

乗員の心理推定とマスキングを利用した超小型モビリティの新たな乗り心地制御

東海大学 工学部動力機械工学科 助教 加藤 英晃



1. はじめに

近年、近距離移動の新たな交通手段として1~2人乗りの超小型モビリティが注目されている。国土交通省は超小型モビリティが公道を走行できるよう規制を緩める方針を打ち出しており、現在では観光地でのカーシェアリングや宅配サービスなどで利用されている。超小型モビリティは車体が小さいことから路地や未舗装路での利用が多いが、車体重量が非常に軽量であるため、路面からの振動の影響を受けやすく乗り心地が劣化しやすいと想定される。

この問題を解決するために当研究グループでは車両座席部に搭載するアクティブシートサスペンション（図1）による乗り心地改善を提案している。座席部に固定した上下加速度センサにより、加速度を検出し、ここから変位と速度を算出、これに応じてリニアモータに推力を発生させることで、路面からの入力打ち消して振動を抑えるシステムである。超小型モビリティの場合、限られた空間にアクチュエータを設置し、高い推力を発揮させなければならないという技術的な困難さを有するが、概ね良好な制御を得ることができている。また、乗員の生体情報を計測することによって乗り心地を定量的に評価する手

座席下に設置したアクチュエータを駆動し入力される振動を能動制御する

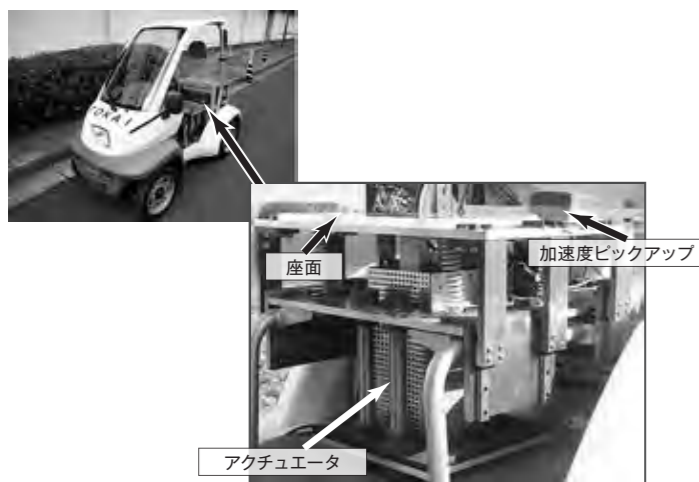


図1 アクティブシートサスペンション



図2 運転者一人一人の乗り心地感覚をフィードバックする制御の概念図

法についても研究を行い、乗員の心理状態をリアルタイムにフィードバックし、乗り心地の異なる制御を切り替えるシステムを構築している（図2）。しかしながら、制振制御システムのアクチュエータは、ストロークおよび推力、応答周波数などの面においてその性能の限界を有し、アクティブシートサスペンションの普及の段階においては十分な応答と推力の確保ができない廉価なアクチュエータを利用する場合も想定しなければならないことも課題の一つである。

一方、心理的に不快と感じる振動が外乱として入力された場合、それを制御により低減させる手法は、様々な観点から検討がなされている。それに加えて、入力された外乱とは別の周波数帯域の振動を積極的に重ね合わせることで、乗り心地を変化させて、乗員にとって快適な運転環境を整えるような手法を確立することができれば、革新的な乗り心地改善手法を提案することも可能となってくる。このような背景から、本研究では外乱として入力された不快と感じる周波数の振動に対して、他の周波数の振動を積極的に入力することで乗り心地に好ましくない振動の感度を相対的に低減させる「マスキング」の利用を開拓する。

2. 心電図の計測と解析

本検討では被験者の心理状態を評価するために、簡易計測が可能かつ連続してデータを取得できる心電図

（Electrocardiogram, ECG）を取得した。取得した心電図から周期的に表れるピーク（R波）を検出し、R波とR波の間隔を示すRRIを算出した。RRIは自律神経系の活動状態によって周波数特性が変化する。そこで算出したRRIを時刻歴としてまとめ、高速フーリエ変換からパワースペクトルを算出した。ここで0.04~0.15 HzをLF成分、0.15~0.4 HzをHF成分と呼び、それぞれの積分値の比であるLF/HFはストレス指標として用いられている。本検討では取得した心電図から加振条件ごとにLF/HFを算出し、心理状態の比較を行った。

3. 乗員の生体情報を用いたマスキングに関する検討

自動車の「乗り心地」を広義に解釈すれば、視覚や臭い、車内温度、車酔いなど様々な要因が複雑に関係し、さらにそれに対する優先度の個人差も大きく、乗り心地は振動だけで決まるものではない。従来、工学的には振動によってのみ乗り心地は決まると限定的に定義され、その振動をどのように評価し、その対策を講ずるかという点に関して車両サスペンションの開発はなされてきた。なかでも、同じ振幅で異なる周波数の振動をどのように評価するかという観点から主に自動車の乗り心地は設計されてきている。たとえば、同一の加速度振幅である場合、内臓の固有振動数である4~8 Hzで乗り心地が悪くなり、それより低周波と高周波領域では、感度が落ちると考えられている。

本検討では、人体の振動特性にとって最悪な走行環境を想定した単一周波数振動を外乱として設定し、その振動に対して単一周波数振動でマスキングした際の心理状態の変化を確認した。実験では外乱として車両に入力する振動を5 Hzの正弦波に設定した。乗員の感覚が異なる2種類の振動周波数帯域のうち、事前に実施した単一周波数による加振実験においてストレス度合いへの影響が小さいと認められた3、10 Hzの2種類の正弦波振動をマスキングで用いる振動として設定した。また、マスキングに用いる振動は外乱に対する相対的な加速度振幅によって振動感覚に影響を与えられられることから、加速度振幅はそれぞれの加振周波数において両振幅3.0、6.0 m/s²の2種類の条件を設定した。なお位相については予備的にいくつかのパターンを用意して数名の被験者にて実験を行った際にマスキングによって最も乗り心地感覚が変化すると回答が得られた条件を使用している。実験結果の一例を図3に示す。心電図より得られるLF/HFは数値が高ければストレス状態、数値

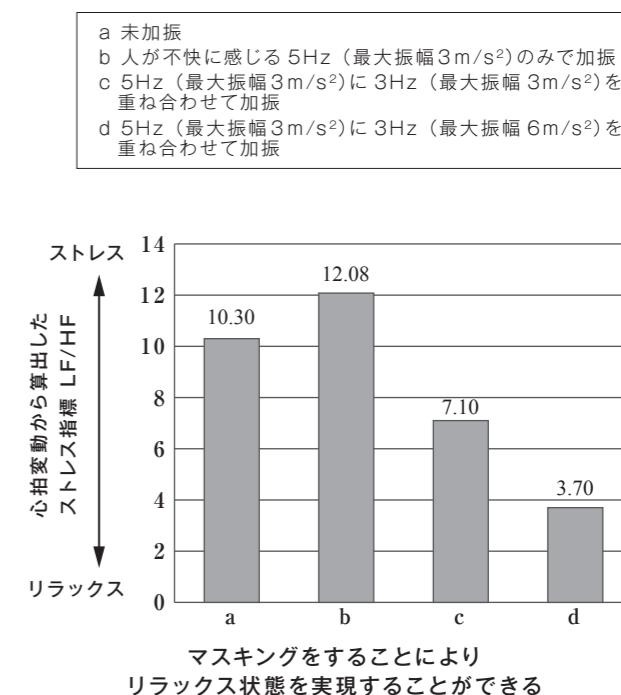


図3 振動周波数のマスキングによる乗り心地向上の効果（心拍変動より算出したストレス指標 LF/HF にて評価）

が低ければリラックス状態として評価できる。同図より周波数と加速度で心理状態が変化することが分かる。また、マスキング時の心理状態も最もリラックスするものとなることを確認することができた。

4. まとめと今後の展望

本研究では超小型電気自動車の乗り心地改善の手法としてアクティブシートサスペンションによって外乱に対して異なる周波数の振動を加振入力するマスキングという手法を提案し、マスキングを行った際の心理状態について心電図を測定することにより評価を行った。一方、実車環境における外乱はさまざまな加速度振幅、周波数帯域を持った振動が想定される。また重ね合わせる振動も加速度振幅、変位振幅、位相、周波数特性などの条件が想定される。さらに心理状態は時々刻々と変化するものであり、心理状態によっては同じ振動制御を適用した場合にもその効果が変化することが想定される。そのため、今後は乗員の心理特性とマスキング制御による心理的応答を体系的にまとめ、乗員の状態に合うマスキング制御を適用できるようなシステムの構築を目指していく。