

令和 2 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06958

研究課題名（和文）自律飛行型ドローンによる次世代波浪モニタリングシステムの構築

研究課題名（英文）Innovative wave monitoring system using autonomous drones

研究代表者

和田 良太（Ryota, Wada）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師

研究者番号：20724420

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：海上オペレーションの安全性・効率性向上を目的に「自律飛行型ドローンによる波浪モニタリングシステム」を提案する。そのシステム構築に向けて、主に以下2点の研究実績を上げた。1)自律制御による目標海域への飛行・着水・計測・離水・帰還の技術を開発し、またターゲットレンジである500mの海域において、上記のオペレーションの自律実証に成功した。2)海面追従性を向上させ、水面変位の計測精度を高めた。また実海域で問題となる漂流現象に着目し、海面過程の力学に基づく予測と機械学習にもとづく予測を融合させた新たな予測アルゴリズムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本周辺海域における海洋利用が期待されるが、不規則な波浪が海上作業の大きな妨げとなっており、その正確な把握や予測が期待されている。本研究で提案する自律型ドローンを用いた波浪モニタリングシステムは、従来の波浪観測手法を効率・経済性・即時性という観点で革新的に変えるという意義がある。本研究では、実海域で想定される様々な課題を想定した実証試験やアルゴリズムの改良に取り組み、一定の成果が得られた。またこうした波浪予測の実現は、海洋開発における安全性や効率向上に加えて、海洋における活動の自動化・ロボティクスの導入など新たな技術革新に繋がることが期待される。

研究成果の概要（英文）：We propose a "Wave monitoring system using an autonomous flight drone" for the purpose of improving the safety and efficiency of maritime operations. For the construction of the system, we have mainly made the following two research achievements. 1) We have developed the technology of autonomous flight, landing, and takeoff from at the ocean surface, and succeeded in the demonstration of the above operation. 2) The measurement accuracy of water surface displacement was improved. In addition, we focused on the drift phenomenon that is a problem in the actual sea area, and constructed a new prediction algorithm that combines prediction based on the dynamics of the sea surface process and prediction based on machine learning.

研究分野：海洋工学

キーワード：ドローン 波浪モニタリング 自律飛行 予測アルゴリズム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海洋における資源・エネルギー開発は、我が国そして世界の安定的な成長に必要な不可欠であるが、開発が容易な海域の資源は残り少なく、今後は大水深や氷海域などの未踏領域への進出が求められる。こうした海域において持続可能な海洋開発を実現するには、海上オペレーションの安全性・効率・経済性を向上させることが必須である。陸上鉱山などの開発現場では、昨今 IoT やロボティクスを活用した無人化・自動化が進んでいるが、海洋では波・風・流れという厳しい環境条件が非正常外力として作用し、人やモノの挙動が常に不確実性を伴う状況での作業が強いられるため、陸上のような技術革新が進んでいない。特に波浪の影響は大きく、低頻度ながら有義波高の2倍近い高さを持つ波が不規則に発生するため、突然の大きな動揺が海上作業員の危険、機器の損傷、また作業中断による稼働率の低下を生じさせる。こうした背景から、襲来する個別波を監視・予測するモニタリングシステムに対するニーズはとても高い。

波浪予測に関する研究事例としては、船に搭載された X-band レーダを用いたものがあるが、波浪観測精度に課題を有する。観測精度が相対的に高い波浪ブイは、海洋での定点係留設置それ自体が大規模な海上作業となる。また実海域の波浪は方向分布を持つため、その予測には複数の定点観測網が必要となる。現時点において海洋で容易に展開でき、波高を精度良く計測できる手法は存在しない。

我々は平成 27,28 年度挑戦的萌芽研究において「Drone を利用した次世代波浪予測法の構築」に取り組み、海洋（岸壁付近）におけるドローンの飛行・離着水や、水槽実験における波浪観測性能などの基礎的検討を行った。また「多点波浪計測データを用いた波浪予測アルゴリズム」を提案し、特許出願した。

基礎検討においてドローンによる波浪モニタリングの可能性が示唆された一方で、技術革新が著しいドローン技術をより積極的に活用したシステム構築が必要だと考えられる。特に海洋分野におけるドローンの活用は限定的であり、いずれも手動制御（遠隔操作）となっている。ドローンが海洋分野で広く活用されるためには、海洋の厳しい外部環境に適用した自律飛行（ロバストな位置把握・自律制御システム）技術の確立が必要不可欠だと考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は海上オペレーションの安全性・効率・経済性を向上させるための図1に示すような「自律飛行型ドローンによる波浪モニタリングシステム」の実現を通して、海上オペレーションに技術革新を起こすことを目的としている。

提案するシステムは自律飛行するドローンを海上に展開し、着水または飛行中に水面変位を観測するシステムである。そのシステム構築に向けて以下を明らかにすることが目的である。

- (1) 自律型飛行ドローンによる波面計測が実海域において実現可能か
- (2) ドローンを用いた海面着水型波浪観測システムによる観測データは有効活用可能か

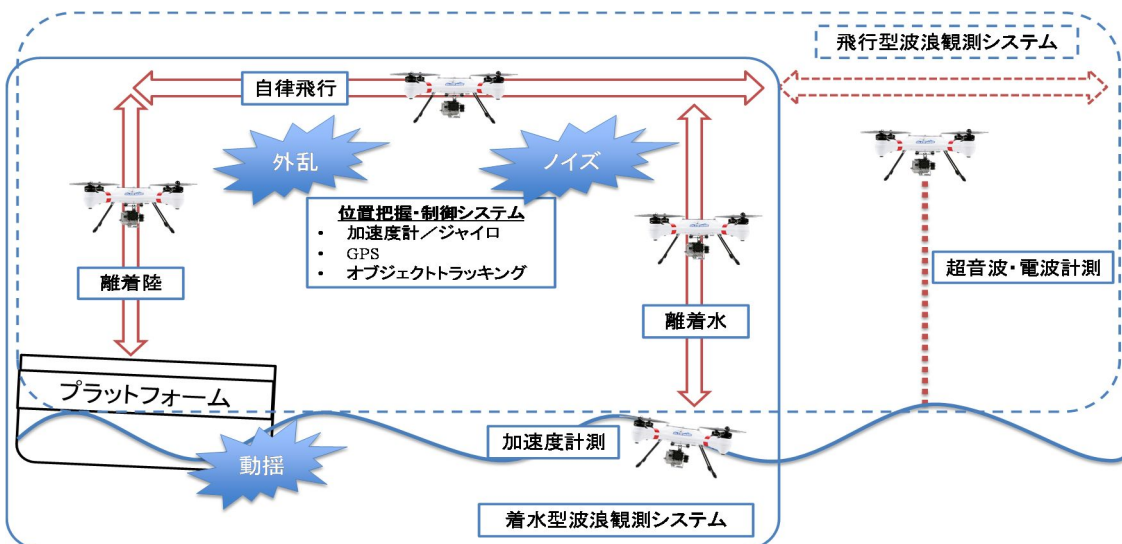


図1：本研究が目指す自律飛行型ドローンによる波浪モニタリングシステムの模式図

### 3. 研究の方法

本研究は海洋工学の分野に、自律飛行ドローンや深層学習などの異分野技術を取り込むことで大きく以下2点の研究方法に取り組む。

- (1) 実海域における自律飛行ドローンの実証試験

「自律飛行型ドローンによる波浪モニタリングシステム」では目的海域への自律飛行、着水、波浪観測、離水、帰還までの一連オペレーションを実海域にて実現する必要がある。特に海洋における自由表面が関連する技術（離着水、波面計測、通信性能、防水性能など）は従来のドローン技術とは異なるものであり、開発と実証通してその技術的成立性を明らかにする

必要がある。

本研究では、適切な防水ドローンを選定し、その制御システムを改良することを計画している。熊本県天草市において沿岸から 500m~1km 先の海域まで自律飛行して着水するオペレーション、また離水して帰還するオペレーションを実証する。

(2) ドローンによる波面計測と適合する波浪モニタリング手法の開発

ドローンの形状は飛行時に最適化されている。一方で波浪計測という観点では、着水時の海面追従性向上や風による漂流影響を低減させる必要がある。また海洋において様々な要因から生じてしまう不確実性についても定量化および低減する必要がある。

本研究では、実海域における実証試験から得られたデータ解析から、適切なフィルター導入などを検討した。また搭載される GPS などのセンサ情報を活用し、漂流などの外乱に対してロバストな波浪モニタリング手法を検討する。特にドローンの挙動把握の不確実性を低減するために、浮体動揺特性と海洋環境（海洋工学）、飛行制御（航空工学）、センサフュージョン（情報工学）などの分野融合アプローチにより新規性のある手法を構築する。



#### 4 . 研究成果



(1) 実海域における自律飛行ドローンの実証試験

自律型飛行ドローンの開発を実施した。既製品の防水ドローン（Splash Drone 社作成）を利用し、そこに自律飛行用のフライトコントローラ（Pixhawk2）を搭載した（図 2）。また自律飛行プログラムを開発し、また事前に陸域飛行試験において安全性を確認した。

2018 年 2 月 22 日に熊本県天草市において実海域での実証実験を実施した。倉岳沖および栖本沖にて、沖合最大 1 キロメートルに設定した複数の地点まで自律飛行した。また自律飛行時の GPS データ取得、離着水時の動画撮影、また海面着水した際の波高計測や採水も行った（図 3）。また飛行を目視するために漁船で並走し、漁船航行速度に合わせて飛行速度は 10kt とした。当日の天候は静穏であり、風や波も微弱であった。

本実験では、天草市の多大な協力もあり予定されていた全ての実験項目の実証に成功した。海洋ドローンの自律飛行、離着水について十分に実現可能であることが確認された（図 4、5）。またドローンに搭載される計測装置が大量生産により高品質、低コストとなっており、これら計測装置を活用したシステム構築が期待される。抽出された想定外の問題としては、コンパスと電池の磁気干渉、海表面における無線通信性能低下、着水判定の難しさが挙げられる。今後は異なる自然環境下での飛行試験、海上での計測データの処理および通信等を繰り返し、実用化を目指す。

 <p>Splash Drone      Pixhawk2</p>	 <p>Yatsushiro Amakusa Islands Tanoura Minamata YATUSHIRO SEA</p>
<p>図 2 : 防水ドローン ( Splash Drone 社作成 ) およびフライトコントローラ ( Pixhawk2 )</p>	<p>図 3 : 実験海域および飛行経路</p>

	
<p>図 4 : 着水時の様子</p>	<p>図 5 : 離水時の様子</p>

## (2) ドローンによる波面計測と適合する波浪モニタリング手法の開発

ドローンを模擬した水密容器を複数個作成し、東京大学海洋工学水槽での水槽実験や平塚沿岸、伊豆大島波浮港周辺において実海域試験を実施した。波浪計測性能について一定の精度が確認できた。一方で漂流性能については改善が困難であることがわかり、定点観測ではなく漂流を許容しながら、データ解析により必要な情報を取得するアルゴリズムの構築を検討した。具体的には海面過程の力学に基づく予測と機械学習にもとづく予測を融合させた新たな予測アルゴリズムを構築した。

これまでの基礎検討および実証試験などの結果から、提案するシステムの実現に向けて技術的にクリティカルな問題はないと考えられる。気象海象条件は多様であるため、海域における実証試験を重ねることで技術が確立されていくと予想される。本システムの実証試験の成功は、従来の波浪観測手法を効率・経済性・即時性という観点で革新的に変えるという意義がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takagi Ken, Hamamichi Sota, Wada Ryota, Sakurai Yuji	4. 巻 140
2. 論文標題 Prediction of wave time-history using multipoint measurements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 412 ~ 418
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.03.050">https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.03.050</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Tanaka, S., Hamamichi, S., Wada, R., Takagi, K., & Imamura, J.
2. 発表標題 Wave Motion Alert system by Multiple Drones
3. 学会等名 OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wada, R., Takagi, K., Sakurai, Y., Hamamichi, S., Raabe, C., Bergstrom, N., & Nakamura, H.
2. 発表標題 Wave On Demand ~Wave Prediction System Utilizing Marine Drones~
3. 学会等名 Proceedings of MTEC2017 26-28 Apr, 2017, Singapore（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 濱道創太、櫻井裕司、和田良太、高木健
2. 発表標題 簡易な波面変位計測による沿岸域での個別波の予測
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会春季講演会（東京）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	高木 健  (Takagi Ken)  (90183433)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授   (12601)	
研究 分担者	中村 裕子  (Nakamura Hiroko)  (40600698)	東京大学・総括プロジェクト機構・特任准教授   (12601)	