Vol.2020-AAC-12 No.5
2020/3/13

振動シートによる聴覚障がい者に適した自動車運転支援の基礎検討

村山悠太[1,a)]　米山文雄[1,b)]　早川 武博[2,c)]　森田 祥一郎[2,d)]　白石 優旗[1,e)]

概要：近年の自動車には，車線逸脱や車両接近時などに発生する警告音や，カーナビゲーションシステムの音声案内など，音情報の活用による安全・快適な運転支援システムが導入されている．しかし，聴覚障がい者は音情報を得るのが難しく，これらの恩恵を得ることができない．そこで，我々は，音の代わりに振動を活用した運転支援方法の基礎検討を行う．今回，安全性と快適性のそれぞれについて「車線逸脱」と「カーナビゲーションの案内（以下，ナビ案内）」の 2 つを選定した．実験では，車載カメラによる映像，座席，ハンドルを用いて疑似運転環境を再現の上，車線逸脱時およびナビ案内で右左折箇所が近づいた際に，正しくそれらの事象を認識できたか（認識率）と認識にどれくらいの時間がかかったか（反応時間）について，振動発生器を内蔵した自動車の椅子（以下，振動シート）の振動の有無による差を調べた．結果，認識率については，車線逸脱，ナビ案内ともに，振動無しより振動有りの方が有意に高かった（$p < .05$, paired t-test）．また，振動シートを用いることで，約 20%の場合について，車線逸脱やナビ案内の見逃しを防ぐことができる可能性があることが明らかとなった．一方で，反応時間については，車線逸脱，ナビ案内ともに有意差はなかった（$p > .05$, Welch t-test）．振動によって事象を認識した場合は，視覚では見落としをしており，視覚による判断よりも反応時間が遅くなる可能性がある．しかし，振動の場合も視覚による判断と同程度の速さで反応できていることから，振動シートの有効性を確認できたと言える．

Basic Study on Driving Support for Hearing-impaired Persons by a Vibration Sheet

Murayama Yuta[1,a)]　Yoneyama Fumio[1,b)]　Hayakawa Takehiro[2,c)]　Morita Shoichiro[2,d)]
Shiraishi Yuhki[1,e)]

1. はじめに

2008 年に，重度の聴覚障がい者[*1]であっても運転免許の取得が可能になった [1]．その後も，聴覚障がい者が運転できる車種は拡大されている [2]．これにより，聴覚障がい者でも免許の取得が容易になっている．

一方で，車線逸脱や車両接近時については，インテリジェント LI（車線逸脱防止支援システム）[3] というシステムが開発されている．しかし，運転手に警告するために警告音，即ち音情報を用いている．車両が物体と接近した際に用いられるシステムの 1 つである車両接近通報装置 [4] も同様に，音情報を用いて警告している．つまり，安全面を考慮した運転支援システムの大半を音情報が占めており，聴覚障がい者には適さない．

カーナビゲーションシステム（以下，ナビ）についても，やはり音声による案内が活用されている．また，スマートフォンと連動して使用するナビ用アプリケーションも使用

1 筑波技術大学
Tsukuba University of Technology, 4-3-15 Amakubo, Tsukuba, Ibaraki 305–8520, Japan
2 クラリオン株式会社
Clarion Co., Ltd., 7-2 Shintoshin, Chuo-ku, Saitama-shi, Saitama, 330-0081, Japan
a) a171018@a.tsukuba-tech.ac.jp
b) yonefumi@a.tsukuba-tech.ac.jp
c) takehiro.hayakawa@faurecia.com
d) syoichiro.morita@faurecia.com
e) yuhkis@a.tsukuba-tech.ac.jp
*1 10 メートル離れた距離で 90 デシベル以上の音を聞くことが困難な者．

© 2020 Information Processing Society of Japan

される様になってきている．結果として，聴者は音情報を活用できる聴者はこれらの恩恵を得て運転をすることができるものの，聴覚障がい者は音情報を活用するのが困難となっており，未だにこれらの恩恵を得て運転ができていない状況にある．

一般に，聴覚障がい者は，運転中，健聴者と比較して常に前方に意識を向けなければならない．また，助手席の人と音声によるコミュニケーションが困難なため，手話を見るために横を向かなければならないときがある．その際に，車線逸脱やナビ画面が変化した等の情報に気づかないおそれがある．そこで，本研究では音の代わりに振動を活用した運転支援方法の基礎検討を行う．

これまでに，触覚情報を活用した運転支援システムの研究例 [5–7] はあるものの，聴覚障がい者を対象とした実験は実施されていない，あるいはまだ動作確認の段階である．すなわち「聴覚障がい者」に向けた，運転支援システムは実用に至っていない．そこで，今回は，振動シート [8] を予め準備し，実験協力者を「聴覚障がい者のみ」に絞って実験を実施する．

運転時に音情報が役に立つ局面として，大きく安全性と快適性の 2 つに分類できる．したがって，車載カメラによる映像，座席，ハンドルを用いて疑似運転環境を再現の上，安全性と快適性のそれぞれについて実験を行う．

触覚情報を利用した方法として，シートの隆起 [6] や，ハンドルの振動 [9]，プッシュ方式 [10] などが考えられる．しかし，シートの隆起を利用する方法の場合は，隆起する時間が長いと車線逸脱等，緊急性を要する場面において気づくのに遅れる．ハンドル振動方式の場合は，ハンドルを切る際に振動自体が邪魔になるという欠点を抱える．プッシュ方式は，運転中の場合触覚刺激としては弱い．したがって，本研究では，「安全性」において素早く気づくことができ，かつ「快適性」にも応用ができ，加えて運転時邪魔に感じないと期待ができる，シート座面の振動を用いる．

本論文では，安全性について，逸脱した場面で気づいたかどうかの認識率，および，車線逸脱に気づくまでの反応時間について，シートの振動の有無による差を調べる．快適性については，進行方向や距離といった，ナビ画面の情報を理解できたどうかの認識率，および，ナビ画面の情報を理解できるまでの反応時間について，シートの振動の有無による差を調べる（以下，これらの実験についてそれぞれ，「車線逸脱」，「ナビ案内」と呼ぶ）．

2. 関連研究

車線逸脱した時や，車が何かの物体と急接近した際にシートを動作させ，触覚情報を運転者に伝えることで，事故を防ぐという研究例はある [5–7]．

しかし，大桑ら [5] は，本研究と同様，シート座面が振動する振動シートを用い，車線逸脱について 20 才〜42 才の男女に対し複数の振動パターンを体験させ，それぞれ，反応時間に差があるかの実験を実施した．しかし，振動の有無についての比較は行っていない．さらに，実験協力者はすべて聴者であり，聴覚障がい者を対象としたものではなかった．

図 1 実験風景

二宮ら [7] は，先行車が通過した地点を，後続車が通過するまで 2 秒となる車間距離よりも近い場合に座席背面を振動させることで，視覚に頼らない安全確認システムの実装，動作確認を行なった．しかし，動作確認までで実験は実施しておらず，さらに聴覚障がい者が利用することを想定した研究内容ではなかった．

早川ら [6] は，自車と前面の車が接近した際に，シート下部が隆起することで，早めの減速を促すシステムを考案，設計した．しかし，設計までで，実験までは実施しておらず，更にシートが振動するのではなく，隆起することで運転手に情報を伝えるというものであった．

また，運転以外にも触覚情報を活用した情報保障方法が近年注目されるようになっている．

例えば，設楽ら [10] は，短距離走におけるスタート時の合図として発砲音の代わりに，指先に触覚情報を伝えるシステムの考案，実装，実験を行なった．しかし，本実験と刺激の方法が異なり手指の一部をプッシュする方式を採用しており，自動車の運転に適用するのは困難である．

原田ら [11] は，聴覚障がい者や高齢者のための音認識システムとして，音を機械に学習させることでひとつの機器であらゆる音に対してイベントを発生させる装置の開発を行った．しかし，今回の実験とは異なり，腕に装置を取り付け，振動させるというシステムになっている．そして，腕の部分が振動してしまうとハンドルを切る際に邪魔になることが想定される．また，左右の情報の伝達は困難である．

3. 実験環境

今回の実験環境を図 1 に示す．まず，運転席と助手席を配置し，前面に車載カメラで実際に撮影した運転中の映像を表示する．実験協力者が運転席，実験実施者が助手席に座って実験を実施した．

また，逸脱等に気づいているか，映像によって判断する

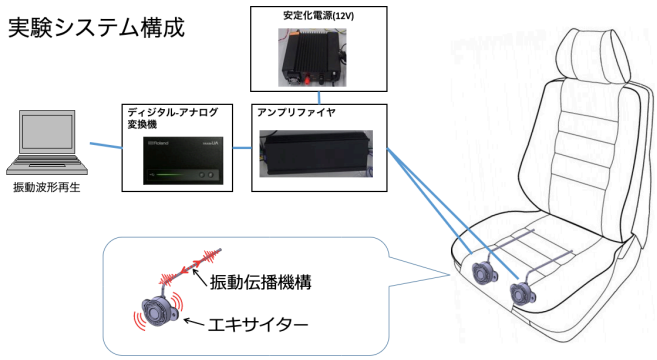

図 2　システムの全体像

図 3　車線逸脱

図 4　カーナビゲーションシステムの画面

ためにビデオカメラを，図 1 を撮影したのと同様の場所に配置し，後ろから実験協力者 (運転手) の実験の様子を記録した．

今回の実験で使用したシステムの全体像を図 2 に示す．図 2 に示すとおり，コンピューター上で振動波形を生成し，ディジタル-アナログ変換器 (Digital to Analog Converter) を用いてアナログ波形に変換する．その後，アンプリファイヤを通して，実際にシート座面を約 4 秒間，連続で振動させる機能を搭載した振動シートを使用した．アンプリファイヤを動かすための装置として，電圧 (12V) を供給する安定化電源を接続している．

4.　実験方法

運転免許を所持している聴覚障がい者 16 名（20 才～42 才）*2 を対象に振動シートによる実験を実施した．

安全性に関する実験として，車線逸脱している場面を含んだ高速道路を走っている映像を，画面上に表示し実験協力者に「車線逸脱したら両手を挙げる」よう指示した．

快適性に関する実験として，ナビの映像と一般道路を走っている映像を併用し，ナビの映像が変化し，かつ必要な情報（右左折地点に到着するまでの距離，および右左折方向）をすべて理解したら両手を挙げるよう指示した．

それぞれ，「ハンドルから手を離した瞬間」を基準として逸脱に気づいたか，ナビ画面の変化に気づいたかの認識率および反応時間を調べた．

特に，反応時間については実験の様子を映した映像において，ハンドルから手を離した瞬間を，認識した時間として見なし計測した．実験では手を挙げるように実験協力者にお願いしたが，ハンドルから手を離し，そのまま挙げきる時間が存在する．これだと誤差が生じてしまうため，手を離した瞬間を認識した時刻とみなした．

逸脱ポイントは，ビデオカメラの映像（図 3）を用いて，ハンドルと車線が交差する時を基準とした．これは，実際の実験状況として，実験協力者の視線中心に白線がある状態に対応する．この基準を元にして車線逸脱の反応時間，および認識率を調べた．

ナビ案内については，右左折地点から 350m 手前で案内画面が変化する（図 4）．したがって，その時刻から案内画面に気づくまでの反応時間，および認識率を調べた．また，右左折地点から 30m 手前になるとさらにナビ画面が拡大される．これに気づき，ハンドルを切ることができたかどうか，認識率を調べた．なお，右左折地点から 30m 手前については，ハンドルを回し始めた時刻を特定するのが困難であり，また，ハンドルを回しはじめるタイミングについては個人に依るものが大きく，快適性に関して必要な情報ではないため，反応時間については測定しなかった．

実際の運転環境を再現するために，運転映像上に，タイミングおよび場所ともにランダムで数字を表示した（図 5）．実験協力者には，数字が出た時に指文字で表すよう指示した．これは，実際の運転時と同様に，前面の運転映像に集中させるためである．数字が表示される間隔，場所はランダムで，数字が表示されている時間は約 1 秒間とした．運転環境を再現できたかを判断するために，数字の正答率（実験協力者が画面に表示されている数字を正しく答えられたか）を調べた．

さらに，実際に運転している際に前方への注意が逸れる場面を再現するため，実験中，ランダムで実験補助者が実験協力者に手話で話しかけた．

今回，すべての実験協力者に対して，車線逸脱は 2 回，

*2　運転頻度は，長期休みにのみ運転する人や毎日運転する人などまちまちである．ただし，少なくとも年に 1,2 回以上は運転している．

図 5 運転映像（数字がランダムで表示）

表 1 実験時間（一人あたり）

	実験 1	実験 2	実験 3	合計
車線逸脱	1 分 8 秒	1 分	—	2 分 8 秒
ナビ案内	1 分 24 秒	45 秒	1 分 10 秒	3 分 19 秒

表 2 正答率（数字）

平均正答率	標準偏差
0.92	0.06

ナビ案内は 3 回の実験を行った．それぞれの実験にかかった時間を表 1 に示す．

具体的な実験手順は以下の通りである．

(1) 実験協力者に対して，本実験の目的の説明
(2) 実験協力者と実験補助者が同乗し，実験内容（車線逸脱）の説明
(3) 車線逸脱実験の練習
(4) 車線逸脱について，本実験を実施
(5) 実験協力者に実験内容（ナビ案内）の説明
(6) 車線逸脱の時と同様に，ナビ案内実験の練習
(7) ナビ案内について，本実験を実施

なお，実験内容の説明の際に，車線逸脱実験では，逸脱したときに振動が起こる場合があることを述べた．ナビ案内実験の説明の際も同様に，右左折ポイントに近づいた時ナビ画面が拡大される．そのときに，振動が起こる場合があることを実験協力者に伝えた．

実験の終了後，車線逸脱とナビ案内のそれぞれについて，振動の有無により，認識率と反応時間に有意差があるか，検定を行った．

なお，本実験は筑波技術大学研究倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号：2019-29）．

5. 実験結果

最初に，実験協力者が提示した数字（指文字）の正答率を表 2 に示す．平均正答率が 90%を超えていることから，実験協力者は前画面の映像に集中しており，擬似運転環境を再現できたと判断する．

表 3 認識率（車線逸脱）

	平均認識率	標準偏差
振動有	0.94	0.14
振動無	0.73	0.29

表 4 認識率（ナビ案内）

	平均認識率	標準偏差
振動有	0.87	0.331
振動無	0.67	0.390

以下では，認識率と反応時間のそれぞれについて，実験結果を述べる．なお，ここで車線逸脱，ナビ案内ともに，振動有りで得られた反応時間および正答率を「振動有りデータ」，同様に振動無しで得られた反応時間および正答率を「振動無しデータ」として分類した．

5.1 認識率

実験により得られたデータを解析したところ，車線逸脱については，振動発生前に逸脱に気づいたケースがあった．これについては，振動がない状態で気づいた，即ち振動無しで気づいたと見なし，その状態で認識率を算出した．

一方，高速道路の車間距離は，最低でも 2 秒以上は必要とされている [12]．つまり，2 秒以上車線逸脱した状態が続くと自車前方の障害物の回避が困難になる恐れがある．そのため，気づいた，気づいていないに関わらず，車線逸脱時の反応時間が 2 秒以上であるものについては「気づいていない」と見なし認識率を算出した．

車線逸脱について，振動有りと振動無しのそれぞれに対して，一人当たりの認識率を求めた結果をまとめたものを表 3 に示す．振動有りと振動無しの認識率に対して対応のある t 検定を実施したところ，$p = 0.0188$ となり有意水準 5%で帰無仮説が棄却され，有意差があるといえた．

同様に，ナビ案内について，振動有りと振動無しのそれぞれに対して，一人当たりの認識率を求めた．その結果をまとめたものを表 4 に示す．振動有りと振動無しの認識率に対して対応のある t 検定を実施したところ，$p = 0.0212$ となり有意水準 5%で帰無仮説が棄却され有意差があると言えた．

5.2 反応時間

車線逸脱については，認識率と同様に，振動発生前に逸脱に気づいた場合は，振動無しで気づいたと見なして解析を行った．ナビ案内については，実験方法で述べた通り，右左折地点の 350m 手前でナビ画面が変化してからそれに気づくまでの時間についてのみ，調査した．

車線逸脱とナビ案内のそれぞれについて，振動有りと振動無しの場合の反応時間を調べた結果を表 5 と表 6 に示す．

認識率を用いた差の検定の時は，一人あたりの認識率を単位としたため対応があった．しかし，反応時間について

© 2020 Information Processing Society of Japan

表 5　反応時間（車線逸脱）

	平均（秒）	標準偏差（秒）
振動有	0.83	0.577
振動無	0.88	1.00

表 6　反応時間（ナビ案内）

	平均（秒）	標準偏差（秒）
振動有	2.96	2.19
振動無	4.70	4.42

は，一人あたりの平均反応時間にまとめるよりも，個々の計測データを直接用いて検定する方が望ましいと判断した．そのため両データとも，認識率の時とは異なり，対応がある検定手法を用いずに，以下の通り，対応がないデータの差の検定を行った．

まず，車線逸脱とナビ案内のそれぞれについて，振動有りと振動無しデータについて分散の差の検定を行った．結果，車線逸脱は $p = 0.0001$，ナビ案内は $p = 0.0037$．よって，ともに $p < 0.01$ となり で帰無仮説が棄却され分散に有意差があることが分かった．

次に，車線逸脱，ナビ案内ともに分散に有意差があるため，両者とも振動有り，振動無しの時の平均反応時間に対して Welch の検定を実施した．結果，車線逸脱については $p = 0.418$，ナビ案内については $p = 0.204$ となり，ともに $p > 0.05$ で帰無仮説が棄却されず有意差があるとは言えなかった．ただし，表 5，表 6 から分かる通り，両者ともに平均反応時間は振動有りの時の方が早いという結果が得られた．

6. 議論

振動有りデータは，以下の 2 種類に分類できる．

- 振動によって気づいた(振動が無ければ気づかなかった)
- 振動に関係なく気づいた

また，振動無しデータは「振動に関係なく気づいた」に分類できる．ここで，振動によって気づいた（振動が無ければ気づかなかった）データの存在は，振動の有無により認識率に有意差がある（振動有りの方が認識率が高い）ことから確認できる．

振動シートの効果は，振動によって気づいた（振動が無ければ気づかなかった）データの割合により評価できる．具体的には，車線逸脱について，振動によって気づいた (振動が無ければ気づかなかった) データは 21.4% あると推測される (98.3% - 76.9% = 21.4%)．同様に，ナビ案内について，振動によって気づいた (振動が無ければ気づかなかった) データは 20.3% あると推測される (87.0% - 66.7% = 20.3%)．以上により，振動シートを用いることで，約 20% の場合について，車線逸脱やナビ案内の見逃しを防ぐことができる可能性がある．

一方，

- 振動有りと振動無しの反応時間の差に有意差がない
- 振動有りの平均反応時間は振動無しの平均反応時間より短い

ことから，振動によって気づいた（振動が無ければ気づかなかった）ときの反応時間は，振動に関係なく気づいたときの反応時間と同程度であると考えられる．具体的には，平均反応時間はそれぞれ 0.83 秒，0.88 秒であり，差があまり見られなかった．ここで，振動によって気づいた場合は，視覚では見落としをしており，視覚による判断よりも反応時間が遅くなる可能性がある．しかし，振動による判断は，視覚による判断と同程度の速さで反応できていることから，振動シートの有効性を確認できたと言える．

今回の実験では，振動有りでも，車線逸脱やナビ案内に気づけない場合があった．理由としては，そもそも車線逸脱とナビ案内で振動の意図が異なる（車線逸脱は行動の抑止，ナビ案内は行動の促進）にも関わらず，完全に同じ種類の振動を与えたことが考えられる．したがって，振動の意図に応じて，振動の種類を変えることで認識率が上る可能性がある．

振動有りの場合の車線逸脱の認識率が 100%にならなかった理由として，実験中，「車線逸脱」ではなく「車線変更」と見なしてしまい，手をあげなかったことが考えられる．

7. まとめと今後の課題

本研究では，振動シートが聴覚障がい者に向けた運転支援手段として活用できるか検討し実験を行った．

結果として，認識率については車線逸脱とナビ案内共に有意差が見られた．議論により，振動シートを用いることで，約 20%の場合について，車線逸脱やナビ案内の見逃しを防ぐことができる可能性があることが明らかとなった．したがって，音情報の欠如による見逃しを，振動シートの使用によって防止する効果があると期待できる．

一方で，平均反応時間については振動有りの方が短いものの，振動有りと振動無しの間に有意差があるとは言えなかった．逆に言うと，議論により，振動によって気づいたときの反応時間は，振動に関係なく気づいたときの反応時間と同程度であったと判断できた．すなわち，振動によって気づいた場合は，視覚では見落としをしており，視覚による判断よりも反応時間が遅くなる可能性があるものの，視覚による判断と同程度の速さで反応できていることから，振動シートの有効性を確認できたと言える．

今後は，実験協力者が最も早く気づくことができる振動パターンの模索，および，状況に応じた振動の種類の切り替えについて検討する必要がある．また，今回の実験で用いたのと同種の振動シートを備えた実車を運転し，振動の効果を検討することを今後の課題としたい．

© 2020 Information Processing Society of Japan

参考文献

[1] 東京人権啓発企業連絡会：インフォーメーション（online），入手先 ⟨https://www.jinken-net.com/info/0806.html⟩ (2020.02.02).
[2] 静岡県警察：補聴器条件で運転できる自動車の種類の拡大等 (平成 28 年 4 月 1 日施行)（online），入手先 ⟨http://www.pref.shizuoka.jp/police/shinse/menkyo/chokaku.html⟩ (2020.02.02).
[3] X-TRAIL：インテリジェント LI（車線逸脱防止支援システム）について（online），入手先 ⟨https://www.nissan.co.jp/OPTIONAL-PARTS/NAVIOM/X-TRAIL_SPECIAL/1811/PG/guid-02cacdaf-6067-4bfa-9e6d-05b5852b2c08.html⟩(2020.02.03).
[4] NOTE e-POWER：車両接近通報装置について（online），入手先 ⟨https://www.nissan.co.jp/OPTIONAL-PARTS/NAVIOM/NOTE_SPECIAL/E-POWER/1611/PG/guid-4474c6cd-2f42-4bc1-a296-159aad75481d.html⟩ (2020.02.03).
[5] 大桑政幸，倉橋哲郎，藤枝延維，津田太司，服部彰：シート振動刺激による運転支援情報呈示法の検討，自動車技術会論文集，Vol.39，No.6，pp.59-64，2008.
[6] 早川将史，平岡敏洋，野崎敬太，川上浩司：安全運転評価結果に基づく触力覚情報提示による運転支援システム，人工知能学会全国大会論文集，Vol.28，pp.1-3，2014.
[7] 二宮佑太，柳田康幸：運転手背部に対する振動刺激による情報提示手法，電子情報通信学会東海支部平成 21 年度卒業研究発表会，pp.21，2010-3-9.
[8] 小俣拓也，豊田晃生，森田祥一郎，川島豪：振動発生器を内蔵した椅子の反応時間と因子分析結果，第 27 回環境工学総合シンポジウム 2017，pp.123-135，2017-7
[9] TOYODA GOSEI：「警告機能付きハンドル」を開発｜豊田合成，入手先 ⟨https://www.toyoda-gosei.co.jp/news/detail/?id=453⟩ (2020.02.03).
[10] Akihisa Shitara, Miki Namatame, Yuhki Shiraishi: Tactile Stimulus Start System Proposal for Deaf and Hard of Hearing Sprinters”, Proc. UD 2019, Bangkok, Thailand, 2019.
[11] 原田雄大，北園優希：聴覚障害者や高齢者のための音認識システムの開発，産業応用工学会全国大会 2018 講演論文集，pp.35-36，2018-9-13.
[12] 東京海上日動：走行中に車線逸脱をしないためには，入手先 ⟨https://www.tokiomarine-nichido.co.jp/world/guide/drive/201508.html⟩ (2020.02.03).

© 2020 Information Processing Society of Japan