

回転翼のダブルモータ駆動による飛翔ロボットの揚力・ペイロードの向上

東京電機大学 ○小林 祐輝、金森 賢人、堀内 敏行

要 旨

人間の入ることのできない危険な屋内空間での状況把握に役立つため、飛翔ロボットを開発中である。不目視での遠隔操作、高度、水平面内位置の自動維持、水平移動などの機構を同時に搭載するためには揚力・ペイロードの向上が欠かせない。本報では回転翼をダブルモータ駆動として回転数の増加による揚力・ペイロードの向上を目指した。その結果、最大揚力を 448gf から 1210gf へ、最大ペイロードを 260gf から 967gf へ向上することができた。

1. 背景と目的

人間の入ることが出来ない空間や危険な場所で災害等が発生した際の状況察知用に、飛翔ロボットの開発を行っている。主な開発課題として、高度自動維持制御、水平面内位置静止維持、水平移動の円滑化があるが、これらに必要な諸機構を搭載するには、前提として十分なペイロードを確保する必要がある。二重反転回転翼を揚力源とする飛翔ロボットを考えており、ここでは揚力から二重反転回転翼駆動系の重量を引いた値をペイロードと定義した。回転翼駆動系を様々な観点から改良し、揚力 1000gf、ペイロード 500gf 以上の定常的維持を目指した。

2. 揚力の測定方法

揚力の評価には図 1 に示す揚力測定装置を用いた。本来、回転翼は下向きに風を吹き降ろして揚力を得ている。しかし、この測定装置では機体を上下逆さに取り付けて上向きの風にし、下向きの力を生み出して精密天秤に加え、揚力として測定した。

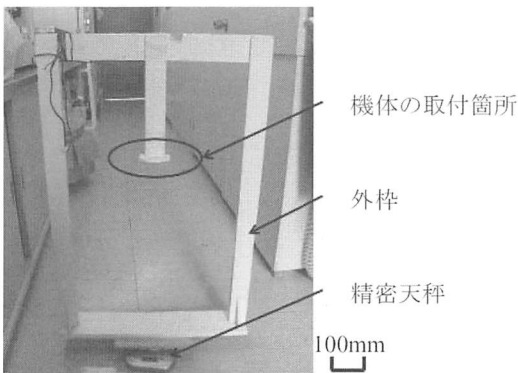


図 1 揚力測定装置

3. 通常駆動系の限界

これまでの飛翔ロボット^{1,4)}では市販ヘリコプタ玩具(HIROBO 社製 XRB SR シリーズ 0301 - 990)の二重反転回転翼をメインロータとして使用していた。しかし、この玩具に使用されていたコアレスモータでは揚力が 235gf、ペイロードが 47gf しか得られなかった。そのため、HYPERION 社製のブラシレスモータ Y12L-KV4100 に換装して上下のメインロータを駆動させた。しかし上下のメインロータをそれぞれ 1 個のモータで駆動させたのでは最大揚力が 448gf、

最大ペイロードが 260gf までしかいかず、目標の揚力、ペイロードを達成できなかった。このとき用いたバッテリーの連続放電電流仕様値が 7.2A であったため、バッテリーを連続放電電流が 27A と大きいものに変更することも試みた。しかし、揚力は 456gf とわずかしこ増えなかった。反面、バッテリー重量が 38gf から 103gf へと増加したことからペイロードは 213gf と小さくなってしまった。

回転翼により得られる揚力は(1)式で表される⁵⁾。

$$T = \frac{1}{4} C_l \rho \omega^2 R^3 bc \dots (1)$$

ここで、 T は揚力、 C_l は揚力係数、 ρ は空気密度、 ω は回転角速度、 R はブレード翼長、 b はブレード翼枚数、 c はブレード翼幅を表している。

市販玩具のブレード翼を用いる限り、 R と c は変更不可能である。 R の次に揚力に利くのが回転角速度 ω であるため、 ω の増加により揚力の向上を目指すことにした。

4. ダブルモータ駆動系の採用

そこで、モータを増加させることで回転トルクを上げ、高揚力の獲得を目指した。そのための方策として上下のメインロータをそれぞれ 2 個のモータで駆動させるダブルモータ駆動系を考案した。図 2 に製作した機体を示す。

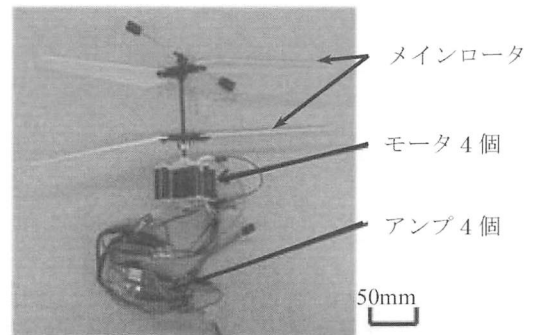


図 2 製作したダブルモータ駆動二重反転翼

機体全体としてのバランスが最適となるよう考慮し、図 3 に示すようにギア 1 個をモータ 2 個で挟み込む配置にした。実際にダブルモータでメインロータを回すには、図 4 に示すモータ BOX を用いた。

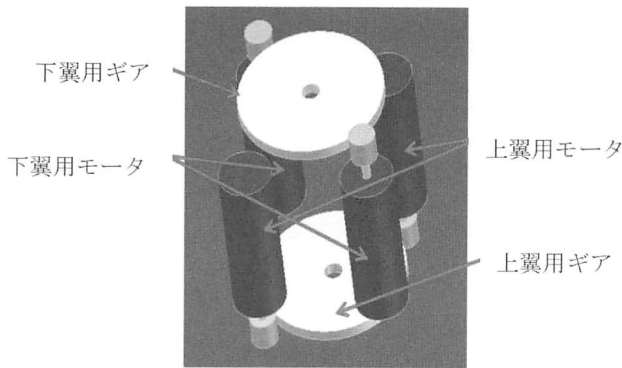


図3 ダブルモータ駆動系の構成

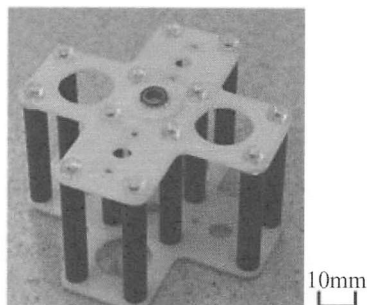


図4 製作したモータBOX

モータを $2 \times 2 = 4$ 個用い、ダブルモータとしたときの揚力とペイロードを図5に示す。バッテリーが7.2Aではモータの質量増によりペイロードが減少したが、バッテリーを27Aにすると揚力は701gf、ペイロードは458gfと大幅に増加した。

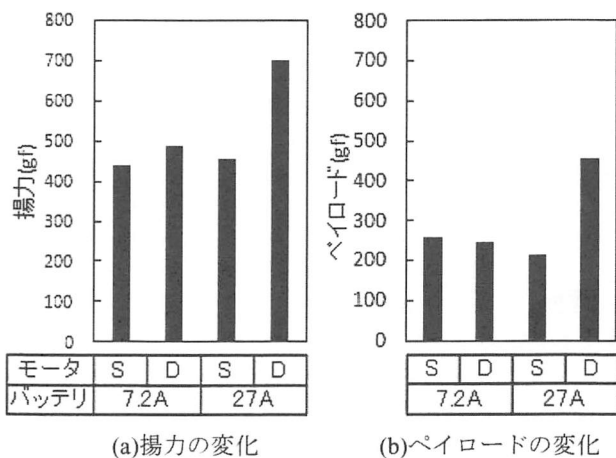


図5 駆動系とバッテリーによる揚力とペイロードの変化
モータ Y12L-4100 S:シングル, D:ダブル

5.モータ変更による揚力・ペイロードの更なる改善

さらに、モータを同一の形状及び重量で1Vあたりの回転数が大きいY12L-KV5800に変更した。バッテリーを27Aとしたときの結果を、Y12L-4100のモータと比較して図6に示す。Y12L-KV5800ダブルモータ駆動にした場合の最大揚力は1210gf、最大ペイロードは967gfとなり、バッテリーの消耗を考えても当初の目標をクリアできた。

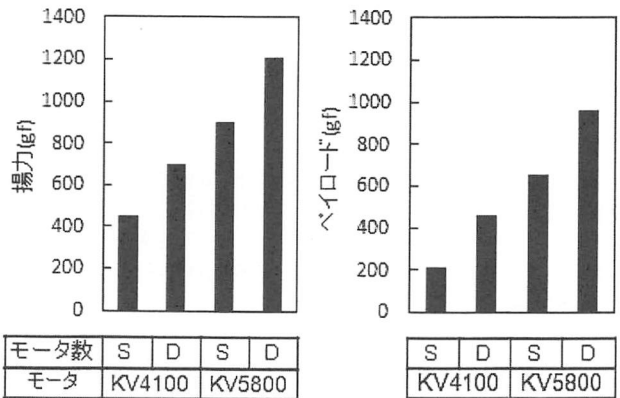


図6KV値の大きいモータによる揚力の改善

6. 飛行時間の検討

モータの増加と変更により揚力とペイロードを大幅に向上できたので、ペイロードとして400gfを見込める飛行時間を検証した。モータに熱電対温度計を押し当てて実験を行い定格許容温度の85℃に到達するときを使用限界とした。27Aのバッテリーを使用した結果、シングルモータ駆動ではモータY12L-4100が113s、モータY12L-5800が89sで共に85℃に達したためモータを停止させた。しかし、Y12L-5800のダブルモータ駆動とした場合、バッテリー容量が限界に達するまで360s連続回転させても停止しなかった。

7. 結論

二重反転回転翼の各ロータをそれぞれ2個のモータによって駆動する方法を考案した。また、高速回転可能なブラシレスモータY12L-5800を使用し、バッテリーを連続放電電流27Aのものに変更した。その結果、従来の揚力448gf、ペイロード260gfから揚力1210gf、ペイロード967gfへと大幅に性能を向上できた。

このことから1個のロータを2個のモータで駆動する方法が有用であることが証明できた。

参考文献

- 1) S. Uno et al.: Development of a Small Hovering Robot for the Use of Inspection in Narrow and Dangerous Indoor Spaces, Proc. Asian Symposium for Precision Engineering and Nanotechnology, 2009, JE-16-2025-p
- 2) 桑原広樹, 長倉朋子, 篠田大地, 関博, 堀内 敏行: 超音波センサを用いた二重反転回転翼飛行ロボットの高度自動維持 2010年精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, 25-26, 2010
- 3) 宇野真矢, 大塚慎一郎, 堀内敏行: 地磁気方位センサを用いた小型飛行ロボットの方位制御, 第26回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ08-0212, 2008
- 4) 桑原広樹, 宇野真矢, 篠田大地, 関博, 長倉朋子, 堀内敏行: 加速度センサを用いた飛行ロボットの水平面内自動静止維持に関する検討, 2010年精密工学会東北支部学術講演会講演論文集, 16-17, 2010
- 5) 加藤寛一郎, 今永勇生: ヘリコプタ入門, 東京大学出版局, pp. 81 - 85, 1985