

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：13401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650118

研究課題名(和文) 自然エネルギーを利用するテザー係留型飛行ロボットによる発電・観測システムの開発

研究課題名(英文) Development of Tethered Flying Robot utilizing Wind Power for Wind Power Generator and Observation System

研究代表者

高橋 泰岳 (Takahashi, Yasutake)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90324798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：自然エネルギーを有効利用し、建設コストが小さい情報収集発信システムとして、カイト型テザー係留型自律飛行ロボットシステムを構築した。本システムはカイトに2自由度風速計、GPS、気圧計と無線通信装置を取り付けた飛行ユニット、これを牽引するテザー、テザーを制御するウインチ機構と飛行制御装置を持つ地上制御ユニットで構成される。また、このシステムのための自動飛翔制御システムや係留制御システムをシミュレーション上で構築し、実環境で実証実験を行った。

研究成果の概要(英文)：We have proposed a kite-based tethered flying robot based on a kite that flies with wind power as one of the natural power sources. It is supposed to be an information gathering system that complements other ones based on a balloon or an airplane and has advantages of short setup time and long-term observation.

The flight unit of the robot is controlled with one tether line connected to a line-winding machine on the ground by winding or releasing the line. The robot has sensors that measure wind speeds around the flight unit, its body posture and location in the air. Real robot experiments and computational simulation are conducted to confirm that the Fuzzy-based controller takes the kite off from the ground autonomously and keeps it stationary in the air.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：飛行ロボット テザー係留型飛行ロボット カイト

1. 研究開始当初の背景

(1) 空中からの情報収集システムとして、気球を使うシステムやヘリコプタ等の航空機を使うシステム等が研究されているが、気球を使う場合ヘリウムガスの常備が必要であり、航空機を使う場合燃料の制限により長時間の活動が困難である。

(2) そこで、研究代表者らは自然エネルギーを最大限利用したモニタリングシステムを目指し、パラグライダーやカイトをモデルとした飛行ロボットを提案し、開発を進めている。

2. 研究の目的

(1) 自然エネルギーを有効利用し、建設コストが小さい高高度情報収集発信システムとして、カイトをテザーで係留する自律テザー係留型飛行ロボットシステムを構築し、実環境下における実験を通して将来の高高度風力発電・情報収集発信を実現する基礎技術を開発する。

(2) 単体のカイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットを構築し、実環境下で実験を繰り返すことで、カイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットの運動モデルを構築し、これをもとにシミュレータを開発する。

(3) カイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットに安定した飛行を実現する制御システムを構築し、シミュレーション上で性能を確認した上で、実ロボットを用いた実験で実証実験する。

(4) さらに、人の操作データにもとづく学習制御システムを構築し、シミュレーション上で性能を確認し、実ロボットを用いた実験でその性能を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) カイトに2自由度風速計、GPS、気圧計、モーションセンサと無線通信装置を取り付けた飛行ユニット、これを牽引するテザー、テザーを制御するウインチ機構と飛行制御装置を持つ地上制御ユニットで構成されるロボットを設計、構築する。(図1参照)

(2) 上記3(1)のテザー係留型飛行ロボットを用い、実環境下で実験を繰り返すことで、カイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットの運動モデルを構築し、これをもとにシミュレータを開発する。

(3) カイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットに安定した飛行を実現する制御システムを構築し、上記3(2)で構築したシミュレータを利用して検証を行い、その有効性を確認する。

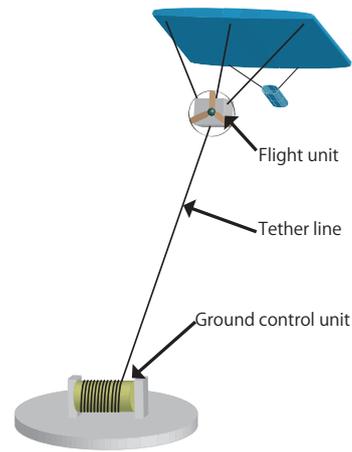


図1 カイトを規範としたテザー係留型ロボットの模式図



図2 カイトと飛行ユニット

(4) 上記3(3)で得られた制御システムを用いて実環境下で3(1)で構築した実ロボットを制



図3 地上ユニット

御し、その有効性を確認する。

(4) 人の操作データにもとづく学習制御システムを構築し、シミュレーション上で性能を確認し、実ロボットを用いた実験でその性能を明らかにする。

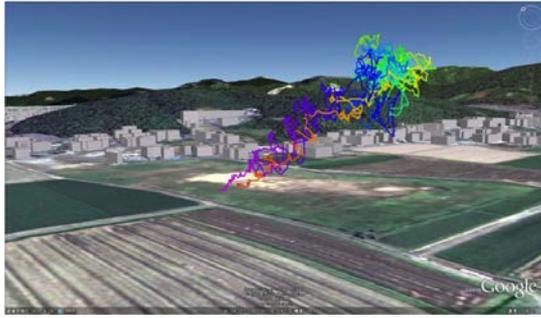


図 4 飛行ユニットに搭載した GPS と気圧計を用いて測定した高度にもとづく飛行ユニットの飛行中の軌跡の例

4. 研究成果

(1) カイトに 2 自由度風速計, GPS, 気圧計と無線通信装置を取り付けた飛行ユニットを設計・構築した。(図 2 参照)

(2) テザーを制御するウインチ機構と飛行制御装置を持つ地上制御ユニットを設計・製作した。(図 3 参照)

(3) 上記 4(1)および(2)を用い, 実環境下で実験を繰り返し, データを蓄積した. 実験では飛行ユニットに搭載した 2 自由度風速計, GPS, 気圧計, モーションセンサの出力, 地上ユニットのウインチ機構への入力の時系列データを収集した. 飛行ユニットに搭載した GPS と気圧計を用いて測定した高度にもとづく飛行ユニットの飛行中の軌跡の例を図 4 に示す.

(4) カイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットの数式モデルを構築した(図 5 参照). 揚力 L と抗力 D 等のパラメータを実ロボットによる実験データを用いて同定し, 実ロボットの動きとシミュレーション上のロボットの動きが, 後のシミュレーションによる制御器の評価に利用するために十分な精度を持つことを確認した.

(5) 人の凧揚げの要領を参考にし, カイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットに安定した飛行を実現するファジィ制御システムを構築し, 上記 4(4)で構築したシミュレータを利用して検証を行い, その有効性を確認した.

(6) 4(5)で構築したファジィ制御システムを実環境下で実ロボットに適用し, その飛行ログを収集し, 実ロボットにおける有効性を確認した. 図 6 に飛行ユニットの飛行ログの一部を示す. 人が凧揚げをする要領と同様に, 風が弱まったときにテザーを巻き上げ(ウインチへの入力である Motor PWM を高くする), 逆に風が強くなったときにテザーを繰り出す(ウインチへの入力である Motor PWM を小さくする)ことによって, 風速が変動す

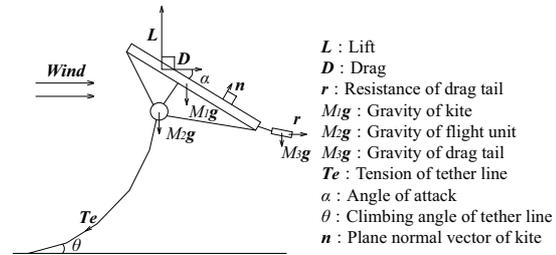


図 5 カイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットの数式モデル

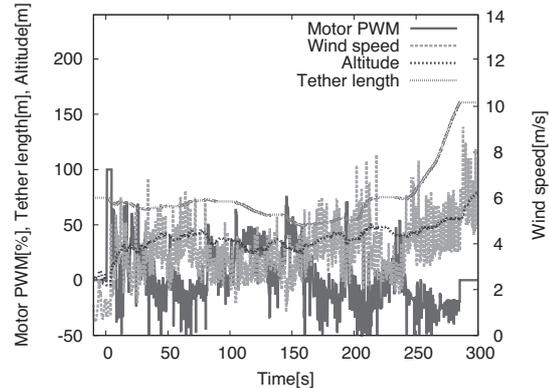


図 6 飛行ユニットの飛行ログ

る環境下でも, 適切にテザーを制御し, 飛行ユニットの高度を下げないようにすることで, 安定した飛行を実現できることを示した. この詳細については「5. 主な発表論文等」の〔雑誌論文〕①に記載してある.

(7) 上記の 4(5)で構築したファジィ制御システムは人の凧揚げの要領を参考にして構築したが, 制御パラメータの設計は設計者の直感に任されており, 実際の人の操作と異なる可能性がある. そこで, 人の操作データにもとづく学習制御システムを構築し, シミュレーション上で性能を確認した. この研究の一部は「5. 主な発表論文等」の〔学会発表〕②で発表している.

(8) 4(2)で設計・製作したテザーを制御するためのウインチ機構は最大巻き上げ力が 25kgf, 最大巻き取り速度 2.5m/秒と能力が低く, 強風時にはモータが過熱し, 制御が困難であった. また力が弱いためカイトも小型であり, 飛行ユニットのペイロードも小さいため, システムとしては貧弱であった. そこで, 最大巻き上げ力を 100kgf, 最大巻き取り速度が 5m/秒まで実現可能なウインチ機構を設計・製作した(図 7 参照). カイトも翼幅 3.2m, 翼長 1.5m のものから翼幅 4.5m, 翼長 2.1m のものに大型化し, ペイロードが約 700g から約 1400g まで上がることを確認した. 飛行ユニットを再設計・製作し, その基本動作を確認した. 実環境下での実ロボットの様子を図 8, 9 に示す.



図 7 大型ウインチ機構



図 8 カイトを規範としたテザー係留型飛行ロボットの飛行の様子



図 9 飛行中の飛行ユニットの画像

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Yasutake Takahashi, Tohru Ishii, Chiaki Todoroki, Yoichiro Maeda,

Takayuki Nakamura, Fuzzy Control for a Kite-Based Tethered Flying Robot, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, Vol.19, No.3, pp.349-358, 2015
<http://hdl.handle.net/10098/8804>

[学会発表] (計 8 件)

- ① 轟千明, 高橋泰岳, 岡本明, 加藤万寿夫, 山崎敏夫, 田中史朗, 濱上雄大, 中村恭之, テザー係留型飛行ロボットのための大型地上制御ユニットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 2A1-F02, 2015.05
- ② Chiaki Todoroki, Yasutake Takahashi, and Takayuki Nakamura, Learning Fuzzy Control Parameters for Kite-based Tethered Flying Robot using Human Operation Data, Proceedings of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2014), 査読有, pp.111-116, 2014
- ③ Tohru Ishii, Yasutake Takahashi, Yoichiro Maeda, Takayuki Nakamura, Fuzzy Control for Kite-based Tethered Flying Robot, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 査読有, pp.746-751, 2014.07,
<http://hdl.handle.net/10098/8417>
- ④ 轟千明, 高橋泰岳, 中村恭之, 人の操作データに基づくテザー係留型飛行ロボットのためのファジィ制御パラメータの学習, 第32回日本ロボット学会学術講演会, 3J2-03, CD-ROM, 2014.9
- ⑤ 石井徹, 轟千明, 高橋泰岳, 前田陽一郎, 中村恭之, テザー係留型飛行ロボットの開発と自律飛行制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 2A1-A04, 2014.5
- ⑥ Tohru Ishii, Yasutake Takahashi, Yoichiro Maeda and Takayuki Nakamura, Tethered Flying Robot for Information Gathering System, IROS'13 Workshop on Robots and Sensors integration in future rescue Information system (ROSIN'13), 査読有, 2013
- ⑦ 轟千明, 高橋泰岳, 中村恭之, テザー係留型飛行ロボットのシミュレータ開発, 日本知能情報ファジィ学会第22回北信越支部シンポジウム講演論文集, S32, pp.31-32, 2013.11
- ⑧ 石井徹, 高橋泰岳, 前田陽一郎, 中村恭之, テザー係留型飛行ロボットの自律飛行制御, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会, RSJ2012AC4F3-3, Vol. DVD-ROM, 2012.9

〔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〕

ホームページ等

<http://www.ir.his.u-fukui.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 泰岳 (TAKAHASHI, Yasutake)

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90324798