

AUV の低速・低高度制御

Low-speed and Low-Altitude AUV Control



江口 和樹*¹
Kazuki Eguchi

彌城 祐亮*²
Yusuke Yashiro

安田 秀策*³
Shusaku Yasuda

栗屋 伊智郎*⁴
Ichiro Awaya

安達 丈泰*⁵
Takehiro Adachi

山内 由章*⁶
Yoshiaki Yamauchi

AUVとは自律航走をする無人潜水艇であり、海底資源探査や防衛用途として活用されており、AUV に対する世界的な需要は 2018 年から 2022 年の間に約 37%増加する予想されている。近年、より低速・低高度において AUV を自律航走させるニーズが増しており、その実現のためには潮流環境下での安定した制御技術が必要となる。

1. はじめに

当社は、これまでに“うらしま”“じんべい”“ゆめいるか”などの海底資源探査用 AUV を納入しており、その取組みは本技報でも紹介しているとおりである。これまで海底により近づいた低高度、かつ低速度帯域における詳細な探査をするオペレーションは、有人潜水艇 HOV や遠隔操作可能な ROV が担っていたが、付帯設備が大規模で操作に熟練を要することや自動化などの観点から AUV を低速・低高度で運用するニーズが高まっている。一方、低速・低高度で AUV を運用するには潮流に対するロバスト性、高度推定精度の向上などの課題がある。そこで本報では、AUV の低速・低高度運用を実現するための自律制御技術を提案し、その有効性をシミュレーションにより確認した結果について紹介する。

2. 対象とする AUV システム

本報では図1に示す構成の AUV を検討の対象とした。また、海底に接近し光学カメラ撮影やソナーで安定した観測データ取得を行うことを想定すると、海底起伏と AUV 姿勢角に起因するセンサーノイズの影響を補正することには限界があるため、姿勢角が変動しないように航走することが有効である。そこで、一定ピッチ角を保ったまま速度 1kt、高度 5m を保持して安定して航走するための制御系検討を研究課題とした。その主要構成は以下のとおりである。

- ・ アクチュエータ; 船尾 X 舵, 船尾スラストに加え, 船体中央にアジマススラストを有する。本アジマススラストと舵の両方を用いることで、ピッチ角を保持したまま高度/深度の制御が可能となる。アジマススラストは、前後推力に加えて低速航行時に単体で深度変化時の昇降角度も制御し、かつ垂直スラストと比べ流体抵抗を軽減できるという利点を有する。
- ・ センサ; INS (: Inertial Navigation System, 慣性航法装置) により姿勢角, 姿勢角速度を計測する。DVL (: Doppler Velocity Log, ドップラ式対地速度計) により、音波のドップラ効果を利用し対地・対水速度を計測する。加えて、複数本の音響ビームにより海底までの距離も計測

*1 ICTソリューション本部 CIS 部 主席チーム統括 工博

*2 ICTソリューション本部 CIS 部

*3 ICTソリューション本部 EPI 部

*4 ICTソリューション本部 CIS 部 ME 工博

*5 ICTソリューション本部 CIS 部 主席技師

*6 防衛・宇宙セグメント艦艇・特殊機械事業部 主席技師 工博

可能である。さらに、INSとDVLのセンサ値を用いAUV位置を推定する。

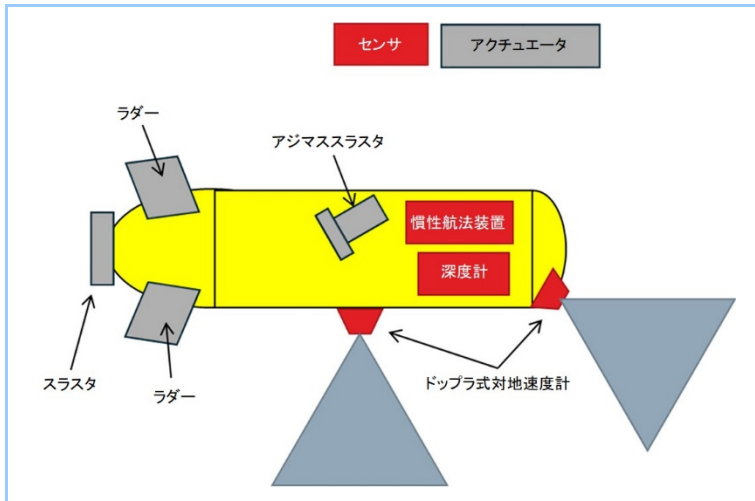


図1 検討対象 AUV イメージ図

3. 自律制御システム

低高度でAUVを運用するためには、特に前方を含めた海底地形を推定し、目標軌道の生成と高精度な高度推定、及び制御を行うことが重要である。これを考慮し検討した自律制御システムの機能構成図を図2に、制御系のブロック図を図3に示す。自律制御システムの主要な機能は以下のとおりである。

1. 海底地形・高度推定機能
2. 目標軌道生成機能
3. 潮流推定機能
4. アクチュエータ間協調運動制御

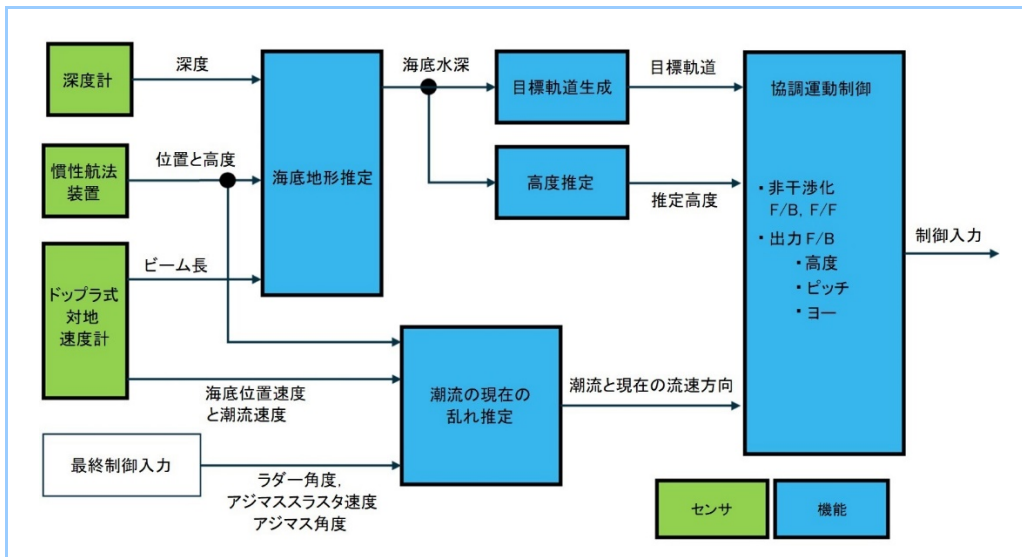


図2 自律制御システムの機能構成図

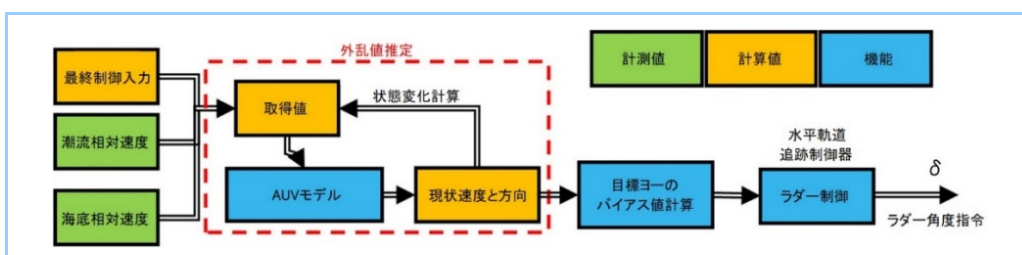


図3 潮流推定及び方位制御

3.1 海底地形・高度推定機能

低高度で AUV を運用するために、高度を精度よく推定することが重要である。本報の検討では、海底地形を推定(図2“海底地形推定”)することで高度を推定(図2“高度推定”)する。なお、図2における深度及び海底水深とは、海面から AUV または海底までの鉛直方向の距離を示している。具体的には DVL により計測される AUV と海底の複数地点間の距離を用いる。推定手順は以下のとおりである。

- ① DVL により計測された距離データ及び INS により計測された位置・姿勢データを取得
- ② 上記データをもとに海底地形の計測点の座標を算出し、海底地形をメッシュデータとして推定。メッシュデータはデータベースに登録するが、位置が重複するデータは最新データに上書きし、過去の推定データは順次削除する。また、計測点間は線形補間する。
- ③ 上記メッシュデータのデータベースと AUV 位置・姿勢データから高度を推定する

高度5m を航走する場合、上記の手法によりおおよそ AUV の前方 10m、左右5m の海底地形が推定できることとなる。

3.2 目標軌道生成機能

推定した海底地形を用いることで、目標高度を保持するための目標軌道が生成(図2“目標軌道生成”)できる。なお、ピッチングを抑制した安定した追従を行うために傾斜が急な海底地形の場合は、AUV の運動性能を考慮して軌道を予め修正する機能も付加した。

3.3 潮流推定機能

AUV の運用によっては予め設定された航路を保持することが重要となるが、低速で航走する場合、潮流の影響が相対的に大きくなり航路から逸脱してしまうことが課題である。このため、潮流の流速と方向を推定し、AUV の制御に用いることが考えられる。具体的には、AUV の方位制御目標値を推定した潮流の流速・方向で補正することを行う。潮流の推定にはオブザーバーを使用した。潮流推定とその推定結果を用いた制御系の構成図を図3に示す。

3.4 アクチュエータ間協調運動制御

図1に示すアクチュエータ構成により、ピッチ角を保持したまま潜入・浮上を行うような運動が可能となる。ただし、舵・アジマススラストの制御入力とピッチ角・深度/高度の間には強い干渉が存在する。そこで、この干渉を低減するために、非干渉制御を導入した。具体的には、舵でピッチ角、アジマススラストで深度(高度)を制御することとし、それぞれの制御入力に干渉項を相殺する制御入力を加えることで干渉を低減する。干渉項は AUV の時変線形モデルを用い推定した(図4 “非干渉 (F/F)”, “非干渉 (F/B)”)。

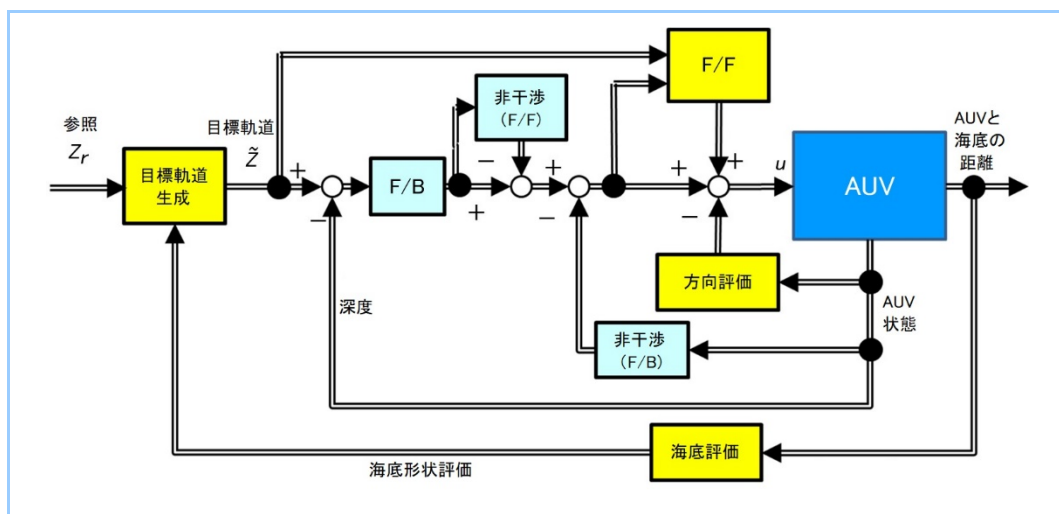


図4 自律制御系ブロック図

4. シミュレーション

実際の海底地形データを用いたシミュレーションを実施した。用いた海底地形の最大傾斜角は+11度である。また、機体後方からの海面潮流を3kt(AUV位置において0.5~0.1kt程度)とし、目標高度5m、速力1ktの運用を想定した。また、機体バランスを考慮し目標ピッチ角は5度とした。シミュレーション結果のうち海底地形及びAUV航跡図を図5に、深度・高度偏差・ピッチ角の航走距離に対する変化を図6に示す。図6に示すとおり、海底地形が平坦な部分では高度偏差約0.6m、海底傾斜角が急な部分でも高度偏差0.68mで制御できていることを確認した。また、ピッチ角は目標とする5度に保持できていることを確認した。

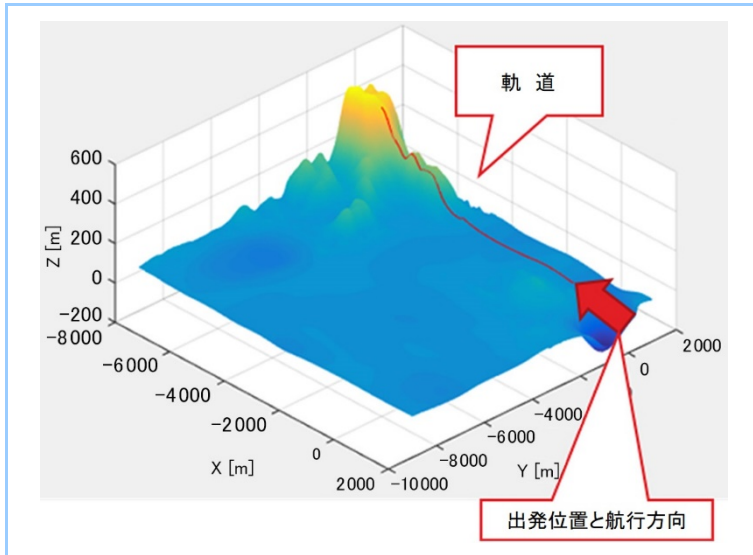


図5 海底地形及びAUV航跡

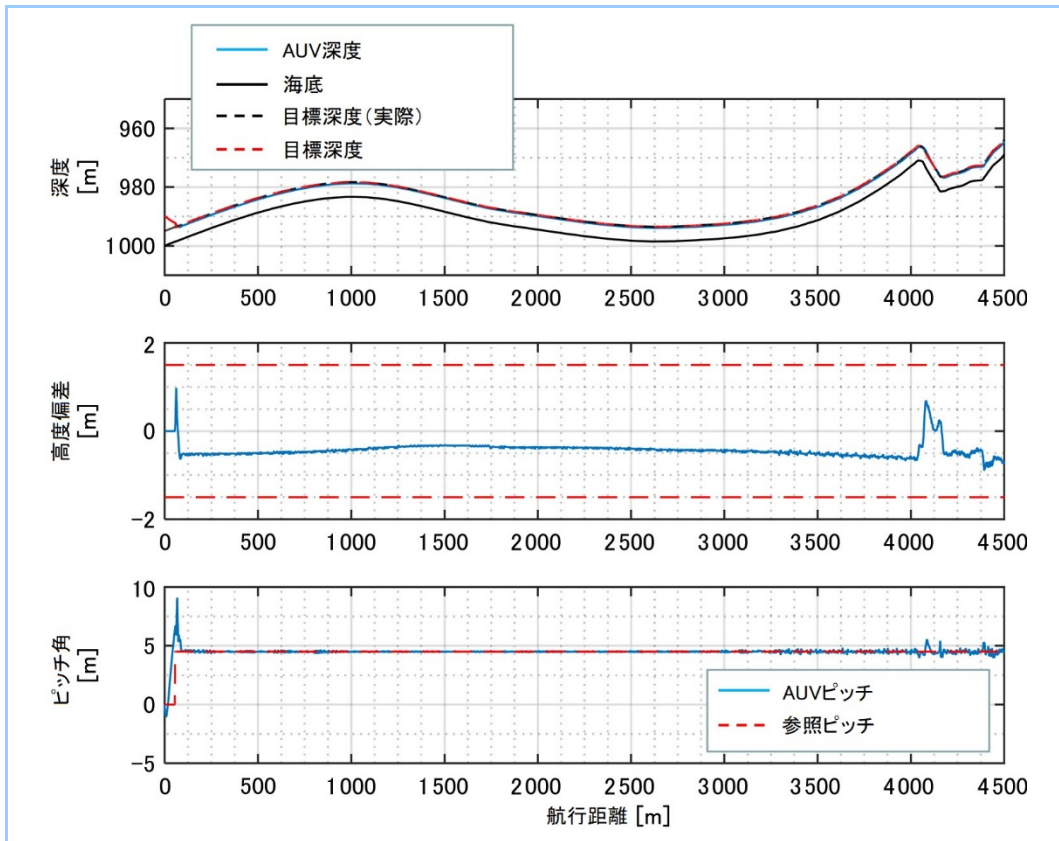


図6 制御結果(上:深度・海底地形・目標軌道, 中:高度偏差, ピッチ角)

5. まとめ

本報では、AUV の低速・低高度運用を実現するための自律制御技術に対する研究成果を紹介した。AUV 市場の拡大に伴い、ユーザが求める機能も高度化することが予想される。今後もユーザのニーズに応える AUV 技術の獲得に努めていく所存である。

参考文献

- (1) 脇田ほか, 海洋資源の調査に貢献する自律型深海巡航探査機(AUV)への取組み, 三菱重工技報, Vol.47 No.3 (2010) p.37~44
- (2) K. Eguchi, et al., Low-speed and Low-Altitude AUV Control, AUV2020