

コンシューマ・デバイス論文

# 座面アクチュエータを用いた臀部触覚による 自動車の周辺情報通知

鈴木 彰真<sup>1</sup> 菱田 勇弥<sup>1,†1</sup> 村田 嘉利<sup>1</sup>

受付日 2017年6月30日, 採録日 2017年10月31日

**概要:** 車線変更や後進時, 左折時の死角に起因する事故を防止するために, 自動車にセンサを取り付け, 人や他車両の存在を通知するシステムの導入を自動車メーカーが積極的に進めている. 人や他車両の存在を通知する多くのシステムは, カメラ, 超音波, レーダによる物体検知を行っており, すでに高い精度で実用化されている. 一方, 運転者への伝達方法としては, 多くが視覚や聴覚による通知手段を採用している. これらによる通知は, 他の注視対象や環境音との競合を回避する必要がある. そこで, 新たに直感的で他の情報と競合しない通知手法として, 触覚による通知を提案する. 筆者らは, 臀部に設置したアクチュエータを用いた通知について, 方向や距離の分解能や路面からの影響に対するロバスト性を評価した. その結果, 臀部の触覚を利用して死角にある障害物を運転者に伝えられる可能性が高いことが分かった.

キーワード: 自動車運転補助, 通知, 運転シート, 触覚, 振動, 臀部

## Informational Notification around a Vehicle by Tactile Sense on Buttocks Using Seat Actuators

AKIMASA SUZUKI<sup>1</sup> YUYA HISHIDA<sup>1,†1</sup> YOSHITOSHI MURATA<sup>1</sup>

Received: June 30, 2017, Accepted: October 31, 2017

**Abstract:** We discuss effectiveness of tactile notification for car driving support system with intuitiveness by using a driving seat with vibration. Many automakers provide useful side and rear collision warning systems using such as a camera, an ultrasound transducers or radars, and they notice by sound alarms or visual monitors. These notifications make us confuse due to many visual targets such as mirror or monitors and environmental sounds, therefore we propose a notification system by tactile sense using seat actuators. In this paper, we evaluate direction and distance resolution and robustness against road condition and discrimination on our buttocks tactile sensation by experiments with the notification system. The results indicate high potential for notifying obstacles at the blind spot to drivers by using buttocks tactile sensation.

**Keywords:** car driving support, notification, driving seat, feeler, vibration, buttocks

### 1. はじめに

近年, 自動車の事故防止を目的に様々な研究が活発に行われている. 現在, 自動運転化にむけた過渡期を迎えており, 多くの運転支援システムが実用化されている. 運転の完全自動化については, セキュリティ対策や事故を起こし

たときに発生する責任の所在といった法整備の問題もあり, 実用化までにはまだ時間が必要であるとする専門家もいる [1]. また, 自分で運転することをあえて望む場合もある. 自動車には自分で運転する楽しみもあり, 自分自身で運転することを趣味や娯楽とする需要は今後も予想される. 障害者の運転においては, 自分自身の力のみで好きな場所に行きたいという願望が高く, 毎年開催されるセミナーには多数の参加者が訪れている [2]. そのため, 完全自動運転化の研究が進む現代においても, 運転支援への取り組みは依然として重要である.

<sup>1</sup> 岩手県立大学  
Iwate Prefectural University, Takizawa, Iwate 020-0693, Japan

<sup>†1</sup> 現在, 横河電子機器株式会社  
Presently with Yokogawa Denshikiki Co., Ltd.

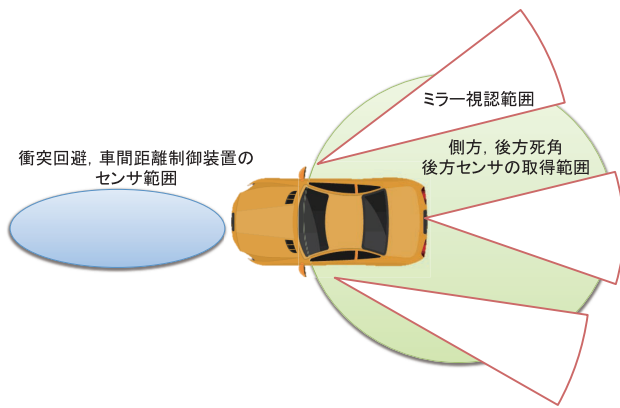


図1 ミラーの視認範囲とセンサシステムの動作範囲

Fig. 1 Visible range by mirrors and sensing area on a vehicles.

一方で、平成28年における交通事故の発生状況 [3] によれば、脇見運転や安全不確認、漫然運転が自動車運転者の事故原因の大きな要因としてあげられており、運転支援技術のさらなる向上によりこれらの事故の防止が期待される。運転支援によって事故を回避するためには、いかに正確な情報を早く取得できるかに加え、いかに早く正確に判断できるように運転者に伝えるかが重要である。

自動車メーカーにより、様々なセンサの低コスト化、高精度化が進んでいる。運転支援における現状の車のセンサ認識範囲を図1に示す。前方においては、死角が側方後方に比べて少ないものの、うっかり事故や見落とし事故の防止に役立つシステムが実用化されている。カメラを用いたアイサイト [4]、ミリ波レーダを用いたシステム [5] がこれに該当する。一方、側方や後方の近傍では、ミラーに映らないエリアがあり、運転者は死角として意識する必要がある。また、ミラーや直に後を振り向いて確認すること自体を忘れて、前方を意識して気づかなかつたりする場合もある。そこで、車線変更や後進時、左折時の死角に起因する事故防止のために、自動車にセンサを取り付け、人や他車両を検知し、検出した場合その存在を運転者に通知するシステムの導入が自動車メーカーで積極的に進められている。

一方、多くの運転支援システムでは運転者の視覚や聴覚を利用した通知方法を採用している。視覚は物体の形状認識も容易で識別分解能が高く、色の違いを認識することもできるため、1度に得られる情報取得量が多く、最も有用な周囲把握、通知手段として用いられている。たとえば、運転者は、既存のミラー、前方窓、カーナビゲーション、タコメータや速度計、インジケータなどから情報を視覚によって得ている。視覚による情報取得は、すでに情報量が過多であり、これらの見落としによる事故が発生している。平成26年度の交通死亡事故発生件数を法令違反別にみると、安全運転義務違反が56.8%を占め、その中で脇見運転は12.9%である [6]。そのため、視覚による通知は、メータを含む様々な情報通知システムの競合に加え、前方やミラーの注視に対する集中力の低下を考慮する必要がある。

聴覚は、左右の耳によって方向をある程度つかむことが可能である。また、音程や音声の組合せで情報の通知ができる。聴覚によって、正確な情報を伝達するためには文章を使用する必要があり、その伝達には時間がかかる。そこで、自動車の通知情報のうち、素早い判断が必要なものには一般に通知音が用いられる。通知音の音程や音の間隔を別の情報に結び付けることが一般的であるが、直感的に何を表しているかを判断することは難しい。また、音による通知においてもクラクション、ラジオやオーディオ、サイレンや踏切などの環境音との競合を考慮する必要がある。長距離バスの場合、深夜走行中の音や光は乗客に嫌われる可能性が高く、音によって通知するシステムを使用することは難しい。

そこで、通知手段として触覚の利用を考慮する。触覚は痛覚、温覚などがあるが、一般的に人の歩行において方角や緊急性を伝える手段としては、圧覚の一種である「叩く」という動作が考えられる。視覚には劣るものの、叩く方向や強さによって直感的に状態を予想できる。バイブレーション機能を持ったスマートフォンによる通知も、圧覚を利用している。振動が人への通知に有用であることがうかがえる。このような振動による通知は、文章を音声に変換する通知よりも即時性が高く、音よりは通知の方向分解能も高い。幸いにも自動車については、現在センサ情報を運転者に伝達する手段として利用されていない。そのため、通知の競合がない。そこで筆者らは、従来の視覚や聴覚での提示とは違う新しい提示手段として、つねに運転者が接触する臀部の触覚による通知を提案し、臀部に設置したアクチュエータを用いた通知について、方向や距離の分解能や路面からの影響に対するロバスト性を評価した。その結果、臀部の触覚を利用して死角にある障害物を運転者に伝えられる可能性が高いことが分かった。

本論文では、2章で周辺研究をあげ、3章で提案するシステムの構成を示す。4章では、臀部で感じた振動がどのように感じるか、方向と強度に対する知覚分解能を評価する。5章では、臀部で知覚した振動による方向や距離の通知が、運転者の学習によってどの程度向上するか評価する。6章では、路面に対するロバスト性について知見を述べ、7章でまとめる。

## 2. 周辺研究

自動車において後方を支援する多くのシステムは、カメラ、超音波、レーダによる周辺の人や車の検知を行っており、すでに高い精度の検出率で実用化されている [4], [7], [8]。カメラについては低速域ではアラウンドビューモニタが利用されている [8]。超音波は2000年代にはすでに実用化されており、周囲の環境によって距離の誤差が左右されるが、安価で実装可能である、またカメラと連動させて自動駐車システムを実現させた例もある [9]。レーダにおいても、セ

ンサが開発され実用化されている [10]. また, ライダを自動車に搭載した研究もさかに行われている [11]. 備え付け型だけでなく, 後付けで提供できるデバイスもある [12]. このように, 現在は高い精度で距離と人, 自動車, 自転車の種別の判別が可能になっている. そこで, 本研究では, センシングされた結果をいかに運転者に通知するかに重点をおいて研究を進める.

触覚を用いた自動車の周辺情報通知以外の研究に着目すると, 脳損傷患者の座位保持訓練として, 非麻痺側骨盤への触覚情報が有効であり, それを用いた研究が行われている [13]. これにより, 触覚が通知に有用であることが示されている. 臀部と自動車のシートに関しては, 触覚による自動車助手席の座り心地を評価した例があり [14], さわり心地の判別という繊細な感覚に対して触覚により一定の検知が可能であることが示されている.

触覚による自動車の通知としては, 装着の手間はあるもののベルト型 [15], [16] のようなウェアラブルデバイスによる方向提示の研究は古くからされている. ウェアラブルデバイスは, 自動車運転時のシートへの応用ではないものの, 方向提示が振動によって可能であることが示されている. また, 振動触覚ディスプレイによるシート背面における接近物の方向検知が可能であることが示されている [17]. 背面は臀部より触感の感度が良いが, 背面においては, つねにシートに背中を当てる必要があり, 姿勢の影響を比較的受けやすい. 臀部振動による通知において実用に向けた取り組みもある [18] が, いずれも一カ所での振動にとどまり, 方向や距離を直感的に通知できる例はない. 本研究では, 実用化に向けて実際の車に設置したうえで, 自動車に取り付けられているセンサ情報の通知が臀部によって可能か評価する.

### 3. システムの構成

図 2 に振動による情報の通知システムの構成を示す. アクチュエータの選定においては, 車にも搭載可能なサイズと 12V 程度の電圧での駆動が要求される. また, 乗り心地に関しても考慮する必要がある. そこで, 市販のシート

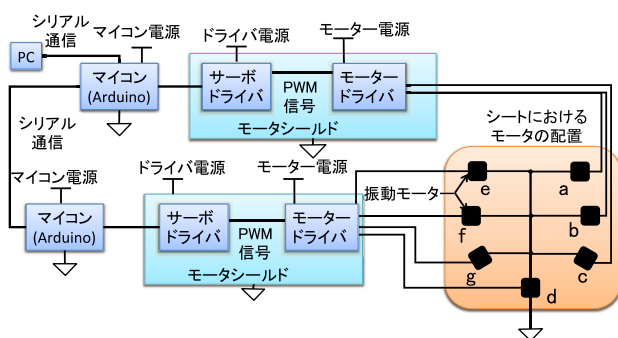


図 2 通知システムのハードウェア構成

Fig. 2 Hardware layout on our notification system.

マッサージャを参考にした. シートマッサージャの多くはマッサージクッションの座面に振動モータを用いているため, 筆者らはアクチュエータとして振動モータを用いた.

2 台のマイコン (Arduino UNO) を用いて, それぞれモータシールドを経由して椅子のクッションに設置された振動モータを動作させる. システムの電源は, 車のシガーソケットから取得する. 1 つのマイコンで 3 つまたは 4 つの振動モータを動作させている. 実用化の際には, 近接センサの情報を取得し, 振動制御を行う. 今回は, 図 2 に示す PC またはマイコン内で振動の強さを制御する. 振動の強さについては, モータの回転数で表現する. マイコンでは, シリアル通信で振動させるモータと回転数を決定する.

本システムでは, 各モータを止める命令と動作する命令を 1 度で送ることでシリアル通信のスピードアップを図った. コマンドのフォーマットとしては, モータ a からモータ g の回転数を順に入れるものとした. 各モータを指定して停止と動作の入力を行う手法よりも反応速度の向上が認められ, シリアルデータ入力後 0.1 秒以内でモータ割振りと回転数変換を行い, 動作させることができる. マイコン, モータドライバの仕様により, 回転数は 255 段階に調節できる. そのため, 各回転数は 00~ff の 8 bit で入力する. データのフォーマットは {“a の回転数” “b の回転数” “c の回転数” “d の回転数” “e の回転数” “f の回転数” “g の回転数”} となる. たとえば, b のモータを最大回転数, それ以外を振動させないようにする場合, 00ff0000000000 を入力する. またこの振動回転数は, 4,100rpm で回転する場合を 255 とした 256 段階の数値である. マイコン内の処理としては, シリアル通信によって示された回転数と振動先に対して, モータドライバ (L293D for Arduino) を経由して pwm 変調によって振動する偏心直流モータに信号変換して送信する.

次に, 小, 中, 大の 3 段階で距離を表現することを目的に, 表 1 に示す回転数を各段階に割り当てた. 振動の回転数は, 知覚できる最低限の回転数を予想しそれを小とし, 最大の回転数で発生する振動を大とした. 具体的には, シリアル通信で与える 255 を大, 200 を中, 150 を小, としている. 表 1 には対応する回転数を示している.

モータを取り付けたクッションは, そのまま自動車のシートに取り付ける. モータを取り付けた市販のクッションを図 3 に示す. 振動モータの持つ伝達力には限界があ

表 1 各回転数における回転数

Table 1 Rotational speed corresponding to three steps on vibrating strength.

	振動回転数
小	2,412 rpm
中	3,216 rpm
大	4,100 rpm



図 3 振動モータを取り付けた実験用シート  
Fig. 3 Vibrators on experimental seat.

表 2 振動モータの仕様  
Table 2 Specification of vibrators.

項目	スペック
定格電流	0.25 A
定格回転数	4,100 rpm
定格電圧	DC 12 V



図 4 実験で使用した自動車 (マツダデミオ)  
Fig. 4 A vehicle for our experiments.

り、振動として認識させるためには、あまり体重で押しつぶされ過ぎないことが望ましい。そこで、使用する市販のクッションは、硬めのクッション性のあるツボ押し部があるものを選定し、モータに過剰な体重が乗らないように工夫した。図 3 に示すように自動車用の市販のシートに対して、前を除く 7カ所に均等にモータを設置した。振動モータは、マッサージクッション用の製品である uxcell 製 Black Shell 12V 4100RPM Vibration Motor for Massage Cushion を用いた。表 2 にモータの仕様を示す。また、実験では図 4 に示すマツダ・デミオの運転席を使用した。

#### 4. 周囲情報の通知における臀部知覚の評価

図 4 に示した小型自家用車に、図 3 に示す制作したシートを取り付けて、振動による通知が可能か評価した。山道、60 km/h 制限の片側 2 車線の大通り、片側 1 車線 40 km/h 制限の市街地の道路、砂利道 (大学内私有地)、段差 (歩道との境界) において、運転時における振動の感度と認識方向を評価した。図 5 に実験で使用したルートを示す。また、ルート内の山道、60 km/h 制限の片側 2 車線の大通り、片側 1 車線 40 km/h 制限の市街地の道路の Google ス



図 5 実験で使用した運転のルート  
Fig. 5 Driving route for our experiment.



図 6 山道、大通り、市街地各走行ルートの様子  
Fig. 6 Route condition for driving experiment; local winding road, arterials, and congested collectors.

トリートビュー、ならびに Google マップ [19] での様子を図 6 に示す。晴天、非積雪時の岩手県盛岡市内の道路においておよそ 29km の道のりを設定した。各状況におけるランダムなタイミングで、小中大のいずれかの振動を 1 つまたは 2 つの隣接するモータで発生させた。それぞれの被験者と実験環境において、表 1 に示す 3 段階の回転数による接近状態の判別についても評価した。本実験では、直感性について考慮し、事前の教示なしで計測を行った。また、実験は冬季に実施しており、服装は各被験者いずれも厚手のスボンまたはスカートであった。

##### 4.1 静止時における振動モータの知覚方向の検討

事前実験として、非運転時における振動モータの振動と直感的に感じる方向について認識可能か実験を行った。ハンドルを握った運転姿勢をとらず、深く座った状態で実施した。この実験では、ある 1 つのモータを振動させたときに、振動によって直感で感じた角度をアンケート形式で回

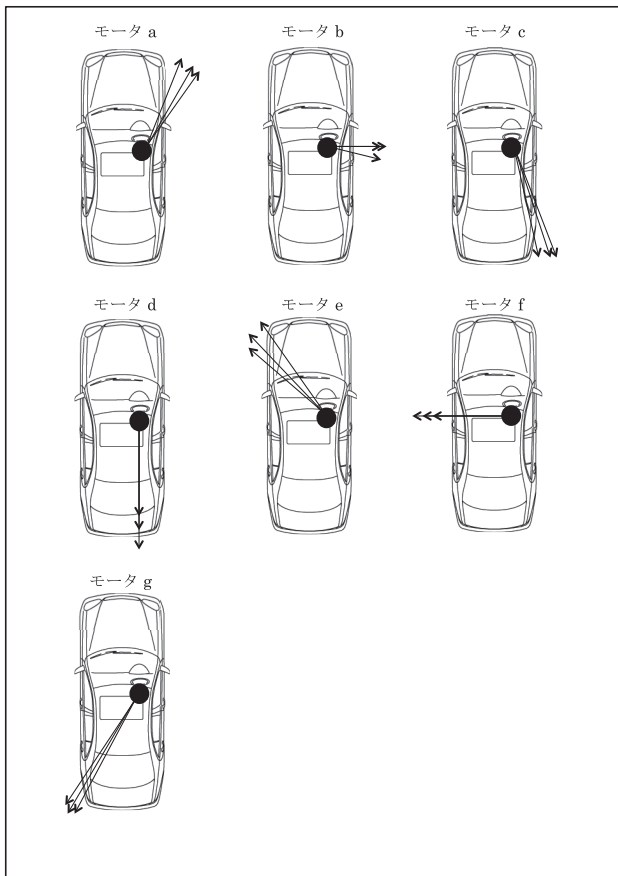


図 7 静止時の振動に対する方角アンケートの回答例

Fig. 7 An example on directional questionnaires which participants feel on each vibrator.

答してもらった。あらかじめ振動するモータの試行順はランダムとした。また、本検討は被験者 4 人に対して 3 回行った。被験者のうち 2 人は運転免許保持者である。また、運転免許保持者はいずれも取得後 3 年以内であり、1 人は女性、残りは男性である。図 7 では、車を描いた絵に対し、静止時に被験者にシートから与えた振動について、どちらの方角を感じるか実際に矢印を入力してもらったものを例として示している。本実験では、各被験者が試行回を重ねるごとにすべて同じ様式に書き足す形で行った。3 回の振動によって、側方のモータについて最大で 50 度近く認識の差があった。側方のモータは座位による影響を受けやすいことが示唆された。本実験において、被験者が知覚をしなかった振動はなかった。

図 8 は、ばらつきの程度を評価するため、図 7 で得られたアンケート結果を集計し、回答で得られた角度の範囲をエリアとして示している。左右非対称の結果が得られたが、運転時の基本の姿勢が必ずしもまっすぐでない被験者がいるためであると考えられる。また、運転免許保持者と非保持者、男女の別によって計測値の差は認められなかった。一方で真後ろのモータ d については高い精度での角度を示すことができた。直感的な判定として、側後方の通知としては現時点で十分な精度であると考えられるが、新た

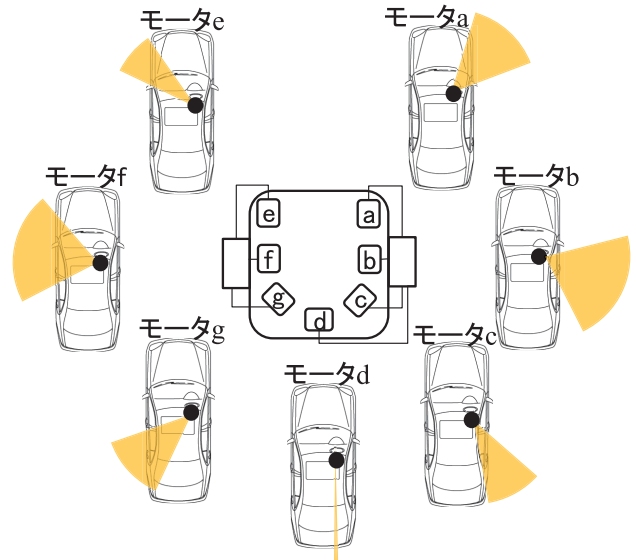


図 8 各振動モータにおける被験者が回答した方向の範囲

Fig. 8 Directional range summarized by questionnaires on each vibrator.

なシートの製作によってさらに精度の向上が期待される。

#### 4.2 運転中の振動モータにおける臀部知覚の精度評価

次に、図 5 に示すコースに対して、運転中における臀部の知覚がどの程度正確か計測した。被験者は男性 3 人、女性 2 人の 5 人の免許保持者で行った。実験に際し、事前に被験者に振動が運転に影響するかどうかのインタビューを行った。インタビューの結果、運転に支障を与える振動であるという意見はなかった。過剰な情報提供は、危険告知に対する慣れにつながるうえ、運転者が嫌がるのが予想されるため、危険告知は一般的に予想できない内容を吟味して告知する必要があると考えられる。しかし、振動の実験においての意見を聞く限りでは、危険告知の用途において、振動が運転の障害になるとは考えにくい。

次に、インタビューを行った被験者に対し、道路状況に起因する振動知覚の正確性の変化について評価する。被験者にはあらかじめ、大、中、小の 3 段階の振動と表 1 に示す各振動の回転数における設定の経緯を伝えておき、振動に対して被験者が思う感覚としてどの大きさにあてはまるか回答してもらった。本実験では、被験者に振動させるモータとその回転数を知らせずにランダムに与えた振動に対して回答してもらった。また、被験者は男性 3 人、女性 2 人の 5 人の免許保持者で行ったが、有意な差は認められなかった。

図 9 に、各道路においてランダムに与えた 1 つの振動モータによる振動に対して、どのモータが表 1 に示す小、中、大のどの大きさで振動したか 5 人の被験者に対して回答してもらった結果を正答率として示している。図 9 は、左から各道路状況に対して、方角の正答率、回転数の正答率、方角と回転数両方を正答した率を順に示している。本

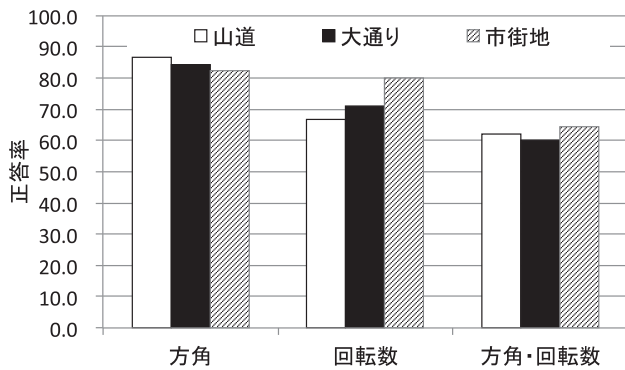


図 9 山道, 大通り, 市街地における振動の方角, 回転数の正答率  
 Fig. 9 Correct answer rate on local winding road, arterials, and congested collectors.

表 3 ランダムに与えた角度と回転数に対する回答

Table 3 Answer of direction and rotational speed by random vibration.

試行回数	被験者 A		被験者 B	
	振動	回答	振動	回答
1	f (中)	f (中)	e (大)	e (大)
2	d (小)	d (中)	d (小)	d (中)
3	c (小)	c (小)	f (中)	f (大)
4	a (大)	a (中)	c (小)	c (小)
5	b (大)	b (大)	a (大)	a (大)
6	e (大)	e (小)	b (中)	c (大)
7	d (中)	d (中)	g (大)	g (小)
8	g (小)	g (小)	e (小)	e (小)
9	c (中)	c (小)	g (大)	g (中)
10	f (大)	f (大)	b (中)	c (大)
11	a (小)	a (小)	c (中)	c (小)
12	d (中)	d (中)	a (小)	a (小)

実験では, 表 1 に示す小, 中, 大の回答をするまでの時間が 5 秒を超えた場合, 振動を検知できなかったとした. 振動を検知できなかったと判断した場合は誤答とし, 被験者には何も伝えず, 次の試行を行った.

実験の結果, 振動を感知した場合の振動から回答開始までの応答時間はつねに 1 秒を下回っており, 1 秒未満で認知できることが示唆された. また, 全走行路における方角, 回転数, 両方の正答率の平均はそれぞれ 84.4%, 72.6%, 62.2%, であった. 方角においては山道, 大通り, 市街地の順で正答率がわずかに高く, 回転数においては市街地, 大通り, 山道の順に正答率が高い. 走行速度が低い市街地では, 振動の影響が少なく回転数の正答率が増加したと考えられる. また, 山道はアクセルペダルの操作が多くなるため, 臀部の接触面によるモータへの圧力が変化した可能性もある.

誤答を詳細に分析するため, 表 3 に山道における回答のうち 2 人分を示す. たとえば, 表 3 の被験者 A は 1 回目の試行で振動モータ f に中程度の振動を与えたところ, 正しい振動モータと回転数を回答している. 一方, 表 3 下線は回答と違う内容であった部分を示している. 被験者から

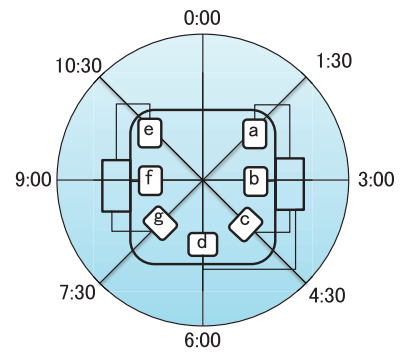


図 10 センサの配置と時刻方向

Fig. 10 Vibration layout on our experimental seat.

は, 大と中の差が分かりにくいといった意見も聞かれた. 表 3 においては, 大に対して小と回答した例が 2 件あったものの, 残りの誤答は 1 段階にとどまっている. 身体の部位にあたる圧力の変化によって回転数を知覚する感覚が変化する可能性があり, 姿勢の変化が影響する可能性がある. 表 3 の被験者 B は 7 回目の試行前に姿勢を変更したため, それまで大きめに誤答していたものが小さめに誤答している可能性がある. しかしながら, 3 段階の回転数の変化は知覚の変化の差としてのおおむね感知可能であることが示唆された. 振動モータの設置位置においては, 表 3 の誤答は隣接のモータを回答した 2 件にとどまっている. そのため, おおむねどのモータが振動したか判断できるものと考えられる.

#### 4.3 運転中の複数の振動モータと角度に関する検討

さらに, 運転中のより詳細な角度について男性 4 人, 女性 1 人の新たな被験者に対して実験を行った. 被験者は前節で行った者とは別である. 本実験では, 静止状態の自動車のシートに着席してもらった状態で, ランダムに 1 つまたは隣接する 2 つのモータを振動させる. 被験者はその振動に対して方向を答える, この試行は, 各被験者ごとに 12 回行った.

図 10 は, シートに設置した振動モータの位置と, 実験の回答で用いる時刻表記との関係を示している. 図 10 に示す時刻は, シートの中心に対してモータを配置した方角を時刻として表記している. より詳細に感じた角度を回答してもらうために, 図 10 に示す角度とモータの対応を利用した. たとえば a と b のモータの場合は 2:15 方向といった, 2 つの振動モータの振動によって 2 つのモータの中央が表現できることも予想されるため, a から g の 1 つ, または隣接する 2 つの振動モータを振動させて, どの方向からの信号に感じるか, 時刻で回答してもらった. 隣接する 2 つの振動モータを振動させたとき, 2 つのモータの中央が表現できると仮定すれば, 本実験における分解能は前面を除き角度として 22.5 度, 時刻表記においては 45 分である.

表 4 に被験者が回答したモータの振動の大きさと時刻

表 4 詳細な角度の回答

Table 4 Detailed answer on directions.

試行	被験者 C		被験者 D		被験者 E		被験者 F		被験者 G	
	正解	回答	正解	回答	正解	回答	正解	回答	正解	回答
1	ab	2:00	g	7:00	b	4:00	f	10:00	f	10:00
2	dg	7:00	cd	6:00	dg	4:00	ab	3:00	g	7:00
3	e	11:00	bc	5:00	b	3:00	c	5:00	bc	4:00
4	cd	6:00	fg	8:00	fg	8:30	cd	6:00	ab	2:00
5	ef	9:00	ab	4:00	a	2:00	ef	11:00	fg	8:30
6	f	8:00	c	5:00	fg	8:00	bc	4:00	c	4:00
7	ae	12:00	ef	8:30	ef	10:00	e	10:00	e	11:00
8	bc	2:00	bc	4:00	cd	5:00	fg	7:30	ef	10:00
9	ae	1:00	dg	6:00	e	10:00	g	7:00	dg	6:30
10	fg	9:00	b	3:00	a	1:00	b	2:00	c	4:00
11	dg	8:00	ae	12:00	d	6:00	ab	3:00	fg	9:00
12	d	6:00	dg	6:00	ab	2:00	d	3:00	b	3:00

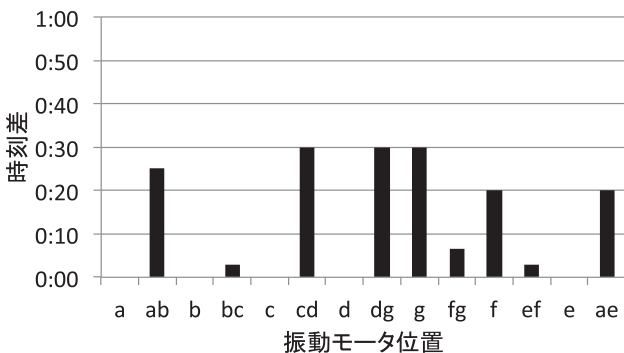


図 11 各振動における回答と配置の方向差

Fig. 11 Differences between directional answers and layout.

方向を示す。本実験では、被験者が知覚できなかった振動はなかった。表 4 では、被験者 5 人にランダムに表 1 に示す小、中、大の振動を与え、正解の振動に対する回答を示している。ただし、与えた振動の回転数はそれぞれ大 4 回、中 4 回、小 4 回となるようにしている。たとえば、1 回目の試行では被験者 C に対して図 10 における ab の振動モータを振動させた。回答としては 2:00 が得られたため、1:30 と 3:00 方向の中間を 2:15 とすれば 15 分の誤差で振動モータ b 側にずれた位置を回答している。実験の結果、2 つの振動モータの駆動時は片方の駆動の影響を強く受け、図 10 におけるモータの中間の位置に相当する時刻を答えることが少ないことが分かった。

図 11 に各振動モータの位置における図 10 に示した時刻に対して回答した方向差を絶対値とし、その平均を時刻の差として示す。回答の平均値の絶対値を求めると、30 分以内の方向に収まっている。複数のモータに対応した臀部の感覚の分解能は期待できないため、複数のモータの振動の利用は困難であると考えられる。

実験の結果、臀部では回転数の差を 7 つのモータにおいて 60% 以上認識できるうえ、誤りのほとんどが 1 段階の差であることが判明した。角度においてはモータの振動した

位置が認識する方向に対して 1 つのずれ以内に収まっており、直感に近い位置で通知することが可能であることが示唆された。どのモータの振動が、どこにどの程度あったときどのくらいの強度と方角であるかは、実際に振動が発生するごとに学習できることも考えられる。

### 5. 被験者の学習による知覚回転数情報取得性の向上

これらの検討の結果から、振動モータを設置したシートを使用したときの学習状況を想定して、被験者に繰り返し振動を感じてもらったときの学習効果について評価を行った。被験者は前章で行ったものとは別に、男性 4 人、女性 1 人の 3 年以内に免許を取得した者に対して実施した。本実験は、被験者 5 人に対して各項目 15 回実施した。

まず、4 章での実験と同様に、被験者にはあらかじめ、大、中、小の 3 段階の振動と表 1 に示す各振動の回転数における設定の経緯を伝えておき、振動に対して被験者が思う感覚としてどの大きさにあてはまるか回答する方法を教示なしとした。振動を検知できなかったと判断した場合は誤答とし、被験者には何も伝えず、次の試行を行った。

次に、事前に 3 種類の回転数を各モータ 1 回ずつ体験させておくことで、正解を伝えた場合を教示ありとした。具体的には、あらかじめ b の強、中、弱、c の強、中、弱…のようにモータのそれぞれ強、中、弱の順に、「次は b の強を振動させます」と通知したうえで振動させ、5 秒後に振動をオフにし、次の教示を行った。振動を検知できなかったと判断された場合は誤答とし、振動した場所と振動の回転数を伝え、次の試行を行った。本実験では、単純に学習の効果を測定するために、停止した自動車において運転姿勢をとらない状況で実験を行った。実験中においても、回答後にその回転数と方角の正解を告知することで与える教示情報を逐次増やし、被験者に与えた後の回転数と角度の正答率を求めた。

これまでの実験結果をふまえ、振動させるモータを 1 つとした。また、図 8 の結果をふまえ、側方や後方を通知するシステムとして不要な振動モータを外し、図 10 におけるモータ b, c, d, f, g に限定した。振動の強さの段階については、これまでの実験における回転数の小で十分知覚できたこと、小、中、大それぞれの間隔をあけることによってより大きな振動差を期待できることから、知覚できる最低限の振動、大と小と混同しない中の回転数を経験則から再考したうえで、表 5 に示す回転数に変更した。

図 12 に教示の有無による正答率の差を示す。図 12 は、それぞれ 5 人の被験者について方角、回転、方角と回転の両方の正答率に分けて示している。本実験は非運転時に行ったため、全体的に正答率が公道走行時に比べて高い。運転走行時に比べ振動が少なく、椅子に容易に集中できる環境で、かつハンドルを握らない姿勢であったことによ

表 5 新しく設定した回転数

Table 5 Rotational speed corresponding to three steps on vibrating strength on an experiment for learning effect.

	振動回転数
小	1,929 rpm
中	3,102 rpm
大	4,100 rpm

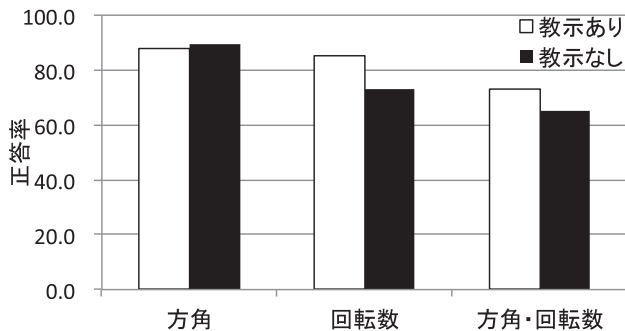


図 12 指示の有無による正答率の差

Fig. 12 Developments on correct answer rate by learning effect.

る影響が考えられる。また、指示後の方角・回転数の正答率は、非指示時と比較して向上した。よって、指示を繰り返すことで正答率の向上が望め、より正確な通知が期待できることが示唆された。

図 12 に示す結果では、パラメータ調整とモータの配置による正答率の向上も考えられる。加えて、指示を与えた場合においては運転を行ううちにどの程度の距離でどの程度の振動が発生するか運転者が理解することによって、より詳細な距離情報を通知することが可能であることがうかがえる。筆者らは市販のシートを配置しているが、着席位置がある程度固定されるシートを製造し考慮することでさらなる正答率の向上が期待できる。

## 6. 路面状況における振動告知への影響の差異

砂利道と舗装路における正答率の差について検討するため追加実験を行った。本実験は、これまでの実験とはさらに別の運転免許取得者男性 4 人女性 1 人に対して、私有地の舗装路と砂利道を運転してもらった。砂利の粒は長辺が 5 cm 以内であった。私有地の舗装路は時速 30 km/h 程度、砂利道は 10 km/h 程度で運転してもらい、ランダムに振動を与えたときの回答を示している。また、本実験は指示を行い、十分に学習したうえで運転中に実施した。本実験では振動開始後、知覚してから、回転数の回答をするまでの時間が 5 秒を超えた場合、振動を検知できなかったとした。振動を検知できなかったと判断された場合は誤答とし、振動した場所と振動の回転数を伝え、次の試行を行った。また、振動開始からどこかの部位での反応が認められるまでの時間をストップウォッチによって測定した。振動

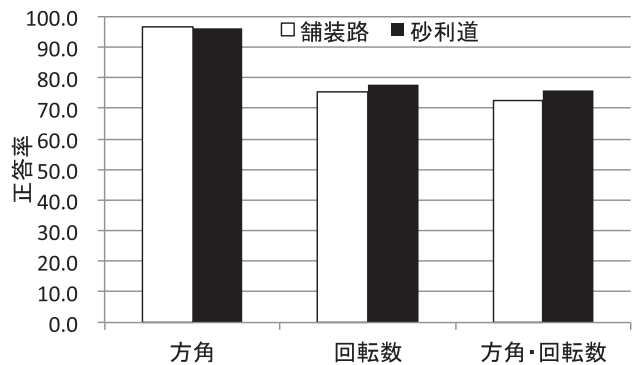


図 13 舗装路と砂利道におけるモータの方向、回転数の正答率

Fig. 13 Correct answer rate on gravel surface.

を感知した場合、振動から回答開始までの応答時間はつねに 1 秒を下回っており、振動の知覚における即時性も示唆された。図 13 は、左から方角の正答率、回転数の正答率、方角と回転数両方を正答した率を順に示している。また、角度を正答し回転数を誤答した件数は 2 件あり、それ以外の誤答はすべて回転数についてである。さらに、舗装路と砂利道の正答率の差は 4% 以内であり、ほとんど差がない。サスペンションにおける振動周波数が、モータの振動周波数と大きく違うため、段差や砂利道においても振動モータの認識に影響なく、舗装路と同等の結果が得られたと考えられる。

## 7. おわりに

筆者らは、センサで取得した自動車の側背面の情報を通知する方法として、シートの振動モータによる臀部への通知手法を提案し、臀部で知覚する分解能や路面からの影響に対するロバスト性の観点から有用性を評価した。7 つの振動モータを普通車のシートに装着し、公道や砂利道を実際に運転しながら知覚に関する実験を行ったところ、回転数と方角について通知可能であることが示された。本システム導入後の長期の運転により、振動したときの回転数と目視での周囲の状況の結び付きができれば、振動の状況は指示されるため、より回転数による距離や危険度の認知、方向認知の精度が高まることが予想できる。この状況をふまえた追加実験においては、平均約 87% の正答率で正しく通知できることが示された。臀部の触覚が利用できる可能性が高いことが分かった。

今後の展望として、実際に本提案手法を実装した自動車を利用し、有用性について検討を行っていく。シートの実用化に向けて、現在シート製作会社や自動車メーカーとの提携、実験協力を仰いでいる。実証実験を行い、振動で与えるべき通知以外の要因による緊急時、異常時の振動について、運転に問題がないか検討を行っていく。また、触覚による通知を視覚や聴覚による情報と組み合わせることで、競合による混乱が少なく、状況をより正しくかつ素早く認識できるシステムも期待できる。そのため、画像や音によ



る通知との協調について検討を行っていく。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP16K00276 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] 松島正秀：自動車技術の動向と中小企業等の開発事例紹介，岩手県次世代モビリティイノベーション推進協議会平成 27 年度成果報告会，北上市文化交流センターさくらホール (2015).
- [2] 福祉車両の普及促進と運転環境改善のための集いみんなのくるま，公益財団法人いしずえ，入手先 <http://www008.upp.so-net.ne.jp/ishizue/file/minkuru-top.html> (参照 2016-09-28).
- [3] 統計局：平成 28 年における交通事故の発生状況，入手先 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001176564> (参照 2017-11-15).
- [4] SUBARU Official Website, リアビュークルディテクション Legacy, Advanced Saefy Package, 入手先 <http://www.subaru.jp/legacy/outback/saefy/advancedsaefy.html> (参照 2016-03-01).
- [5] RoCC Technology, Press release, Infineon, available from <http://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/press/press-releases/2009/INFATV200905-058.html> (参照 2016-05-01).
- [6] 内閣府：平成 26 年度交通事故の状況及び交通安全施策の現況，入手先 [http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h27kou\\_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1.2.html](http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h27kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1.2.html) (参照 2016-09-29).
- [7] 碓井茂夫：前方認識センサーによる運転支援技術，自動車技術，Vol.63, No.12, pp.30-33, 自動車技術会 (2009).
- [8] 日産自動車株式会社グローバルサイト，安全の取り組み，入手先 <http://www.nissan-global.com/JP/SAFETY/> (参照 2016-03-01).
- [9] トヨタ自動車株式会社，インテリジェントパーキングアシスト 2 繰り返し機能も搭載した駐車支援システム，入手先 <http://toyota.jp/technology/comfortable/intelligentparkingassist2/> (参照 2016-05-06).
- [10] 車線変更や駐車スペースからの後退出庫をより安全にボッシュの車両後方用中距離レーダーセンサー，BOSCH プレスリリース，入手先 <http://www.bosch.co.jp/jp/press/pdf/group-1211-04-release.pdf> (参照 2016-05-06).
- [11] Wang, H., Wang, B., Liu, B., Meng, X. and Yang, G.: Pedestrian recognition and tracking using 3D LiDAR for autonomous vehicle, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.88, pp.71-78 (2017).
- [12] クラリオン：モービルアイ，入手先 <http://www.clarion.com/jp/ja/products-business/collision-avoidance/ME530/> (参照 2016-09-30).
- [13] 林 純子，網本 和：臀部側面への触覚情報の有無による座位保持能力の違い，脳損傷・評価，保健・医療・福祉における多職種連携とその教育，第 18 回日本保健科学学会学術集会，C-12，日本保健科学学会誌，Vol.11(Suppl), No.34 (2008).
- [14] 西松豊典，有賀秀樹，鳥羽栄治：視覚あるいは触覚による自動車助手席の座り心地評価，繊維機械学会誌，Vol.48, No.11, pp.T277-T282 (1995).
- [15] 塚田浩二，安村通晃：Active Belt：触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構，情報処理学会論文誌，Vol.44, No.11, pp.2649-2658 (2003).
- [16] Cassinelli, A., Reynolds, C. and Ishikawa, M.: Augmenting spatial awareness with Haptic Radar, *International Symposium on Wearable Computers (ISWC)*, pp.11-14 (2006).

- [17] 大地 徹，柳田康幸：振動触覚ディスプレイによる接近物の方向知覚に関する検証，電子情報通信学会技術研究報告，MVE，マルチメディア・仮想環境基礎，Vol.112, No.221, pp.121-122 (2012).
- [18] クラリオン：シート振動で注意喚起 安全運転支援，日本経済新聞，入手先 [http://www.nikkei.com/article/DGXLASDZ02HXD\\_S6A300C1TJC000/](http://www.nikkei.com/article/DGXLASDZ02HXD_S6A300C1TJC000/) (参照 2017-08-28).
- [19] google map, 入手先 <https://www.google.co.jp/maps/> (参照 2016-12-30).



鈴木 彰真 (正会員)

1983 年生。2006 年創価大学工学部情報システム学科卒業。2011 年同大学大学院博士後期課程修了。博士 (工学)。2012 年創価大学工学部助教。2014 年岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師。スペクトル拡散超音波による測位システム，感性検索アプリケーション等の研究に従事。IEEE，計測自動制御学会各会員。



菱田 勇弥

2013 年岩手県立大学ソフトウェア情報学部入学。臀部シートによる触覚による周辺情報通知に関する研究に従事。2017 年 3 月岩手県立大学卒業。同年 4 月横河電子機器株式会社入社，現在に至る。



村田 嘉利 (正会員)

1979 年 3 月名古屋大学大学院電気工学専攻修了，同年 4 月 NTT 入社。2006 年 7 月岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授。博士 (工学) (静岡大学)。IEEE，電子情報通信学会，IT ヘルスカフェ学会各会員。自動車および交通システムの情報化，医療・健康管理の情報化を中心に研究開発。