こってしまった。この分裂の原因が、グループ内及びプロジェクト全体でのコミュニケーション不足であるグループ内では、成果物に対する不満などが溜まっていることに気が付かずに、制作を進めてしまったというのが原因である。また他グループが、分裂したグループ内の状況を詳しく把握していない段階で、不満を持っていた人物からのみの情報を得て、プロジェクト全体での分裂が加速してしまった。まずは、グループ内での話し合いなどをしていき、全員が制作物に対して同じ認識で制作を進めるべきであった。また、プロジェクト全体でその問題が浮き彫りになった段階で、早急に会議などで手を打つ必要があった。今回のプロジェクト学習で、複数人での開発の場合でのコミュニケーションがいかに重要であったか、私たちは十分に学ぶことができた。そして、今後の活動にもこの教訓を活かしていくべきである。

(※文責: 坂本海斗)

## 参考文献

- [1] 環境省 (2004) ”展示動物の飼養及び保管に関する基準の解説”. [https://www.env.go.jp/nature/dobutsu/aigo/2\\_data/pamph/display.pdf/](https://www.env.go.jp/nature/dobutsu/aigo/2_data/pamph/display.pdf/) (参照 2023/07/18)
- [2] IoT ソリューション (2022) IT で変わる、未来型テーマパークとは. ウェアラブルデバイス活用で生まれる新しい価値. <https://www.tranzas.co.jp/column/theme-park-with-wearable-device/> (参照 2023/07/14)
- [3] 日本動物園水族館協会. JAZA について. (公社) 日本動物園水族館協会の4つの役割. <https://www.jaza.jp/about-jaza/four-objectives> (参照 2023/07/14)
- [4] 平田竹川研究室. ミライノサファリ. <https://hiratakelab.jp/safariofthefuture/> (参照 2023/07/14)
- [5] 樋口広芳 (2001) 高度情報通信技術を利用した野生動物の移動追跡. 日本生態学会誌, 特集 生態学と IT, 51:205-214
- [6] 小山奈穂 (2012) 日本のゾウ飼育における福祉的管理法の検討. 甲第 54 号, 神奈川
- [7] 川田志明 (2015) キリンの高血圧、ゾウの巨大心. 日本公益財団法人日本心臓団. <https://www.jhf.or.jp/publish/bunko/54.html> (参照 2024/01/16)
- [8] ブタの心臓を人体に移植 米で世界初の成功. 日本経済新聞. 2022-1-11 <https://www.jhf.or.jp/publish/bunko/54.html> (参照 2024/01/16)
- [9] mayumine (2017) 本物の心臓にかなり近づいた、3D プリンターで作られたシリコン製の人工心臓. GIZMODO. [https://www.gizmodo.jp/2017/07/3d\\_209.html](https://www.gizmodo.jp/2017/07/3d_209.html) (参照 2024/01/16)
- [10] 伊藤 瑳恵 (2016) 3D プリンターで作る「心臓」、量産へ. 日経 XTECH. <https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/feature/15/327441/120900156/> (参照 2024/01/16)
- [11] 東京医科大学八王子医療センター”心臓の構造と機能 - ハートマークの秘密と真実 -”. [https://hachioji.tokyo-med.ac.jp/assets/department/images/230322cvs\\_newsletter.pdf](https://hachioji.tokyo-med.ac.jp/assets/department/images/230322cvs_newsletter.pdf), pp.5-6, 2023. (参照 2023/10/30)
- [12] 井上 佑貴, 伊藤 雄一, 尾上 孝雄”TuVe: チューブを用いたフレキシブルなディスプレイ”. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/24/3/24\\_293/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tvrsj/24/3/24_293/_article/-char/ja/), pp.294-295, 2019. (参照 2023/10/30)
- [13] 門脇信傑, 鈴森康一, “スラグ科学プロセス用スライド式三方弁の開発,” 日本機械学会論文集C編, Vol.78, No.785, pp.1109-1118, 2011.