

株式会社 **TMIT**

**(東京メトロポリタン工学研究所)**

Fujii Laboratory

Dynamics and Control of Space Infrastructure



2019年6月3日 10時~17時

会場:国立極地研究所 極地観測棟3階 隊員事務室兼多目的会議室  
第16回南極設営シンポジウム

## 「極地における空中風力発電の手法について」

**藤井 裕矩, Dr.Eng., Dr.Hon.(Belgrade)**

首都大学東京発ベンチャー(株)TMIT研究開発部 所長・代表取締役  
都立科学技術大学/首都大学東京 名誉教授

草谷大郎、山本広樹(都立産技高専)、丸山勇佑(前田建設)、大久保博志(神奈川工科大学)、高橋泰岳(福井大)、遠藤大希(新居浜高専)、中台章(ジオスポーツ)、赤坂剛史(金沢工業大)、菊池雅行(極地研)



# TMITの主なマイルストーン

- 2007年8月16日 首都大学東京のベンチャー企業第1号として設立。
- 2010年8月 観測ロケットS520-25による132.6mスーパーテザーの宇宙伸展に世界で初めて成功。日本・米国・欧州・豪州の国際協力。



- 2015年2月3日 科学研究費補助金取扱規程に規定する研究機関に指定

# Space Tethers Will Play a Key Role: The Project of Japan Will Be A Critical Step

**LEO Space Elevator, also called "Bridge to Space" by Lockheed Martin**

The diagram illustrates various space elevator concepts. It shows Earth with a 'LEO Space Elevator' extending to Low Earth Orbit (LEO) and an 'Earth to GEO Space Elevator' extending to Geostationary Orbit (GEO). A 'LEO to GEO Space Elevator' is also shown. The Moon is depicted with 'Lunar Towers' at the L1 and L2 Lagrange points. A vertical scale on the right side of the diagram lists various altitudes and associated concepts, including 'Space elevator and related systems', 'Space elevator for lunar orbit', 'Space elevator for geostationary orbit', 'Space elevator for low Earth orbit', 'Space elevator for lunar orbit', 'Space elevator for geostationary orbit', 'Space elevator for low Earth orbit', 'Space elevator for lunar orbit', 'Space elevator for geostationary orbit', and 'Space elevator for low Earth orbit'. The diagram also shows the Earth's orbit around the Sun and the Moon's orbit around Earth.

**Space Elevator concept from 1999 NASA study**

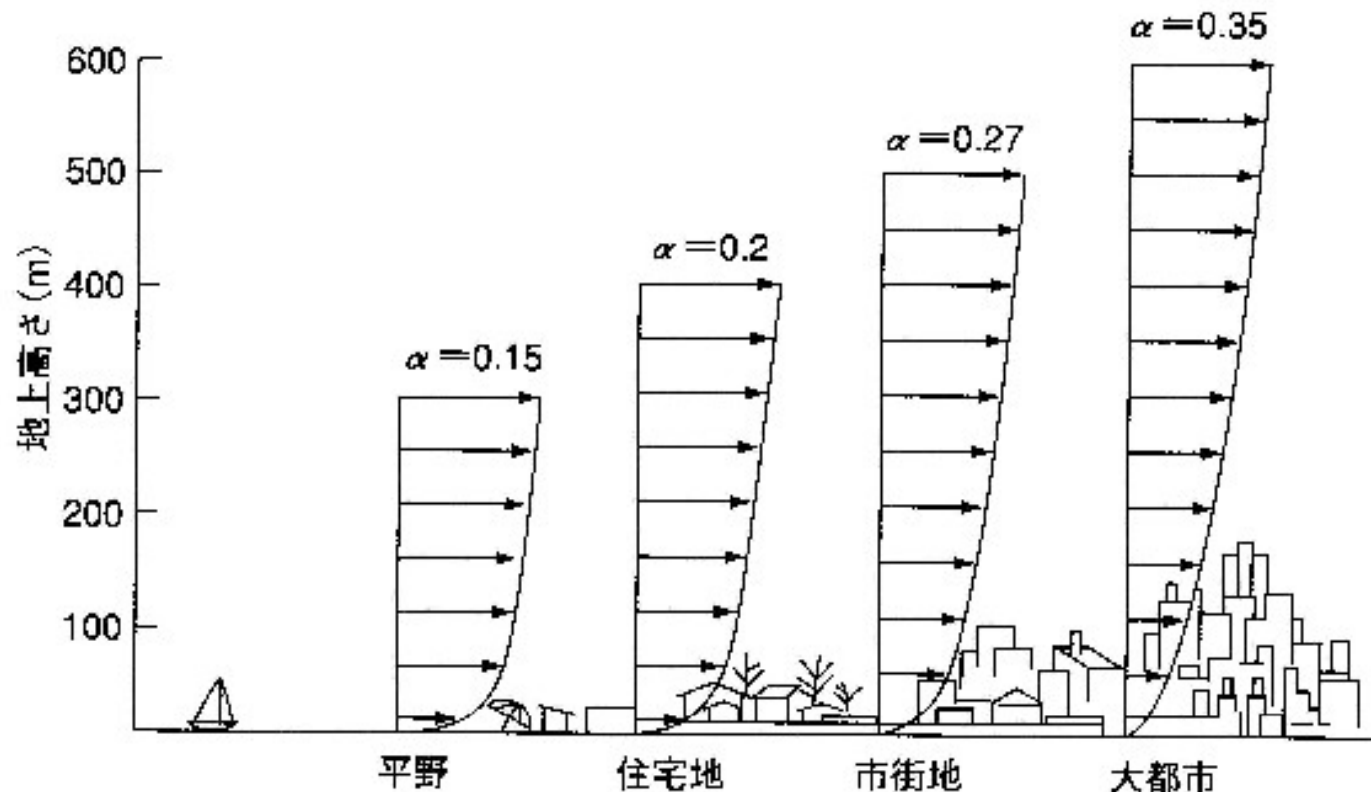
This image shows a detailed view of a space elevator structure, likely a concept from a 1999 NASA study. It features a complex arrangement of cables, pulleys, and structural components, with a large spherical object (possibly a counterweight or a part of the structure) in the foreground.

**Lunar Tethered Satellite concept**

This image illustrates a Lunar Tethered Satellite concept. It shows a satellite in orbit around the Moon, connected to the Moon's surface by a long tether. The satellite has solar panels and other instruments. The Earth is visible in the background.

# 宇宙テザー技術の波及効果

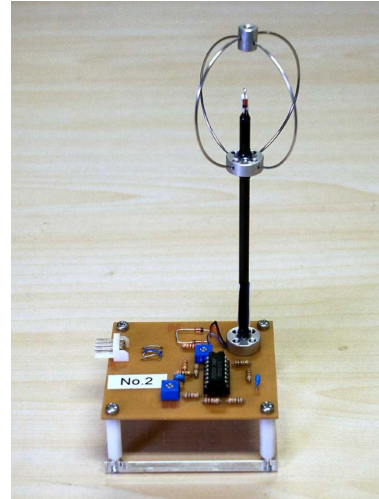
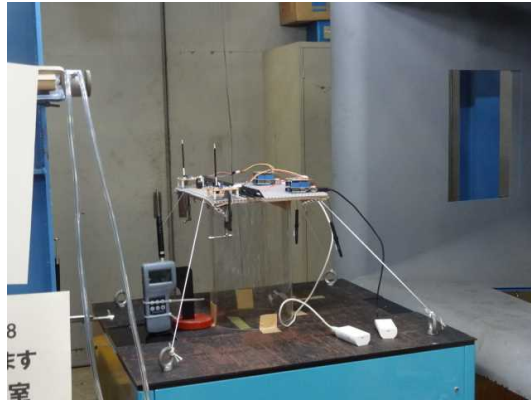
高空風力発電  
AWE  
(Airborne  
Wind Energy)



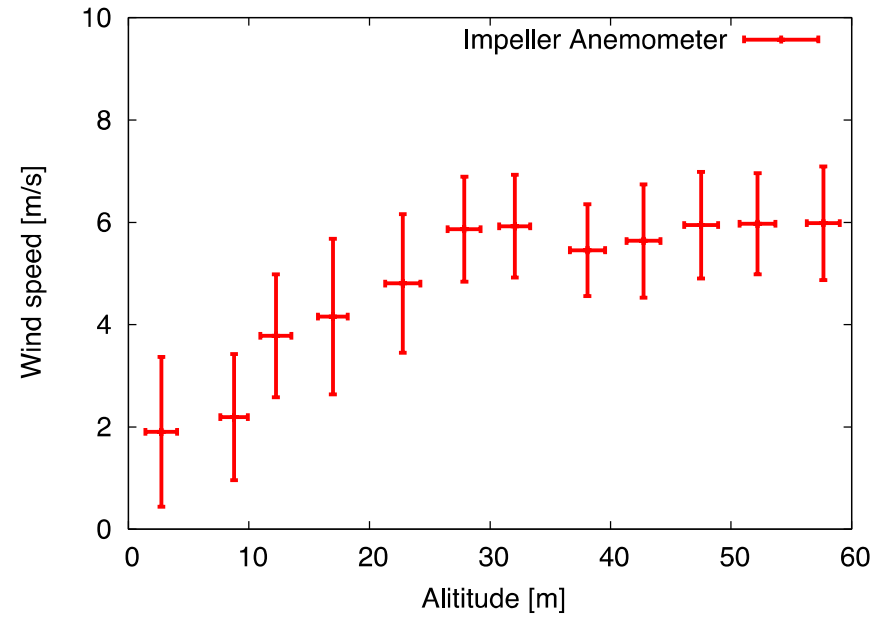
© Google, EON, Shell, Schlumberger, Tata、さらに、ソフトバンクのような先端企業が2兆米ドルを超える投資を行っている。このためAWEは今後成長を加速すると思われる。

欧州各国はCO2軽減のロードマップ2050などに乗り遅れないために、クリーンなAWEに期待を持ち援助を行っている。

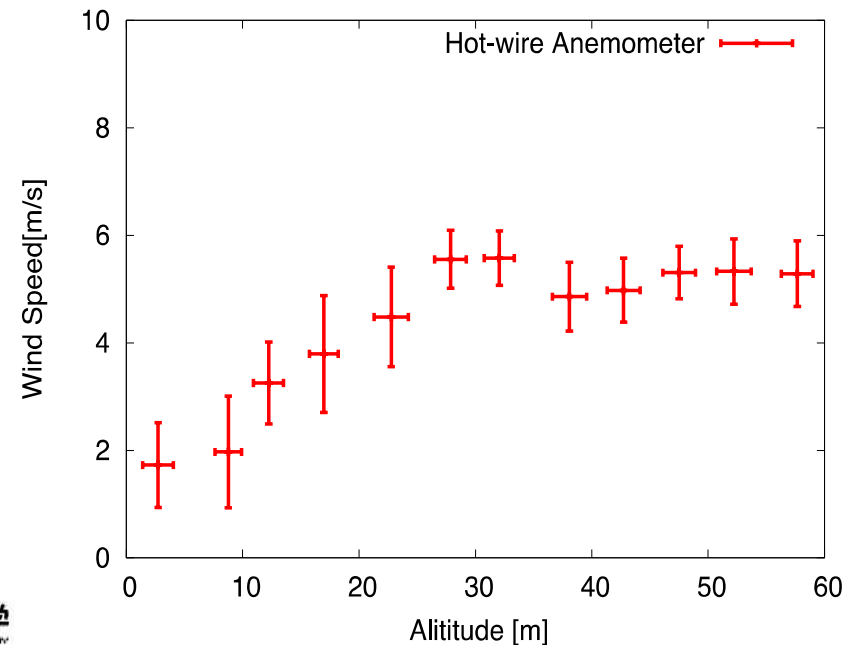
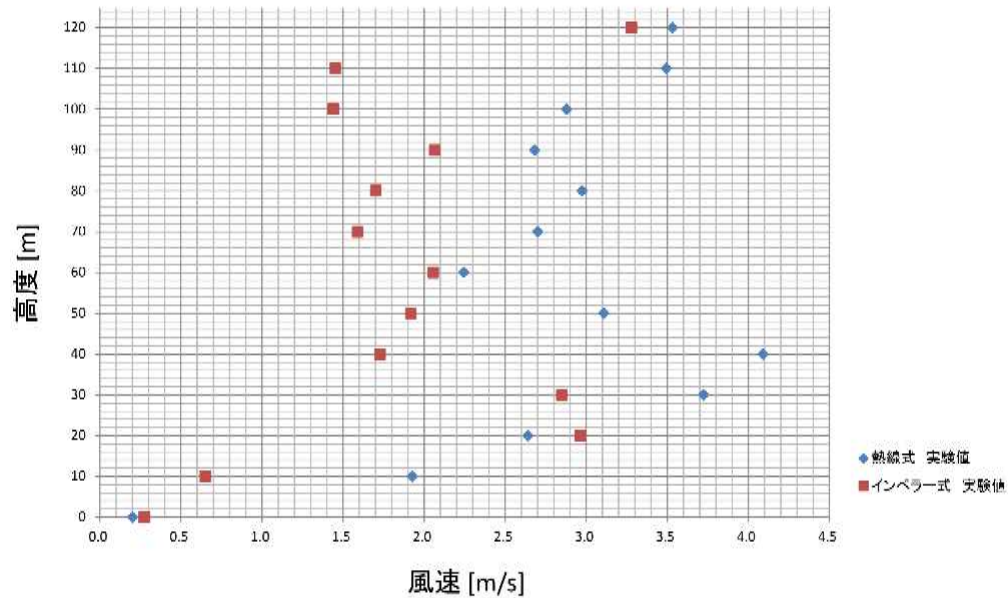
# 高空風力プロフィール測定



# 小型軽量風速計

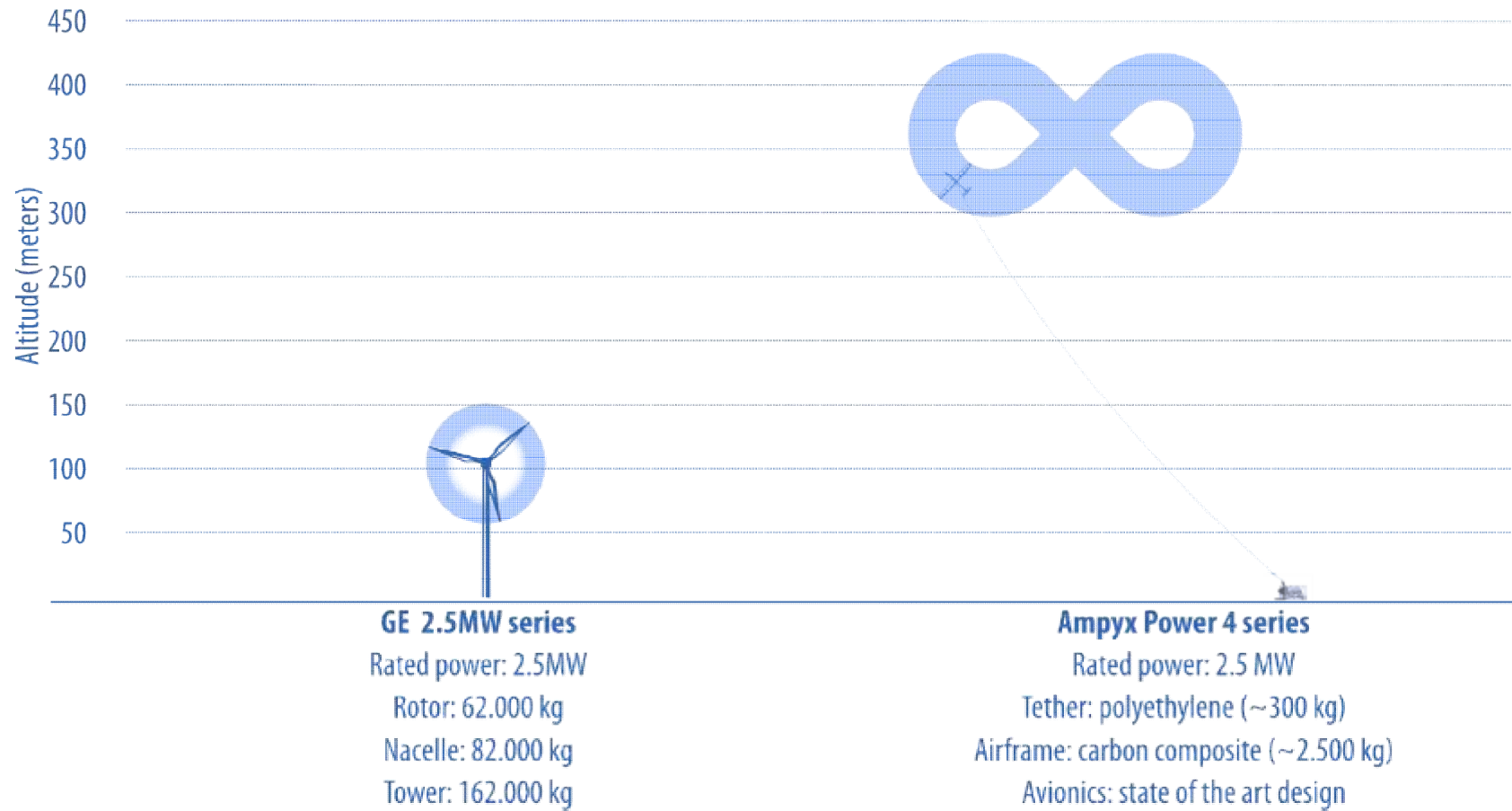


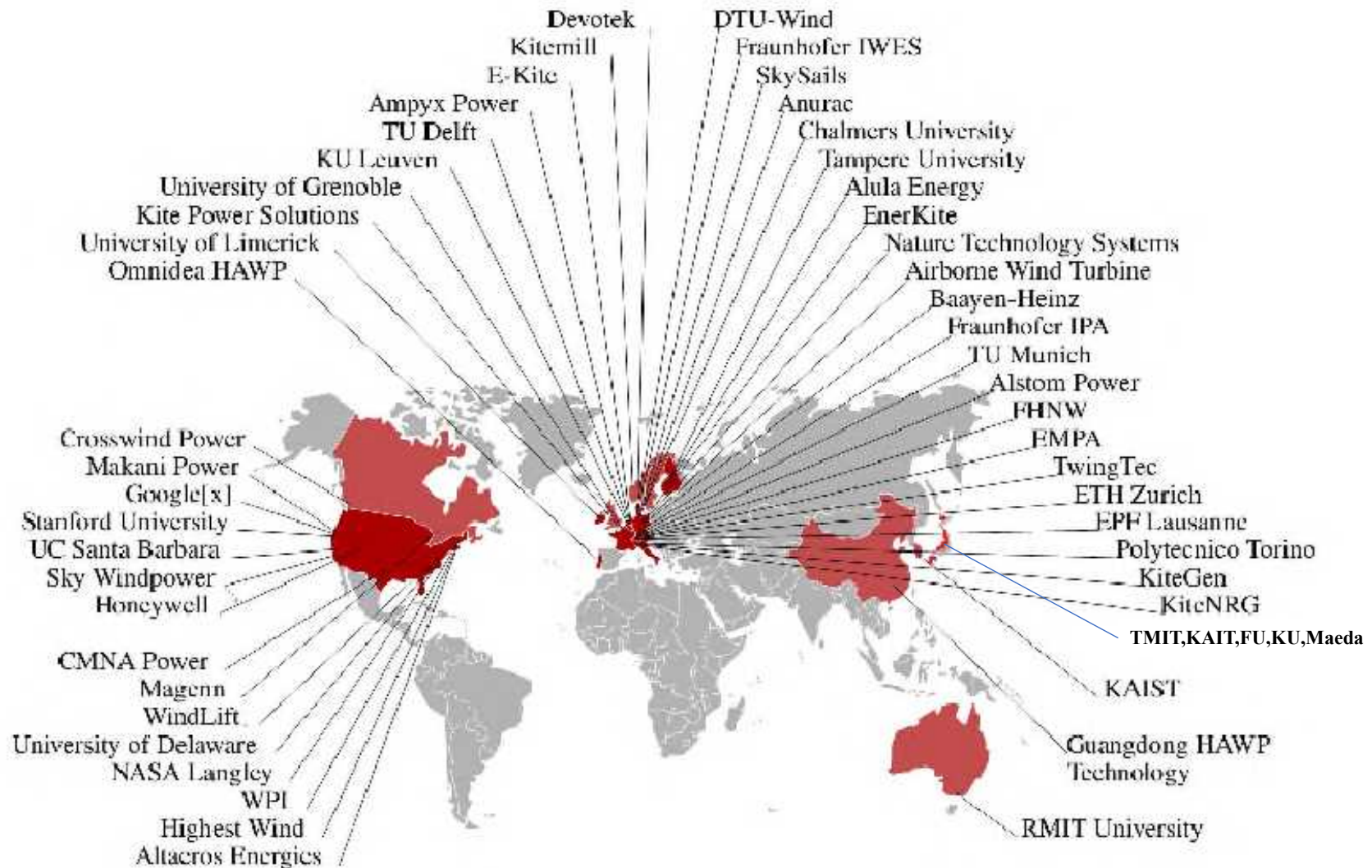
## 高空風速測定コンテスト 実験結果(3号機)③



# Comparison with a conventional wind turbine

Cross-wind, rigid wing and ground based generator





**Fig. 2** Airborne wind energy research and development activities by country and by team. Countries with academic or commercial activities in 2013 are colored in red, while dark red indicates that one or more authors from this country contributed to this book.

# 空中風力発電の事例





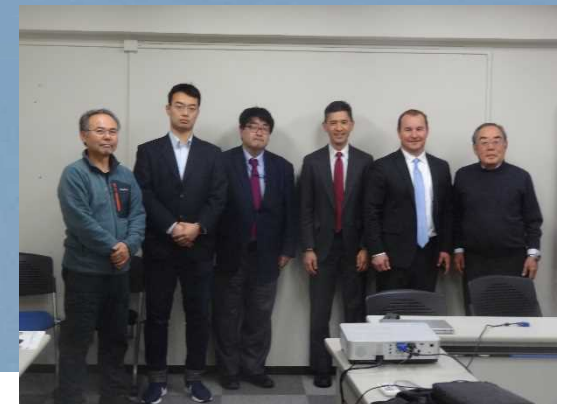


# 1. 風車浮揚型空中発電

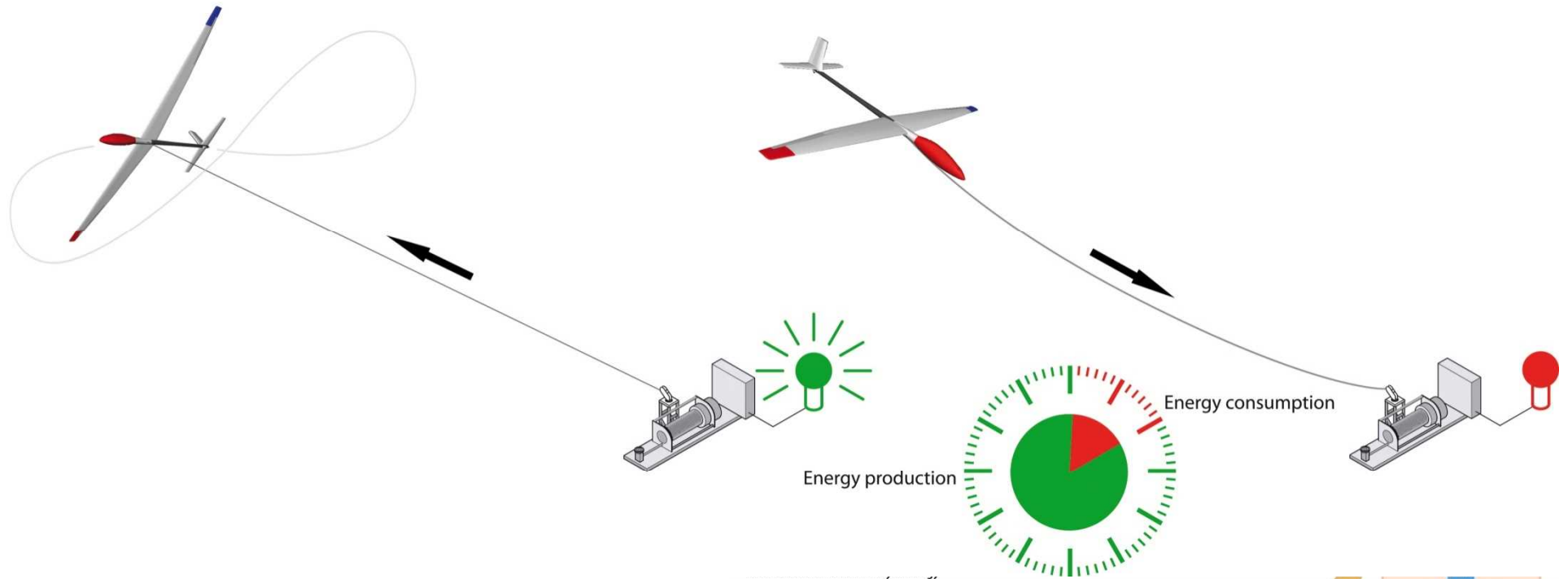


Fig.1 Makani power社 The M600 energy kite (600 k W級) (21 Nov 2016)

<https://x.company/makani/journey/>

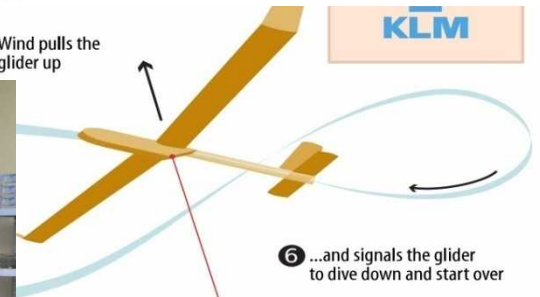


## 2. ポンピング型空中発電



- Best-in-class team
- Solid investors and technology partners

1 Wind pulls the glider up



3 The cable extracts...

4 ...drives the drum and power is generated

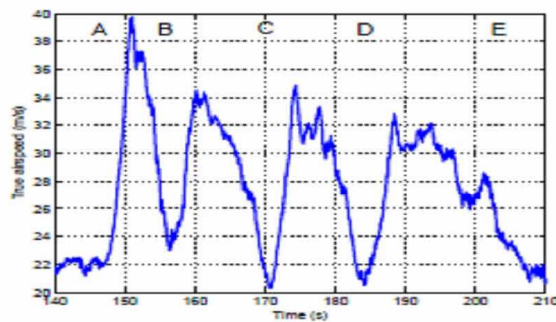
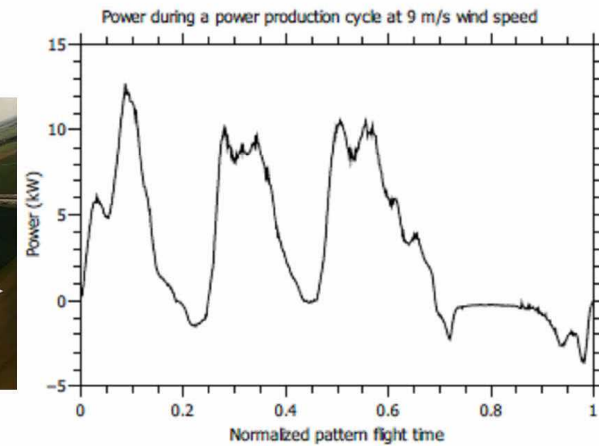
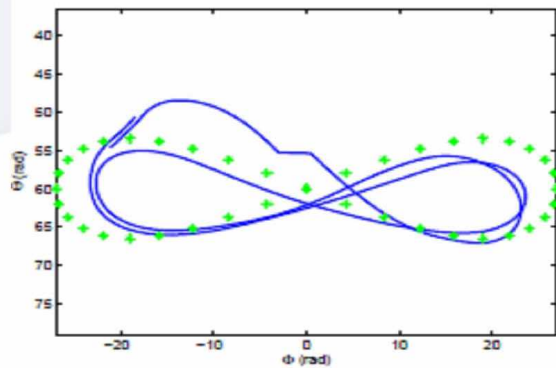


5 The winch measures how far the

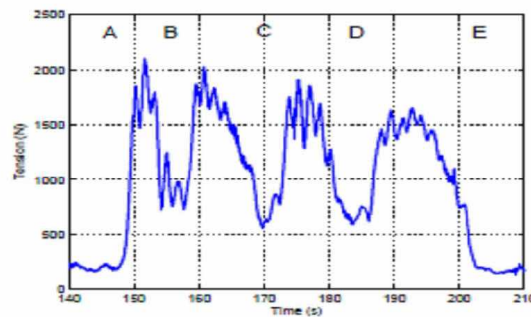


# Ampyx Power and the PowerPlane<sup>®</sup>

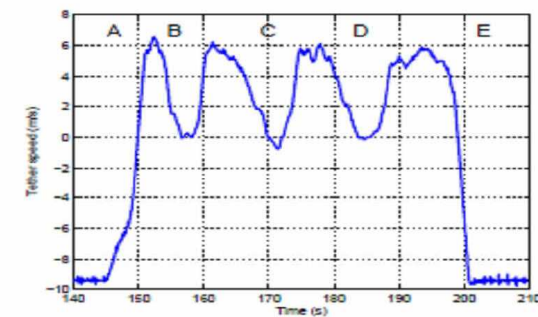
Fig. 13 Power curve of one full cycle at 9 m/s wind speed, normalized to the cycle time



(c) True airspeed



(a) Cable tension measured at the winch



(b) Tether speed

Data from 2012 test ("AWE" Ahrens e.a., Springer 2013). We now surpassed 2 hours autonomous flight

# わが国における空中風力発電

AIRBORNE WIND ENERGY CONFERENCE 2017

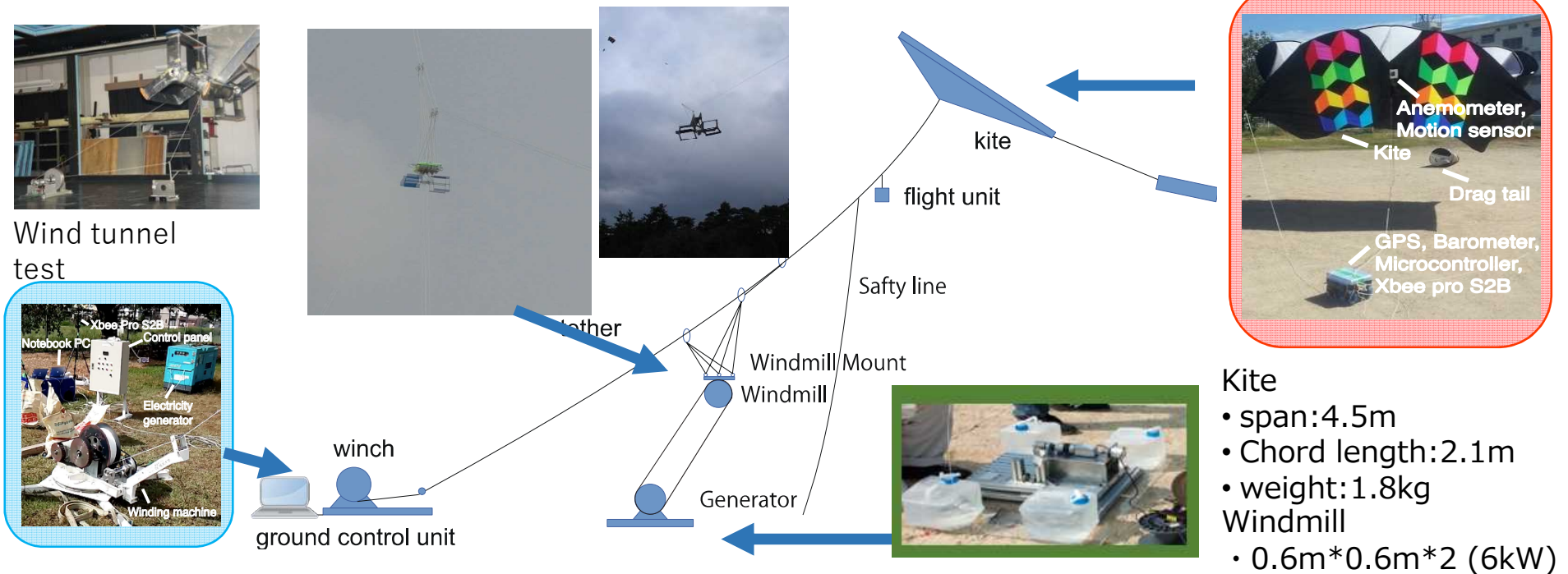
Freiburg, Germany 2017/10/5-6

## HSWG(High Sky Wind energy Generation) on tethered system



Hironori A. FUJII[1][2], Hiroshi OKUBO[3], Yasutake TAKAHASHI[4], Yusuke MARUYAMA[5]  
 Tairo KUSAGAYA[6], Shigeo YOSHIDA[7], Kazuo ARAKAWA[7], Hiroki ENDO[1][7],  
 Kenji UCHIYAMA[8], Kazuichi SEKI[9], and Takeo WATANABE[3]

[1]TMIT & Co., [2]Tokyo Metropolitan University, [3]Kanagawa Institute of Technology,  
 [4]University of Fukui, [5]Maeda Corporation, [6]Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology,  
 [7]Kyusyu University, [8]Nihon University, [9]Tokai University





**Hiroshi Okubo**

Professor  
Kanagawa Institute of Technology  
Department of Mechanical Engineering

1030 Shimo-Ogino, Atsugi  
Kanagawa, 243-0292  
Japan

[okubo@me.kanagawa-it.ac.jp](mailto:okubo@me.kanagawa-it.ac.jp)  
[www.mech-kait.net](http://www.mech-kait.net)



## High-Sky Wind Energy Generation on a Tethered System

**Hironori A. Fujii<sup>1</sup>, Hiroshi Okubo<sup>2</sup>, Yasutake Takahashi<sup>3</sup>, Yusuke Maruyama<sup>4</sup>, Tairo Kusagaya<sup>5</sup>, Shigeo Yoshida<sup>6</sup>, Kazuo Arakawa<sup>6</sup>, Hiroki Endo<sup>1,6</sup>, Kenji Uchiyama<sup>7</sup>, Kazuichi Seki<sup>8</sup>, Takeo Watanabe<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>TMIT - Tokyo Metropolitan University, <sup>2</sup>Kanagawa Institute of Technology, <sup>3</sup>University of Fukui, <sup>4</sup>Maeda Corporation, <sup>5</sup>Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, <sup>6</sup>Kyusyu University, <sup>7</sup>Nihon University, <sup>8</sup>Tokai University

We propose a tethered system for airborne wind energy generation utilizing high and steady wind power over the canopy of the ground wind boundary layer (HSWG).

The system employs a straight blade type windmill lifted to higher altitudes by an inflatable kite. The mechanical energy generated by the windmill is transferred to the generator on the ground by means of a tether loop connecting the rotational axes of the windmill and the generator. A wind tunnel experiment is conducted to examine the energy transfer efficiency of the tether system and the performance of the phase 1.5 windmill model: diameter 0.6 m  $\times$  span 0.6 m  $\times$  2, which is expected to produce a power of 6 kW. The model is operated at 120 m altitude in a wind velocity about 1.5 times higher than on the ground. Flying in periodic figure-eight patterns the apparent wind velocity doubles. The model is expected to produce thus about 30 times larger wind energy generation with respect to the usual on ground operation of 0.2 kW.

Transfer efficiency of energy through tether system is very important for the present tether system and torque transfer performance is tested in the wind tunnel test. It is seen from the result that the tether tension has much effect on the slipping characteristics at the rotation pulley of both the windmill and the generator. The mechanism under investigation is expected to have energy transfer performance of up to 70% and finally 90%. Field testing to float the phase 1.5 windmill model with a kite started in 9 March 2017 and further field demonstration for the

phase 1.5 windmill is now in the planning. Results will be presented at the conference accompanied with those in recent study.



Wind tunnel test of phase 1.5 of HSWG at Kyusyu University (Test section 3.6 m  $\times$  2.0 m) Windmill (diameter 0.6 m  $\times$  span 0.6 m  $\times$  2) at the upper right is connected through tether to the generator on the lower left (13 September 2016).

### References:

[1] Hironori A. Fujii, Hiroshi Okubo, Yusuke Maruyama, Tairo Kusagaya, and Takeo Watanabe, "Airborne Wind Energy Generation on Tethered System". Proceedings of WVEC2016 TOKYO C36, University of Tokyo, Japan, 2 November 2016.

# 空中風力発電研究会の 立ち上げと参加者募集募



一般社団法人  
日本風力エネルギー学  
会

## ■ 公募要領

JWEAの新たな企画として、新しい風力発電の手法である空中風力発電手法を検討する研究会を立ち上げ、参加者を募集することといたしました。本研究会ではJWEAが報告、検討会の企画・運営に関わり、各種要素技術について、専門的な知識と技術を有するメンバーが参集し適切な時期に研究会を開催し、検討議論によって明らかになった要素技術について研究を進めます。さらに、一年間に1~2回程度全体会議を開催し進め方について全員でチェックするとともに確認を行います。

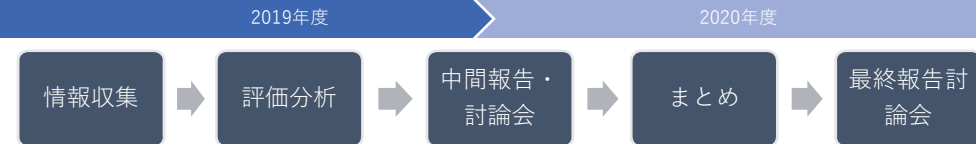
## ■ 公募要件

参加者は、JWEA個人会員または団体会員であることを原則としますが、空中風力発電という新しい技術に興味があり、積極的に活動に参加いただける方を期待します。

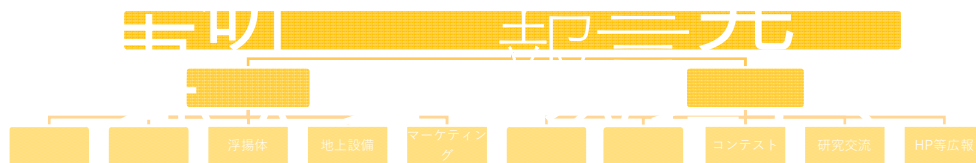
## ■ 空中風力発電研究の意義と目的

空中風力発電は、空中の定常的で豊富な風力エネルギーを利用した発電手法です。これは空中に発電機を揚げる、風などからテザーを通して地上の発電機で発電するなど種々の手法が提案されており、近年世界的に著しく進歩しています。このように世界的に期待されている空中風力発電手法について、関連分野を含め幅広くサーベイし、これらの検討を通じて、最も必要な要素技術を明らかにすると共に効率的な開発手法も提言し、併せて自らも要素研究を行います。これによって我が国に最も適した、効率が高く世界的にも最先端技術となり得る風力発電手法を提示することが可能となり、さらに、国内の研究開発を主導することで、産業界へ具体的で無駄の無い効率的な開発指針を示す事が可能となります。

## 活動内容 / 情報収集・分析 (2019年度 ~ 2020年度)



## ■ 体制および役割



問合せ: [JWEA事務局info@jwea.or.jp](mailto:JWEA事務局info@jwea.or.jp), 藤井裕矩 [tmit@pa2.so-net.ne.jp](mailto:tmit@pa2.so-net.ne.jp), 草谷大郎 [kusagaya@metro-cit.ac.jp](mailto:kusagaya@metro-cit.ac.jp)

2019年1月25日 フェーズ1.5フィールドテスト 埼玉県熊谷市妻沼グライダー滑空場







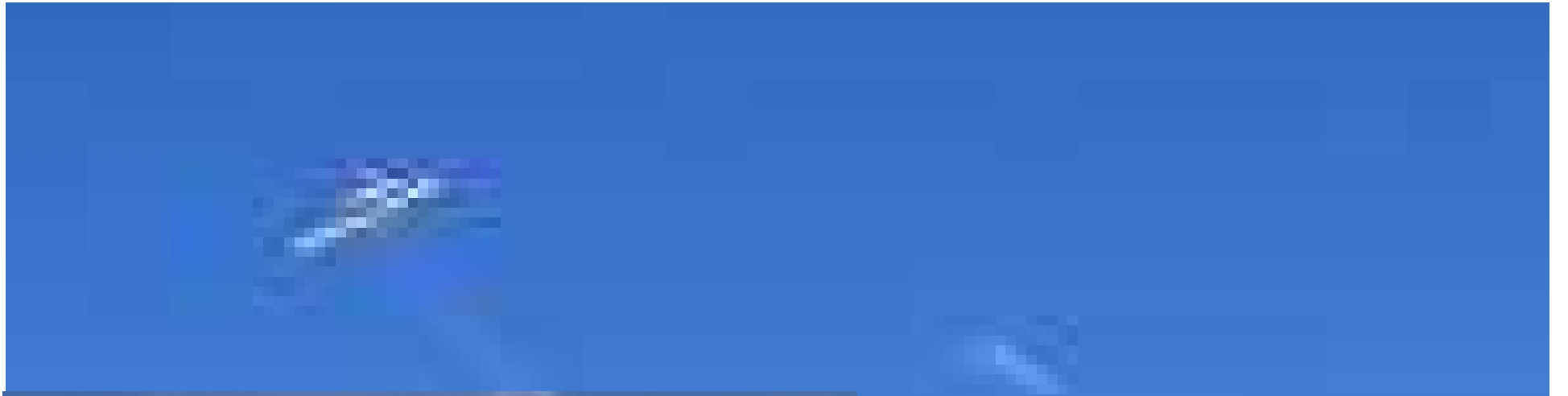
Rod Read

# Windswept and Interesting Limited

15a Aiginis, Isle of Lewis, UK HS2 0PB

<http://windswept-and-interesting.co.uk>



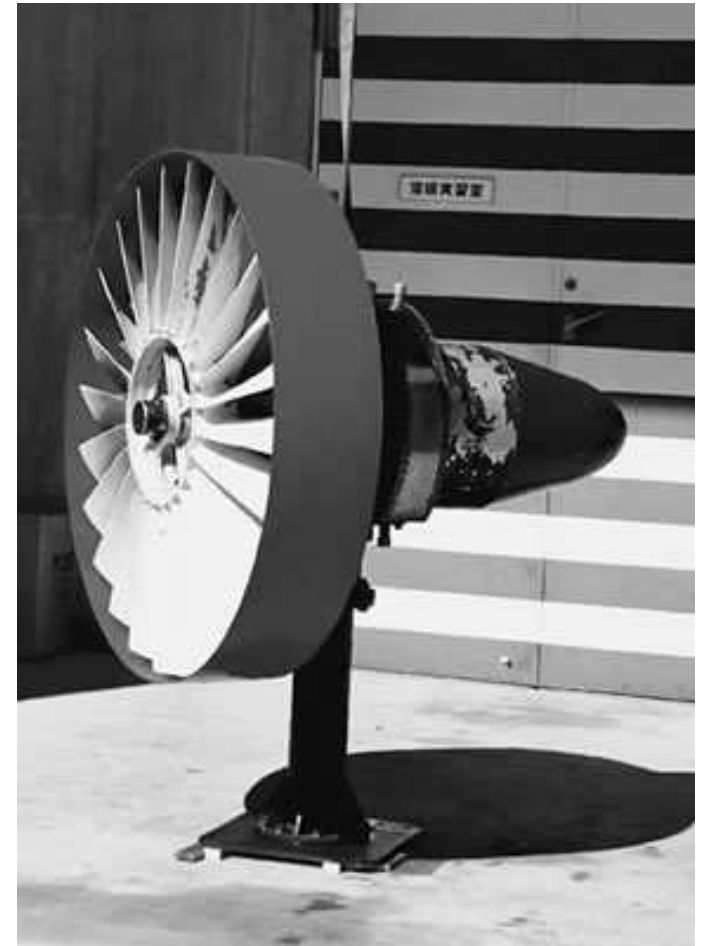


# まとめに代えて 極地でのエネルギー供給 に適した風力発電装置とは

1. 低温、地吹雪、強風 > 強風時の避難
2. 出力安定性 > 設備利用率の増加  
時間的かつ季節的な変動
3. 運搬容易性



垂直軸風車：昭和基地の20kW風車（56次隊中村隊員提供）



NU-102 ダウンウインド型  
うず電流型電磁ブレーキを備  
えた静翼付風力発電装置  
南極昭和基地で第19次越冬隊  
（1978年）現地実地テスト

# 高層ビル屋上で の風力発電



# *Fujii Laboratory*

*Dynamics and Control of Space Infrastructures*

