

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01641

研究課題名（和文）超浅海域で使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーの開発

研究課題名（英文）Development of Underwater Glider for Virtual Mooring that can be Used in Shallow Water

研究代表者

中村 昌彦（Nakamura, Masahiko）

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：40155859

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：環境変化の予測、環境保全に関する研究のためには、深い海域だけでなく沿岸の水深50m以浅の超浅海域の海洋データも必要である。従来の手法としては係留ブイや観測船による観測が考えられるが、多点観測に時間がかかりコストも非常に高い。そこで、観測海域に留まり（バーチャルモアリング）連続して海洋の鉛直データ時系列や流速分布を低コストで収集できる超浅海域で使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内外の他機関で開発中の水中グライダーやすでに製造販売されている外国製の水中グライダーはすべていわゆる航空機型であり、深い海域での使用を前提とした巡航タイプのグライダーである。本研究で開発した水中グライダーは浅海域で一定海域に留まるバーチャルモアリング用水中グライダーで世界に類を見ない水中グライダーである。従来、定点長期観測は繫留システムにより行われてきたが、水中グライダーを使用することにより観測コストを下げることができ、観測海域の変更も容易であるため、地球環境変化の予測、保全に関する研究に大きく寄与すると考えられる。

研究成果の概要（英文）： In recent years, predictions of environmental changes on Earth and studies of ecodevelopment have become increasingly important. Although oceanographic data in deep sea had attracted attention until now, these days, the importance of data in shallow water is increasing. Then, we aim at development of an underwater glider for virtual mooring that can be used in shallow water.

研究分野：海洋工学

キーワード：水中グライダー バーチャルモアリング 浅海域 運動制御 水槽試験 実海域試験 運動シミュレーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

地球環境の研究に必要な海洋の時間的・鉛直空間的観測データを低コストで取得するために、設定された海域に留まる（バーチャルモアリング）ように運動が制御される水中グライダーの研究開発を行い、2015年より実用機による実際の海洋観測を始めた。しかし、海洋物理研究者から、地球環境の研究には深い海域だけでなく沿岸部の水深50m以浅の超浅海域の観測データも必要であることが言及された。開発済の水中グライダーは100m以深の海域では威力を発揮するが、水深50m以浅の超浅海域では運用が困難であった。原因は、流れの急変や浮遊物との接触などによる外乱に対して針路を保持制御するのに時間を要し、海底や海面に到達してしまうためである。そこで、運動制御性能を向上することにより、超浅海域でも使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーの開発構想に至った。

2. 研究の目的

環境変化の予測・環境保全に関する研究のために、沿岸の水深50m以浅の超浅海域の時間的・鉛直空間的観測データを低コストで取得できる、バーチャルモアリング用水中グライダーを開発することが研究の目的である。

3. 研究の方法

開発コストを下げ、開発期間を短縮するため、運動制御研究用グライダー模型や実機の艇体は現有水中グライダーを改造して使用する（文献①）。超浅海域でバーチャルモアリング用水中グライダーを運用するため、下降・上昇滑空中に旋回によりグライダーの針路を制御して一定海域に留まるのではなく、下降滑空を始める前の海面浮上中にスラスターを駆動してまずグライダーを目標方位に向け、滑空中は目標方位を可動翼制御により維持するものとする。模型を使用して水槽に於いて運動制御性能を検討した後、最適である方法を実機に実装し、実海域試験により性能を検証する。また、ユーザーの立場から実際に海洋観測を行っている海洋物理が専門の研究者も開発に参加し、ユーザーフレンドリーのピークル開発を目指す。

4. 研究成果

(1) 浅海域で使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーのコンセプト

ピークルは機体内部に海洋観測機器を搭載し、図1に示すように、バーチャルモアリングを実施する海域の海面と海底を往復する。海面浮上時にはGPSにより自機の現在位置を確認し、潮流等の影響によりバーチャルモアリング海域から外れている場合には、まず海面上でスラスターにより船首方向をバーチャルモアリング海域に向ける。その後、下降・上昇滑空を繰り返して設定海域へと帰還する。海底から浮上する際は螺旋状の軌跡を描いて浮上し、できるだけバーチャルモアリング海域から離れないようにする。ピークルは定期的に海面海底間を往復しながら Conductivity Temperature Depth Profiler (CTD) による海洋計測を続けるが、計測を行わない間は海底に機体を着底させてスリープ状態にし、潮流等により機体が流されることを防ぐとともにバッテリーの消耗を防止する。また、着底中には Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) によりピークル上の潮流を計測する。

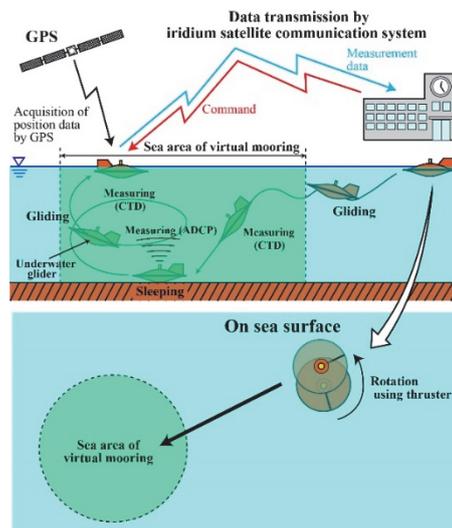


図1 バーチャルモアリング用水中グライダーのコンセプト

(2) 水中グライダー模型の概要とバーチャルモアリングを想定した水槽模型試験

海面上での船首方位制御や下降・上昇滑空などの基本的な運動性能検討のための水槽試験用水中グライダー模型の外観・構造を図2に示す。浅海域での使用に向けて滑空中の運動性能を格段に向上させる必要があるため、ラダー付き垂直尾翼が取り付けられている。また、水面浮上中に船首方位を制御するために、スラスターが垂直尾翼下方に取り付けられている。

図3にバーチャルモアリングを想定したピークルの模擬的な動きを示す。①では水面に浮上中のピークルをスラスターを用いてPID制御により90度回転させる。②では回転を終わったピークルを水深2mまで潜航（下降）させる。③ではピークルを水面まで浮上（上昇）させる。④では水面に浮上中のピークルをスラスターを用いてPID制御により180度回転させる。⑤では

回転を終わったビークルを水深 2 m まで潜航させる。⑥ではビークルを水面まで浮上させる。この一連の動作でビークルは元の位置に帰還する。なお、ビークルが下降・上昇中はラダーによる LQ 制御により船首方位（針路）を維持する。

試験結果を図 4 に示す。図は上から順にビークル潜航深度 Z 、横揺れ φ 、縦揺れ θ 、船首方位（針路） ψ 、重錘の前後位置 δ_{mx} 、浮力調整体積 δV 、ラダー角 δ 、スラスター推力 F_T の時系列で、青い実線が実験結果、赤い実線がシミュレーション結果を示している。また、図中の丸番号を付けた運動ステージは図 3 に示した各運動ステージに対応している。実験結果よりビークルが図 3 に示すバーチャルモアリングを想定した運動をうまく実行していることがわかる。また、シミュレーション結果はビークルの水槽試験による運動をほぼ再現している。

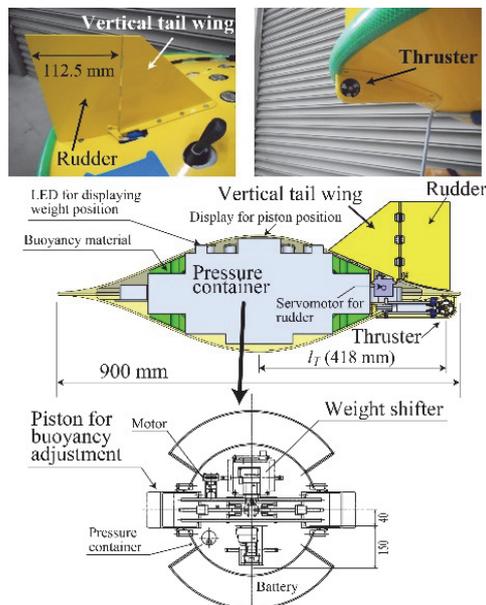


図 2 水槽試験用水中グライダー模型

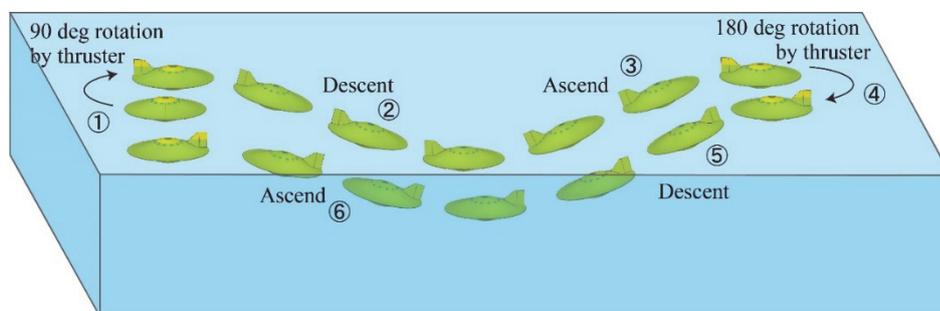


図 3 水槽模型試験の概要

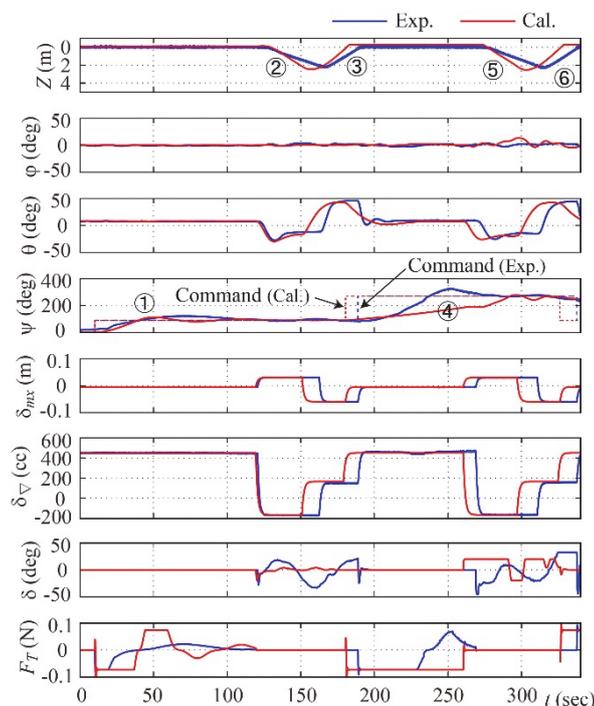


図 4 水槽試験結果

(3) 水中グライダー実機の概要と水槽試験結果

模型試験結果を反映して実機の改造が行われた。改造の概要を図 5 に、水槽試験結果を図 6 に示す。水槽水深の制限により模型試験のような総合的試験は行えなかったが、浮上中のビークルがスラスターを使用して PID 制御により 90 度回転し、その後、ラダーを使用した LQ 制御により回転後の方位をほぼ維持して下降滑空していることがわかる。

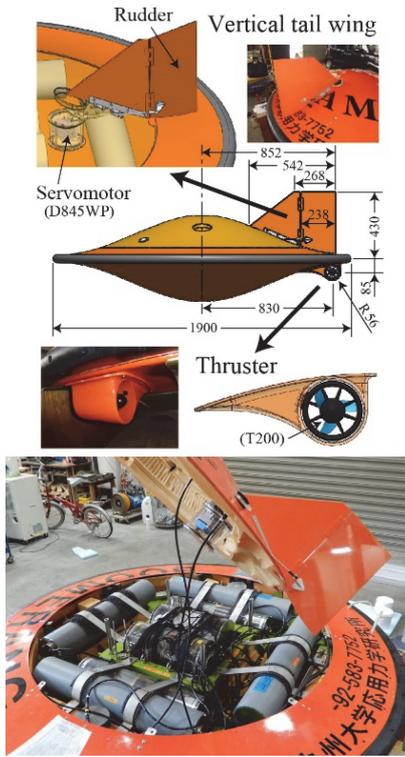


図5 水中グライダー実機

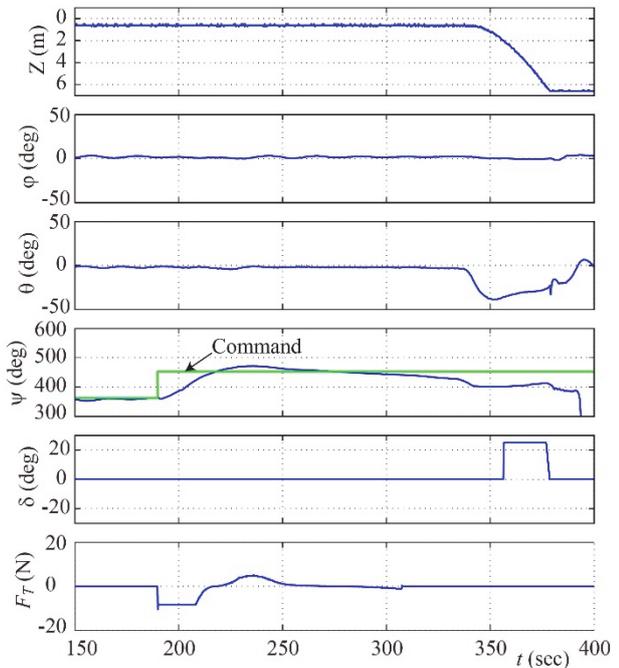


図6 水中グライダー実機の水槽試験結果

(4) 実海域試験結果

実海域試験が長崎新漁港沖（図7、水深：43 m）において、長崎大学長崎丸と共同で、2020年12月21日に実施された。海面で回転中のビークルを図8に、試験結果を図9に示す。ビークルが指令通り90度回転しなかった原因はビークルに取り付けた安全索の影響だけでなく、風向・流向等の外乱が影響していると考えられる。コントロールゲインを調整して再度実海域試験を行うことが望ましいが、コロナ感染症拡大防止のために再試験を実施することができなかった。



図7 試験海域（グーグルマップより）



図8 海面で回転中のビークル

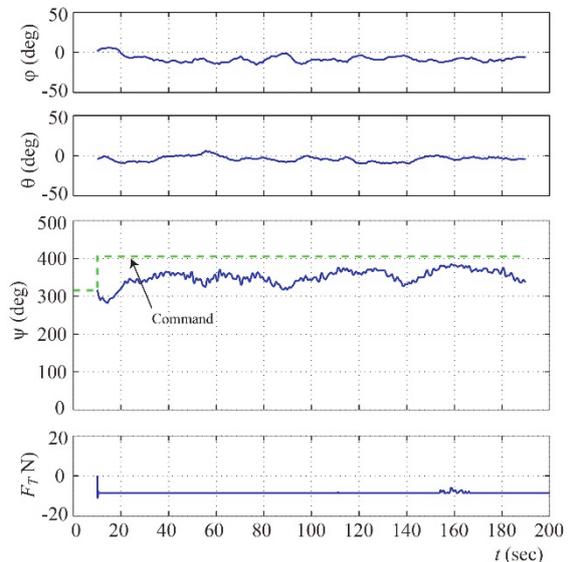
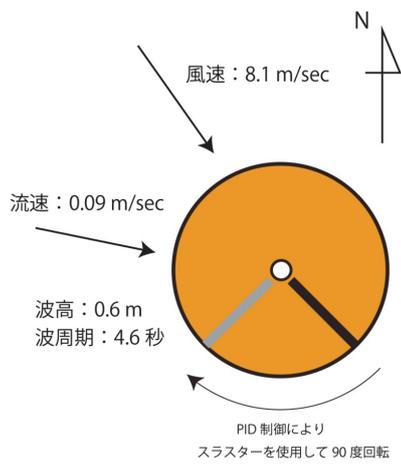


図9 実海域試験結果

<引用文献>

- ① 中村 昌彦、伊藤 譲、小寺山 亘、野田 穰士朗、森井 康宏、山脇 信博、清水 健一、松野 健、バーチャルモアリング用円盤型水中グライダーの開発 ―その4― 水中グライダーによる海洋観測―、日本船舶海洋工学会論文集、第 24 号、2016、241-249

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2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 中村 昌彦、野田 穰士朗、松本 拓也	4. 巻 31
2. 論文標題 浅海域で使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーの開発 - 模型と実機による水槽試験 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 427-433
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 中村 昌彦、松本 拓也、野田 穰士朗	4. 巻 29
2. 論文標題 浅海域で使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーの開発 - 模型試験 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 245-251
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 中村 昌彦、松本 拓也、野田 穰士朗	4. 巻 30
2. 論文標題 浅海域で使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーの開発 その1 運動制御性能確認のための水槽模型試験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 165-175
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2534/jjasnaoe.30.165	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 -
1. 著者名 M.Nakamura, J.Noda, H.Kajiwara and Y.Shinkai	4. 巻 Vol.2
2. 論文標題 Study of Influence of Vertical Tail Wing of Disk-Type Underwater Glider on Motion Control	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 28th Int. Offshore and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 417-424
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 中村 昌彦、鹿野 浩輝、新開 勇星、野田 穰士朗	4. 巻 -
2. 論文標題 円盤型水中グライダーに取り付けた垂直尾翼の効果について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会/日本海洋工学会 第27回海洋工学シンポジウム講演論文集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中村 昌彦、野田 穰士朗、松本 拓也
2. 発表標題 浅海域で使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーの開発 - 模型と実機による水槽試験 -
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 昌彦、松本 拓也、野田 穰士朗
2. 発表標題 浅海域で使用可能なバーチャルモアリング用水中グライダーの開発 - 模型試験 -
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M.Nakamura, J.Noda, H.Kajiwara and Y.Shinkai
2. 発表標題 Study of Influence of Vertical Tail Wing of Disk-Type Underwater Glider on Motion Control
3. 学会等名 The 28th Int. Offshore and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村 昌彦、鹿野 浩輝、新開 勇星、野田 穰士朗
2. 発表標題 円盤型水中グライダーに取り付けた垂直尾翼の効果について
3. 学会等名 第27回海洋工学シンポジウム
4. 発表年 2018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	磯辺 篤彦 (Isobe Atsuhiko) (00281189)	九州大学・応用力学研究所・教授 (17102)	
研究分担者	清水 健一 (Shimizu kenichi) (20533946)	長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・准教授 (17301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------