

研究課題別評価

1. 研究課題名： 環境・防災モニタリング用小型2重反転回転翼機の開発

2. 研究者氏名： 砂田 茂

3. 研究の狙い：

我が国は、大規模地震が多発する地域にあるが、備えによって地震による被害を小さく抑えることは可能である。現在、地震発生直後の数時間は情報収集が行えず、情報空白期間があるとされているが、この情報空白期間を埋めること(防災モニタリング)が、地震被害を最小に抑えるため重要である。また、2005年春に京都議定書が発効される等、環境問題は深刻化しており、上空大気の実態分析、上空からの産業廃棄物や植生の調査等、環境モニタリングの必要性が高まっている。本研究では、これら防災・環境モニタリングのための小型回転翼機の開発を行う。

回転翼機が1kgを超えると、そのロータは直径が1mを超えるカーボン製のものとなり、人に衝突した際に人命にかかわる損傷を負わせることになる。そこで、本研究では総重量が100–200g程度で、ロータ直径が20–30cm程度の回転翼機を開発する。この程度の重量であれば、発泡スチロール製のロータでの飛行が可能となり、人体衝突時に人体に重大な損傷を与えることはない。

上記のサイズの回転翼機を開発するためには解決すべき2つの問題点がある。1番目は、一般に航空機が小型・軽量化すると風に流されてしまい、目標位置に向かう飛行が困難になることである。2番目は、上記サイズの回転翼機に搭載可能な程、小型・軽量化されたセンサ、コンピュータの性能が大変低いことである。

1番目の問題をクリアするために、従来の回転翼機を相似のまま小さくするのではなく、風に対抗できる機体コンフィギュレーションを提案し、風の中で姿勢を安定に保ち、位置制御が可能であることを実証する。2番目の問題をクリアするためには、既存のセンサ、マイコンの組み合わせと制御プログラムの工夫とによって、一応の姿勢安定、位置制御を可能にし、それ以上の姿勢安定は機体コンフィギュレーションの工夫によって実現する。

4. 研究成果：

4.1 開発機体及びその飛行

ロータ直径が約35cm、重量が約450gの小型回転翼機(図1)を開発した(特願2005–238767)。開発機に搭載された機器を表1にまとめる。本開発機の特徴は、以下の通りである。

(1)機体の位置制御:機体の現在位置はGPSで測定し、プログラムされた目標位置に向かって機首を向ける。機体の向く方位の制御はジャイロ、方位計による。次に、機体後部の小型プロペラで機体、すなわちメインロータ(2重反転回転翼)を前傾させ、推力の前向き成分を大きくする。また、機体を前傾させるに当たっては、下段ロータへのサイクリックピッチ入力による下段ロータの

前傾も合わせて行われる。(2)機体の高度制御:上、下段モータの回転数制御で行う。なお、高度計は気圧センサ(MPX4115A:Free Scale製)を用い、独自に製作したものである。(3)位置・高度・姿勢制御のため、2つのマイコンによって、全てのセンサからの信号を処理し、上・下段ロータ用の各モータ、下段ロータ用の2つのサーボモータ、小型プロペラ用モータを制御する。(4)機体重心より下方に、ダクトを装着する。このダクトは機体の抵抗を増加させ、機体が風に流されるのを助長するが、姿勢安定に貢献する。機体の姿勢安定は、ダクト、上段ロータと連結するスタビライザ・バー、及びジャイロによる。(5)上空からの映像撮影のためには小型カメラが、大気採取のためには独自に製作した空気採取器が搭載される。

図2に、本開発機体が目標位置に向かって自律飛行する様子を示す。機体を大きく前傾させていることが分かる。また、GPSによって測定された、飛行中の機体の位置を図3に示す。本飛行中、約20mの高度を飛行した。地上での風速は2-3m/sであり、この高度での風速は、この値以上と推測される。地上での風速が2-3m/s程度であれば、位置制御が可能であることが確認された。

図4に、オンボードカメラで撮影された、高度約40mからの地上の様子(動画の1画面)を示す。本オンボードカメラは動画が撮影可能で、100m程度まで離れた受信機へ画像を送信可能である。本カメラで撮影される画像は20万画素程度であるが、山林内の産業廃棄物の投棄や植生を上空からモニタリングするためには、200万程度の画素の画像が必要とされる。そこで、200万画素の画像を撮影可能なデジタルカメラ(Cheez! Foxz2、NHJリミテッド製)にインターバルタイマー機能を付加した。重量は30gで本開発機に搭載可能である。本カメラを開発機に搭載すれば、200万画素の画像(静止画)が撮影可能となる。図5に本カメラで撮影した静止画像を示す。ただし、映像は無線送信できないので、機体が着陸後、画像を見ることになる。

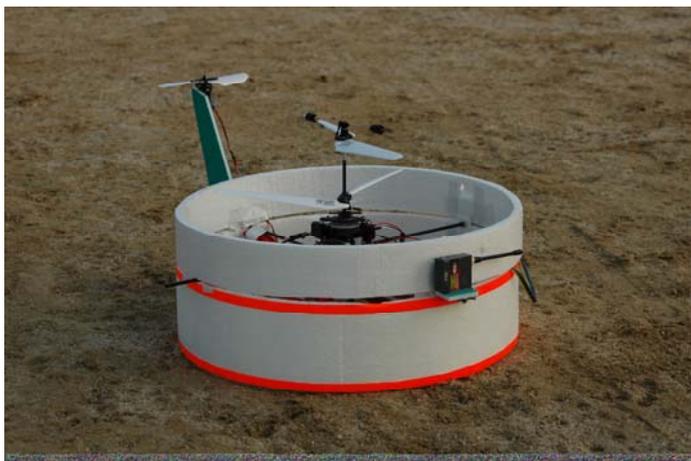


図1 開発した機体



図2 飛行の様子

表1 搭載機器

搭載機器	搭載個数	製品名	メーカー
バッテリー	1	HORNET 11.1V 340mAh	Fox Corporation
メインロータ用モータ	2	B20-26S	Hacker
小型プロペラ用モータ	1	3Z3AA	キーエンス
メインロータ用 スピードコントローラ	2	PHONIX-10TM	Castle Creations
小型プロペラ用 スピードコントローラ	1	Speed 10	クラフトルーム
サーボモータ	2	ATOM54	ヨシオカモデル ファクトリ
受信機	1	R-4PII/H	GWS
マイコン	2	H8/3664	日立
方位計	1	RDCM-802	Geosensory
レイトジャイロ	3	PG-03	GWS
GPS	1	GH-80	古野電気
高度計	1	MPX4115A*	Free Scale
カメラ	1	(動画)MX-1 (静止画)** Che-ez! Foxz2	RF System Lab. NHJリミテッド

* 高度計に使用した気圧計。* * インターバルタイマー機能を付加したものを使用する。

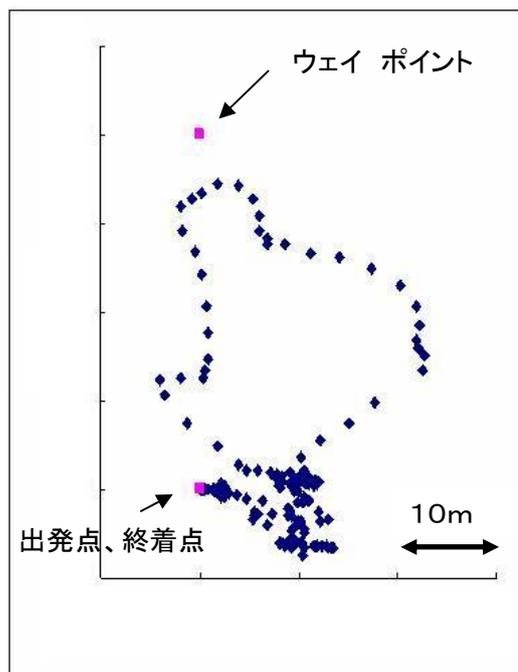


図3 飛行の軌跡



図4 上空から撮影した地上の映像(動画)



図5 上空から撮影した地上の映像(静止画)

4.2 GPSによらない誘導方法の開発

上で述べた様に、屋外飛行において開発機の位置はGPSで測定される。重量の点から単体GPSの搭載に限定され(単独測位)、大型航空機のようにディファレンシャルGPSによって高精度の位置測定を行うことはできない。単独測位の場合、数mの誤差が含まれる可能性があるが、空間を大きく移動しない飛行の場合に、その誤差は重大なエラーとなりうる。そこで、光による新たな位置制御方法(特許出願:2004-181653)を提案し、その可能性を実証した。その方法は以下の通りである。

赤外線受光素子(TPS614、東芝製)をダクト下面に複数装着し、飛行する機体に地面からの赤外線を照射する。赤外線受光素子の受光情報から、地面の赤外線源に対する機体の水平面内相対位置を決定する。また、高度は超音波測距センサ(USセンサ2、ベストテクノロジー製)で測定される。全ての赤外線受光素子が赤外線を受光し、さらに機体が一定高度を保つ様、マイコンからサーボモータ、モータに信号を出力する。こうすることにより、赤外線源を移動させることで、機体の位置を任意に移動させることが可能になった。なお、太陽光下でも本システムが可能となる様、38kHzの搬送波を出力できる赤外線源を製作した。本システムを利用し、赤外線源を上部に設置した車を追従する自動飛行を実現した(図6)。さらに、図7の様に地面に赤外線源を配置し、それらを順番にON、OFFすることによる機体の誘導にも成功した。このシステムを利用すれば、赤外線源を配置した空間内で、回転翼機を極めて容易に誘導することができる。



図6 光による機体の誘導(1)

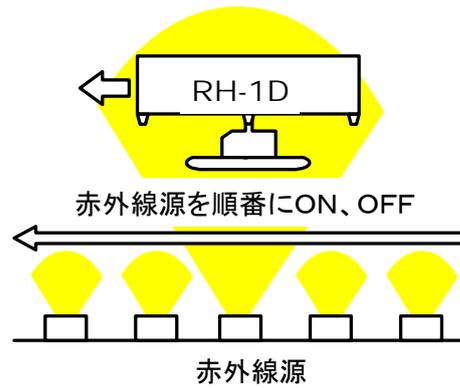


図7 光による機体の誘導(2)

4.3 姿勢角センサの開発

現在までの機体の姿勢安定は、3つのレートジャイロ(姿勢角速度)を用いた制御、及びダクトによって増加するピッチ(ロール)ダンピングによって行っている。すなわち、姿勢角そのものによる姿勢制御を行っていない。しかし、姿勢角を用いた姿勢制御の方が高精度の姿勢制御を実現できる可能性が高い。しかし、本開発機のような小型・軽量の回転翼機に搭載可能な姿勢角センサは存在しない。そこで、太陽センサの原理を応用した、小型・軽量の姿勢角センサを開発した。図8に開発した姿勢角センサを示す。本センサの総重量は約5gである。本センサによる飛行は、これからの課題である。

また、本開発機に大気採取器を搭載することで、上空の大気を取得することが可能となる。取得した大気は地上で成分分析される。図9に製作した大気採取器(特願2005-110137)を示す。本大気採取器は、60ccのシリンジとシリンジの口を開閉するためのサーボモータとからなり、重量は約30gである。機体搭載時、シリンジ内を真空にしておき上空ではサーボモータによってシリンジの口を開くだけで、大気をシリンジ内に取り込むことができる。シリンジが大気で満たされた後、シリンジはサーボモータで閉口される。

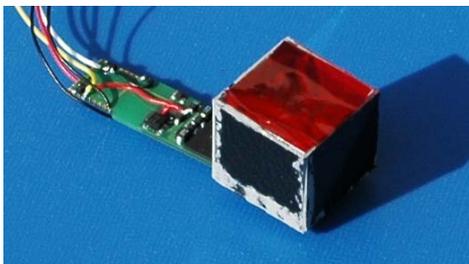


図8 開発した姿勢角センサ



図9 製作した大気採取器

5. 自己評価:

総重量が約450g、ロータ直径が約35cmの回転翼機を開発し、地上の風速が3m/s程度以下であれば、目標位置に向かった自律飛行が可能であることを確認した。当初の目標、「総重量が100-200g、ロータ直径が20-30cm」のサイズで上記の飛行を実現することはできなかった。しかし、回転翼機の墜落時に危険であるのは、高速で回転するロータが人体に衝突することである。本開発機のロータは1kgの回転翼機のロータの様なカーボン製でなく、人体に衝突した際に容易に破壊する発泡スチロール製とすることができた。目標の重量を実現した場合に比べ、5割程度回転数が早いものの、人体衝突時の安全性は確保できたと言える。

また現在の飛行時間は約9分であるが、飛行時間を延ばすことで用途が広がる可能性がある。安全性の確保の点から、現在よりも重量を増加させることは不可能である。そこで、飛行時間を延ばすためには、搭載機器の軽量化が必要であるが、例えば50gの軽量化で、飛行時間を約1分延ばすことが可能である。また、リチウムポリマバッテリーの性能の向上は目覚ましいものがあり、バッテリーの性能向上によっても飛行時間が増加していくことが予想される。

6. 研究総括の見解:

防災・環境モニタリングを行うため、短時間で高高度まで上昇し、上空からの映像、上空大気の取得を可能にする、ロータ直径が約35cm、重量が約450gの小型回転翼機を開発した。機体の姿勢安定に必要な太陽センサの原理を応用した小型・軽量の姿勢角センサの考案、上空の大気採取を取得するための大気採取器の考案、および屋外飛行の開発機の位置を知ることに必要な光による新たな位置制御方法の考案を採り入れるなど、高い独創力を発揮した。さらに、本開発機体为目标位置に向かって自律飛行させ、地上での風速が2-3m/s程度であれば、位置制御が可能であることを確認できたことは、大きな成果であり、高く評価できる。

今後、都市空間上空や人間が近づくことができない危険な空間での情報システムの実現に向け、研究を進展するよう期待する。

7. 主な論文等:

論文

- 1.A.Matsue, W.Hirosue, H.Tokutake and S.Sunada. "Navigations of a small and lightweight helicopter". Transactions of the Japan society for aeronautical and space sciences, Vol.48, No.161, 177-179,2005.
2. S.Sunada, K.Tanaka, and K.Kawashima. "Maximization of thrust-torque ratio of a coaxial rotor". Journal of aircraft, Vol42,No.2, 570-572,2005.
3. S.Sunada and K.Kawachi, "Effects of Reynolds number on characteristics of fixed and rotary wings". Journal of aircraft, Vol.41,No.1,189-192,2004.
4. S.Sunada, A.Ohkura, A.Matsue and K.Kawachi, "Characteristics of rotary wings in hovering mode at an ultra-low Reynolds number". Transactions of the Japan society for aeronautical and space sciences, Vol.47, No.155,59-65,2004.

5. 砂田茂、広末渡、川島健太：“小型2重反転回転翼機のベル式スタビライザ・バーに関する研究”、日本航空宇宙学会論文集、Vol.52、No.610、494-498、2004.

国際会議発表論文

1. S.Sunada, H.Tokutake, A.Ohkura, A.Matue and W.Hirosue, “Developing a Small, Lightweight Helicopter as a Tool Used in Everyday Life”. The 3rd Unmanned Unlimited Technical Conference, Chicago, September,2004.
2. H.Tokutake, S.Sunada, S.Shirayama, A.Matsue and W.Hirosue, “Development of A Flying Visual Sensor”. Joint 2nd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 5th International Symposium on Advanced Intelligent Systems. Yokohama, September, 2004.

国内会議発表論文、

1. 砂田茂、得竹浩、松江淳、広末渡：“環境モニタリング用小型2重反転回転翼機”、第37回日本航空宇宙学会年会、東京、2005
2. 伊東秀晃、角野宏紀、菊池厚志、畠山雄基、得竹浩、砂田茂：“小型2重反転回転翼機の屋外飛行”、日本航空宇宙学会第43回飛行機シンポジウム、名古屋、2005
3. 角野宏紀、菊池厚志、得竹浩、砂田茂：“ホバリングする小形2重反転回転翼機のフラッピング運動について”、日本航空宇宙学会第43回飛行機シンポジウム、名古屋、2005
4. 砂田茂、得竹浩、藤永仁：“低レイノルズ数での翼性能”、日本航空宇宙学会第37回流体力学講演会、千葉、2005
5. 伊東秀晃、角野宏紀、得竹浩、砂田茂：“小型2重反転回転翼機の飛行制御”、第22回誘導制御シンポジウム、大阪、2005

総説・解説

1. 砂田茂、得竹浩：“小型2重反転回転翼機の開発”、日本航空宇宙学会誌、2005年12月号、348-350

特許出願

1. 砂田茂、得竹浩、松江淳、広末渡：浮遊体の誘導装置および方法 [2004.6.18出願] (特願2004-181653)
2. 砂田茂、得竹浩、菊池厚志、松江淳、広末渡：大気採取装置及びその採取方法 [2005.4.6出願] (特願2005-110137)
3. 砂田茂、得竹浩、伊東秀晃、角野宏紀：小型回転翼機 (特願2005-238767)