

報 技 工 重 炎

Vol.6

2023

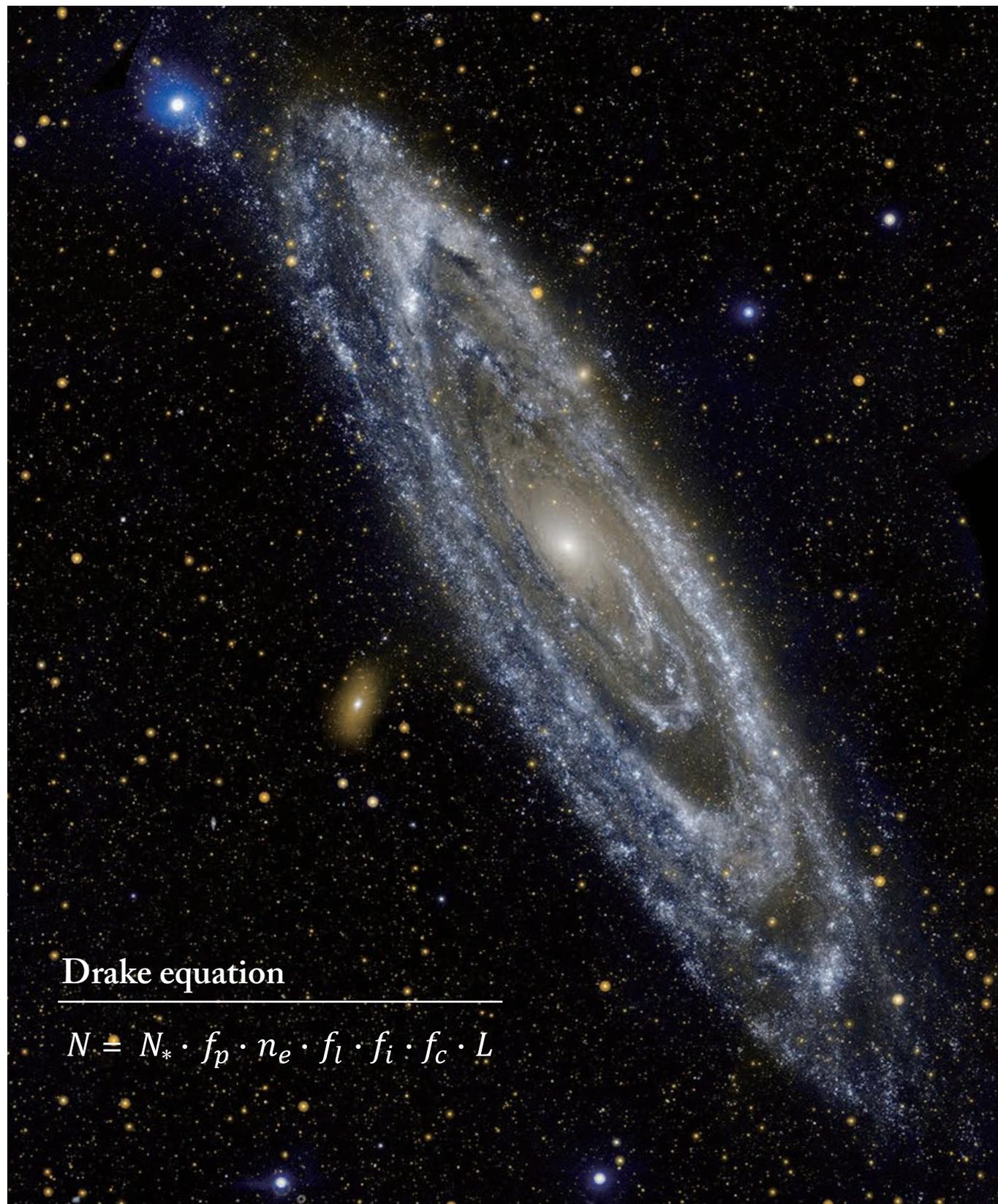
Feature

ミニボート用 USV 制御システム
Marine Drone 3.1 の紹介

水上救助ドローンの開発

水中点検ドローンの紹介

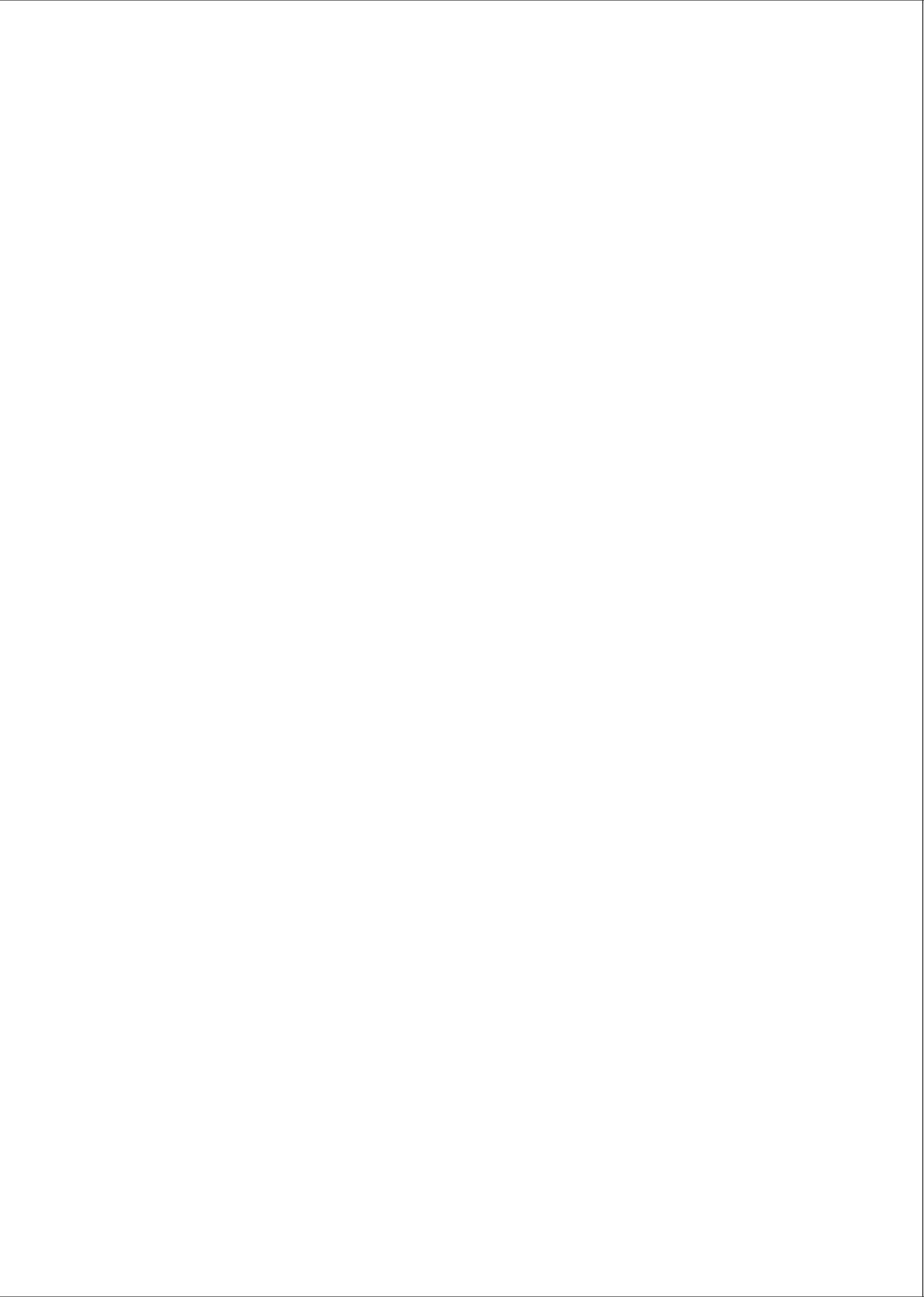
「海床ロボット」小史



Drake equation

$$N = N_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$





炎重工技報

Homura Heavy Industries
Technical Review

Vol.6

2023

「炎重工技報 Vol.6」発行の挨拶

代表取締役 古澤 洋将

平素は格別のご高配を賜り、厚く御礼を申し上げます。本技術機関誌「炎重工技報 Vol.6 2023」の発行にあたり、挨拶申し上げます。当社は2016年2月に設立し、現在は創立7周年を迎え、8期目の事業年度に入りました。当社として、手持ち型的水上ドローンを提供できたことは、ひとえに皆様のご指導・ご支援の賜物であると感じております。

さて、21世紀に入り1/4ほど過ぎようとした現在、我々が住んでいる地球では、産業革命以前と異なり、大きな気候変動の兆しがあります。水蒸気や二酸化炭素のような温室効果ガスを例にとると、私たちの活動の結果、平均気温の上昇、異常気象の頻発、海面の上昇、生態系の変化など、数多くの兆候が地球全体に広がっています。この問題に立ち向かうためには、化石燃料に代わる、温室効果ガスを排出しにくい新たなエネルギーの開発が不可欠です。

例えば太陽光発電は、持続可能なエネルギー源として期待されており、世界中で建設が盛んになっています。しかし、太陽光発電所の建設が盛んになるあまり、過剰な森林伐採や自然破壊が進行している地域もあります。これにより、生態系に悪影響を及ぼし、長期的には気候変動対策の本来の目的と相反する結果を招く可能性があります。

さらに核融合発電は、海水中に豊富に含まれる水素原子を融合させる方法で、安全で高効率なエネルギー源として期待されています。核融合は、太陽の中心で起こる反応と同様に、膨大なエネルギーを生成します。この方法は、原子力発電と異なり放射性廃棄物がほとんど発生せず、燃料も豊富で安定して供給できるため、地球のエネルギー問題や紛争問題をも解決する可能性を秘めています。

ところで、1964年に旧ソ連の天文学者ニコライ・カルダシェフは、宇宙文明の発展度合を示すスケール（カルダシェフ・スケール）を定義しました。このスケールによれば、タイプ1文明を惑星文明とし、その惑星で利用可能なすべてのエネルギーを利用及び制御できる文明としています。同様に、タイプ2を恒星文明、タイプ3を銀河文明とし、それぞれの規模でエネルギーを利用及び制御できる文明としています。この定義に従えば、現在の消費エネルギーは約 2.0×10^{13} [W]であり、太陽から地球に降り注ぐエネルギーの約 1.74×10^{17} [W]から考えると、私たちの科学技術はタイプ1文明にすら到達していないことになります。

しかし、太陽から降り注ぐエネルギーにせよ、核融合のように地球で生成するエネルギーにせよ、熱力学等の基本法則に従えば、これらのエネルギーの多くは最終的に熱に変換されます。地球温暖化が声高に叫ばれる現在、私たちがさらに高度な惑星文明への到達を目指す、この膨大な熱をどのように処理するかが課題となってきます。いわば、惑星の気候を制御するテラフォーミングに等しい新たな技術開発が、今後はより一層求められてくると言えるのではないのでしょうか。

当社では、水上ドローンや生体群制御のように自然環境（外界）のインターフェースとなるシステムを開発することで、新しい事業の創造に取り組んでいます。炎重工技報 Vol.6 2023は、当社が開発を行っている水上ドローンの製品群について、それぞれご紹介いたします。ぜひ御高覧頂き、忌憚のないご意見をお寄せ頂ければ幸甚の至りに存じます。より一層の御支援・御鞭撻を賜りますようお願い申し上げます、挨拶といたします。

目次

巻頭言

- P2 「炎重工技報 Vol.6」発行の挨拶

技術報告

- P4 ミニボート用 USV 制御システム
Marine Drone 3.1 の紹介
- P10 水上救助ドローンの開発
- P14 水中心検ドローンの紹介
- P18 「海床ロボット」小史

その他

- P24 執筆者紹介
- P25 会社概要

ミニボート用 USV 制御システム Marine Drone 3.1 の紹介

古澤 洋将*1

Introduction of USV Control System “Marine Drone 3.1”

Yosuke Furusawa*1

Abstract - In this paper, I will provide an overview of Marine Drone 3.1, a USV control system for mini-boats, featuring the embedded OS 'F-OS' that targets 8/16/32bit microcontrollers. Marine Drone 3.1 boasts high portability and unique strengths in the current market environment characterized by semiconductor shortages. It was developed in consideration of future software verification, with a focus on avoiding the inclusion of SOUP items. Comprised of 56 tasks, Marine Drone 3.1 features an interactive shell for serial communication and external APIs. This paper describes the functionalities, control software, and external APIs of Marine Drone 3.1. The author hopes that this project will contribute to the advancement of small marine drones.

1. はじめに

我が国は、四方を海に囲まれた海洋国家であり、排他的経済水域は広大で、島の数は14,125もある。外国との往来手段は限られ、飛行機または船舶しか存在しない。そのため、我が国における船舶は、人々の往来、輸送手段、漁業、及び海上警備等の様々な場面で用いられる重要な手段である[1]。

漁業に目を向ければ、有史以前から行われている魚介類の採捕という用途以外にも、様々な場面で船舶（漁船）が使われている。例えば、養殖における給餌、収穫、輸送及び警備などである。沿岸漁業で使用されている漁船の大きさは、3m以下の和船（ミニボート）から20トン未満程度の小型船舶が最も多い[2][3]。

船舶の自律航行に目を向ければ、タンカーやコンテナ船など大型商船の分野において、既に一部が実用化されている。これは周囲に何もなく、かつ座礁の恐れのない海域において、目的地に向かうよう自動操舵（保針）を行うことで実現されている。自動船舶識別装置（AIS）やレーダーなどと連動し、衝突の可能性を検知した場合は、人間が介在して回避する。完全に無人化した自動運航船ではないものの、遠隔地の港間を往来する商船や、遠洋で作業する漁船においては、労働時間の短縮が可能である。

近年では、ロールス・ロイス社が、従来の自律移動に加えて船舶の状態を遠隔から監視でき、無人の船舶管理システムの実現を目指した大型船向け自律型航行システムのプロジェクトを進めている。我が国でも、日本郵船株式会社や株式会社商船三井、川崎汽船株式会社などで、自律移動やそれらを統合した船舶管理システムを実現するための研究開発を進めている。さらに、離島間物流に

代表されるような自律型海上輸送システムについても、コンソーシアムによる共同研究が行われている。

小型～中型船舶においては、古野電気株式会社がクルーザのようなプレジャーボートでの利用を想定した自律移動システム（NAVpilot）を販売している。目的地への自動操舵に加え、スポーツフィッシングでの利用も想定したシステムで、潮流を考慮しながら設定した場所での旋回・ジグザグ航行・スパイラル航行する動作モードを備えている。ほかにも、船舶の操舵システムを開発しているマロール株式会社や株式会社エイトノットなど、国内外のメーカーが参入してきている。

全長10m未満の小型船舶においては、ASV Global社や Ocean Alpha社が、海洋調査・海上警備・人命救助・海上消火など海上作業の遠隔化・自動化を対象に参入してきており、中国を中心に海外では大きな市場を形成しつつある。我が国でも、ヤマハ発動機株式会社やヤンマー株式会社が自動航行する船舶の開発を行っており、海域調査やインフラ点検、警備分野などへの参入を目指している。

さらに、従来の客船・輸送船・海上作業船とは全く異なる意欲的な取り組みも行われている。例えば、株式会社竹中工務店が中心となって行っている海床ロボットは、水上に動く床を作りだし、水辺の新たな活用を目指したものである。ドローンと連携し、ピザやワインを海床ロボットに配達するなど、水上カフェや水上レストランの実証を行っている。

我が国の法規制では、例えば国土交通省から遠隔操縦小型船舶に関する安全ガイドラインや自動運航船に関する安全ガイドラインが示されている。さらに小さな船舶、全長3.0m以下や出力1.5kW以下といったミニボートでは、比較的自由に水上ドローンとして使用できる。前述の海床ロボットも、このようなガイドラインに沿った新しい取り組みであるといえよう。

*1: 炎重工株式会社 研究開発部

*1: R&D Dept, Homura Heavy Industries Corporation

このような背景のもと、著者は低価格かつ汎用的に使用できる水上ドローン（USV）の開発を行っている[4]。本稿で紹介する水上ドローンは、複数の推進器を備えたミニボートに分類される小さな船舶である。低価格を実現するため、舵を用いず船体に固定された複数の推進器を独立して制御することで、前後進や旋回が可能になっている。さらに、大型の制御装置や大電力が得られないミニボートでの自律航行を実現するため、あえて組込マイコン上に機能を詰め込んでいる。

本稿では、著者が開発した水上ドローン（以下、本製品と呼ぶ）を紹介する。オープンソースを用いず組込OSから上位の制御システム、さらにはモータドライバから制御基板まで内製しているため、本稿ではその構造を概説する。

2. Marine Drone 3.1

2.1 機構系

本制御システムであるMarine Drone 3.1は、水面に浮かぶものであれば船体形状の制約は特になく、水上ドローンとして制御できる。これまでに、ポート、ブイ、フロート、双胴船、及び分類が困難な形状など、様々な浮体を遠隔操作や自律移動が可能な水上ドローンとして開発を行ってきた。これらは水上の作業支援に着目して取り組んだため、円柱や直方体など水面を移動する船舶としては非効率と思われる形状も多い（表1及び図1）。

いずれの船体も複数の船外機を取り付け、推力の方向が固定されたスラスタとして用いることで、前後進や旋回などができる。舵を持たない構造であるため、船外機以外の可動部はなく、故障率は抑えられている。

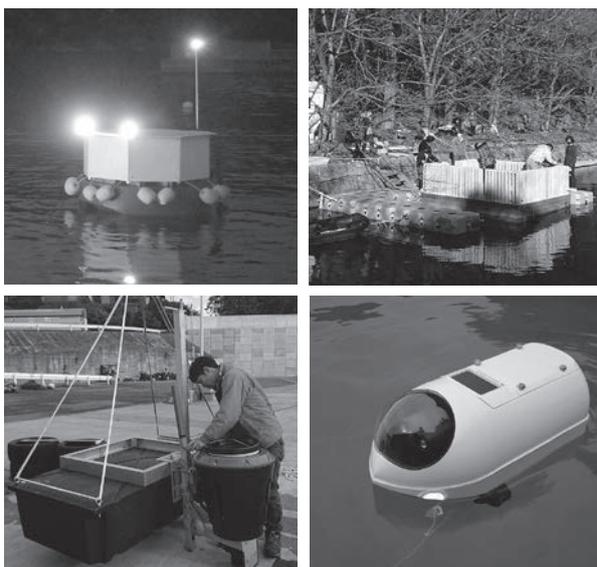


図1 ブイ型（左上）、海床ロボット（右上）
フロート型（左下）、ボート型（手持ち型）（右下）

表1 主要諸元の例

項目	手持ち型	ブイ型	海床ロボット
D×W×H(m)	0.6×0.3×0.3	2.2×2.2×1.5	3.0×3.0×1.0
船体重量(kg)	8.0	360	850
可搬重量(kg)	2.0	200	950
出力(W)	1,300	1,200	1,470
速力(kt)	8.0	2.5	0.8
動力源	リチウムイオン	発電機,鉛蓄電池	鉛蓄電池

2.2 電装系

Marine Drone 3.1の電装システムは、ECU（Electric Control Unit）系を中心に、電源系、アクチュエータ系、センサ系、通信系、インターフェース系、緊急停止系及びEDR（Event Data Recorder）系のモジュールに分けられる。これらはECUに接続され、各モジュールと通信が行われる（表2及び図2）。陸上の自律移動ロボットなどと異なり、船舶特有の排水ポンプ、灯火、及び警笛の制御が加わっている。

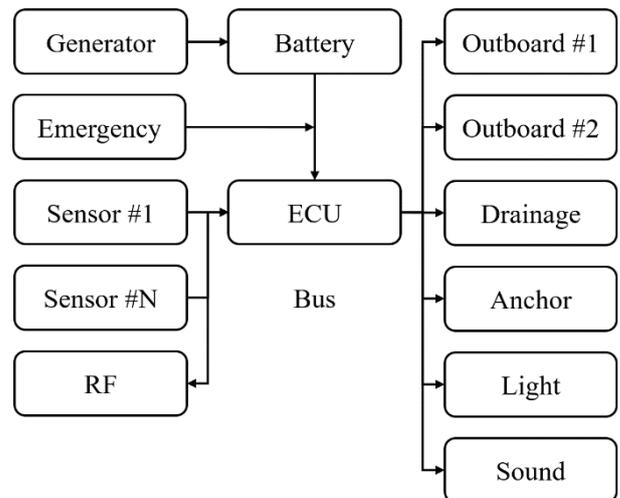


図2 システム構成の例

2.2.1 ECU系

ECU系は、内部に2つのプロセッサを持ち、協調動作を行っている。リアルタイム性が求められる低レイヤの制御を32bitマイコンが担い、Ethernetなど外部との通信部をLinuxが担っている。基本的に32bitマイコンがすべてを統括しているため、仮にLinuxが存在しなくてもシステムの基本的な動作に影響はない。

例えば、ユーザの用途に合わせてLinuxをWindowsに変更することや、ROSまたはArduPilotなど他のシステムと連携することもできる。APIは開放されており、ユーザが自由にカスタマイズできる。

表 2 電装系の仕様概要

項目	仕様
基本制御 OS	F-OS/PIC32MZ 9.0-RELEASE
	Marine Drone 3.1 Firmware
	CPU 252MHz (415 DMIPS)
	RAM 512 KB
	ROM 2048 KB
基本機能	ボタン / RC プロポ入力
	GPS/GNSS, 9 軸モーションセンサ
	電圧・電流・温度・浸水センサ
	船外機, RC サーボ, 排水ポンプ
	灯火, 警笛, EDR 出力
拡張制御 OS	Linux 4.19.108
	Marine Drone 3.1 Application
	ARM 1.2 GHz (Quad-core)
	RAM 1 GB / eMMC 8 GB
拡張機能	WiFi 2.4 GHz または 4G/5G モデム
	カメラ入力, AIS (CH87B, CH88B)
	USB 2.0, GPIO, A/D, I2C, UART
操作 I/F	レバー / ボタン (船内)
	RC プロポ (近距離遠隔操作)
	ジョイスティック (遠隔操作)

2.2.2 電源系

電源系は、船体に据え付けられた発電機、またはバッテリーと共に系全体へ電源を供給するシステムである。発電機を用いて電動船外機を使用できることから、シリーズ・ハイブリッド（直列方式）に対応している。発電機の動作時間は、主に燃料タンクの容量によって定まり、最小2 Lから最大100Lまでのタンクを用意しており、最長1週間程度の連続動作が可能である。なお、発電機と燃料タンクを使用せず、代わりにバッテリーを増設しても良い。

2.2.3 アクチュエータ系

アクチュエータ系は、船外機やスラストなどアクチュエータを統括するシステムである。複数の船外機が独立して推力を生成することにより、その合成ベクトルを用いて船舶の動きを制御する。

また、PPM出力に対応しており、RC用サーボモータなども接続できる。さらに、浸水センサの入力を得て、排水ポンプを自動的に起動する機能なども有する。

2.2.4 センサ系

センサ系は、電圧・電流・温度センサ、モーションセンサ、及びGNSSなどを用いて、船体、環境、及び位置情報を取得する役割を持つ。一部のセンサは、ECUの外部に配置される。自律移動に必要なセンサは多重化されており、異常が発生した場合は動的にシステムから切り離される。

2.2.5 通信系

通信系は、外部と通信をするためのアンテナを含んだ通信システムである。標準では、4G/5Gなどの通信モデム、SoftEther VPN、及び遠隔操作用のRC受信機が搭載されている。カスタマイズをすることで、他の通信システムやAISなどを拡張できるように構成されている。

2.2.6 インターフェース系

インターフェース系は、法定設備の灯火及び警笛を統括するシステムである。音声ガイダンスに対応しており、起動や故障時、動作モードが変化したときなどは、音声によるアナウンスを行う。さらにウェブブラウザ（図3）より、カメラ映像や地図、パラメータなどの表示もできる（図4）。



図 3 ウェブブラウザの接続画面

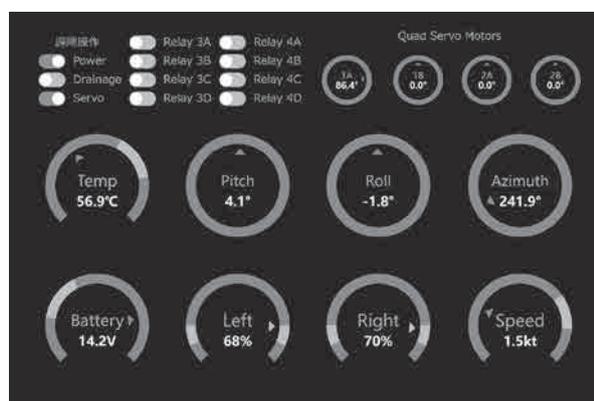


図 4 ウェブブラウザによるメータ表示

2.2.7 緊急停止系

緊急停止系は、物理的な緊急停止スイッチの押下、または通信系のモニタリングによるOR条件によって作動する。緊急停止が作動すると、アクチュエータ系が停止し、Marine Drone 3.1は安全状態へと遷移する。

2.2.8 EDR系

Marine Drone 3.1の動作を記録するため、EDR系は独立した2系統のストレージを持ち、システムのログを保存する。

WiFiまたは4G/5Gなどを利用してIP通信ができる場合は、さらに外部サーバなどへ転送もできる。多重化することで、ログの喪失を防いでいる。

2.2.9 試験

電気用品安全法等に従い、我が国で電気を用いた機器の製造・販売等の事業を行う場合は、電磁両立性(EMC)など様々な基準を満たす必要がある(表3)。これら電氣的な試験以外にも、振動試験や熱試験、耐久試験などを行い、Marine Drone 3.1の信頼性を高めている(図5)。

表3 船用電気設備に関する規格の例

規格番号	規格名称
IEC 60533	船用電気電子設備の EMC
IEC 61000-4-2	静電気放電イミュニティ
IEC 61000-4-3	RF 放射電磁界イミュニティ
IEC 61000-4-4	ファーストランジェント・バーストイミュニティ
IEC 61000-4-5	低速ランジェント・サージイミュニティ
IEC 61000-4-6	RF 伝導妨害イミュニティ
IEC 61000-4-11	電圧ディップ、短期遮断、電圧変動、イミュニティ
CISPR 16	無線妨害測定装置・測定方法

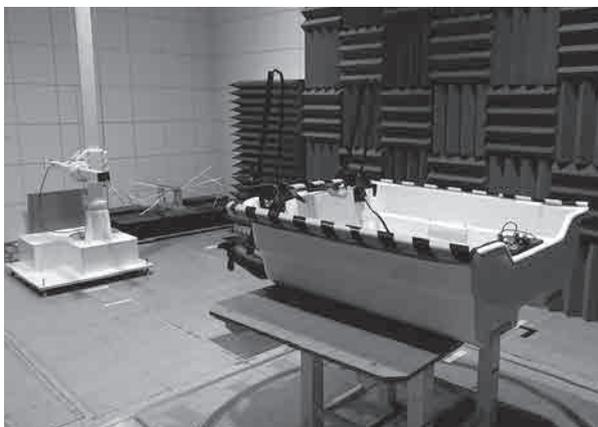


図5 EMI試験の様子

2.3 ソフトウェア系

Marine Drone 3.1は、独自に開発した組込OS(F-OS/PIC32MZ 9.0-RELEASE)と、その上で動作する制御ソフトウェア(F-OSのアプリケーション)によって制御されている(図6)。Linuxは、主にIP通信のインターフェースやウェブブラウザを用いた遠隔モニタとして提供しており、本稿では詳述しない。

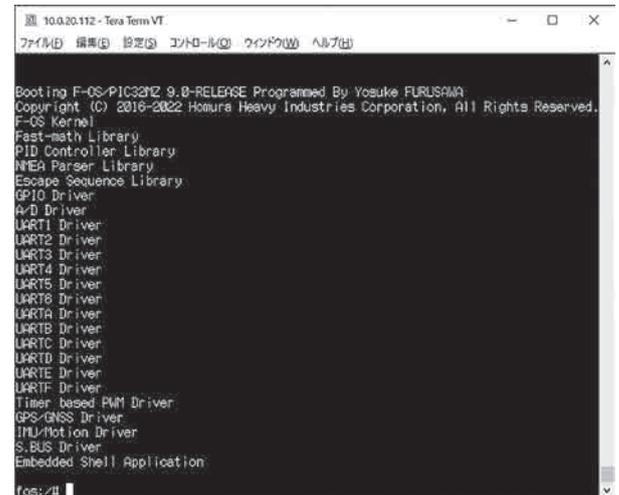


図6 F-OS/PIC32MZ 9.0-RELEASEのコンソール

2.3.1 組込OS (F-OS/PIC32MZ 9.0-RELEASE)

F-OSは、ノン・プリエンブティブ・マルチタスク、セマフォ、各種デバイスドライバから構成される小型の組込OSである[5]。開発者用に簡易デバッグを内蔵し、ハードウェアの機能不足を補うための代替デバイスドライバなども含まれる。最小構成では、タイマなどの割込を使用せずにマルチタスクの機能を提供する。

F-OSは、1998年から開発を進め、現在はAssemblerを使用せずC言語のみで書かれ、ANSI-C99及びMISRA-C:2004に準拠するように構成されている。主に8/16/32 bitマイコンを対象にしているが、一部のPOSIXまたはMS-DOS環境下でも動作できる。Assemblerを使用していないため、OS本体の移植性が極めて高い。

例えば、Marine Drone 3.1の制御ソフトウェアを異なるアーキテクチャのマイコンへ移植することや、POSIX環境へ移植することも容易である。このような特徴を持ったため、昨今の半導体不足の市場環境においても、独特の強みを発揮できている。

また、将来は第三者によるソフトウェア検証(Software Verification)を受けることを想定し、SOUP(Software of Unknown Provenance)アイテムを含まないよう注意深く開発している。

2.3.2 制御ソフトウェア (Marine Drone 3.1)

Marine Drone 3.1は、F-OS上に構築されたミニボート用のUSV制御システム (F-OSのアプリケーション) である。2016年まで陸上ロボット用に開発していたものを船舶用にフォークし、現在は独立して開発を進めている。Marine Drone 3.1の初回起動時は、船体の形状や船外機出力、接続されているセンサなどを設定する。製品の構成が異なっても、同一のシステムが使用できるようになっている (図7)。

設定後は通常の動作モードとなり、RCプロポやジョイスティックなどの入力を受けて、船外機やスラストなどの出力を行う。後述する外部APIなどの操作も受け付ける。

動作中は、常にシステムの自己診断が行われる。回復不能な異常が発生した際には、システムを再初期化して、制御を行わない待機モード (本システムの安全状態) へ遷移する (図8)。

Marine Drone 3.1 Firmwareは、56のタスクから構成され、C言語で7万行程度の規模である。Marine Drone 3.1 Applicationやモータドライバ基板などの周辺システムも含めると、全体で15万行程度の規模になる。

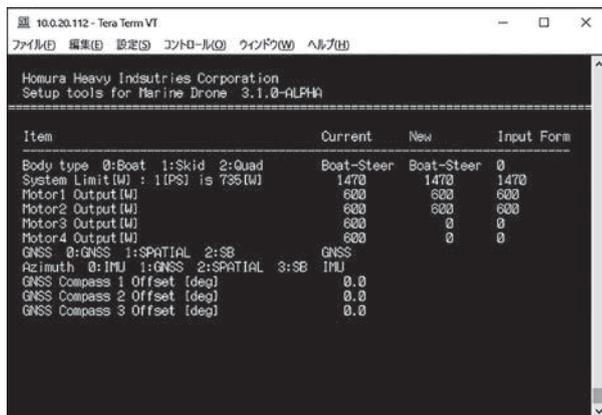


図7 Marine Drone 3.1 初期設定ツール

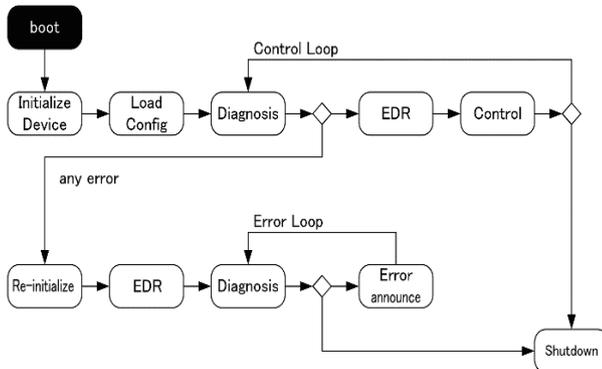


図8 Marine Drone 3.1 の状態遷移図

2.3.3 外部API

Marine Drone 3.1は、シリアル通信による対話型シェル (コマンドライン・インターフェース) を搭載している。この対話型シェルを通して、Marine Drone 3.1のあらゆる制御ができるように構成されている。

また、Linuxを経由することでTCP/IP (telnet) から対話型シェルを操作することもできる。さらに、標準でSoftEther VPNが構成されているため、VPNに接続された他のシステムからも操作できる。

表4に、Marine Drone 3.1のコマンドの一部を示す。他にも、センサ情報を取得するコマンドやEDRのログを表示するコマンド、F-OS本体を操作するコマンドなどがある。

表4 Marine Drone 3.1 のコマンドの一部

コマンド	概要
power	主電源のオン・オフを操作する
sound	指定した音声 ID を再生する
aal	全周灯を操作する
morse	モールス信号を出力する
ext_set_relay	リレーを操作する
ext_set_cartesian	船体を操作する
autopilot	自律移動を実行または停止する
autopilot_set_target	自律移動の目的地を設定する
autopilot_get_status	自律移動の状況を得る

例えば、本製品のオプション機能として提供されているリレー基板のオン・オフを繰り返す場合は、次のように記述できる。このBashスクリプトを実行するシステムは、Marine Drone 3.1のVPNに接続されていれば良く、また同時に複数の製品を制御することも容易である。

表5 外部システムからリレー制御するスクリプト例

```

#!/bin/bash

# IP and Port Number of Marine Drone 3.1
IP=192.168.0.2
PORT=5555

# Endless Loop
while true
do
  # Turn on of Relay 3A
  echo "ext_set_relay 0 0 1" | nc -w 1 $IP $PORT
  sleep 1
done
  
```

```
# Turn off of Relay 3A
echo "ext_set_relay 0 0 0" | nc -w 1 $IP $PORT
sleep 1
done
```

同様に、Marine Drone 3.1のVPNに接続された外部のシステムから、本製品の自律移動を指示するスクリプトの例を示す(表6)。このスクリプトでは、目的地として緯度及び経度を指定し、その地点に到着するまで待ち続ける内容である。

表 6 外部システムから自律移動するスクリプト例

```
#!/bin/bash

# IP and Port Number of Marine Drone 3.1
IP=192.168.0.2
PORT=5555

# Target Point (Way Point)
LAT=39.747566070
LON=141.121686387

echo -n "Go to $LAT, $LON"

arrived=0
while [ $arrived -eq 0 ]
do
    # Go Target
    echo -n "."
    echo "autopilot_set_target $LAT $LON 0 0" | nc -w 1 $IP $PORT

    echo "autopilot on" | nc -w 1 $IP $PORT

    # Get status
    arrived=`echo "autopilot_get_status" | nc -w 1 $IP $PORT | awk -F'、' '{print $1}'`
done

echo "Now arrived."
```

上記のスクリプトは、いずれもシェルスクリプト (Bash) で書かれているが、TCP/IPでコマンドの送信ができれば、特に言語や環境は問わない。Bashの代わりに、RubyやPythonなど任意の言語で記述できる。

3. おわりに

本稿では、ミニボート用USV制御システムであるMarine Drone 3.1を概説した。大型の制御装置や大電力が得られないミニボートでの自律航行を実現するため、あえて組込マイコン上に機能を詰め込んだ。さらに、セキュリティを考慮し、オープンソースを始めとするSOUPアイテムを組み込まずに実装した。

著者は小型水上ドローンのフラッグシップを目指して開発を行っており、本取り組みが、小型水上ドローンの発展の一助になることを願っている。

参考文献

- [1] 国土交通省海事局: 海事レポート2017; (2017).
- [2] 水産庁資源管理部管理課: 漁船統計表 総合報告; 第69号, (2017).
- [3] 池田良穂: 船の科学; 講談社, (2007).
- [4] 古澤洋将: 汎用自律移動船舶ロボットの紹介; 炎重工技報, Vol.2, pp.4-11, (2018).
- [5] 古澤洋将: 国産組込OS: Floret OSのご紹介; 炎重工技報, Vol.5, pp.4-11, (2022).

水上救助ドローンの開発

増田 蒼一郎*¹ 清水 拓海*¹ 松岡 知洋*² 山本 克己*²

Development of Water Surface Drone for Rescuing Drowning People

Soichiro Masuda*¹, Takumi Shimizu*¹, Tomohiro Matsuoka*² and Katsumi Yamamoto*³

Abstract - We have been developing a water surface drone model for rescuing drowning people. One of the main purposes is to prevent secondary damage that often occurs when people without training in water rescue operation try to rescue drowning people and get involved in danger themselves. Our model has proved to have sufficient maneuverability and stability, though improved battery sustainability is desirable.

Keywords: water surface drone, rescuing drowning person, secondary damage

1. 開発の背景

我が国は、四方を海に囲まれた島国であり、また各地に清流の流れる水に恵まれた国である。古くから水に関わる文化・産業が発展してきた。近年も水辺活用の可能性を切り開くための官民一体のプロジェクト「ミズベリング」が2013年から進行中である[1]。

水辺の活用にあたっては、水難事故が懸念される。警察庁発表の資料によれば、令和5年に全国で発生した水難事故は1,392件である。水難者総数は1,667人であり、その内訳は死者731人、行方不明者12人、負傷者290人であり、無事救出されたのは634人で全体の約38%である[2]。水難事故の発生件数・水難者数は昭和50年（1975年）から平成20年（2008年）頃まで減少傾向にあるものの、それ以降令和5年までほぼ横ばいである。死者・行方不明者・負傷者・無事救出された人数も、平成20年頃からあまり変動はない[2]。水辺での事故は、命に関わる重大事になりかねないため、注意を促す政府広報などが公表されている[3]。地方自治体では、例えば県内に全国有数の清流である長良川の流れる岐阜県が、水難防止のための広報に力を入れている[4][5][6]。

水難事故が発生した際、レスキュー隊に通報が入って隊員が現場に到着するまでには、水難者は意識を失ってしまっていることが多いという。もしも水難事故に気がついた人が救難活動に入ることが出来れば、救助までの時間が短縮できる可能性があるが、その場合には二次災害が発生する恐れがある。

河川財団による河川や湖沼での水難についての分析によれば、2003年から2023年の間に水難事故直後に同行者などによって救助行動が取られたケースは、全体の38.5%であり、そのうち13.9%では救助行動中に二次災害が発生しているという[7]。

本稿では、当社が開発した水上救助ドローン（図1）を紹介する。この製品は、救助用浮輪を使うような感覚で使

用することが出来て、水難救助の訓練を受けていない人でも、水難事故発時に速やかに安全に救助を行うことが出来るようにし、水難事故の際に起こりがちな二次被害を防ぐことを目的としている。それ以外にも、レスキュー隊員が事故現場付近に到着したのち、速やかに現場に近づくために使うことも可能である。また、もし万が一、水難者が水没して浮かんで来なかった場合、ソナーを使って水中を探索することも可能である。

次節以降では、まず、意識を失っていない水難者1人を救助するために必要な性能について論じる。実際の救助の際にどのような方法が水難者の負担になりにくいか検証した結果についても述べる。



図1 水上救助ドローン

*1: 炎重工株式会社 生産技術部

*1: Product Engineering Dept, Homura Heavy Industries Corporation.

*2: 炎重工株式会社 製品開発部

*2: Product Development Dept, Homura Heavy Industries Corporation.

2. 水上救助ドローンの概要

2.1 目標とする水難者救助

本稿で紹介する水上救助ドローンは、水難事故が発生した直後に、水難救助の訓練を受けていない人々が2次被害の危険無しに救助活動を実施出来るようにすることを開発の主な目標の1つとしている。救助対象とする水難者は、身長180 cm、体重100 kg程度までの成人を1度に1名までを想定している。また、水難者には意識があり、自力で船体に直接つかまったり、水上救助ドローンが牽引する浮き輪などにつかまったりすることが出来ることを想定する。

使用場所は、主に海水浴場の岸辺から沖合まで、フェリー・大型客船・タンカー・漁船等の周囲の海上、および湖沼や流れのあまり速くない河川を想定する。水上ドローンの操縦は、基本的に目視で行うため、目視での操縦が可能な範囲として500 m程度までの範囲での使用を想定する。

我が国の規制では、総出力が2馬力(1,500W)を超える船舶を操縦するには船舶免許が必要となる。可能な限り多くの人が利用できるようにするため、総出力は2馬力以内とした。

2.2 水上救助ドローンに求められる性能

前節で述べた水難者救助の目標に基づいて、必要とされる性能について検討する。船体の浮力については、船体上部に水難者の上体が乗る場合、体重100 kgの成人男性が体の3分の1程度船体に乗るとすれば、約33.3kgの余剰浮力が必要となる。

次に、必要な速度について検討する。図2に引用した資料[8]によれば、水温5℃付近では、40分弱でunable to help themselvesとなる。このときには、水難者は水上救助ドローンに自力でつかまっていることが困難になると考えられる。

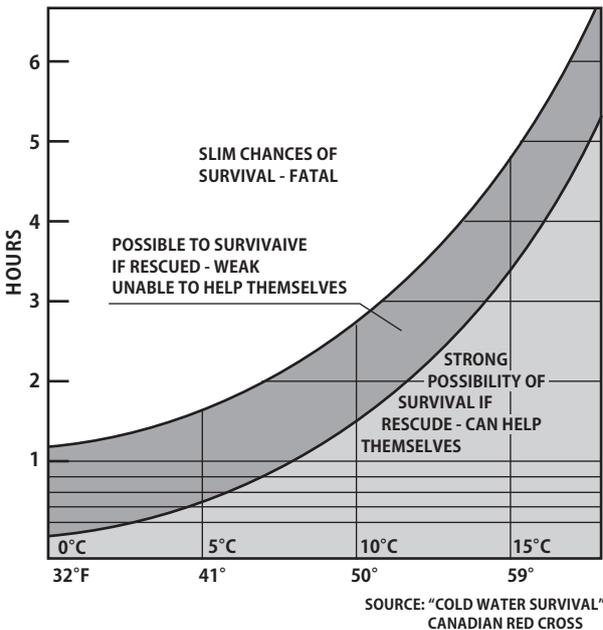


図2 水温と生存時間 [8]

水難者の発見までの時間、水上救助ドローンの準備に掛かる時間、水難者が船体または浮き輪につかまる時間等を考慮すると、500 mを10分以内に往復出来る程度の性能が必要であると考えられる。静止水域において1000 mを10分で走行するためには6.0 km/h \approx 3.2knot以上の速度が必要となる。静止水域とは限らない場合については、例えば岐阜県の公式ウェブサイトでは、長良川の鮎之瀬橋付近における流速は0.2m/s \sim 3.0m/s程度であるとしている[4]。また、海での水難事故の主な要因の1つは、岸から沖へと向かう離岸流と呼ばれる流れである。離岸流の流速は波高によって異なるが、海水浴が可能な0.4m程度の波高では0.3m/s程度である[9]。

以上で述べたことから、流速3m/s (10.8km/h) \approx 5.8knotのときに3.2knotで航行可能であることを最低限の目標とする。そのためには、静止水域で少なくとも9knotを超える程度の速力が必要である。走行可能時間については、最大負荷時に30分程度の連続走行が可能であることを目標とする。

2.3 実際の船体の基本構造及び仕様

前節までに述べた目標を達成するために、当社の水上ドローンRBOBモデルをベースにして試作機を製造した。水上救助ドローンは、全長1.2、全幅0.6、全高0.15 mである(図3)。船体の材質は、ガラス強化繊維プラスチック(GFRP)である。船体は中空構造であり、船体上部には450 \times 300 mmのアクセスハッチが取り付けられ、船体内部に設置されたバッテリーの交換や制御部の点検が可能である。

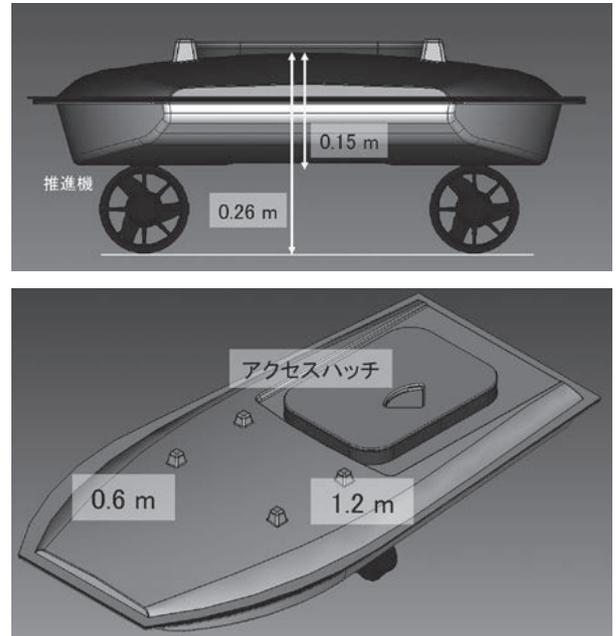


図3 船体の寸法

船体のうち、通常の使用状況で水面下に沈むことが想定される部分の体積から、おおよその浮力を求めると、海水では約54 kg重、淡水では約52.7kg重である。船体の総重量は約10 kgなので、余剰浮力は42.7 \sim 44 kg程度が確保可能であり、目標とする33.3kgを10kg程度超えている。

2.4 船体の電装系

電源には6S1P、電圧22.2 V、容量22000 mAhのLiPoバッテリーを使用する。LiPoバッテリーは、ヒューズ及び電源スイッチを通し、端子台に接続される。端子台からは、各種制御基板や無線装置、モータドライバに接続される。無線装置は、2.4 GHzで通信を行い、障害物がない場所では、最大500 m程度での通信が可能である。

2.5 推進器

本稿の水上救助ドローンは、2機の小型推進器を搭載する。取り付け位置は、船首から船尾方向に500 mm移動した位置とし、左右対称に取り付ける。推進器の大きさは、直径97 mm、全長1113 mm、ケーブルを1m含んだ重さは334 gである。2機の小型推進器の総出力は1,290 Wであり、2馬力以内（1500W）に納めることが出来た。

2.6 操作系

操縦は、RCプロポを用いて遠隔操作で行う。出来るだけ多くの人にとって緊急でも操作可能とするために、スマートフォンやタブレットなどの高度なインターフェイスや、自律制御などの複雑な操作が必要な機能は採用せず、最小限度の機能のみを持たせた。

水上救助ドローンは、進行方向を変えるための舵は備えていない。進行方向の制御は、RCプロポからの信号に応じて、左右の推進器の推力を制御することによって行う。そのため、小回りのきく動きが可能となっている。

2.7 動作時間および移動距離

搭載するバッテリーは22.2V、22000mAhである。1290 Wの出力を継続する場合、動作可能時間は約22分となる。平均速度を8.0 knotとしたとき、約5.3 kmの距離を移動できる。

3. 水上救助ドローンの性能評価

本節では、試作した水上救助ドローンを用いて、水上で走行性能の評価を行った結果を述べる。

評価を行った場所は、水深30 - 50 cmの水の流れが遅い淡水域である。バッテリーが満充電時の最高速度、牽引力、直進・後進時の走行姿勢などについて評価を行った。

3.1 最高速度

速度の計測は、水上を走行中の水上救助ドローンを撮影した動画を用いて行った。動画は、秒間30フレームで撮影される。撮影後の映像から、1フレームに移動した距離を計算して速度を求めた。

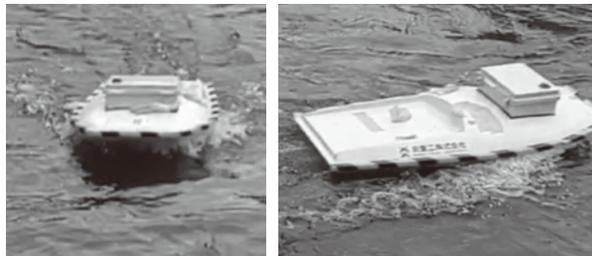
前進する速度は、19.4 km/h \approx 10.47 knotを記録し、最低限の目標値とした9 knotを約1.5knot上回る結果となった。

3.2 牽引力・撃力

水上救助ドローンの牽引力と撃力を次のようにして測定した。岸壁にフォースゲージを固定し、ロープで船体とフォースゲージを接続した状態で、ロープがたわんでいない状態から水上ドローン进行操作して静かにロープを引いて牽引力を測定し、ロープがたわんだ状態から勢いを付けてロープを引いて撃力を測定した。その結果、牽引力は230 N、撃力は329Nを記録した。

3.3 走行姿勢等

図4に前進時の走行姿勢を示す。図では、推進器を同方向に最大出力で動作したときの前進姿勢を示している。前進時は、ピッチ角10°程度を維持し走行した。推進器出力の左右バランスのずれは認められず、走行時の直進安定性は高かった。波や水の流れが遅くない場所での走行では、転覆することはなく安定した走行が可能だった。



正面図 側面図

図4 前進時の走行姿勢

4. 救助方法の検討

本節では、岩手県沿岸部の海水浴場で実施した救助方法の検討結果について述べる。気象条件について、天候は晴れ、風速は6 km/h、波の高さは約30 cmだった。人が岸から離れた地点で溺れている状況で、電源がオフの状態から、電源を入れて救助に向かう状況を想定して評価を行った。

4.1 救助方法について

浮き輪を船尾に取り付ける方法と、遭難者が船体に直接つかまる方法の2つの救助方法を試した（図5）。どちらの手法でも人を移動させることは可能だった。

遭難者が直接船体につかまる方法では、走行中に船体のピッチ角が大きくなる。また、水難者が推進器からの水流を受けやすい。そのため、水難者が船体につかまった状態を維持することは困難と考えられる。水難者と推進器との距離が近くなりすぎ、水難者が推進器に接触して怪我をしてしまうこともあり得る。水難救助用途よりも、レジャー用の乗り物により適した方法であると考えられる。

一方、浮き輪に捕まった状態では水難者に無理な姿勢は求められない。また、推進器からの水流の影響もより小さい。そのため浮き輪を用いた救助の方がより適していると考えられる。



船体後方にロープと浮き輪と取り付け



船体に直接捕まる

図5 水難者救助の例

5. 水難者を直接移動する以外の使い方について

本稿の水上ドローンは、水難者を直接移動する以外にも2通りほどの用途を想定している。

5.1 災害現場でのレスキュー隊員の移動

救助隊が通報によって現場付近に到着したのち、救助用のゴムボートなどの準備が出来る前に隊員を現場まで移動のために用いることが可能である。

5.2 水没した水難者の捜索

万が一、水難者が水没して、そのまま浮かび上がれずに行方不明となってしまった場合、ソナーを使って水中の捜索を行うことが可能である（図6）。



図6 ソナーを使った水中の捜索

6. おわりに

本稿では、当社が開発する小型の水上ドローンをベースにした水上救助ドローンの開発の概要と、静止水域での性能評価、及び海上での救助方法の検証・検討結果について説明した。

静止水域での評価では、走行速度、牽引力、旋回性能について評価した。想定された状況における救助活動にはほぼ充分といえる性能を有し、波や水流が小さい場所において安定した走行が可能であることが分かった。

実際の救助の状況を想定して行った検討結果では、浮き輪を用いた救助、船体に直接つかまる救助の両方が可能であることが分かったが、浮き輪を用いた救助の方が水難者に対する負担が少ないと考えられる。

本稿で紹介した水上救助ドローンは救助に十分な性能を有し、必ずしも水難救助の訓練を受けていない人でも二次災害の危険無しに救助活動を実施可能であると言える。

参考文献

- [1] 「ミズベリング」公式サイト <https://mizbering.jp>
- [2] 「警察庁生活安全局生活安全企画課: 令和5年における水難の概況等」, (2023), https://www.npa.go.jp/publications/statistics/safetylife/r05_suinan_gaikyou.pdf
- [3] 「政府広報オンライン: 水の事故を防ごう! 海や川でレジャーを楽しむために知っておきたい安全対策」 <https://www.gov-online.go.jp/useful/article/201608/1.html>
- [4] 岐阜県庁: 川の危険性について (Q&A), <https://www.pref.gifu.lg.jp/page/27320.html>
- [5] 岐阜県庁: 水難事故等に関するQ&A (よくある質問), <https://www.pref.gifu.lg.jp/page/27330.html>
- [6] 岐阜県庁: 水難事故が多発!!, <https://www.pref.gifu.lg.jp/page/27664.html>
- [7] (公財)河川財団: No More 水難事故2024(令和6年6月現在 2003-2023年収集データ), https://www.kasen.or.jp/Portals/0/pdf_mizube/suinanjiko2024.pdf
- [8] United States Coast Guard: Cold Water, Immersion Suits, and Survivability, FishSafe.info, 2006.
- [9] 「離岸流について」, 長岡技術科学大学 環境社会基盤工学専攻 水圏防災研究室 http://coastal.nagaokaut.ac.jp/~inu/rip_current/index.shtml

水中点検ドローンの紹介

進藤 魁人*1 増田 蒼一郎*1 清水 拓海*1 松岡 知洋*2 山本 克己*2

Introduction of a Small Light-Weight USV Drone Equipped with an Underwater Camera

Kaito Shindo*1, Soichiro Masuda*1, Takumi Shimizu*1, Tomohiro Matsuoka*2 and Katsumi Yamamoto*2

Abstract - We introduce a small, light-weight water surface drone model with underwater camera function. Underwater/water-surface drone with underwater camera function have opened a new way for capturing scenes under water which are previously difficult to access. With its ease-of-use, our drone model can enhance the accessibility. As one of possible applications of water surface drone with underwater camera function, we discuss the research or monitoring of shallow-water biotic community.

Keywords: USV Drone, remote control, underwater camera, FPV

1. はじめに

近年、水上ドローンの普及が急速に進みつつあり、様々な用途で用いられている。日本は海に囲まれた島国であり、また、内陸部でも水が豊富であるため、水上ドローンの活躍の場はこれからも広がることが期待されている。

水上ではない空中ドローンの場合、現在のように世界中に広く普及するようになったきっかけの1つは、カメラ機能付きの一般消費者向けのドローンの発表だった。2010年に発表されたフランスParrot社のAR Droneは、ドローンに搭載されたカメラからの映像を操縦者がリアルタイムで見ることが可能なFPV (First Person View) 機能を備えた空撮用ドローンである[1]。AR Droneをはじめとする空撮用ドローンの普及によって、それまで撮影するのが困難だった場所からの撮影が容易になるようになった。水上ドローンにも水中カメラ機能付きのものがあり、空撮用ドローンと同様に、新たな映像の世界への可能性をもたらしている。

本稿では、水上ドローンに水中カメラを搭載したモデル「水中点検ドローン」を紹介する(図1)。「水中点検ドローン」は、大人1人で持ち運ぶことが可能な小型・軽量の水上ドローンであり、普通自動車のトランクに積載して運搬することも可能である。船底に取り付けられた水中カメラによって、リアルタイムでの水中撮影が可能である。操縦や映像のための通信は無線で行い、通信用のケーブルを必要としない。

「水中点検ドローン」の最大のメリットは、小型・軽量であり、ケーブルが不要なため取り回しが容易である点である。そのため、水中カメラ付き水上ドローンのもたらした可能性をさらに多くの用途へ広げることができると考えられる。

本稿では特に、水中カメラ付き水上ドローンの用途の1つとして、浅水域の水底の生物群集、特に藻場のモニタリングについて考察する。近年、地球温暖化の影響もあり、浅水域の生物相に急激な変化が生じているとの報告がある[2][3]。今後、水上ドローンによる水底のモニタリングの重要性は増すと考えられる。

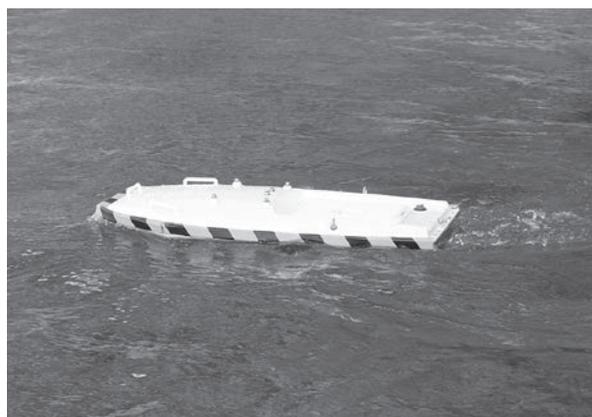


図1 水上救助ドローン

2. 水中点検ドローン

2.1 概要

水中点検ドローンは、小型で軽量の無人水上機(Unmanned Surface Drone)である(表1)。操縦は、無線通信の送信機を用いて遠隔で行う。推進器やバッテリーを含めた本体の総重量は約10kgであり、大人1人で持ち運ぶことができる。船体には防水型の水中カメラが取り付けられ、FPVでの水中撮影が可能となっている。カメラからの映像は、無線通信によってプロポのモニタに表示される。カメラのチルト角は、任意に調整できるように構成されている。

*1: 炎重工株式会社 生産技術部

*1: Product Engineering Dept, Homura Heavy Industries Corporation.

*2: 炎重工株式会社 製品開発部

*2: Product Development Dept, Homura Heavy Industries Corporation.

表 1 主要諸元

項目	仕様
全長	120 cm
全幅	70 cm
全高	20 cm
総重量	10 kg
材質	ガラス強化繊維プラスチック
最大積載量	15 kg
最大速度	10 ノット

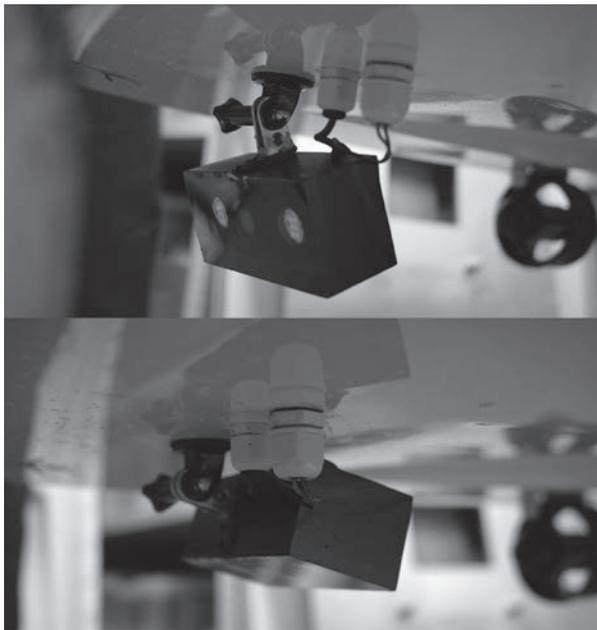


図 2 船底に取り付けられたカメラ

2.2 通信性能

水中心検ドローンは、無線操縦用のプロポで遠隔操作することが出来る（図4）。周囲の環境にもよるが、500m 離れていても、プロポと本体は通信することができる。

2.3 水中カメラ

水中心検ドローンは、水中を撮影することが可能な防水型カメラが取り付けられている（表2、図2、及び図3）。カメラのレンズは、120°で広角である。また、照明用のLEDライトが搭載されており、照度が足りない場合などに利用することが出来る。カメラの船底への取り付け角度は調節することが出来る。なお、図3の船尾から出ているロープは、試走の際に回収用に付けられていたロープであり、通信用のテザーケーブルではない。

本モデルのプロポ（図4）には、解像度1920×1080 pxの液晶モニターが搭載されており、カメラが捉えている映

像を手元で確認しながら操縦することができる。手元のモニターで映像を確認しながらの撮影も可能である。静止画像はjpgで、動画はmp4で保存することができる。

表 2 水中カメラの仕様

解像度	640 × 360 px
レンズ	120°
動作電圧	12-71 V
動作電流	140 mA
消費電力	6 W
重量	55 g
サイズ	102.1 × 42.6 × 36.5 mm

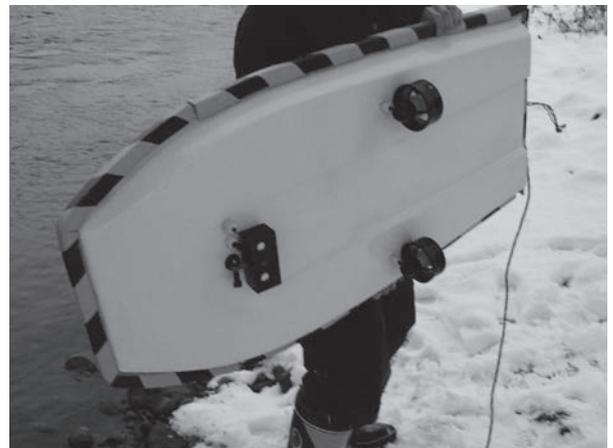


図 3 「水中心検ドローン」船底



図 4 操縦用プロポ

3. 水中心検ドローンの特徴

人が潜水しての撮影や水中ドローンによる水中撮影では、水底に堆積している沈殿物や土砂を攪拌してしまい、視界が悪化してしまう問題があった。水中心検ドローンは、水面を移動する水上ドローンであるため、推進器が起こす水流は水面に平行な方向であり、潜水の場合と比べて沈殿物や土砂の攪拌は少なく、良好な状態で撮影しやすい。また、水中カメラの映像を操縦に使用しないため、もし沈殿物の巻き上げが起きて視界が悪化しても操縦に支障はない。

水中心検ドローンは、浅い水域、特に水深2m程度までの水域での活用が期待される。浅い水域では水中ドローンの運行が難しく、また、人がカメラをもって撮影する際にも移動が難しく、危険が伴うなど問題がある場合がある。また、水中に固定したカメラ等を用いる場合と異なり、移動が容易であるため、設置及びメンテナンスコストを抑えることが出来ると考えられる。

4. カメラの使用例

開発段階の水中心検ドローンを使用して、水中の撮影を行った例について述べる。図5では、操縦者の手元にあるプロポのモニタに、水中カメラからの映像が表示されている。図6から8は、ほぼ同じ時間にほぼ同じ場所で撮影した映像の例である。水底の堆積物や岩礁を確認することができる。図6、7には水中を泳ぐ魚の群れのほか、画面左側に水底の海藻が写っている。

これらの水中カメラからの画像は、カラーで見ると全体的に緑がかって見える。文献[4]のFigure.3によれば、沿岸海洋(costal ocean)における可視光線の減衰は波長475nm～580nmあたりで1 dB/mより小さくなり、550nm付近で最低となる。この付近の波長は青から黄緑色に対応する。それ以外の領域では、より減衰が大きくなる。水中カメラからの画像が緑がかって見えるのはそのためである



図5 水中カメラの映像が表示されている様子



図6 水中で泳ぐ魚の様子



図7 水中の魚及び藻場の様子



図8 河川の礫の様子

5. 用途の例

水中心検ドローンのような水中カメラ付き水上ドローンの用途の1つに、浅水域の生物群衆の調査・モニタリングがある。近年、地球温暖化の影響などにより浅水域の生物相が急激に変化しつつあると言われている[2]。日本国内でも、海藻藻場が衰退する傾向があるとの報告がある[3]。

一方で、浅水域の藻場はブルーカーボン生態系の1つであり、温室効果ガスの1種であるCO₂の吸収源である[5]。ブルーカーボンとは、海洋生態系によって取り込まれ貯蔵される炭素のことであり、ブルーカーボンを貯蔵する生態系のことをブルーカーボン生態系という。ブルーカーボン生態系の保全是、地球温暖化対策の1つとして注目を

集めている[5]。

浅水域の生物群の調査・モニタリングの実例には、空中ドローンを用いた水中の藻場の調査・モニタリングなどがある。上空から水面を撮影し、機械学習を用いた画像解析等によって水中の藻場を調査するものである[6][7]。

水上ドローンと水中カメラによる調査・モニタリングには、空中ドローンでの調査・モニタリングと比べて次のような利点があると考えられる。水上ドローンの方がより簡単に操作でき、より直接的なデータを取得することが可能であり、重量のある大型の機材を用いることも容易であるという点である。また、水上ドローンでは操作系・動力系の不具合が発生しても、水没によって船体が消失する危険性は少ない。

ブルーカーボン生態系としての藻場のCO₂吸収量を算出するためには、藻場の面積のほかに、その中で海藻が実際に占める割合に相当する量（体積）も推定する必要がある。藻場のモニタリングでは、区画の面積に対する海藻の垂直投影面積（被度）が用いられている[8][9]。被度は必ずしも実際の面積が分からなくても、海藻が占める割合が分かれば推定は可能であると考えられる。また、水上ドローンで藻場の面積を求める場合には、あまり範囲の広くない藻場の場合は、境界に沿って船体を動かしてトレースし、その軌跡から求める方法が考えられる。

水中カメラによって水中のモニタリングを行う場合には、例えば次のような課題が考えられる。水上ドローンは水面に浮かんでいるため、風や波の影響を受けやすい。そのため、カメラが揺れて映像がぶれやすい。水面で起きる光線の屈折や反射を考慮する必要はあまりないが、水とレンズあるいは水と防水壁との相対屈折率については、空気とレンズあるいは空気と防水壁のそれとは異なるため注意が必要となる。また、4節で述べたように、浅水域の水中では青から黄緑付近以外の可視光線は減衰し易く、そのため同じ物体を空気中で見たときとは色合いが異なって見える。用途によっては、色合いの調整が必要になることも考えられる。

6. 今後の展望など

水上ドローンは、風や波の影響を受けやすい。揺れに強い船体の採用や、カメラのブレ補正のためのジンバルの利用など、改善策の研究開発が進められている。

水中点検ドローンは、標準で水中カメラのみを装備しているが、水中カメラに加えて船体上部に水上用のカメラを備えたモデルの開発も進められている。水上カメラの映像をプロポのモニタに表示することによって、陸上から目視では船体が確認出来ない状況でも操縦が可能になると考えられる。また、水中点検ドローンの標準のカメラは広角のものを採用しているが、さらに広範囲を撮影可能とするために、全方位が撮影可能な魚眼レンズ等を搭載するための開発も行われている。

水中点検ドローンには、自動航行の機能は備わっていないが、後続のモデルでは自動航行の機能が実装されている。それによって、あらかじめ決められたルートに沿って自動運行しながらの撮影や、流れのある場所等での定点撮影も可能となる。

7. おわりに

本稿では、当社が開発した水中点検ドローンを紹介し、水中カメラで実際に撮影した映像の例を提示した。水中点検ドローンは、軽量・小型で取り扱いが容易であり、特に水深が浅い水域での活躍が期待できる。

次いで、浅水域の生物群衆の調査・モニタリングへの応用について考察した。後続のモデルでは、小型・軽量である点はそのままに、ジンバル付きの水上カメラや自律制御機能などを含むさらなる高機能化を目指して開発を進めている。

参考文献

- [1] Chris Anderson: Parrot AR.Drones specs: ARM9, Linux, 6DoF IMU, Ultrasonics sensor, WiFi...WOW!, (2010)
<https://diydrones.com/profiles/blogs/parrot-ardrones-specs-arm9>
- [2] Qiang He, Brian R. Silliman: Climate Change, Human Impacts, and Coastal Ecosystems in the Anthropocene, *Current Biology* 29, R1021–R1035, (2019)
- [3] 熊谷直喜: 藻類学最前線 気候変動に伴う藻場群集の地理的分布変化, *藻類*68(2), pp.91-97, (2020)
- [4] G. S. Spagnolo, et. al.: Underwater Optical Wireless Communications: Overview, *sensors* 20, 2261, (2020)
- [5] United Nations Environment Programme: Blue carbon: the role of healthy oceans in binding carbon, (2009)
<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7772>
- [6] 山田充哉 他: ドローンを用いた広域藻場調査, *水産工学*, Vol. 54 No. 2, pp. 121~125, (2017)
- [7] 佐々木淳: ブルーカーボン評価に資するドローンを用いた海草藻場分布の時空間変動推定, *調査研究論文集* (31), pp.57-60, (2020)
- [8] 水産庁: 実効性のある継続的な藻場モニタリングの手引き, p.4, (2024)
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_guide/attach/pdf/index-196.pdf
- [9] ジャパンブルーエコノミー技術研究組合: Jブルークレジット®認証申請の手引き Ver.2.4, (2024)
https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2024/20240312_J-BlueCredit_Guideline_v.2.4.pdf

「海床ロボット」小史

松岡 知洋*1

A Brief History of Umidoko Robot

Tomohiro Matsuoka*1

Abstract - Umidoko Robot, or Floating Floor Robot on the Sea, is a small water surface vehicle model. It has a rectangular 3m×3m float on which custom-made wooden structures can be built. Due to the four thrusters installed at each of the four corners, it has achieved high flexibility of movement with no rudders. It is capable of navigating autonomously along a predetermined course, while it can also be handled manually with a radio transmitter. With its maneuverability and customizability, Umidoko Robot has a lot of potential as a new tool for dealing with various urban problems near waterside. As the main developer of the control and navigation system of Umidoko Robot, in a humble celebration of its fifth anniversary, we present an account of a short history and a glimpse of a future direction of Umidoko Robot.

Keywords: Umidoko Robot, water surface vehicle

1. まえがき

「海床ロボット」の開発・普及、及び海床ロボットを用いた様々な水辺の都市問題の解決を目指して、2020年夏、海床ロボットコンソーシアムが発足した[1]。同コンソーシアムは、株式会社竹中工務店が主導する産学連携のコンソーシアムであり、株式会社竹中工務店、国立大学法人東京海洋大学 海洋工学部 清水研究室、一般社団法人ウォーター・スマート・レジリエンス研究協会、株式会社IHI、JMUディフェンスシステムズ株式会社、新木場海床プロジェクト、株式会社水辺総研、あいおいニッセイ同和損害保険株式会社、及び炎重工株式会社（当社）からなる。

「海床ロボット」とは、人が乗って操縦しなくても、あらかじめ決められた航路を自動で航行することが可能な小型の水上移動機関である。例外もあるが、3×3mの正方形のフロート上に床を設け、その上にカスタマイズ可能な上屋を載せた形態である。

動力は、電気で動く4組のスラストで、それらを船体の四隅付近に配置している。スラストの出力は、RCプロポからの指令、あるいは自動航行用ソフトウェアからの指令に基づいて、専用のソフトウェアで制御する。海床ロボットは、方向転換のための舵は持たないが、この機構のために、空を飛ぶドローンのような自由度の高い動きが可能となっている[2]。スラストの総出力を2馬力以内に抑えているため、操縦に船舶免許等は不要である。最大速力は、モデルによっても異なるが、静水面で約4ノット（2m/s）である。

人が操作しなくても、GNSSやIMUユニットを用いて、あらかじめ決められた経路を自動でたどる自動航行が可能であり、専用の栈橋へ自動航行で接岸する実証実験にも成功している。

当社は、コンソーシアム発足前から、「海床ロボット」の前身となる「筏ロボット」の開発を行い、コンソーシアム発足後も、現在までのすべての海床ロボットに、主に制御系設計・製造および制御技術の面で関わってきた。

2019年12月19日は、「筏ロボット」の最初の船体が始めて岩手県大船渡市三陸町綾里港の海面に浮かんだ日である。その後、2019年末から2020年始めにかけて、綾里港において、海床ロボットの最大の特徴の1つである4軸制御の動作検証を行った。それ以来、現在までに様々な海床ロボットが製造されている。すでに数度にわたる実証実験を終え、2025年に開催される大阪万博では海床ロボットの出展が決定している。

2024年12月19日は、海床ロボット5周年記念日に当たる。5周年を迎えるに当たって、本稿では海床ロボットのこれまでを振り返る。次節以降、現在までに当社が開発に関わってきた歴代の海床ロボットについて紹介し、次いで今後の展望についても簡単に述べる。



図1 綾里港に浮かぶ海床ロボット1号機（筏ロボット）

*1: 炎重工株式会社 製品開発部

*1: Product Development Dept, Homura Heavy Industries Corporation

2. 1号機（筏ロボット）

「海床ロボット」の最初期のモデルの開発を始めたのは、2019年終わりごろだった。それまでに、当社で開発を行っていた2軸0舵船の自動航行船「船舶ロボット」をベースに、4軸0舵船に拡張するような形で開発を進めた。当時は、まだ「海床ロボット」の名称は存在しておらず「筏ロボット」と呼ばれていた。海床ロボットコンソーシアムが発足し、「海床ロボット」の名称が正式に誕生した後では、海床ロボット1号機とも呼ばれるようになった。

1号機は、FRP製のミニボートを2台並べた上に木製の床を載せ、木製の柱と枠組みで合成樹脂の波板の屋根を支えていた（図1）。大きさは、3×3mである。舵は備えておらず、船体の4隅に1台ずつスラストを備えた4軸船で、RCプロポからの指令に応じて各スラストの出力を制御することにより、前進・後進・右折・左折の他に、船体の向きを変えずに横方向へ移動する（右進、左進）ことが出来た。GNSSとIMUユニットによる自動航行機能も備えていたが、「筏ロボット」の自動制御は2軸船のものをほぼそのまま用いていたため、自動制御で横移動やその場旋回を行う機能は備えていなかった。

2020年11月9日から10日にかけて行われた筏ロボット実証実験イベントで、9日には水上に浮かぶ筏ロボットに空中ドローンでピザとワインを届ける実証実験が行われ[3]、10日にはミュージシャンの柳川タカシさんが筏ロボットに乗船して、汐浜テラス付近に集まった観客にギター弾き語りの音楽を届ける水上コンサートが行われた[4]。

3. 2号機（ベンチ型）

2021年秋頃から開発を開始した2号機では、FRP製のボート2台ではなく長方形の合成樹脂製のフロートを2つ正方形に組み合わせたものの上に、木製の床を載せた（図2）。この変更によって、1号機から船体の安定性が大幅に改善された。床部分の大きさは、1号機と同じく3×3mである。最大積載量は、上屋の構造を含め1600kgである。

機能面では、1号機での前後左右の動きの他に、4軸船の長所をさらに活用し、その場での旋回（超信地旋回と呼ばれるような種類の旋回）を行うことを可能とした[5]。自動制御に関しては、単独測位ではあるが、1号機よりもさらに高精度な測定が可能なGNSS+IMUユニットを採用した。

さらにその他の機能として、iPad操縦インターフェースとプラグイン充電機能を追加した。iPad操縦インターフェースでは、iPad / Android タブレット端末で速度・船外機出力・バッテリー電圧・方位角のモニタリング、及び自動航行のための経路設定が出来るようになっている。また、プラグイン充電機能によって、動力用のバッ

テリを家庭用のAC100Vコンセントから充電することが可能である。



図2 海床ロボット2号機（ベンチ型）

フロント上の上屋の部分は必要に応じて様々なタイプのものに換装が可能であるが、ベンチ型の上屋を載せて用いられる機会が多い。開発初期の、フロートに木製の床や上屋を載せていない状態で動作確認等を行った映像も残っている。図3は、2021年秋に綾里港で行った動作検証の時のものである。

2021年12月15日から16日にかけて大阪城公園の東外堀で行われた実証実験[6][7]では、数人の乗客を乗せて自動航行を行い、また、コの字型の専用栈橋への自動接岸を行った。船体正面真ん中に据え付けられたテーブル、及び床の外周部分にはカラーLEDが取り付けられていて、夕方から夜間にかけての時間帯には船体のライトアップを行うことが出来るようになっていた（図4）。

2022年6月2日から3日にかけて、東京湾マリーナで行われた「海床ロボット試乗会」に使われたのもこの船体である。また、2022年10月19日～10月25日に、瀬戸内芸術祭の会場のある香川県三豊市粟島のホテル「ルポール粟島」と連携して実施された「アート&レストランロボット」の実用化実験にも使われた[8]。



図3 綾里港に浮かぶ2号機
開発途中のため上屋はない



図4 ライトアップされた航行中の2号機



図6 ドッキング中の3号機と4号機

4. 3号機（屋台型）

3号機は、2022年夏頃から開発・製造を始めたモデルである。他の海床ロボットとのドッキングや、専用栈橋への自動接岸などを行うことが目標の1つだった。船体の大きさは3×2mで、2号機までの海床ロボットと比べて小型である。最大搭乗人数は3人である。機動や性能は、2号機と同等である。

水上で屋台、あるいは喫茶店のカウンターとして使うことを想定して製造された上屋を備え、「屋台型」と呼ばれることもある（図5）。船体の三方がカウンターで囲まれ、カウンターの下は3段の棚になっていて、そこに物品を展示することが可能である。さらに、船全体の上部を覆う麻布の屋根を木製の柱と枠で支えている。バッテリーは、最大8台搭載可能であり、8台搭載時の連続稼働時間は6時間である。

3号機は、この後で述べる4号機とともにLAKE AND PIECE 2022に出展された[9][10]。3号機は、水上カフェとして4号機とドッキングして、4号機の乗客にコーヒーなどを提供する役割を担当した（図6）。また、このとき以降、2号機で用いられたiPad操作インターフェースに変わる新しい遠隔操作・モニタリングシステムを用いている（図7）。さらに、2022年12月7日から8日にかけて大城公園東外堀で実施された実証実験にも用いられ、このときにも4号機の乗員に飲み物を渡すサービスを担当した[11][12]。



図5 海床ロボット3号機（屋台型）



図7 海床ロボットの遠隔モニタリングシステム（2隻同時に実施した）

5. 4号機（芝生型）

4号機は、3号機にやや遅れて開発を始めたモデルである。3号機と同じく、他の海床ロボットとのドッキングや、専用栈橋への自動接岸を行うことなどを目標に開発を始めた。3号機と同じく、機動性能は2号機と同等である。バッテリーは、最大8台まで搭載することが出来、8台搭載時の連続稼働時間は6時間である。大きさは3×3mで、フロートの上面に人工芝を載せて用いることが多く（図8）、このため、「芝生型」と呼ばれることもある。最大搭乗人数は8人である。船体上の三方には、転落防止用の木製のブロックが据え付けられていた。

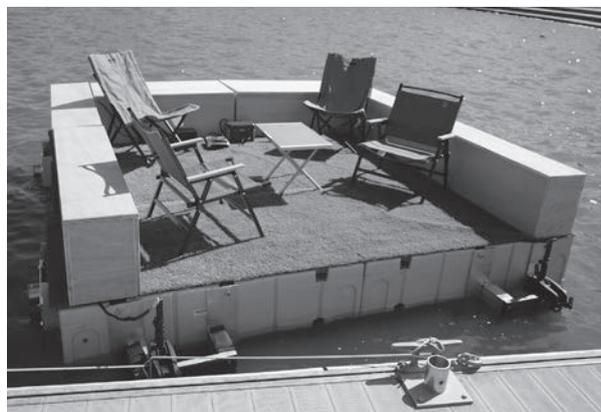


図8 海床ロボット4号機（芝生型）

前節で述べた通り、4号機は3号機と共に、2022年10月1日から2日にかけて埼玉県越谷市の越谷レイクタウンで開催された LAKE AND PIECE 2022に出展された[9][10][13]。このとき、海床ロボット同士のドッキングを行った(図6)。

2022年11月11日から12日にかけて、4号機単独で、東京都江東区の汐浜運河エリアで行われた「渡し船ロボット」の実証実験に用いられた[10]。このときには、転落防止用にアルミ製のフレームが取り付けられ、上部にはビニール製の屋根が取り付けられていた(図9)



図9 アルミフレーム付きの4号機

2022年12月7日から8日にかけて、3号機と共に、大阪城公園の東外堀で行われた実証実験に用いられた。このときも「渡し船ロボット」の時と同じくアルミ製の枠とビニール製の屋根が装備されていた。3号機とのドッキングの他、専用棧橋への自動接岸と棧橋での非接触充電の実証実験が行われた[11][12]。

2023年のLAKE AND PIECE 2022に引き続き、2023年に埼玉県越谷市の越谷レイクタウンで開催されたLake and BEACH 2023にも3号機と共に出展された[14]。

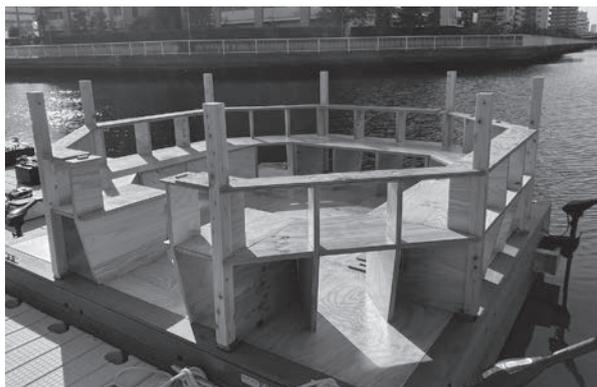


図10 海床ロボット5号機 新フロートベンチモデル

6. 5号機(新フロートベンチモデル)

5号機の仕様検討は、2023年4月末頃に開始された。5号機では、海床ロボット用に新規開発したフロートを採用した。2号機や4号機では、既製品の2台のフロートを並べて

使用していたが、5号機に採用したフロートは一体型のもので1台である。大きさは2.95×2.95mで、2号機や4号機と比べて少し小さくなっている。新型フロートの内部は2重構造になっていて、安全性向上のために水密区画を備えている。また、デッキコーナーには排水用に水抜が設置されている。新型フロートでは内部に制御装置や配線を収納出来るため、防水性が向上し、上屋のレイアウト等の自由度が増している。5号機の最大搭乗人数は8人、バッテリーは最大8台搭載可、8台搭載時の連続稼働時間は6時間である。これまでに5号機に採用した上屋の1つは、木製の床の上に六角形の木製の囲いを設けたものだった(図10)。

5号機は、2023年12月6日から7日にかけて大阪城公園の東外堀で行われた実証実験に使われた[15]。このときには、六角形の囲いの内側にコの字型のカウンターを据え付け、囲いの6頂点の位置に木製の柱を立て、布製の2枚の屋根を固定した(図11)。また、2号機と同じく、夜間には、カラーLEDでライトアップを行えるようにしていた(図12)。

2024年1月20日から21日に名古屋市堀川で行われた実証実験は、海床ロボットにとって初めての河川での実証実験だった。このとき、乗船した一般乗客に対して、円頓寺商店街内飲食店舗のメニューの提供や、同乗するガイドによる周辺エリアの説明が行われた[16]。



図11 5号機(大阪城公園)



図12 ライトアップされた5号機(大阪城公園)

7. 6号機（ゴミ回収ロボット）

6号機は、本稿執筆時点において開発中の最新の海床ロボットである。2023年4月末頃に設計を開始した。他の海床ロボットとは異なり、人を乗せて航行することではなく、水面のゴミを回収し、水面を清掃することを目的に開発が始められた。他のモデルより大型で重量も大きく、ゴミ回収用のベルトコンベアを備えている（図13）。

また、自動充電装置を備えた専用棧橋の製造も予定している。6号機の企画は5号機よりも先行していたが、正式に海床ロボットとして開発することが決定した時期は、5号機的设计・製造開始よりも後のことだった。正式に海床ロボットとしての開発を開始してからは、6号機とも呼ばれるようになった。



図13 ゴミ収集実験中の海床ロボット6号機

6号機は、それまでのモデルと異なり、スラスタを8台備えている。それまでのモデルではスラスタ1台で前進・後進を切り替えて駆動していたところを、前進専用・後進専用でそれぞれ1台ずつ割り当てて使用しているところに6号機の大きな特徴がある。モータの回転方向を切り変えるためのタイムラグがないため、それまでのモデルと比べて機動性が改善されている。また、スラスタを合計で8台も使うため、スラスタ毎の出力のバラツキ（個体差）が問題になることがあるが、その対策のため、スラスタ毎の出力をソフトウェア的に微調整する機能も備えている。

また、5号機までの海床ロボットではGNSS単独測位とIMUユニットを使って自動航行を行っていたが、6号機で始めてRTK GNSS測位を導入した。船体の向き（北向きからの変位、方位角）の検出も、5号機までのモデルではIMUユニットの磁気コンパスを用いていたが、6号機ではRTK GNSSのアンテナを複数台使用するシステムによって向きの検出を行っている。その副次的な効果として、6号機の船体の向きの検出精度は、金属製の構造物の存在などによる地磁気の乱れの影響を受けない（図14）

6号機の遠隔操作インターフェースは、2号機から5号機で用いたものよりさらに使い易いように改善されてい

る。動作確認などが済み次第、2号機～5号機にもフィードバックする予定である。SusHi Tech Tokyo 2024の海の森エリアに出展されたのがこのモデルである[17]。



図14 自動航行実験中の6号機
磁気コンパスが狂いがちなエリアでの航行だった

8. 今後の展望

6号機は、海床ロボット初の人の移動を目的としないモデルであるが、そのほかにも噴水やサインージなどのモデルも検討している。

4軸あるいは8軸制御の海床ロボットは、操作の自由度が高く[2]、前進・後進・真横への移動・その場での旋回だけではなく、さらにそれらを組み合わせた運動、例えば、指定された経路を旋回しながら巡る移動や、遊園地にあるアトラクションのコーヒークップのような動作も理論的に可能である。いわば、動く床という海床ロボットのコンセプトを実現できたと言える。しかし、その特徴をフルに活用した海床ロボットのモデルはまだ存在しない。この点についても、海床ロボットの可能性をより引き出すための方法を検討中である。

9. おわりに

本稿では、2024年12月の海床ロボット5周年を前に、これまでに当社が関わった計6台の海床ロボット開発機と、その特徴、及びそれらを用いて行われた実証実験などについて振り返った。最初期の1号機は、元になった2軸船「船舶ロボット」の制約を残していて、その場での旋回に対応せず、船体もFRP製のボート2台の上に木の床を載せたものだったが、その後、専用のフロートが開発されて

水上での安定性が増し、その場での旋回にも対応した。2台の海床ロボットを自動制御でドッキングする実証実験や、専用の棧橋に自動接岸して自動で充電を行う実証実験も成功させた。また、それまでの人を乗せて運ぶ用途から離れた、水面のゴミを回収するためのモデルの開発も行っている。2025年には、大阪万博への出展が控えている。

今後、さらに海床ロボットの可能性を引き出すアイデアとして、噴水・サイネージモデルの検討も行っている。また、現在の海床ロボットには、自由度の高い4軸（8軸）制御の可能性を引き出す余地がある。海床ロボットのさらなる可能性を引き出すべく開発を続けて行く予定である。

謝辞

海床ロボットのプロジェクトは、大勢の方々の尽力によってここまで進行してきました。当社も、その中の1企業として参加したに過ぎません。これまで、海床ロボットに関わってきた全ての人々に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 「海床ロボット」公式サイト <https://umidokorobot.com/>
- [2] 阿部翔太, 松岡知洋: 多軸0舵船における運動制御最適化の紹介, 炎重工技報Vol.3, (2019)
- [3] UMIDOKO海床プロジェクト: UMIDOKO 海床ロボットドローン連携実証実験 (2020.11.09) , (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=Ke0SikvTGy4>
- [4] UMIDOKO海床プロジェクト: UMIDOKO 海床ロボット弾き語りコンサート (2020.11.10) ,(2022) <https://www.youtube.com/watch?v=56030PRxuv4>
- [5] UMIDOKO海床プロジェクト: UMIDOKO 自在に海上を動く海床ロボット, (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=WGY-rB6-6Xw>
- [6] 株式会社竹中工務店: 水辺の都市課題解決に向けて都市型自動運転船「海床（うみどこ）ロボット」の実証実験を実施, (2021) <https://www.takenaka.co.jp/news/2021/12/07/>
- [7] UMIDOKO海床プロジェクト: UMIDOKO 海床ロボット2021年大阪城実証実験, (2022) https://www.youtube.com/watch?v=_i_rAzqvWHg
- [8] KSB瀬戸内海放送: 島と島を“無人でつなぐ”海上の新たな乗り物として期待 香川・粟島で「海床ロボット」の実証実験, (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=HRKhZhHgdhY>
- [9] 竹中工務店: 都市型自動運転船「海床ロボット」の商業施設における展開, (2022) <https://www.takenaka.co.jp/newslog/2022/10/01/>
- [10] 国土交通省: 海の次世代モビリティを用いた実証実験2件を追加選定しました！, (2022) <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001499078.pdf>
- [11] 竹中工務店: 水辺の都市課題解決に向けて都市型自動運転船「海床（うみどこ）ロボット」の実証実験を実施, (2022) <https://www.takenaka.co.jp/news/2022/12/03/>
- [12] 水辺総研: 海床ロボット2022 大阪城の陣, (2023) <https://www.youtube.com/watch?v=Z3yxGr3xWoo>
- [13] 水辺総研: 海床ロボットとLAKE&PEACE越谷レイクタウン, (2023) <https://www.youtube.com/watch?v=zW4lkaUeYes>
- [14] レイクアンドピース株式会社: 海床（Lake and Beach公式サイト内）, (2023) <https://event.lake-and-peace.com/20230722/umidoko>
- [15] 竹中工務店: 都市型自動運転船「海床（うみどこ）ロボット」による都市の水辺のイノベーションに関する実証実験を実施, (2023) <https://www.takenaka.co.jp/news/2023/12/04/>
- [16] CBC news: 川に浮かぶ「海床ロボット」で食事を取りながら川の移動を楽しめる 事前に位置情報を入力すると…目的地まで自動運転, (2024) <https://newsdig.tbs.co.jp/articles/cbc/952266>
- [16] 炎重工株式会社: 水辺の浮遊ゴミを自動航行で回収する「海ゴミ清掃ロボット」を展示, (2024) <https://www.hmrc.co.jp/wp-content/uploads/AP-2024146.6.pdf>

執筆者紹介

古澤 洋将（ふるさわ ようすけ）

岩手県滝沢村出身、1982年生。大型・大特・牽引自動車運転免許、1級小型船舶操縦士、1等無人航空機操縦士、危険物乙種全種取扱者、第3級アマチュア無線技士などの資格を保有。筑波大学大学院システム情報工学研究科を修了し、CYBERDYNE株式会社に入社。ロボットスーツHAL福祉用及び医療用の電装系設計に従事。各種認証取得、製品上市を経験する。東日本大震災を機に退職・帰郷し、炎重工株式会社を設立。

山本 克己（やまもと かつみ）

山口県長門市出身。上智大学 機械工学科を卒業。日立製作所に入社後、半導体事業部に配属となり、CODECやISDNの通信用IC及びHDDやBluetoothの専用ICのマーケティングと設計開発を行う。また、Li-ion電池用のICとして、PCやDVC向けのマイコン内蔵残量計や、携帯電話の保護ICの量産実績を持つ。2023年に、炎重工株式会社に入社。

松岡 知洋（まつおか ともひろ）

静岡県静岡市出身。弘前大学理学部数学科 及び 東北大学大学院情報科学研究科前期課程を修了、後期課程中退。大学では実解析学、大学院ではパレート分布（フラクタル分布）の統計解析の研究に従事。その後、組込系及び3 DCGのプログラマ、数理生物学の研究等に従事。2018年、炎重工株式会社に入社。

増田 蒼一郎（ますだ そういちろう）

静岡県静岡市出身、1999年生。岩手県立大学大学院に在学し、鈴木彰真研究室にて、ドローンの自律移動に関する研究を行っている。2022年からアルバイトとして炎重工株式会社に勤務。

清水 拓海（しみず たくみ）

茨城県水戸市出身、1999年生。岩手県立大学大学院に在学し、鈴木彰真研究室にて、ドローンの自律移動に関する研究を行っている。2022年からアルバイトとして炎重工株式会社に勤務。

進藤 魁人（しんどう かいと）

秋田県秋田市出身、2000年生。北海道大学大学院に在学し、ビークルロボティクス研究室にて、農業用ロボットの自律移動に関する研究を行っている。2020年からアルバイトとして炎重工株式会社に勤務。



会社概要

会社名：炎重工株式会社 (Homura Heavy Industries Corporation.)

代表取締役：古澤 洋将 (Yosuke FURUSAWA)

本社所在地：〒020-0633 岩手県滝沢市穴口 57-9

T E L : 019-618-3408

F A X : 019-618-3408

M a i l : info@hmrc.co.jp

W e b : <https://www.hmrc.co.jp/>

資本金：17,920 万円 (資本準備金を含む)

取引銀行：三菱 UFJ 銀行 本店

岩手銀行 滝沢支店

盛岡信用金庫 本店

設立：2016年2月25日

事業内容：(1) 製品の企画・開発・生産・販売・保守・賃貸・受託・
輸出入・コンサルティング業

(2) 労働者派遣事業法に基づく一般労働者派遣事業、
特定労働者派遣事業

(3) 書籍、記事等の執筆・出版・印刷業

(4) 上記に付帯し、または関連する一切の業務

沿革

- 2013年01月 屋外ロボットの開発開始
- 2016年02月 炎重工株式会社を設立
- 2017年01月 生体群制御付き水槽を発売
- 2017年03月 資本金を3,400万円に増資 (資本準備金を含む)
- 2017年07月 炎重工技報を創刊
- 2017年10月 船舶ロボットを公開
- 2018年07月 滝沢研究所を開設
- 2019年02月 資本金を4,900万円に増資 (資本準備金を含む)
- 2019年06月 経済産業省 J-Startup に認定
- 2021年11月 東京支店を開設
- 2022年04月 東京研究所を開設
- 2023年01月 資本金を17,920万円に増資 (資本準備金を含む)

表紙について

表紙は、2003年に米国NASAによって打ち上げられた Galaxy Evolution Explorer (GALEX) 宇宙望遠鏡が撮影したアンドロメダ銀河 (M31) の様子です。アンドロメダ銀河は、地球から約250万光年の距離に位置しており、肉眼でも見える銀河の一つです。紀元前2世紀頃に古代ギリシアの天文学者ヒッパルコスによって星のカタログ(星座)がまとめられ、その後2世紀頃に古代ローマの天文学者クラウディオス・プトレマイオスがアンドロメダ銀河をアンドロメダ座としてまとめました。私たちの太陽系は天の川銀河に属していますが、アンドロメダ銀河は天の川銀河に近づいている銀河の一つで、その速度は約122km/sです。ドップラー効果によって、天の川銀河から離れていく天体は赤方偏移しますが、アンドロメダ銀河は青方偏移していることが確認されています。

1961年にアメリカ人の天文学者フランク・ドレイクは、地球外文明の数を推定するために確率論を基にドレイクの方程式を提唱しました。この方程式によれば、天の川銀河には少なくとも1000個以上の文明が存在すると考えられています。さらに約40億年後に予想されている天の川銀河とアンドロメダ銀河の衝突によって、私たちはより多くの文明と接する機会が得られるかもしれません。

本号では、他の宇宙文明との出会いを期待して、表紙のデザインとしました。

炎重工技報

Homura Heavy Industries
Technical Review

Vol.6

2023

2024年10月20日 初版第1刷発行

発行人：古澤洋将

発行所：炎重工株式会社

〒020-0633 岩手県滝沢市穴口57-9

TEL:019-618-3408

FAX:019-618-3408

Mail:info@hmrc.co.jp

https://www.hmrc.co.jp/

デザイン：株式会社ホップス

印刷・製本：川嶋印刷株式会社

- ◆定価は表紙に表示してあります。
- ◆乱丁本・落丁本はお取り替えいたします。

©2024 Homura Heavy Industries Corporation.
Printed in Japan



定価： **5,000円** (税込)

炎重工株式会社
Homura Heavy Industries Corporation.
<https://www.hmrc.co.jp/>