

# 平成 30 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災

研究期間：平成 30 年度

課題番号：183010

研究課題名（和文）：

テザーでつながれた UAV(無人航空機)の運動と制御の基礎研究

研究課題名（英文）：

Fundamental Study on Dynamics/Control of Tethered UAV(Unmanned Aerial Vehicle)

研究代表者：藤井裕矩 (TMIT)

交付決定額（当該年度）： 150,000 円

## 1. 研究の目的

高空では地上の境界層から受ける影響が少ないため、豊富で定常的な風力エネルギーを得ることが出来る。観測の結果の一例として、高空においては、高度が 50m を超えると風速が増し、高度 100m 程度で風速は地上に比較して約 1.6 倍程度増加することが分かった。参加メンバーはこれまで、高空の風力を用いた風力発電技術に関して基礎的な研究を進めてきた。

現在我々のチームで進めている方式の一つは、優れた性能が期待できる直線翼風車を、テザー型の UAV(Unmanned Aerial Vehicle: 無人機)を用いて風力の豊かな上空に設置し、得られた風力エネルギーをテザー伝達装置を通して地上に設置した発電機に送るものである。これは世界各国で進められている多くの手法の中で我国の優れた直線翼風車技術とテザー技術を応用した我国独自の技術である。本年度は、この手法によって 30W までの電力を得ることが出来た。

より大量の発電量を得て風力発電を有効に行うための手法として、UAV を単に高空に設置するのみならず、八の字飛行で代表される閉軌道上を飛行させることができれば、大きな面積をスイープし、より大量の風力エネルギーを利用することが出来る。このため、高空の風速増加に加えて、2~3 倍の増加を見込むことが出来、地上に比較して 27~125 倍の風力エネルギーを得ることが見込まれる。このような閉軌道は不安定であるため、安定化の制御が必要なが分かっており、さらに、高空での風況が一様でないため UAV の飛行についてはロバストな実時間制御が必要となる。

## 2. 研究の方法

本研究においては、UAV の空力特性を実験的に検討し、空力モデルを推定し、所定の高空に設置しかつ広い上空をスイープするための運動制御について検討を進める。このために、グライダー模型を用いて検討を行った。すなわちこれらを用いて、その性能を解析的研究、数値シミュレーション、ならびに、フィールド実験によって検討する。この研究によって、高空風力発電の特徴である豊富な高空風力を利用した風力発電の必要な基本特性を見出すことが出来ることが大いに期待される。

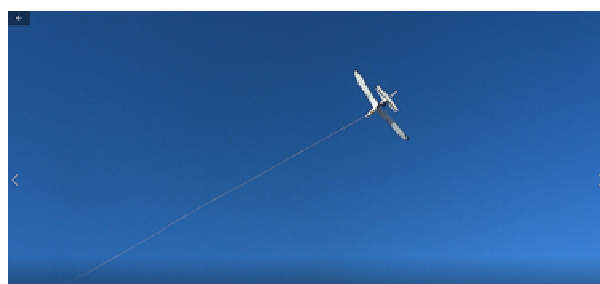


Fig. 1 妻沼グライダー滑空場におけるフィールドテスト (2019 年 1 月 24-27 日)

## 3. 研究成果

本研究は、日本で関係する研究者たちが高空風力を利用した風力発電の研究を軸にして結集したものである。高空風力発電手法として現在 4 つのタイプ：1) ポンピング型、2)

テザー伝達型、3)ねじれ伝達型、4)フライゲン(発電機浮揚型)を念頭に置き、それらの重要な要素技術について検討を行っている。このうち2)のテザー型は、断続的な発電がおこなわれる主流に対して連続的な発電を継続することを目標とした極めて独創的なものである。このために用いられるテザー技術はエネルギー伝達機構として有望視されているものであり、昨年度は風によって風車を浮上させて行うデモンストレーションを計画し実施したが、浮上させた風車の風向を安定させることが出来なかった。本年度は、風車の更なる改良とともに、昨年度に続いて風によって風車を浮上させて行うフライトテストを行った。これにより風車の風向の安定を得ることが出来るとともに、風のように高度や位置が振れる場合の伝達機構を合わせた検討を行い、定格30W発電機により31Wの発電を得るなど所期の結果を得ることが出来た。さらに、グライダー型の航空機模型を用いて、その飛行性能解析を行うための定式化を行った。これにより本年度においては性能解析の基礎的な定式化を行うことが出来た。この結果、広く風域をスイープさせることによって風車に対する風速を飛行体の揚力係数と抗力係数の比、揚抗比、に比例して増加させることが出来ることが分かった。このため、今後発電量の増加に向けた改良が行えることが分かった。主な成果は「藤井裕矩, 富田匠「テザー型 UAV の運動解析(定式化)」、第50期日本航空宇宙学会年会講演会、2C08、2019年4月18-19日、東京大学生産技術研究所。」において発表した。

#### 4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

なし。

〔学会発表〕(計 7件)

1. 藤井裕矩, 遠藤大希, 草谷大郎, 内山賢治, 「テザー係留型飛行体の運動に関する基礎研究」、第49期日本航空宇宙学会年会講演会、**2E051C09**、平成30年4月19-20日、東京大学。
2. Hironori A. Fujii, Hiroshi Okubo, Yusuke Maruyama, Tairo Kusagaya, Yasutake Takahashi, Takeshi Akasaka, and Hiroki Endo, “TETHERED HIGH SKY WIND ENERGY GENERATION (HSWG) PROGRESS REPORT IN 2018,” a90570. Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition、2018, June 17 (Sun) –22 (Fri), Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan
3. 藤井裕矩、赤坂剛史、大久保博志、草谷大郎、丸山勇佑、中嶋智也、高橋泰岳、遠藤大希、中台章、菊池雅行「高空風力発電の極地での有効活用手法の研究」、「第15回南極設営シンポジウム」2018年6月4日(月)、国立極地研究所
4. 草谷大郎、黒田茂将、富田匠、藤井裕矩、「一体型オールインフレータブル飛行機モデルの無人展開から飛行まで」、第5回ブイヤント航空講演会、平成30年7月16日、東京都立産業技術高等専門学校
5. 近藤智行、形川雅文、高橋泰岳、長尾晃一郎、東浦邦弥、「高空風力発電のためのヒステリシス制御によるカイト飛行の検証」第40回風力エネルギー利用シンポジウム、日本風力エネルギー学会、2018年12月4-5日、科学技術館、千代田区、東京、C3-2。
6. 丸山勇佑、原田恭輔、大久保博志、藤井裕矩、佐藤強、遠藤大希、岩原誠、関和市「直線翼風車を用いた高空風力発電システムの開発—風洞実験とフィールドテスト」第40回風力エネルギー利用シンポジウム、日本風力エネルギー学会、2018年12月4-5日、科学技術館、千代田区、東京、C3-3。
7. 大久保博志、畠山凌、小野寺未、佐藤強、藤井裕矩、丸山勇祐、「直線翼風車を用いた高空風力発電システムの開発」日本機械学会関東支部第25期総会・講演会、18E14、2019年3月18-19日、千葉工業大学。

8. 藤井裕矩, 富田匠「テザー型 UAV の運動解析 (定式化)」, 第 50 期日本航空宇宙学会年会講演会、2008、2019 年 4 月 18-19 日、東京大学生産技術研究所。

[図書] (計 0 件)

なし。

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

なし。

#### 5. 研究組織

##### (1) 研究代表者

藤井 裕矩 (株) TMIT

##### (2) 研究分担者

1. 松井 正宏 東京工芸大
2. 大久保 博志 神奈川工科大学
3. 佐藤 強 神奈川工科大学
4. 草谷 大郎 都立産業技術高専
5. 山本 広樹 都立産業技術高専
6. 丸山 勇佑 前田建設 (株)
7. 内山 賢治 日本大学
8. 高橋 泰岳 福井大学
9. 遠藤 大希 (株) TMIT

## 6. 要約(Abstract)

研究課題名 テザーでつながれた UAV(無人航空機)の運動と制御の基礎研究  
Fundamental study on dynamics/control of a tethered UAV

研究代表者 藤井 裕矩 ((株) TMIT)

### Abstract

An original concept of AWE (Airborne Wind Energy) technology is demonstrated to produce 30W by employing a tethered straight-wing windmill. The amount of the produced electronic energy can be increased sweeping a wide range of wind through orbiting any such closed trajectory as the eight-figured one. The flight performance of a UAV is studied employing an aircraft model in this research. The flight dynamics is formulated mathematically and the fundamental feature of the flight performance is analyzed including the attainable velocity of the tethered UAV is proportional to the lift/drag ratio and increases in comparison with the conventional staying one.



Fig. 1 妻沼グライダー滑空場におけるフィールドテスト (2019年1月24-27日)

### 要約

我国独自の高空風力発電手法として、直線翼風車を用いたテザー型風力発電において基礎的な技術を検討して、風車効率 30%の発電手法を確認した。本研究においては、この発電量を飛躍的に増大するための手法としてテザーでつながれた UAV の運動と制御について基礎的な素的な検討を行った。高空風力発電においては、風車の飛行高度を上げることによって得られる風速が増大し(航空路と干渉しない高度 120m において約 1.6 倍)、これをより広い風領域に運動させることによってさらに速度を増大させることが出来る。本研究によってテザーでつながれた UAV の基本的な定式化を試み、さらにその性能解析により増加する速度は UAV の揚力と抗力の比(揚抗比)となることが分かった。一般的に風の場合揚抗比は 6 程度であるので、誤差を見積もって約 3 倍程度の風速増加が見込まれることが解析的に分かった。今後、この結果を利用して更に優れた性能を持つ高空風力発電手法を検討する予定である。