

「第二水面」形成による 沖合養殖のための水中給餌方式の提案

今井 哲郎^{1,a)} 荒井 研一¹ 小林 透¹

受付日 2020年6月30日, 採録日 2020年11月4日

概要: 浮沈式生け簀は, エア制御によって生け簀を沈下・浮上させることができる係留システムであり, これを用いた沖合養殖では, 悪天候時には波浪の影響が少ない深さまで沈下させて施設の保全を図ることができる. しかし給餌時に生け簀の浮沈作業が必要であり, そのためには労働力が必要となることから, 生け簀を水中に配置したまま給餌できる方式が求められている. そこで本稿では水中の生け簀に対しても, あたかも水面の生け簀に対して行っているように給餌することができる「第二水面」形成による給餌方式を提案する. 提案方式は, 餌タンクを水中に配置し, 水中に圧縮空気を供給して第二水面を形成することで生け簀を浮上させることなく給餌を行うことができる水中給餌装置, スマートフォンからの遠隔給餌操作が可能な遠隔給餌システムおよび制御・通信, 餌や物資の補給・交換のための管理ブイからなる. 本稿では水中給餌装置および遠隔給餌システムの試作を行い, 海中でのフィールド実験を通して, 試作した水中給餌装置が水深 15 m の海中にあっても餌タンクの水没を防ぎ, 餌タンクの開閉動作を実施できることを確認した. また陸上での追加実験を通して, 試作した遠隔給餌システムによりスマートフォンの操作で水中給餌装置の餌タンクの開閉制御を正常に実施できることを確認した.

キーワード: Internet of Things, 水中給餌, 第二水面, 浮沈式生け簀, 水産養殖

A Novel under Water Feeding Method for Offshore Aquaculture by Forming the Second Water Surface

TETSUO IMAI^{1,a)} KENICHI ARAI¹ TORU KOBAYASHI¹

Received: June 30, 2020, Accepted: November 4, 2020

Abstract: Submersible cages are mooring systems that can be placed at the surface of water or submerged using air control. Floating cages are used in offshore aquaculture facilities. The cages can be protected by sinking them to a depth that is less affected by waves in bad weather; however, the high labor cost for feeding is a problem. In this study, a novel underwater feeding system which reduces the labor cost for feeding is proposed. Our system consists of an underwater feeding device equipped with an underwater feed tank that can feed without floating a cage by forming a second water surface; a feeding system that can be operated remotely from a smartphone; and a management buoy for control, communication, and supplement of expendables. Furthermore, we developed a prototype of an underwater feeding device and a remote feeding system. Through a field experiment in the sea, it was confirmed that our prototype can prevent the submersion of the feed tank, which can be opened and closed, even at a depth of 15 m. In addition, it was confirmed by an additional experiment (on land) that the prototype of the remote feeding system could normally control the opening and closing of the feeding tank using a smartphone.

Keywords: Internet of Things, underwater feeding, the second water surface, submersible cage, aquaculture

¹ 長崎大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagasaki University,
Nagasaki 852-8521, Japan

^{a)} imai@nagasaki-u.ac.jp

1. はじめに

沿岸域で行われている養殖は, 水質が安定しないため赤潮や青潮による被害が発生しやすく, また設置場所が飽和

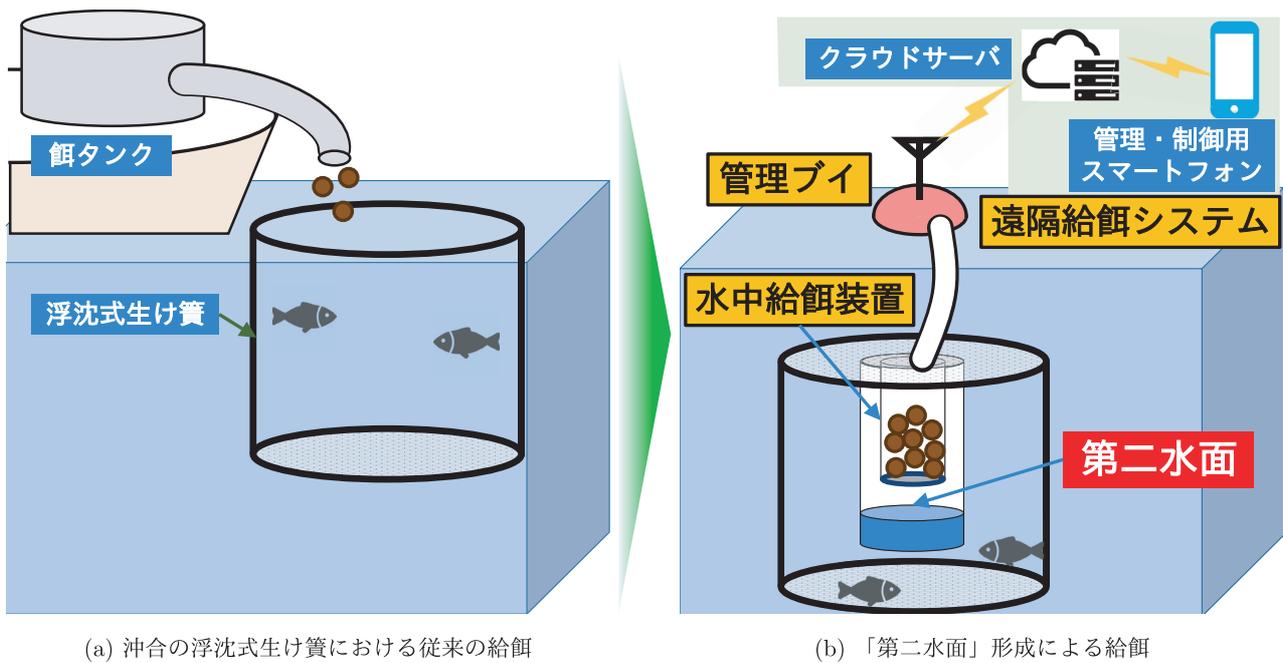


図 1 提案手法のコンセプト図
Fig. 1 Conceptual scheme of our method.

状態で大規模化が困難であることなどの課題を抱えていることから、近年外洋で行われる沖合養殖のための技術開発が進められている [1]. 外洋で行われる沖合養殖は、沿岸域で行われている養殖と比べ、高い流動性により水質がクリアで安定し、かつ大規模な生け簀を設置できるメリットがある [2]. 沖合養殖で用いる生け簀は、季節風による高波発生時や台風通過時などには時間と労力をかけて曳航して保全することが必要であるが、この問題を回避するための設備として、浮沈式生け簀がある。浮沈式生け簀は、エア制御によって生け簀を沈下・浮上させることができる係留システムであり、悪天候時には波浪の影響が少ない深さまで沈下させ、施設の保全を図ることができる。

浮沈式生け簀を用いた沖合養殖には、以下のメリットがある [3].

- 台風・季節風などによる高波からの施設・魚貝類の保全・保護
- 赤潮・青潮被害による斃死対策
- 降雨や河川などで発生する塩分濃度低下と表水面水温低下などに起因する、魚貝類への影響軽減
- 油濁および河川汚水からの回避
- 盗難予防

一方で課題は、給餌のための労働力コストである。浮沈式生け簀による沖合養殖には、(1) ペレット状の餌を船で沖合まで運搬し、(2) 生け簀を浮上させ、(3) 餌を投入し、(4) 生け簀を再沈下させる作業が必要となる。さらには、給餌の中断は養殖対象の魚介類の生育に悪影響を与えるから、(5) 悪天候時においても継続して給餌を実施しなければならない。これらを実施するためには養殖事業者の労働

力が必要で、それは多大なコスト増を招く (図 1(a)).

本稿の目的は、浮沈式生け簀のメリットを活かしつつ、沖合養殖の労働コストを削減する新たな給餌方式を実現することである。これを実現するには、以下の 5 要件が求められる。

- 要件 a) 生け簀を浮上させずに給餌作業が実施できること (2), (4) の省力化である。またこれによって養殖対象の魚介類へのストレスを軽減する効果も期待できる。
- 要件 b) 荒天時にも退避せずに継続的に給餌作業が実施できること
荒天時に生け簀を損傷を受けない場所まで曳航して退避させることは、労働コストや運搬のための船の燃料費削減の観点から好ましくないため、浮沈式生け簀のメリットを活かし、継続して給餌を実施することが求められる。(5) の実現である。
- 要件 c) 餌や電池の補給頻度が低いこと (1) の低減である。沖合の浮沈式生け簀に船で物資を運搬・供給する頻度が高ければ、やはり労働コストと燃料費が課題となる。餌の補給回数を下げるためには沖合の生け簀にできるだけ大量の餌を、できるだけ長期にわたって保管できることが求められるが、常温の保管方法では特に夏季には餌の腐食の進行が早く、多くの餌を一度に貯蔵することが難しい。したがって、餌を低温かつ乾燥した状態で保管する必要がある。一方で大量の電力を消費して冷蔵する方法では、電池の交換頻度が高くなってしまふことから、餌保管にかかる消

費エネルギーを低減する必要もある。

要件 d) 給餌作業が遠隔で操作できること

給餌作業 (3) 自体の省力化であるほか、沖合の生け簀に移動するための労働コスト・燃料費の削減にもなる。

要件 e) 既存の養殖施設へ付加的に実装できること

既存の養殖事業者が労働コストの削減を図るためには、大規模養殖施設を新規に建設する方式ではなく、既存の養殖施設へ装置を付加する形で実装できる必要がある。日本における海面養殖事業者は約 89.6%が個人経営体であり [4]、小規模事業者でも実施可能な方式であることのメリットは大きい。

2. 関連研究

ICT を活用して養殖業の省力化を図る取り組みとしては、以下の事例があげられる [5]。

まずマリノフォーラム 21 や東京大学などのグループによる取り組みとして「環境 IT 技術を活用した新たな養殖技術開発事業」がある [6]。この取り組みでは、生け簀の浮沈作業や給餌作業の遠隔操作に取り組んでおり、また ICT による養殖環境のモニタリング、給餌タイミングの自動化、生け簀内の観測による養殖魚のサイズや健康状態の把握などにも取り組んでいる。一方で、浮沈式生け簀を水中に配置したまま給餌する方式については研究対象としていない。

日鉄エンジニアリング株式会社を中心となって実施している取り組みとして、「農林水産省『知』の集積と活用による研究開発モデル事業」がある [7]。この取り組みでは、IoT を活用した最適生産管理システムの開発、大型生け簀システムの高度化、自動給餌システムの高度化、環境に調和した養殖の設計が行われている。一方で、本取り組みは新規大規模養殖プラットフォームでの実装が想定されているため、既存の個人養殖事業者向けの付加的な実装は困難である。

3. 方法

3.1 提案手法

1 章にあげた 5 要件を満たすために、本稿では水中に「第二水面」を形成する遠隔給餌システムを提案する。図 1 (b) に提案手法のコンセプト図を示す。提案手法では、水中の浮沈式生け簀内に配置された水中給餌装置へ水上の圧縮空気タンクから空気を供給して装置下部に第二水面を形成し、餌タンク底面の開閉を遠隔で制御することで餌の投入を実施する。これにより、従来の給餌法で水面の生け簀に給餌を行うのとまったく同様に、水中の第二水面に対して乾燥した餌ペレットを投入することができる。

提案手法を実装するための構成は、管理ブイ、水中給餌装置、遠隔給餌システムである。それぞれについての詳細

を、3.2 節、3.3 節、3.4 節で述べる。

3.2 管理ブイ

管理ブイは浮沈式生け簀付近の水上に配置されており、通信用アンテナが備えられているほか、生け簀制御コンピュータ、圧縮空気タンク、空気弁、および電池が、高波発生時にも損傷しないように耐衝撃性を保つ形で収容される。また物資の交換時には、船から管理ブイ内の圧縮空気タンクおよび電池を交換することで実施する。管理ブイには餌補給チューブが接続されており、餌の補給時には船の餌タンクからこのチューブを経由して水中給餌装置内部の餌タンクへ餌を補給することができる。また圧縮空気供給チューブが浮沈式生け簀の浮沈制御用 1 本、水中給餌装置内エアスペース確保用 1 本、餌タンク底面開閉用 2 本の合計 4 本接続され、それぞれ電磁式空気弁を開閉制御することで圧縮空気の供給と停止を行う。

なお本稿では、管理ブイについて実際の製作は行っていない。仮に製作するとすれば、内部に各機材を収容可能なポリエチレン素材の組立式軽量ブイを採用することを想定している。サイズについても推定となるが、5 章で詳述する 1 週間程度の継続動作に必要な圧縮空気タンクと蓄電池のサイズから、直径 2.0m、高さ 2.0m 程度であれば十分と考えられる。

3.3 水中給餌装置

水中給餌装置は水中の生け簀内に配備され、遠隔操作によって餌の供給/停止を制御することで生け簀内の魚に餌を供給するための装置である。水中給餌装置が備えるべき機能は、(機能 1) 餌タンクを水中に備え、かつ水没しないこと (機能 2) 水中で餌の供給/停止動作が実施できることである。

我々は、上記要求機能を満たす水中給餌装置のプロトタイプを作成した。水中給餌装置のシステム構成図を図 2 に、プロトタイプの外観を図 3 に、仕様を表 1 に示す。本体の外部形状は円筒形で、内部に同じく円筒形の餌タンクが具備されている。本体底面は密閉されておらず、餌タンク底面の蓋を開放することで餌を本体下に放出することができる。また本体下方には姿勢安定用の重りが接続されている。本体には管理ブイ内の圧縮空気タンクから圧縮空気を注入するためのチューブが 3 本接続されている。1 本は餌タンクのエアスペースを確保するためのものである。すなわち、水深に応じて圧縮空気タンクから水中給餌装置上部に高圧空気を供給することで、水深が深く水圧が高い場所でも餌タンクが水没しないように水位を保つ。この空気供給の制御は、水中給餌装置内部に配置された水位検知用フロートが装置下部の水位を検知することで、自動的に行われる。具体的には、外部水圧が上がり装置下部の水位が上昇すると、フロートが上昇し、フロートが上部のセン

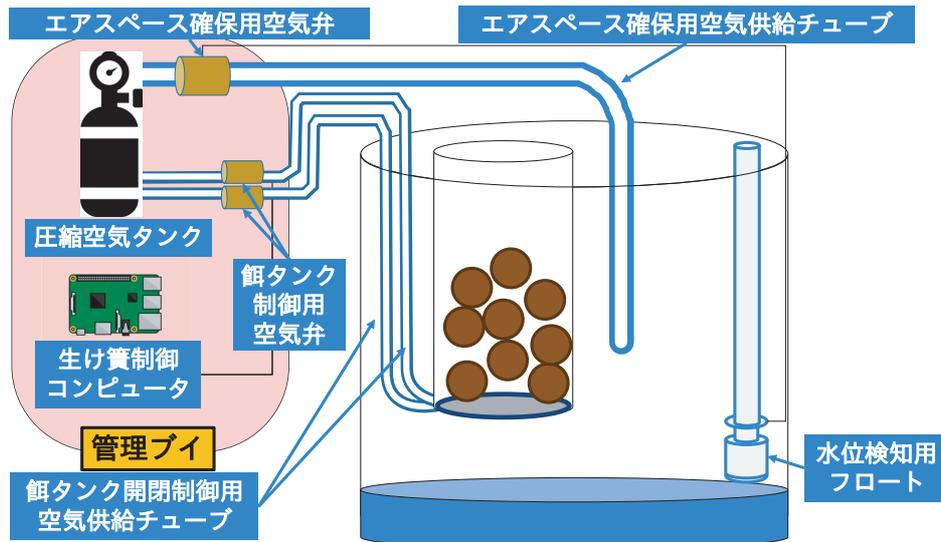


図 2 水中給餌装置のシステム構成図

Fig. 2 System architecture of an underwater feeding device.



図 3 水中給餌装置のプロトタイプの外観

Fig. 3 A photograph of a prototype of underwater feeding device.

表 1 水中給餌装置のプロトタイプの仕様

Table 1 A specification list for a prototype of our underwater feeding device.

直径	216 mm
高さ	450 mm
エアスペース容積	約 9.16 L
本体重量	約 10 kg (空中重量)
装置下方の重りの重量	約 19 kg (空中重量)
	約 17 kg (水中重量, 材質より推定)

サに接触すると、電気制御によってエアスペース確保用空気弁が開放され、高压空気が供給される。高压空気が十分に供給されて水位が下がると、フロートが上部センサから

離れ、空気弁の開放が止まる。残りの 2 本のチューブは餌タンクの開閉を制御するためのものである。餌タンク開閉はエア制御によって行われ、その動作は餌タンク開閉制御用空気供給チューブに接続された空気弁を制御することによって行われる。3.4 節で詳しく述べるように、養殖事業者からの給餌指示を生け簀制御コンピュータが受信すると、空気弁を制御して餌タンク解放、餌タンク閉鎖を行う。

3.4 遠隔給餌システム

遠隔給餌システムは、養殖事業者がスマートフォンを操作することにより、陸上にながら沖合の生け簀の水中給餌装置を制御し、任意のタイミングで餌の供給/停止を実施するためのシステムである。遠隔給餌システムが備えるべき機能は、(機能 3) スマートフォンやタブレットから餌の供給開始/停止の制御が可能であることである。この機能を実現するために、著者らが試作した遠隔自動給餌システムの概要を図 4 に示す。本システムは、管理・制御用スマートフォン、インターネット上のクラウドサーバ、水上の管理ボードに具備される生け簀制御コンピュータ、空気弁、水中の生け簀に具備される水中給餌装置からなる。

管理・制御用スマートフォンは、養殖事業者が給餌動作制御や状況把握を実施するための端末である。給餌操作のインターフェースとしての給餌トリガーボタンを、スマートフォン上で動作する Web アプリケーションの形態で実装した。スマートフォンのブラウザから「えさやり」/「えさどめ」ボタンをタップすることで、給餌実施/給餌停止の指示を与えることができるほか、給餌操作の制御ログを閲覧することもできる。図 5 は管理・制御用スマートフォンで動作する Web アプリケーションの画面キャプチャである。

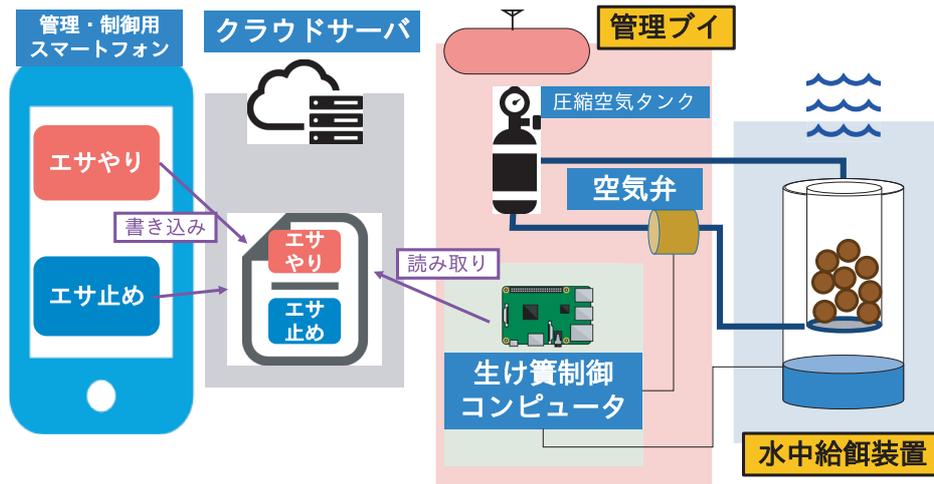


図 4 遠隔給餌システムのシステム構成図

Fig. 4 System architecture of a remote feeding system.



図 5 制御用スマートフォン上で操作する Web アプリのキャプチャ画面

Fig. 5 A screen image of a Web application on control smartphone.

インターネット上のクラウドサーバでは、管理・制御用スマートフォンからの餌タンクの開閉制御の信号を受信し、テキストファイルとして保持する。次で述べる生け簀制御コンピュータでは、このテキストファイルを定期的に参照し続けることで、管理・制御用スマートフォンによる操作が行われたことを検知し、実際の餌タンクの開閉制御を行う。

生け簀制御コンピュータは、管理パイ内部に配置されたシングルボードコンピュータ (Raspberry Pi) に実装され、クラウドサーバとのデータ授受、水中給餌装置制御のための空気弁の制御を行う。

空気弁は、圧縮空気タンクおよび水中給餌装置とを接続

表 2 遠隔給餌システムのプロトタイプ of the 機器とソフトウェアの仕様

Table 2 A H/W and S/W specification list for a prototype of our remote feeding system.

管理・制御用スマートフォン	Apple iPad 第 6 世代 32GB iOS 12.1 Safari 12.0
生け簀制御コンピュータ	Raspberry Pi 3 Model B+ Raspbian GNU/Linux 9.5 (stretch) Python 3.5.3
クラウドサーバ	Conoha VPS CentOS 7.5 Apache 2.4.6 MySQL 5.5.56-MariaDB PHP 7.2.6

する圧縮空気供給チューブの中間に配置され、水中給餌装置内部の餌タンクの開閉制御に用いられる。空気弁は餌タンク解放、餌タンク閉鎖、ニュートラルの 3 状態をとり、生け簀制御コンピュータによって制御される。

本システムの処理の流れを述べる。図 6 はシーケンス図である。スマートフォンの「えさやり」のボタンが押されると、クラウドサーバに伝達され、ボタンの状態を保持するテキストファイルに「えさやり」が記録される。生け簀制御コンピュータでは定期的にクラウドサーバのテキストファイルを参照しており、「えさやり」となったことを確認すると、空気弁を通して水中給餌装置の餌タンクの開放を行う。空気弁の状態は 2 秒後に自動的にニュートラルに戻り、その後制御が完了したことをクラウドサーバへ通知し、それを受けたクラウドサーバはテキストファイルを「ニュートラル」に変更する。「えさどめ」ボタンが押された場合も、同様のシーケンスで餌タンク閉鎖制御が実施される。

今回の遠隔給餌システムのプロトタイプに用いた機器とソフトウェアの仕様を表 2 に示す。

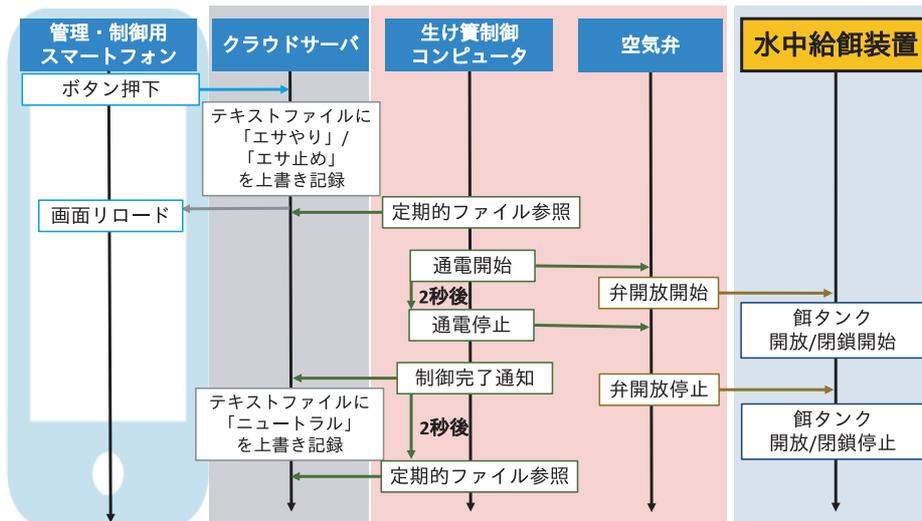


図 6 遠隔給餌システムのシーケンス図

Fig. 6 Sequence diagram of remote feeding system.

3.5 各構成部が満たすべき機能

提案手法において水中給餌装置および遠隔給餌システムが満たすべき機能は、以下のように整理される。

- 機能 1) 水中給餌装置について、餌タンクを水中に備え、かつ水没しないこと
- 機能 2) 水中給餌装置について、水中で餌の供給/停止動作が実施できること
- 機能 3) 遠隔給餌システムについて、スマートフォンやタブレットから餌の供給開始/停止の制御が可能であること

4. フィールド実験

水中給餌装置の動作確認のために、フィールド実験を実施した(図 7)。フィールド実験は長崎市の三重地区にある沖合養殖場付近で実施された。本実験は漁船上から水中給餌装置を水深 15m まで下ろすことによって実施された。当日の風速は 4~5m/s 程度、波高は 1.5m 程度、潮流の流速は 0.2kt 未満であり、海況は総じて穏やかであった。

実験の結果、餌タンクのエアスペース確保が正常に行われたことが確認できた。表 3 に、5m, 10m, 15m の各水深での空気室および餌タンクの空気圧を示す。水深が深くなるにつれて空気圧が上昇していることが分かる。すなわち、水深が深くなるにつれて水中給餌装置下の水圧が上昇し、それにともない水中給餌装置内の水位検知用フロートが上昇すると、それに反応して圧縮空気タンクから水中給餌装置上部へ圧縮空気が供給され、餌タンクのエアスペースが確保されるという、エアスペース確保用のための制御が正常に動作していることが確認された。あわせて、エア制御による餌タンク底面の開閉制御がともに動作することを確認した。また水中給餌装置を海中から引き揚げる際に

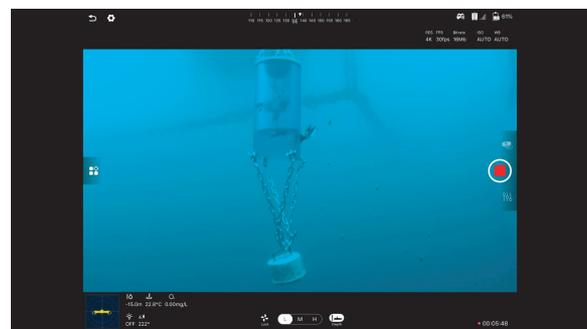


図 7 フィールド実験

Fig. 7 Field experiment for operation verification.

表 3 フィールド実験結果：水深での餌タンクの空気圧

Table 3 Results of a field experiment: Air pressure of a feed tank at each depth.

水深	空気圧 (MPa)
5 m	0.05
10 m	0.10
15 m	0.15

は、エアスペース内の空気が本体底面から海中に放出されるためバランスを崩して水没しやすくなることが懸念されたが、本体下側に付与した重りの効果により、バランスを保ちながら引き上げることができることが確認された。

なお今回のフィールド実験では、本来管理パイ内に配置される生け簀制御コンピュータ、空気弁は漁船上に配置され、圧縮空気タンクはエアコンプレッサで代用した。またフィールド実験では餌タンクの開閉制御は空気弁を直接制御することによって行われたが、その後陸上での追加実験を実施し、遠隔操作システムが正常に稼働することを確認した。すなわち、管理・制御用スマートフォンからの操作をクラウドサーバを経由して受信した生け簀制御コン

コンピュータが空気弁を制御し、餌タンクの開閉が正常に動作することを確認した。

5. 考察

まず今回試作したプロトタイプについて、水中給餌装置および遠隔給餌システムの各機能要件を満たしていることを確認する。フィールド実験によって、今回試作した水中給餌装置が圧縮空気タンク（エアコンプレッサ）と水中給餌装置内の水位検知用フロートおよび空気弁により、水深と水圧に応じた適切な空気供給が実施できた。このことから、機能 1) を満たしている。また水中での餌の供給開始/停止の制御が正常に動作したことから、機能 2) も満たしている。フィールド実験後の陸上での追加実験によって、スマートフォンによる操作から餌タンク開閉制御を遠隔で実施し、餌の供給開始/停止が正常に動作することが確認できたことから、機能 3) について満たしている。

次に提案手法が 1 章で述べた要件を満たすことを確認する。提案手法の水中観測装置では、水中で給餌が実施できることから要件 a) を満たし、また餌タンクを高波の影響を受けにくい水中に配置することで要件 b) を満たす。ただし要件 a) については、本稿では穏やかな海況での動作確認を行ったのみであるから、実用面で要件を満たすためには荒天での動作確認が必要である。本稿の試作は動作の検証レベルであったことから、電力消費量、餌タンクのサイズ、エアタンクのサイズについての詳細な検討は行っていないが、参考情報として、およそ 7 日間の無補給継続動作のための装置規模を以下のように見積もることができる。消費電力について、1 日あたりの消費電力は Raspberry Pi が最大 300 Wh, その他空気弁の消費電力は十分小さいことから（仮にエアスペース確保を 5 分間に 1 秒間、給餌動作を 1 日 2 秒間と仮定すると約 0.36 Wh）、1 日あたり最大 300 Wh 程度と概算される。管理ブイにバッテリー容量 2,500 Wh 程度の蓄電池（たとえばオンリースタイル製 SP-LFP200AHA12SB など）を配備すれば、8 日程度の無補給継続動作が可能である。餌の消費量について、今回のプロトタイプは餌タンクが収容できる餌の量は 0.5 kg 程度であったが、文献 [8] の記述を参考に計算をすると、500 尾のマダイの生け簀に対して、7 日分として約 138 kg の貯蔵が必要となる（給餌回数が週 3 回、1 回あたりの給餌量は約 46 kg）。具体的には今後の検討が必要ではあるものの、これは提案手法の餌タンクのサイズを拡大することで対応可能な規模である。圧縮空気タンクについては、仮に水深 15 m のエアスペース (0.15 MPa) 確保のために 5 分間に 1 回、1 回につきエアスペース体積の 3% を補給するとすると（餌タンク開閉のための圧縮空気の消費は十分に小さいため無視できる）、120 L, 最高圧力 1.4 MPa の圧縮空気タンク（たとえばアネスト岩田製 SAT-120C-140 など。高さ 1,370 mm, 直径 ϕ 410 mm）でおよそ 9 日間の無補給継続

動作が可能となる。これらのことから、提案方式では、電池・餌・圧縮空気タンクの補給頻度を 1 週間に 1 度程度に低く抑えて継続稼働をすることができると考えられる。したがって、試作装置からの見積りの前提で、要件 c) を満たすと判断する。遠隔給餌システムでは、水中給餌装置の餌タンク開閉を遠隔で操作することにより、要件 d) を満たす。加えて提案手法は、既存の生け簀内に水中給餌装置を設置し、付近に生け簀制御コンピュータ、圧縮空気タンク、空気弁、電池などを収容した管理ブイを設置することにより付加的に実装できるので、要件 e) も満たす。

なお沖合の浮沈式生け簀を沈下させたまま給餌を行う方式としては他にも、水上に冷蔵設備を持つ餌タンクを備えた上で、水中の浮沈式生け簀にパイプなどを經由して給餌を行う方式なども考えられる。しかし水上に餌タンクを配置する方式では、冷蔵設備の稼働のために電力が必要で、電池の交換頻度が高くなってしまいうえに、水上の餌タンクは高波の影響によって破損しやすいために、悪天候時の退避が不要であるという浮沈式生け簀のメリットの 1 つが失われてしまう。すなわち、水上の冷蔵設備を用いる方式では、要件 b) や c) を満たすことが難しく、本稿の目的である十分な労働コスト削減を達成することは難しい。

6. おわりに

本稿では、水中の生け簀に対しても、水面の生け簀に対する給餌と同じように給餌をするための新たな給餌方式を提案した。提案手法は、水中に圧縮空気を供給して第二水面を形成することで生け簀を浮上させることなく水中で給餌を行うことができる水中給餌装置、スマートフォンからの遠隔給餌操作が可能な遠隔給餌システムおよび制御・通信、餌や物資の補給・交換のための管理ブイによって実現される。あわせて水中給餌装置および遠隔給餌システムを試作し、フィールド実験および追加実験を通して、基本動作確認を行った。

今回実施したフィールド実験は短期かつ穏やかな海況で行われたものであったため、継続的な稼働を行った際の評価、荒天時や急潮発生時の評価などについては、十分に評価できていない。そのため今後の実用化に向けては、動作の安定性に関する実証的評価実験が必要である。また本稿で実現した遠隔水中給餌機能のほかにも、沖合養殖の効率化や自動化に向けて ICT によって解決すべき課題は多い。まず、各種水質センサを用いて生け簀内の水質の観測を行ったり、水中カメラを用いて魚の空腹度や与えた餌の食べ残し量を観測する機能が求められる。これらの機能が実装できれば、従来水面しか観測できなかった養殖事業者はより詳細な生け簀内情報を得ることができる。加えて、観測した生け簀内情報を陸上の養殖事業者へリアルタイムに送信する機能が実現できれば、養殖事業者は陸上にいながら生け簀内の状態を詳細に把握し、餌の投入タイミングや

投入量を決定することができるようになる。また生け簀内の状態と給餌量・タイミング、その結果の餌の食べ残し量や魚の成長度合いを測定・記録する機能を実装すれば、これらの関係を機械学習によって学習させ、魚を最も効率的に成長させる給餌タイミングと給餌量が自動的に得られると期待される。これらの機能が実装されれば、沖合養殖の労働コストを抑え、かつ経済的に最適な給餌を行うことができ、養殖による利益を最大化することができる。

謝辞 本研究は、長崎県産業振興財団の平成 30 年度海洋技術開発研究委託事業の助成を受けたものである。また本研究を進めるにあたり、非常に有益な助言をいただいた粕谷製網の深堀一夫氏に深く感謝する。

参考文献

- [1] 農林水産省：平成 25 年度水産白書，農林統計協会 (2014).
- [2] Komeyama, K., Kadota, M., Torisawa, S., Suzuki, K., Tsuda, Y. and Takagi, T.: Measuring the swimming behaviour of a reared Pacific bluefin tuna in a submerged aquaculture net cage, *Aquat. Living Resour.*, Vol.24, No.2, pp.99-105 (2011).
- [3] 粕谷製網株式会社：粕谷製網株式会社，入手先 (http://www.kasutani.com/fishery_relation/yousyoku_keiryu/yousyoku_keiryu.html) (参照 2019-12-04).
- [4] 農林水産省：2018 年漁業センサス，2018 年漁業センサス結果の概要 (概数値)，入手先 (<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/gyocen/index.html#y>) (参照 2019-12-11).
- [5] 農林水産省：平成 29 年度水産白書，農林統計協会 (2018).
- [6] 農林水産省：平成 28 年度「環境 IT 技術を活用した新たな養殖技術開発事業」報告書，入手先 (<http://www.maff.go.jp/j/budget/yosan.kansi/sikkou/tokutei.keihi/h28itaku/h28ku.seika.ippan/attach/pdf/h28taku.seika.ippan-62.pdf>) (参照 2019-12-04).
- [7] 日鉄エンジニアリング株式会社：【採択】農林水産省『「知」の集積と活用による研究開発モデル事業』～大規模沖合養殖システム～，入手先 (<https://www.eng.nipponsteel.com/news/2018/20180305.html>) (参照 2019-12-09).
- [8] 宮原治郎：マダイの適正給餌頻度について，水産開発，No.104 (2010).



今井 哲郎

2000 年北海道大学工学部情報工学科卒業。2002 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年 NEC 入社，主に通信 NW に関する研究開発に従事。2012 年山形大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。

以来，複雑ネットワークに関する研究に従事。理化学研究所計算科学研究機構特別研究員，東京情報大学助教，同大学博士研究員を経て，2018 年 9 月より長崎大学大学院工学研究科助教。電子情報通信学会，IEEE，日本医療情報学会各会員。



荒井 研一 (正会員)

2004 年信州大学工学部情報工学科卒業。2006 年同大学大学院工学系研究科博士前期課程修了。2010 年同大学院総合工学系研究科博士課程修了。博士 (工学)。以来，情報セキュリティに関する研究に従事。2011 年東京理科大学理工学部嘱託助教。2015 年長崎大学大学院工学研究科助教。2020 年より同大学大学院工学研究科准教授。電子情報通信学会，日本応用数理学会各会員。



小林 透 (正会員)

1985 年東北大学工学部精密機械工学科卒業。1987 年同大学大学院工学研究科修士課程修了。博士 (工学)。同年 NTT 入社。以来，ソフトウェア生産技術，情報セキュリティ，データマイニング，Web 技術等の研究開発に従事。1998～2002 年までドイツ，デュッセルドルフに駐在し欧州研究機関と Web 技術，セキュリティ技術に関する共同研究開発，およびスマートカードに関する標準化活動に従事。2013 年長崎大学大学院工学研究科教授，2017 年から情報担当副学長，IEEE (シニア)，電子情報通信学会 (シニア) 各会員。本会シニア会員。