

# 日本磁気学会論文特集号

## 3 巻 2 号

ONLINE ISSN: 2432-0471

Electronic Journal URL: <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/msjtmjsj/-char/ja/>

---

### CONTENTS

#### Power Magnetism

ボイスコイルモータを用いた超小型モビリティのアクティブシート

(振動制御を考慮したモータ設計に関する基礎的検討)

..... 遠藤文人・池田圭吾・三野輪良祐・加藤英晃・成田正敬 120

---

#### Board of Directors of The Magnetism Society of Japan

<b>President:</b>	K. Nakagawa
<b>Vice Presidents:</b>	S. Sugimoto, S. Matsunuma
<b>Directors, General Affairs:</b>	K. Niiduma, H. Saito
<b>Directors, Treasurer:</b>	K. Ishiyama, H. Takahashi
<b>Directors, Planning:</b>	S. Nakagawa, T. Kondo
<b>Directors, Editorial:</b>	T. Ono, T. Kato
<b>Directors, Public Relations:</b>	S. Greaves, S. Sakurada
<b>Directors, International Affairs:</b>	M. Nakano, H. Yanagihara
<b>Auditors:</b>	R. Nakatani, Y. Takano

# ボイスコイルモータを用いた超小型モビリティのアクティブシート (振動制御を考慮したモータ設計に関する基礎的検討)

## Active seat for ultra-compact mobility with voice coil motor (Fundamental consideration on design method of motors considering control of vibration)

遠藤文人<sup>a)</sup>・池田圭吾<sup>b)</sup>・三野輪良祐<sup>b)</sup>・加藤英晃<sup>c)†</sup>・成田正敬<sup>c)</sup>

<sup>a)</sup> 東海大学大学院総合理工学研究科, 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 (〒259-1292)

<sup>b)</sup> 東海大学大学院工学研究科, 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 (〒259-1292)

<sup>c)</sup> 東海大学工学部, 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 (〒259-1292)

A. Endo<sup>a)</sup>, K. Ikeda<sup>b)</sup>, R. Minowa<sup>b)</sup>, H. Kato<sup>c)†</sup>, T. Narita<sup>c)</sup>

<sup>a)</sup> Graduate School of Science and Technology, Tokai Univ., 4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-1292, Japan

<sup>b)</sup> Graduate School of Engineering, Tokai Univ., 4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-1292, Japan

<sup>c)</sup> School of Engineering, Tokai Univ., 4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-1292, Japan

Ultra-compact mobility is leveraged to streamline transportation. This mobility makes it easy to drive vehicles on narrow roads because it makes them light in weight. However, there is a possibility that ride comfort is degraded because ultra-compact mobility often means that equipment must be made simple so that it can be miniaturized. To improve ride comfort against vertical vibration, we previously proposed an active seat suspension mounted on the seat section of a vehicle. This active suspension makes it possible to control vibration actively by means of a voice coil motor. We examined the reduction in vibration with the suspension when entering rough roads and developed a practical control method. Motor characteristics, e.g. motor stroke, thrust variability, and voltage capacity, are important factors for reducing vibration. In particular, ride comfort is affected when going over bumps. Therefore, in this paper, the voice coil motor was evaluated by using electromagnetic field analysis. Moreover, the efficiency of vibration control was investigated in a simulation in which voltage capacity and nonlinearity of thrust were considered.

**Key words:** active seat suspension, ride comfort, ultra-compact mobility, optimal control, voice coil motor

### 1. はじめに

公共交通機関の整備が不十分である地域の交通問題の解決や安心かつ安全な近距離移動の手段として超小型モビリティの需要が近年拡大している。超小型モビリティは1~2人乗り用の非常に小型かつ軽量の車両であり、細い路地での走行が簡単であることが特徴である。しかし、小型化・軽量化を実現させるために座席やシャシサスペンションなどが非常に簡素な設備となっている。そのため路面の凹凸等に起因する振動による乗り心地や快適性の劣化が問題となっている。乗員への振動を低減するため、シャシサスペンションにアクチュエータを設置したアクティブサスペンションによる振動制御が提案されている<sup>1,2)</sup>。しかしながら4輪分のシャシサスペンションの交換が必要になるため、容易に設置することが難しく、車両重量の増加にも繋がる。

著者らは振動による乗り心地劣化の問題を解決するためにアクティブシートサスペンションを提案している<sup>3)</sup>。アクティブシートサスペンションは車両座席部分に搭載するサスペンションであり、乗員に伝わる振動をダイレクトに制振する装置である。著者らはボイスコイルモータ (VCM) をアクチュエータとしたアクティブシートサスペンションを実車に搭載し、様々な路面環境において振動低減効果があることを実験的に確認している<sup>4,7)</sup>。

VCM は内部にコイルの移動を支える機構を持たないダイレクトドライブの構造となっており、高効率でメンテナンスフリーとなるメリットがある。しかしながら、アクティブシートサスペンションを超小型モビリティに搭載する際に次の2点が問題となる。

(1) アクチュエータを軽量化するためには永久磁石を小型化する必要があるが、それによって可動部の変位による推力変動が大

きくなる。(2) 車両の軽量化のためにバッテリー搭載量には制限がある。本研究では以上2点の問題について検討を行うため、電磁界解析を用いてアクチュエータの推力特性ならびに制御性能について検討を行った。特にVCMの性能に影響を与える設計パラメータとして考えられる導線径に着目した。まず、電磁界解析を用いてVCMの導線径が変化した際の特性を明らかにした。次に実際の振動制御を想定した運動解析を行い、各導線径における振動低減効果を明らかにした。さらに、超小型モビリティでの利用を考慮し、電源電圧の制限による振動低減効果の変化についても確認した。

### 2. アクチュエータ

本研究で対象としたアクティブシートサスペンション (Fig. 1) ではアクチュエータとして Fig. 2 に示す VCM を用いている。この VCM は永久磁石とヨークで構成された固定部と2つのコイルが取り付けられている可動部で構成されている。コイルを挟むように永久磁石が配置されている。そのためコイルに電流を印加するとフレミングの左手則にしたがって推力が発生する。可動部は直接シート座面に取り付けられるため、座面を直接制振することが可能となる。なお、車内空間に厳しい制約のある超小型モビリティにアクティブシートサスペンションを搭載することを考慮すると可能な限りシンプルな構造であることが求められる。超小型モビリティはホイールベースならびにトレッドが短く、ローリングやピッチングによる振動の影響を受けにくい。また、吉田ら<sup>8)</sup>によって鉛直方向の振動が心理的負荷に与える影響が大きいことが示されている。そのため、本報告では鉛直方向の振動のみを抑制する

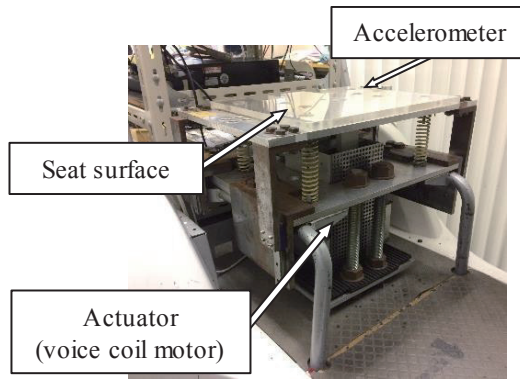


Fig. 1 Active seat suspension.

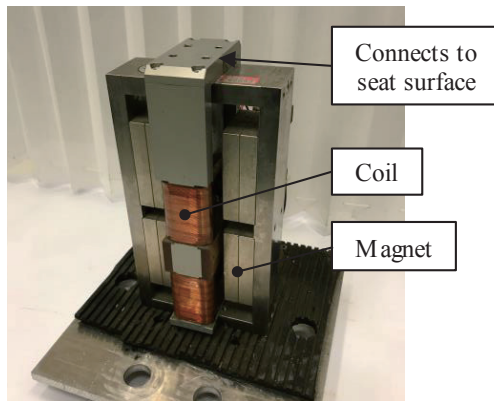


Fig. 2 Voice coil motor.

1 自由度の VCM を用いて検討を行っている。

### 3. アクティブシートサスペンションのモデリングと制御

#### 3.1 制御モデル

本報告では Fig. 1 のアクティブシートサスペンションを対象とし、1 自由度システムとして Fig. 3 のようにモデル化している。アクティブシートサスペンションのシートはコイルスプリング、リニアスライダ、ボイスコイルモータによって支持されている。本報告では座面の振動が直接乗員へ伝達され、乗員とシートが一体として運動すると仮定している。そのため、床から上部を制御対象とした 1 自由度システムとしてモデル化を行った。運動方程式は次式のようにになる。

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = Ki \quad (1)$$

ここで  $m$ : 人間（着座時の脚部等の影響を除いたシートに加わる質量）とシートの質量の合計値 [kg],  $c$ : リニアスライダの摩擦等を含めた見かけの減衰係数 [Ns/m],  $k$ : ばね定数（4 本の合計値）[N/m],  $K$ : 推力定数 [N/A],  $y$ : シートの絶対変位 [m],  $i$ : 制御電流 [A]である。

また、ボイスコイルモータの回路方程式は次式のようにになる。

$$L\dot{i} + Ri + K\dot{y} = v \quad (2)$$

ここで  $L$ : ボイスコイルモータのコイルインダクタンス [H],  $R$ : コイル抵抗 [ $\Omega$ ],  $v$ : 制御電圧 [V]である。

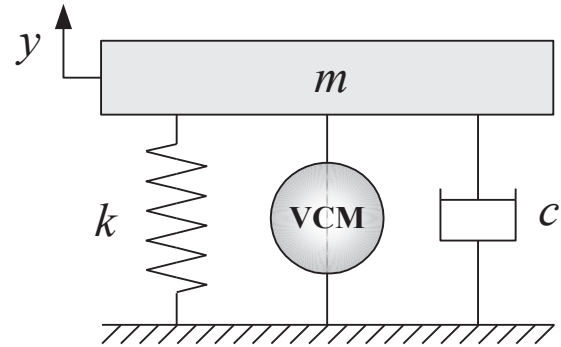


Fig. 3 Model of active seat suspension.

式(1), (2)を整理し、状態方程式化すると次式のようにになる。

$$\dot{\mathbf{y}}_s = \mathbf{A}_s \mathbf{y}_s + \mathbf{B}_s v \quad (3)$$

ただし、

$$\mathbf{y}_s = [y \quad \dot{y} \quad i]^T$$

$$\mathbf{A}_s = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} & \frac{K}{m} \\ 0 & -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{L} \end{bmatrix}^T$$

である。

#### 3.2 制御理論

本報告ではアクティブシートサスペンションを最適制御理論に沿って振動を制御すると仮定して運動解析を行った。以下では運動解析を行うことから離散時間系制御理論について述べる。最適制御理論は下記の 2 次形評価関数  $J_d$  を最小とする制御電圧  $v_d$  を求める。なお添え字  $d$  は離散化を表している。

$$v_d = -F_d y_d \quad (4)$$

$$J_d = \sum_{j=0}^{\infty} [y_d(j)^T Q_d y_d(j) + r_d v_d(j)^2] \quad (5)$$

$$Q_d = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$F_d = [f_1 \quad f_2 \quad f_3] \quad (7)$$

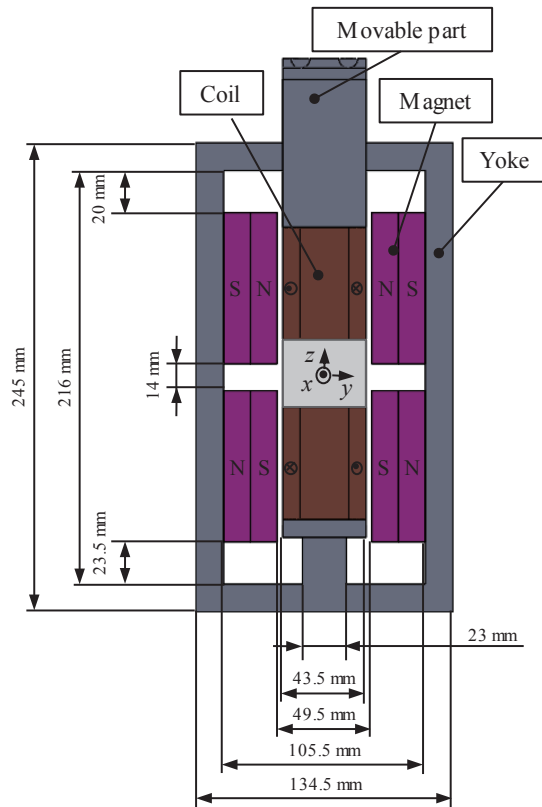


Fig. 4 Model of voice coil motor.

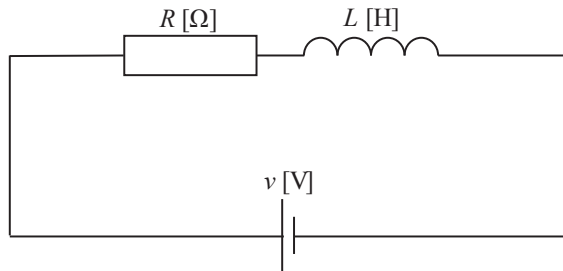


Fig. 5 Equivalent circuit structure of voice coil motor.

ここで  $\mathbf{R}$ : 変位, 速度およびボイスコイルモータへの入力電流に関するフィードバックゲイン  $f_1, f_2, f_3$  を要素とするフィードバック行列,  $\mathbf{Q}$ : 変位, 速度およびボイスコイルモータへの入力電流に関する重み係数  $q_1, q_2, q_3$  を要素とする重み行列,  $r_a$ : 制御電圧に関する重み係数である。

#### 4. 電磁界解析によるアクティブシートサスペンション用 VCM の特性

##### 4.1 解析の概要

一般的な VCM ではストローク時においてもコイルへ均一な磁場を得るため, 可動部の移動領域を十分に補える程度の長さを持つ永久磁石を設置する。これは磁場の変化によって推力の変動が発生しないようにするためである。しかしながらアクティブシートサスペンションに適用することを考慮すると小型かつ軽量の VCM が求められるため, 永久磁石長も可能な限り小さくすることが求められる。また, 小型化した場合, 小さいストローク内で振動を制御することが求められるため, より推力を発揮できるように

Table 1 Specifications of voice coil motor.

Permanent magnet (PM)	NEOMAX-46BH
Number of PMs	4
Remanence of PM	1.2 T
Stroke	60 mm
Number of coils	2
Gap	3 mm
Material of yoke	SS400

Table 2 Specifications of voice coil motor for each coil wire diameter.

Wire diameter $d$ [mm]	Inductance $L$ [H]	Resistance $R$ [Ω]
0.2	29.87	1744
0.4	1.905	108.8
0.6	0.3450	19.82
0.8	0.1150	6.460
1.0	0.0465	2.640

しなければならぬ。推力を向上させる手段としてはコイルの導線径を細くし, 巻数を増やすことが考えられる。しかしながら巻数を増やした場合, コイルの巻線長が長くなることからコイルの抵抗ならびにインダクタンスが上昇し, 応答性が悪化することが考えられる。そのため, 導線径を変化させた際におけるモータの特性を明らかにする必要がある。本章では本研究で対象とした VCM のモデルにおいて導線径を変化させた際のストロークによる推力の変動を明らかにする。

##### 4.2 VCM モデルのパラメータと解析手法

本解析で用いた VCM のモデルおよび寸法を Fig. 4 に, 等価回路の回路図を Fig. 5 に示す。2 つのコイルは並列回路で接続されている。またコイルの巻き付け方向は上下で逆方向となっている。それに伴い, 永久磁石の磁極方向も反対になっており, 磁気回路が形成されるようになっている。Table 1 には VCM の諸特性を示している。超小型モビリティが走行する環境において最も大きな振動が入力される状況の一つとして歩車道境界の段差が想定される。歩車道境界は一般的に 25 mm 程度の段差となっていることから, その環境を想定したストロークを持つ VCM を想定する必要がある。そのため本論文では 60 mm の可動領域を持った VCM を想定し, 上下 30 mm の段差に対応可能なものとしている。解析では VCM の可動部を 5 mm ずつ変化させて電磁界解析を行い, それぞれのストローク量に対する推力を算出した。なお電流は全ての条件において 1A とした。VCM ではコイルが得ている磁束密度が一定である場合, 電流と推力は比例関係となることから, 本解析によって得られる推力はそれぞれのストロークにおける推力定数となる。これに加えて, 各モデルにおける VCM の特性を明らかにするために, 抵抗値ならびにインダクタンスも算出した。

##### 4.3 導線径に対する VCM の諸特性

本解析で得られた各導線径における抵抗ならびにインダクタンスを Table 2 に示す。この結果から太い導線径を用いて巻数を少な



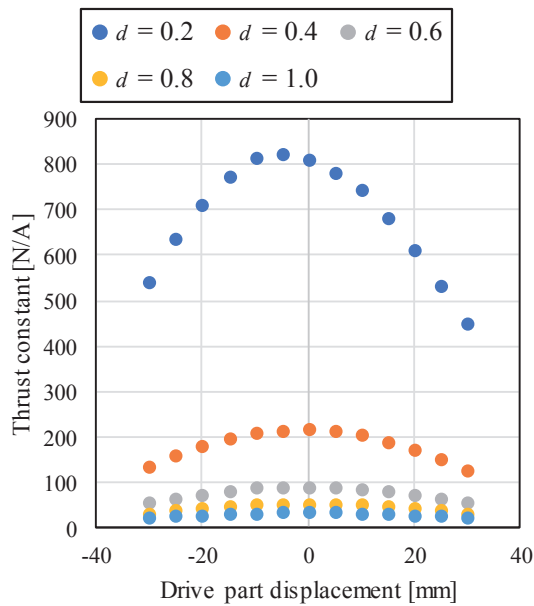


Fig. 6 Effect of drive part displacement on thrust.

くすることによって、インダクタンスならびに抵抗値が減少し、応答性が向上していることが確認できた。

Fig. 6 に各導線径におけるストローク量に対する推力定数を示した。同図におけるストローク量 0 mm 時に着目すると、導線径が小さくなるに従い、磁界中の導線長が長くなることで、推力定数が上昇していることが確認できる。一方、全ての導線径においてストロークすることで推力定数が低下することが確認できる。なお、いずれの導線径においてもストロークの上下で非対称な推力特性を示した。これは Fig. 4 に示すように固定部の形状が上下で対称でないためである。ここで、Fig. 7 に一例として導線径  $d=0.6$  mm での磁束密度分布を示す。同図 (a) はストロークが +30 mm, (b) は 0 mm 時である。なお、 $z$  軸方向の厚さ中央で VCM モデルを切断した断面図として示した。同図よりコイルを通過する磁束密度に着目すると +30 mm に対して 0 mm ではコイルのより多くの範囲において磁束密度が高くなっていることが確認できる。また他の導線径においても同様な傾向を確認することができた。なお、Fig. 6 の最大推力定数に対するストロークによる推力定数の低下量の割合は約 41% と全ての導線径において等しくなった。また、ストローク 0 mm において永久磁石から 5.34 mWb の磁束が発生しており、コイル領域には約 33.5% となる 1.79 mWb の磁束が通過し、推力の発生に貢献している。

## 5. 構築した VCM モデルの振動低減効果

### 5.1 解析条件

4 章の解析結果を用いて実際に振動を制御した際の振動低減効果を確認する。本解析では制振制御を行うにあたり、VCM の応答性およびストローク量、推力が最も求められる条件として車両が段差を降下する状況を想定した。車両が段差を降下する際、車両床面と座面の相対変位がステップ状に増加するものとし、アクティブシートサスペンションのモデルを用いて初期変位を与えた際の応答を確認した。なお段差の高さを表す初期変位は一般的な歩車道境界を想定し、25 mm とした。4 章で示したように推力定数は

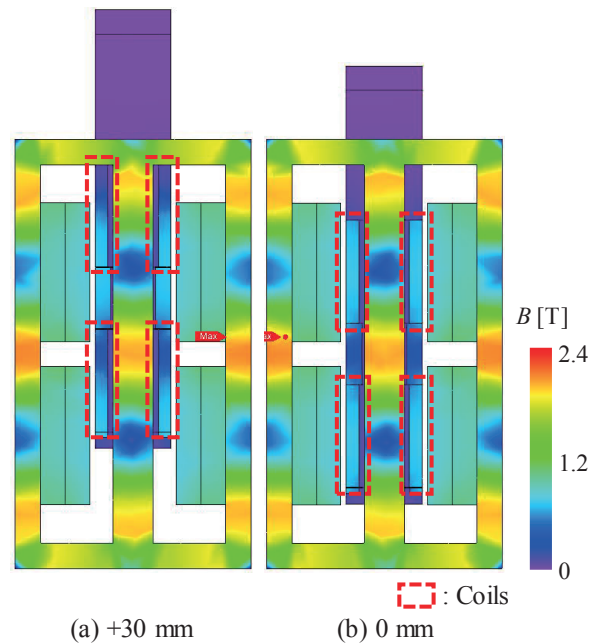
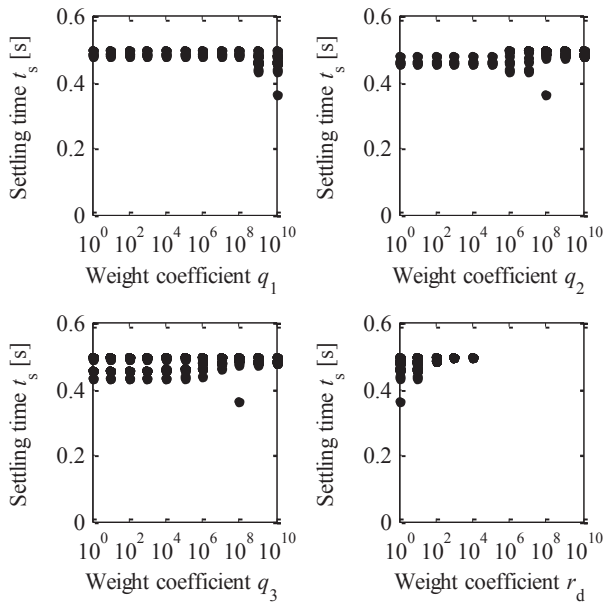
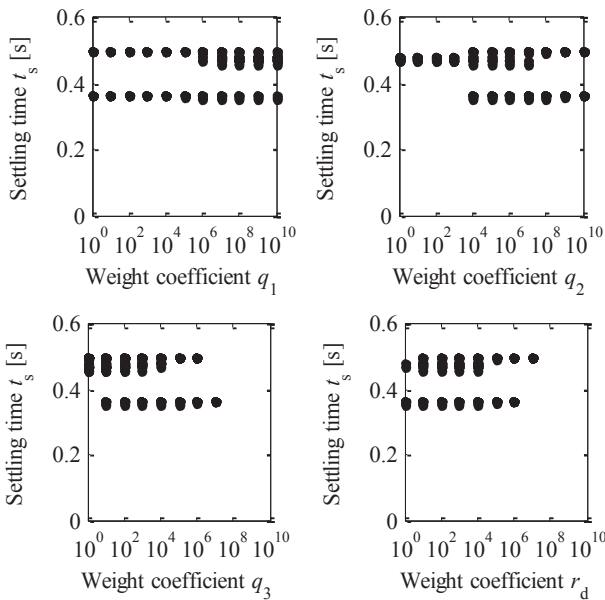


Fig. 7 Magnetic flux density of VCM ( $d=0.6$  mm).

可動部のストロークによって変化する。本章の運動解析では Fig. 6 の結果のように運動モデル内の推力定数  $K$  が変化するよう設定した。また制御理論は 2 章で前述した最適制御理論を用いており、重み係数に関しては次節にて述べる。本解析で用いた VCM では可動範囲を  $\pm 30$  mm と設定している。実際に振動制御を行う際に可動領域を超えようとした場合にはコイルと固定部が接触し、モータの破損に繋がる。そのため、解析では上記の可動範囲を超えずに振動を抑制できた結果を示す。

### 5.2 重み係数の最適化

本解析では導線径の変更によってモータ特性が大きく変化するため、同一のフィードバックゲインでは導線径の振動低減効果を評価することができない。そこでそれぞれの導線径に対して最も高い振動低減効果を発揮するフィードバックゲインを探索する必要がある。そのため各導線径において重み係数  $q_1, q_2, q_3, r_1$  を  $10^0$  から  $10^{10}$  まで変化させ、総当たりの組み合わせ、評価を行った。Fig. 8 に  $d=0.2$  mm と  $d=1.0$  mm における重み係数の変化に対する加速度振幅の整定時間  $t_s$  を示す。また、 $d=0.6$  mm において運動解析によって得られた加速度波形の一例を Fig. 9 に示す。同図に示すように整定時間  $t_s$  は初期値から定常値までの加速度  $\ddot{y}_0$  の 95% から 105% までの範囲に加速度が収まり、その後その区間からはみ出さなくなる時間の事を指す。人間の振動知覚はその加速度に大きな影響を受けると言われており、振動の加速度を低減させることにより乗り心地の向上に繋がる。そのため、本報告では振動の大きさと継続時間を定量的に評価可能な  $t_s$  を制御性能の評価指標として使用している。なお、実際に制御を行う際にはコイルの発熱を考慮しなければならない。そのため、使用環境を空冷と想定し、電流密度が  $10 \text{ A/mm}^2$  以下の結果のみを採用する。Table 3 に各導線径における許容電流値を示した。Fig. 8 は  $d=0.2$  mm では 0.31 A 以下、 $d=1.0$  mm では 7.85 A 以下の結果をプロットしている。同図から整定時間  $t_s$  が最

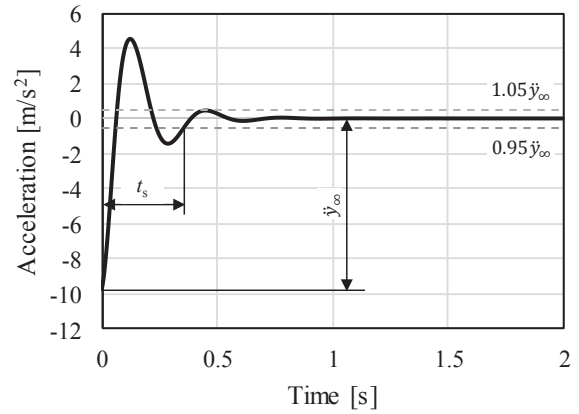

(a)  $d = 0.2$  mm

(b)  $d = 1.0$  mm

**Fig. 8** Settling time for each weight coefficient  $Q_1$  and  $r_a$ .

も短くなる重み係数が導線径によって異なることが分かる。このようにして算出した各導線径に対する重み係数  $Q_1$ ,  $r_a$  ならびにフィードバックゲイン  $K$  を Table 4 に示す。次節の解析ではこのフィードバックゲインを用いた。その結果を Fig. 10 に示す。なお、破線は振動制御適用しない場合を示している。同図からすべての導線径において同程度の振動低減効果を確認することができた。次節では実用上の使用条件を考慮した検討を行う。

### 5.3 電源電圧に対する導線径の比較

アクティブシートサスペンションを実際に車載する場合には制御で使用可能な電源電圧の制約がある。特に超小型モビリティのようなコンパクトな車両では搭載可能なバッテリー数に限りがあるため、できるだけ小さな電源電圧で制振制御を行うことが求めら


**Fig. 9** Time history of acceleration ( $d = 0.6$  mm).

**Table 3** Allowable current of each wire diameter.

Wire diameter $d$ [mm]	Allowable current [A]
0.2	0.31
0.4	1.26
0.6	2.83
0.8	5.03
1.0	7.85

れる。そのため前節にて探索されたフィードバックゲインを用いて、本節では発揮可能な電源電圧による振動低減効果への影響を運動解析から確認する。

本解析では一般的な車載用バッテリー 1 つあたりの電源電圧を 12 V とし、そのバッテリーを 1~3 個を直列に接続して (12~36 V) アクティブシートサスペンションの制振制御にて使用すると仮定した。なお、電圧以外の解析条件は前節と同様のものとしている。解析の結果を Fig. 11 に示す。電圧の制限が制御性能に及ぼす影響を明らかにするため、同図にそれぞれの電源電圧の条件における整定時間を、前節で得られた各導線径での最高性能における整定時間に対する比 (Settling time ratio) としてプロットした。したがって、整定時間の比が 1 の場合 (破線部) は最高性能と同等の振動低減効果を発揮できていることになる。同図より導線径が小さい条件ほど整定時間の比が上昇する傾向となり、最高性能ほどの振動低減効果が得られなくなっていることが確認できる。さらに電源電圧が低下するほど、整定時間の比が上昇し、振動低減効果が悪化することを確認した。また、導線径  $d = 0.8, 1.0$  mm では本解析における全ての電源電圧の条件において最高性能と同じ振動低減効果が得られた。4 章で前述したように導線径が太いほど推力定数は低下するが、抵抗値ならびにインダクタンスも減少することで応答性が良くなり、電源電圧が制限された条件でも高い制御性能を発揮できることを確認した。

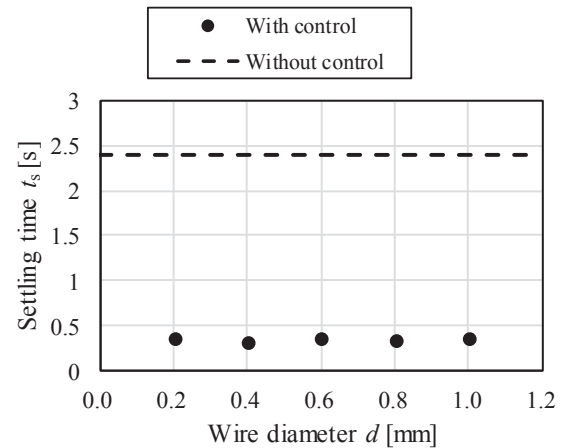
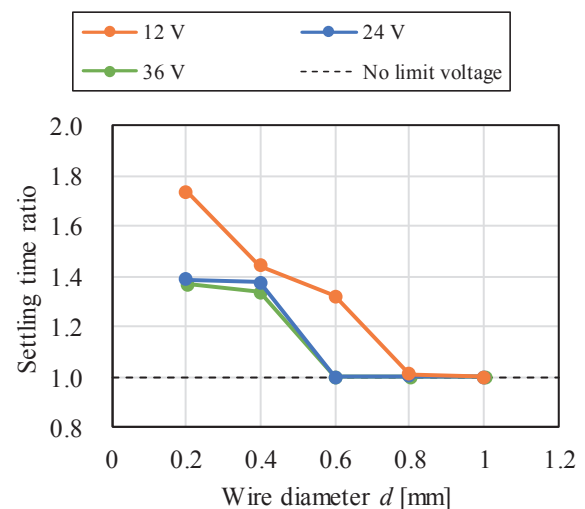
**Table 4** Weight coefficients and feedback gain for each wire condition.

Wire diameter $d$ [mm]	Value
0.2	$Q_d = \text{diag}(10^{10}, 10^8, 10^8), r_d = 10^0$
	$f_1 = 3.73 \times 10^3, f_2 = 7.36 \times 10^3, f_3 = 7.42 \times 10^3$
0.4	$Q_d = \text{diag}(10^8, 10^4, 10^0), r_d = 10^0$
	$f_1 = 1.60 \times 10^3, f_2 = 285.09, f_3 = 15.60$
0.6	$Q_d = \text{diag}(10^7, 10^5, 10^3), r_d = 10^0$
	$f_1 = -322.97, f_2 = 209.45, f_3 = 19.21$
0.8	$Q_d = \text{diag}(10^8, 10^6, 10^0), r_d = 10^2$
	$f_1 = -233.48, f_2 = 57.49, f_3 = 0.78$
1.0	$Q_d = \text{diag}(10^6, 10^4, 10^1), r_d = 10^0$
	$f_1 = -135.96, f_2 = 64.93, f_3 = 1.78$

## 6. おわりに

本論文では著者らが提案している超小型モビリティ用アクティブシートサスペンションに適した VCM に関して検討を行った。VCM の使用環境において最も負荷が大きく、またきめ細やかな応答性が要求される車両の段差降下時を想定し、推力定数やインダクタンスなどモータの特性からパラメトリックに評価を行った。また実際の使用状況を想定し、電源電圧の制約や推力特性の非線形性を考慮した制御モデルに対する VCM の性能評価も行った。それにより実路にて車両が走行した際、高い振動低減効果を発揮できる VCM の設計手法を明らかにした。また低電圧においても十分制御可能な導線径についても解析的に検討し、昇圧回路といった電圧の調整を必要としない簡素な回路においても振動を抑制することが可能であることも明らかにした。

今後は様々な使用環境を想定し、より低電力または電源電圧の制御も考慮したシステムの構築や限られたストローク量の中で高い振動低減効果を発揮するような VCM の構成要素の構造や磁路に影響するヨークの形状およびその仕様について明らかにしていく。

**Fig. 10** Settling time using optimal control for each wire diameter condition.**Fig. 11** Settling time ratio for each voltage limit condition.

## References

- 1) T. Suzuki and M. Takahashi: *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng., Ser. C*, **78**, 446 (2012).
- 2) Y. Kawamoto, Y. Suda, H. Inoue and T. Kondo: *Trans. Soc. Autom. Eng. Jpn.*, **39**, 3-35 (2008).
- 3) Y. Oshinoya, H. Arai and K. Ishibashi: *Int. J. Appl. Electromagn. Mech.*, **19**, 437 (2004).
- 4) Y. Oshinoya, H. Arai and K. Ishibashi: *J. Jpn. Soc. Appl. Electromagn. Mech.*, **11**, 209 (2003).
- 5) Y. Oshinoya, H. Arai and K. Ishibashi: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **28**, 140 (2004).
- 6) Y. Oshinoya, Y. Suzuki and K. Ishibashi: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **29**, 332 (2005).
- 7) H. Kato, S. Hasegawa, Y. Oshinoya: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **37** (2013).
- 8) Y. Yoshida, A. Koiso, H. Ito: *Ergonomics*, **9**, 21 (1973).

2018年11月8日受理, 2019年4月19日再受理, 2019年5月31日採録

## Editorial Committee Members • Paper Committee Members

T. Ono and T. Kato (Chairperson), K. Koike, T. Taniyama and K. Kobayashi (Secretary)					
H. Goto	T. Hasegawa	S. Honda	S. Isogami	K. Kamata	Y. Kanai
H. Kikuchi	T. Kimura	T. Kouda	S. Kokado	Y. Kota	T. Kubota
T. Maki	T. Morita	S. Muroga	T. Nagahama	H. Nakayama	M. Naoe
T. Narita	D. Oyama	J. Ozeki	N. Pham	T. Sasayama	T. Sato
K. Sekiguchi	T. Shima	Y. Shiratsuchi	T. Takura	S. Yamada	T. Yamamoto
K. Yamazaki					
N. Adachi	K. Bessho	M. Doi	T. Doi	K. Hioki	N. Inaba
S. Inui	K. Ito	H. Kato	K. Kato	A. Kuwahata	K. Masuda
Y. Nakamura	K. Nishijima	T. Nozaki	M. Ohtake	T. Saito	T. Sato
S. Seino	T. Suetsuna	K. Tajima	I. Tagawa	T. Tanaka	M. Takezawa
M. Tsunoda	S. Yabukami	S. Yoshimura			

## Notice for Photocopying

If you wish to photocopy any work of this publication, you have to get permission from the following organization to which licensing of copyright clearance is delegated by the copyright owner.

〈All users except those in USA〉

Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc. (JAACC)  
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan  
Phone 81-3-3475-5618 FAX 81-3-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

〈Users in USA〉

Copyright Clearance Center, Inc.  
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA  
Phone 1-978-750-8400 FAX 1-978-646-8600

## 編集委員・論文委員

小野 輝男 (理事)	加藤 剛志 (理事)	小池 邦博 (幹事)	谷山 智康 (幹事)	小林 宏一郎 (幹事)			
磯上 慎二	小瀬木 淳一	小山大介	金井 靖	鎌田 清孝	菊池 弘昭	木村 崇	窪田 崇秀
古門 聡士	小田 洋平	後藤 博樹	笹山 瑛由	佐藤 岳	嶋 敏之	白土 優	関口 康爾
直江 正幸	中山 英俊	長浜 太郎	成田 正敬	長谷川 崇	PHAM	NAMHAI	本多 周太
室賀 翔	森田 孝	山崎 慶太	山田 晋也	山本 崇史			植 智仁
安達 信泰	伊藤 啓太	乾 成里	稲葉 信幸	大竹 充	加藤 宏朗	加藤 和夫	桑波田 晃弘
佐藤 拓	末綱 倫浩	清野 智史	田河 育也	竹澤 昌晃	田島 克文	田中 哲郎	角田 匡清
土井 正晶	仲村 泰明	西島 健一	野崎 友大	日置 恵子	別所 和宏	増田 啓介	藪上 信
							吉村 哲

## 複写をされる方へ

当学会は下記協会に複写複製および転載複製に係る権利委託をしています。当該利用をご希望の方は、学術著作権協会 (<https://www.jaacc.org/>) が提供している複製利用許諾システムもしくは転載許諾システムを通じて申請ください。ただし、本誌掲載記事の執筆者が転載利用の申請をされる場合には、当学会に直接お問い合わせください。当学会に直接ご申請いただくことで無償で転載利用いただくことが可能です。

権利委託先：一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル

電話 (03) 3475-5618 FAX (03) 3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

## 日本磁気学会論文特集号

Vol. 3 No. 2 (通巻第6号) 2019 年 9 月 1 日発行

Vol. 3 No. 2 Published Sep. 1, 2019

by the Magnetism Society of Japan

Tokyo YWCA building Rm207, 1-8-11 Kanda surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0062

Tel. +81-3-5281-0106 Fax. +81-3-5281-0107

Printed by JP Corporation Co., Ltd.

Sports Plaza building 401, 2-4-3, Shinkamata Ota-ku, Tokyo 144-0054

Advertising agency: Kagaku Gijutsu-sha

発行：(公社)日本磁気学会 101-0062 東京都千代田区神田駿河台 1-8-11 東京YWCA会館 207 号室

製作：ジェイピーシー 144-0054 東京都大田区新蒲田 2-4-3 スポーツプラザビル401 Tel. (03) 6715-7915

広告取扱：科学技術社 111-0052 東京都台東区柳橋 2-10-8 武田ビル4F Tel. (03) 5809-1132

Copyright ©2019 by the Magnetism Society of Japan