

回転抑制用補助翼による飛翔ロボットの直進性及び操作性の向上

東京電機大学 ○小林 祐輝、中村泰介、當麻雅章、桑原広樹、堀内 敏行
要 旨

人間の立入れ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には、低速でも直進でき、一定速での安定した飛行が求められる。重心移動機構と補助翼移動機構という2種類の移動機構を持つ飛翔ロボットを用いており、本報では各移動機構の移動特性を明らかにした。磁気センサとジャイロセンサを合わせた回転抑制系を用いて回転を自動制御し、8mの移動に対し位置ずれ $\pm 63\text{cm}$ 以内の高い直進性を得た。

1.背景と目的

災害時に迅速な救助を行うには迅速な情報収集が欠かせない。しかし危険な場所が存在するため、救助隊の安全を考えると慎重に行動せざるを得ない。飛翔ロボットを用いれば、危険な空間や狭い空間の情報収集を迅速に行うことができ、人命救助や被害の拡大防止に役立つと考えられる。

そこで、本研究室では、災害時の情報収集を目的とする飛翔ロボットの開発を行っており、重心移動機構を用いた移動、補助翼移動機構を用いた移動を検討してきた¹⁾。

ここでは2つの移動機構の移動速度、直進性、操作性を比較し、不目視での操縦に相応しい移動機構として補助翼移動機構を選定した。しかし、補助翼移動機構は移動機構の操作によりロータが吹き降ろす風の通過で出来る面積が減少し高度が下がる問題が発生した。そこで高度自動機構を搭載し補助翼移動機構での操作性を向上させた。

また、方位回転の自動制御を加え、さらなる操作性の向上を目指した。

2.重心移動機構の検討

重心移動機構による移動原理を図1に示す。機体下部を移動させたい方向へ傾けることで重心を移動し傾けた方へ移動する現象と、メインロータの傾きにより吹き降ろしの風の方向を変化させる2つの現象により移動させる。

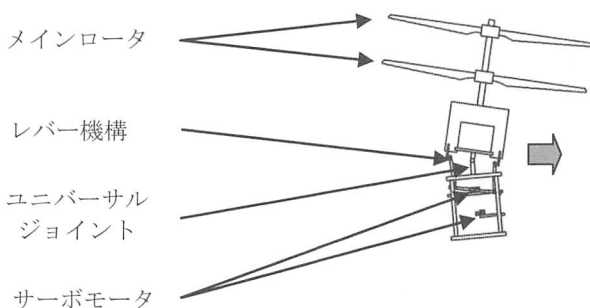


図1 重心移動機構の概要

床に座標を記した紙を敷き機体にレーザーポインタを取り付け、そのレーザースポットをカメラで撮影することによって、機体の移動軌跡と平均速度を測定した。

図2に重心移動機構を用いたときの移動軌跡を示す。機体の方位回転が抑えきれず、進行方向に対し左側に移動してしまい、5mの移動で $\pm 50\text{cm}$ のずれが発生してしまった。平均移動速度は 80cm/s であった。重心移動機構を駆動した際の重心移動方向が飛翔ロボットの移動方向に一致しない

ことが問題の原因である。重心の位置決めが重要であるが、配線コードや機構の動きに依存してわずかにずれるため、調整は非常に困難であることが分かった。

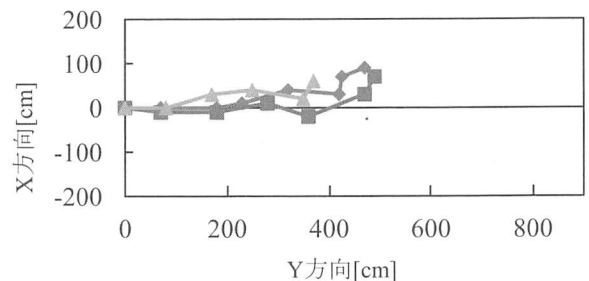


図2 重心移動機構を用いたときの移動軌跡

3.補助翼移動機構の検討

移動中の直進性を向上させるため、重心位置を動かさず移動する機構として、補助翼移動機構を検討した。図3に示すように補助翼を機体に4枚搭載し、回転抑制用に2枚、移動用に2枚使用する機構である。補助翼はスチレンボードで製作し、寸法は $60\text{mm}\times 90\text{mm}$ とした。吹き降ろしの風を傾けた補助翼に当てて推進力を得る。

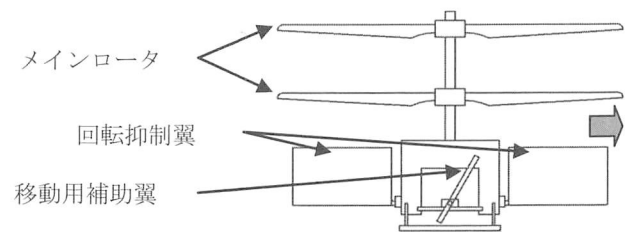


図3 補助翼移動機構の概要

図4に補助翼移動機構の移動軌跡を示す。

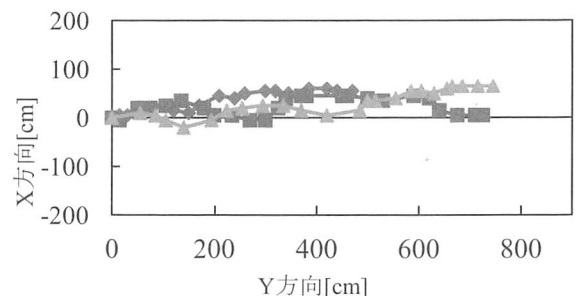


図4 補助翼移動機構の移動軌跡

8mを±40cmの蛇行で移動でき、平均速度は31.5cm/sであった。重心移動機構を用いるより低速で直進性の良い移動機構であることが分かった。しかし、ロータからの吹き降ろしの風の流路を移動用補助翼が妨げてしまうことで揚力が減少し機体が下降する現象が発生した。機体降下を補正する手動操作は非常に困難で熟練を要し、どうしても、移動に上下動が付随してしまうことが分かった。

4. 補助翼移動機構と高度自動維持機構を組み合わせた補助翼移動機構

飛翔ロボットに対し、高度調節、回転制御、移動機構操作の3つを同時に行うには熟練した操作技術が必要で、とくに機体の高度を維持することが困難であった。

そこで、補助翼移動機構の飛行特性である機体の降下を防ぎ、高度を自動維持することができれば操作性が向上し誰にでも操作ができる水平移動機構になると考えた。そして、別途検討して来た超音波センサで床面からの距離を測定し、ロータの回転数を制御する高度自動維持機構^{2,3)}を搭載した。図5に用いた飛翔ロボットを示す。その結果、移動の際に機体が降下する現象を防ぐことに成功し、操作性を向上させることができた。

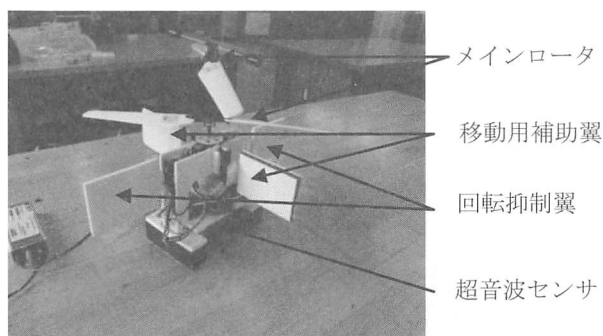


図5 高度自動維持機構を搭載した飛翔ロボット
(ロータ径350mm、高さ245mm、重量2.91N)

5. 回転自動制御機構の検討

現在は目視の状態で機体进行操作しているが、実際には不目視で操作を行う必要がある。その際、機体が自動的に同じ方向を向く機構があれば、更なる操作性の向上に繋がる。

飛翔ロボットには元々急激な回転を防止するため角加速度を検知するジャイロセンサを取り付けてあり、その出力に基づいて補助翼の傾きを自動制御していた。しかし、飛翔中に機体がゆっくりと回転してしまうため、ジャイロセンサだけでは機体を同じ方向に向けることが出来なかった。そこで、磁気センサ (GEOSENSORY 製 RDCM-802) を併用することで解決を試みた⁴⁾。

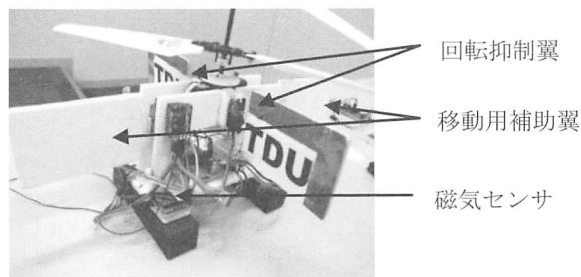


図6 回転抑制制御系を搭載した飛翔ロボット

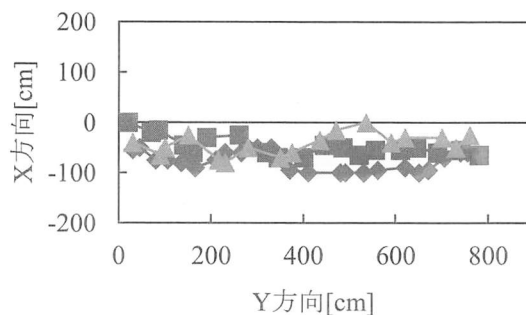


図7 回転抑制制御機構を用いた飛翔軌跡

方位センサで機体に向いている方位を検出し、その方位を維持するよう補助翼を自動的に動かす。状況把握時には手動で方向を変える必要があるため、手動での操作が入った場合には手動を優先することとした。また操作をやめた際には、機体はその状態を維持するように制御した。

ジャイロセンサと方位センサを同時に使い回転を自動で抑制した水平移動させたときの移動軌跡を図7に示す。操作性が大幅に向上し、8mに対し位置ずれが±63cm以内の高い直進性が得られた。不目視での水平直進移動が可能となる見通しを得た。平均速度は25.1cm/sであった。

6. まとめ

飛翔ロボットの水平移動に用いる移動機構を検討した。重心移動機構では高速移動と即応性が良いこと、補助翼移動機構では高い直進性と低速移動が可能であることを確認した。不目視での操縦では直進性と低速な移動が重要なため、補助翼移動機構が有用である。補助翼移動機構にサポートとして高度自動維持機能や回転自動制御機能を搭載した。その結果、熟練した回転手動制御での操作で±40cmのズレから、自動での回転制御操縦で±63cmと操作性が大幅に向上した。

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翔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) 桑原広樹, 堀内敏行: 制御方法の改善による二重反転回転翼飛翔ロボットの高度自動維持性能の向上, 2011年精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, 39-40, 2011
- 4) 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翔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