

ロータ回転数の常時検出による小型飛翔ロボットの高度自動制御の高精度化

東京電機大学 ○木幡典央, 大森将史, 音丸龍一郎, 堀内敏行

要 旨

人の立ち入ることのできない屋内（災害により半壊した建物など）での情報収集を目的として、同軸二重反転ロータを持つ小型飛翔ロボットを研究開発中である。本研究ではそのロボットの高度自動制御において、ロータの回転数センシングを用いることで搭載バッテリーの残量低下やモータの劣化等に依存しない制御を実現した。その結果、従来は目標高度の $\pm 30\text{cm}$ となっていたロボットの上下動幅を $\pm 20\text{cm}$ に抑えることができた。

1. 研究の背景・目的

人間の入ることのできない狭い空間や危険な場所での状況把握に役立てるため、屋内用の小型飛翔ロボットを開発中である¹⁾。ロボットを空中で静止維持するためには、水平位置、方位、高度の維持を同時に行う必要がある。そのため研究室ではこれらを分担・平行して研究しており、本研究では高度自動維持制御の確立を目指した²⁾。従来、ロボットの高度のみをセンシングしてロータ出力を制御していたが、ロボットに搭載しているバッテリーの残量変化等が制御に悪影響を与えていた。そこで、本研究ではロータの回転数もセンシング対象として制御する方式を検討した。

2. 実験用ロボット

二重反転ロータを揚力源とする図1に示す飛翔ロボットを製作した。本体フレームを高剛性とするため、材料を従来のスチレンボードに替えて、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)とした。しかし、落下時の破損を避けるため、脚部にはスチレンボードを使用した。電源にはLi-Poバッテリー(11.1V, 730mAh)を使用した。表1に諸元を示す。

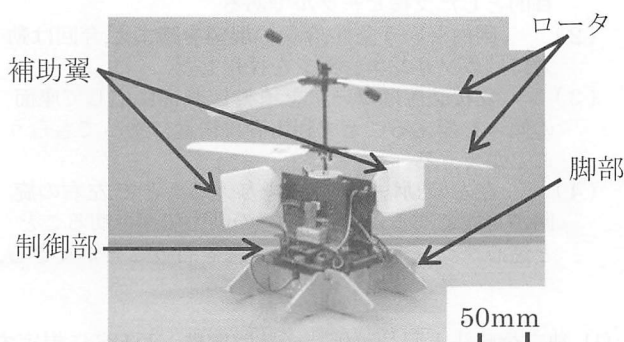


図1 製作した飛翔ロボット

表1 飛翔ロボットの諸元

項目	仕様
高さ	230mm
ロータ直径	350mm
総重量	290gf

3. 制御方式の検討

高度自動維持制御の方式として、従来は超音波センサを用いてロボットの高度をセンシングし、二重反転ロータの出力を調整する方式を採ってきた。しかし、それではどのようにしてもロボットの高度が周期的に変化し、上下動が収束することはなかった。また、外乱やセンサのノイズによりその周期から外れると、ロータ出力が発散してロボットの上下動も大きくなるという課題もあった。外乱には、ロボット周囲の空気の乱れだけではなく、ロボットの搭載バッテリーの残量低下が大きく関与している。そこで、本研究では高度だけではなくロータの回転数もリアルタイムでセンシングし、高度制御に反映させることを試みた。ロータ回転数をセンシングしてそれを制御すれば、バッテリーやモータの状態等、ロボット内部の因子の影響をすべて受けたものを制御することになり、高度を一定に保持し易いと考えたためである。

4. 制御用センサの検討

ロータ回転数は図2に示すようなフォトインタラプタとロータ軸上の歯車を用い、歯車の穴の一定時間当りの通過回数をマイコンでカウントすることでセンシングした。

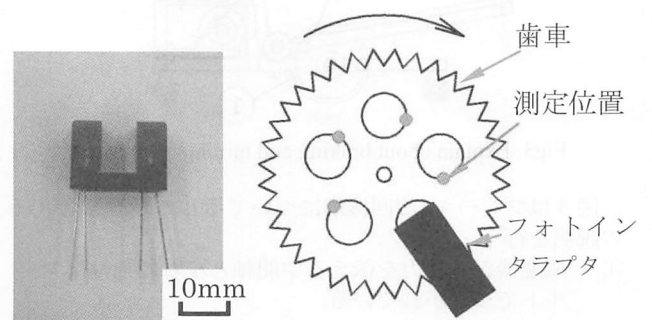


図2 フォトインタラプタと使用方法

一方、使用した超音波センサの外観を図3に示す。図3のように超音波送信部・受信部があり、超音波が跳ね返ってくるまでの時間をマイコンでカウントし、それを障害物

との距離、即ち高度に換算した。

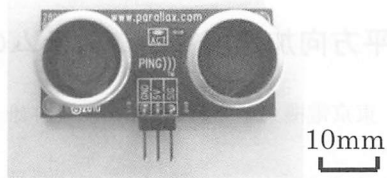


図3 超音波センサ

超音波センサによるセンシング結果を図4に示す。超音波センサをリノリウムの床に向けて手で持ち、メジャーで床と超音波センサ間の距離を測り、センサでの測定値との関係を調べた。距離測定値は実際の距離によく合致した。使用する頻度が高い60cm以上の箇所での誤差は $\pm 0.7\%$ 以内であり、制御での使用に問題がないことを確認した。

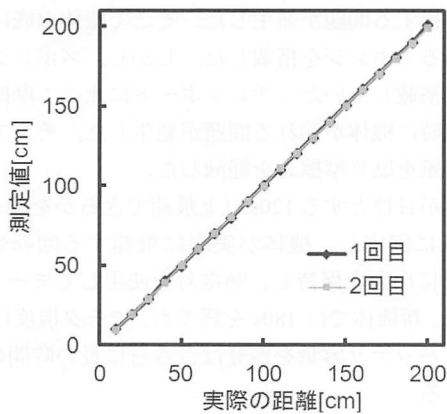


図4 超音波センサ出力測定の結果

5. 高度自動制御実験

フォトインタラプタと超音波センサの出力に応じてマイコンでモータ駆動用アンプに信号を送り、ロータ出力を制御した。アンプに送る信号を生成するため、プロポのスロットルレバーを上げた状態と下げた状態で、ロボット上の受信機が発するパルス幅を測定した。それを模倣してマイコンでPWM信号を作りアンプに送った。

リノリウム床上で高度100cmを目標として、高度と高度方向の速度(高度とセンシング間隔から算出)で条件分岐をし、ロータ回転数を増減する制御とした。ロボットの水平移動はプロポで補助翼を手動操縦することで行い、壁等に衝突しないようにした。実験ではこれらの条件でロボットを実際に飛行させた。実験中の飛行ロボットの様子を図5に、実験結果を図6に示す。図6はロボットの底部に取り付けた超音波センサで0.25s毎にセンシングし、その値をグラフ化したものである。目標高度100cmの $\pm 20\text{cm}$ の範囲に約30秒間維持することができた。また、補助翼の手動操縦で高度が乱れても、自動で目標高度付近に修正することができていた。

従来は高度のみをセンシングして制御を行い、目標高度の $\pm 30\text{cm}$ の範囲に常に大きく上下していたのに対し、この

実験ではロータ回転数の制御を主軸とすることで、上下動は $\pm 20\text{cm}$ に抑えられ、飛行精度が向上した。



図5 高さ制御実験中の飛行ロボット

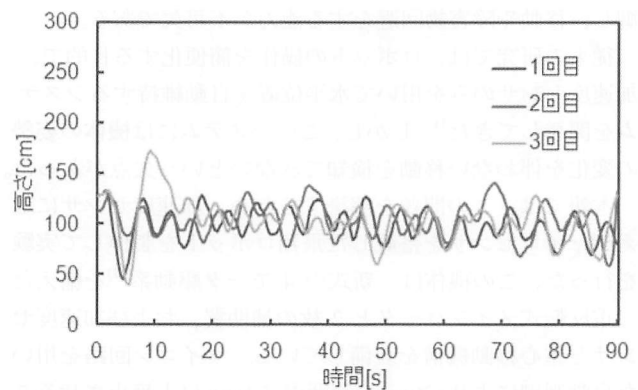


図6 高度自動制御結果

6. 結言

本研究により、ロボットの自立的な高度維持精度を従来よりも50%程度高めることができた。しかし現在のロボットでは、水平移動のために補助翼を傾け、ロータの吹き降ろしの風の一部を遮ってしまい、ロータ回転数制御を基盤とした今回の制御では対応し難い大きな外乱を生じてしまった。その大きな外乱がなければさらに良い結果になると考えられる。補助翼を用いない水平移動の方法を検討することが必要かもしれない。補助翼で遮ってしまった分のロータ出力を、ロータ出力に上乘せするような制御も有効と思われる。

参考文献

- 1) Y. Kobayashi et al.: Development of a Small Hovering Robot with High Lifting Force Using Coaxial Double Rotors Driven by Twin Motor Pairs, Key Engineering Materials Vols, 523-524 (2012) pp 705-710
- 2) 桑原 他: 制御方法の改善による二重反転回転翼飛行ロボットの高度自動維持性能の向上, 精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, (2011) 208