

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 8 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、本年度は以下の課題を設定した。

課題1. 微細構造・柔軟回転翼の流体構造連成シミュレーション

微細構造・柔軟翼モデルを用いた流体構造連成解析による微細構造や翼剛性分布の設計及び変動する風速における柔軟回転翼のシミュレーションを実施することにより、微細構造・柔軟翼の解析を行う。

課題2. 微細構造・柔軟回転翼の製作

微細構造・柔軟翼を試作することにより翼構造と製作方法を確立する。また、試験飛行用の微細構造・柔軟翼を製作する。

課題3. 微細構造・柔軟回転翼の実験的評価

空気力計測及びPIVによる流れ場可視化を行い空力性能を評価する。さらに衝突試験による構造ロバスト性の評価も実施する。これらの試験結果は、シミュレーションにフィードバックする予定である。

課題4. フィールド評価

フィールド評価により騒音特性、空力ロバスト性、構造ロバスト性を評価する。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

本年度は翼への微細構造の付与による静音性の向上で、特に大きな進展が得られた。

上記の課題に対し、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. 微細構造・柔軟回転翼の流体構造連成シミュレーション

・柔軟回転翼の流体構造連成シミュレータと理論的モデルを構築し、遺伝的アルゴリズムによる最適化等も行った。その結果、適切な柔軟性を付与することで、気流の乱れや突風等を受けても、力の変動を抑制できる回転翼を創製できることが明らかとなった。

・微細構造を付与した回転翼の性能を評価し、後述する実験結果が得られるメカニズムを解明した。

課題2. 微細構造・柔軟回転翼の製作

・当該年度は、回転翼の低騒音化を目指した微細構造翼を集中して製作した。微細構造は、前縁部のセレーション構造や、ベルベット状表面、後縁部の構造など、様々な構造を作製し、既成の回転翼に付与することで、空力性能や騒音特性等の性能評価を行った。

・モータ底部に柔軟機構（ジンバル）を配置した機構を考案し、これを試作した。

課題3. 微細構造・柔軟回転翼の実験的評価

・微細構造を付与した回転翼の性能評価のために、力、効率、騒音特性を同時に測定可能なシステムを構築し、作製した全ての翼について、性能評価を行った。良い結果が得られた微細構造翼については、Phantom 3 (DJI 社)に装着することで、さらに騒音特性等の評価を行った。

・ジンバル機構をモータ底部に配置した機構を用いて風洞実験を行った結果、適切に柔軟性やプロペラやダクトの配置を調整することで、突風に対して受動的にプロペラの向きを変え、姿勢の変化を抑制できる機構を確認した。

課題4. フィールド評価

・飛行型ロボットプラットフォーム MS-06A を用いてフィールド評価を行うため、機体に合わせた回転翼を作製中であるが、微細構造翼の特性が従来型とは著しく異なるため、現在自律研と協力して、コントローラのチューニングを行っている。

2-2 成果

(1) 高ロバスト型柔軟翼の最適化シミュレータを開発した。これにより、外乱に対して、どのような構造の分布を有する柔軟翼を作製すればよいかを、理論的に求めることが可能となる。

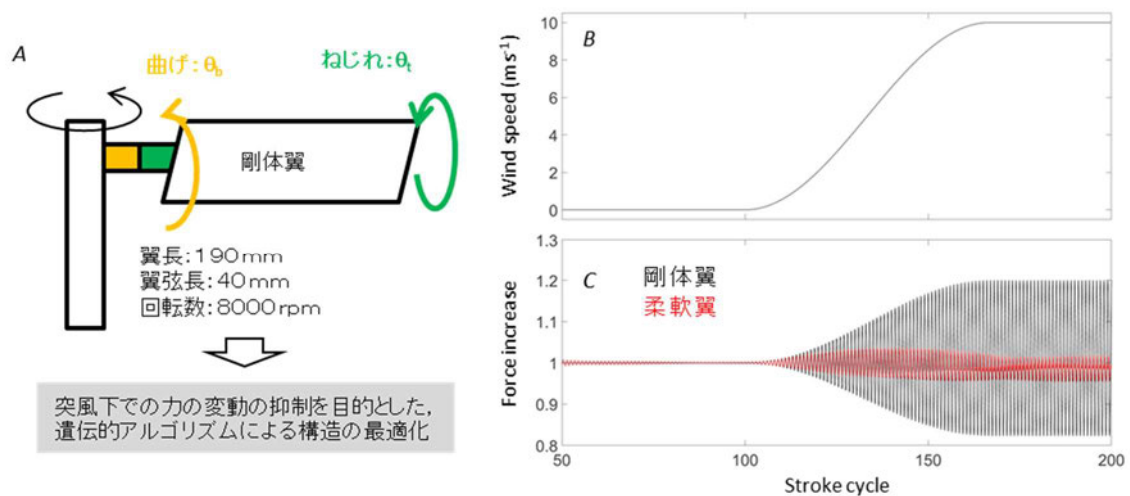


図 柔軟回転翼のロバスト性向上のための最適化シミュレーション。(A) 柔軟回転翼として、翼の基部に曲げとねじれの2方向に変形可能なバネを配置した。(B) 風速は50周期程度で10 m/sに達する。(C) 剛体翼の場合、毎周期の速度の変動によって、力が大きく変動しているのに対し、柔軟翼の場合、その変動が著しく抑制できることがわかる。

(2) モータ底部にジンバル構造を配置した柔軟構造を新たに考案・作製し、その性能を評価した。適切な構造とすることで、受動的に横風に抵抗する力を発生することが可能となる。

(3) 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。

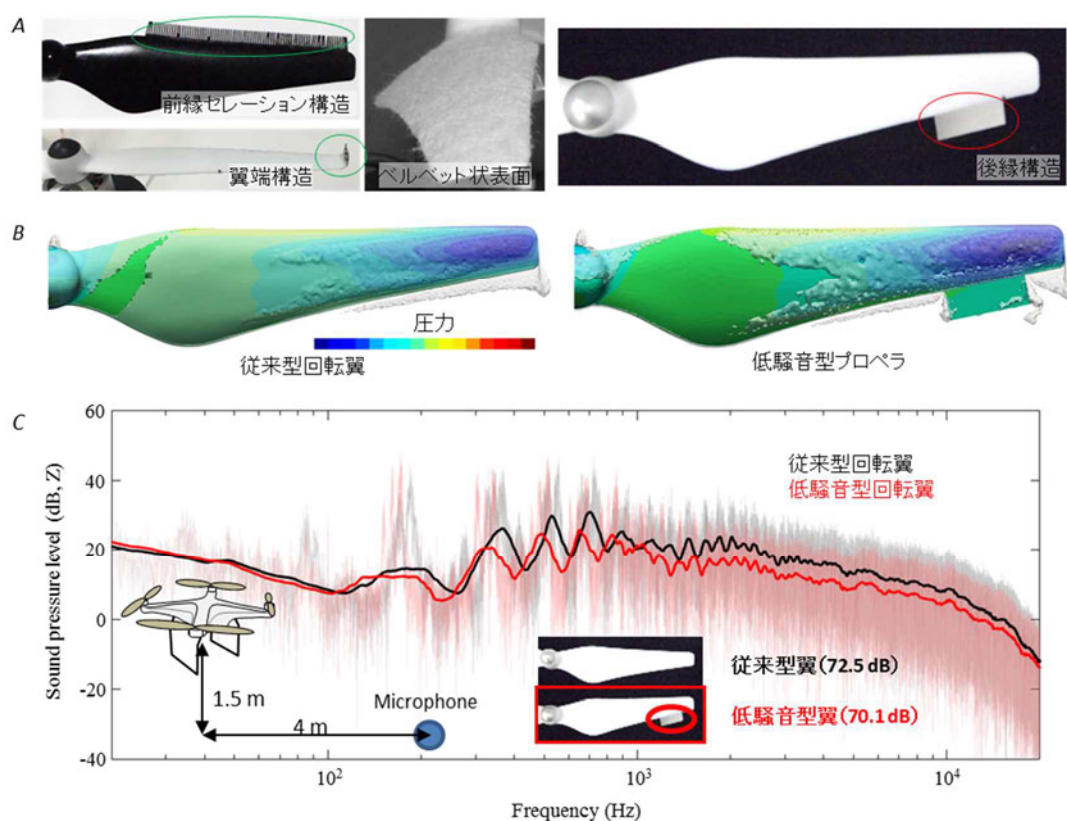


図 ドローン用回転翼の低騒音化. (A) 回転翼の低騒音化のために、様々な微細構造を既存のプロペラに付与し、その性能を評価した. (B) 回転翼の効率の評価や低騒音化メカニズム解明のために、数値シミュレーションを行った. (C) 良い結果が得られた翼については、実機 (Phantom 3, DJI) に装着し、音圧レベルを測定した. その結果、同じ飛行モードで、構造付与によって、騒音レベルが 2.4dB ほど低下することがわかった.

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、回転翼の低騒音化で、非常に大きな成果が得られた。構造のサイズや配置を工夫することで、さらなる低騒音化が可能であるが、空気力学的な効率が著しく低下すること、すなわち、効率と騒音特性のトレードオフが確認できた。有線飛行による点検等、効率以上に低騒音化が必要な応用等も考えられるため、低騒音化技術として、得られた知見は無駄ではないと考えられるが、効率の低下を抑制することが今後の課題となる。今後はよい結果が得られた翼に、さらに微細構造等を配置することで、高効率・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

国際ドローン展に出展した (平成 28 年 4 月 20-22 日)。

都立富士高等学校附属中学校 探求未来学ワークショップで、「ドローンの性能・課題と生物の飛翔」と題して講演を行った (平成 28 年 7 月 9 日)。