

風速変動エネルギーの回収の試み

名古屋大学エコトピア科学研究機構 正会員 北川徹哉

1. はじめに

環境問題が重要視される中、様々な分野において省エネルギー・環境負荷低減への取り組みが行われている。陸上輸送・流通の動脈である高速道路交通に着目すると、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、ロードヒーティング、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“ランニングエネルギー”の省エネルギー化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する。無風の気象下においても中央分離帯などの植生が揺れるのは、この“自動車励起ガスト”によるものである。このエネルギーを回収して一つの分散型電源と位置づけ、高速道路設備のランニングエネルギーの軽減に貢献することを考える。本論においては、自動車励起ガストエネルギーを回収するための実験体を試作したので、その概要を報告する。

2. ガストエネルギー回収構造体の試作

試作したガストエネルギー回収構造体の概要を図 1 に示す。本構造体はガスト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。受風パネルの下端、幅方向中央には円弧状の部材を介して永久磁石が取り付けられており、受風パネルのガスト応答にともなって永久磁石がコイル内を往復運動し、電磁誘導により電位を生む。近年、人体の運動や機械振動による動的なエネルギーを回収する試み（例えば文献 1), 2)) があり、本構造体もこれらに類するものである。一方、受風パネルは長さ 300mm、幅 280mm、厚さ 20mm の発砲スチロール製平板である。バネはバネ定数が 1.16N/mm、長さ 30mm の円錐バネであり、受風パネルの幅方向中央、上端から 30mm の位置に設置されている。また、用いた永久磁石は長さ 20mm、直径 18mm の円柱状の希土類磁石（住友特殊金属：NEOMAX-48BH）である。コイルは長さ 30mm、内径 28mm の円筒形であり、直径 0.26mm の絶縁銅線により作成した。このコイルは約 100 回巻のコイルを 5 層に重ねた構造になっており、各層が直列に結線されている。

Sanz-Andres ら³⁾は、自動車が通過する際に道路標識（平板）に作用する変動空気力を理想的な仮定の下で理論的に推定しており、上述の各諸元はこれを参考に設計した。Sanz-Andres らが導いた道路と平行に置かれた平板に垂直に作用する空気力（抗力）モデルは

$$c_{FP} = -\frac{3}{4}c_s \frac{T}{(T^2 + 1)^{5/2}} \quad (1)$$

である（図 2）。ここで 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を原点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。図 2 をみると c_{FP} は自動車の接近 ($T < 0$) にともなって正值（平板を道路外へ押し出

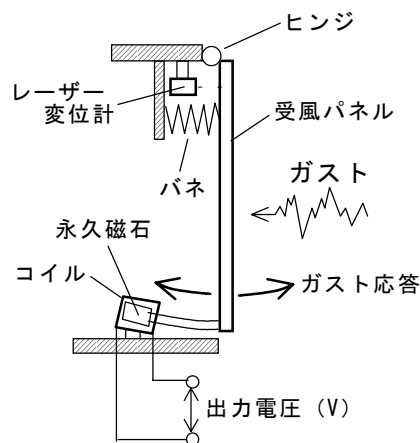


図 1 ガストエネルギー回収構造体の概要
(側面図)

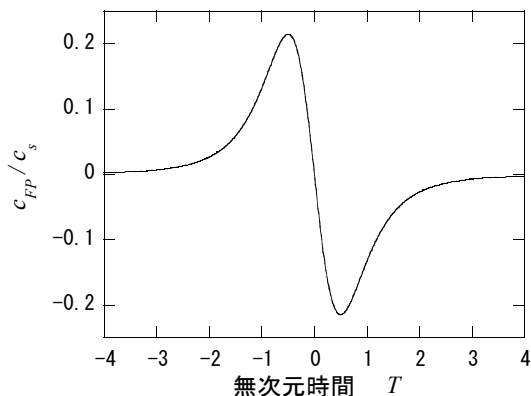


図 2 自動車の通過により平板に作用する抗力のモデル（式(1)）³⁾

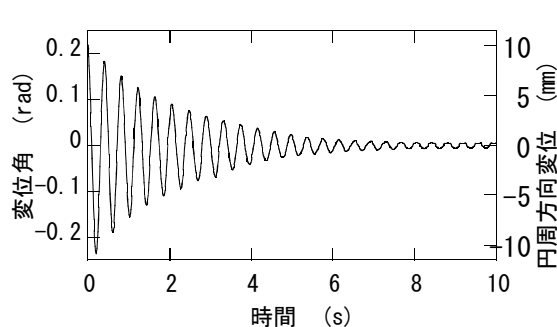


図3 自由振動の時刻歴の一例

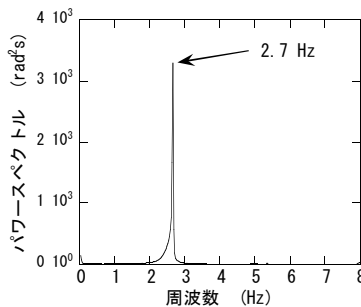


図4 図3のパワースペクトル

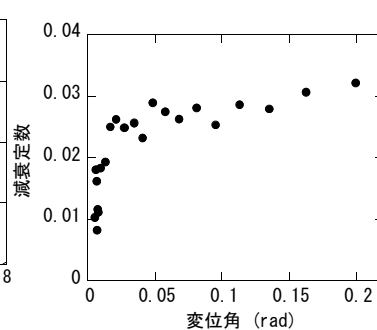


図5 構造減衰

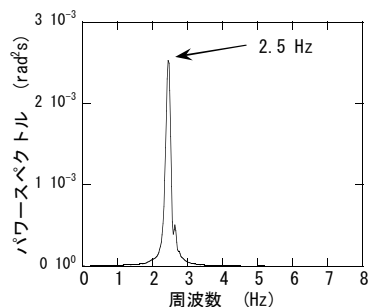
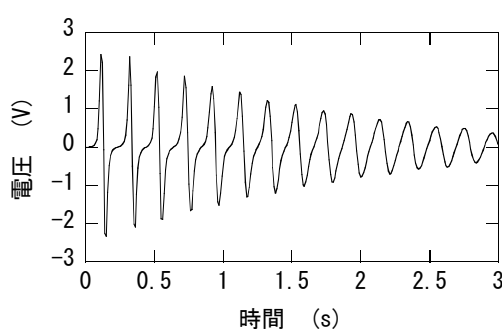
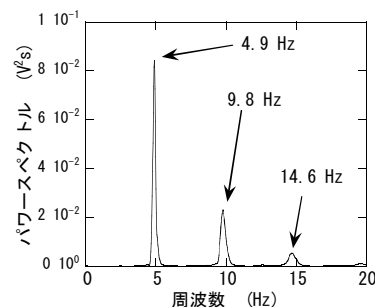
図6 コイルの回路を閉じたときの
パネル変位のパワースペクトル図7 発電電圧の時刻歴
(前半3秒間のみを拡大)

図8 図7のパワースペクトル

す方向に作用) となり, 通過後 ($T > 0$) は負 (道路内へ引き込む方向に作用) となる. また 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構造体を設計した. $T = 2$ の下で本構造体の受風パネルの前方 5m の位置を自動車速度 100km/h で通過することを想定すると, 2.8Hz が目標の固有振動数となる.

本構造体を用いた自由振動実験を行い, 受風パネルの構造特性およびコイルの誘導電圧特性を調べた. なお, 受風パネルの振動は同パネル上端から 30mm の位置の水平変位をレーザー変位計を用いて計測し, これを回転角ならびに磁石の設置位置における円周方向変位に換算した. サンプル周波数は受風パネルの変位および誘導電圧ともに 100Hz とした.

3. 自由振動における構造特性および発電特性

まず, コイルの電極を AD 変換器につなげない状態で自由振動実験を行った. 得られた受風パネルの変位時刻歴の一例を図3に, また, このパワースペクトルを図4に示す. 図4より固有振動数は 2.7Hz であり, 目標の振動数 2.8Hz に概ね一致する. また, 自由振動波形から変位角に対する構造減衰を求めた結果が図5であり, 構造減衰は振幅が 0.05rad 以下の場合を除いて 2.8% 前後と得られた.

次にコイルを AD 変換器につないで自由振動させ, 受風パネルの変位と誘導電圧とを計測した. 変位のパワースペクトルを図6に示す. 図4と比較すると固有振動数は 2.5Hz に低下しており, これはコイルを流れる電流により発生した磁場による力が磁石が受けたことによると思われる. 一方, 誘導電圧の時刻歴が図7である. 一般に電磁誘導においては誘導電圧は磁界の変化速度に比例するため, 磁石の変位変動が単一の周波数を持つ場合, 誘導電圧も磁石の変位周波数と同じ周波数を持つ. ところが図7の時刻歴のパワースペクトル (図8) をみると, 誘導電圧の支配的な周波数は固有振動数のほぼ2倍の 4.9Hz となっている. この理由は, 磁石の S 極および N 極の両方による磁界が作用するためと思われる. 実際, コイルを磁石から遠ざけた位置に設置して同様な実験を行ったところ, この場合は片方の磁極による磁界のみが電磁誘導に関与するために誘導電圧の周波数も固有振動数に一致した. また, 図7の誘導電圧の時刻歴は特に振幅が大きい時間帯で正弦波とは異なる波形となっている. 磁石による磁界の強さの空間勾配は磁極付近において非線形的に大きく (例えば文献1)), この影響が磁石の変位振幅が大きい (速度が大きい) 場合に誘導電圧に現れたためと思われる. 図8には 4.9Hz の2倍 (9.8Hz) および3倍 (14.6Hz) の周波数成分もあり, これらは図7にみられた誘導電圧の非正弦波的な変動による高調波を表している.

参考文献 1) 中野ら: 人の歩行と共振する質量-ばね系を利用した携帯用動電型発電機, 日本機械学会論文集 (C 編), 68 巻 670 号, pp.19-24, 2002. 2) 則次, Samsak: エネルギー回収型空気式アクティブサスペンションの開発, 日本機械学会論文集 (C 編), 66 巻 648 号, pp.2583-2588, 2000. 3) Sanz-Andres *et al.*: Vehicle-induced loads on traffic sign panels, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 91, pp.925-942, 2003.