

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：

ピッチ角制御方式への変更とモータ集約化によるミニサーバイヤーの

機動性向上

研究開発機関名：

名古屋大学

研究開発責任者

砂田 茂

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

当該年度はピッチ角制御ゆえに可能になる、オートローテーション機能の追加をねらい研究を進める。具体的な研究内容は以下の通りである。①オートローテーション機体の設計・製作：オートローテーションを実現するためには、モータとロータとの連結を切断しロータへのモータの負荷を取り除く必要がある。製作者と共に検討し、オートローテーション可能な機体を開発する。②オートローテーション時の前・後ロータのピッチ角の決定：2つのタイプのオートローテーションを検討対象とする。(i)鉛直沈下オートローテーション：前・後ロータのピッチ角が同一であるため、変数(ピッチ角)が少ない点がメリットである。(ii)斜め沈下オートローテーション：沈下率を最小にするオートローテーションは、進行方向に対し前・後のロータの推力、すなわちピッチ角に差をつけた、経路角を有する沈下飛行である。(i)、(ii)の場合も、風洞試験によって、前・後ロータのピッチ角、経路角を決定する。さらに、前年度までに開発した2号機の性能試験を継続し、ロータ回転数制御に対するピッチ角制御の優位性に関する情報を収集・整理する。

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

一般に、ロータ駆動力が途絶えた際のロータの運動エネルギーの消失時間は、ロータサイズが小さくなり慣性モーメント、発生推力が小さくなるに従って、短くなる。よって、マルチロータ機のサイズでは、大型機での様なオートローテーションは困難である。しかし、本研究で提案するピッチ角制御による飛行コントロールを行うマルチロータ機では、ロータピッチ角が一定である回転数制御による機体よりも、オートローテーションにおける沈下速度を抑えられる可能性がある。①そこで図1に示す、オートローテーション機を開発した。このオーバーランニングクラッチ機構により風車モードにおける負荷が極めて小さい。上記②の検討に先立ち、静止空気中でモータ駆動で回転するロータを突然、風車モードに変更した際の回転数の低下を測定した。ロータのピッチ角が0度で抵抗最小であっても15秒程度で全エネルギーを失った。この結果から開発した機体のオートローテーションはかなりチャレンジングなテーマであると判断した。そこで、実機ヘリコプタの様に経路角をもったオートローテーションではなく、より検討が容易な垂直沈下飛行について以下の検討を行った。(1) [機体抵抗の測定] オートローテーションのシミュレーションに必要なデータとして、機体が沈下飛行する際の機体の抵抗面積がある。この値を風洞試験によって求めた。(2) [低沈下速度時の誘導速度評価法の検討] オートローテーションのシミュレーションにおいて、ロータの作る誘導速度を評価する必要がある。沈下速度が小さい際、誘導速度を簡単な理論解析方法で求めることができないことが知られている。沈下飛行の加速度が0である場合については誘導速度の実験式が知られているが、ドローンの沈下飛行時には加速度があり、加速度がある際の上記実験式の適用には検討が必要である。そこで、竹とんぼの沈下飛行のデータを利用し、ドローンの沈下飛行のシミュレーションにおいて、上記実験式を適用することの妥当性を検討した。(3) [オートローテーションのシミュレーション] 全モータ(4モータ)を停止し、ピッチ角を変更しロータを風車モードで作動させ、沈下飛行する際のシミュレーションを行った。

上記、オートローテーションの検討に加えて、ピッチ角変化、回転数変化による推力変化をロードセルで直接測定するための準備を行なった。ロードセルによる非定常力の測定では、入力と出力との間の

ゲイン、時間遅れを考慮する必要がある。焼き切り試験の結果からロードセルでの、入力と出力との間のゲイン、時間遅れを推定した。実際の推力変化の測定は平成 30 年度の課題である。

2-2 成果

①図 1 に示す、オーバーランニングクラッチ機構を持つ、オートローテーション機を開発した。②
 (1) [機体抵抗の測定]風洞試験から、機体の抵抗面積 SC_0 は SC_D は 0.066m^2 であることが分かった。
 (2) [低沈下速度時の誘導速度評価法の検討] 竹トンボ飛行データから、ロータ回転面の付加質量の補正值と加速度との積で決まる推力を考え合わせることで、加速度なしの実験で得られた誘導速度と沈下速度の関係式を用いることが可能であることを示した。(3) [オートローテーションのシミュレーション]全モータ (4 モータ) を停止し、ピッチ角を変更しロータを風車モードで作動させ、沈下飛行する際のシミュレーションを行った。図 3 にその結果の例を示す。その結果、以下のことが分かった。(A) ロータピッチ角によらず、3 秒程度で定常回転速度、定常沈下速度に到達する。(B) 定常沈下速度に達した時、ロータの発生推力は、ロータの回転面積と同一面積の円盤に働く抵抗にほぼ等しい。その時、開発機の沈下速度は約 10m/s である。このことは、ロータピッチ角に依存しない。ただし、ロータの回転速度は、ロータピッチ角に依存する。定常速度で沈下する際、ロータが発生する推力に関する知見は、ヘリコプタのテキストにも示されている知見であるが、この知見にロータピッチ角がほとんど影響を与えないことが、予想のできていない結果であった。また、沈下速度 10m/s は大きすぎるので、4 ロータ全てを風車モードにしてのオートローテーションは受け入れられないことが明らかになった。



図 1 開発オートローテーション機

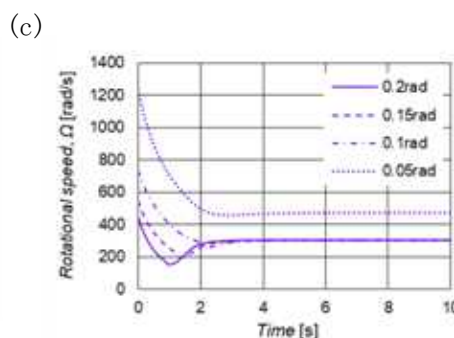
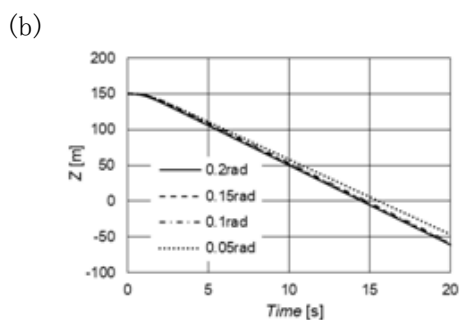
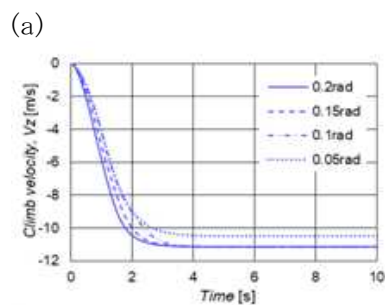


図 2 ピッチ角固定の場合のシミュレーション結果 (a) 沈下速度、(b) 高度、(c) ロータ回転速度

2-3 新たな課題など

今後は、向かい合う 2 ロータがモータ駆動、残りの 2 ロータが風車モードでの、可能な限り小さな沈下速度でのオートローテーションを検討する。この際、機体がヨー軸周りに回転する。ヨー軸周りの回転運動が、沈下飛行速度に与える影響の検討が中心課題となる。

3. アウトリーチ活動報告

特になし