

公立はこだて未来大学 2025 年度 システム情報科学実習

グループ報告書

Future University Hakodate 2025 Systems Information Science Practice
Group Report

プロジェクト番号/Project No.

03

プロジェクト名

食の GX

Project Name

Food GX for sustainability

グループ名

グループ A

Group Name

Group A

プロジェクトリーダー/Project Leader

西村流希也 Nishimura Rukiya

グループリーダー/Group Leader

西村流希也 Nishimura Rukiya

グループメンバー/Group Member

近藤陽亮 Kondo Yosuke

小川晏梧 Ogawa Ango

北村一真 Kitamura Kazuma

澤田太陽 Sawada Taiyo

神孔陽 Jin Koyo

坪優希 Tsubo Himari

内藤岳玖 Naito Gaku

中村碧那 Nakamura Aona

指導教員

和田雅昭教授 長崎健教授

Advisor

Prof. Wada Masaaki Prof. Nagasaki Takeshi

提出日

2026年1月21日

Date of Submission

Jan. 21, 2026

概要

本プロジェクトでは、水産物の生産過程におけるデータを可視化することで GX（グリーン・トランスフォーメーション）の実現を目指している。GX とは、脱炭素社会の実現に向けて産業構造や社会システムを変革する取り組みを指す。本プロジェクトの対象は、北海道八雲町で生産されている「北海道二海サーモン」であり、私たちは八雲町熊石サーモン種苗生産施設において、水質や給餌量を含む生育管理をデータによって可視化・効率化し、持続可能な養殖モデルの構築に取り組んでいる。

前期では、種苗生産施設の担当者が使用するスマホアプリ「養殖日誌」で見られる、給餌量、へい死数、各種作業記録、生簀から取得される溶存酸素量を Web サイト上でも可視化するための基盤整備を行った。これにより、蓄積されたデータをもとに給餌量の最適化や水質悪化の兆候把握が可能となり、食べ残しによる水質汚濁の防止、疾病リスクの低減、生育効率の向上など、養殖工程の最適化への道筋を示した。

後期では、IoT デバイスを生簀に実装し、溶存酸素センサを用いて水温・溶存酸素量をリアルタイムに取得するシステムを構築した。M5Atom と M5Stamp を組み合わせた ESP-NOW 通信および Wi-Fi 通信を利用し、Firebase Realtime Database へ自動送信する仕組みを整備したことで、屋内外間の距離を超えて安定した長距離通信を実現した。また、Web サイトでは、リアルタイムモニタリング、過去データのグラフ表示、月報の生成、Excel・PDF 出力、管理用ページなど、施設担当者や行政担当者が日常的に使用可能な機能を実装した。

これらの成果により、データに基づく精密な給餌管理と水質管理が可能となり、餌コストの削減や電力使用量の低減、魚病リスクの抑制など、持続可能で効率的な水産養殖の実現に寄与することが期待される。本プロジェクトは、地域水産業の課題解決と GX の推進に向けた重要なステップとなるものである。

キーワード IoT, Web サイト, センサ, スマート化, GX

(※文責：神孔陽)

Abstract

In this project, we aim to realize GX by visualizing data in the aquaculture production process. GX stands for Green Transformation and refers to efforts to achieve a decarbonized society. The main target of this project is “Hokkaido Futami Salmon,” produced in Yakumo Town, Hokkaido, and we chose the Yakumo Town Kumaishi Salmon Seedling Production Facility as our test site. Right now, we are working on visualizing and streamlining water quality management, feeding records, and other seedling data to build a more sustainable aquaculture model at the test site.

Since 2025, staff members at the facility have been using an application called digital diary. In the first half, we developed the foundation for a website that can visualize the feeding amount, the number of dead or dying fish, and dissolved oxygen data observed from the fish tanks. Using these visualized data makes it possible to optimize feeding practices, which helps prevent deterioration of water quality caused by excess pellets and reduces the risk of disease. Monitoring dissolved oxygen also allows the facility to maintain an optimal environment for the fish, contributing to lower mortality and improved growth efficiency. These improvements are expected to reduce feeding costs and support sustainable aquaculture.

In the second half, an IoT device was installed in a fish tank to automatically acquire real-time water quality data using a dissolved oxygen sensor. By building a communication system using M5Atom and M5Stamp the sensor data can be sent to Firebase Realtime Database even across long distances between the fish tank and the office building. In addition, we developed a website that enables real-time monitoring, graphical visualization of past data, automatic generation of monthly reports, file export to Excel and PDF, and management functions.

Through these developments, precise data-driven control of feeding and water quality becomes possible, which contributes to reducing feed waste, lowering electricity consumption, and preventing fish diseases. This project is expected to contribute not only to the realization of GX but also to establishing a sustainable fisheries model for the region.

Keywords IoT, Web site, Sensor, Smartification, GX

(※文責：神孔陽)

目次

第1章 はじめに	1
1.1 背景と研究動機.....	1
1.2 本プロジェクトの目的およびその重要性.....	1
第2章 本研究に必要なスキルセットと解決戦略	2
2.1 IoT とクラウド連携.....	2
2.2 Web サイト作成.....	2
2.3 GX の実現方法.....	2
2.4 関連研究.....	3
第3章 前期に行なった活動の要約および成果	4
3.1 フィールドワーク.....	4
3.2 養殖サイクルにおける担当部分と管理方法.....	5
3.3 IoT を用いた生簀の溶存酸素の測定.....	6
3.4 Web サイトの作成.....	7
3.5 基本機能の実装.....	7
3.6 後期の活動予定.....	8
第4章 後期に行なった活動の要約および成果	8
4.1 溶存酸素センサの実装と稼働.....	8
4.2 Web サイトの機能の追加、改善.....	9
4.3 サーバ上での実装・運用.....	11
4.4 実証実験.....	11
4.5 フィールドワーク.....	12
4.6 オンラインミーティング（10月29日）.....	15
4.7 オンラインミーティング（12月19日）.....	16
第5章 結果	17
5.1 IoT の結果.....	17
5.2 IoT の基本機能の完成.....	17
5.3 Web サイトの結果.....	19
5.4 Web サイトの基本機能の完成.....	19

第6章 考察	20
6.1 成果のまとめ	20
6.2 運用上の課題	21
6.3 データ活用の可能性.....	21
6.4 総合的評価と意義.....	21
第7章 今後の展望	21
7.1 システムの改良と拡張.....	22
7.2 新機能の追加	22
7.3 社会的・環境的効果の期待.....	22
7.4 実証と運用の継続.....	22
参考文献	23

第1章 はじめに

1.1 背景と研究動機

近年、地球温暖化や気候変動の深刻化に伴い、持続可能な社会の実現に向けた取り組みが世界的に進められている。日本においても、2023年2月に経済産業省が取りまとめた「GX実現に向けた基本方針」において、農林水産業の脱炭素化とその「可視化」による消費者の行動変容が掲げられている（経済産業省，2023）[2]。特に、水産業では生産工程における環境負荷の算出や、その低減を目指した技術革新が進められている。

本プロジェクトでは、このような社会背景のもと、食材の生産過程における環境負荷を可視化することを目的とする。環境負荷の「可視化」は消費者の行動を変えるだけでなく、生産者にとっても工程改善の指標となり、サステナブルな社会の実現にも繋がると考えられる。

私たちは、北海道八雲町の協力を得て、「北海道二海サーモン」の生産過程における環境負荷の可視化に取り組んだ。生産過程のうち、陸上で行われる種苗生産では、特に夏期の高水温時に、溶存酸素量の低下によって養殖魚が酸欠死するという課題が報告されており、リアルタイムでの水質管理が求められている。

（※文責：神孔陽）

1.2 本プロジェクトの目的およびその重要性

本プロジェクトでは、IoT技術を用いて溶存酸素センサの値を取得し、リアルタイムに保存・可視化できるクラウド型データベースを用いたシステムの構築に取り組んでいる。さらに、種苗生産施設で使用されているスマホアプリ「養殖日誌」と連携し、取得したデータをブラウザ上で八雲町役場の担当者が確認できるWebサイトの開発も行っている。

溶存酸素等のデータを可視化することで、養殖魚を健康に飼育し、給餌量の最適化による環境負担の低減を目指す。これらの活動によるGXの実現を目的としている。

本プロジェクトは、GXという社会課題に対して技術で答える実践的な場であり、今後も持続可能な水産業の実現に貢献するシステムを構築していく予定である。

(※文責：神孔陽)

第2章 本研究に必要なスキルセットと解決戦略

2.1 IoT とクラウド連携

本プロジェクトでは、M5Atom Lite を用いて、OPTOD NUMERICAL SENSOR から取得した溶存酸素量の値を、M5Stamp と ESP-NOW 通信で中継しながら、最終的に Wi-Fi 経由で Firebase Realtime Database に送信する。クラウドに保存されたデータは、Web サイト上でリアルタイムに可視化される。これには、センサ制御、マイコンの通信設定、データベース設計・運用といった技術が必要であり、これらは「情報処理演習 II」や「データベース工学」で学ぶ内容と深く関わっている。

(※文責：神孔陽)

2.2 Web サイト作成

Web サイトの作成には、複数のプログラミング言語が必要になる。基本のページ構造には主に HTML を用いる。レイアウトなどの拡張デザインには CSS を用いる。JavaScript で動きや操作に応じた処理を設ける。グラフや PDF の作成は Python 等で行う。プロジェクトメンバーで分担し、それぞれのプログラミング言語を学習する。

(※文責：西村流希也)

2.3 GX の実現方法

可視化されたデータを用いると、給餌量を最適化することができる。餌を与えすぎてしまうと、食べ残しや消化しきれずに排出された有機物が水質を悪化させてしまう。水質悪化を未然に防ぐことにより、養殖魚が病気になるリスクを減らすことができる。

また、溶存酸素量や水温をモニタリングすることにより、養殖魚にとって最適な環境を維持し、死亡率の低下や生育効率の向上を実現することができる。結果的に餌の無駄や電力使用削減につながり、環境負荷とコストの両方を抑えることができる。

(※文責：西村流希也)

2.4 関連研究

従来の養殖では、給餌方法に起因して個々の魚の成長度にばらつきが生じ、共食いによるへい死や成長の遅れといった損失が発生しやすいという課題がある。これは養殖業における経済的損失だけでなく、限りある餌資源の浪費にも繋がり、環境面においても大きな課題である。この課題に対し参考となるのが、福山大学による研究「人工知能を活用した自発給餌システムによるシロギス養殖の高効率化および低コスト化に関する検討」である(有瀧, 2019) [1]。

この研究ではAIを用いた給餌最適化シミュレーションが実施された。具体的には、AIの学習において、以下の項目が重要な評価指標として設定された。

1、成長の均一化：シロギス個体間のサイズのばらつき（分散）が減少した場合に、正の報酬（+0.05）を付与する。これにより、均質な成長を促す。

2、ロスの削減：養殖における大きな損失要因である共食いが発生した際には、大きな負の報酬（-1）を付与する。

3、育成期間の短縮：時間の経過に対して負の報酬（-0.001）を設定することで、より短期間で効率的な成長が促される設計となっている。また、同シミュレーションの結果から、実験環境下における費用対効果を最大化する給餌器の台数は3台であるとの知見が得られている。

本プロジェクトにおいて、上記研究で示されたようなAIによる完全な給餌自動化システムの導入をする予定はない。

しかし、同研究で明らかになった「給餌量の最適化がもたらす効果」、すなわち「成長の均一化」「ロスの削減」「育成期間の短縮」という考え方は、私たちの目標達成においても極めて重要である。

この知見に基づき、データに基づいた給餌戦略を策定・実行することで、養殖効率の改善とそれに伴う環境負荷の低減（GX）を目指す。

(※文責：澤田太陽)

第3章 前期に行なった活動の要約および成果

3.1 フィールドワーク

2025年5月17日、八雲町熊石サーモン種苗生産施設（以下、「種苗生産施設」）にてフィールドワーク(図3.1)を行った。当日は、種苗生産施設の担当者および八雲町役場の担当者に同席いただき、種苗生産施設の見学を行うとともに、あらかじめグループメンバーで準備していた質問をいくつか伺った。Canvaを用いて意見出しを行い、質問を準備した。

現在、記録にはスマホアプリ「養殖日誌」(図3.2)を用いている。八雲町役場の担当者は、記録されたデータを必要としているが、データの閲覧方法がない状態であった。そこで、八雲町役場の担当者がブラウザ上でデータを閲覧できるWebサイト(図3.3)を作成することにした。

現在、種苗生産施設では、養殖魚に必要な酸素を供給するために、酸素発生装置を使用しており、これにかかる電気代は1日あたり約5,000円と試算されている。今後、リアルタイムでの水質管理を通じて、必要なときに必要な量の酸素を供給するなど、運用の最適化を図ることで、これらの電力使用量の削減が期待される。



図3.1：種苗生産施設でのフィールドワークの様子



図 3.2 : 「養殖日誌」の画面

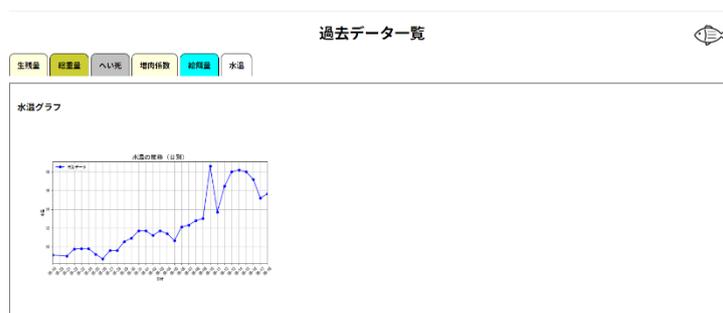


図 3.3 : Web サイトのデモ画面

(※文責：西村流希也)

3.2 養殖サイクルにおける担当部分と管理方法

八雲町の養殖は、卵から養殖魚までを淡水で育て、その後、海面の生簀で成魚に育てる二段階の工程で行われている。

私たちが担当しているのは、前半の淡水養殖における水質管理の効率化である。この段階では、水温や溶存酸素量の管理が養殖魚の健康と成長に大きく影響する。

特に夏場には溶存酸素が不足しやすく、実際に酸素不足によって養殖魚が病気になる事例も報告されている。そのため、私たちは、溶存酸素量や水温などの水質データに加え、給餌量や養殖魚の死亡数などの生育データをリアルタイムで監視・可視化し、迅速かつ的

確な対応を可能にする仕組みづくりに取り組んでいる。

(※文責：神孔陽)

3.3 IoT を用いた生簀の溶存酸素の測定

現在、種苗生産施設では生簀の溶存酸素を計測する際、都度手作業でセンサを生簀に入れて計測し、値を記入している。過去に施設では、計測時間外に溶存酸素量が小さくなりすぎてしまった結果、サーモンが病気にかかってしまうことがあった。私たちは、IoT を用いて溶存酸素量を計測することで、リアルタイムで値が取得できると考え、実行することにした。

溶存酸素を計測するセンサは、AQUALABO 社の OPTOD NUMERICAL SENSOR を使用する。また、インターネットを利用して値をリアルタイムで取得するが、生簀は種苗生産施設の事務所から離れており、データ転送が困難であった。そのため、M5Atom Lite と M5Stamp を ESP-NOW 通信でつなげることで、長距離のデータ転送を試みることにした。これらのシステム構成の概要を示す（図 3.4）。

値を受け取るクラウドは Firebase を使用することにした。Firebase であれば Firebase Realtime Database によって、取得した値をリアルタイムでセンサから受け取ることができる。また、取得した値の Firebase へのアップロードも可能にした。

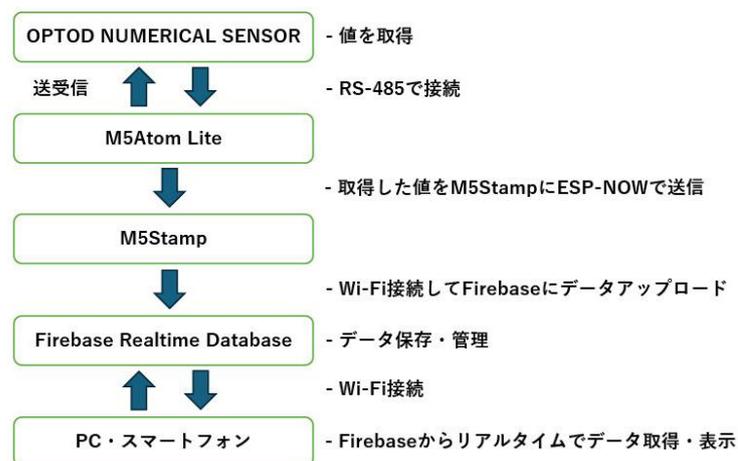


図 3.4：システム構成の概要

(※文責：小川晏梧)

3.4 Web サイトの作成

種苗生産施設での溶存酸素量をリアルタイムで確認でき、各生簀のデータを可視化できる Web サイトの作成に取り組んだ。Web サイトにした理由は、どのデバイスであってもブラウザ上で閲覧が可能なことや、ネイティブアプリに比べて開発環境の制約やプログラミング言語の習得等において利便性が高かったからである。

基本的な Web サイトのデザインは HTML、JavaScript、CSS を使い、機能は Python を用いて実装した。

(※文責：内藤岳玖)

3.5 基本機能の実装

種苗生産施設で使用されている「養殖日誌」で記録されたデータを取得・表示できるようにした。「養殖日誌」で記録されたデータは、CSV 形式で記録されているため視認性が低く、閲覧には向かない。そのため、閲覧しやすい Excel ファイル形式で表示できるようにした(図 3.5)。

八雲町役場の担当者がデータの変化に気づきやすくするため、Python を用いて各生簀のデータを自動的にグラフ化する機能を実装した。さらに、これまで種苗生産施設の担当者が手作業で作成し、八雲町役場の担当者に送信していた作業月報を、Web サイト上で表示できるようにした(図 3.6)。

日付	生簀番号	生体数	経産数	へい死	主産	へい死	その他	総産数	水温	DO	時間	飼料	食残	海綿除	水質	天候	水口	水	備考	実行表	
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	46	10.9	8:48	8:50			853.213.2 A					109	竹内
2025-05-14	12	0	0	0	0	0	0	0	46	10.9	8:7	8:25			853.213.2 A					109	竹内
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	40	10.5	8:87	9:00			853.213.2 A					110	竹内
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	40	10.6	8:82	9:10			853.213.2 A					110	竹内
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	40	9.5	9:28	9:30			853.213.2 A					110	竹内
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	40	9.7	9:08	8:35			853.213.2 A					110	竹内
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	40	9.8	8:5	9:30			853.213.2 A					111	村田
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	40	9.6	8:82	9:30			853.213.2 A					111	村田
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	40	8.7	9:14	8:55			853.213.2 A					119	竹内
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	40	8.7	8:89	9:00			853.213.2 A					119	竹内
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	40	9.2	9:24	9:00			853.213.2 A					112	竹内
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	40	9.2	8:59	9:10			853.213.2 A					112	竹内
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	40	9.28											
2025-05-13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	9.28	9:00				852.02.0 A					110	村田
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	40	9.8	9:13	9:30			852.02.0 A					110	村田
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	40	9.8	9:25	9:30			852.02.0 A					111	村田
2025-05-13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	8.97	9:30				852.02.0 A					111	村田
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	40	9.8	9:25	9:30			852.02.0 A					111	村田
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	40	9.7	8:20	8:35			852.02.0 A					112	竹内
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	34	9.8	8:9	9:00			852.02.0 A					112	竹内
2025-05-5	5	0	0	0	0	0	0	0	22994	0											
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	68	9.42	9:00				852.02.0 A					115	竹内
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	68	9	9:12	9:10			852.02.0 A					115	竹内
2025-05-5	5	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0									111	竹内
2025-05-7	7	0	0	0	0	0	0	0	23122	0					852.02.0mm					111	竹内
2025-05-7	7	0	0	0	0	0	0	0	23922	0					852.02.0mm					111	竹内
2025-05-8	8	0	0	0	0	0	0	0	5	23968	0				852.02.0mm					111	竹内
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
2025-05-14	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
2025-05-5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
2025-05-6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
2025-05-12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	17	9.1				852.02.0 A					116	竹内
2025-05-6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	17	9.1				852.02.0 A					116	竹内
2025-05-7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	17	9.1				853.02.0 A					116	竹内

図 3.5 : 「養殖日誌」のデータをまとめた Excel

月報 

年 [2025年] 月 [6月]

日付	天候	取水口水位	餌種	給餌量	へい死
2025-05-01	BC	106.0	B93.2(3.2mm)	46.0	3
2025-05-02	R	105.0	B93.2(3.2mm)	46.0	0
2025-05-03	C	105.0	B93.2(3.2mm)	46.0	1
2025-05-04	R	106.0	B93.2(3.2mm)	50.0	0
2025-05-05	C	107.0	B93.2(3.2mm)	50.0	1
2025-05-06	C	106.0	B93.2(3.2mm)	50.0	0
2025-05-07	R	108.0	B93.2(3.2mm)	50.0	0
2025-05-08	C	105.0	B93.2(3.2mm)	56.0	3
2025-05-09	BC	104.0	B93.2(3.2mm)	56.0	2
2025-05-10	B	104.0	B93.2(3.2mm)	56.0	1
2025-05-11	C	104.0	B93.2(3.2mm)	56.0	1
2025-05-12	C	102.0	B93.2(3.2mm)	56.0	4
2025-05-13	BC	102.0	B93.2(3.2mm)	60.0	1
2025-05-14	BC	101.0	B93.2(3.2mm)	60.0	2
2025-05-15	C	100.0	B93.2(3.2mm)	60.0	7
2025-05-16	C	100.0	B93.2(3.2mm)	70.0	2
2025-05-17	R	114.0	B93.2(3.2mm)	70.0	0
2025-05-18	C	114.0	B93.2(3.2mm)	70.0	3

図 3.6 : Web サイト上で閲覧できる作業月報

(※文責 : 内藤岳玖)

3.6 後期の活動予定

Web サイト作成をこれからも進めていき、実際に八雲町役場の担当者が閲覧するために十分な機能を備えていく。さらにUIの向上にも努めていく。

また、前期で行ったセンサのIoT化の試験結果をもとに、実際に現地でセンサを実装し、データを取得したい。さらに、溶存酸素量だけでなく、生簀の水の透明度や河川の水位などの数値の可視化も行っていきたいと考えている。

最終的には、環境負荷の可視化と最適化によるGXの推進。種苗生産施設の担当者や八雲町役場の担当者の支援になるツールを作成していく。

(※文責 : 西村流希也)

第4章 後期に行なった活動の要約および成果

4.1 溶存酸素センサの実装と稼働

前期では、センサから取得した値をFirebaseで受信することに成功した。これを踏まえ後期では、まず取得データの信頼性検証を行った。その結果、実際の値と相違がないことが確認できたため、現地での設置への準備に取り掛かった。

次に現地での恒久的な運用を想定し、センサ回路をユニバーサル基板にはんだ付けで実装した。また、屋外設置用の電源として自動車用バッテリーを採用した。これらは屋外に設置する予定だったため、計測機器一式（センサ回路、溶存酸素センサ、自動車用バッテリー）を防水容器へ収納した。その他の機器（受信機、ルーター）は屋内設置の予定だったため防水等の対策は施さなかった（図 4.1）。

開発過程においては、M5StampC3U を AC アダプタで稼働させた際に、本体の消費電力が僅少であるためにアダプタのオートパワーオフ機能が作動し、給電が停止するという問題が発生した。この問題は、同機能を搭載していない旧式の AC アダプタを使用することで解決し、安定した常時稼働環境を確保した。



図 4.1：計測機器一式とその他の機器

(※文責：小川晏梧)

4.2 Web サイトの機能の追加、改善

前期のデジタル化（作業月報、データ出力）に続き、Web サイトのさらなる機能の実装と改善を行った。

生残量、総重量、へい死数などのデータ推移を担当者がより見やすく確認できるよう、データグラフの表示機能を実装した（図 4.2）。

さらに、利用者が操作方法をすぐに確認できるように、Web サイト上で取り扱い説明書を閲覧できる管理用ページを設けた(図 4.3)。トップページでは、生簀を選択することで目的の情報へ素早くアクセスできるよう改善した。

また、データが更新されていない問題を一目で把握できるように、該当箇所を赤字で表示する仕組みを追加した(図 4.4)。



図 4.2 : Web サイト上で確認できるデータグラフ



図 4.3 : Web サイト上で確認できる管理用ページ



図 4.4 : 該当部分が赤文字で表示された場合のトップページ

(※文責：澤田太陽)

4.3 サーバ上での実装・運用

前期に引き続き、レンタルサーバ上に Web サイトのデプロイと動作確認を行った。Firebase Realtime Database からセンサデータを取得する際、レンタルサーバの Python のバージョンの都合により、Firebase を扱うためのライブラリである Firebase-admin が依存する grpcio ライブラリのインストールが困難であったため、REST API を用いた方法に変更した。

また、各生簀のデータ表示において、指定した時間に定期的にデータを取得することで、マップから各生簀をクリックした際にロードが発生せず、即時にデータが表示されるよう改善した。

(※文責：内藤岳玖)

4.4 実証実験

2025 年 10 月 24 日、大学構内にてセンサの通信距離および通信安定性を確認する実証実験を行った (図 4.5)。この実験の目的は、M5Atom Lite と M5Stamp を ESP-NOW 通信で接続した際、離れた位置でも安定してデータ送受信が可能かを確認することである。

実験では、実際の現場環境を想定し、M5Atom Lite と M5Stamp を直線距離 50～60 メートル離して設置し通信を行った。両者の間には建物の壁や柱などの障害物が存在した。

送信データは Firebase にアップロードし、PC 上でリアルタイム確認を行った。データ送信間隔を約 30 秒に設定し、数十分間連続で通信を行った結果、障害物がある環境でも通信は安定しており、Firebase 上で溶存酸素量の値がリアルタイムに更新されることを確認できた。

この実験により、ESP-NOW 通信を用いた長距離通信が実際の養殖場環境でも十分に機能する見込みが得られ、この結果を踏まえて翌 25 日のフィールドワークで機器の実装を行った。



図 4.5： 実証実験の様子

(※文責：神孔陽)

4.5 フィールドワーク

2025 年 10 月 25 日、種苗生産施設にて 2 度目のフィールドワーク（図 4.6）を行った。当日は種苗生産施設の担当者にも同席いただいた。

最初に、あらかじめ準備していた説明資料を用いて、センサの取り扱い方法について説明した。具体的には、センサの設置方法、ケーブルの引き方、黒いカバーを外しての浸水手順、受信機とルータの設置手順、データが更新されない場合の対応方法などについて手順を追って説明した。

続いて Web サイトの利用方法について説明した。ブラウザ上での最新データ確認、データグラフの見方、月報や Excel/PDF 形式でのデータ出力方法、各ページ間の操作方法などを説明した。

その後、準備していたセンサを実際に生簀へ設置した（図 4.7）。設置作業では、防水容器を安全かつ安定的に配置することを意識して作業を進めた。設置後は Web サイト上でセンサから送信されるデータがリアルタイムに反映されることを確認し、正常な更新が行われていることを確認した。

このフィールドワークにより、種苗生産施設の担当者への使用説明とセンサの実装を同時に実施でき、リアルタイムでの水質データ取得・可視化が可能な環境を整備することができた。



図 4.6 : 種苗生産施設での 2 度目のフィールドワークの様子



図 4.9 : 機器一式を収納した防水容器

(※文責 : 神孔陽)

4.6 オンラインミーティング (10月29日)

2025年10月29日、学内にてオンラインミーティング(図4.10)を行った。ミーティングには、種苗生産施設の担当者、八雲町役場の担当者、北海道電力の担当者が参加した。

ミーティングでは、フィールドワークで設置したセンサおよびWebサイトの利用方法について説明した。Webサイトは他の取引先にも共有されることになった。また、閲覧に際して特別なパスワード等の設定は不要であることを確認した。

さらに、センサで取得した最新データを、「養殖日誌」でも確認できるようにしてほしいという要望が挙げられた。

加えて、設置済みのセンサの回収時期や設置位置の変更についても、今後検討を進めていく予定である。



図 4.10 : オンラインミーティングの様子

(※文責 : 神孔陽)

4.7 オンラインミーティング (12月19日)

2025年12月19日、種苗生産施設の担当者を交えてオンラインミーティング(図4.11)を実施した。

センサについては、休日や災害時など現地に行けない状況でも溶存酸素量を遠隔で確認できる点が高く評価された。特に、溶存酸素量が一定値を下回った際に通知を行うアラート機能への評価が高かった。また、通知先を複数設定できる点や、生簀ごとに通知を行える点についても前向きな反応が得られた。

さらに、センサの海水利用や他地域での運用可能性についても議論が行われた。一方で、塩害への対策など耐環境性の向上が今後の課題として挙げられた。Web サイトに関しては、魚数の把握や餌の在庫管理機能に対する具体的な改善要望が示され、実運用を想定した課題が明確になった。

本ミーティングを通じて、現場のニーズを把握するとともに、今後のシステム改良に向けた有益な知見を得ることができた。



図 4.11 : オンラインミーティングの様子

(※文責 : 神孔陽)

第 5 章 結果

5.1 IoT の結果

本プロジェクトでは、IoT 技術を用いて AQUALABO 社の OPTOD NUMERICAL SENSOR による溶存酸素量および水温の測定値を取得し、リアルタイムでクラウド型データベースに保存・可視化できるシステムを構築した。センサは M5Atom Lite と RS-485 で接続され、取得したデータは ESP-NOW 通信を介して中継器である M5Stamp に送信される。M5Stamp は Wi-Fi 経由で Firebase Realtime Database にデータを送信し、Web サイト上で 30 秒ごとにリアルタイムに確認可能である。

種苗生産施設では、事務所と生簀が離れているため、安定した長距離通信を実現するために、中間地点である養成池に中継器と Wi-Fi ルータを設置した。

(※文責 : 小川晏梧)

5.2 IoT の基本機能の完成

5.2.1 ライフサイクル（時系列）

はじめに、送信ノードを低消費電力状態から起動させ、短時間の安定化待ちを挟んで計測バスを初期化した。その後、無線モジュールを計測用の固定チャンネルに設定し、受信側の相手機を登録する。そして、センサに測定開始を指示し、内部処理時間を考慮して待機した後、必要なレジスタ群を一括で読み出し、取得した値は計測パケットにまとめ、無線送信の成功率を高める方法（後述）で送信した。送信が完了した後は、配線の安定化とバッテリー消費を抑えるために、インタフェースと無線を順次停止し、所定時間の低消費電力動作に移行させた。

5.2.2 Modbus I/O の設計

計測系には RS-485 を使用しており、送信時のみドライバ制御線を有効にすることで、バスの衝突や反射を防ぐようにしている。フレームの切り出しには、受信が途切れる「サイレント期間」を終端条件として使用し、さらにプロトコル既定の巡回冗長検査でデータの整合性を確認した。センサの数値はビッグエンディアン形式で表現されるため、受信後にホスト側の形式へ安全に変換することができる。また、関連する連続領域を一括で取得し、応答の妥当性（機器アドレス、機能コード、バイト数、検査値）をすべて満たした場合にのみ採用する。

5.2.3 失敗時の観測可能性（ダミー設計）

実際の運用では、計測や応答が失敗しても観測が途切れないことが重要である。そこで、直前にセンサへ送信した要求フレームの内容を安全な形式に再符号化し、さらにダミーであることを識別できる印を付けて送信する。これにより、無線経路やクラウド側での監視は継続でき、現場ではいつ・どの段階で問題が発生したかを後から追跡できるようになる。

5.2.4 無線送信の確実化

送信は、受信側と同一の無線チャンネルに固定し、送信の瞬間だけ省電力機能を解除することで、電波の即時性と到達性を確保している。また、同一内容を少数回に分けて間隔を空けて送る「バースト送信」を採用することで、周囲の干渉や一瞬の通信途絶に対する耐性を持たせている。各送信の成否は、無線スタックからの完了通知で確認し、過度な待ち時間を避けつつ確実に送信できるようにしている。

5.2.5 低消費電力動作（安全停止）

計測バスは送信ドライバ線を不活性状態に固定し、装置の保持機能によってその状態を維持する。また、シリアルや無線は順序立てて停止させることで、不要な待機電流を排除

する。さらに、低消費電力状態への移行前に復帰要件（タイマなど）を設定することで、定期的な計測・送信サイクルを安定して繰り返すことが可能となる。これにより、電力消費を抑えつつ長期運用が可能となる。

5.2.6 動作モードの切り替え（簡易状態機械）

通常時は無線近距離通信の受信に専念し、計測パケットを順次キューに蓄える。そして、一定の条件（キューの蓄積や送出可能なタイミング）が整うと、受信用の無線を一時停止し、Wi-Fi 接続に切り替えてまとめてクラウドへ転送する。送出が完了するか、外部ネットワークが不安定な場合には、すぐに受信専念の状態に戻る。これにより、無線の共存干渉を避けつつ、安定した受信と送出を両立することができる。さらに、受信と送出のタイミングを柔軟に管理できるため、通信環境の変動にも強い設計ができた。

5.2.7 エラーの「見える化」方針

計測や通信に失敗した場合でも、無視するのではなく識別可能な形で上位へ伝える。これにより、現場ではセンサ側の課題、無線環境の課題、外部ネットワークの課題を切り分けやすく、対応の優先順位を明確にできる。また、送信側・受信側の両方で適切なログを残すことで、後追いの再現性も高められる。さらに、障害の発生箇所やタイミングを把握できることで、運用上の改善策を検討することができる。

（※文責：小川晏梧）

5.3 Web サイトの結果

本プロジェクトでは、八雲町熊石サーモン種苗生産施設での水質データをリアルタイムで確認し、各生簀のデータを可視化できる Web サイトを開発した。

（※文責：内藤岳玖）

5.4 Web サイトの基本機能の完成

本 Web サイトは、「トップページ」、「データグラフ」、「月報」、「データ出力」、「管理用ページ」の 5 つのページで構成されている。

「トップページ」では、「養殖日誌」で記録された各生簀の水温、溶存酸素量、へい死数合計、データ取得日を表示することができる。マップ上の任意の生簀をクリックすると、

マップの下部に該当する生簀のデータが表示されるようにした。最新の水質データをセンサによってリアルタイムに Firebase Realtime Database から取得している。データが一定時間更新されず最新情報でない場合には、文字色を赤色に変更し、溶存酸素センサの機能に異常が生じている可能性を通知するようにした。「データグラフ」ページでは、最新 30 日分の各生簀の〈生残量〉、〈総重量〉、〈へい死〉、〈魚密度〉、〈給餌量〉、〈水温〉の推移をグラフで表示できるようにした。各グラフのタブの切り替えは JavaScript を使って実現している。

「月報」ページでは、任意の期間を選択して作業月報を表示できるようにした。また、表示した内容を Excel ファイルおよび PDF ファイルとして出力可能とした。

「データ出力」ページでは、「養殖日誌」で入力されたデータを閲覧しやすい形式に変換し、Excel ファイルとしてダウンロードできるようにした。

「管理用ページ」では、Web サイト説明書および溶存酸素センサ説明書を閲覧可能にした。また、溶存酸素センサの数値に対し、任意の 2 つの値を超えた際に指定したメールアドレスに通知を自動送信する機能を実装した。「警告閾値」と「危険閾値」、「メールアドレス」を入力欄から設定できるようにしている。設定した数値とメールアドレスは同ページにて確認可能である。

各ページにサーモンのロゴを配置し、このロゴをクリックすることでメニュー選択が行えるようにすることで、操作性の向上を図った。

(※文責：内藤岳玖)

第 6 章 考察

6.1 成果のまとめ

本プロジェクトでは、北海道八雲町熊石サーモン種苗生産施設における水質データや生育データをリアルタイムで取得し、Web サイト上で可視化するシステムの開発を行った。その結果、各生簀の溶存酸素量、水温、給餌量、へい死数などのデータを一元的に把握できる環境が整備された。特に、センサを用いた自動測定・クラウドへのリアルタイム送信が可能になったことにより、従来の手作業による計測や記録の負担が大幅に軽減された。また、データを可視化することで、養殖魚の健康状態や給餌量の最適化に関する判断を迅速に行える体制が整った点は、大きな成果であるといえる。

(※文責：神孔陽)

6.2 運用上の課題

一方で、実際の運用を通じていくつかの課題も明らかになった。第一に、屋外設置時の電源管理や防水対策は、継続的な運用の面で注意が必要である。特に自動車用バッテリーを利用したセンサは、長期稼働時の電圧低下や充電管理が必要であり、安定した運用のためには電源自動切り替えや充電スケジュールの導入が望ましい。第二に、通信環境に依存する部分があり、Wi-Fi や ESP-NOW 通信の安定性を確保することが、リアルタイム監視の精度維持には不可欠である。実験環境では 50～60 メートル程度の距離で安定していたが、現場での障害物や長距離運用ではさらなる検証が必要である。

(※文責：神孔陽)

6.3 データ活用の可能性

データの活用方法に関しても改善の余地がある。現在は生残量や給餌量の可視化に留まっているが、蓄積されたデータを分析することで、給餌量のさらなる最適化や異常値の自動検知、長期的な生育傾向の把握など、より高度な運用が可能である。

(※文責：神孔陽)

6.4 総合的評価と意義

総じて、本プロジェクトの取り組みにより、従来の手作業中心の水質管理から、IoT を活用した養殖管理へと進化したと考えられる。Web サイトによる可視化やリアルタイム監視は、種苗生産施設の担当者や八雲町役場の担当者の作業効率向上に寄与し、GX、持続可能な水産業の実現に向けた基盤を形成した点が最大の意義である。一方で、長期運用やデータ活用の高度化に向けた課題も残されており、今後のシステム改善や運用体制の構築が重要である。

(※文責：神孔陽)

第7章 今後の展望

7.1 システムの改良と拡張

今後は、現行システムの耐候性向上や安定運用の確保を目指す。具体的には、屋外設置用機器のバッテリー寿命の改善や通信安定性の向上が課題である。

(※文責：神孔陽)

7.2 新機能の追加

溶存酸素量や水温データを基に、給餌量や酸素供給の最適化を支援する解析機能の追加を検討する。具体的には、過去データを活用した傾向分析や、異常値検知によるアラート通知の実装が考えられる。また、他施設や八雲町役場とのデータ共有機能を導入することで、地域全体での水産業効率化や環境負荷低減への貢献も期待できる。

(※文責：神孔陽)

7.3 社会的・環境的効果の期待

これらの取り組みにより、養殖魚の健康管理と生産効率の向上が可能となり、無駄な餌や電力を削減することで環境負荷を低減できる。さらに、種苗生産施設の担当者や八雲町役場が活用できるデータツールとして定着すれば、地域全体で持続可能な水産業を推進する基盤としての役割も果たすことができる。

(※文責：神孔陽)

7.4 実証と運用の継続

今後は、実際の養殖現場での長期運用を通じて、システムの有効性や課題を検証し、利用者からのフィードバックを反映した改善を行っていく。これにより、GXの実現に向けた持続可能な水産業のモデルケースとして発展させていくことを目指す。

(※文責：神孔陽)

参考文献

- [1] 有瀧真人, 大瀧一登, 占部侑子, 藤川稔晃, 「養殖技術講座: 大型シロギスの養殖技術開発 (後編) 『しまなみテッポウギス』の商品開発と販売、養殖ビジネス」, Aqua Culture Business, Vol.56, No.2, (2019).
- [2] 経済産業省, 「GX 実現に向けた基本方針」,
<https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002.html>, (2023).
- [3] 平間友大, 鈴木恵二, 高博昭, 和田雅昭, 「Neural Network を用いた定置網内の魚群探知機による魚種判別」, 第 79 回全国大会講演論文集, (2017).
- [4] 深津時広, 平藤雅之, 「フィールドセンシングと農業ビッグデータ」, JATAFF ジャーナル, 5 (10) スマート農業への取り組みの現状と課題, (2017).