

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18008

研究課題名(和文)乗員の生体情報に基づく超小型車両の乗り心地評価手法の開発と制御への応用

研究課題名(英文)Development of ride comfort assessment methods of ultra-compact vehicles based on passenger's biological information and its application to control

研究代表者

加藤 英晃(Kato, Hideaki)

東海大学・工学部・助教

研究者番号：90734476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：現在の自動車産業では近距離移動の手段として超小型車両の需要が高まっている。超小型車両は小型軽量であるため振動が乗り心地に及ぼす影響は大きく、乗員の不快感は増大する。この問題を解決するため、著者らはこれまでに超小型電気自動車に搭載可能なアクティブシートサスペンションを提案している。一方、車両の乗り心地を向上させるためには、座面の振動加速度を小さくすることに加えて、運転者の気分や心理状態に基づいて振動を制御する必要がある。本研究では走行実験を行い、生理学的、心理的情報を評価することにより、乗り心地に及ぼす上下振動の影響を調べた。

研究成果の概要(英文)：In the current automobile industry, the demand for ultra-compact vehicles as a means of transportation within a local area for elderly people 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. To solve this problem, we have proposed active seat suspension that can be installed in ultra-compact electric vehicles. To improve the ride comfort of vehicles, in addition to reducing the vibration acceleration of the seat surface, it is also necessary to control the vibration on the basis of the ride comfort perceived by drivers such as to reflect the mood and mental state at the time. In this study, we carried out a traveling experiment and examined the effect of vertical vibrations on ride comfort by evaluating physiological and psychological information.

研究分野：生体計測工学、心理工学、メカトロニクス

キーワード：乗り心地 生理指標 超小型電気自動車 アクティブシートサスペンション

1. 研究開始当初の背景

自動車の乗り心地性能向上への取り組みは振動低減および緩和を目的にサスペンションなどにより従来から追及されてきた。著しい乗り心地の劣化に対してはアクティブサスペンションによる振動低減も図られている。最近では運転シーンおよび運転者の多様化から好みに応じてばね、ダンパ特性を選択できる車両も販売されている。しかし、このようなシステムが採用されている車両はごく一部にすぎず、多くは乗り心地が車種ごとに設定されている。

一方、近年、1人から2人乗り用の電気自動車である超小型モビリティがいくつかの自動車メーカーから発売されている。しかし軽量ゆえに路面の凹凸や段差などによる振動の影響を受けやすく、安全・快適に走行するための振動制御システムの構築が不可欠である。著者らは座席下に設置したアクチュエータを駆動させ、振動を抑制するように能動制御するアクティブシートサスペンション(図1)を搭載し、上下方向振動に対する乗り心地改善に関して継続的に研究してきている。アクティブシートサスペンションは車体から独立したシート部をダイレクトに制振することが可能である。そのため4輪に対するアクティブサスペンションよりも、低コストかつ小型で簡易装着も可能であり、高い汎用性を有する。

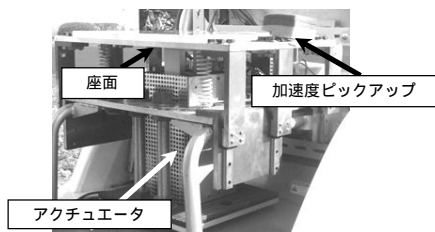


図1 アクティブシートサスペンション

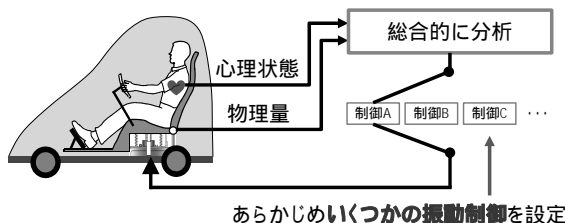


図2 運転者一人一人の乗り心地感覚をフィードバックする制御の概念図

2. 研究の目的

本研究では走行中の連続的に取得した生体情報から心理状態を推定や肉体的負担感し、あらかじめ設定しておいたいくつかの振動制御の中から乗員が求める乗り心地を提供する制御システムを提案する(図2)。さらにその有用性に関する基礎的検討として乗員の生体情報から推定した心理状態の変化や肉体的負担感に応じて切り替える制御を

アクティブシートサスペンションに適用し、車両停車状態および実走行における実験により明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 眼電位を用いた肉体的負担評価

眼球の運動角度と眼電位の関係は個人により異なり、被験者の個人差を考慮した評価が必要となる。そこで各被験者の眼電位値と眼球運動角度の関係を図3のように実験的に求めた。一般に垂直方向において眼球運動が約30°以内であれば眼電位が眼球の運動角度にほぼ比例するとみなして扱われる。また以降の実験ではあらかじめ各被験者の眼球運動角度に対する眼電位を計測し、実験時に計測した眼電位から眼球運動角度を同定し評価を行った。

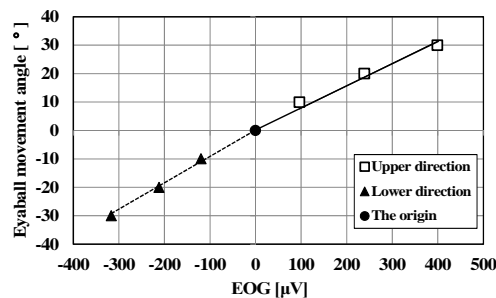


図3 眼電位と眼球の運動角度の関係

歩車道境界の段差を想定した段差降下実験における走行路を図4に示す。車両が民地などに入出入りするため、縁石の一部を切り下げている歩車道境界の段差は50mm以下が標準とされている。本実験では最悪の状況を想定し硬質ゴム板の高さを50mmとした。

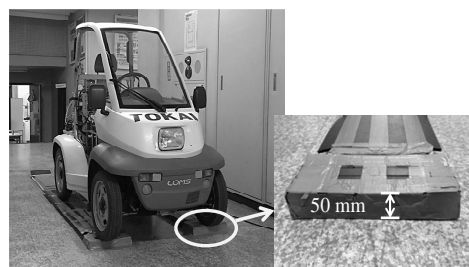


図4 段差降下実験

加速度はシートと頭部の上下方向を測定した。また運転者が予期せず衝撃を受けた場合を想定し、被験者に降下するタイミングは教示しないものとした。被験者がブレーキおよびアクセルを踏んでいないクリープ状態でストッパーにより車両を停止させ、実験担当者がストッパーを外すことで段差から降下させた。なお車両はストッパーを外した瞬間に段差から前輪が降下するように停車させている。走行速度は2km/hとした。

(2) 切り替え制御による心理的影響

本検討では走行中に連続して測定した心拍変動 RRI の解析をもとに予め設定しておいた振動制御手法を切り換え、その時の乗員にとって最適な乗り心地を提供するシステム RRI-SW 制御を構築する。運転環境の変化から生じる心拍の応答をより少ないデータ点数で解析することが可能な RRI を用い、振動の変化が運転者の心拍変動に反映する時間を考慮して 1 分ごとに過去 1 分間の平均値を算出する。制御の切り替えの判定は 1 分毎に行い、現在の値が前区間の値と比較して低下した場合に振動制御手法を切り替える(図 5)。

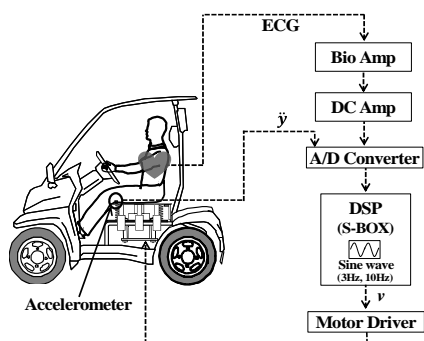


図 5 RRI-SW 制御のシステム図

実験は車両乗車状態にて安静時間を 3 分間とった後、加振を開始し加振車両に 10 分間乗車した全 13 分間に及ぶ心電図を取得した。被験者には実験前に車両乗車時間を教示しなかった。加振実験は 10 Hz 加振車両、3 Hz 加振車両、RRI-SW 制御車両の順で実施した。加振実験による被験者への疲労や負担を考慮し、各車両における実験の間には十分な休憩時間を設けた。実験の開始前に加振実験時に取得した心電図と比較を行うため、未加振(座位安静)時の心電図も 10 分間取得した。

(3) 脳波を用いた心理的負担評価

本実験では振動周波数による心理的影響を確認するために、初期の検討として車両を走行させず座面をアクティブシートサスペンションにより振動させた際の心電図および脳波を測定した。加振条件は乗り心地に影響する振動周波数とされている 4~8 Hz のうち 5 Hz と 8 Hz を選定した。さらに異なる乗り心地感覚として 3 Hz (ふわふわ感)、10 Hz (ばたつき感) も加えて検討を行った。本実験では加振時間は 1 分間とした。実験は図 6 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。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。加振前には 1 分間の 2 ケタ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(図 6)。加振後には 1 分間の座位安静時間を設けた。

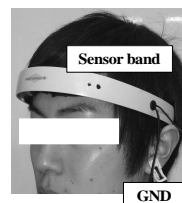


図 6 車両停止状態における実験方法

脳波の測定には図 6 に示す脳波計を使用した。取得した脳波の生波形は高速フーリエ変換することでパワースペクトルを算出した。脳波は周波数帯域ごとに 4~6 Hz を θ 波、7~14 Hz を α 波、15~23 Hz を β 波の 3 つに区分される。また被験者の心理状態によって優位に出現する帯域が変化し、 θ 波は浅い睡眠時、 α 波はリラックス時、 β 波はストレス時に出現する。そこで本実験では全脳波成分の出現量に対する α 波の出現量にて算出する α 波出現率にて評価した。 α 波出現率は値が高いほどリラックス状態を示す。

4. 研究成果

(1) 眼電位を用いた肉体的負担評価

図 7 にシート上下方向、図 8 に頭部上下方向加速度の平均値を未制御車両を 100%とした際の制御車両の値を示す。両図から制御手法の衝撃低減効果と同様に今回対象とした全被験者にてシートおよび頭部加速度が制御車両において低減する傾向が確認できた。

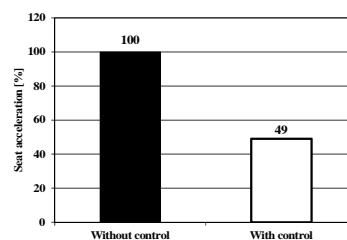


図 7 座面加速度の平均値 (被験者 11 名)

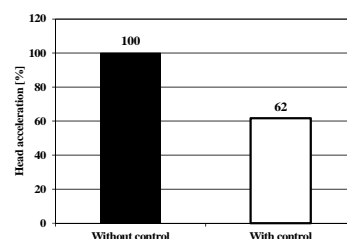


図 8 頭部加速度の平均値 (被験者 11 名)

図9に各被験者における未制御車両および制御車両時の眼球運動角度を示す。同図より未制御車両に対して制御車両では全被験者において眼球運動角度が低減していることが確認できる。以上よりアクティブシートサスペンションによりシート加速度を低減させることで頭部上下方向加速度および眼球運動角度が低減することが確認できた。

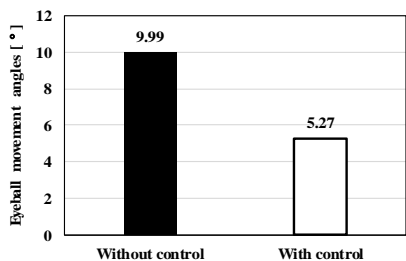


図9 眼電位による肉体的負担評価

(2) 切り替え制御による心理的影響

図10に被験者5名における10 Hz加振車両を100%としたときの各車両のLF/HF値を百分率で示した。いずれの被験者においても全車両の中でRRI-SW制御車両にLF/HFが最も低い値となることを確認した。走行実験では走行に伴う運転操作等の影響が心理状態に反映されると考えられる。その場合でも乗員が感受する路面からの振動はLF/HFに対して影響が大きいと言える。これより実路走行時においても生体情報をもとに制御を切り替えるRRI-SW制御を用いることで、乗員は最もリラックス状態となることを明らかにした。

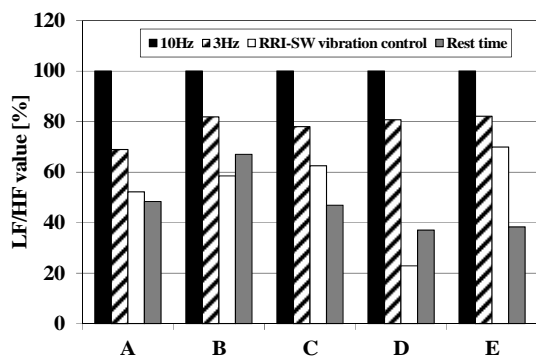


図10 心拍変動による心理的負担評価
(値の低い方がリラックスと評価可能)

(3) 脳波を用いた心理的負担評価

加振時の1分間における各加振条件でのα波出現率を図11に示す。5 Hzおよび8 Hz加振時ではLF/HF値が他の加振周波数および未加振時と比較して高い値となっており、被験者がストレスを感じていることを確認した。また5 Hzおよび8 Hz加振時のα波出現率は他の条件と比較して低い値となっており、心拍変動と同様にストレス成分が高くなることを確認した。

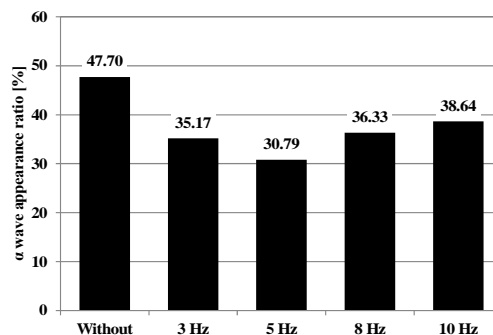


図11 脳波による心理的負担評価
(値の高い方がリラックスと評価可能)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

Masahiro MASHINO、Takayoshi NARITA、Hideaki KATO:「A Study on Ride Comfort Control Method Using Heart Rate Variability in Consideration of the Physiological State」、Proceedings of the School of Engineering of Tokai University, Series E、(2015.9) 査読有
加藤英晃、石田勝樹、増野将大、成田正敬:「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、(2015.12) 査読有

Masahiro MASHINO、Masaki ISHIDA、Takayoshi NARITA、Hideaki KATO:「Active seat suspension for ultra-compact electric vehicle (Fundamental consideration on electrooculogram when fall from the bump)」、International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics、(2016.12) 査読有

Taro KATO、Ryosuke SUZUKI、Takayoshi NARITA、Hideaki KATO、Yoshio YAMAMOTO:「Basic study on active noise control for considering characteristics of vibration of plate by giant magnetostrictive actuator」、International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics、(2016.12) 査読有

増野将大、加藤英晃、成田正敬:「アクティブシートサスペンションによる視野の安定性向上に関する研究」、日本AEM学会誌、(2016.12) 査読有

[学会発表](計35件)

増野将大、石田勝樹、加藤英晃、成田正敬、山本佳男:「超小型車両用アクティブシートサスペンション(上下振動切り替え制御に関する基礎的検討)」、第27回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、(2015.5)

加藤英晃、増野将大、石田勝樹、成田正敬:「超小型車両用アクティブシートサスペ

ンション(段差降下時の眼球運動に関する検討)、第27回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、(2015.5)

梅本貴史、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超小型電気自動車のステアパイワイヤシステム(運転者の筋活動による操作性に関する基礎的検討)、第27回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、(2015.5)

Hideaki KATO、Masahiro MASHINO、Masaki ISHIDA、Takayoshi NARITA：「Active Control of an Ultra-Compact Vehicle Seat (Experimental Consideration on Switching Control of Vibration Frequency by Using Heart Rate Variability)」、The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2015)、(2015.9)

Masahiro MASHINO、Masaki ISHIDA、Takayoshi NARITA、Hideaki KATO、Yoshio YAMAMOTO：「Active Seat Suspension for Ultra-Compact Electric Vehicle (Fundamental Consideration on Electrooculogram When Fall from the Bump)」、The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2015)、(2015.9)

Taro KATO、Ryosuke SUZUKI、Takayoshi NARITA、Hideaki KATO、Yoshio YAMAMOTO：「Basic Study on Active Noise Control for Considering Characteristics of Vibration of Plate by a Giant Magnetostrictive Actuator」、The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2015)、(2015.9)

増野将大、成田正敬、加藤英晃：「アクティブシートサスペンションによる視野の安定性向上に関する研究」、第24回MAGDAコンファレンス、(2015.11)

梅本貴史、劉曉俊、成田正敬、加藤英晃、森山裕幸：「生体信号を用いたステアリングホイール操作時の負担評価に関する研究—操舵角に対する上腕部の筋電位に関する基礎的検討—」、第24回MAGDAコンファレンス、(2015.11)

加藤太朗、成田正敬、加藤英晃：「超磁歪アクチュエータを用いたアクティブノイズコントロール—脳波測定による快適性評価に関する基礎的検討—」、第24回MAGDAコンファレンス、(2015.11)

石塚公平、加藤太朗、成田正敬、加藤英晃：「超磁歪アクチュエータを用いた超小型車両のアクティブノイズコントロール(乗員の脳波測定による快適性に関する実験的検討)、公益社団法人自動車技術会関東支部2015年度学術研究講演会2015-2016 JSAE KANTO International Conference of Automotive Technology for

Young Engineers (ICATYE)、(2016.3)
遠藤文人、増野将大、成田正敬、加藤英晃：「超小型車両用シートof the アクティブシートサスペンション(段差降下時の視野の安定性向上に関する基礎的検討)、公益社団法人自動車技術会関東支部2015年度学術研究講演会2015-2016 JSAE KANTO International Conference of Automotive Technology for Young Engineers (ICATYE)、(2016.3)

梅本貴史、劉曉俊、加藤英晃、成田正敬：「超小型電気自動車のステアパイワイヤシステム(運転者の筋活動検出による制御に関する基礎的考察)、公益社団法人自動車技術会関東支部2015年度学術研究講演会2015-2016 JSAE KANTO International Conference of Automotive Technology for Young Engineers (ICATYE)、(2016.3)

梅本貴史、成田正敬、加藤英晃、森山裕幸：「超小型車両用ステアパイワイヤシステムの制御(三角筋前部の筋活動に関する実験的考察)、日本機械学会関東支部第22期総会講演会、(2016.3)

劉曉俊、加藤英晃：「超小型電気自動車のステアパイワイヤシステム(筋電位を用いた操作システムに関する基礎的検討)、関東学生会第55回学生員卒業研究発表講演会、(2016.3)

石塚公平、加藤太朗、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超磁歪アクチュエータを用いたアクティブノイズコントロール(脳波測定による快適性評価)、第28回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、(2016.5)

遠藤文人、増野将大、加藤英晃、成田正敬：「超小型車両用アクティブシートサスペンション(生体信号計測による乗り心地評価に関する基礎的検討)、第28回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、(2016.5)

梅本貴史、劉曉俊、成田正敬、加藤英晃、森山裕幸：「超小型電気自動車のステアパイワイヤシステム(上腕部の筋電位に関する基礎的検討)、第28回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、(2016.5)

劉曉俊、梅本貴史、成田正敬、加藤英晃、森山裕幸：「超小型電気自動車のステアパイワイヤシステム(生体情報を用いた操舵システムに関する基礎的検討)、第28回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、(2016.5)

Hideaki KATO、Ayato ENDO、Masahiro MASHINO、Takayoshi NARITA：「Ride Comfort Control System for Ultra-Compact EV by Estimation State of the Driver (Experimental Consideration on Driver's HRV by Driving Operation)」、2016 ICEE/The International Conference on Electrical

Engineering, (2016.7)
Takafumi UMEMOTO, Xiaojun LIU,
Hideaki KATO, Takayoshi NARITA,
Hiroyuki MORIYAMA : 「Steer-by-Wire
System for Ultra-Compact Electric
Vehicle (Fundamental Consideration on
Load Evaluation Using a Biological
Signal)」, 2016 ICEE/The International
Conference on Electrical Engineering,
(2016.7)

- ②①石塚公平、加藤太朗、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超小型車両のアクティブノイズコントロール（生体情報による車内快適性に関する実験的検討）」、LIFE2016、(2016.9)
- ②②池田圭吾、遠藤文人、増野将大、成田正敬、加藤英晃：「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）」、LIFE2016、(2016.9)
- ②③遠藤文人、池田圭吾、増野将大、成田正敬、加藤英晃：「超小型車両用アクティブシートサスペンション（段差降下時の視認性に関する検討）」、LIFE2016、(2016.9)
- ②④梅本貴史、劉曉俊、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超小型電気自動車のステアバイワイヤシステム（三角筋前部筋電位に関する基礎的考察）」、LIFE2016、(2016.9)
- ②⑤劉曉俊、梅本貴史、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超小型電気自動車の操舵補助システム（生体情報を用いた基礎的検討）」、LIFE2016、(2016.9)
- ②⑥石塚公平、加藤太朗、加藤英晃、成田正敬、小島淳、森山裕幸：「超磁歪アクチュエータを用いた超小型車両のアクティブノイズコントロール—脳波測定による車内騒音に対する快適性評価—」、第25回MAGDAコンファレンス in Kiryu、(2016.11)
- ②⑦遠藤文人、池田圭吾、増野将大、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超小型車両用アクティブシートサスペンション—振動の重ね合わせによる実験的検討—」、第25回MAGDAコンファレンス in Kiryu、(2016.11)
- ②⑧梅本貴史、劉曉俊、成田正敬、加藤英晃、森山裕幸：「超小型電気自動車のステアバイワイヤシステム—筋電位を用いた上腕部の負担に関する基礎的検討—」、第25回MAGDAコンファレンス in Kiryu、(2016.11)
- ②⑨劉曉俊、梅本貴史、成田正敬、加藤英晃、森山裕幸：「超小型電気自動車の運転操作補助システム—筋活動抽出による基礎的考察—」、第25回MAGDAコンファレンス in Kiryu、(2016.11)
- ②⑩池田圭吾、遠藤文人、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「振動の重ね合わせを利用した超小型モビリティの乗り心地制御（周波数を考慮した基礎的検討）」、公益社団法人

自動車技術会 関東支部 2016年度 学術研究講演会、(2017.3)

- ③①遠藤文人、池田圭吾、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「生体情報の測定による超小型車両用シートのアクティブ制御（快適性向上に関する基礎的検討）」、公益社団法人自動車技術会 関東支部 2016年度 学術研究講演会、(2017.3)
- ③②劉曉俊、梅本貴史、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超小型モビリティの運転操作補助システムに関する研究（運転者腕部の筋活動測定による実験的検討）」、公益社団法人自動車技術会 関東支部 2016年度 学術研究講演会、(2017.3)
- ③③池田圭吾、加藤英晃、成田正敬：「ストレスを考慮した超小型モビリティの乗り心地制御に関する基礎的研究」、関東学生会第56回学生員卒業研究発表講演会、(2017.3)
- ③④劉曉俊、梅本貴史、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超小型モビリティのドライビングアシストシステム（筋電位検出による制御に関する基礎的実験）」、日本機械学会関東支部第23期総会講演会、(2017.3)
- ③⑤遠藤文人、加藤英晃、成田正敬、森山裕幸：「超小型モビリティ用アクティブシートサスペンション（心理状態推定に関する基礎的考察）」、日本機械学会関東支部第23期総会講演会、(2017.3)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 英晃 (KATO HIDEAKI)
東海大学・工学部・助教
研究者番号：90734476