

平成 26 年 6 月 21 日現在

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510018

研究課題名(和文) 自律上空環境計測機の開発

研究課題名(英文) Development of rotational aircraft aiming at weather survey

研究代表者

葉山 清輝 (HAYAMA, Kiyoteru)

熊本高等専門学校・情報通信エレクトロニクス工学科・教授

研究者番号：00238148

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：独自の機体構造により垂直上昇・下降を行なう自動環境計測機を開発することを目的とした。各種センサによりプロペラの反力で機体が自転したままでも自律的に航行できる飛行体を提案し、飛行原理の検証、飛行体の姿勢制御方法、飛行の自律化について研究を行った。

まず、小型試作機を使って機体の姿勢制御について調べて機体の安定化を図り、その後GPSと高精度気圧センサを用いて位置制御と高度制御の自律化が可能となった。更に飛行の高度化について検討し、二重反転モータの利用により、上昇力の増加に加えてフェイルセーフ機能を与えることができた。

研究成果の概要(英文)：It was aimed to develop an unmanned aerial vehicle (UAV) designed for vertical up and down by original aeroform for environment measurement. We propose the UAV which can autonomously cruise while that is rotating with the reaction force of the propeller by a variety of sensors. The studies were conducted verification of flight principle, attitude and position control method for autonomous flight. First, it is investigated to stabilize the UAV using a small prototype. After that, the autonomous control of the height and position has become possible by using high resolution pressure sensor and GPS. In addition, it was possible to provide a fail-safe function and to increase the flight height by using coaxial motor.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：自律飛行 環境 温暖化 大気汚染 GPS

1. 研究開始当初の背景

近年の環境問題や環境意識の高まりから、地域環境に対する様々な環境質定量化、環境計測手法が望まれている。一例として、任意の地点の指定高度における温度、湿度、CO₂、NO_xなど特定ガス濃度、風向、風速などの情報収集が容易に可能となれば、地域環境の理解・保全に有用である。現在、主に行われている気象観測方法の利点・欠点を以下に列挙する。

(1) 気球とラジオゾンデによる高高度気象観測：観測装置は基本的に回収不可能であるので低コストとは言えない。落下物の危険を伴うために観測地点が限定される。

(2) ヘリコプター等の航空機による低高度気象観測：高度が限定されるものの、比較的自由度があるが高コストな方法である。

(3) 繫留気球による観測：観測・回収が容易であるが、高さをあまり高く出来ない点と、航空法の定めにより夜間は航空障害灯を付加する必要がある。

上記の方法にはそれぞれに長所・短所があるが、どの方法によっても任意地点の指定高度における環境計測が安価で容易にできるとは言いがたい。

計測場所や法的な制約が少なく、取り扱いが容易で地上から 3000m 程度の高度までの気象観測ができ、しかも安価な自動環境計測機が開発できれば、既存の観測方法を補完でき、他の方法より優位性のある利用形態も期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、安定性が高い独自の機体構造を用いた垂直上昇・下降機により、地上から上空までの自動環境計測機を開発することを目的とする。既存の回転翼機は操縦性を確保するため、プロペラの反力を打ち消して機体の回転を抑制していたが、マイコン等による自律航行とすれば、機体の回転を止める必要はない。観測地点上空付近の環境計測に限れば横方向の移動は最低限で機体構造を考えれば良いため、2 自由度（既存の回転翼機は最低でも 4 自由度の制御を必要）で任意の場所を自律航行する独自の構造の機体を製作できる。このように機体構造を大幅に簡略化できるので、従来にない低コストで高信頼性な観測装置が実現できる。

計測対象は、特定地点・高度における風向、風速、温度、湿度、CO₂ など特定ガス濃度、などが考えられ、これによりヒートアイランド現象のデータ収集のために市街地上空の観測なども可能となる。

3. 研究の方法

初年度は、動作原理検証のための小型試作機を製作し、個別要素の動作原理の検証を行

なう。自律飛行の安全性の確保と、市街地のヒートアイランド現象の観測を目的とした 250m（航空法制限範囲内）の獲得高度の実験用の小型機製作を行う。特に、回転しながらの自律制御方法を確立する。

次年度以降は、飛行高度の高高度化を目指し、機体の構造の工夫や大型化について検討する。そのほか、実際の気象観測利用を想定して、機体の搭載可能重量から搭載できる計測機器の吟味と選定を行う。必要ならば小型軽量化した組み込みセンサの開発を行う。最後に、得られた成果を気象・環境関連学会で発表してデータの有用性を示すとともに、本研究の成果の実用化を目指す。

4. 研究成果

本研究で提案した飛行体の最小構成と移動原理を図 1 と図 2 にそれぞれ示す。機体は、上昇・下降を行うモータおよびプロペラと、これらを固定し、反力の抵抗となる機体、および機体の傾きを制御する尾翼からなる。上昇・下降はモータ出力の制御により行う。プロペラの反力で機体が回転するが、それと同期して尾翼を振動させることで常に一定方向への機体の傾きを作り横方向への移動が可能になる。図 2 では機体を左方向に移動させるときの尾翼の制御を示している。機体の向きは地磁気センサ等でモニタしながら、これと制御入力をもとに尾翼の角度を決定する。

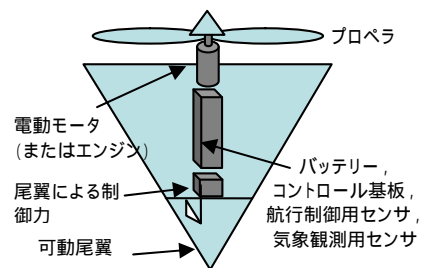


図 1 自転式飛行体の構成

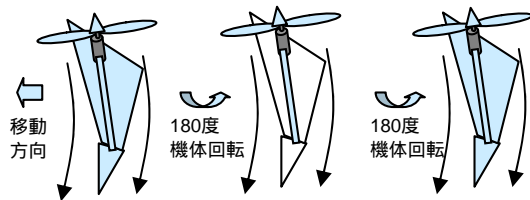


図 2 自転式飛行体の制御原理

実際には、図 3(a)に示すように回転体に横方向の力を加えるとコリオリ力がそれと垂直方向に生じ、歳差運動を起こす。そこで、同図 3(b)のように安定翼を垂直に追加してコリオリ力を打ち消し、ジャイロセンサを用いて軸ぶれを押さえるように制御する。更に 2 尾翼の双方を操縦と安定化に用いることで自律安定な姿勢制御が可能となった。

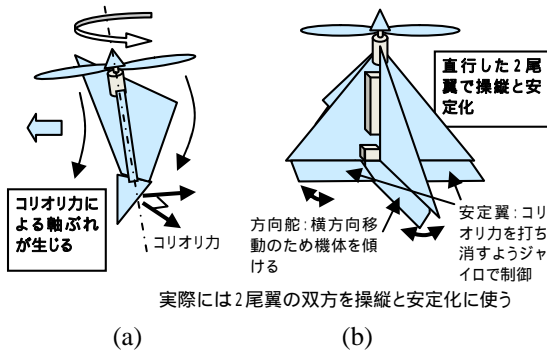


図3 直交2尾翼による機体の安定化

気象観測の動作フローの例を図4に示す。GPSほかセンサによりマイクロコンピュータ（マイコン）を用いて自律的に航行して環境計測を行なう。特定地点上空の観測においては、まず地上でGPS衛星の捕捉を待ち、初期位置を設定する。上昇及び下降は自律的に行い、高度と計測結果を記録する。計測終了後は下降し、超音波センサを使って緩やかに停止する。停止後はPCと接続して記録した観測結果を読み出す。

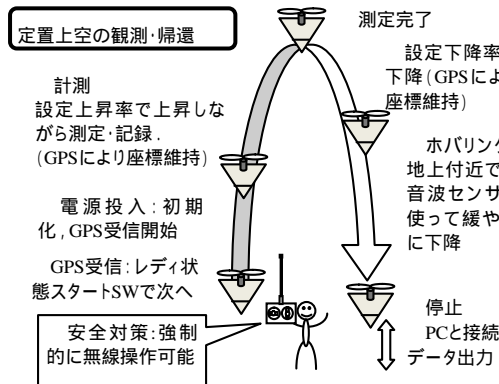


図4 気象観測の動作フロー例

試作した飛行体とその装備について図5に示す。上昇・下降には最高出力100Wのブラシレスモータを用い、8インチのプロペラを直結している。尾翼の制御には小型サーボモータを用いた。機体の方向は地磁気センサで検出し、GPSから位置情報、気圧センサで地上からの相対高度、超音波センサで地上との距離を得てAVRマイコン（ATMega328P）で飛行制御を行った。マイコンに内蔵された10ビットA/Dコンバータにより最高4チャンネルの計測ができる。機体総重量は約200gで11.4V/450mAのリチウムポリマー電池による8分間の浮上の能力を有する。無線操縦（R/C）の受信機を搭載し自律飛行と無線操縦を併用できるようにしている。開発段階では一部無線操縦を併用しながら、飛行原理と移動原理の検証、高高度での温度計測および帰還後の結果読み出し等、部分毎に試験・調整し、最終的には全モジュールを統合して全自動の飛行が

可能となった。

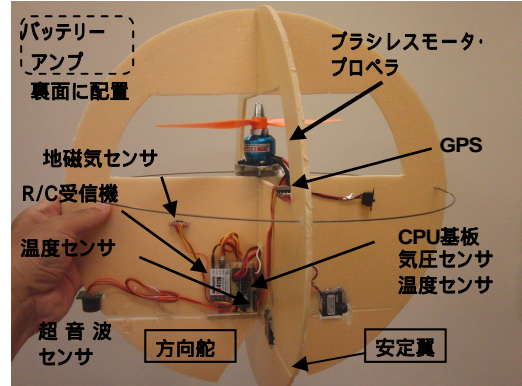


図5 試作した自転式飛行体

次に飛行の高高度化について検討した。上昇力を上げるためには、モータ・プロペラの大形化とモータの多重化（二重反転モータの利用）が考えられる。そこで二重反転モータの利用による上昇力の増加を狙った機体製作を行った（図6）。二重反転モータを利用すればプロペラの反力を相互に打ち消して機体のヨー軸制御を行なうことができる。しかし、二重反転型のヘリコプターに機体の自転制御を組み込むことで、機体を回転させながらの飛行制御が可能となり、移動しながらの全方向のカメラ観測等が実現できる。通常の二重反転型ヘリコプターはモータの一方に不具合を生じた時に機体が回転して制御不能に陥ってしまうが、機体の自転制御によりこのような時でも帰還可能となるフェールセーフ機能を与えることができた。

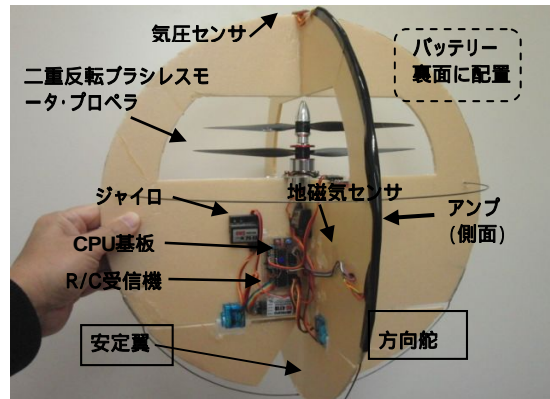


図6 二重反転プロペラによる自転式飛行体

モータ・プロペラの大形化については、高出力のモータを購入して製作を進めると共に、図7に示す3枚プロペラ形状の回転飛行体を新しく考案して動作検証を行った。推進用のモータと制御用の可動翼を持つ3翼を固定ピッチ角でプロペラ状に接合した形状を持つ。中央部分に姿勢を計測するセンサおよび制御基板を有し、中央下部にバッテリー等の重量物を配置する。翼に備えられた3つのモータによりプロペラを回転させて推力を得ると機体は回転し、ピッチ角と翼形により揚力

を得て機体は回転しながら螺旋状に浮上する。機体の高度はモータの出力により制御可能で回転翼機より高効率で浮上できる。

機体の横方向の移動は機体の回転面を傾けることにより行う。図8は方位とセンサ基板の向きと加速度との関係である。機体が水平な場合には加速度センサのx,y軸出力は0,z軸のみ重力加速度の一定値を出力するが、図8(a)のように機体が傾いたまま回転する場合には、図8(b)のように、x,y軸は位相が90度異なる周期的な出力と、傾きにより減じられたz軸出力を得る。これらの関係から機体の傾きと方向を得ることができるので、機体の姿勢を常にモニタし適正な補正を加えることで指示された向きと角度を一定に保つことができる。

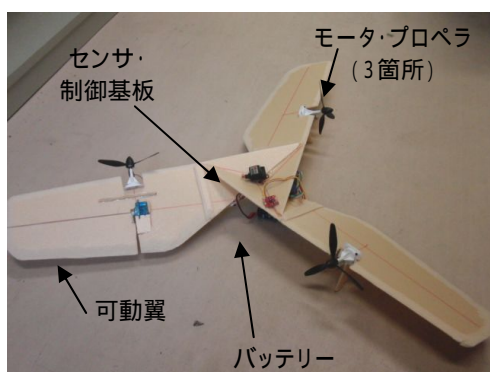


図7 プロペラ形状を持つ飛行体

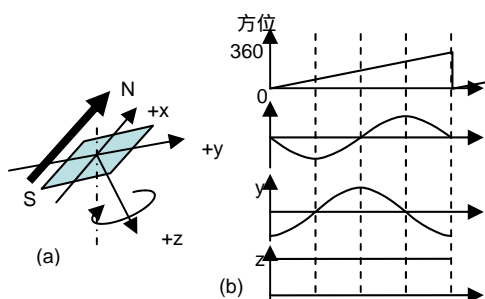


図8 飛行姿勢と加速度センサ出力の関係

本研究により、気象観測を目的として自転式自律飛行体を考案し、試作機により動作原理の検証、姿勢制御、自律飛行までを行なうことできた。姿勢制御と高度制御が想定していたより難しく研究が遅れてしまい当初計画していた観測試験までを行なうに至らなかったが、今後は環境計測試験を継続して行い、本研究の成果の実用化を目指したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

葉山清輝, 入江博樹, 齋藤郁雄, “気象観測を目的とした自転式飛行体のGPSによる自律制御”, 測位航法学会ニューズレター 第巻第2号, (2012), p.3.

〔学会発表〕(計7件)

葉山清輝, 入江博樹, “上空観測を目的と

した自転式飛行体の開発”, 平成25年度(第66回)電気関係学会九州支部連合大会, 平成25年9月24-25日.

葉山清輝, 入江博樹, “気象観測を目的とした自転制御による自律飛行体”, くまもと発 新技術説明会, JST 東京本部別館ホール, 平成25年8月9日.

入江博樹, 葉山清輝, “二重反転モータによる飛行体の自転制御によるフェールセーフ機能”, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013(ROBOMECH2013), つくば国際会議場 平成25年5月22-25日.

葉山清輝, 入江博樹, “3枚プロペラ形状の回転飛行体の開発とその飛行制御”, ロボティクス・メカトロニクス講演会2013(ROBOMECH2013), つくば国際会議場 平成25年5月22-25日.

葉山清輝, 入江博樹, “自転式自律飛行体の開発”, 第27回 熊本県産学官技術交流会, 平成25年1月.

葉山清輝, 入江博樹, “自転式自律飛行体の移動機構”, 計測制御学会 第13回システムインテグレーション部門講演会(SI2012), 平成24年12月.

葉山清輝, 入江博樹, “気象観測を目的とした自転式飛行体のGPSによる自律制御”, 平成24年度 測位航法学会 全国大会 セッション2-4, 平成24年4月20日.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

「局所気象変動観測 自転式飛行体を試作 熊本高専 GPS で自律制御」日刊工業新聞 2013年7月31日, 23面

「熊本高専、局所気候変動観測向け自転式飛行体を試作 - GPS で自律制御」, 日刊工業新聞 Web版, 2013年7月31日, <http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0720130731eaab.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

葉山 清輝 (HAYAMA Kiyoteru)

熊本高等専門学校・情報通信エレクトロニクス工学科・教授

研究者番号: 00238148

(2) 研究分担者

入江 博樹 (IRIE Hiroki)

熊本高等専門学校・建築社会デザイン工学科・准教授

研究者番号: 70249887