



度 (TAC : Total Allowable Catch) が国際的に取り入れられたため、これに代わるものとして音響機器による水産資源量の調査が注目されている。調査を実施するプラットフォームとしては、現在のところ調査船が用いられているが、調査船自身や波浪により発生する雑音や船体動揺の影響を排除し、精度良く調査を実施するためには、水産資源量調査に海中ロボットを用いることが有効であると考えられている。中でも、自律型の海中ロボットを使用することにより、従来は困難であった長時間の連続的な調査も可能となり、同時に、調査のためのコストの削減や作業に伴う危険を回避することも期待出来る。

## 2. 研究の目的

以上のような背景のもと、本研究では、水産資源量の音響機器による調査を効率よく実施し、また、同時に対象海域の海洋環境や魚群の行動等を観測することを目的とした自律型海中ロボットの開発に関する研究を実施した。

海洋工学分野ではこれまでも、ROV (Remotely Operated Vehicle) をはじめとして、自律型、曳航式等の様々な形式の海中ロボットの研究、開発が行われて来た。水産資源量の調査においても、自律型海中ロボットの利用が有効であることが提案され、これに搭載するための小型観測機器の開発研究や、小型海中ロボットの開発が行われているが、これまでの研究においては、海中ロボットの推進器として、従来型のプロペラやスラスタが採用されているため、音響観測機器を使用する際に問題となってくる雑音に対する対策が十分であるとはいえない。

調査対象となる魚類は音や振動に対して敏感であり、また、海中での計測には音響機器を使用するため、これを搭載する機体には高い静粛性が求められる。このため、本研究において海中ロボットの推進方法としては、スラスタを使用せず、高い静粛性が期待できる、グライダー型推進機構を採用することとした。グライダー型海中ロボットは機体外部にプロペラ等の可動部分を持たないため、その推進機構が比較的単純な構造となり、長時間連続調査においては機構の信頼性の面からも有利であると考えられる。

一方で、水産資源量調査のための自律型海中ロボットには、人工漁礁などの複雑な形状を有する障害物の回りを自在に行動し、水中に静止する等、高度な運動性能と、エネルギー消費が少ない推進機構の搭載による長時間連続調査能力が求められるが、グライダー型推進方式を採用することにより、高い静粛性が得られる半面、スラスタ用いた一般的な海中ロボットに比べると運動の自由度が制限されることが懸念される。

これらの観点より、以上の要求を満たすためのグライダー型海中ロボットの機体に求められる高い静粛性と運動性能を両立する水産資源量調査用自律型海中ロボットを開発し、その有効性を確認することを本研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 海中ロボットの基本仕様に関する調査と機体設計

水産資源量調査の実施において、自律型海中ロボットに要求される基本仕様を明確にするための調査を実施し、基本仕様の中でも特に重要な項目となる、推進機構とその制御系について検討した。

続いて、調査結果に基づき、水産資源量調査用グライダー型海中ロボットの設計と試作を実施した。

### (2) 浮力調節装置の開発

グライダー型推進機構を用いて効率良く航行するためには、その浮力調節装置の開発が重要となる。どのような原理に基づく浮力調節装置を採用するかにより、推進時の消費エネルギーが大きく変わってくると予想されるため、様々な観点からビークルの浮力調節方法について検討し、数種類の浮力調節装置を試作した。

### (3) 運動制御系の設計と開発

水産資源量調査に要求される運動性能を実現するために、開発された浮力調節装置を搭載する機体の運動制御システムを設計し、その実装を試みた。

### (4) 水槽試験

試作されたグライダー型海中ロボット用浮力調節装置と姿勢制御システムを実機スケールの模型に搭載し、機体の運動性能および運動制御システムの有効性を検討するための水槽試験を実施した。水槽試験で得られた運動データを、数学モデルを用いたシミュレーション計算結果と比較し、機体および浮力調節装置の数学モデルの精度と、これに基づいて設計された運動制御システムの有効性について確認した。

### (5) 実海域運用のシミュレーション

実験結果を基に、実海域を対象としてグライダー型海中ロボットによる水産資源量調査における問題点をシミュレーション計算により検討した。

### (6) 機体まわりの流れのシミュレーション

限られたエネルギーを用いて複雑な流れの中で運用される AUV (Autonomous Underwater Vehicle) にとって、ビークルの

機体形状が運動特性に与える影響を明らかにすることは重要であり、従来の水中ビークルの開発に関する研究においても様々な形状の機体についてその流体力学特性を調査するための実験や数値シミュレーション計算が実施されてきたが、観測機器等の付加物や機体に設けられた比較的小さな開口部の影響は、多くの場合、解析を簡単にするために省略される。

ここでは、グライダー型海中ロボットにおいて、機体形状の違いがビークルの滑空性能にどの程度の影響を与えるのかを明らかにするために、流体力試験と数値計算による調査を実施した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 機体の開発

基本仕様に関する調査結果に基づき、高い静粛性と自律運動制御能力、実海域での運用における取り扱いの容易さと汎用性を有するグライダー型海中ロボットの機体の設計を実施した。この結果、従来のグライダー型ビークルとは異なり、独立した4個の水中重量調節装置を有する全翼型の機体が計画され、実験用の機体が製作された。図1に製作された試作機の外観を示す。

各水中重量調節装置は、浮力調節用のシリンダーとその容積を変化させるためのリニアアクチュエーターで構成されている。これらのシリンダーの容積と浮心位置を個別にコントロールすることにより、機体の浮力、浮心位置が変更可能であり、グライディング姿勢がコントロールされる。図2に機体内部に配置された4本の浮力調節装置を示す。



図1 グライダー型海中ロボット

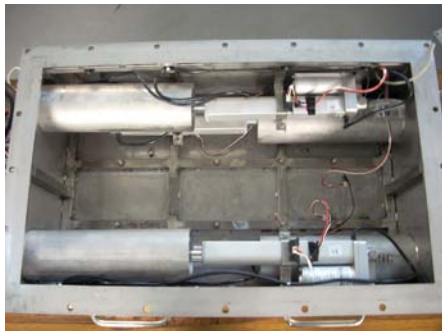


図2 浮力調節装置

##### (2) 制御系の設計

製作された機体を自律制御するための運動制御システムの開発を実施した。制御系の設計は主に数値シミュレーション計算結果に基づいて行われた。開発された全翼型の機体の縦揺れ運動は不安定性を有するが、機体の自律制御システムとして実装したLQIコントローラにより、潜降浮上を繰り返しながらグライディングする機体姿勢を安定に制御出来ることを確認した。また、水槽試験においても設計された制御系の有効性が確認された。

##### (3) 運動性能の検討

開発された機体の実海域における有効性を検討するために、水産資源量調査の対象海域を仮定し、潮流と海水密度分布をモデル化してシミュレーション計算における外乱として取り入れ、実海域運航時の外乱下における機体運動の安定性と運動性能について調査を行った。この結果、実海域におけるグライダー型海中ロボットの運動特性および航続距離が明らかにされた。図3に深度変更における潮流の影響の計算結果の一例を示す。

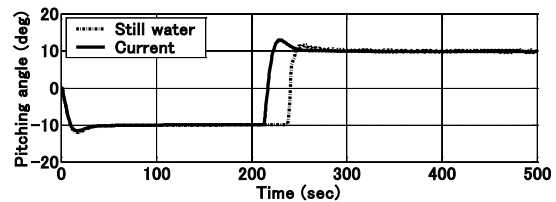
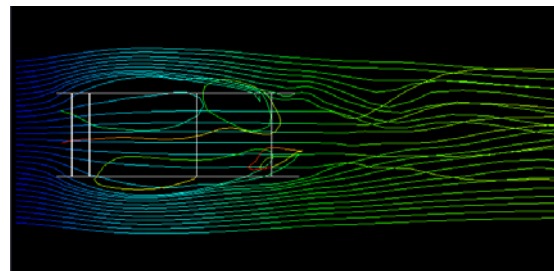


図3 潮流中深度変更シミュレーション結果

##### (4) 機体形状の改良

回流水槽における縮尺模型を用いた流体力試験の結果、試作機の機体に設けられている側面開口部の滑空性への影響は大きく、また、開口部を塞いだ場合にも性能の低下を招く翼端渦が発生していることが確認された。

数値計算によって機体まわりの流れを可視化し、機体側面形状の影響を検討した結果、滑空性能に悪影響を及ぼす機体の内部と背面への流れの流入が認められた。図4に機体まわりの流れの数値計算結果の一例を示す。



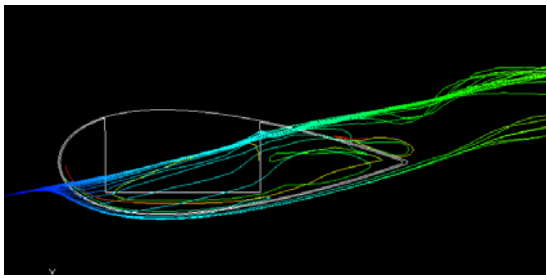


図4 機体まわりの流れの計算例

以上の検討結果より、滑空性能向上を目的とする付加物（翼端板）新たにを装着することにより、グライダー型水中ロボットの滑空性能が大きく向上することを確認した。翼端板の効果を確認するために実施した数値計算で用いた機体のモデルを図5に示す。また、機体側面開口部と翼端板がグライダー型海中ロボットの揚抗比に与える影響を図6に示す。

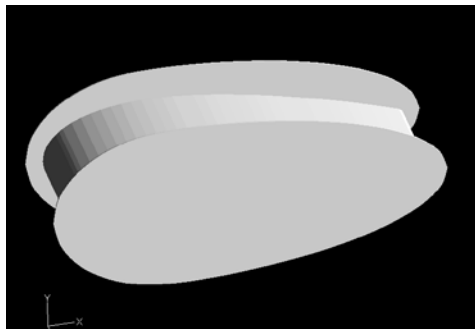


図5 翼端板モデル

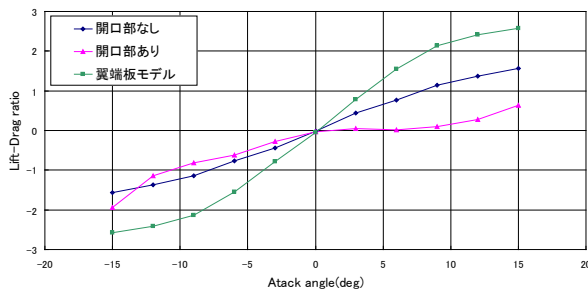


図6 グライダー型海中ロボットの揚抗比

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

① 水産資源量調査用グライダー型水中ビークルの滑空性能について  
日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読無、第12号 pp.127-130 (2011年5月)  
著者 川久保健太郎、木村亮太、川添健史、山口悟

② 水産資源量調査用グライダー型水中ビークルの機体開発について  
日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読無、

第9W号 pp.37-40 (2009年11月)  
著者 内藤誉、山口悟、須本祐史

### ③ Development of an Underwater Gliding Vehicle

Proceedings of the 3rd Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies and Advanced Maritime Engineering Conference 2008, 査読無, pp.633-638 (2008年10月)

著者 Takashi Naito, Satoru Yamaguchi, Yuki Kawashita and Yoshikazu Fuchigami

〔学会発表〕(計3件)

① 水産資源量調査用グライダー型水中ビークルの滑空性能について  
日本船舶海洋工学会講演会 (2011年5月19日、福岡市博多区)  
発表者 川久保健太郎

② 水産資源量調査用グライダー型水中ビークルの機体開発について  
日本船舶海洋工学会講演会 (2009年11月19日、熊本県荒尾市)  
発表者 内藤誉

### ③ Development of an Underwater Gliding Vehicle

The 3rd Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies and Advanced Maritime Engineering Conference 2008 (2008年10月22日、Chiba, Japan)  
発表者 Takashi Naito

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

山口 悟 (YAMAGUCHI SATORU)  
九州大学・工学研究院・准教授  
研究者番号：00253542

#### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

#### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：