

## 振動子を用いた運転中の注意度を向上させる装置の開発 Development of a device to improve the attention level while driving using vibrators.

丸山 大岳<sup>‡</sup>      山田 光穂<sup>‡</sup>  
Hiroataka Maruyama      Mitsuho Yamada

### 1. あらまし

近年、自動車の運転の安全性や利便性の向上を目的にした、Intelligent Transport Systems (ITS) 技術の実用化が進んでいる [1]. 例として、自動運転技術・Advanced Driving Assistant System (ADAS) [2], カーナビゲーションシステム等が挙げられる. ADASの中でも車間距離を一定に保ちながら定速走行を自動で行う定速走行・車間距離制御装置であるAdaptive Cruise Control (ACC) [3]や、カメラセンサなどで車線を認識し電動パワーステアリングを制御することでステアリング操作を支援するLane Keeping Assist (LKA) [4], 衝突の危険性があり、ドライバーでは対処が困難である場合に動作する自動ブレーキのAutomatic Emergency Braking (AEB) [5]などのシステムが実用的になり幅広い車種で用いられるようになってきており自動車において不可欠な装備となってきた。

実際に米国運輸省やIIHS, NHTSAが、2022年までに主要自動車メーカー20社が製造する全新規販売車両においてAEBが標準装備になると発表しており、2020年までに9割以上の新規販売車両にADASが標準装備されると推測される. [6]

車の運転はこれまでマニュアル運転によってドライバーがすべて運転動作を行っていた. しかし、ADASの発達により運転に必要な動作をマニュアルで行わず、運転動作がコンピュータと機械的な機構によって運転動作が部分的に自動で行われるようになり、運転の安全性が向上し、自動車の運転の負荷が減る. この運転支援システムは、さらに発展させることが検討されておりACCからCooperative Adaptive Cruise Control (CACC)へと発展させて前を走る車と通信する車々間通信を用いて周辺の車と加減速などの走行情報を、共有することによりACCよりも車間距離をきめ細かく制御しITSを総合的に組み合わせることでより高度な支援を行う. [7]

これにより人間が認知しづらい小さな傾斜の上り坂や、下り坂などで無意識に車速が変化する状況で発生しやすいサグ渋滞の解決にもつながりこれらの技術は安全性や利便性に寄与するだけでなく、交通状況の改善にもつながる.

### 2. 研究目的

しかし、運転支援システムはあくまでもドライバーの運転動作を支援するものであり、自動運転ではない. 様々な状況下で運転支援システムが動作しないことが考えられ、常にドライバーが運転を監視しておく必要がある.

技術が発展する一方で、ADASによりドライバーを補助することでドライバーの認知負荷が減り、ドライバーがこれらの運転支援システムになれることで、運転操作へ認知のリソースを減らす可能性が指摘され、このことについて様々な研究が行われている. [8]

<sup>‡</sup> 東海大学, Tokai University

交通事故統計のデータによると、漫然運転が内訳の中では最も高い構成率を見せている [9]. 運転の安全向上の観点からドライバーの注意度を上げる事や注意を評価するシステムが望まれている.

居眠り運転や漫然運転を防止するための運転中の覚醒度や注意度など運転中の心理・生理データの分析が行われている. われわれは、運転中に道路標識に気づきこれを注視することにより、標識前後の注視点に変化が生じるという仮説を立てて被験者にドライブシミュレーター上で運転してもらいながら、眼球運動測定装置で眼球運動を測定する実験を行った. その結果、標識の通過前後で、注視中の眼球運動の標準偏差が増加することを示した [10]. また、運転中の注意度を上げる試みとして、フレーム内でLEDを点滅できる霧囲気メガネを用いて、同様の実験を行い標識通過前に霧囲気メガネを動作させ、注視中の眼球運動の標準偏差が霧囲気メガネによる事前警告により、いっそう増加することを示した. [11]

霧囲気メガネを用いた研究では、標識など注意すべき指標のポイントに近づいたら、メガネを光らせて注意すべきことを提示した. しかし、この方法では、運転者はメガネを着用する必要性があり、そのままでは視力矯正のためにメガネを着用する場合や、サングラスを着用している場合、霧囲気メガネを着用することができない. また、光らせることにより光によって視界が遮られて、夜間や、トンネル内など暗い場所では明るさの変化が大きく明順応を起こし前方が見えにくくなるなどの問題点がある. このように運転者に着用させるデバイスよりも着用を必要としないデバイスが求められる.

そこで車のシートに着目し、シートに振動子をつけることによって振動させ、注意を喚起できるデバイスを考案した.

これにより、運転者に着用を強制させることなく自然な形で運転ができるだけでなく、注意喚起デバイスを着用しないといった状況を防ぐ狙いもある.

このことから、本研究では視覚でなく、触覚を介して提示する振動子を用いたデバイスの開発と評価を行った.

### 3. 装置の概要

振動を提示するために小型の振動子を使用した. 振動子は、円盤形ブラシレス振動モーターLBV10B-009 (日本電産コパル株式会社) を使用し、これに樹脂製の振動版を取り付けシートに配置する. モーターの制御はボタンが押されると、一定時間モーターが回り、運転者に振動を与え注意喚起できるものとした.

振動子の制御には Arduino Uno を用いた。Arduino のデジタル出力では、直接振動子を動作させることができないので、モータドライブ部を介して動作させた。また、これらをそれぞれ各ユニットに分けて開発した。このユニット全体を図 1 に示す。

## Connection diagram of each unit

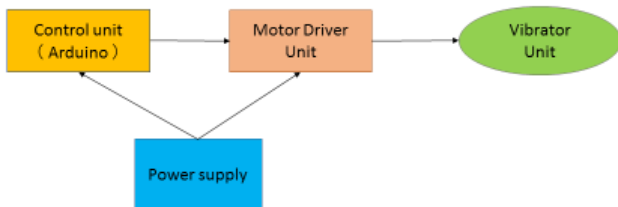


図 1. ユニット全体図

### 3.1 ハードウェア

#### 3.1.1 制御ユニット

制御ユニットは振動子を制御するために Arduino Uno を使用し、開発を行った。Arduino Uno とモータドライブユニット、ボタンや動作確認用の LED、IO ピンなどを接続するために Arduino シールド基板を開発した。この基板を Arduino Uno と接続することにより各種接続ができる。これを図 2 に示す。

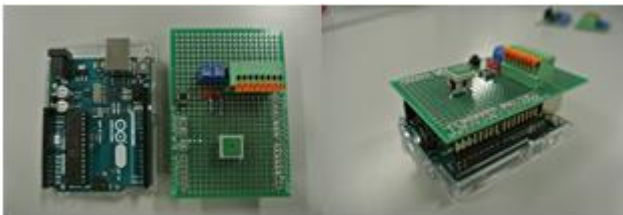


図 2. 制御ユニット

#### 3.1.2 モータードライブユニット

モータードライブユニットはモーターの駆動には、TA7291P(東芝製)を使い開発を行った。(図 3)この IC を使って Arduino Uno から信号を送り、別途電源から IC 電源とモーター電源を供給した。4 個のモーターを駆動させるため、この IC を 4 個使い、1つの基板に実装を行った。これにより、このユニットですべてのモーターを駆動することが可能とした。



図 3. モータードライブユニット

#### 3.1.3 振動ユニット

振動子の取り付けは、自動車用の運転座席を分解し、運転座席の内部に振動子を取り付けることは困難なので運転座席に取り付けるクッションの中に振動子を取り付けた。(図 4)振動子は小型のため振動部分が小さいため振動を知覚し

にくい可能性が考えられる。そのため、振動子に TPU(熱可塑性ポリウレタン)製の板を取り付け振動する面積を大きくした。この振動版となる部分の形状は円形で、厚さ 2mm、大きさは直径 50mm 大きさにした。このクッションを運転座席の座面上に配置した。振動子は全部で 4 つ取り付け、片腿(もも)に前後 2 つ配置した。振動子の位置は前後で約 200mm の距離で左右は腿の中央にくる位置に配置した。前後間の距離は文献[12]より、腿の 2 点弁別閾は 50mm 以上離すことが求められることから定めた。この距離は前後の振動子の位置を弁別するには十分な距離であると考えられる。



図 4. 振動ユニットの外部と内部

### 3.2 ソフトウェア

プログラムは Arduino IDE を用いて開発を行った。制御のプログラムは動作テストとしてボタンが押されると、500ms 間隔で、モーターが回って、止まっての繰り返しを 5 回繰り返す設計とした。この振動パターンは実験に応じて変えることができるよう開発を行った。

### 3.3 評価試験

振動提示装置が設計通りに動作していることを確認するために評価試験を行った。Arduino Uno の出力とモータードライブユニットの出力を計測し評価を行った。計測にはオシロスコープ DSO1052B(KEYSIGHT)を使用した。

## 4. 実験: 振動提示装置の評価実験

### 4.1 実験方法

ドライブシミュレーターを用いて車を運転しているときに振動提示装置の振動位置を正しく知覚できるかどうか実験し、評価を行った。

振動提示装置を自動車用の座席 LX-F (RECARO) に取り付け、被験者に座ってもらい、ドライブシミュレーター運転状況で行う。ドライブシミュレーターは、UC-WIN/Road (株式会社フォーラムエイト) により開発した。画面表示には液晶テレビ LC-55US40 (SHARP) を使用した。画面との距離は 120cm とした。ステアリングやアクセル、ブレーキ等の運転操作作用として、Driving Force GT (株式会社 ロジクール) を使用した。この配置図を図 6 に示す。

振動位置はそれぞれの場所が知覚できるか明らかにするために右側(Right)、左側(Left)、前側(Front)、後側(Rear)、すべての場所(All)のいずれかで、それぞれの位置を三回ランダムに提示した。振動パターンは 2000ms 振動し、500ms 静止した後、2000ms 振動させた。

被験者は普通自動車運転免許取得済みの男女計 4 名 (男性 2 名、女性 2 名) で行い、被験者にはドライブシミュレーター上の高速道路で時速 80km/h を維持してもらった。

初めに振動提示装置に慣れてもらうために各位置で振動提示を一回ずつ行った。実験開始の合図をしたのち各位置ラ

ンダムで一か所につき 3 回ずつ振動提示を行った。この時、被験者には振動開始のタイミングは教えなかった。回答の正誤は実験者が記録した。この実験の様子を図 7 に示す。また終了後に被験者にアンケートを取った。アンケートの項目は、振動が感じられたか、座席に座ったときに異物感を感じたか、実験の感想を聞いた。

図 6. 実験配置図

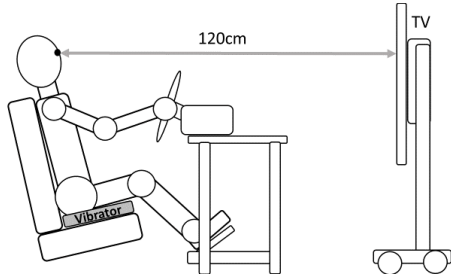


図 7. 実験の様子



## 4.2 実験結果と考察

実験の回答の一覧を表 1 に示す。列が被験者を示し、行が振動位置を示す。(右側: Right, 左側: Left, 前側: Front, 後側: Rear, すべての場所: All) 被験者の仮名の横に性別の頭文字を示す。不正解の場合には誤答した回答を一緒に記している。

この表から誤答は、前と後ろ、またはすべて振動させたときに起きていることがわかる。これは左右では脚が別々だが前後では同じ脚であり、位置を知覚することが左右の場合と比べて難しいということがわかる。

各被験者の正答率を表 2 に示す。この結果から平均で 95% の高い割合で位置を知覚することができた。また、一番正答率が低かった被験者でも 87% と高い割合を示していた。したがって振動子の位置をきわめて正確に判別することができた。

この表をから男女間で正答率に違いがあるのではないかとこの疑問が生まれた。そのため男女別で正答率を出した。この結果を表 3 に示す。結果から男女間で 10% の差があることがわかる。これは性別によって正答率に差が出る可能性が示唆している。この原因については n 数を取りより精密な解析が求められる。

アンケートの結果は表 4 に示す。振動が感じられたかという質問では、全員が振動を感じたという回答が得られた。このことから運転者に振動を提示する目的はこの装置で果たせると考えられる。座席に座ったときに異物感を感じたかという質問では全員が異物感を感じなかったという回答が得られた。このことから振動を提示するために取り付けた振動子や配線などが運転者に異物感を与えないということが分かった。このため振動子は座面に取り付けても問題ないと考えられる。実験の感想を自由に答えてもらう質問では、前のみ、後のみ、すべての振動子を振動させたときの違いが分

かりづらかったという回答が得られた。このことからやはり前後では同じ脚であり、位置を知覚することが左右の場合と比べると難しいということがわかる。

しかしながら評価実験の結果から知覚することは可能であり、あくまでも左右の知覚と比べた時に前後方向の知覚のほうが難しいと考えられる。このことから本装置で振動提示をすることが可能であることが分かった。

表 1. 回答一覧

提示順/ 被験者	KRS(M)	MCD(M)	KYM(F)	SGN(F)
Right	○	○	○	○
All	○	○	○	○
Front	○	○	× (All)	○
Right	○	○	○	○
Rear	○	○	○	○
All	○	○	○	○
Front	○	○	○	○
Left	○	○	○	○
Front	○	○	○	○
Right	○	○	○	○
Left	○	○	○	○
All	○	○	○	× (Rear)
Rear	○	○	○	○
Left	○	○	○	○
Rear	○	○	○	× (All)
Total	15	15	14	13

表 2. 各被験者の正答率

KRS(M)	MCD(M)	KYM(F)	SGN(F)	AVERAGE
100%	100%	93%	87%	95%

表 3. 男女別の正答率

Male	Female	AVERAGE
100%	90%	95%

	KRS(M)	MCD(M)	KYM(F)	SGN(F)
Feel vibration	Yes	Yes	Yes	Yes
Foreign body feeling	No	No	No	No

表 4. アンケート結果

## 5. 実験: 振動提示装置を使った注意度評価実験

### 5.1 実験方法

次に我々は標識通過前後で注視中の固視微動の標準偏差の増加することを示した文献 10 の結果を基に、運転中の注意度を上げる方法として振動提示を行う実験を行った。

我々のこれまでの実験により標識通過前後や雰囲気眼鏡による事前警告により、注視点の標準偏差が広がることが示されている。そこで、振動前後の注視点の標準偏差を測定することにより、振動による事前警告の効果を調べた。

## 5.2 実験環境

実験環境は振動提示装置の評価実験と同様の環境で行い、眼球運動の測定のため、被験者には EMR-9(ナックイメーজテクノロジー)を装着した。

被験者は普通自動車運転免許取得済みの男女計2名(男性1名、女性1名)で行い、ドライブシミュレーター上の高速道路を80km/hで走行してもらった。振動提示は道路情報板通過約10秒前(80km/hで220m手前)に行った。

### 5.2.1 ドライブシミュレーター

道路は、断続的に直線と緩いカーブの続く区間5つから成り立つ、全長約62.5kmである。標識は予測出来ないタイミングに出した、全部で9個設置し、区間4番目以外に標識が出るように設置した。区間4に標識を設けなかったのは、単調な運転区間により、注意度の低下をもたらすことを期待したからである。標識種類は、時速80km/hの速度制限標識、横風注意標識、道路情報板の3種類を使用し、国土交通省が認めている一般道路や高速道路で使用している標識を使用した。使用した標識は、図7の通りである。各区間の道路距離と標識位置は、図8の通りである。図8には道路区間番号、速度制限標識(8)、横風注意標識(W)、道路情報板(I)を示す。また、図8に各イベント地点の略名(K1, I1, K2, ...)を示す。

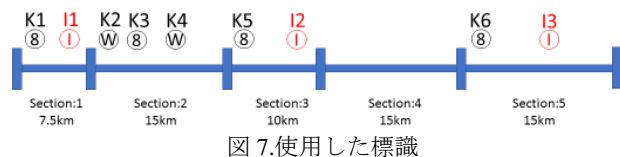


図7.使用した標識



図8.各区間の距離と標識の位置

### 5.2.2 振動提示装置

振動位置はすべての場所とし、振動パターンは2000ms振動し、500ms静止した後、2000ms振動させた。

## 5.3 結果と考察

振動提示をしなかった場合と振動提示した場合の注視中の眼球運動の標準偏差の比較し、表5、表6に示す。表5、表6の縦軸が被験者、横軸が交通標識で示している。

表5. 振動提示をしなかった場合の注視中の眼球運動の標準偏差の変化

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
MCD	-0.04	-0.03	0.11	0.03	-0.02	0.07
SGN	-0.11	-0.01	-0.01	0.03	0.04	-0.04

表6. 振動提示をした場合の注視中の眼球運動の標準偏差の変化

	I1	I2	I3
MCD	-0.01	-0.03	-0.02
SGN	0.07	0.02	0.03

振動提示をしなかった場合の標準偏差の変化は、42%の標識通過箇所でも標準偏差が上昇し注意度が増した。標準偏差が

低下した標識通過箇所でも標準偏差の低下量は大きいものではなかった。

振動提示をした場合の標準偏差の変化は、50%の標識通過箇所でも標準偏差が上昇し注意度が増した。2人中1人はすべて低下していたためこれは被験者によっては必ずしも上昇しないのではないかと考えた。

各標識通過前後の注視時の広がりから、標識通過前の注意が落ちていると思われる状態では値が小さく、通過後は値が大きくなり、注意が増加する傾向が示唆された。また振動提示装置を用いた場合の方が、注意度を上げる効果が大きい傾向が見られた。

## 6. むすび

本研究は運転中の注意度向上を目的として注意度を向上させるシステムの開発と評価を行った。従来の研究で行っていた注意提示装置ではいくつかの問題点があったがそれらを克服した振動提示システムを開発した。そして、この装置がドライバに振動提示ができるか実験した。

振動提示装置を用いてドライブシミュレーター上で運転中に運転者に振動提示を行うことにより注意喚起をして注視中の眼球運動の標準偏差から注意度を測定した。この結果、振動提示時に注意度が上昇することが確認された。今後は、より多くの被験者を用いて運転中の注意度の向上を目的とした振動提示の効果について詳しく調べていきたいと考えている。

### 参考文献

- [1] 特定非営利活動法人 ITSJapan, "ITSとは", ITSJapan, <http://www.its-jp.org/about/>, 参照 May. 30, 2017.
- [2] 日経テクノロジーオンライン, "ADAS", <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20140908/374968/>, 参照 May. 30, 2017.
- [3] JAF, "ACCとは", [http://jaf-acc.jp/about\\_acc/](http://jaf-acc.jp/about_acc/), 参照 May. 30, 2017.
- [4] LEXUS, "LEXUS Safety system LDA LKA", <https://lexus.jp/brand/technology/lss/lda-lka/>, 参照 May. 30, 2017.
- [5] 田中信壽, 安藤憲一, "自動ブレーキの性能及び事故低減効果の評価手法", 交通安全環境研究所フォーラム講演概要, 71-74, 2014.
- [6] 三栄書房, "2020年に「ADAS(先進運転支援システム)」市場が1.4兆円規模に", <http://mfy2016.com/8467>, 参照 May. 31, 2017.
- [7] JAF, "CACCとは", [http://jaf-acc.jp/about\\_acc/](http://jaf-acc.jp/about_acc/), 参照 May. 31, 2017.
- [8] 岩木直, 佐藤稔久, 武田裕司, "脳波を用いた運転支援システム利用中の注意リソース配分の評価", 2017年春季大会学術講演会講演予稿集, 2017.
- [9] 一般財団法人全日本交通安全協会, "交通事故件数", 全日本交通安全協会, <http://www.jtsa.or.jp/topics/T-254.htm>, 参照 May. 30, 2017.
- [10] 斎藤雄太, 飯塚岳, 山田光穂, "4Kドライブシミュレーターによる注視点解析", 信学研資, IMQ2015-8, pp. 5-8, 2015.
- [11] 丸山大岳, 斎藤雄太, 山田光穂注視中の固視微動の分散と注意度についての基礎的検討, FIT2016, 2016.
- [12] 大山, 今井, 和気編, "感覚, 知覚ハンドブック", 誠信書房, pp1232(1996)