

超小型車両用アクティブシートサスペンション  
(振動による乗員の乗り心地評価に関する実験的検討)

Active Seat Suspension for Ultra-Compact Vehicles

(Experimental Consideration on Ride Comfort Evaluation of Crew by Vibration)

○池田圭吾（東海大） 遠藤文人（東海大）

増野将大（東海大） 成田正敬（東海大）

加藤英晃（東海大）

Keigo IKEDA, Tokai University  
Ayato ENDO, Tokai University  
Masahiro MASHINO, Tokai University  
Takayoshi NARITA, Tokai University  
Hideaki KATO, Tokai University

**Abstract:** In the current automobile industry, the demand for ultra-compact vehicles as a means of transportation for elderly people and traveler, has been increasing. The effect of vibration of such vehicles on ride comfort is significant because of their small size and light weight, and it increases the discomfort perceived by persons in the vehicle. Therefore, it is necessary to develop a vibration control system for safe and comfortable driving. To improve ride comfort against vertical vibration, our research group proposed an active seat suspension using a voice coil motor at the seat section of the vehicle. In the past, we proposed the control method by taking feedback from heart rate variability. However, we don't investigate enough about the relationship of vibration and heart rate variability. In this paper, we examined the effect of vertical vibrations of a variety of vibration frequency, by measuring the heart rate variability.

**Key Words:** Active Seat Suspension, Ultra-Compact Electric Vehicle, Ride Comfort, Heart Rate Variability

1. 緒言

近年，環境問題や高齢化社会問題の影響から超小型電気自動車の需要が高まりを見せており，メーカー各社は環境と人に優しい超小型電気自動車の開発を進めている<sup>(1)</sup>．超小型電気自動車は従来の乗用車と異なり，細い道や舗装されていない悪路への頻繁な乗り入れが容易である．このような道には段差や小さな障害物が多数路面上にあり，比較的低速走行であっても車両の乗り心地の悪化が予想される．これを解決するために当研究グループでは Fig. 1 に示すアクティブシートサスペンション（以下，ASS）を提案している<sup>(2)</sup>．

上下振動による乗員の乗り心地評価に関して，著者らはこれまでに振動の低減が必ずしも乗員にとって最良の乗り心地とならないことを生体計測から確認している．その上で生体計測情報の一つであり，ストレスを定量的に把握できる心拍変動をリアルタイムに計測し，ASS システムにフィードバックする制御手法の提案も行い，基礎的な検証によりその有用性を確認している<sup>(3)</sup>．

一方，乗員に入力される振動とストレス指標の関連に関しては十分な検討を行ってこなかった．そこで本報告では，一般に乗り心地感覚が異なると思われる振動周波数を加振入力し，乗員の心拍変動から推定した心理状態を評価することで，詳細な ASS 制御システムの構築の基礎検討を行う．

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

実験には Fig. 1 に示す 1 人乗り用の超小型電気自動車を

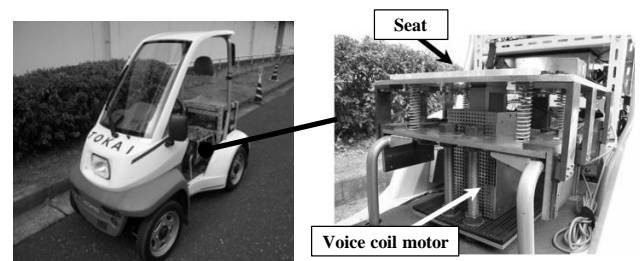
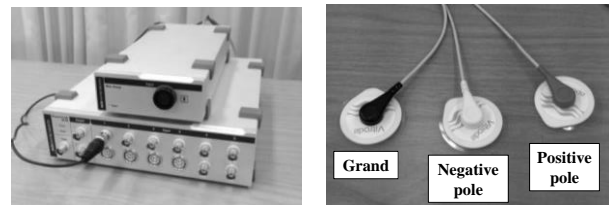


Fig. 1 Photographs of ultra-compact vehicle and ASS



(a) Bio Amp (b) Electrode and shielded lead wire  
Fig. 2 Electrocardiogram measuring device

用いた．座席部には ASS を搭載している．着座部はアルミ板を使用し，4 本のコイルスプリングによって支えられ，リニアスライダにより上下振動のみに拘束している．制御用アクチュエータにはリニアモータの一種であるボイスコイルモータを採用した．また従来のアクティブサスペンションのような車両全体を制振せずに座席部を制御する ASS は 2 人乗り以上の車両では，各乗員の心理状態を反映した

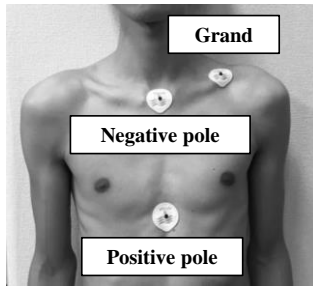


Fig. 3 Photograph of pasting position of electrode

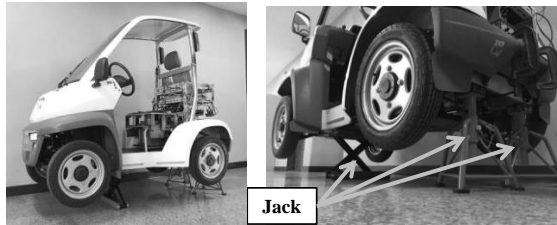


Fig. 4 Experimental vehicle in vehicle stop state



Fig. 5 Photograph of the state of experiment

乗り心地の実現が可能となる。なお DSP などの周辺機器とボイスコイルモータ駆動用のバッテリーを車両後部に搭載した。

## 2.2 心拍変動の計測方法

心電図測定には Fig. 2 に示す Bio Amp ML132, Power Lab 8/35 PL3508, MLA2340 および MLA2503 シールドリード線 (AD Instruments 社製) を用い、解析システムは同社の Heart Rate Variability を用いた。本研究では走行時のステアリング操作で腕を頻りに動かすため、その際にノイズが入りにくく安定して測定できる NASA 誘導 (Fig. 3) に従って電極を貼りつけた。

## 2.3 加振条件

加振条件は乗り心地に影響する振動周波数<sup>(4)(5)</sup>とされている 4~8 Hz のうち 5 Hz を外乱として選定し、異なる加速度である 3 Hz を重ね合わせた。なお本実験では乗員が負担となる 5 Hz が路面から車体を通して入力したことを想定しており、ASS を用いて他の振動周波数である 3 Hz を積極的に入力することにより、乗り心地の変化として心理状態に好ましい差が生じるのかを検証することを目的としている。本研究においては上記の積極的に他の周波数を入力して好ましくない外乱をキャンセルする手法をマスキングと呼ぶこととする。両周波数の振動入力加速度の振幅が 3 m/s<sup>2</sup> となるように設定した。本実験では加振時間は 4 分間とし、実験は Fig. 4 に示すように車両停車状態とし、車体の共振を防ぐためにジャッキアップをした。

## 2.4 実験方法

被験者は実際の走行状態を再現するために運転姿勢にて着座し、進行方向に示した注視点を目視するよう教示した。

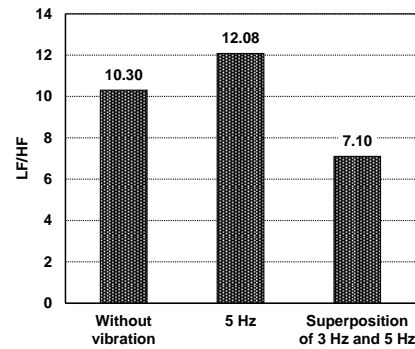


Fig. 6 LF/HF values for the each vibration conditions

加振前には 1 分間の 2 桁の暗算時間を設けることで被験者にストレスを付加し、心理状態を一致させた (Fig. 5)。加振後には 1 分間の座位安静時間を設けた。被験者は健康な大学生の男性 1 名とした。

## 3 結果および考察

Fig. 6 に各振動条件における LF/HF 値を示す。左心室の収縮を反映して周期的に表れるピークを R 波といい、R 波から次の R 波までの時間である RRI を算出する。RRI は時刻歴として整理され、RRI 時刻歴から周波数解析により 0.15~0.4 Hz の HF 成分、0.04~0.15 Hz の LF 成分を算出し、自律神経系の評価指標とすることが可能である。LF および HF は交感神経系と副交感神経系の活動を分けて評価できるため広く用いられている。LF/HF は値が高ければ副交感神経系が優位でありストレス状態、低ければ交感神経系が優位でありリラックス状態と評価できる。

同図より未加振車両に対して外乱として設定した 5 Hz 車両では LF/HF 値が上昇しストレスになっていることが分かる。一方マスキング車両では、ストレスが軽減したことを確認した。

## 4 結言

本研究では心拍変動から乗り心地改善が必要な周波数である 5 Hz 時におけるのストレスが他の周波数を重ね合わせるマスキングを行うことによりリラックスする傾向が確認できた。今後は本検討での知見を利用し、運転者の心理状態をリアルタイムにフィードバックする制御手法へ利用していく予定である。

## 参考文献

- (1) 国土交通省 都市局・自動車局, 超小型モビリティ導入に向けたガイドライン—新しいモビリティの開発・活用を通じた新たな社会生活の実現に向けて—, 2012.
- (2) 阿部他, 能動型シートサスペンションによる乗り心地改善(小型電気自動車を用いた基礎的検討), 日本機械学会年次大会講演会論文集, 7-2-1, pp. 175-176, 2002.
- (3) 加藤他, 乗員の心理状態推定による乗り心地制御システムの提案, 日本機械学会論文集, 81-832, 2015.
- (4) International Organization of Standardization ISO 2631, Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, International Organization for Standardization, Geneva, 1974.
- (5) Janeway, R.N.: Human Vibration Tolerance Criteria and Application to Ride Evaluation: SAE Tech.Pap.Ser., 750166, p. 24, 1975.