

令和元年6月21日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06147

研究課題名（和文）ギャロッピングを利用した小型風力振動発電機の開発

研究課題名（英文）Development of Small Power Generator Utilizing the Galloping Phenomenon

研究代表者

長嶺 拓夫（NAGAMINE, Takuo）

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00323379

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は小型振動式風力発電機の開発を目的としている。空力自励振動のギャロッピング現象を利用して振動を起こすことを考えた。実験装置は、流れ場に配置した受風部とそれを支える板バネと発電を行う圧電素子及び電気回路からなる。この受風部は板バネで支持されており、受風部が板ばねの曲げ振動により振動する構成となっている。この板バネの曲げ振動から圧電素子を用いて発電を行った。各部の形状および特性、電気回路による発電特性への影響などについて調べた。風速に対する受風部の向き、形状、取付け方法などが振動特性に与える影響を明かにしている。風速の変動に対しても発電量が確保されることが実験により明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ギャロッピング現象は、冬に高圧線などに雪が積もった場合に発生することが知られている。これは積雪による高圧線の断面形状が円形でなくなることによって発生する流体不安定振動であることが解明されている。この不安定振動を防止することが主目的として学術的な研究が進められてきた。不安定振動の防止方法は提案され社会的な問題の解決となっている。このように振動の防止に焦点を絞った研究がなされてきた。ここでは、振動が発生した場合その振動が継続する条件やまた、どのくらいのエネルギーをとりだすことが可能なのかを調べることは学術的な興味のみならず、社会的にも再生可能エネルギーとして利用するためには必要な知見となる。

研究成果の概要（英文）：This research aims at development of a small oscillating type power generator. It considered causing vibration using the galloping phenomenon. An experimental device consists of the body set in the flow, the leaf spring supporting it, a piezo-electric element to generate, and an electric circuit. This part of the body is supported with the leaf spring, and leaf spring bends and vibrates. This leaf spring bend and it generated electricity using the piezo-electric element from vibration. It investigated about the influence of the body type and direction angle of the body to the wind and characteristic of the electric circuit on the power generation. It is clarified the power generator produce enough electricity to the change of wind velocity in the field.

研究分野：機械力学

キーワード：流体関連振動 自励振動 ギャロッピング 振動発電 圧電素子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーを利用した発電が注目を集めている。風力発電では、発電装置として大型プロペラを回転させて電力を得るものが多い。プロペラ型発電装置は同じ風速なら大きなプロペラの方が大きな電力を得られるため、発電ユニットが大型化する。従って設備規模が大きなものとなる。しかしこれでは、建設に広大なスペースが必要なことや建設と運営にかかるコストが大きいなどの課題が生じる。本研究では既存の風力発電技術に取って代わるものではなく、既存の風車より低い風速に対応し、近年において低電力で稼働する小型のセンサ向けの電源として使用可能な発電装置を開発することを目的として、風によって起こるギャロッピング現象を利用した簡単な構造で小型の発電装置の開発が望まれている。

### 2. 研究の目的

本研究では既存の風力発電技術に取って代わるものではなく、既存の風車より低い風速に対応し、近年において低電力で稼働する小型のセンサ向けの電源として使用可能な発電装置を開発することを目的として、風によって起こるギャロッピング現象を利用した簡単な構造で小型の発電装置の作製と実験を行った。それにより受風部の形状および発電特性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

図1は実験装置を示したものである。実験装置は高さ70mm、直径55mmの発砲スチロール製の半円柱の受風部と、長さ160mm、幅1mmの焼き入れりボン鋼の振動板からなる。実験装置は固定した点を中心として風に対して直角方向のy方向のみ振動できる1自由度振動系となっている。振動板の片側面に高さ60mmの圧電素子を取付け、金属板の振動から生じる歪みから電気エネルギーを得る。発電部には圧電素子を用いた。発電を行う際は、ノズル出口径200mmの風洞を用いて送風し発電実験を行う。受風部に適切な角度で風が当たることによりギャロッピング現象(自励振動)が発生し、圧電素子によって電圧が発生し電流が流れる。この電流の電圧を測定し、発生電流、発生電力を求める。

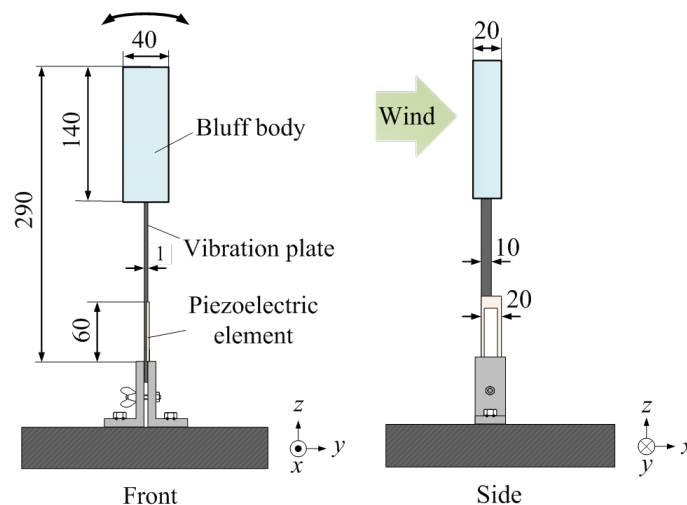


図1 発電装置概略図

ギャロッピング振動発電の1自由度振動系モデルを図2に示す。運動方程式は、

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = F_y \quad (1)$$

となる。また、物体に作用するy方向の流体力は、

$$F_y = F_L \cos(\alpha) + F_D \sin(\alpha) = \rho U^2 D C_y / 2 \quad (2)$$

と表せる。ただし、 $\rho$ は流体の密度、 $D$ は物体の代表長さである。 $C_y$ は $\alpha$ の関数であり $\alpha$ を微小として $\alpha=0$ まわりにテイラー展開して $\alpha$ の3次の項まで考慮すると(1)式は、

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = \rho U^2 D (a_1 \dot{y} / U + a_3 (\dot{y} / U)^3) / 2 \quad (3)$$

となる。ここで $a_1$ 、 $a_3$ は受風部の断面形状と流体のレイノルズ数で決まる流体係数である。図

3 は解析モデルの等価回路である。圧電素子と電気回路を組み込むことによって、機械振動系と電気回路系が連成される。ここで  $\Theta$  は変位  $y$  と変位に伴って生じる電荷量を示す等価的な圧電係数である。また、 $C_p$ 、 $V$ 、 $R$  は圧電素子の静電容量、出力電圧、回路の抵抗値である。連成した機械振動系と電気回路系の方程式を下に示す。

$$M \ddot{y} + 2M\zeta\omega_N \dot{y} + M\omega_N^2 y + \Theta V = \rho U^2 D (a_1 \dot{y} / U + a_3 (\dot{y} / U)^3) / 2 \quad (4)$$

$$V / R + C_p \dot{V} - \Theta \dot{y} = 0 \quad (5)$$

(4)、(5)式より発生電力を計算した。

#### 受風部の形状

ギャロッピング現象において受風部の断面形状は、ギャロッピングの発生や発電効率に大きく関係している。その中で半円形断面は、迎角に対する揚力勾配が負となり、ギャロッピングが起こる空力的に不安定な断面として知られている。本実験では、ギャロッピング現象において柱状物体の受風面が発電に与える影響を調べるため、半円柱の受風面の形状の違いを比較できるように受風部を作製した。正面から見た投影面積が等しい2種類の発泡スチロール製の柱体を使用した。2種類の柱体を、それぞれ半円柱を Type A、そして半円柱の受風面を 10 mm くぼませた柱体を Type B とする。

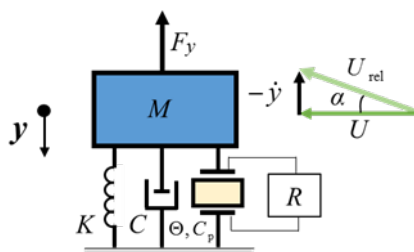


図 2 モデル

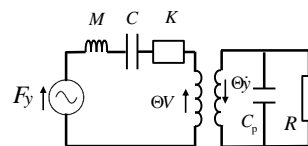


図 3 等価回路

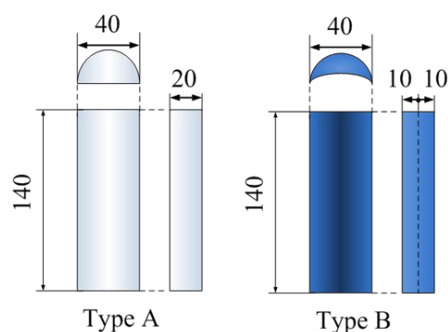


図 4 受風部形状

一定の風速で発電を行い、回路の抵抗値による圧電素子の発電量への特性を実験により計測した。実験には可変抵抗を用いて抵抗値を変化させながら電圧を測定し、測定した電圧から発生電流、発生電力を算出した。このとき風速は 3 m/s に設定した。図 5 に Type A の形状の解析結果と実験結果の比較を示す。結果を比較すると、実験結果と解析結果に差がある。しかし、それぞれのグラフで解析結果と実験結果の傾向が比較的一致している。図 6 に Type A と Type B の実験結果の比較を示す。抵抗値を変化させ発電を行うと、どちらも抵抗値によって発電量の変化が現れ、横軸に抵抗値、縦軸に発生電力を取ると発電量が極大値をもつ結果となった。この測定結果をもとに発電で用いる抵抗値の選定を行うと、測定結果では 300 kΩ 付近で極値をもつグラフとなったため、この付近の抵抗値を用いて発電を行うことで、より効率よく大きな発電量が得られる。

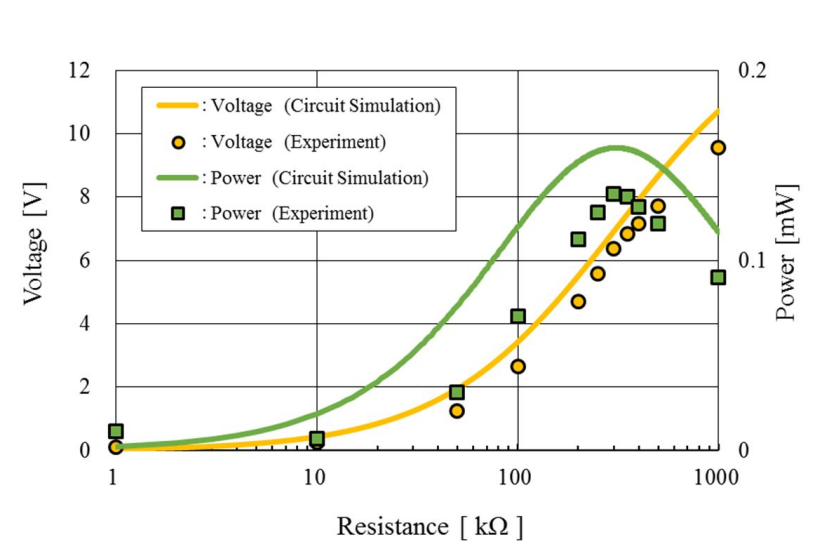


図5 実験結果と解析結果

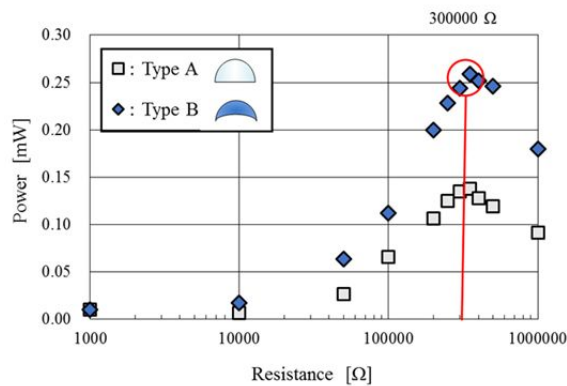


図6 発電量と抵抗値

#### 4. 研究成果

ギャロッピング現象を利用した発電機を製作する上において受風部の形状は半円柱よりも中央部がくぼんだ形状の方が有利であることが示され、風洞実験において本研究のギャロッピング発電機は、風速 2 m/s 以上で発電可能であり、風速 3 m/s の風速で 0.25 mW の発電量を得た。また、発電を行う際、圧電素子の特性を考慮して発電に適した抵抗値を選定し、電圧を維持することが効率的に発電するために重要であることを明かにした。

#### 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

齋藤正太, 小島悠暉, 田所千治, 長嶺拓夫, ギャロッピング現象を利用した発電, 日本機械学会2017年度年次大会 講演論文集 (日本機械学会) (さいたま2017-9) J0540106.