

大阪公立大学 初年次ゼミナール

みんなの将来の選択肢を広げてみよう！

Ver. 1.0

大阪公立大学

海洋システム工学分野 二瓶 泰範

<http://hydrodynamics.marine.osakafu-u.ac.jp/>

起業支援室 吉國 聖乃

2024 年 4 月

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	「みんなの将来の選択肢を広げてみよう！」講義概要	1
1.2	講義スケジュールと事前事後学習	1
1.3	講義担当者、講演者紹介	3
第 2 章	起業について	6
2.1	主な企業	6
2.2	企業の分類色々	7
2.3	株式会社とは	9
2.4	ビジネスモデル	10
第 3 章	技術移転事例-四胴型自動航行船-	12
3.1	はじめに	12
3.2	技術ニーズ-養殖現場における課題と自動航行船-	12
3.3	研究開発の歴史 (2015 年度 ~2019 年度)	14
3.4	基礎研究	14
3.5	四胴型自動航行船の実証事業 (2020 年度 ~2022 年度)	16
3.6	四胴型自動航行船の技術移転	17
第 4 章	スタートアップ事例-ロボット漁船-	19
4.1	はじめに	19
4.2	技術ニーズと技術シーズ-ロボット漁船-	19
4.3	研究開発経緯	21
4.4	社会実装に向けた実証試験	23
4.5	実用化・産業化の見込み	27
4.6	ロボット漁船を製造するスタートアップ企業の立ち上げ	28
	参考文献	30

第1章

はじめに

1.1 「みんなの将来の選択肢を広げてみよう！」講義概要

大学や大学院卒業後、皆さんは仕事を始めることになる。皆さんの先輩は何をしているのだろうか？1次産業の生産者？企業経営者？所謂〇〇士や研究者のような専門職？そもそも世の中にはどのようなビジネスがあるのだろうか？そして、どのような人生の歩み方があるのだろうか？

講義序盤では産業構造やそれに紐づく企業や仕事について概観してみたい。その後、1次産業、2次産業、3次産業における経営人材をお迎えし、講演を行ってもらおう。近年ではスタートアップ企業と呼ばれる言葉も聞くようになってきた。実際にスタートアップ企業の経営者にも登壇頂き、講演を行ってもらおう。また、企業に出資を行うことを仕事とするベンチャーキャピタルのキャピタリストや専門職の方々もお招きして講演をしてもらおう。様々な経験をされている方の話を聞くことにより、受講生は大学卒業後の進路や人生のモデルを身近にかつ具体的に感じ、大学入学後の専門教育の受け方や大学生活の歩み方の心構えが出来るようになる。

初年次ゼミナールは、大学入学前の受動的な学びから学生自ら能動的な学びへの姿勢を身に付けることを目的とする。将来、企業に勤めようとも、専門職に就こうとも、自身で能動的にビジネスプランを練って企業等の価値を高める場面が必ずやあるのではないかと思う。そこで、講義序盤、中盤、終盤において受講生自身でビジネスプランを考える機会を設ける。多くの経営者からの講演に着想を得て、自身のビジネスプランの解像度を上げることが出来るであろう。

本講義の到達目標は以下となる。

- 経営人材の講演を聞き、論理的に講演内容を纏めることが出来る。
- 自身でビジネスプランを練り、纏めることが出来る。
- 経営人材等の講演を聞き、自身のビジネスプランの解像度を上げることが出来る。
- 図書館、インターネット、各種データベース等を活用して、必要な資料や情報を収集出来る。
- 適切な形式でレポート作成、発表等が出来る。

1.2 講義スケジュールと事前事後学習

講義スケジュールと各回の講義内容を表 1.1 に示す。各回事前学習と事後学習を設定しており、以下に示す。

- 第1回…＜事前学習＞・一般的な企業、スタートアップ企業、キャッシュエンジン型企業、個人事業主等の違いについてインターネットで調べておく。＜事後学習＞・講義内容を聞いて纏める。
- 第2回…＜事前学習＞・第2回講義における各自自己紹介及び自分の目指す将来に関するプレゼンテーションの準備。
- 第3回…＜事前学習＞・第3回目講義の予習として養蚕業について纏めておく。＜事後学習＞・講義内容を

表 1.1: 講義日程と主な内容

	主な内容	日付
1 回目	1. 授業概要, 授業目標, 授業スケジュール, 評価方法の説明等 2. 自己紹介. 3. 産業や産業に根差した企業, 事業者等の概観. 4. 一般的な企業, スタートアップ企業, キャッシュエンジン型企業, 個人事業主等の違いについての概説.	4/12
2 回目	プレゼンテーション 1 ・自己紹介, 大学及び大学院卒業後の 自分の目指す将来に関するプレゼンテーションを行う.	4/19
3 回目	講演会 1 1 次産業に関わる企業経営者講演 ・養蚕業, ・養蚕業に関する経営	4/26
4 回目	プレゼンテーション 2 ・他の 1 次産業について調査しプレゼンを行う.	5/10
5 回目	講演会 2 2 次産業に関わる企業経営者講演 ・洋菓子メーカー	5/17
6 回目	講演会 3 キャッシュエンジン型企業経営者講演 ・専門を生かした経営, ・キャッシュエンジン型企業	5/24
7 回目	ビジネスアイデア検討	5/31
8 回目	起業について学ぶ 1. 起業とは, 2. 起業をとりまく環境, 3. 企業の種類, 4. 企業の方法, 5. 起業後	6/7
9 回目	講演会 4 スタートアップ企業経営者講演 ・専門と技術シーズを 生かした経営, ・工学, 海事, 水産関連分野, ・スタートアップ企業	6/14
10 回目	プレゼンテーション 3 ・ビジネスアイデアプレゼンテーション	6/21
11 回目	講演会 5 ベンチャーキャピタル経営者講演会 ・専門職:キャピタリスト	6/28
12 回目	プレゼンテーション 4 ・マネタイズのプレゼンテーション, ・会社組織の解像度を上げる	7/5
13 回目	Minimum Viable Product(MVP) について ・自身のビジネスプランの MVP を検討する ・Landing Page(LP) を作ってみる.	7/12
14 回目	プレゼンテーション 5 ・MVP, ・LP	7/19
15 回目	講演会 6 公認会計士による講演会 ・専門職:公認会計士	7/26
試験日	最終プレゼンテーション ・ビジネスアイデア	8/2

聞いて纏める.

- 第 4 回 … <事前学習> ・第 4 回目講義の為のプレゼンテーションの準備を行う.
- 第 5 回 … <事前学習> ・上場企業になる為に必要な条件とは, ・上場企業の歴史, IR 資料等からその企業の収益構造について調査する. <事後学習> ・講義内容を聞いて纏める.
- 第 6 回 … <事後学習> ・講義内容を聞いて纏める.
- 第 7 回 … <事前学習> ・ビジネスモデルの作り方を調べ, 自身でビジネスモデルを検討する.

- 第8回 … <事後学習>・講義内容を纏める。・自身の考えるビジネスを実現するための体制はどうするか検討する。
- 第9回 … <事前学習>・養殖業の課題を調べる。<事後学習>・講義内容を聞いて纏める。
- 第10回 … <事前学習>・第10回目講義の為のプレゼンテーションの準備を行う。<事後学習>・第10回目講義の質疑応答の中で指摘された点について修正する。
- 第11回 … <事前学習>・VC とは何かについて事前に調査をする。<事後学習>・講義内容を聞いて纏める。
- 第12回 … <事前学習>・第12回目講義の為のプレゼンテーションの準備を行う。<事後学習>・第12回目講義の質疑応答の中で指摘された点について修正し、自身のビジネスプランの解像度を上げる。
- 第13回 … <事前学習>・MVP とは何かを調べる。MVP について検討する。<事後学習>・MVP の検討と、LP を作る。
- 第14回 … <事前学習>・第14回目講義のプレゼンテーションの準備<事後学習>・第14回目講義の質疑応答の中で指摘された点を考慮して、自身の MVP, LP を高度化する。
- 第15回 … <事前学習>・公認会計士について調べる。<事後学習>・講義内容を聞いて纏める。

1.3 講義担当者、講演者紹介

二瓶泰範: 初年次ゼミナール「みんなの将来の選択肢を広げてみよう！」担当者。大阪公立大学大学院工学研究科海洋システム工学分野准教授。水産養殖場を機械化・自動化・情報化するための産学官連携プラットフォーム「養殖場高度化推進研究センター」センター長。水産養殖場において課題となっている給餌の省力化・自動化を果たすためのロボット漁船を製造・販売する為の大阪公立大学発スタートアップ企業「ロボティクスセーリングラボ」代表取締役。博士（工学）の学位取得後、(独) 海上技術安全研究所研究員。その後大阪府立大学へ。専門は浮体工学，船舶工学，機械技術全般。これまで浮体式風力，自動航行船に関わる研究に主に従事。四胴型自動航行船「ロボセン」を技術移転。



吉國聖乃: 初年次ゼミナール「みんなの将来の選択肢を広げてみよう！」協力者。大阪公立大学 スタートアップ創出支援センター 研究員。経営学研究科イノベーションシティ大阪ラボ 専任研究員。和歌山高専から奈良女子大学へ編入，化学を専攻。ご縁をもらい近畿大学の医学部法医学教室に専任講師（助手）として就職。毎日解剖に明け暮れるエキサイティングな日々を過ごした。その後，未経験でエンジニアに転職し，起業に興味を持ち独立。大学の研究成果を事業化する起業支援の仕事をしつつ，大学発ベンチャー大阪ヒートクール（株）の役員として事業をゼロから立ち上げ，自身の会社めっちゃラク（株）も持っている。



二宮麻里: 経営学研究科・商学部教授。『日本酒学ジャーナル』編集長。大阪公立大学起業部、日本酒同好会顧問。宝塚市出身、大阪市立大学商学部卒業。福岡大学（22 年間）、フランスボルドー大学での在外研究を経て、現職。専門は流通・マーケティング。主著は、『酒類流通のダイナミズム』有斐閣。酒類の流通研究から、その原料としての農産物に関心を持ち、一次産業に研究対象を広げていった。日本経済におけるアントレプレナーシップの重要性を実感し、近年は福岡市の起業家コミュニティについての研究にも着手し、関西の起業シーンを盛り上げたいと模索中である。



堀井和輝: 日本最大級のシルク産業集積地に蓄積された伝統的なシルク加工技術と、研究開発によって生み出された新しい加工技術の相乗効果で、シルクの新しい可能性を追求するながすな繭（株）取締役営業部長。高校生のときから起業に興味を持ち、シリコンバレーの企業を訪問したり、ビジネスプランコンテストに応募する等をして学生時代を過ごす。大学生のときに音楽 CD 交換プラットフォーム「dig-log」の運営を行うムニンワークス（株）を仲間 3 人で起業。順調に会員数を伸ばしていた最中、9 か月後にサービス停止という挫折を味わう。その後、web 関連の受託制作を行っていたが、父親から会社を手伝ってほしいとの要望を受けて「ながすな繭」へ入社し、現在に至る。



山岡祥記: 現職はモロゾフ株式会社代表取締役副社長。1980 年大阪市立大学商学部卒。大学時代はヨット部に在籍していた。大学卒業後、第一勧業銀行京都支店に入行。その後、福岡支店を経験して東京勤務。本店にて 1997 年に第一勧銀総会屋事件、2000 年に 3 行統合とみずほ銀行の誕生を経験した後、支店長を 4 店舗務めた。2018 年に 50 才で銀行を退職してモロゾフに入社。以来、モロゾフで 16 年勤務しており、経理、人事総務、経営企画、品質保証、内部監査の各部門を管掌している。卒業後もヨットには乗り続けており、現在は市大ヨット部 OB 会長や兵庫県セーリング連盟の理事長もやっている。



久保田善文: 和歌山大学卒業後すぐに株式会社 BEE を 2004 年に起業、和歌山大学発のローカルベンチャー企業として IT やデザインで地元企業を支援する目的で各種デザインやウェブ制作などの事業を開始する。

現在は「わかるをつくって、うれしいをとどける」を企業ステートメントとして、ブランディング、ウェブマーケティング、DX 支援の領域で、和歌山の地元企業や自治体向けに地元で完結できるデザイン・IT サービスを提供している。これは起業当初の目的を発展させて、自分たちで和歌山をもっといい場所にしていきたいという気持ちがあるからこそ現在まで継続できていると考えている。趣味はパンづくり。



中村忠嗣: 2007 年, 新卒でエヌ・アイ・エフ SMBC ベンチャーズ (現, 大和企業投資, SMBC ベンチャーキャピタル) へ入社。キャピタリストとして, IT・サービス領域のスタートアップを中心に, バイオ・ヘルスケア, 大学発 VB をはじめとする産学連携領域への投資活動に従事。三井住友銀行 成長事業開発部への出向や関西エリアの投資担当を経て, 2022 年, 創業期のスタートアップへの出資, 育成に特化した独立系ベンチャーキャピタル, ライトアップベンチャーズを設立。2023 年, 約 10 億円のファンドを組成, 主に関西エリアにて投資活動を行っている。立命館大学大学院経営学研究科修了。



高橋知司: 2022 年大阪府立大学 現代システム科学域 マネジメント学類卒業。学生時代はヨット部に所属しており, 部活動と試験対策二足の草鞋を履きながらなんとか卒業。卒業後, 半年間の試験勉強期間を経て公認会計士試験に合格し, 現在は有限責任監査法人トーマツ (デロイト・トーマツ) で会計士として勤務。民間企業, 学校, 病院等の監査を通じて経済の流れを勉強しつつ, どの分野で活躍できるかを模索中。卒業後, ヨットも継続しており, 現在は大阪公立大学ヨット部のコーチを務めている。今年 2 月にはヨット部時代の後輩と 470 級を購入し, 海では風の流れを読み, 陸では経済の流れを読めるよう日々修行中。



第2章

起業について

法人としての会社設立から個人事業主やフリーランスとしての活動まで、多様な起業の形態が存在する。それぞれにはメリットとデメリットがあり、事業の性質や目指す方向性、成長戦略によって最適な選択が異なる。また、ビジネスモデルを選ぶ際には、事業がどのように収益を生み出し、成長していくかという視点が欠かせない。成功への道を切り拓くためには、これらの基本をしっかりと理解し、自身のビジョンに合った形態を選択することが重要である。

まずは「法人（会社）」という基礎から始めて、企業の分類や一般的なビジネスモデルを掘り下げ、さらに法人でない起業形態についても触れていく。もし、事業を立ち上げたくなった際に必要な知識を提供する。起業は単なるビジネスの開始以上のものであり、新しい価値を創造し、夢を現実に変える旅である。それでは、起業の基礎から学び、あなたのビジネス旅行の第一歩を踏み出そう。

2.1 主な企業

1. 大企業

- 従業員数: 一般的に 300 人以上の従業員を持つ企業
- 資本金: 資本金が 1 億円以上の企業がこのカテゴリーに含まれることが多い
- 年間売上高: 年間売上が特定の基準を超える企業。この基準は業種によって異なる

2. 中堅企業

- 従業員数: 大体 100 人から 300 人未満の従業員を持つ企業
- 資本金や年間売上高も中規模の基準に当てはまる企業
- 中堅企業は、大企業と中小企業の間位置し、安定した経営基盤を持つことが多い

3. 中小企業

- 従業員数: 製造業では 300 人未満、卸売業では 100 人未満、サービス業や小売業では 50 人未満など、業種によって基準が異なる
- 資本金: 一般に資本金が 1 億円未満の企業
- 年間売上高: 同じく業種によって異なるが、一定の基準未満の企業

4. 小規模企業

- 従業員数: 5 人から 20 人未満の非常に小さな企業。業種によってこの数は変わる
- 資本金や年間売上高も非常に小さい
- 地域密着型のビジネスやファミリービジネスが多く、地域社会に密接に関わっている

特記事項

- ベンチャー企業: 新たな事業アイデアや技術に基づいて設立された企業で、従業員数や資本金の大小よりも成長の可能性が重視される
- スタートアップ: ベンチャー企業のうち、設立から間もない段階の企業で、従業員数や資本金に関わらず、急速な成長を目指している

2.2 企業の分類色々

2.2.1 税務上の分類

日本における税務上の企業のカテゴリは、主に法人税法に基づいて行われる。税務上の分類は、企業の規模や業態によって異なる税率や税制優遇措置の適用を受けるために重要である。以下は、主なカテゴリーとその特徴である。

- 中小企業
 - － 中小企業は、特定の条件を満たす企業に対して、税率の軽減や各種税制優遇措置が適用される。中小企業の定義は、資本金の額や従業員数によって異なるが、一般的には次のように定義される。
 - * 資本金の額: 資本金または出資金が1億円以下の法人（特定の業種では異なる場合がある）。
 - * 従業員数: 業種によって基準が異なるが、一定数以下であることが条件
- 大企業
 - － 大企業は、上記の中小企業の条件を満たさない企業である。一般的に資本金が1億円を超える企業や、従業員数が多い企業がこのカテゴリーに分類される。大企業には、中小企業に比べて高い税率が適用される場合がある。
- ベンチャー企業
 - － ベンチャー企業に対しては、特定の条件下で税制上の優遇措置が設けられている。これには、研究開発税制の優遇や、投資促進税制などが含まれる。ベンチャー企業の定義は、新規性や革新性の高い事業を行っていることが一つの基準となる。

法人の種類による税務

- 税務上、法人はその性質に応じて以下のように分類される。
 - － 株式会社
 - － 有限会社
 - － 合同会社
 - － 合資会社
 - － 合名会社
 - － 特定目的会社（SPC）

2.2.2 業界ごとの分類

経済産業省が定める日本標準産業分類に基づく。この分類は、統計資料の作成、経済分析、政策立案などに利用される。以下は、その主なカテゴリーとその概要である。

1. 農業, 林業

- 農業（作物の栽培, 畜産物の生産など）
- 林業（森林の管理, 木材の伐採など）

2. 漁業

- 漁業（海洋, 淡水での魚介類の捕獲や養殖）

3. 鉱業, 採石業, 砂利採取業

- 鉱業（金属鉱物, 非金属鉱物の採掘など）
- 採石業, 砂利採取業（石材, 砂利の採取など）

4. 建設業

- 建設業（建築工事, 土木工事など）

5. 製造業

- 製造業（食品, 飲料, たばこ, 繊維製品, 金属製品, 機械装置, 電子部品, 自動車などの製造）

6. 電気・ガス・熱供給・水道業

- 電力, ガス, 熱供給（電力の供給, ガスの供給, 集中暖房など）
- 水道業（飲料水の供給など）

7. 情報通信業

- 情報通信業（ソフトウェアの開発, 通信サービス, インターネット関連サービスなど）

8. 運輸業, 郵便業

- 運輸業（陸運, 海運, 空輸など）
- 郵便業（郵便物の収集, 配達など）

9. 卸売業, 小売業

- 卸売業（商品の卸売り）
- 小売業（商品の小売り）

10. 金融業, 保険業

- 金融業（銀行, 証券, 信用組合など）
- 保険業（生命保険, 損害保険など）

11. 不動産業, 物品賃貸業

- 不動産業（不動産の売買, 賃貸など）
- 物品賃貸業（機械, 器具のレンタルなど）

12. 学術研究, 専門・技術サービス業

- 学術研究（自然科学, 社会科学の研究など）
- 専門・技術サービス業（法律, 会計, 建築, 設計, 広告, マーケティングなど）

13. 宿泊業, 飲食サービス業

- 宿泊業（ホテル, 旅館など）
- 飲食サービス業（レストラン, カフェ, 居酒屋など）

14. 生活関連サービス業, 娯楽業

- 生活関連サービス業（美容, 洗濯, 葬儀など）
- 娯楽業（映画, 音楽, スポーツ, ゲームなど）

15. 教育, 学習支援業

- 教育（学校教育, 職業訓練, 教育支援サービスなど）

16. 医療, 福祉

- 医療（病院, クリニック, 歯科など）
- 福祉（介護サービス, 保育サービスなど）

17. 複合サービス事業

- 複数のサービスを提供する事業

18. サービス業（その他）

- 上記に分類されないその他のサービス業

2.3 株式会社とは

いままで説明した企業のほとんどが株式会社である。しかし、世の中には株式会社でない会社も存在する。株式会社は、株式を発行して資本を集める企業形態の一つで、日本を含む多くの国で一般的に見られる。株式会社の特徴は、所有者（株主）と経営者が分離されることが可能であり、株主は出資した株式の数に応じて会社の所有権を持つ。株式会社は、上場と非上場に大別される。

上場株式会社

- 上場とは：株式会社が自社の株式を証券取引所に登録し、一般の投資家が株式市場を通じて自由に売買できるようにすることである。
- メリット：上場により、資本市場から広く資金を調達しやすくなる、企業の知名度や信用度が向上する、株式の流動性が高まるなどの利点がある。
- デメリット：上場するには証券取引所の厳しい審査基準をクリアする必要があり、上場後も四半期ごとの業績報告など、透明性の高い経営が求められる。また、株式の価格変動によるリスクや、敵対的買収への対応などの課題もある。

非上場株式会社

- 非上場とは: 自社の株式を証券取引所に登録せず、公開市場での取引を行わない株式会社である。
- メリット: 非上場企業は、上場企業に比べて報告義務や規制が少なく、経営の自由度が高い。また、株式の価格変動に左右されにくく、長期的な経営戦略を立てやすいという特徴がある。
- デメリット: 資本市場からの資金調達が難しく、成長機会の制限や経営資源の確保に課題がある場合がある。また、非上場では株式の流動性が低く、株主が株式を売却したい場合に制限があることもデメリットの一つである。

株式会社を設立し、運営する際には、これらの特徴を考慮して、自社の事業目標や戦略に最適な形態を選択することが重要である。上場を目指す場合は、そのメリットを最大限に活かしながら、透明性の高い経営と株主との良好な関係を維持する努力が求められる。一方、非上場であれば経営の自由度を活かしつつ、他の方法で資金調達や事業拡大の機会を探ることが重要になる。

2.4 ビジネスモデル

株式会社のビジネスモデルは、その企業がどのように価値を創造し、顧客に提供し、収益を上げるかについての戦略である。多様なビジネスモデルがあるが、主要な運転資金獲得方法に基づくビジネスモデルを紹介する。

1. 自己資金モデル（ブートストラップ）

- 説明: 企業が創業者や経営者自身の貯蓄、個人資産から資金を調達する方法。外部からの資金調達を頼らずに事業を運営・拡大する。
- 利点: 企業のコントロールを完全に保持でき、外部からの圧力が少ない。
- 適用例: 初期段階のスタートアップ、小規模な家族経営のビジネスなど。

2. 外部資金調達モデル

■a. 融資：銀行ローン

- 説明: 企業が銀行や金融機関から借入れを行い、その資金で運転資金や設備投資を行うモデル。
- 利点: 大きな資金を比較的低い利息で調達可能。
- 適用例: 安定した収益基盤を持つ中小企業、大企業。

■b. 投資：ベンチャーキャピタル（VC）

- 説明: 成長可能性の高いスタートアップが、ベンチャーキャピタルから出資を受ける方法。
- 利点: 大規模な資金を調達でき、ビジネスの急速なスケールアップが可能。
- 適用例: テクノロジー分野の革新的なスタートアップなど。

3. 売上再投資モデル

- 説明: 事業から得られる売上を、運転資金や成長資金として再投資するモデル。ブートストラップに近いが、事業が既に収益を上げている点が異なる。
- 利点: 外部資金に頼らずに成長を図ることができ、企業の自立性を高める。
- 適用例: 利益を上げ始めたスタートアップ、中小企業。

4. クラウドファンディングモデル

- 説明: 一般大衆から資金を募集し、その資金で製品開発やプロジェクトの運営を行うモデル。

- 利点: 資金調達と同時に市場調査やプロモーションが可能. 事前に顧客基盤を確立できる.
- 適用例: 革新的な製品を開発するスタートアップ, クリエイティブなプロジェクト.

5. エンゼル投資家モデル

- 説明: 個人投資家（エンゼル投資家）から直接資金を調達し, その資金で事業を拡大するモデル.
- 利点: VC に比べて柔軟な条件で資金を調達できることが多く, メンターシップやネットワークの支援も受けられる.
- 適用例: 初期段階のスタートアップ, 特に個人のネットワークを活用できる場合.

第3章

技術移転事例-四胴型自動航行船-

3.1 はじめに

本章では具体的な事例を通じて技術移転について述べてみたい。技術移転とは簡単に言うと、大学等のシーズを他の事業会社に使ってもらうということを意味している。シーズは研究成果から生まれてきた技術の結晶であり、特許やノウハウのことを指す。大学は不実施機関と言われる。特許を取得したとしても、それを用いて事業等の経済活動を行わないという意味である。正確に言うと、事業を行わないわけではなく、事業を行うのは一人で行ったりすることが難しい場合が普通である為、事業を実施することは難しいという意味であろう。

では、研究活動の中から生まれたシーズはどのように活用して社会に実装していったら良いのだろうか。一番ポイントとなるのが「特許」であると言える。勿論他にもあるだろうが、王道はやはり「特許」と言える。筆者の一人である二瓶は四胴型自動航行船を事業会社に技術移転した経験を持つ [1]。如何にして技術移転を果たしたか、この章では具に述べてみたい。技術移転の方法は様々あり、業界や業態によることもあるかと思う。あくまで筆者の事例であることを注意されたい。

3.2 技術ニーズ-養殖現場における課題と自動航行船-

国際的な肉・魚等の動物性たんぱく質の摂取量は飛躍的に増大しており、陸上部で生産される牛肉等のたんぱく質だけではならず、水産資源で賄われている。2010年には牛肉より水産資源である養殖魚が上回ってきた(図3.1)。他方、日本国内においては海水温度の上昇による海洋環境変動の影響を受け資源量が減少したことにより我が国の漁業生産量が長期的に減少傾向にあるという課題に直面しており、漁業全体の生産量はピーク時の33%程度まで減少している。結果として価格が高騰し魚離れが進み、牛肉・豚肉・鶏肉等に移行しつつあり、水産資源の低コスト化が強く望まれている。その大きな担い手として養殖業がある。漁業全体の生産量が減少する中、養殖業は安定した生産量を維持し、今や全体の約24%の水揚げ量を占める(図3.2)。生産額においてもその重要性が高まっており2017年には約40%を占めるなど、今や養殖業は我が国水産業における一大産業であると言える。特にインバウンドに代表される国際的な日本食ブームにより、低コスト化はもとより高価格でも高品質であれば確実に需要が伸びる見通しが出てきたことは養殖業界にとって大きなフォローとなってきた。また、水産資源の減少と共に海洋環境の悪化や燃料の高騰、漁業者の高齢化や後継者不足等の問題に直面しており、益々養殖業への期待が高まっているのが現状である。

一方で、海面養殖はリスクと隣り合わせでもある。大きな原因として挙げられるのが、貧酸素水塊、低塩分水、水温上昇、貝類にとっての餌といえる植物プランクトン(クロロフィルa)の欠如、赤潮等による水質環境悪化である。最近、観測史上類を見ない台風・集中豪雨等の異常気象に起因する養殖魚介の斃死、実入りの悪化が生じ、養殖漁業に深刻かつ重大な経済的悪影響を与える事例が起きている。図3.3にそのいくつかの事例を挙げる。このような事例は枚挙にいとまがなく、養殖漁業者、漁業協同組合、地方公共団体等々にとって、水質環境の高精度なモニタリング及び高精度な水質予報は喫緊の課題であり早期対応が望まれている。

以上の背景から、養殖場の水質環境の詳細な把握は、海面養殖や内水面養殖にはなくてはならない。これに対して、情報通信分野、水質モニタリング分野、漁業組合、地方公共団体、水産試験場等では協業して、水温、塩分、溶存酸素、

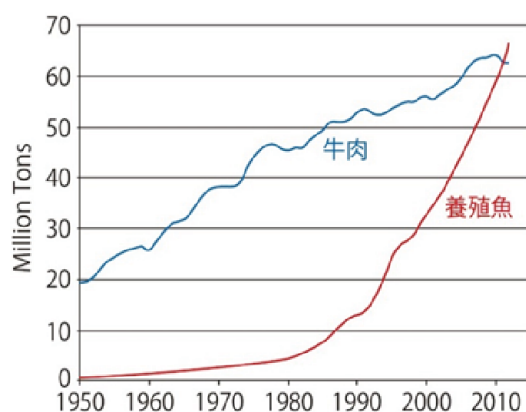


図 3.1: 世界の養殖魚と牛肉の生産高 (出典：国連食糧農業機関，米国農務省に基づき EPI が作成)

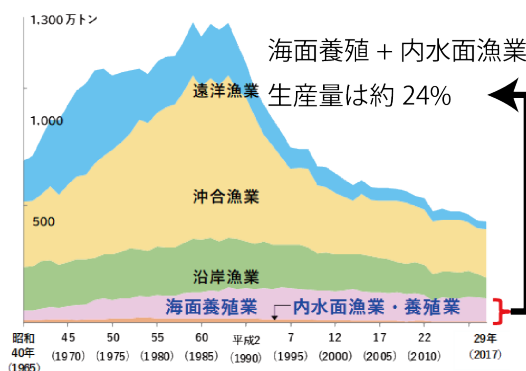


図 3.2: 漁業・養殖業の生産量の推移 (出典：水産庁「平成 30 年度水産白書」)



図 3.3: 養殖業の被害事例

クロロフィル a 等の水質モニタリングを行ってきている。また、飛躍的に計算機性能が向上した昨今，数値天気予報に実観測データを活用することにより，天気予報精度が上がっている。海洋の水質シミュレーション技術も，スーパーコンピュータを使うことによって計算可能な解像度が大きく向上しているが，その計算解像度に比べ，現場の実観測データ量が大きく不足しており，シミュレーションの精度検証に至らず，養殖場での水質予報に運用できていないのが現状である。

養殖場のような数 km× 数 km といった広大な海域では水質に時空間分布があり，ブイや人力計測では限界がある。また，実測の詳細な計測データが存在しない為，養殖場における高密度な水質予報システムが存在していないのが現状である。そこで，二瓶らが独自に研究開発してきたのが，四胴型自動航行船 (図 3.4) である。4つの船体を持ち，これらの船体は独立に回転することができる (図 3.5)。これによって風の中での定点保持が容易になったり (特許 6332824 号 [2])，養殖場のような様々な障害物がある海域で小回りの利く操船が容易になる (特許 6796292 号 [3])。ロボセンは極めて独創的なアイデアであり，このようなロボット船は世界的にも存在していない。

我々は，このロボセンを養殖場に適用している。2018 年度，2019 年度の実海域試験は石川県七尾湾のカキ養殖場で行われた。2019 年度は半日で 80 地点，水深方向にそれぞれ 5 つ，計 400 か所の超高密度な自動水質計測を実現し，これまで知られていなかった水温や塩分や溶存酸素等の日周期変動等を明らかにしてきた。また，国立環境研究所 中田聡史博士が手掛ける数値計算と連携させることで超高分解能水質シミュレーションの高精度化を目指す取り組みを始めている。



図 3.4: 四胴型自動航行船

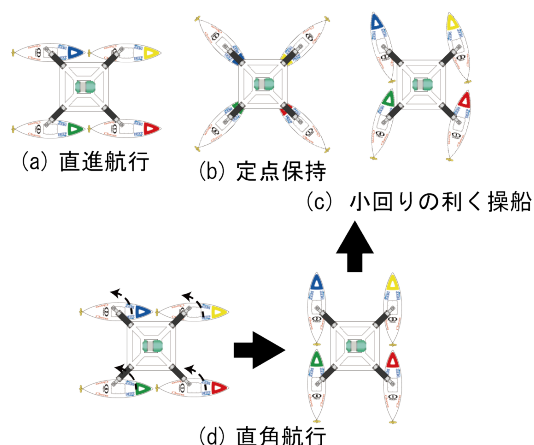


図 3.5: 船体が独立に回転することが出来、様々な操船が可能



図 3.6: 2018 年度の実証試験の様子 (You Tube より)



図 3.7: 2019 年度の実証試験の様子 (You Tube より)

3.3 研究開発の歴史 (2015 年度 ~2019 年度)

四胴型自動航行船の研究が始まったのが 2015 年度。最初は台所にあるボールにポッドプロペラをつけたような試作機からのスタートであった。次の試作機は 4 つのハルとそれぞれのハルにはプロペラを付け、それぞれのハルは独立に回転が出来るという現在のロボセンの原型が出来上がる事となる。予算も限られていたため、ほとんどが研究室のメンバーによる手作りといっても良い (図 3.8)。

翌年度の 2016 年度、いよいよ実機サイズの GFRP 製ロボセンの製作フェーズへと移行することとなった。そして 2017 年 1 月、我々が現在 RS-01 と開発番号を付けているロボセンの誕生である (図 3.9)。船体の材料は小型船で使われる GFRP (ガラス繊維強化プラスチック) を用いており、海での長期使用が可能なものとなっている。2 月、3 月には大阪府立大学でのプールでの基礎実験と、神戸大学深江キャンパス内のポンドをお借りしての実験を行い、2016 年度を終えることとなった。

2017 年度からは総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) の事業採択を受け自動制御部の研究開発を行うこととなった (図 3.10)。そして 2018 年度には目標点への移動、定点の保持、水質の自動計測を可能とした。石川県七尾西湾カキ養殖場にて自動観測を実施するに至った。これは前節の You Tube 動画で示した通りである。

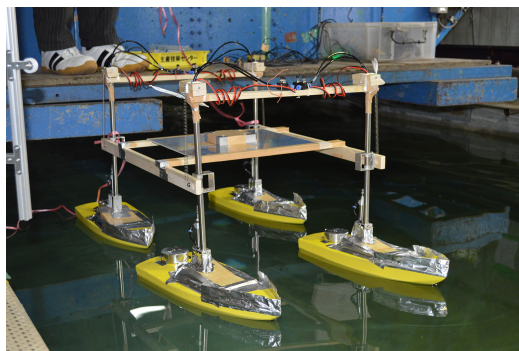
3.4 基礎研究

四胴型自動航行船の研究は主にハードウェアに関する研究とソフトウェアに関する研究とに大別される。また、近年では多機運用することも想定してこの自動航行船の航路最適化問題にも取り組みつつある [4, 5]。また、無人航空機 (所謂ドローン) と連携した応用研究についても取り組んでいる [6]。

ここで言うハードウェアに関する研究とは、四胴型自動航行船というシステムの物理的な構成要素部分に関わる研究のことを指している。つまり、例えばこの船の流体力学的な特性を調べ、この船自体の性能を明らかにすることである。



(a) 船体はバalsa材を組み合わせて製作



(b) 四胴船の基本コンセプトが決まった

図 3.8: 2015 年度の実験機

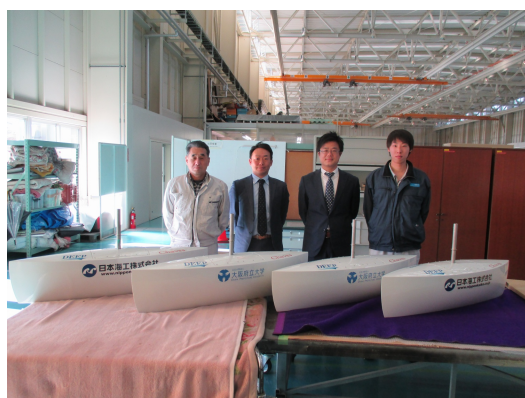


図 3.9: RS-01 号機の完成



図 3.10: 2018 年 1 月 SCOPE 採択を受けて本学広報より

る。また、この船を実際の海で使うときに、どのような時に壊れるかを予め把握しておくことも重要となろう。つまり構造的な特性を調べるのが重要である。主にこの2点がハードウェアに関する研究である。一方で、ソフトウェアに関する研究とは、主に四胴型自動航行船の自動制御に関する研究のことを指している。図 3.5 に示す通り、四胴型自動航行船は様々な航行形態が考えられ制御方法も航行毎に変わる。以下、二瓶等によって纏められ、土木学会論文集 B1(水工学) に収録されている四胴型自動航行船の性能および操船制御について述べられた論文 [7] からの抜粋 (一部改変) である。

3.4.1 四胴型自動航行船の直進制御手法

Komizo et al.[8] の研究では、左右のプロペラの推力の差で回頭制御を行っていたが、スムーズな直進制御であったとは言い難い。そこで、本船の大きな特徴である図 3.11 に示す「くの字」の航行形態を用いた操船方法について述べる。次の計測地点等の目標地点に向かう際、参照点の角度と船体の角度にずれが生じた場合、船体角度を変え目標点に向かうようにする。この直進制御は PID 制御で行われており、この PID 制御時の船主側の船体回転角度 θ_{PID} を以下の式 (3.1) に示す。尚、 θ_{PID} は船固定座標系に対する回転角である。また、船尾側の胴体は $-\theta_{PID}$ 回転させる。ただしこの新手法ではプロペラ回転数の制御値は常に一定である。

$$\theta_{PID} = K_P \Delta\theta + K_I \int \Delta\theta dt + K_D d\theta/dt \quad (3.1)$$

K_P , K_I , K_D は比例, 積分, 微分ゲインである。 $\Delta\theta$ は $t = t$ における目標航路との偏差角で図 3.11 中 $\theta_{ref} - \theta$ と表される。

この制御方法を組み込んだ海上試験を実施した。図 3.12 に計測点に向かい定点保持し計測作業を行っている際の航跡を示す。計測点に対する定点保持の平均誤差は 1m 前後、計測点間の目標航路に対する平均直進誤差は約 1.6m で

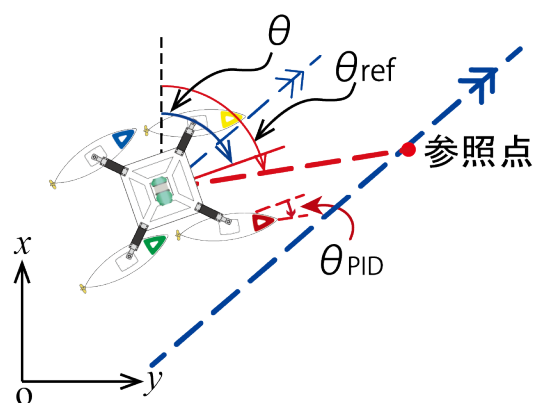


図 3.11: 操船制御手法

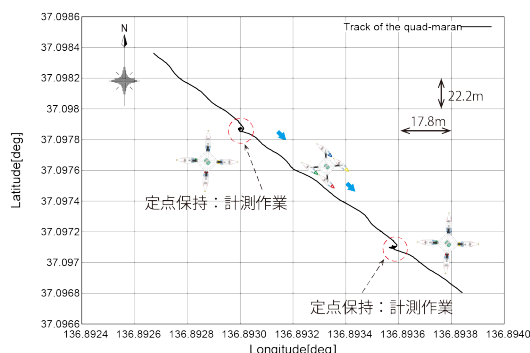


図 3.12: 四胴型自動航行船の航行直進制御による航跡

あった。提案する直線制御法の有効性が検証できたといえる。

3.4.2 四胴型自動航行船の風圧下及び実海域での航行性能

本船の風圧下での性能は簡単な VPP (Velocity Prediction Program) を構築することにより明らかにした。船固定座標系における船長手方向の力のつり合い方程式を以下の式 (3.2) に示す。

$$-R_0 - X_A + (1 - t)T = 0 \quad (3.2)$$

ここで、 R_0 は船体抵抗 [N]、 X_A は上部デッキ空力抵抗 [N]、 T はプロペラ推力 [N]、 t は推力減少率である。船体抵抗及び空力抵抗は回流水槽試験、風洞試験により求め、プロペラ推力はデータベース [9]、推力減少係数は Van Lammern の推定式から求めた。各風向に対する上部デッキの船速方向の抗力を計測した風洞試験の結果を図 3.13 に示す。また各プロペラの回転数は一定、喫水は満載喫水時の半分の 10cm として計算を行った。この喫水は実海域試験時の喫水である。

図 3.14 に式 (3.2) より得られた絶対風向 ($0 \sim 180^\circ$)、絶対風速 ($0 \sim 10 \text{ m/s}$) に対する船速の推定結果のポーラーカーブを示す（風が 0° 方向から来ている場合に各方向に航行する船速）。例えば風速 10 m/s 、風向 0° の正面向かい風中を本船が航行する場合、無風時と比べ 56% 程度船速低下がみられ航行性能に大きく影響を及ぼすことが分かった。

また風速が 1 m/s 以下の実海域環境下で複数回一定時間直進航行させ、本船の船速を調査した。この実海域で得られた船速を図 3.14 の VPP による推定結果と比較した。実海域試験の船速は 0.998 m/s であったのに対し、無風時の推定結果は 1.14 m/s であった（ただし潮流、波等の外乱及び PID 制御に伴う抵抗の増加は考慮していない）。推定手法との誤差は 12.8% であった。

3.5 四胴型自動航行船の実証事業 (2020 年度～2022 年度)

四胴型自動航行船の実証事業として付帯装備の高度化技術を開発することを行っている。また、得られた水質ビッグデータにより超高分解能水質シミュレーションを高精度化している。さらに AI 技術を導入し養殖場の水質予報システムを開発している。付帯設備が高度化した四胴型自動航行船による水質ビッグデータと市販 PC で実行可能な水質予報、この両者を開発することにより養殖漁業の持続可能な成長に貢献する取り組みを行っている。これらの技術を開発する為、2020 年度から 2022 年度まで戦略的基盤技術高度化支援事業の支援を受けた。図 3.15 に 2020 年度の本学広報による資料を、図 3.16 に 2021 年度の本学広報による資料を示す。

本自動航行船が将来的にこのロボセンが広く活用されるためには、1 人でも容易な操作が望まれる。本事業における付帯装備技術とは例えばモニタリング情報データ通信モジュールおよびアプリケーションの研究開発や、障害物回避・夜間航法の研究開発、自動着岸法の研究開発、自動アンカリング装置（緊急時対策）の研究開発、深浅測量技術と連携した自動計測・自動航行システムの研究開発のことを指している。

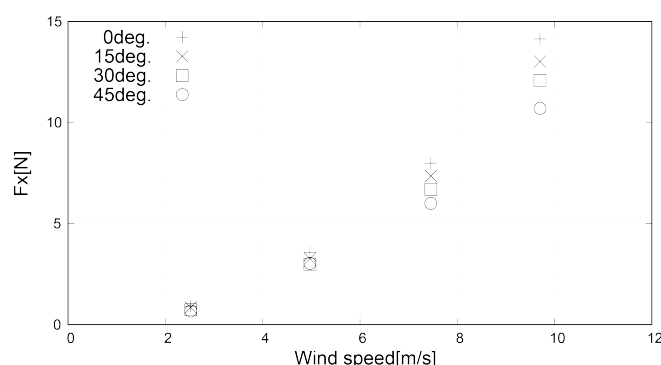


図 3.13: 上部デッキの風洞試験結果

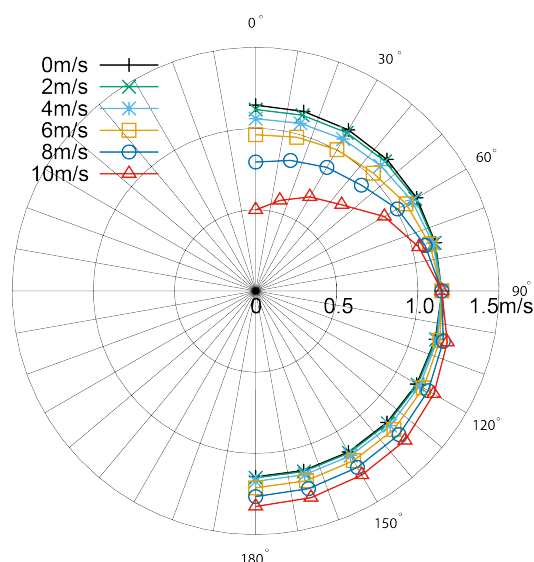


図 3.14: 四胴型自動航行船の風圧下での航行性能



図 3.15: 2020 年度の四胴型自動航行船プロジェクトの広報



図 3.16: 2021 年度の四胴型自動航行船プロジェクトの広報

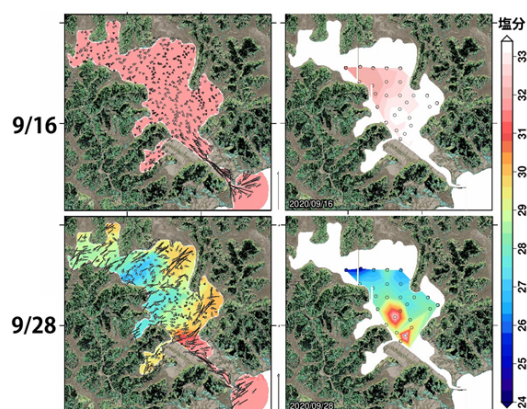


図 3.17: 実際の塩分計測とシミュレーション結果

また、四胴型自動航行船による超高分解能水質シミュレーションの適用 (図 3.17) や AI (人工知能) による水質予測システムの研究開発や養殖場ごとのきめ細かい水質予報の確立を行い、漁業者等が自ら水質予報するシステムの試験運用を実施してきた。

3.6 四胴型自動航行船の技術移転

技術開発はニーズ調査に始まり、コンセプト検証、特許出願と取得、小規模実証試験、大型実証試験。これが大きな流れとなろう。四胴型自動航行船の技術移転は正にこの流れに乗って進めてきた事例である。ニーズ調査では 3.2 節に示した通り、海面養殖漁業における水質の調査というニーズがある。これまでのブイの方式や人による計測は課題があって、これを補うために小型の自動航行船を用いた多面的な自動計測技術構築やこの多面的な計測データを用いた高精度な水質シミュレーション技術の構築が必要であったことを述べた。我が国のみならず世界的に見ても多面的に自動計測する技術は存在していなかったことを踏まえ 2015 年度より研究開発を開始した。海上では風や流れもあり定点を保持することが難しく、計測作業中は船が流されてしまう。この点から海上で航行形態を変えられるコンセプトを有する四胴型自動航行船を生み出した (図 3.8)。

どこまでを PoC (Proof of Concept: コンセプト検証) と言うかというのは現場での研究開発を担当する者として明確な定義があるとは思えない。何故なら小規模な実証試験を行っていても課題が見つかり、コンセプトそのものの見直し

を新たに迫られる場合もあるだろうからである。一応、自分たちの技術の成熟度を説明する指標として技術成熟度レベル (TRL:Technology readiness levels) というものがある [10]。この TRL は航空宇宙産業用に NASA が定義したものであるから、自分たちの開発に置き換える必要がある。

表 3.1: TRL([10] 参考) と四胴型自動航行船の開発レベル

	TRL	四胴船開発時期
Level1	基礎理論の着想段階	2015, 2016 年度
Level2	技術要素の適応、応用範囲の明確化	2015, 2016, 2017 年度
Level3	技術実証のデモンストレーション (PoC)	2017 年度
Level4	ラボレベルでの実証	2018,2019 年度
Level5	シミュレート及び実空間での実証	2020 年度
Level6	地上でのシステムとしての技術成立性の確認	2020 年度
Level7	宇宙空間でのシステムとしての技術成立性の確認	2021, 2022 年度
Level8	システムの運用テスト、認証試験	2022 年度
Level9	最終段階、実運用	2022 年度

四胴型自動航行船の場合で言うと、2018 年 4 月から 2020 年 3 月までの時期が TRL4 であったと考えている (図 3.6, 3.7)。実機の四胴型自動航行船が出来上がり、制御則の構築や定点保持制御の構築が行われた。実海域という実空間でのテストではあったが、制御則等はまだ試験実証の意味合いが強かった。この間に基本的な特許出願も終えている [2, 3]。また、制御則や性能を研究したのもこの時期と重なる [7]。TRL4 までは大学における研究開発という域であるが、TRL5 以上は実空間での実証ということとなり、技術に加えて事業化を見据えた実運用が重要となる。これが 2020 年度から始まった戦略的基盤技術高度化支援事業となる。(図 3.15)

技術移転という意味では TRL4 までを大学等の研究機関で行い、TRL5 以上を事業者が実施するというのがスムーズな移転かと思われる。大学の研究室には実空間での実証をする為のマンパワーが圧倒的に足りていないのが現状であるからである。いずれにしても技術移転で一番重要なことは、両者が社会課題を認識・共有し、協力して課題解決という目的に向かっていけるか否かである。

第4章

スタートアップ事例－ロボット漁船－

4.1 はじめに

本章ではスタートアップ企業による社会課題の解決方法について述べてみたい。筆者の一人である二瓶は2023年4月にロボット漁船を開発し、製造・販売する会社である(株)ロボティクスセーリングラボを立ち上げた。同年6月にはベンチャーキャピタルより出資を受けた。即ち、既に2章で起業の仕方や会社の種類について説明してきた通り、ロボティクスセーリングラボ社は所謂スタートアップ企業ということになる。3章では技術移転について述べたが、何故他社への技術移転ではなく自身で起業し、そこに技術移転したのか、起業に至った経緯は何であったのか、大学発ベンチャーではなく、スタートアップを目指すことになったのか、詳細を説明していく。

4.2 技術ニーズと技術シーズ－ロボット漁船－

養殖漁業が成長産業であることは既に3.2節で述べた通りである。ここでは養殖の課題の一つと言える給餌の課題について触れる。

水産業は、資源の減少と共に燃料の高騰、漁業者の高齢化や漁業従事者減少の問題に直面している。特に漁業従事者の減少は著しく、1988年から現在までの30年間で1/3程度となっている(図4.1)。水産庁によると2050年にはさらに半分以上になると予測されている。その一方で、水産業の中でも近年益々重要になってきているのが養殖漁業と言える。しかし、漁業従事者の減少は下げ止まることはないので、養殖漁業の機械化・自動化・情報化を実現し、生産性の効率を図っていかなくてはならない。この一環として養殖現場では、生け簀ごとに据え置き型の自動給餌機(図4.2)が設置されている。この自動給餌機は機内に貯蔵された餌を決められた時間に吐き出す仕組みとなっており、自動で駆動されている。最近では、ウミトロン社のようなスタートアップ企業の登場により人工知能を用いた新しい自動給餌機が構築されつつある。魚の行動をモニタリングし餌やりのタイミングを判断する仕組みである。

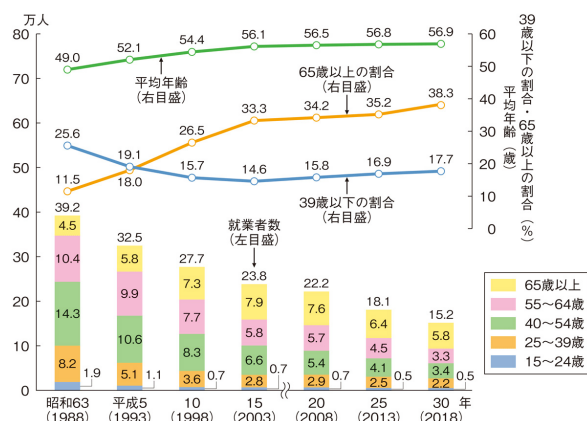


図 4.1: 漁業就業者数の推移 [11]

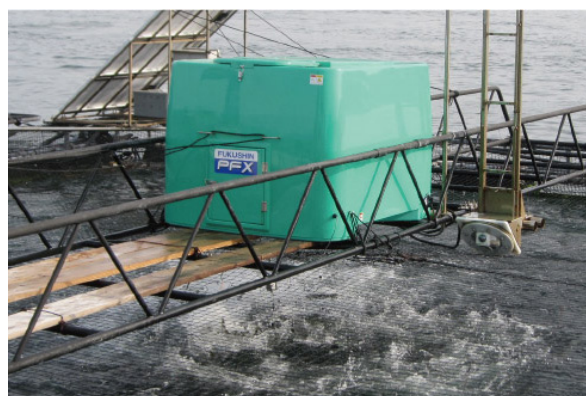


図 4.2: 福仲電機社製自動給餌機

自動給餌機の人工知能による高度化は残餌の問題に大きな貢献を果たそうとしている。一方で、もう一つの重要な課題が漁業者の労働軽減である。30 個程の生け簀を保有する養殖事業者が一つの給餌機約 400kg 程度の補給を週に 3～5 回程度行っている。つまり毎回 12ton の餌補給を人力で行っている計算になる。



(a) 三重県の場合



(b) 愛媛県の場合

図 4.3: 一般的な養殖場の風景



(a) 生け簀上に置かれた自動給餌機



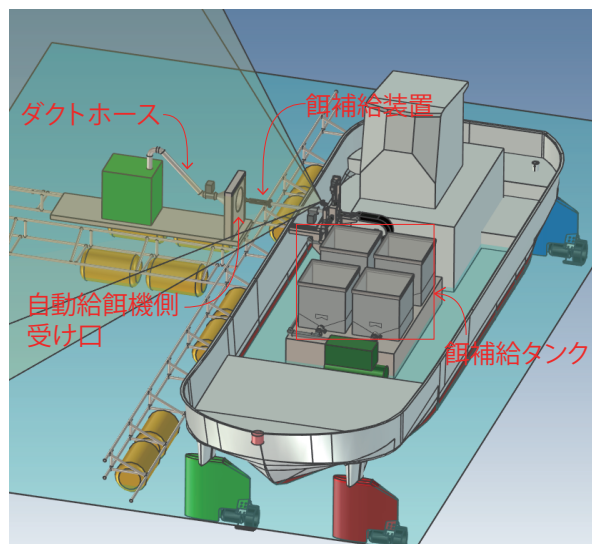
(b) 保管庫に積まれた餌

図 4.4: 餌の保管庫や生け簀の上の様子

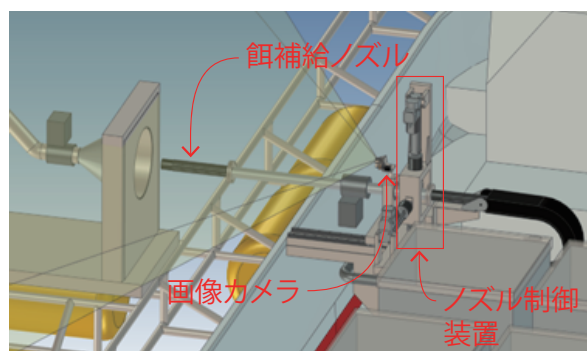
二瓶等は、この単純労働かつ重労働を解消する技術としてロボット漁船を研究開発してきた。ロボット漁船の研究開発目的は近年急速に普及し始めている自動給餌機への自動餌補給による養殖事業者の労働軽減である。ロボット漁船は漁港で餌を載せたら養殖生け簀に自動航行し、自動で生け簀に着岸し、画像認識等により自動給餌機側に取り付けられた受け口を見つけ、餌補給ノズルを制御し自動給餌機にエアを用いて餌補給する技術である (図 4.5)。

生け簀に設置されている自動給餌機に餌補給する為には、当然ながら生け簀に着岸しないといけない。船舶・海洋工学において自動化するのが一番難しい技術とされるのが着岸である。人は経験的に船の惰性、風の強さ等を考えながら着岸させている。人工知能が発展した現在、この経験を学習させて自動着岸させることも可能ではあるが、膨大なシミュレーションと、膨大な実験が必要となる。また、様々な海域での学習も必要であり、実装は現実的ではない。そこで、二瓶等は 4 つのストラット (アスペクト比の小さな舵) 付きスラスター (推進器) を用いるロボット漁船を考案してきた [12]。その 4 つのスラスターは独立して 360 度回転が可能な機構である (図 4.6)。4 つのスラスターの推力と、その向きを変えることにより水平方向へのあらゆる航行が容易に可能となる。また、ストラットを回転させることにより抵抗が生まれ船としては極めて稀な制動 (ブレーキ) が可能となる。このコア技術を用い、想定実機 (最大 16m) の 1/7 モデルを用いて自動航行や自動着岸等の検証試験を実施してきた (詳細は 4.3 節に示す)。

世界的にも初の試みであるロボット漁船の商用利用の為には実機の設計開発、実機の製作、実海域実証試験が不可欠である。そこで、この先はロボット漁船の実証機を開発し、三重県大紀町錦湾において実証試験を実施する。また、



(a) 俯瞰図



(b) 餌補給ノズル拡大図

図 4.5: ロボット漁船の構想図

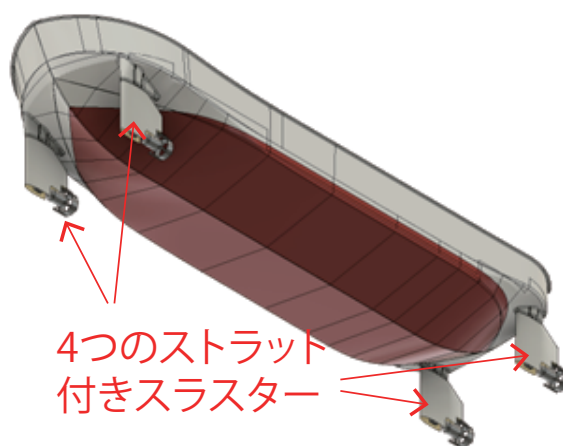


図 4.6: ロボット漁船のコア技術

ユーザーとなる実際の養殖事業者と実証試験に取り組むことで実証機の各種性能の検証に加え、実機のブラッシュアップを行い、ロボット漁船の商用機の技術構築を目指す。

ロボット漁船は、従事者の減少が著しい水産業の現場において生産量の維持・拡大と、労働コストの削減に繋がる。さらには荒天時でも人に変わって海上の生け簀に餌を補充することが出来るようになる。このように、ロボット漁船は水産養殖事業者に大きな価値を提供することが期待される。ロボット漁船は鯛やサーモンやハマチといった自動給餌機を用いる養殖のみならず、今後はマグロやブリなどの大型魚種の比較的沖合の養殖といった船から直接餌やりを行う場合にも利用できるという極めて競争優位性の高い技術に発展していく。

4.3 研究開発経緯

二瓶等は既に下表に纏めるように研究補助を受けロボット漁船を研究開発してきた。下記 No.1～No.3 において、全てロボット漁船の 1/7 モデルを用いた大阪公立大学競泳用プール（長さ 50m × 幅 25m × 深さ 1.5m）等での試験となる。実施してきた詳細は下に記すが、様々な試験を通じてロボット漁船のコンセプトを検証してきた。養殖事業に導入する為にはロボット漁船の実機の設計・製造に加え、自然環境下での実海域実証試験が必要であることは言うまでもない。

表 4.1: ロボット漁船に関わる公的資金

No.	標題	補助元	補助金名称	期間
1	養殖場における自動給餌機の為の 自動補給船—ロボット漁船— の研究開発	国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST)	大学発新産業 創出プログラム SBIR フェーズ 1	2021.11 ～ 2022.3
2	ロボット漁船の自動係船手法の 確立と、養殖場の自動給餌機への 餌補給手法の確立	生物系特定産業技術 研究支援センター (BRAIN)	スタートアップ 総合支援プログラム SBIR フェーズ 2	2022.11 ～ 2023.6
3	ロボット漁船実現の為の航行・ 係船・餌補給モジュールの 開発	生物系特定産業技術 研究支援センター (BRAIN)	スタートアップ 総合支援プログラム SBIR フェーズ 3	2023.7 ～ 2024.3

ロボット漁船は生け簀における容易な自動着岸を可能にするために4つのストラット付きスラスター（推進器）を備える特殊な船である。その為、表 4.1 No. 1 のフェーズ 1 では、ロボット漁船 1/7 モデルを製作し（図 4.7）、自動航行制御、狙った位置への自動着岸（図 4.8, 4.9）、ストラットの制動（ブレーキ性能）を検証した。全ての検証において技術的目標を達成し、この4つのストラット付きスラスターを有するロボット漁船のコンセプトが自動着岸等の特殊な作業船にとって優位である確証を得た [13]。



図 4.7: ロボット漁船の 1/7 モデル

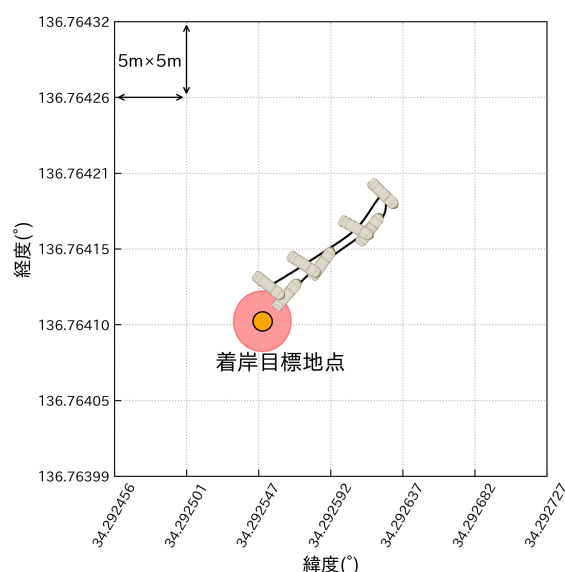


図 4.8: 狙った位置への自動着岸

No. 2 のフェーズ 2 では実機を見据え、ロボット漁船の養殖生け簀への自動着岸・係船システムの構築、ロボット漁船から餌を補給する手法の構築等を実施してきた（図 4.10 及び図 4.11）。自動着岸において、フェーズ 1 では GPS 及び地磁気センサーで自動誘導していた。しかし、海上の生け簀は係留されているものの、風等の影響で長周期動揺している。そこで LiDAR（レーザー距離測定）により生け簀に取り付けられた2つの識別版を捉え生け簀の位置と向きを算出し、且つボラード（係船杭）に電動スライダーを用いて自動係船する手法を構築した。ロボット漁船から自動給餌機への餌補給は、自動給餌機に取り付けた受け口を画像認識し、餌補給ノズルを制御し、エアーで移送する技術を構築した [14]。なお、図 4.11 に示すように餌のエアー搬送により割れ等は確認されなかった。

No.3 では自動航行や自動着岸等の制御を搭載したロボット漁船の自動航行モジュールを研究開発した。

以上述べた No.1～No.3 まで 1/7 相当のロボット漁船の模型船を用いた基本的な試験を実施してきたが、海上での実

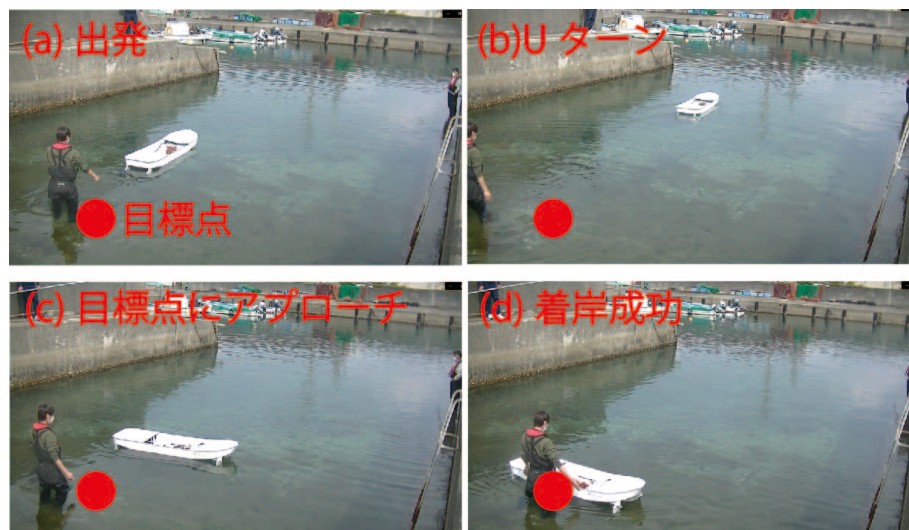


図 4.9: フェーズ 1 におけるロボット漁船の自動着岸検証試験

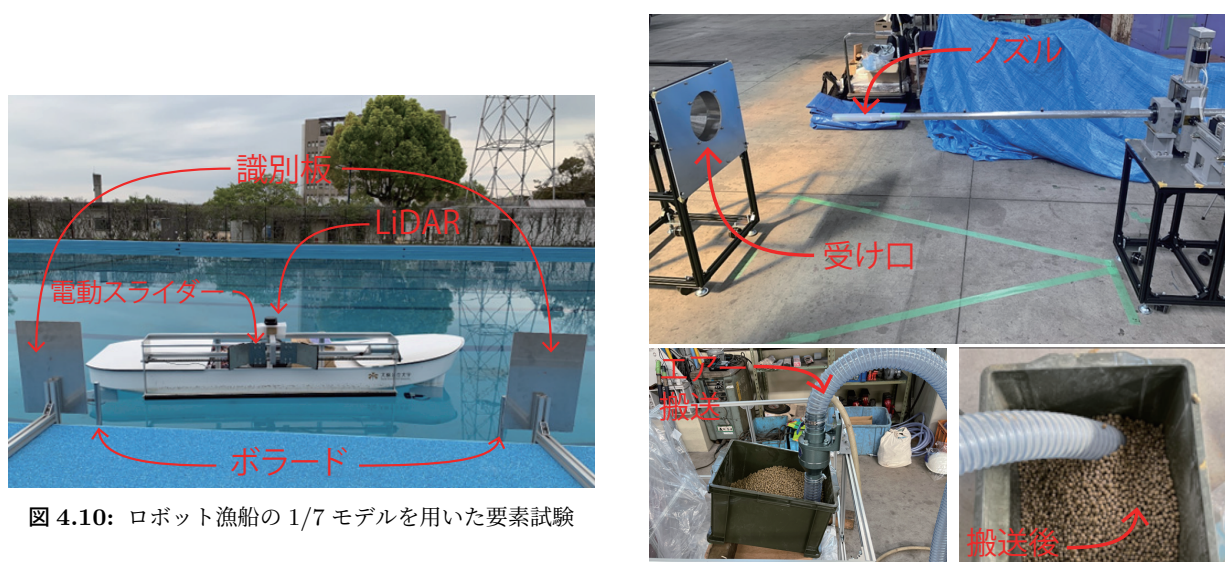


図 4.10: ロボット漁船の 1/7 モデルを用いた要素試験

図 4.11: エアによる餌の搬送

証試験が今後の課題であると考えている。実機を開発したうえで、実海域における波風がある中での航行試験，航続時間検証試験，係船試験，餌補給試験，制御システムの検証などハードウェア，ソフトウェアに及ぶ検証項目に取り組む必要がある。各機器の塩害や構造劣化も確認する必要がある。また，技術開発もさることながら，ロボット漁船の事業化のためには養殖事業者にとって経済的メリットが感じられることも重要である。したがって，事業化に向けた長期的な実証事業が必須であると考え，実海域試験，実証事業を進める次第である。

4.4 社会実装に向けた実証試験

この先進める実証試験は大きく 2 つの流れとなる。最初に全長 7m のロボット漁船実機の詳細設計と製造を行い (4.4.1 節)，次に実海域実証試験により 7m ロボット漁船の各種機能の実証を行う (4.4.2 節)。図 4.12 に 7m のロボット漁船の実証試験のスケジュールを示す。商用化は 2025 年度を目指している。

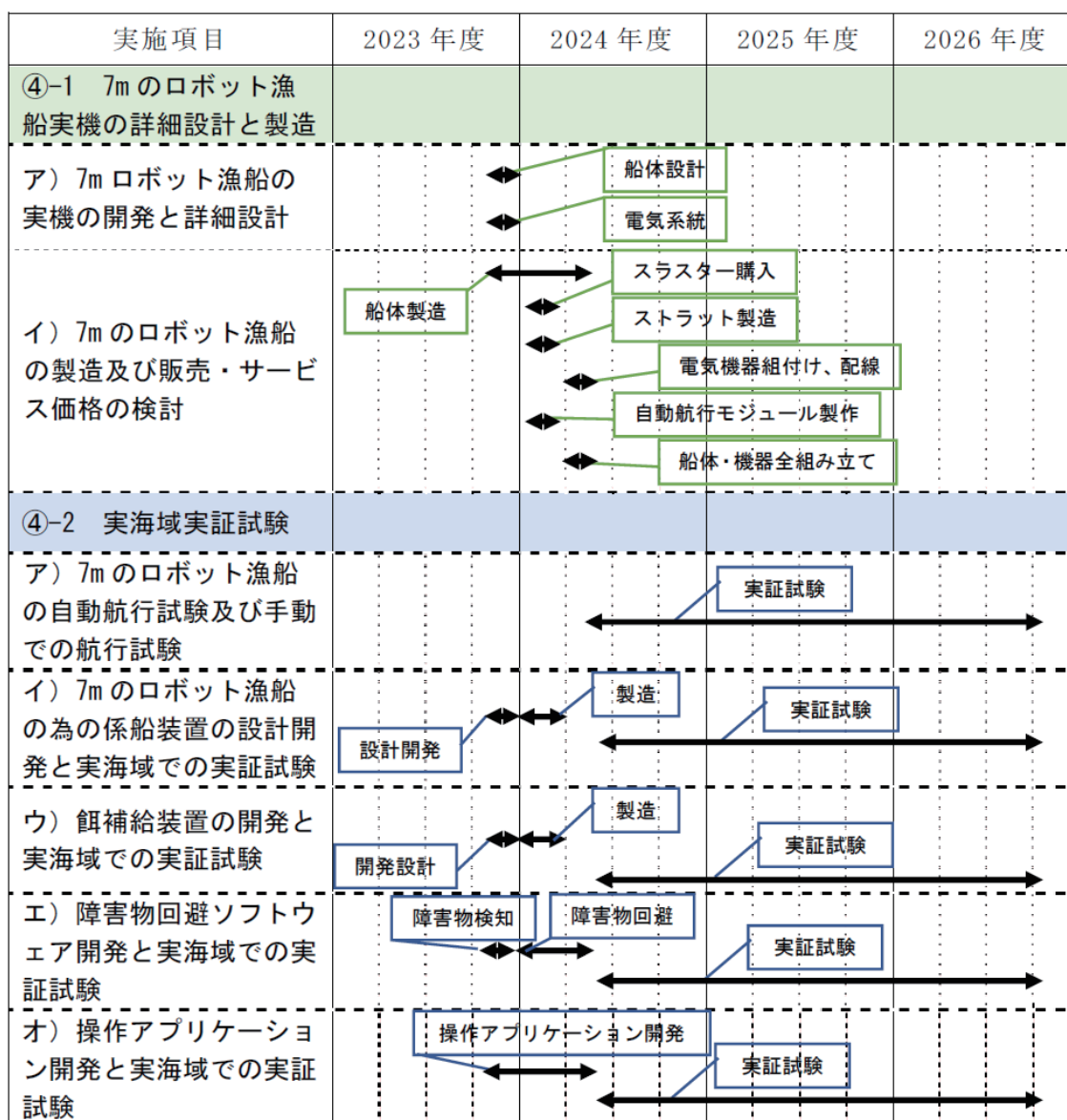


図 4.12: 7m のロボット漁船の商用化までの実証試験スケジュール

4.4.1 7m のロボット漁船実機の詳細設計と製造

開発項目 ア) 7m ロボット漁船の実機の開発と詳細設計

既に図 4.10 及び図 4.11 で示したようにプールによる 1/7 サイズのロボット漁船の自動航行、自動着岸、自動係船試験や、自動給餌機への餌補給の要素技術の確立を終え、現段階では 7m のロボット漁船の実海域実証試験の為の準備を進めている。具体的には 7m のロボット漁船の餌の積載可能重量計算、ロボット漁船の主寸法算出、ロボット漁船実機に必要なスラスタ機器選定、船速予測、連続稼働時間の予測等を行った。表 4.2 に 7m のロボット漁船の主寸法や主性能を纏める。また、表 4.2 に示した 7m のロボット漁船の CAD 図を図 4.13 に示す。

主性能推定において水槽試験を行い、図 4.13 に示す実証機で用いる予定の電動スラスタの事前調査を行った上で算出した。結果としてロボット漁船は最大 7knot で航行できることが分かっている。また、連続稼働時間は 10 時間であることも分かっており、生け簀の巡回として十分な稼働時間を確保できることも分かっている。

概略設計は表 4.2、図 4.13 に示す通りであるが、スラスタの取り付け方法や、餌タンク配置、バッテリー配置、バッテリー固定方法、電気系統、生け簀への係船装置、餌補給装置等の詳細設計が必要である (図 4.14 に実機のイメー

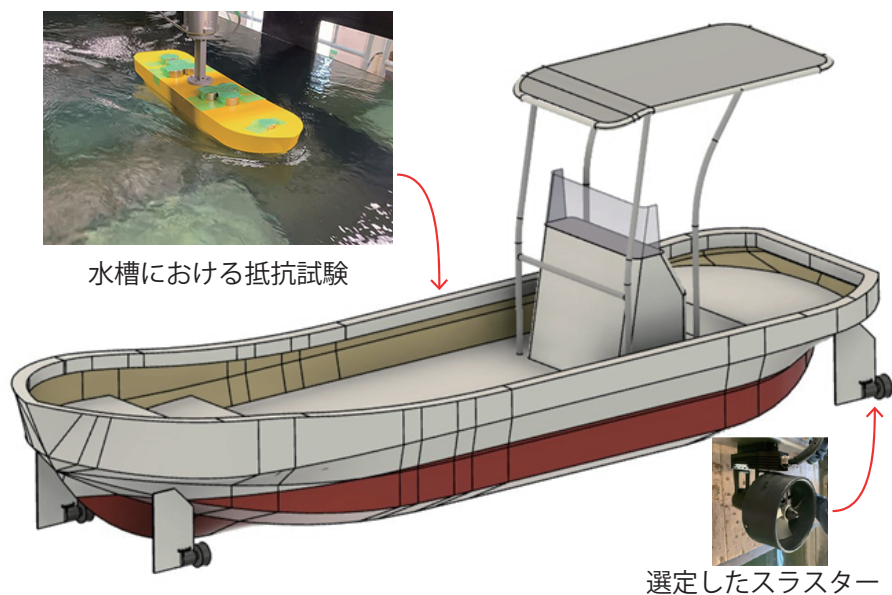


図 4.13: 7m のロボット漁船の CAD による概略図

表 4.2: 7m のロボット漁船の主要目や主性能

項目	値等
船長	7m
船幅	6.3m
軽荷喫水	0.35m
満載喫水	0.5m
軽荷時排水量	2.5ton
満載時排水量	4ton
積載量	1.5ton
総トン数	1.3 トン
主機駆動力	ハイブリッド式（バッテリー＋発電機）
推進器	電動機 4 機
主機出力	16.4kW
定格 (最高) 船速	4(7)knot
定格 (最高) 主機出力	6(18)kW
定格 (最高出力時) 連続航行時間	10(1.8) 時間

ジ図を示す。)。また、本ロボット漁船は自動航行に加えて、遠隔操船、人が乗船しての手動航行も可能なものとして設計する。その為、手動航行機構部の詳細設計も必要となる。これらの項目を加味した 7m のロボット漁船の詳細設計を行う。

開発項目 イ) 7m のロボット漁船の製造及び販売・サービス価格の検討

7m サイズの本ロボット漁船は GFRP 製となる。15m 程度までの漁船であれば GFRP による製造が一般的である。ロボット漁船の主な構成部分は船体部、スラスター、ストラット、電気機器、自動航行モジュール、自動着岸装置、自動餌補給装置となる。詳細設計の終えたものから製造に取り掛かる。本ロボット漁船は漁船に該当し、漁船登録に関わる検査を受ける。既にこれまで多数の漁船新造のノウハウを有する三重県内の造船会社との折衝を行っており、このような特殊船の製造に関する情報共有を開始している。漁船登録に関わる検査についても同企業と協力して進める。

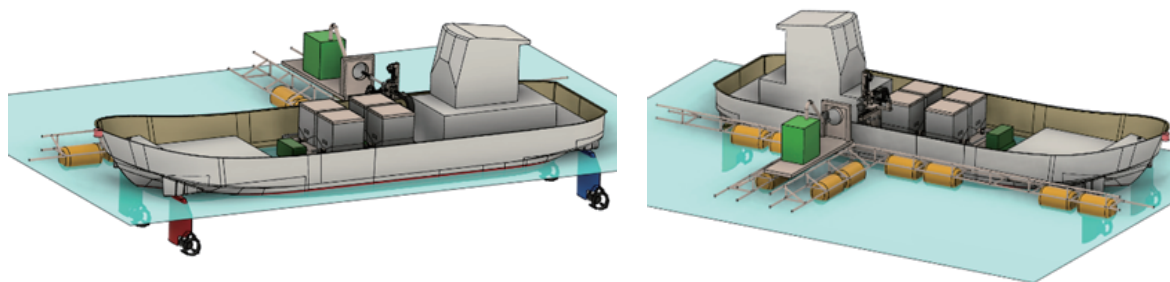


図 4.14: 実機イメージ図

また、設計および製造を通じて本ロボット漁船を導入することにより漁業者に1隻当たり年間200万円の経済的なメリットが生まれるようなロボット漁船となるようにする。3都道府県以上でロボット漁船のユーザーとなる養殖事業者等からロボット漁船の導入に関するヒアリングを実施し、経済的メリットを導き出す。

4.4.2 実海域実証試験

開発項目 ア) 7m のロボット漁船の自動航行試験及び手動での航行試験

実海域試験は三重県大紀町錦湾にて行われる。図 4.3(a) に同海域のタイの養殖場を示す。ここではタイやブリ等が養殖されている。一養殖事業者で30程度の生け簀を保有している。ここでは3隻の漁船で自動給餌機に餌補給や生け簀への直接餌投入を行っている。他の養殖地域でもヒアリングを通して同じような形態であることを確認している。

自動航行に加えて手動での航行についても試験を繰り返す。7m の本ロボット漁船は表 4.2 で纏めたように最大船速7knot、定格主力時は4knotと予測された。実証試験においてもこの船速となるかを調査する。また、定格出力時は10時間の連続稼働が見込まれるので実証試験において調査を進める。

現時点では、自動給餌機を設置可能な海域を対象としており、常時波風の激しい沖合等での運用を考慮していないが、ロボット漁船は無人船であるためその特徴を活かし、より荒天時での運用可否を調査することも重要である。本実証試験において運用可能な限界風速、限界波高を求める。まずは風速5m/s、波高0.5m程度での実証を一つの目途とし、その後、無人船であることの利点を最大限活かすことができるよう、徐々に激しい波風での運用を試みる。

開発項目 イ) 7m のロボット漁船の係船装置の設計開発と実海域での実証試験

既に図 4.10 に示す様に自動係船が行われてきたが、この機構では力を十分に逃すことはできない。そこで、新たな検討を行い、係船中にロボット漁船が動揺しても波の力を逃がす構造を実現する。

この先、係船装置は詳細設計および制御機器設計を行う。また、ロボット漁船の7mモデルに設置できるようにこの係船装置の実証モデルを製作する。この機器はロボット漁船開発項目オ)で示される操作アプリケーションにより遠隔でも操作可能のように開発する。また、ロボット漁船が自動操縦されている時は、自動係船装置の状況がロボット漁船操作アプリケーションからも確認できる仕様とする。陸上での係船装置の試験とともに7mのロボット漁船の自動航行から自動着岸制御を行い、自動着岸後に自動係船することを実証試験により検証する。

開発項目 ウ) 餌補給装置の開発と実海域での実証試験

既に図 4.11 や図 4.5(b) で示す様に、BRAIN SBIR フェーズ2では餌補給ノズルに取り付けられた画像カメラにより自動給餌機側受け口に取り付けられたマーカーを画像認識し受け口中心を3次元計測することを実現してきた。これらの認識は1秒間隔毎に算出することを達成し、ノズルは1秒間隔で制御を実現してきた。ロボット漁船内の餌タンクから自動給餌機への餌補給量300kg/時を達成してきた。

図 4.11 では餌補給ノズルの接続試験は1/2サイズの試験であり、餌補給はフルスケールでの試験である。それぞれ個別での要素試験を行ってきた。また、餌補給ノズルの接続試験では画像認識によるノズル位置制御であり接続までは実施していない。

この先は要素ごとに確立してきた餌補給口認識から餌補給ノズルの制御と接続、そして餌補給を可能な装置を一体開発する。フルスケールの餌補給装置を設計及び製作し、7mのロボット漁船に搭載し実証試験により検証する。

開発項目 エ) 障害物回避ソフトウェア開発と実海域での実証試験

障害物検知は、画像解析または LiDAR 装置を用いる。既に二瓶等は LiDAR を用いた障害物回避に取り組んだことがあり、ロボット漁船に技術移転可能な状況にある。画像を用いた障害物距離推定については事前実験を行っている。事前実験では近年急速な発展を遂げている、単眼深度推定法を用いている。まず、カメラ画像から機械学習モデルにより深度を割り出す。事前検討では Zoe Depth という学習済みモデルを用いている。次に各物体の認識は深層学習によるセマンティックセグメンテーションの技術を用いる。これら2つの技術により障害物となる各物体の距離を推定するソフトウェアを開発する。

障害物との距離が推定された段階で障害物を回避するソフトウェアをロボット漁船の制御プログラムに実装する。実証試験では漁船を傭船する。そして、ロボット漁船が傭船した漁船を自動回避し航行できることを検証する。

開発項目 オ) 操作アプリケーション開発と実海域での実証試験

将来的にこのロボット漁船が広く活用されるためには、ロボット漁船の ICT 化を進め、1 人でも容易な操作を可能にしなければならない。陸上からのモニタリングや操作が出来るようアプリケーション開発を行う。

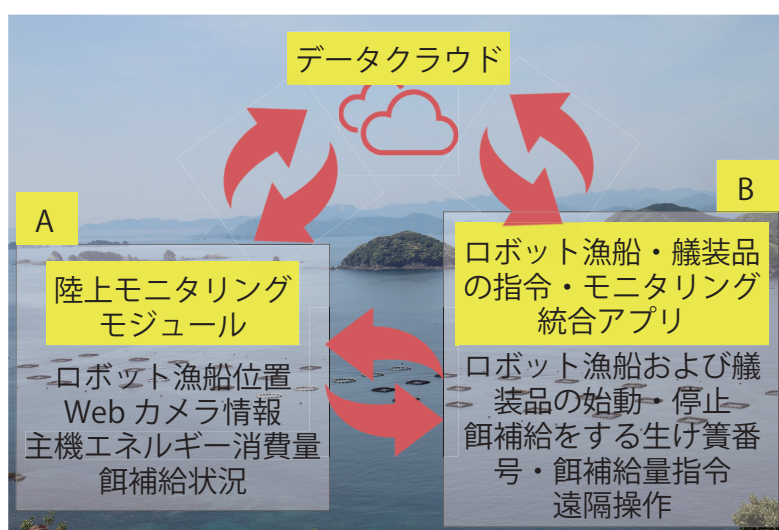


図 4.15: 4G 回線による通信モジュール & アプリ研究開発

ロボット漁船の各種データを陸上の PC 等にする陸上モニタリングモジュールを新たに開発する。送信データはロボット漁船の位置データ (GPS により取得)、搭載 web カメラデータ、電力等のエネルギー消費量に加えて餌補給状況等とする。(図 4.15-A)

PC やスマホ等の端末からもロボット漁船の操縦指令等ができるようにロボット漁船や自動餌補給装置並びに自動係船装置の指令やモニタリングをすることが可能な統合アプリを開発する。餌補給を行う生け簀番号や餌補給量等を指令出来るようにする。端末からカメラデータを見ながら遠隔操船できるようにも研究開発を進める。(図 4.15-B) この指令・モニタリングは統合アプリにより操作出来るようアプリ開発を行う。これらのアプリを装備することにより、ロボット漁船がより容易に使用可能になり、大幅な労力低減に繋がる。加えて、必要なデータについてはデータが残るようにデータクラウドにアップロード出来るようにクラウド化モジュールを開発する。

4.5 実用化・産業化の見込み

養殖事業者にとって、ロボット漁船を導入する経済的なメリットは、餌補給 (もしくは給餌) をする人件費を削減できることである。試算では、養殖用途の漁船は現在 3800 隻存在しており各々の漁船を使って一人が餌補給をすると、200 万円 (年収 400 万円×半年稼働としている) × 3800 隻 = 76 億円となる。したがってロボット漁船の自動餌補給事業は最大 76 億円の利益を得ることができる。この自動餌補給のためのソフトウェアを SaaS (Software as a Service) としてサブスクリプションモデルで提供する。

さらに、養殖事業者は現在持っている漁船をロボット漁船に買い替える必要がある。ロボティクスセーリングラボ社

は漁船自体の販売も手掛けていく。試算は次のようになる。3800 隻が約 20 年で更新されるため年間 190 隻が新造される。仮ではあるが 190 隻すべてを我々が販売したとすると、1 隻 5000 万円として、 $190 \text{ 隻} \times 5000 \text{ 万円} = 95 \text{ 億円}$ の売上となる。利益率が 10% とすると 9.5 億円の利益を生む。我々で製造が賄いきれない場合は中小の造船会社と提携し需要に対して供給をしていく計画である。

商流を図 4.16 に示す。ハードウェアとして部品加工会社、電気機器販売会社からの調達、ソフトウェア関連としてサーバ会社、通信会社との取引を行う。完成した製品は自社での直接販売や販売代理店を通し、顧客である養殖事業者へ納める。

ロボット漁船の製造側にとっても、ユーザーである養殖事業者側にとっても経済的なメリットは大きく実用化、産業化の見込みが極めて高い事業である。

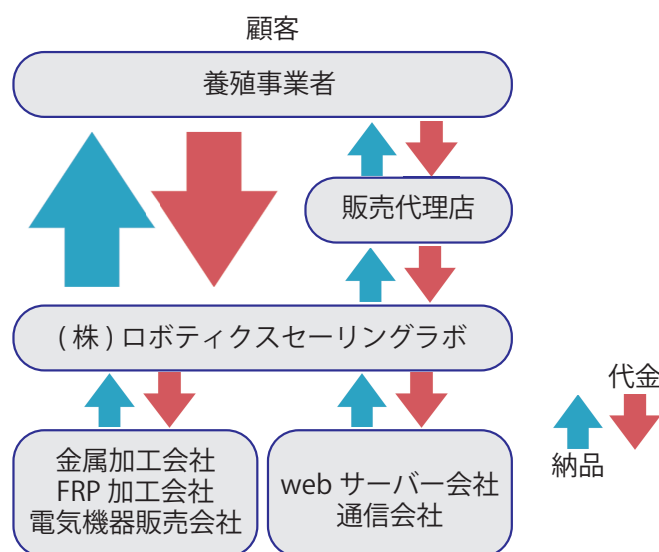


図 4.16: 商流

4.6 ロボット漁船を製造するスタートアップ企業の立ち上げ

ロボット漁船に関わる研究開発は 2021 年度に始まった。ロボット漁船に関わる基本特許は [12] に示されるようにこの時期に出願されている。既に 4.3 節で述べたように、最初の重要なコンセプトの検証である自動着岸について 2021 年度に行い、2022 年度は餌補給技術の構築等の要素技術の研究開発を行った。ロボット漁船の実機開発には実海域での長期間の試験が必要になり大きな開発資金が必要となる。既存の企業への技術移転も計画の中で検討してきたが、扱う商材や事業規模の大きさを鑑みて技術移転交渉はうまく纏まらなかった。その結果、研究者自身で起業しこの技術の社会実装を目指すべきであるという考えに行き着き (株) ロボティクスセーリングラボを立ち上げるに至った。それが 2023 年 4 月のことである。

ロボット漁船の販売の事業化までには数年の時間を要する。また、多額の研究開発費用を必要とする。銀行の融資は売り上げ見込みが立たなければ受けられない。このような場合のスキームとして出資という手段がある。即ち、ベンチャーキャピタル (VC) 等が将来的な利益を見込んで、会社の株式と引き換えに資金を援助する投資方法である。この方法を頼っての研究開発の道を辿ることとした。起業して早々はシード期と言われ、VC による伴走支援も非常に重要となる。幸いにして熱心に伴走支援して頂ける VC であるライトアップベンチャーズと (株) ロボティクスセーリングラボ社は出会い、2023 年 6 月末に出資契約に至っている [15]。これが (株) ロボティクスセーリングラボがスタートアップ企業となった所以である。

我が国の食料自給率向上や鮭に代表される食文化の為には水産業の発展は大変重要なことは言うまでもない。近年では養殖漁業は水産業を支える大きな産業に成長を遂げていることは周知の事実である。養殖漁業の持続的な発展を鑑みると事業者の労働軽減や生産規模拡大や生産効率の向上は待たなしの大きな社会課題である。ロボット漁船は養殖事

業を支える革新的な技術であると考えており、ロボット漁船を安定的に生産・供給可能な体制の構築が今後の(株)ロボティクスセーリングラボには求められてくる。その為にも(株)ロボティクスセーリングラボは上場またはM&Aを目指し、安定的な資金のもとで事業継続をする必要があろう。(株)ロボティクスセーリングラボはシード出資を受けはしたが、それは入口に立っただけであり、目的達成に向けて新たな増資の必要が生じてくる。例えば、技術スタッフや営業人材や各種経営人材の採用や、ロボット漁船に関わる開発、製造設備構築に向けた資金増強である。

現在、(株)ロボティクスセーリングラボは「1次産業に追い風を！」(Tailwind for primary industry.)というミッションを打ち立て、養殖漁業の発展のみならず広く1次産業の機械化や自動化や情報化に関わる商品企画や商品開発も開始している。ラボレベルでの試験が終わっているシーズ技術の規模拡大には機械化や自動化が必要となる。このような装置はゼロレベルからの開発が必要になる為、総合工学、機械工学一般の専門知識を持つ(株)ロボティクスセーリングラボがそれを請け負っていく。(株)ロボティクスセーリングラボが1次産業生産者の更なる価値を引き出し、「1次産業に追い風を！」吹かすことが出来る企業として存在していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 日本海工株式会社. アクアドローンロボセン HP. <https://robosen.jp/>.
- [2] 二瓶泰範, 北村眞一, 宮本一之, 外城正昭, 石井好治, 近本雅彦, 篠井隆之, 増田憲和. 船舶 特許第 6332824 号. 2017.
- [3] 二瓶泰範, 北村眞一, 外城正昭, 篠井隆之, 増田憲和. 船舶 特許第 6796292 号. 2020.
- [4] Ryosuke Saga, Zhipeng Liang, Naoyuki Hara, and Yasunori Nihei. *Optimal Route Search Based on Multi-objective Genetic Algorithm for Maritime Navigation Vessels*, pp. 506–518. Springer International Publishing, 2020.
- [5] 鶴見悠太郎, 季明耀, 佐賀亮介, 二瓶泰範. 四胴型自動航行船の最適巡回航路に関する研究. 日本船舶海洋工学会論文集, No. 37, pp. 57–67, 2023.
- [6] Mingyao Ji, Sharath Srinivasamurthy, and Yasunori Nihei. Basic research on the influence of descent flow from small unmanned aerial vehicle(quadcopter) on a small floating body. *Proceedings of ASME 2020 39th international conference on ocean, offshore and arctic engineering(OMAE2020)*, No. OMAE2020-18787, pp. 1–9, 2020.
- [7] 二瓶泰範, 鶴見悠太郎, 増田憲和, 原田浩太郎, 奥野充一, 原尚之, 中田聡史. 四胴型自動航行船による高密度・高頻度な自動水質環境計測. 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 76, No. 2, pp. 1039–1044, 2020.
- [8] M Komizo, K Mukai, N Hara, Y Nihei, and K Konishi. Sea testing of automatic motion control system for a quad-maran unmanned vessel. *Proc. of 2019 International Automatic Control Conference*, 2019.
- [9] 関西造船協会. 造船設計便覧. 第 4 版. 海文堂, 1983.
- [10] Wikipedia. 技術成熟度レベル.
- [11] 農林水産省水産庁. 令和元年度水産白書. 2019.
- [12] 二瓶泰範, 阪本啓志, 増田憲和. 船舶 特願 2021-192585. 2021.
- [13] 二瓶泰範, 季明耀, 阪本啓志, 増田憲和. 養殖場における自動給餌機の為の自動補給船ーロボット漁船ーの自動航行と自動着岸の研究. 日本船舶海洋工学会講演会論文集, No. 35, pp. 447–450, 2022.
- [14] 二瓶泰範, 吉良浩司, 阪本啓志. ロボット漁船の自動係船手法の確立と, 養殖場の自動給餌機への餌補給手法の確立, 2023.
- [15] 株式会社日本経済新聞社. 大阪にもシード VC 設立. 日本経済新聞, 2023. 8 月 23 日第 33 面関西経済.