

## A2-1 テザー係留型飛行ロボットの自律的飛行制御

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  
石井 徹 (指導教員：高橋 泰岳, 前田 陽一郎)

### 1. 緒言

近年、大規模災害時や人が近づけない時の情報収集の手段として、航空機による上空からの情報収集が重要視されている。これは道路の寸断等により地上での情報収集が困難である事や上空から広範囲を見渡せる事が情報収集に有利なためである。

そこで、上空からの自律的な情報収集システムとしてバルーン [1,2] や航空機を利用するシステム [3,4] の研究が行われている。バルーンを用いるシステムは、騒音が少なく長時間上空に留まる事ができるが、継続的に飛行を行う為にヘリウムガスの常備が必要であり、バルーンにガスを充填する事が必要なため展開するまでに時間を要する事が問題となっている。航空機を使うシステムは、短時間で展開でき機動力に優れているが、燃料の制約により長時間連続した活動が困難である。

本研究では、バルーンや航空機での情報収集を補完し、短時間で展開可能で長時間の活動ができるシステムを目指し、自然エネルギーである風力を利用するカイトをモデルとしたテザー係留型飛行ロボットを製作し自律的飛行の実現を目指す。カイトは適度の風があれば飛行できるため、ヘリウムガスなどの常備が必要なく、バルーンを用いるシステムに比べ短時間に展開できる。また、一般的に高度が高くなれば風力が上がるため、一度上空まで上がることができれば継続的に飛行できる可能性があり航空機を用いるシステムに比べ長時間の運用が可能である。

カイトの制御は地上と繋がっているテザーラインを巻き取る、送り出すの二つの動作で実現できるが、二つの動作に対応する飛行ロボットの飛行状態の変化はロボットの姿勢、高度や周囲の風速などによって変化する。そこで、飛行ロボットに周囲の状態や自機の状態を計測するセンサを搭載し、繰り返し飛行実験を行う事でデータを収集しテザーラインの制御を検討する。また、飛行ロボットや周囲の状態に応じたテザーラインの制御により自律的飛行制御を行った後、その評価と考察を行う。

### 2. テザー係留型飛行ロボット

製作したテザー係留型飛行ロボットの模式図を図 1 に示す。このシステムは飛行ロボットと地上ユニットから構成されている。

飛行ロボット (図 2) には簡易風速計、自機の状態の計測やデータ送信のための Android 端末が搭載されている。飛行ロボットでは、簡易風速計で計測した風速を USB 接続した Android 端末を用いて地上ユニットに送信する。また、同時に Android 端末内部の加速度センサ・磁気センサ・GPS の情報を地上ユニットに送信する。カイトは翼幅 3.2m、翼弦長 1.5m の物を使用した。このカイトは 1.5kg 程度の物なら飛行に支障なく搭載することが出来る。

地上ユニット (図 3) では上空から送られてきた情報等を元にテザーラインの制御を行う。制御の演算にノートパソコンを使用しているため、比較的大規模な計算も可能であり、複雑な計算を必要とする制御方法も使用することが出来る。また、テザーラインには耐荷重 68kg のポリエチレン繊維ラインを使用した。

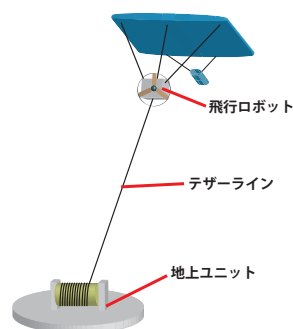


図 1: テザー係留型飛行ロボット模式図

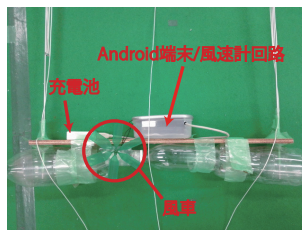


図 2: 飛行ロボット

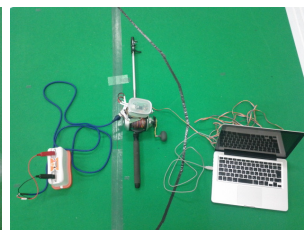


図 3: 地上ユニット

#### 2.1 制御

風揚げでは風の様子を見ながら手にかかる力が強い時に糸を送り出して高度をあげ、落下してきた時には糸を巻き取り高度を保とうとする。カイトも同様の操作で飛行を行うが、試作したロボットではテザーラインにかかる力を直接測る事や画像認識によってロボットの状態を理解する事ができないため、上空の風速を利用して制御を行う。上空の風速が強いときにテザーラインを巻き取る力を緩め、風速が弱いときに巻き取る力を強める。式 1 に制御式を示す。試作したロボットではどのような制御を行えば不明のため、巻き取る力を変化させる段階を調整出来る様にした。

$$\varphi(t) = \begin{cases} \varphi(t-1) + \Delta\varphi & \text{if } W_{i-1} < W < W_i \\ \varphi(t-1) - \Delta\varphi & \text{if } W_i < W < W_{i+1} \end{cases} \quad (1)$$

$$i=1, \dots, n$$

実際の風速を  $W$ 、制御量を  $\varphi(t)$  とする。 $\Delta\varphi$  は PWM のデューティ比の増減値、 $W_i$  は風速の閾値であり、 $n$  が大きいほど細かく設定できる。

### 3. 飛行実験

飛行ロボットの制御方法の検討、検証のために飛行実験を行った。

#### 3.1 予備実験

予備実験ではカイトにデータロガを取り付けて上空の風速などのデータ収集を行った。この実験では、GPS ロガー及び風速計を搭載した飛行ロボットを人間が操作し上空のデータを収集した。一定の高度に長くとどまるように操作し、それぞれの高度による風速の取得を行った。

約 40 分間飛行を行った際の GPS による航跡を図 4 に、風速-高度の関係を図 5 に示す。図 5 より上空での風速は 2m/s から 10m/s とばらつきがあるため、制御が必要であることがわかった。使用しているカイトは 2.2m/s 程度の風で飛行することが可能であるが、観測機材を搭載しているため風速が 2.5m/s 程度ないと飛行高度の低下につながる。上空では風速が弱いときもあるが、地上に比べて強い傾向があり上空に行くに従って長時間飛び続けられると考えられる。

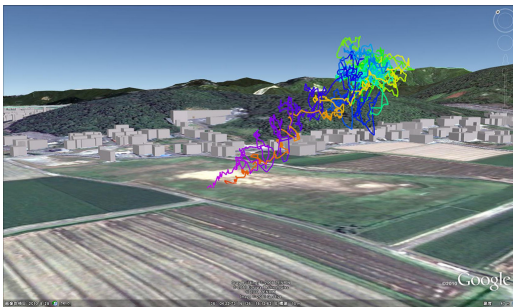


図 4: GPS による航跡

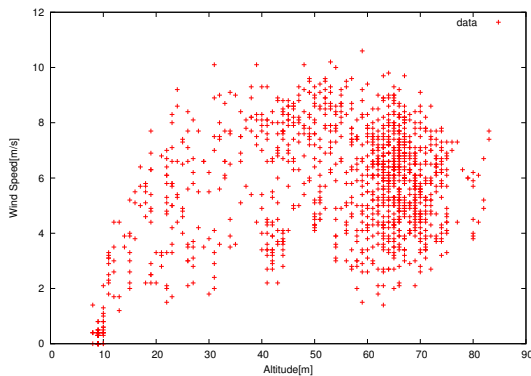


図 5: 風速-高度の関係

#### 3.2 風速による制御

風速による制御を行い、上空の風速に応じたテザーラインの巻き方を変えることで継続的な飛行が可能である事を確認する。リリース時の制御はブレーキの設定のみで、テザーラインを 80m 伸ばした状態から実験を開始し、風速に応じて巻き取りの制御を行う。本実験では n の値は 7 として、風速によって巻き取る力を変化させる段階を 7 段階にした (図 6 参照)。

図 7 に実験時のデータを示す。赤線がモータ出力、緑線が風速、青線がテザーラインの長さである。実験中盤ではテザーラインの長さが長くなっていることから

リリースされている事が分かる。実験終盤では風速が弱くなり、巻き取りによって風速を保っている事が分かる。

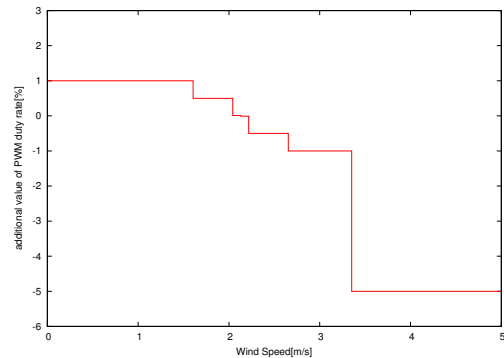


図 6: 制御パラメータ

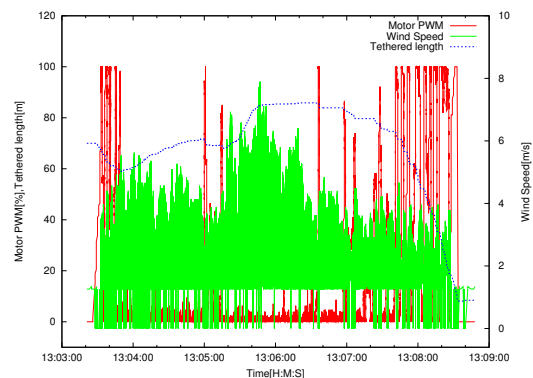


図 7: 実験データ

### 4. 結言

本研究では、カイトをモデルとしたテザー係留型飛行ロボットを製作し飛行実験を通じて制御方法の検討、改善を行った。予備実験では上空のデータを収集し制御方法の検討を行った。飛行実験では検討した制御方法の有効性を確認し、改善を試みた。今後、情報収集システムの実現を目指し、自律飛行の実現や風力発電装置などの各種機器の搭載について検討や実験を進める。

#### 参考文献

- [1] 小野里雅彦, 林潤一、情報収集配信用係留気球 InfoBalloon の開発、日本ロボット学会誌、Vol. 24、No. 8、p. 39 (2006)。
- [2] 深尾隆則、画像情報に基づく自律型飛行船ロボットの開発、日本ロボット学会誌 = Journal of Robotics Society of Japan、Vol. 24、No. 8、p. 929 (2006-11-15)。
- [3] 藤永仁、得竹浩、砂田茂、小型無人航空機の誘導制御と自律飛行試験、日本航空宇宙学会論文集 = Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences、Vol. 56、No. 649、pp. 57-64 (2008-02-05)。
- [4] 中西弘明, 井上紘一、防災用自律型無人ヘリコプタの開発、日本ロボット学会誌、Vol. 24、No. 8、p. 20 (2006)。