

# 誘電エラストマートランスデューサー (DE) 用いた動翼制御実験

## 課題責任者

廣田光仁　ゼオンナノテクノロジー株式会社

## 著者

千葉正毅\*1、和氣美紀夫\*2、竹下誠\*3、上島貢\*3、廣川雄一\*4、西川憲明\*4、矢島 卓\*5

\*1 千葉科学研究所

\*2 有限会社 Wits

\*3 日本ゼオン株式会社

\*4 国立研究開発法人海洋研究開発機構

\*5 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

**利用施設：** 国立研究開発法人海洋研究開発機構 大型計算機システム

**利用期間：** 令和2年9月25日 ～ 令和3年2月28日

## アブストラクト

近年地球規模での温暖化等を回避する手段として、再生可能エネルギーの有効活用が急務となっている。そして、再生可能エネルギーには、太陽光、風力、水力、波力等があり、多くの研究開発等がなされている。しかし、多くの発電システムには高重量や低変換効率等の多くの欠点がある。本検討では、翼と同じ構造によるカルマン渦を用い、軽量かつ高変換効率の CNT (ZEONANO<sup>®</sup> SG101、日本ゼオン(株)製) 電極を導入した DE 風力発電システムを構築し、風力発電に最適なカルマン渦の発生条件を探求する。その方法として、風洞実験による翼付近の気流状態の観測結果を、大型計算機システムを用いたシミュレーション結果と比較し、発電システムとして最適な翼の形状を解析し、要求性能を明確にする。また同じ発電構造を用い、水力による発電の可能性も併せて検証し、気体や液体等媒体に関係なく発電が可能であることを検証する。

**キーワード：** 誘電エラストマ、DE、発電、CNT、ZEONANO<sup>®</sup> SG101、風洞実験、  
大型計算機システム

## 1、概要

翼と同じ構造によるカルマン渦を用い、CNT (ZEONANO<sup>®</sup> SG101、日本ゼオン(株)製) 電極を導入した DE 風力発電システムを構築し、風力発電に最適なカルマン渦の発生条件を探求する。また同じ発電構造を用い、水力による発電の可能性も併せて検証し、気体や液体等媒体に関係なく発電が可能であることを検証する。

## 2、実験結果

### 1) 数値流体力学 (CFD : computational fluid dynamics) によるカルマン渦発生条件の解析

- ・CFD を用いて、風洞実験に使用する躯体形状や配置位置の最適化を検討する。

#### (1) CFD に用いた、前駆体と躯体の二次元データ

- ・CFD に用いた前駆体と躯体の二次元データを Fig. 1 と Fig. 2 に示す。

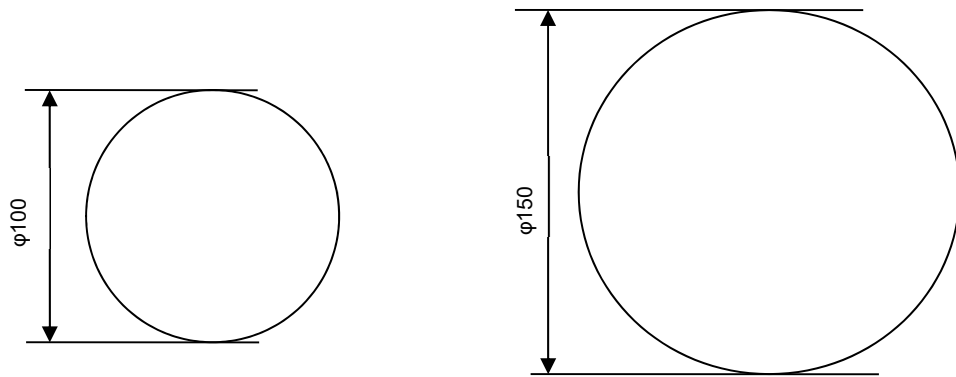


Fig. 1 前駆体の二次元データ

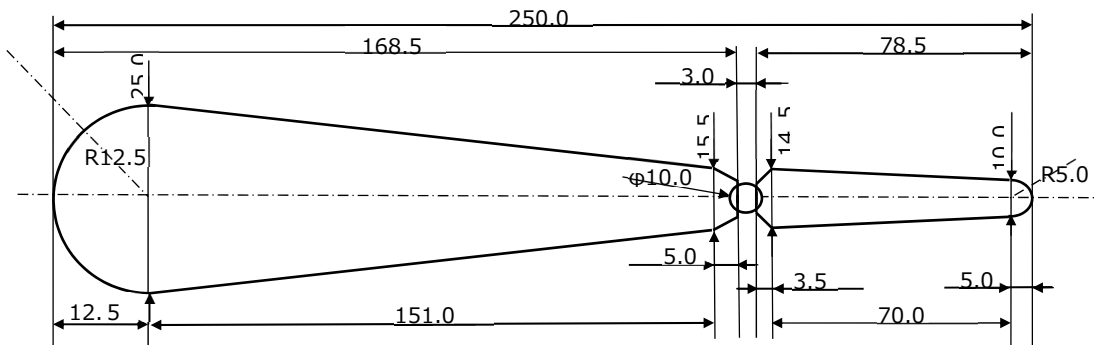


Fig. 2 躯体の二次元データ

#### (2) 2次元非定常計算の条件

- ・乱流モデル : LES Smangorinsky、44 万要素 (最小 2mm)
- ・シミュレーション時間 : 10 秒、分解度 : 1ms
- ・躯体と前駆体の距離 : 50~400mm
- ・風速 : 5, 10, 20, 25 m/s
- ・常温/常湿
- ・配置条件  
配置条件を Fig. 3 に示す。

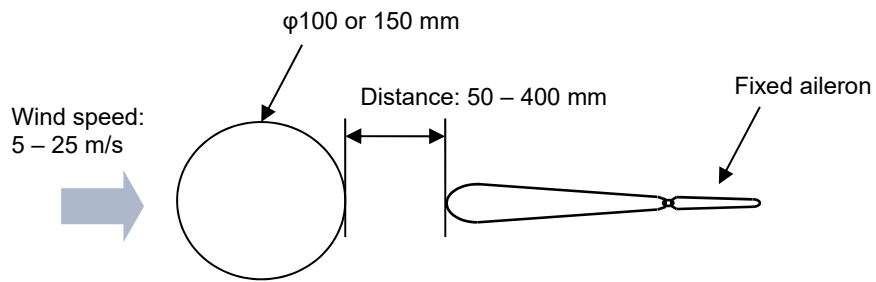


Fig. 3 前駆体と胴体の設置概要

### (3) 解析結果

JAMSTEC で実施されたシミュレーション結果を元に、胴体形状や配置位置の最適化の検討を行った。尚、翼に加わる力は、X, Y, Z の三軸で算出されたが、発電に必要な Y 軸方向の力を基に検討作業を行った。

#### a) 前駆体の形状による影響

- ・風速は、25m/s の環境下で、φ 100mm の前駆体を用いた場合の胴体との距離とエルロンに加わる力の関係を Fig. 4 に示す。

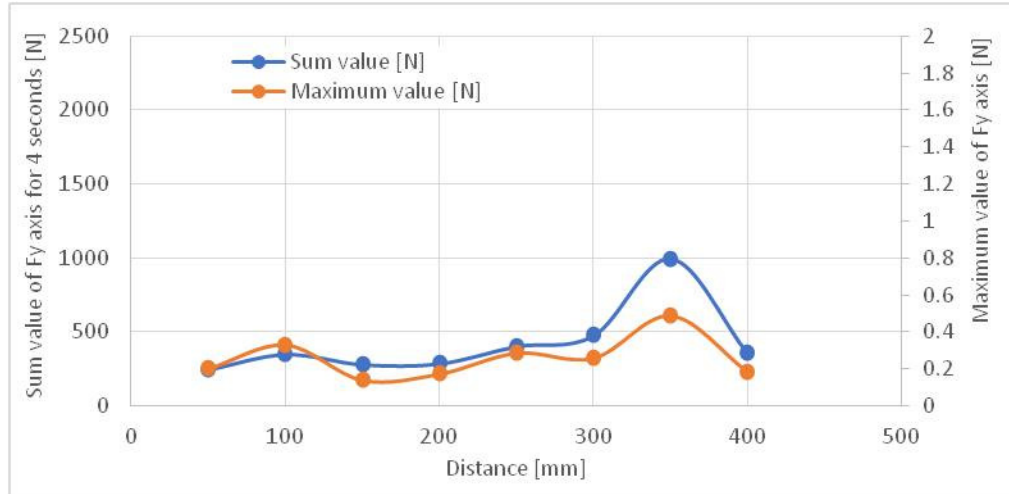


Fig. 4 風速 25m/s 時の前駆体 (φ 100mm) と胴体との距離によるエルロンに加わる荷重の変化

- ・風速は、25m/s の環境下で、φ 150mm の前駆体を用いた場合の駆体との距離とエルロンに加わる力の関係を Fig. 5 に示す。

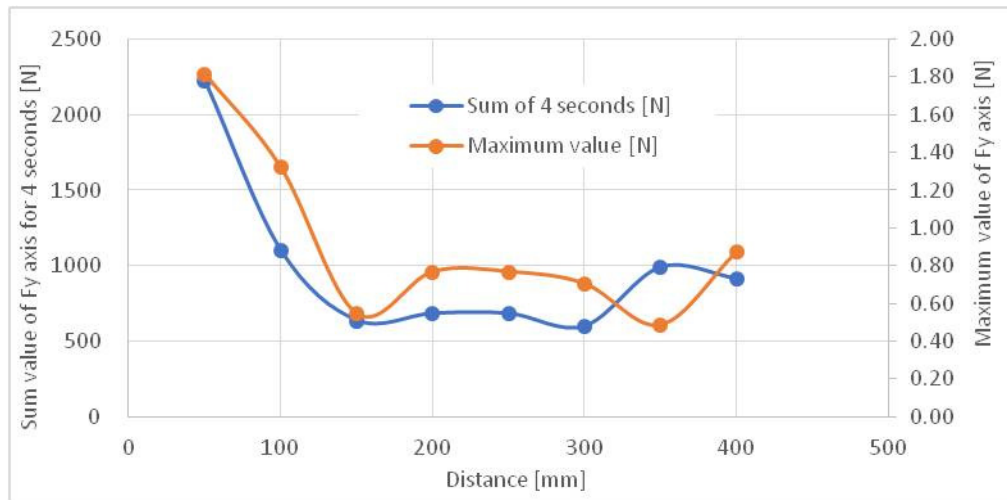


Fig. 5 風速 25m/s 時の前駆体 (φ 150mm) と駆体との距離によるエルロンに加わる荷重の変化

- ・前駆体の直径が φ 100mm の場合、駆体との距離が、350mm の位置で、一番大きな力を得られるが、直径 φ 150mm の前駆体と比べると、かなり小さな値である。
- ・前駆体の直径が φ 150mm の場合、駆体との距離が、50mm の位置で、一番大きな力が得られ、最大値で 1.82N となった。

b) 風速による影響

- ・直径 φ 100mm の前駆体を用いた場合の風速の変化による、エルロンに加わる荷重の変化を Fig. 6 に示す。なお、前駆体と駆体の距離は、最大荷重が得られた 350 mm とした。

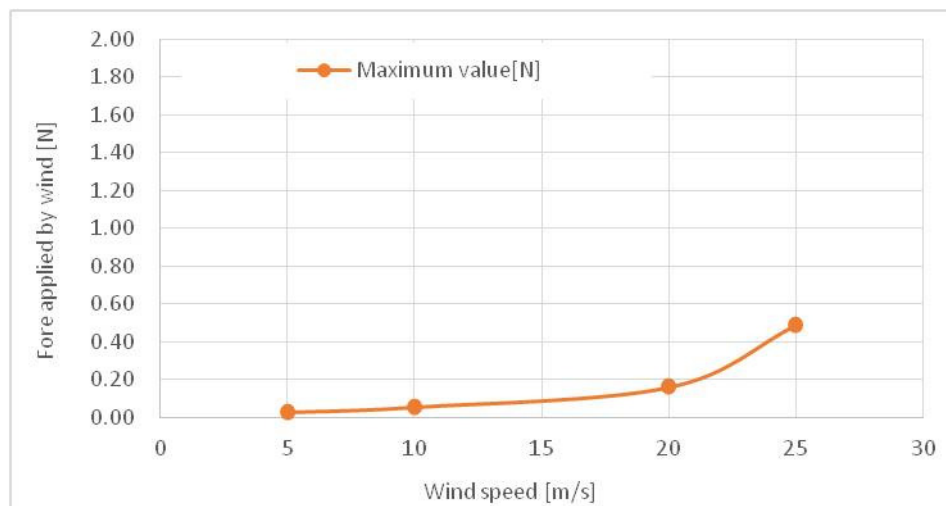


Fig. 6 φ 100mm の前駆体を用いた場合の風速によるエルロンに加わる荷重

- 直径  $\phi 150\text{mm}$  の前駆体を用いた場合の風速の変化による、エルロンに加わる荷重の変化を Fig. 7 に示す。なお、前駆体と駆体の距離は、最大荷重が得られた  $50\text{mm}$  とした。

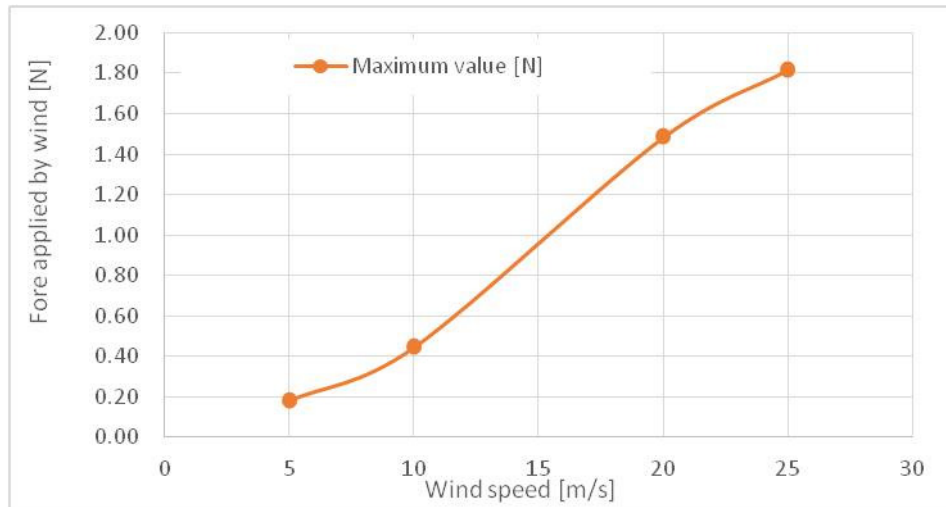


Fig. 7  $\phi 150\text{mm}$  の前駆体を用いた場合の風速によるエルロンに加わる荷重

- 直径  $\phi 100\text{mm}$  の前駆体を用いた場合、風速  $20\text{m/s}$  以下では、 $0.2\text{N}$  以下とわずかな荷重しか得られない。
  - 直径  $\phi 150\text{mm}$  の前駆体を用いた場合、風速の変化に応じて直線的に荷重が増加する。
- c) 前駆体  $\phi 150\text{mm}$ 、風速  $25\text{m/s}$ 、前駆体との距離  $50\text{mm}$  のシミュレーション結果
- 前駆体の直径  $\phi 150\text{mm}$  を用い、風速  $25\text{m/s}$ 、前駆体と駆体との距離を  $50\text{mm}$  とした場合のシミュレーション結果を Fig. 8 と Fig. 9 に示す。

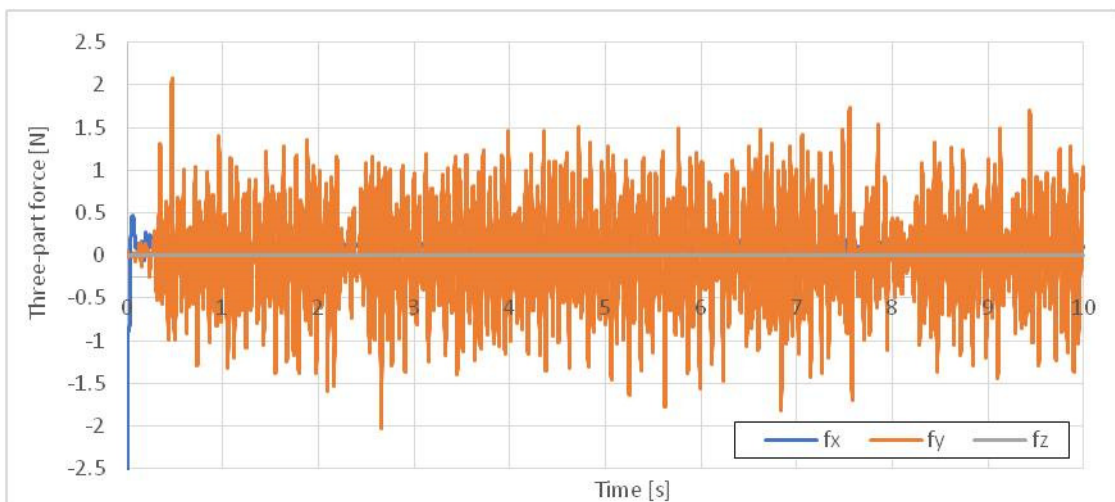


Fig. 8 エルロンに加わる三軸方向の力  
(前駆体  $\phi 150\text{mm}$ 、風速  $25\text{m/s}$ 、前駆体との距離  $50\text{mm}$ )

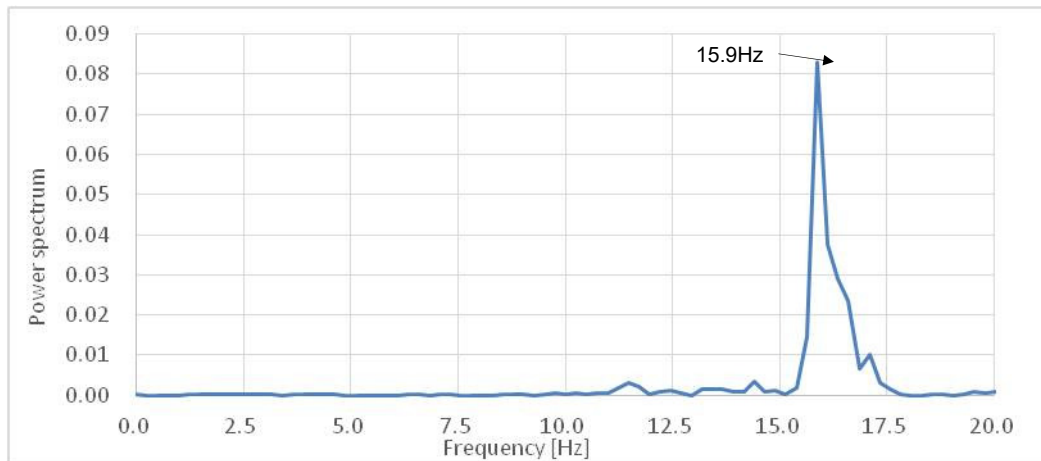


Fig. 9 エルロンに加わる Y 軸方向の力パワースペクトラムと周波数  
(前駆体 φ 150mm、風速 25m/s、前駆体との距離 50mm)

- エルロンに加わる Y 軸方向の力は、多少の振幅変動はあるものの、パワースペクトラムが約 16Hz 付近に集中している。
- シミュレーション結果を可視化した写真を Fig. 10 に示す。左右交互に発生するカルマン渦の状態が確認できる。

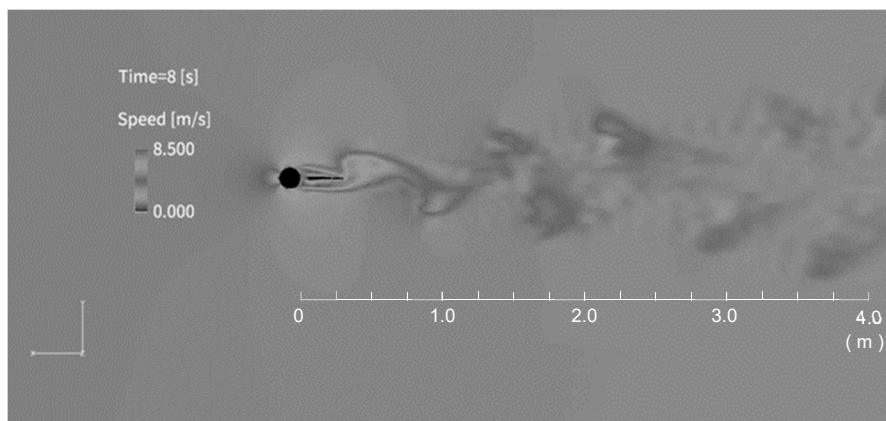


Fig. 10 前駆体で発生したカルマン渦のシミュレーション写真  
(前駆体 φ 150mm、風速 5m/s、前駆体との距離 50mm)

d) まとめ

- 前駆体は、φ 150mm 以上の大きさが必要であり、φ 150mm の前駆体を用いる場合は、設置位置を躯体から 0~50mm 離して設置する必要がある。
- CFD の結果から得られる加重は最大で 1.8N であるが、エルロンが固定されていないことによる共振現象により、加重が増加することが予想される。
- より弱い風速で発電するためには、前駆体をより大きくすると共に、翼の構造を再検討する必要がある。

## 2) 風洞を用いた発電性能検証実験

- 2019年の風洞実験で使用した躯体 (Fig. 11 参照) を用い、風速を 5、10、20、25m/s と変化させ、CNT (ZEONANO<sup>®</sup> SG101、日本ゼオン(株)製) 電極を用いた誘電エラストマ発電素子 (DEG) (Fig. 12 参照) の変形量と変形周期を実測し、発電量を算出する。
- CFD の結果から  $\phi 150\text{mm}$  の前駆体を躯体より 50mm 離し、CFD で得られた結果と比較、検証後、最適組み合わせを推定する。

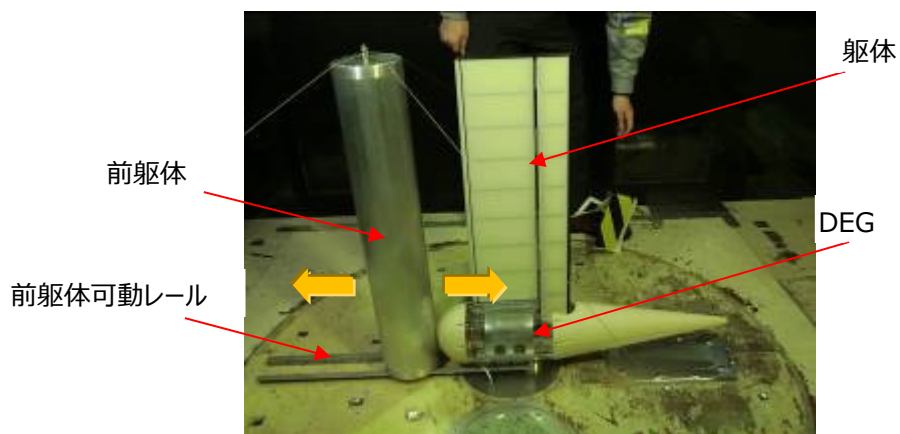


Fig. 11 カルマン渦による DEG 風力発電システム

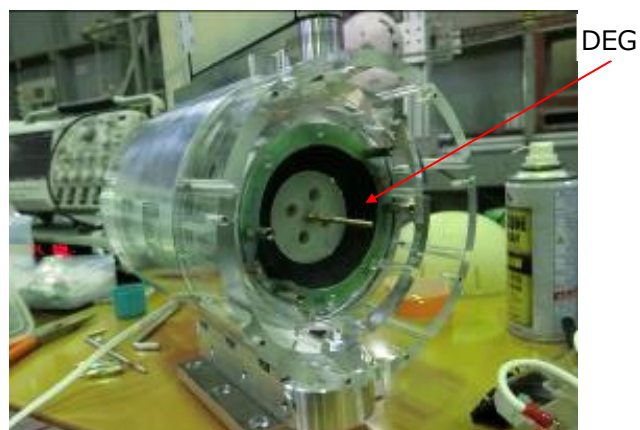


Fig. 12 躯体に搭載された DEG

※ 尚、2021年2月に予定されていた風洞実験は、新型コロナウイルス (COVID-19) 感染拡大による緊急事態宣言の影響で2021年9月以降に延期となった。

# Control surfaces of Mars airplanes using a dielectric elastomer transducer (DE)

## Project Representative

Mitsuhito Hirota

Zeon Nano Technology Co., Ltd.

## Authors

Seiki Chiba<sup>\*1</sup>, Mikio Waki<sup>\*2</sup>, Makoto Takeshita<sup>\*3</sup>, Mitsugu Uejima<sup>\*3</sup>, Yuichi Hirokawa<sup>\*4</sup>,  
Noriaki Nishikawa<sup>\*4</sup>, Takashi Yajima<sup>\*5</sup>

\*1 Chiba Science Institute

\*2 Wits Inc.

\*3 ZEON Corporation

\*4 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

\*5 Japan Aerospace Exploration Agency

## Abstract

In recent years, there is an urgent need for effective use of renewable energy as a means of avoiding global warming. Renewable energies include solar power, wind power, hydropower, and wave power, and much research and development are underway. However, many power generation systems have many drawbacks, such as heavy weight and low conversion efficiency. In this research, we constructed a DE wind power generation system that uses a Karman vortex with the same structure as the wing and introduces a lightweight and efficient CNT (ZEONANO<sup>®</sup> SG101 made by ZEON Corporation) electrode, which is ideal for Kalman. In wind tunnel experiments, investigate the conditions under which vortices occur. As a method, we will compare the observation result of the airflow condition near the wing by the wind tunnel experiment with the simulation result using the Data Analyzer System, analyze the optimum wing shape for the power generation system, and clarify the required performance. In addition, we will verify the possibility of hydroelectric power generation with the same power generation structure and verify that power can be generated regardless of media such as gas and liquid.

**Keywords:** dielectric elastomer, DE, generator, CNT, ZEONANO<sup>®</sup> SG101, wind-tunnel,  
Data Analyzer System