

事業の実施状況

1 実施経過

① AUVのロバストな運動制御に関する研究

2020年 4-8月 ロバストな位置制御手法の確立（シミュレーション評価）

6-9月 ロバストな力制御手法の確立（シミュレーション評価）

② AUVの自己位置推定

2020年 4-9月 可変ゲイン型カルマンフィルタ設計法（シミュレーション評価）

2 実施内容

① AUVのロバストな運動制御に関する研究

本年度はCOVID-19の影響で、実験装置などの組み上げについては事前準備の段階から進んでおらず、シミュレーションを中心としたアルゴリズムの構築を行っている。水中ドローンであるAUVを仮定した研究課題ではあるが、空中ドローンも想定し位置制御手法ならびに力制御手法の構築とシミュレーションによる検証を行った。まずは、図1に示すように、ねじ締ドライバーの回転力制御によるドローンへの干渉を考慮したドローンの姿勢制御に関する検証を行った。AUVと比較すると、空中ドローンでは干渉力の影響は大きく、空中ドローンにおける干渉力抑圧型の姿勢制御はAUVへもそのまま適用できると考えている。

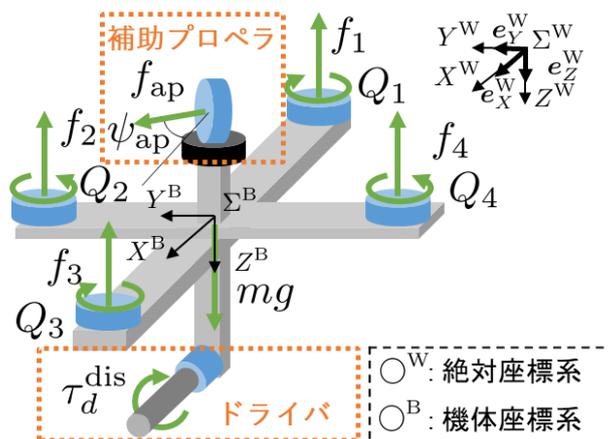


図1：ねじ締ドライバー付きドローンのモデル

ここでは、詳細な式の展開を示すことを避けるが、図2に示すようにドローンに設置されたねじ締ドライバーにより、ねじ締作業を行った際にドローンが受ける反作用力をねじ締ドライバーの制御系に含まれる外乱オブザーバにより推定を行い、その外乱推定値をドローンの姿勢制御へフィードバックする手法となっている。外乱オブザーバによる推定の

ブロック線図は図3になる。また、推定外乱を想定した姿勢制御の構成は図4となる。この外力による外乱の影響を考慮した姿勢制御はAUVにおいても重要であり、補償構造自体は転用可能であると考えている。

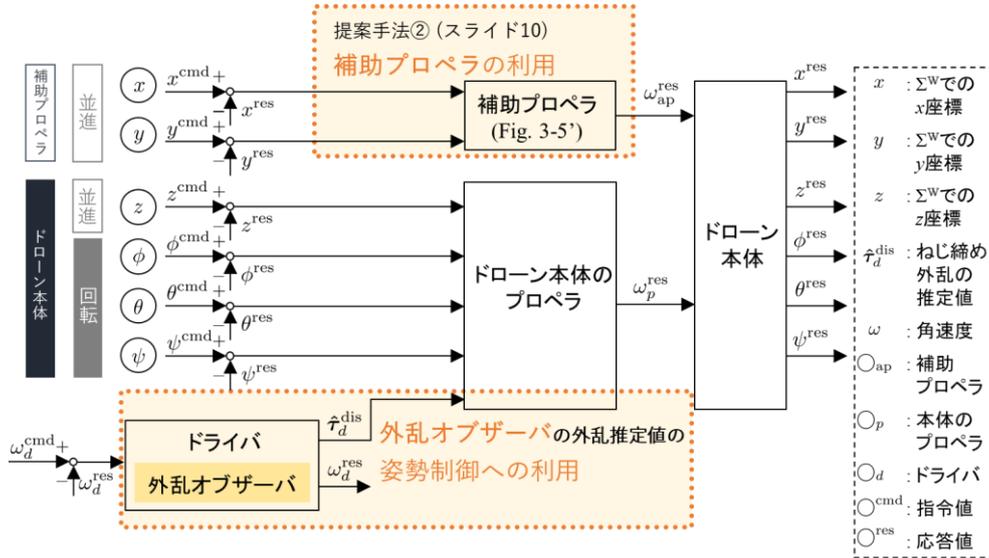


図2：制御系全体の構成図

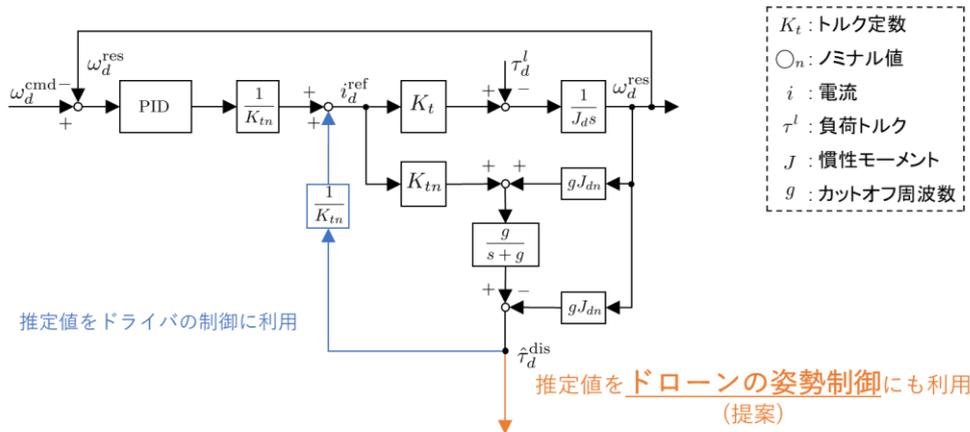


図3：ドライバの外カトルク（ねじ締めトルク）の推定

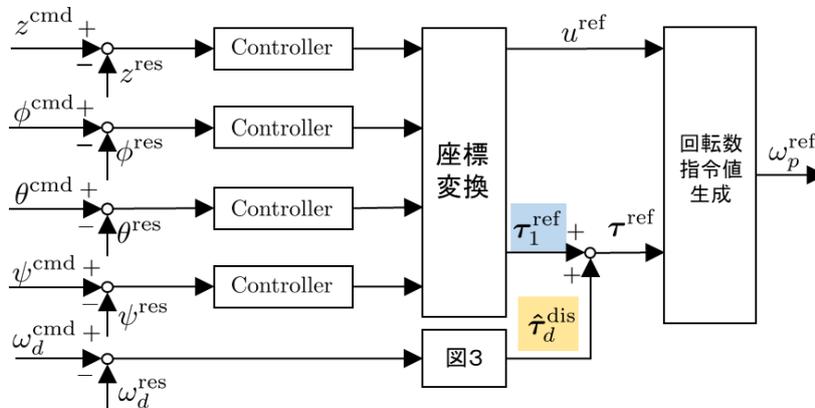


図4：姿勢制御コントローラ

図2～4に示すねじ締操作による反力の外乱補償の制御系の有効性を確認するため、シミュレーションによる検証を行った。シミュレーションでは図5に示すようにねじ締作業時にねじ締ドライバが図5左図に示す反力を受けるものとして姿勢制御を行った。

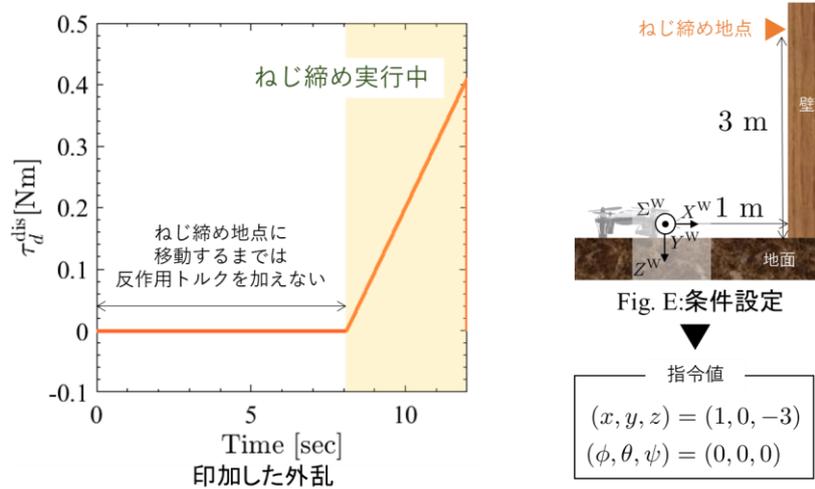


図5：ねじ締作業時の反力設定

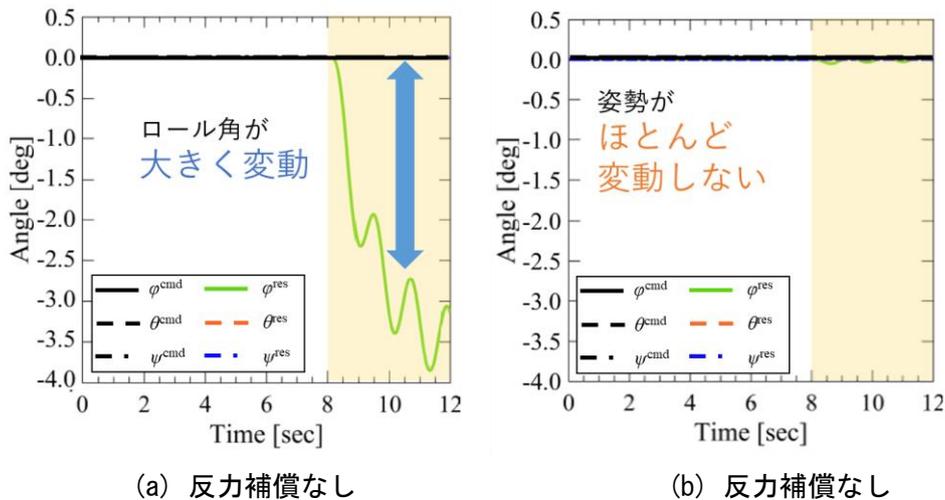


図6：空中ドローンによるシミュレーション結果

図6のシミュレーション結果に示すように、反力情報に基づいた姿勢制御を行うことで、姿勢変動が抑えられていることが分かる。

上記では空中ドローンを仮定した外乱作用時の姿勢制御の一手法についてシミュレーションベースで行った結果を示した。コロナ禍のため実験装置の改善は行えておらず、基本的に関連技術、制御アルゴリズムの開発を進めている状況であるが、水中ドローンであるAUVによる予備実験結果が得られているので示しておく、これは準備段階で行った過年度に行った実験結果であるが、本研究課題での申請書にも記載した予備実験装置による結果でもあり、関連するものとして以下に示す。制御系の構成としては図7になる。提案手法では、 x および y 方向の外乱の影響を抑圧するため、両方向の制御出力に関して、バックステップ制御手法に基づいて ϕ 方向の制御へ反映させ、間接的に外乱による位置誤差への影響を低減する手法としている。この考え方は先に示した空中ドローンでの姿勢変動制御と

等価なものである。さらに、カルマンフィルタによる外乱推定を行い、姿勢角制御への外乱の影響を補償している。図7の制御系に基づいて行った実験結果を図8に示す。実験結果より提案手法により、等価的に姿勢変動を抑圧することで位置誤差が低減していることが分かる。

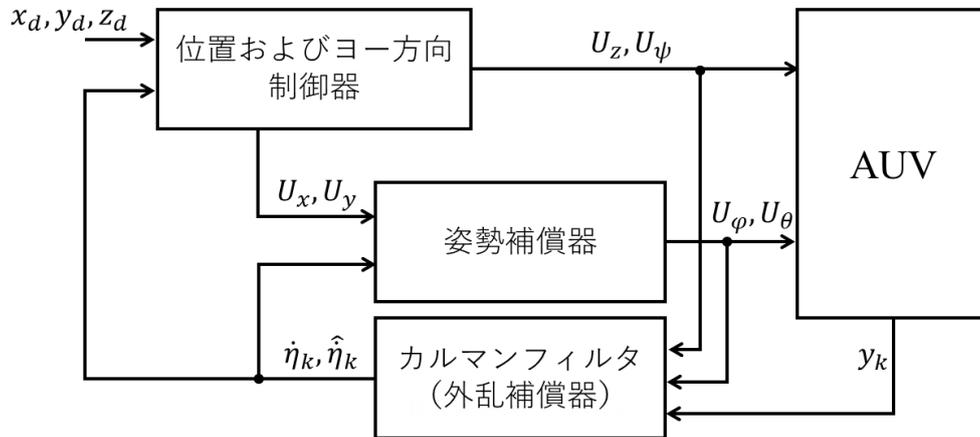
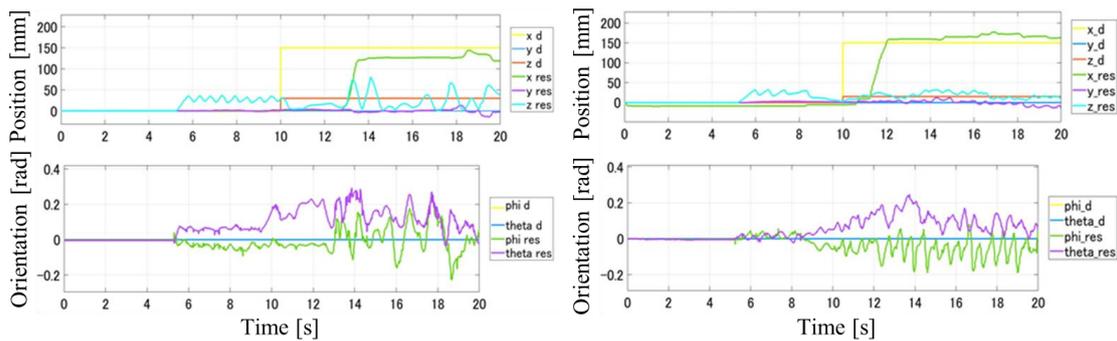


図7：AUVの外乱補償型位置・姿勢制御 (U_i はAUVへの制御入力)



(a) 従来手法

(b) 提案手法

図8：AUVの位置制御および姿勢制御

② AUVの自己位置推定

AUVの自己位置推定に関しては、アルゴリズムとしては準備期間中に開発したものを継続している。図9にIMU (Inertial Measurement Unit) センサを用いたカルマンフィルタの構成図、また図10に画像情報とIMUセンサ情報の融合のためのカルマンフィルタゲインの調整フローを示す。アルゴリズムの検証ではベンチマーク用のテストデータとして提供されているEuroc MAV datasetを用いている。このデータセットでは、ヘリコプタロボットの中空動作におけるステレオカメラによる画像情報、IMUセンサによる加速度情報、モーションキャプチャによる絶対位置情報（位置の真値情報として利用）が含まれており、図10に示す、画像データとIMUセンサデータを利用したカルマンフィルタの可変ゲインアルゴリズムにより自己位置推定を行う検証データとしては適切なデータとして利用する。本中間

報告書では、より複雑な軌道データに対する評価結果を示す。図 1 1 に従来手法（カルマンフィルタ固定ゲイン）と提案手法（カルマンフィルタ可変ゲイン）による検証結果を示す。従来手法では推定値と真値との誤差のRSME（Root Mean Squared Error）が0.567m、提案手法では0.401mとなり、提案手法により誤差が低減できていることが分かる。これらのアルゴリズムの構築についてはほぼ完了しているが、実機での検証については徐々に進めることを予定している。実機での検証が困難である場合には、シミュレーションでの検証評価を追加することを計画している。

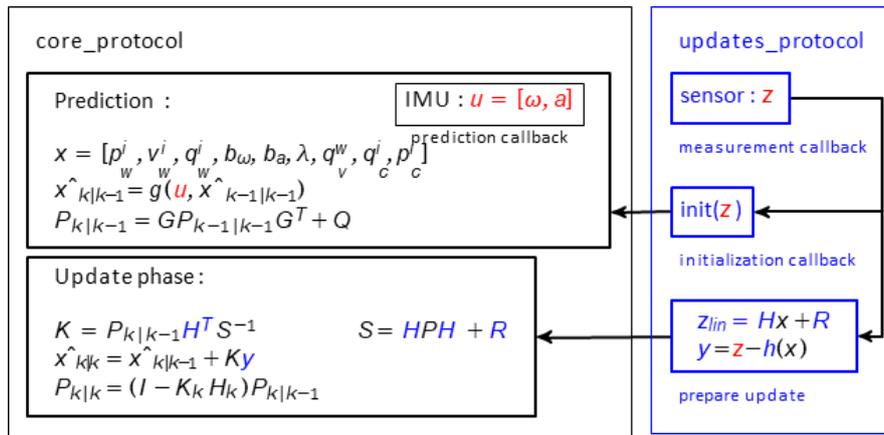


図 9 : IMUに基づいたカルマンフィルタ構成

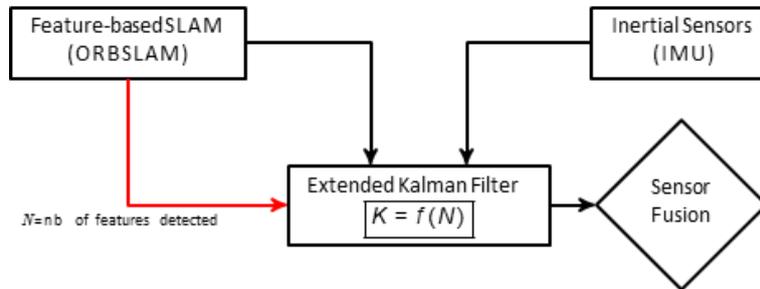


図 1 0 : カルマンフィルタにおけるセンサフュージョンのためのゲイン調整フロー

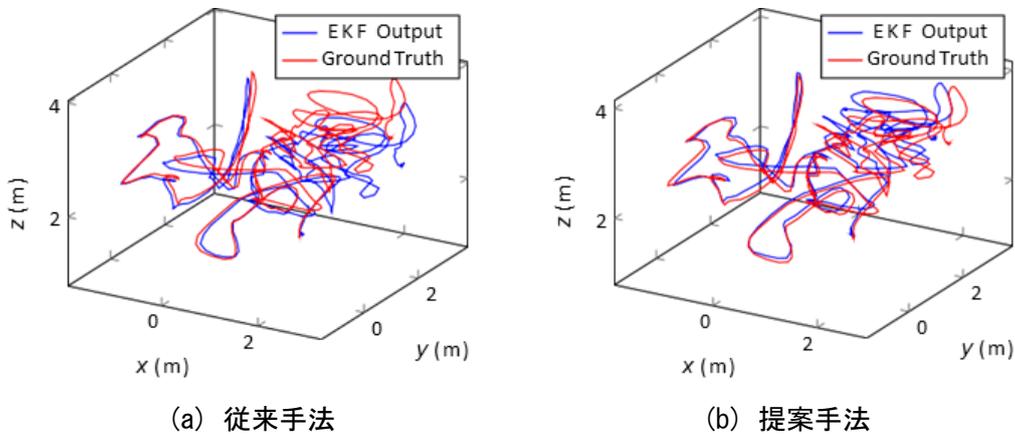


図 1 1 : Euroc MAV datasetを用いた従来手法と提案手法の比較検証結果

(論文発表)

1. T. Ohhira, A. Kawamura, A. Shimada, T. Murakami, "An Underwater Quadrotor Control with Wave-disturbance Compensation by a UKF", IFAC 2020 World Congress, Germany, July 11-17, 2020. (JKA謝辞あり：AUVに関する論文)
2. A. Hiraoka, T. Murakami, "A Standing-up Assist Control Method Considering Movement Speed", IECON2020, Singapore, October 18-21, 2020. (JKA謝辞あり：AUVの姿勢安定化関連技術として安定性解析に関する論文発表予定)
3. K. Ominato, T. Murakami, "A Stabilization Control in Two-Wheeled Walker with Passive Mechanism for Walking Support", IECON2020, Singapore, October 18-21, 2020. (JKA謝辞あり：AUVの姿勢安定化関連技術として安定性解析に関する論文発表予定)

3 事業の実施状況表

| 事業項目 (段階) | 期・月別 | | 上半期 | | | | | | 下半期 | | | | | |
|---------------------|--------|---|--------|---|---|---|--------|----|-----|---|--------|--------|--|--|
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | | |
| ① AUVのロバストな運動制御 | | | | | | | | | | | | | | |
| ・ ロバストな位置制御手法の確立 | —————▶ | | | | | | | | | | | | | |
| ・ ロバストな力制御手法の確立 | | | —————▶ | | | | | | | | | | | |
| ・ シミュレーション評価 | —————▶ | | | | | | | | | | | | | |
| ・ 実験装置の構築 | | | | | | | —————▶ | | | | | | | |
| ・ 実験による検証 | | | | | | | | | | | —————▶ | | | |
| ② AUVの自己位置推定 | | | | | | | | | | | | | | |
| ・ 可変ゲイン型カルマンフィルタ設計法 | —————▶ | | | | | | | | | | | | | |
| ・ シミュレーション評価 | —————▶ | | | | | | | | | | | | | |
| ・ 実験システム構築 | | | | | | | —————▶ | | | | | | | |
| ・ 実験による検証 | | | | | | | | | | | —————▶ | | | |
| ③ 総括 | | | | | | | | | | | | —————▶ | | |