

A4-7 テザー係留型飛行ロボットの開発

福井大学 工学部 知能システム工学科 進化ロボット研究室
十河 啓示 (指導教員：高橋 泰岳、前田 陽一郎)

1. 緒言

近年、クリーンエネルギーを用いた発電方法が注目されている。そのひとつに風力発電があるが、地上付近では風力や風向の変化が大きく、安定した電力の供給が難しい。また、大規模な発電施設は建設費用が膨大になり、建設場所も限られる。

そこで、地上に発電施設を構えるのではなく、高高度の風力を利用して発電を行うシステムが考案されている。例えば「MARS (Magenn Power Air Rotor System)」[1] は、俵型の浮揚体の中にヘリウムガスを入れ、高度 200～300m に浮揚させ、俵型のロータを回転させることにより発電を行う。また、ジェット気流を用いて、発電や通信・環境計測を行う係留浮揚体の考案も行われている [2,3]。これらのように高高度の風を発電に活かす試みが進められているが、上空に停留するためのヘリウムガス、浮力を得るためにロータを回す電力を使ってしまう。また、従来から提案されているものの多くは比較的大規模なため、設置や移動が困難である。

一方で、既存の大型発電施設に依存することなく、小型発電設備を備え、エネルギー供給の安定性向上や環境への負荷を低減する分散型のエネルギーシステム、マイクログリッド [4,5] も注目されている。このシステムでは、一つの発電設備からの電力供給量が少なくても、その設備を数多く運用することで、多くの電力供給を行うことができる。また、小型の設備のため、建設や設置コストが軽減され、一部が故障しても他の設備でシステムの機能を維持することができ、システムの安定性向上にも効果がある。

そこで本研究では小型で設置や移動、修復が容易かつ高高度で発電可能なシステムを目指し、パラグライダーをモデルとしたテザー係留型自律飛行ロボットを開発する。発電機や通信・観測機器を搭載することで、様々な場面での活用が期待でき、さらに、マイクログリッドのための小規模発電設備としても応用できる。本報告では、自律飛行を実現するための機体、制御システムの開発を行い、有効性を検証する飛行実験、評価を行う。

2. テザー係留型飛行ロボット

本研究で開発するテザー係留型飛行ロボットはラジコンパラモータ (Paralight Aviation 社「PARALIGHT EB3000」) を改造し製作する。飛行ロボットの翼にはパラグライダーを用いる、パラグライダーは飛行機と比べ非常に軽く柔軟なため持ち運びも容易で、折りたためることから収納のしやすさや小型化にも貢献する。また、パラグライダーの操縦は 2 本のコントロールラインで行えるため、制御機構を簡略化でき、結果として制御機構の小型・軽量化に貢献する。離陸の際も飛行場のように大きな空間を必要とせず開けた斜面から

も離陸できる。市街地でもパラモータであれば河川敷やグラウンドからの離陸が可能である。上空で係留されている時は風を受けることによって、風のよう飛行できるため余分なエネルギーを消費しない。ただし、上空で安定して停留するための姿勢制御を行う必要がある。

開発する飛行ロボットは大きく分けてパラグライダーと姿勢制御装置の二つで構成されている。パラグライダーとパラグライダーの操縦を行う機構はラジコンから流用し、その他の機体と制御システムを新たに構築する。製作した飛行ロボットを図 1 に示す。

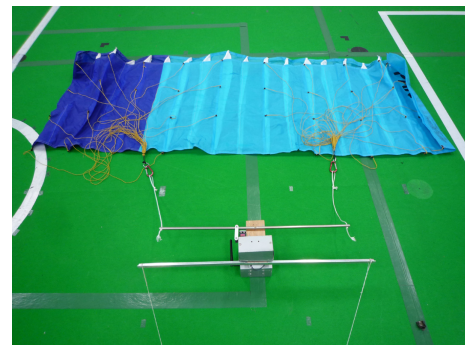


図 1: テザー係留型飛行ロボット

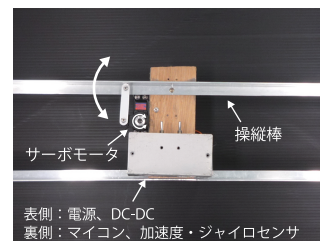


図 2: 姿勢制御装置拡大図

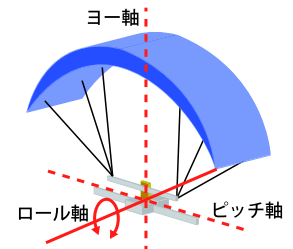


図 3: 飛行ロボット模式図

姿勢制御装置には操縦棒、サーボモータ、SH-2 マイコン、加速度・ジャイロセンサ、無線シリアル通信ボードが含まれる。操縦棒の先端にはパラグライダーからのコントロールラインが繋がっており、操縦棒の角度を変えることによって、コントロールラインを引き操縦する。操縦棒はサーボモータとリンク機構で連結されており、サーボモータの回転角度に応じて操縦棒の角度も変化する。パラグライダーはラインを引いた側に旋回する。地上とは 2 本のテザーで繋ぐ。

2.1 制御

飛行ロボットの姿勢制御は、飛行ロボットのロール角度を加速度・ジャイロセンサから取得し、カルマンフィルタによって鉛直下方向を推定した上で、後述の制御式を用いてサーボモータの回転角度を決定し、姿

勢制御を行っている。

制御方式

$$\varphi(t) = \varphi(t-1) - k_1(\theta(t) - \theta_d) \quad (1)$$

φ はサーボモータの回転角度、 k_1 はゲイン、 θ は機体のロール角度、 θ_d は目標ロール角度 (機体が水平時のロール角度) である。

この制御方式は、サーボモータ回転角の加算量が比例変化する制御である。水平時のロール角度と現在のロール角度との差を求めて、その大きさにより加算される回転角が決定される。ロール角度の差が大きい場合、サーボモータ回転角度の変化も大きくなる。

また、制御パラメータとして上述したゲイン、加算量のほかにロール角度取得周期、PWM 信号生成周期の二つがある。ロール角度取得周期は、ロール角度の変化の平均値を取得する周期である。PWM 信号生成周期は、サーボモータを制御する PWM 信号が更新される周期である。

3. 飛行実験

製作した飛行ロボットを用いて、傾き特性、飛行制御の有効性を検証するため飛行実験を行った。

3.1 屋内実験

製作した姿勢制御装置を用いて、先に述べたパラメータの値を変更した時の飛行ロボットの動作を調査する実験を行った。実験は室内で大型扇風機を用いて風を起し、小型のパラグライダーを姿勢制御装置に取り付けた上、姿勢制御装置を移動台に固定し飛行状態を再現した (図 4 参照)。

はじめに飛行制御を行わない場合 (機体に対して、常に操縦棒を平行に維持した場合) と制御を行った場合を比較した。飛行ロボットのロール角度を変化させるため移動台を徐々に傾けていきパラグライダーが落下した時の移動台の角度を調べた。それぞれ 5 回試行した時の最大角度の平均は、制御を行わない場合 13.2[deg]、制御を行った場合 26[deg] であった。このことから、制御を行った場合、制御を行わない場合の 2 倍近くの傾き角度まで対応できることが分かる。

次に、機体・操縦棒ともに水平状態で制御を開始し、移動台を約 15[deg] 傾ける動作を行い、機体が水平状態になるまで保持した時の挙動を調査した。図 5 にゲインは 0.01、ロール角度取得周期は 0.001[s]、PWM 信号生成周期は 0.005[s] のとき実験結果を示す。緑線は移動台の傾き、赤線は機体のロール角度を示しており、機体角度が 0[deg] に近いほど安定していることを示す。

3.2 屋外実験

製作した飛行ロボットを用いて、飛行制御の有効性を検証するため飛行実験を行った。飛行ロボットはクライアント PC と無線にてシリアル通信を行い、制御開始・停止指示、パラメータ設定、ロール角度の取得を行う。飛行開始時はパラグライダーが風を受ける力で上昇する。上昇したらクライアント PC から制御開始の指示を出し、飛行ロボットが着地するまで制御を行う。飛行可能な地上付近の風速は約 4m 以上であった。

制御の評価には飛行時に加速度・ジャイロセンサから得たロール角度を用いる。飛行時のロール角度が 0[deg]



図 4: 実験風景

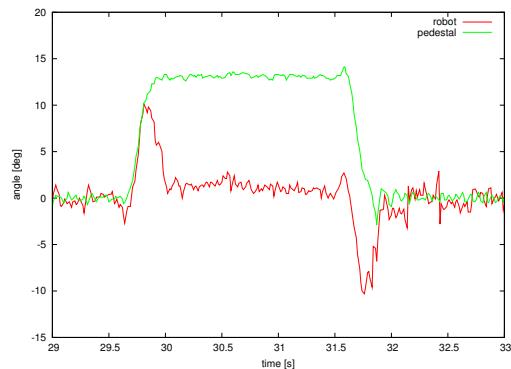


図 5: 実験データ

付近で推移している飛行ほど、安定して飛行していると評価することができ、その制御方式は自律飛行に適していると言える。

4. 結言

本研究ではパラグライダーをモデルとしたテザー係留型飛行ロボットの開発を行い、飛行実験を通して制御方式の評価を行った。屋内実験では、各パラメータにおける飛行ロボットの挙動への影響を調査した。また、屋外飛行実験では自律飛行制御の有効性を検証を行った。今後、開発した飛行ロボットを利用し、風力発電や情報収集・発信システムの実現を目指し、小型発電機や各種機器の検討及び搭載を進める。

参考文献

- [1] Wouter Engels, Tom Obdam, Feike Savenije, “Current developments in wind,” Energy research center of the Netherlands, No.ECN-E-09-96, pp.68,69 (2009)
- [2] 愛知 久史, 熊田 稔, 小林 敬, 杉山 善幸, 堀井 憲爾, 横井 信司, “高空係留浮揚体を風力発電と環境・通信技術へ活用する構想並びに並列型揚力ローターをもつ係留有翼浮揚体の上昇特性に関する予備的研究,” 大同工業大学紀要, Vol.38, pp.213-223 (2002)
- [3] 愛知 久史, 熊田 稔, 小林 敬, 杉山 善幸, 堀井 憲爾, 横井 信司, “高空係留浮揚体の風力発電と通信技術・環境計測への応用,” 電気製剛, Vol.74, No.3, pp.167-172 (2003)
- [4] 建設電気技術協会, “TEALS 建設電気技術,” 建設電気技術, Vol.151, pp.16,17 (2005)
- [5] 藤井 繁雄, “エネルギー総研レビュー,” 中国電力エネルギー総合研究所, Vol.1, pp.17 (2005)