

プログラム名： タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名： 田所諭

プロジェクト名： ロボットコンポーネント

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 9 年 度

研究開発課題名：

生物の柔軟構造を規範とした超ロバスト回転翼

研究開発機関名：

千葉大学

研究開発責任者

劉 浩

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

飛行ロボットにおいてPMが掲げる達成目標の一つに「構造物近くでの気流の変化や急激に変化する突風等の外乱に対するロバスト性」がある。飛行型ロボットプラットフォームMS-06A（以下、飛行ロボットと呼ぶ）が詳細な探索を行うために、低高度や壁面近くの屋外、あるいは狭い屋内など、障害物に近接して飛行する状況を想定する。このとき、飛行ロボットは以下の環境外乱（物体との衝突や、気流の乱れ、突風など）に対してロバストでなければならない。環境外乱に対して飛行ロボットは回転翼によって反応する。現在使用されている翼構造は一般的なCFRP（炭素繊維強化プラスチック）製のスムーズな形状の剛体翼であり、これが上記の外乱に対しての弱点となっている。また、災害現場での情報収集や、近年検討されている配達等への応用では、市街地を飛行するため、回転翼からの騒音を抑制することは、非常に重要である。

本研究では、環境外乱に対する回転翼の脆弱性と、回転翼の騒音性を改善し、ロバスト性を有するタフな飛行ロボットを実現するために、微細構造・柔軟回転翼の研究開発を目的とする。前年度までの進捗状況を踏まえ、本年度は低騒音型翼の開発を主として、以下の課題を設定した。

課題 1. 低騒音型翼の作製方法の確立と、形状・構造最適化

ミニサーベイヤ（自律研）用のプロペラをベースとして、これに様々な形状の構造を付与し、その空力性能と騒音特性の評価を繰り返すことで、空力・騒音特性の観点から見たプロペラ形状の最適化を図る。開発した翼は、早稲田大・東京工業大・熊本大Gによる音源探査機体に統合し、その性能の実証試験を行う。

課題 2. 低騒音型翼の低騒音化原理・適用範囲の解明

低騒音化原理の解明や、適用範囲の同定を目指して、低騒音型プロペラの低騒音型翼の空力的性能より詳細な解析を行う。解析には、6分力計と風洞や、数値計算を用いる。

課題 3. 柔軟回転翼の理論的検証と実験的評価

翼や機体への柔軟性の導入によって、ロバスト性の向上を図る。主に、シミュレーションによって得られた柔軟回転翼を実際に作製し、風洞実験によって、そのロバスト性を評価する。また、柔軟回転翼の開発によって得られた知見を応用し、理論的解析・数値解析・風洞実験を繰り返すことで、回転翼へ柔軟性を導入し、回転翼の空力性能と騒音抑制特性の向上及び飛行ロボットの更なるロバスト性の向上を図る。

課題 4. フィールド評価

フィールドでの騒音特性、統合機体での音源探査機能、ロバスト性を評価することで、開発した高性能型翼の性能を実証する。評価結果はシミュレーションにフィードバックする予定である。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

当該年度は低騒音型翼の開発にて、特に大きな進展が得られた。上記の設定課題に対し、当該年度においては、以下のように進捗が得られた。

課題 1. 低騒音型翼の作製方法の確立と、形状・構造最適化

ミニサーベイヤ（自律研）用のプロペラの後縁部において、適切な形状・配置の構造を付与することにより、空力性能の低減を抑制しつつ、実機に搭載したホバリング時において、4.2dBの騒音抑制を実

現した。また、作製段階において、プロペラバランスの調整を数段階で行うことで、製作誤差を極力取り除いた。

ファントム(DJI)用プロペラを用いて、前縁部におけるセレーション構造の配置(向き)のパラメトリックスタディによる最適化により、飛行性能を維持しつつ、騒音抑制を実現した。

課題 2. 低騒音型翼の低騒音化原理・適用範囲の解明

サイズの異なるファントム用(DJI)、ミニサーベイヤ用(自律研)のプロペラにおいて、どちらもプロペラの後縁部における板形状の構造の適切なサイズ・形状・配置を伴った付与により、翼面積の増加・揚力の増加を実現し、ホバリング時の回転数(回転速度)を減少させることで、飛行効率の減少を抑制しつつ騒音抑制を実現できることを明らかとした。また、もともとなるプロペラサイズ・形状により、付与する構造のサイズ、3次元形状、配置の最適解があることを明らかとした。

課題 3. 柔軟回転翼の理論的検証と実験的評価

前年度に行ったジンバル機構をモータ底部に配置した機構を伴うドローンの実験結果をもとに、柔軟性によるロバスト性の向上を実現する新たなドローンのデザインの検討・導出を行った。また、実際の環境外乱などを想定して、変動流を実現した風洞での実験セットアップを構築し、多方向からの変動流中(正弦波)における柔軟プロペラの応答を確認した。

課題 4. フィールド評価

開発した低騒音型翼は形状の変化、揚力・抗力の増加が伴うため、実機に搭載する際は飛行パラメータ(始動回転数、ホバリング回転数、位置・姿勢制御関数)の同定が必要となる。自律研の協力のもと、低騒音型翼をミニサーベイヤ機体を実装し、ホバリング飛行を実現した。また、現在自律研の協力のもと、新たな統合機体 PF-1(自律研)にてシステム同定を行っている。システム同定が終わり次第、早稲田大・東京工業大・熊本大Gによる音源探査との統合を図り、フィールドでのテストを開始する。

2-2 成果

(1) 性能評価実験、数値シミュレーション、ドローン実機を用いた評価実験を通して、低騒音型プロペラを新たに開発した。

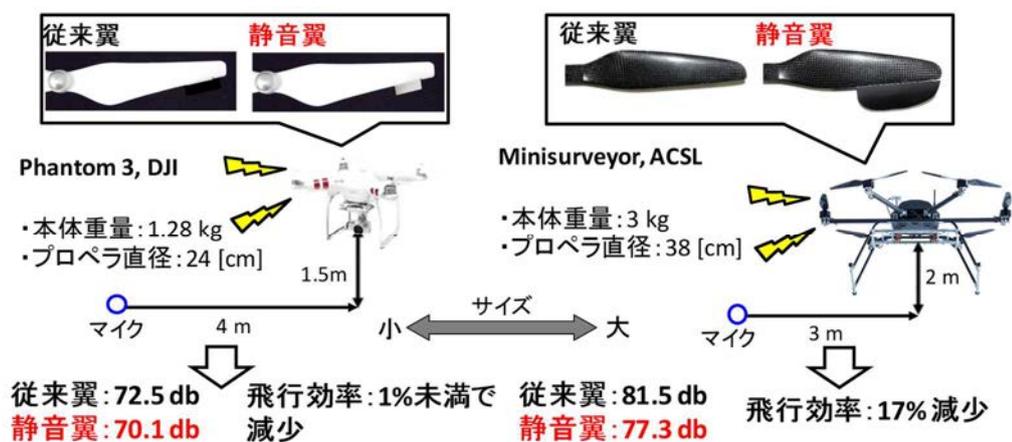


図 Phantom 用プロペラ, ミニサーベイヤ用プロペラでの低騒音型翼.

(2) 性能評価実験, 数値シミュレーションを通して後縁に板形状の構造を付与した低騒音型プロペラの最適化, 空力騒音メカニズムの解明を行った.

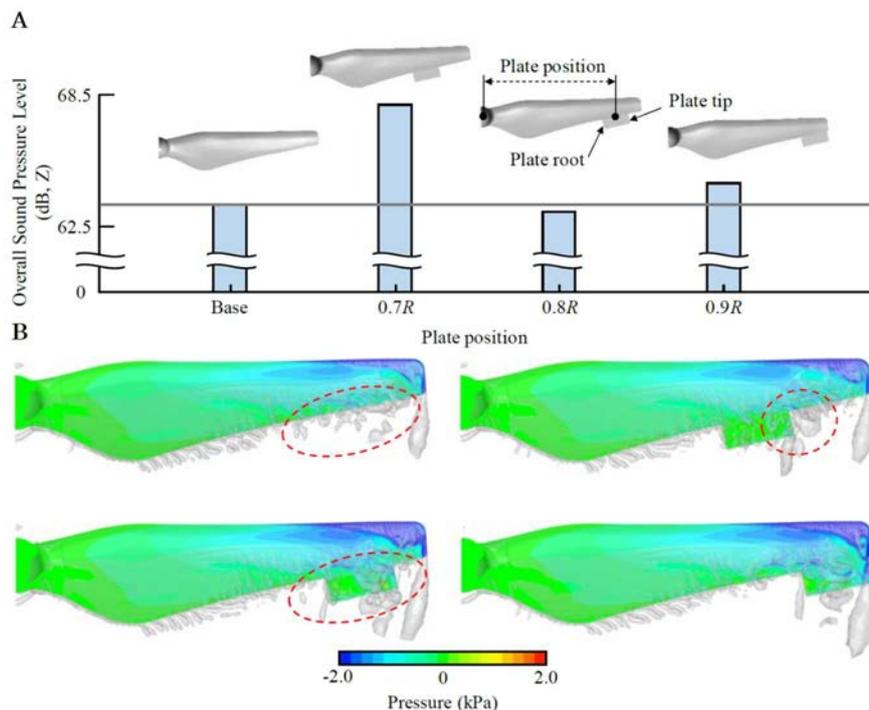


図 ファントム用プロペラでの配置の最適化. (A)各モデルにおける騒音レベル. ファントム翼の場合, 0.8Rの取り付け位置で騒音レベルが最も減少していることがわかる. (B)乱流モデルを用いた数値解析可視化結果. 騒音レベルが最も高い0.7Rの取り付け位置では, 板の翼端から放出される渦とプロペラ後縁から放出される渦の干渉が確認できる.

(3) 性能評価実験, 数値シミュレーションを通してセレーション構造の最適化を行った.

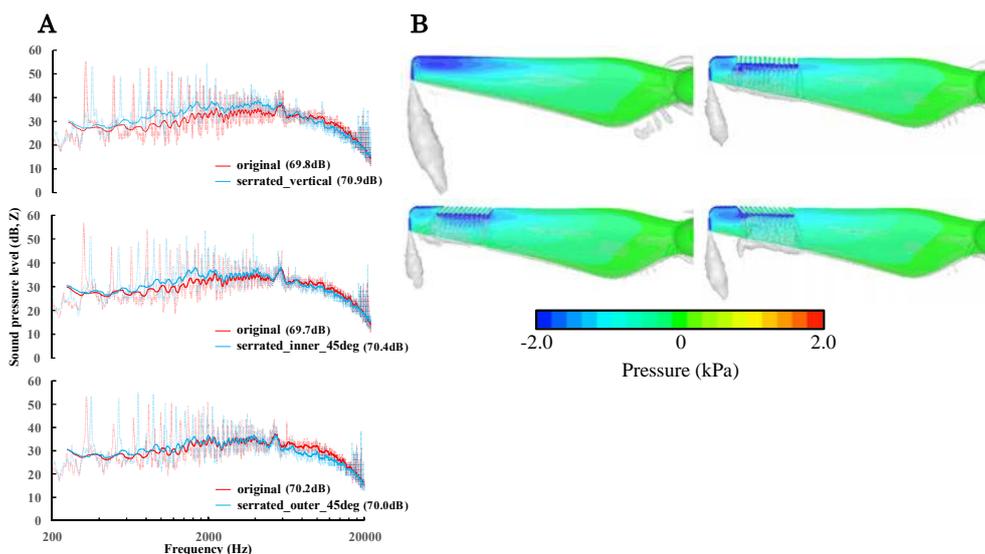


図 ファントム用プロペラでのセレーション構造の向き最適化. (A)各モデルにおける騒音レベル. 前縁に対して翼端側(外側)45°向きに配置したモデルのみ, 騒音が抑制されていることがわかる. (B)乱流モデルを用いた数値解析可視化結果. 各モデルにおいて, セレーション構造により縦渦が生じ, 前縁付近における負圧領域で差異が確認できる.

2-3 新たな課題など

ドローン用回転翼の効率と騒音特性のトレードオフ

当該年度は前年度に引き続き、回転翼の低騒音化で大きな成果が得られた。それぞれのモデルで構造のサイズや配置の最適化を図ることでさらなる低騒音化を実現し、空気力学的効率の減少を抑制したが、大きく騒音レベルを抑制した場合、空力性能の維持・向上には至らず、効率と騒音特性のトレードオフが依然として残っている。今後は前縁・後縁・翼端部において良い結果を示した構造を用いた統合的な低騒音型翼の開発を行い、高効率かつ低騒音型回転翼の創製を目指す。

3. アウトリーチ活動報告

千葉県の小学校にて、小学生を対象としたドローン教室を開催し、ドローンの歴史、仕組み、生物規範型プロペラの紹介を行った（平成 29 年 11 月 30 日）。

千葉県・千葉市科学館での大人を対象とした科学教室にて、ドローンの歴史、仕組み、生物規範型プロペラの紹介を行った。（平成 30 年 3 月 17 日）。