

自動車励起ガストエネルギーの回収に関する屋外実験

名古屋大学エコトピア科学研究所
 日本大学理工学部
 全日本空輸（株）（研究当時、名古屋大学学部生）

正会員 ○北川徹哉
 正会員 野村卓史
 非会員 嶋澤善大

1. はじめに

様々な分野においてエネルギー負荷軽減・環境負荷低減への取り組みが行われている。陸上輸送・流通の中心である高速道路交通に着目すると、その媒体である自動車本体の低燃費・低排出ガス性能は目覚しく向上しつつある。その一方、自動車の高速走行およびドライバーの安全を支える基盤である照明、サービスエリア、トンネル換気、管制情報システムや ITV を含む各種センサーなどの多くの高速道路設備は電力を恒常的に消費しており、これらのエネルギー負荷軽減への技術ニーズがある。本研究においては、自動車の高速走行が周囲の空間に生じさせる気流変動を未利用エネルギーとして着目し、この“自動車励起ガスト”のエネルギーを回収して高速道路設備のエネルギー負荷軽減に貢献することを考える。本論においては、北川¹⁾が提案した自動車励起ガスト発電体の応答・発電特性に関する屋外実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 屋外実験の概要

本発電体の概要を図1に示す。本発電体は変動空気力を受ける受風パネルとこれを支持するヒンジおよびバネから成り、ヒンジを中心とする回転運動を行う1自由度バネ-マス系である。受風パネル下端に円弧状の部材を介して結合されている永久磁石がコイル内を往復運動し、これによる電磁誘導が出力電圧を生む。本発電体の動力学系の設計には Sanz - Andres ら²⁾が導いた、自動車通過の際に道路標識（平板）に作用する変動抗力モデル（図2）を用いた。図2において、 c_{FP} は作用する変動空気力の抗力係数であり、 c_s は BA_b/d^3 (B : 平板の幅の1/2, A_b : 自動車の断面積の2倍, d : 自動車の進行方向中心軸から平板までの距離) で定義される無次元スケールである。また、 T は自動車が平板を通過する瞬間とする無次元時間であり、 tU/d (t : 時間, U : 自動車の走行速度) と定義されている。 c_{FP} は $T=\pm 0.5$ において極小値・極大値をとり、本研究においてはこの極小値-極大値間の無次元時間の2倍、すなわち $T=2$ に相当する周期と共振するように本発電体を設計した。 $U=100\text{km/h}$, $d=5\text{m}$ を想定して得られた 2.8Hz を目標の固有振動数としたが、製作した本発電体の固有振動数 f_0 は 2.5Hz であった。

図3に示すように本発電体を道路脇に設置し、その前方を自動車を通して、 100Hz のサンプリング周波数で応答変位、発電電圧 V_o および受風パネル法線方向の風速変動 u を同時計測した。 u については超音波風速計（図3において手前側）により計測し、応答変位についてはレーザー変位計（図1）により計測して変位角 θ に換算した。また、 U および d を変えつつ繰り返し自動車を通して、計測を逐一行った。

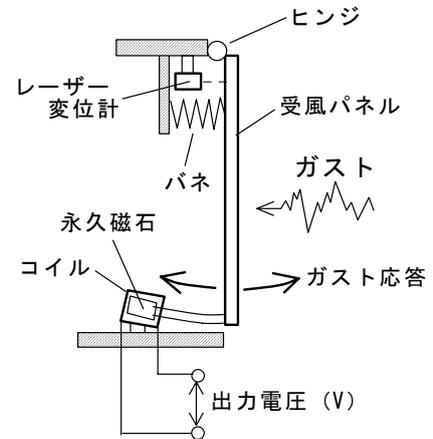


図1 自動車励起ガスト発電体の概要¹⁾

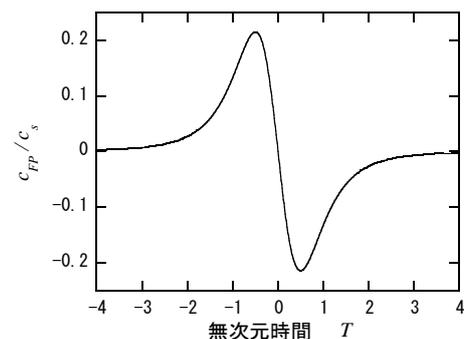


図2 自動車の通過により平板に作用する抗力のモデル²⁾



図3 屋外実験の様子

3. 屋外実験の結果

計測された全ての時刻歴データより $|\theta|$ の最大値と $|V_o|$ の最大値を抽出し、両者の対応関係をまとめたものが図4である。 $|V_o|$ は最も大きくて3V程度であり、 $|\theta|$ の最大値と $|V_o|$ の最大値とは相関関係がみられる。次に、図5(a)~(c)は計測された時刻歴データの一例であり、それぞれ u 、 θ 、 V_o である。図5(a)を見ると3.5s付近において自動車通過によるスパイク状の自動車励起ガストがみられ、同時刻から θ (図5(b)) および V_o (図5(c)) に応答が生じている。 θ ならびに V_o は主にこのスパイク状ガストによって励起され、自動車励起ガストは15s付近まで継続しているものの、その間に θ と V_o はほぼ減衰してゆくことが観察される。そこで、このスパイク状ガストを本発電体のエネルギーの源とみなして着目し、この周波数特性を調べた。ただし、スパイク状ガストは自動車通過した瞬間のみに現れるので、例えば図5(a)の時刻歴全体をスペクトル解析してもこの周波数を特定するのは不可能である。実際、そのパワースペクトルは明確なピークを示さなかった。そこで図6に示すように、このスパイク状ガストが図2の c_{FP}/c_s と相似であると仮定し、 $c_{FP}/c_s = \phi(t)$ とおいて

$$a_{s,p} = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} u(t)\phi\left(\frac{t-p}{s}\right)dt \quad (p, s \in \mathbf{R})$$

を計算した。これを図5(a)に適用した結果が図7であり、横軸は本来 p であるが時間で表し、縦軸は本来 s であるが f_0 で無次元化した周波数で表している。3.5s付近に大きな $|a_{s,p}|$ があり、スパイク状ガストの存在を意味すると同時に、 $\phi(t)$ とよく似た波形が u に含まれてことを示唆する。さらに、スパイク状ガストが発生みられた3.5s付近において $|a_{s,p}|$ が最大となる f/f_0 を抽出し(図7においては $f/f_0 = 1.5$)、このときの f をスパイク状ガストの周波数とした。全ての計測データについて同様の計算を行い、スパイク状ガストの周波数を $f_r = fd/U$ のように無次元化した結果が図8である。 f_r にはややばらつきが見られるもののその平均は $f_r = 0.3$ と得られ、これを本研究におけるスパイク状ガストの無次元周波数とする。一方、図2の Sanz-Andres ら²⁾のモデルの場合は $T=2$ としたことから $f_r = 1/T = 0.5$ であり、本研究で得られた無次元周波数はこれよりも低い値となった。

謝辞: 本研究は科学研究費補助金(若手研究(B): 16760372)の補助により行いました。

参考文献 1)北川徹哉: 風速変動エネルギー回収の試み, 土木学会第59回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, 2004. 2) Sanz-Andres et al.: Vehicle-induced loads on traffic sign panels, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.*, Vol. 91, pp. 925-942, 2003.

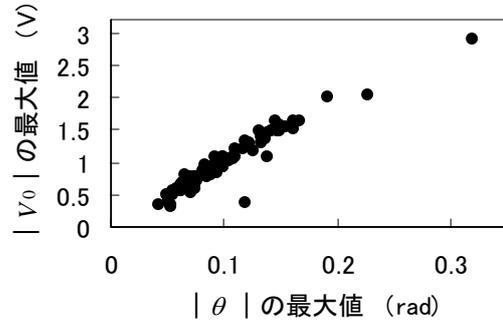


図4 $|\theta|$ の最大値と $|V_o|$ の最大値との関係

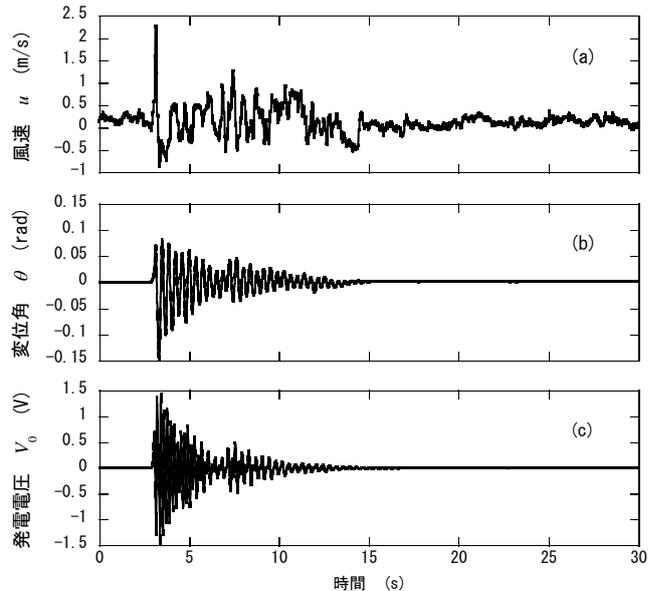


図5 時刻歴の一例(a)風速変動(b)変位角(c)発電電圧

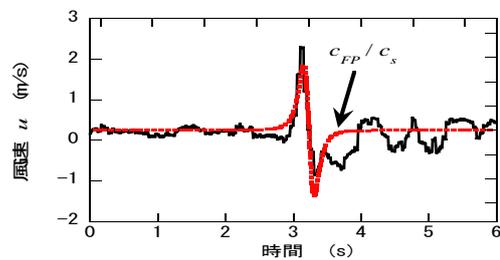


図6 図5(a)の前半6秒間と c_{FP}/c_s との比較

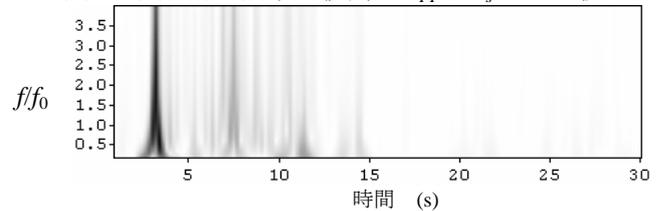


図7 $|a_{s,p}|$ の分布

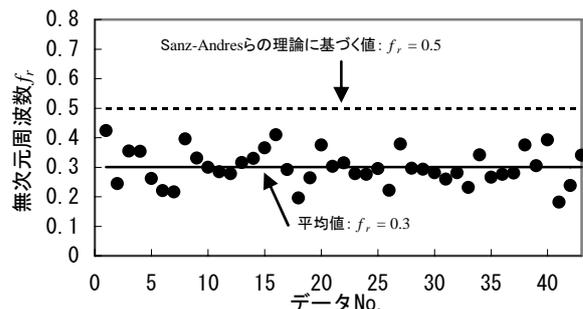


図8 スパイク状ガストの無次元周波数