

令和 2 年 7 月 10 日現在

機関番号：21201
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2016～2019
 課題番号：16K00276
 研究課題名(和文)ユニバーサル移動体操縦インタフェースの研究

研究課題名(英文)Study of universal driving interface

研究代表者

村田 嘉利 (Murata, Yoshitoshi)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・教授

研究者番号：80444925

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：障がい者にとって移動手段を確保することは自立に重要である。ユニバーサルドライビングインタフェースの研究を行った。実験用電気自動車だけでなく、普通自動車をアングルセンサやロードセルで制御可能とした。指や手首、足でセンサを操作することで、手によるハンドル操作に近い操縦性能が得られることを確認した。自動車は、視覚や聴覚による周辺通知を行っている。これらは、他の注視対象や環境音との競合する可能性がある。そこで、直感的で他の情報と競合しない手法として、触覚による通知を提案し、シート内の振動子で周囲の方角や危険度、種別を高精度で通知できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、上肢障がい者が自動車を運転するためには機械的な改造が必要であり、車両本体と同程度の改造費が必要である。本操縦装置と全自動運転技術を組み合わせることで、Car Area Network (CAN)にセンサを接続するだけで車両本体を改造することなく、自由に動く関節に取り付けたセンサ内蔵操縦装置を使って自動車を操縦可能となる。障がい内容に柔軟に対応でき、改造費もほとんどかからない。さらに、開発した振動による障害物認識により、より直感的で正確なドライバーへの通知が可能となり、事故回避の可能性が向上する。安全運転機能搭載車両に適用した場合には、事故回避時に発生する衝撃への事前対応が可能となる。

研究成果の概要(英文)：Disabled people generally want to stand on their own two feet, and achieving mobility is an important step in satisfying that desire. We have developed universal driving interface.

A steering-operation unit in which an angle sensor or load cell is mounted for disabled people was developed. Experimental results using an electric vehicle or standard car fitted with the developed steering operation unit show that disabled people can drive the car with their foot in a manner close to that achieved with a steering wheel.

We investigated haptic notification system for car driving support with intuitiveness by using a driving seat with vibration. Notifications by sound alarms or visual monitors make us confuse due to many visual targets such as mirror or monitors and environmental sounds, therefore we propose a notification system by haptic sense using seat actuators. The results indicate high potential for notifying obstacles at the blind spot to drivers by using buttocks haptic sensation.

研究分野：センサ応用、医療情報

キーワード：ユニバーサルインタフェース 事故防止 自動車運転 上下肢障害 加圧センサ 障害物検出 体感振動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

障がい者の多くが自立したいと考えており、移動手段の確保は自立のために非常に重要である。更に、単に移動するだけでなく、自分で運転したいと考えている障がい者も多い。

上肢障がい者の場合、手でハンドル操作できないため、足で自動車を運転できるように自動車を改造する必要がある。そのための機器は機械的構造になっていることから、改造に手間がかかり、機器本体の価格と改造費が車両本体と同程度になると言われている。更に機械的構造であることから、障がいレベルの進行によって設定を変更する必要がある。筋力低下によりハンドル操作が困難になっているお年寄りにとっても現在のハンドルによる操作がベストとは言えない。

運転に必要な情報のほとんどが視覚情報であることから、車線変更の際などは大きく後ろを振り返る必要がある。これは障がい者やお年寄りにとって大変な作業といえる。レーザ等で検知した自転車周囲の状況をドアミラーに取り付けた LED 等で知らせる技術があるが、見逃す可能性がある。それ以外にも、安全運転技術の進化によりセンサが察知した危険情報をドライバに伝えるようになっているが、音声アラームであることから危険種別や方向の判別が難しいという問題がある。

これらの問題を解決し、障がい者やお年寄りが安全かつ自分の意思で運転可能やユニバーサルドライビングインタフェースを開発する。

2. 研究の目的

本研究では、大きく、以下の2つを実現する。

・運転操作：本研究までの段階で、角度センサを指、手首、足首に取り付け、その関節角度をハンドルの切れ角に対応させた実験用電気自動車を作成し、操作性の評価を行った。その結果、普通の道路を安定して走行できるようにセッティングした場合、交差点の右左折やヘアピンカーブを走行するのが困難であった。それ故、センサを利用してパワーステアリングモータを制御可能なように改造した普通自動車を利用し、交差点やヘアピンカーブを含めて操作性に優れた操縦インタフェースを開発する。

・障害物認識：自転車周辺の障害物の位置をお尻や背中を刺激して知らせる技術については、複数の障害物の方向と距離を認識できる技術の確立を目指す。刺激を与える方法としては、アクチュエータやスピーカによる振動刺激を想定しており、適した振動方法を明らかにする。また、マルチメディアアラートとして、既存の視聴覚によるシステムと提案システムの組み合わせにより、運転者が実車両の運転時に方向や強度に加え、種別をより高精度に認識し、判断する機構を開発する。さらに、振動による情報を既存の通知を加えることによって運転者にとって妨げとなるのか評価する。

3. 研究の方法

3.1 運転操作

パワーステアリングモータの外部インタフェースが分かっている日産自動車のマーチをベースに、センサによりステアリング制御可能な実験車両を製作した。パワーステアリングモータからは5本の線が出ている。実測した結果、

緑線；	黄線；
中立：2.45 V	中立：2.59 V
左回転：1.41 V	左回転：4.15 V
右回転：4.12 V	右回転：1.36 V

と変化しており、故障対応と思われるが、2系統で制御していることが分かった。この2本の線は、ハンドルに加わる力の大きさを計測するトルクセンサに繋がっている。他の線には、ほとんど電圧変動は見られなかった。図1に示すように、センサ(ロードセル)からの出力電圧を制御ボード Arduino で電圧変換して、ステアリング Assy 内のトルクセンサに割り込んで、緑線と

黄線に与えるようにした。

本車両には、安全に実験するため、走行速度をアクセルペダルではなくダイヤルで設定可能とすると共に、助手席からもブレーキ操作可能とした。それまでの研究で、左旋回と右旋回のためのアクションは直感的に実行できる必要があるので、ロードセルは左旋回用と右旋回用の2つを左右に並べ、図2に示すように床に固定した。

パワーステアリングの場合、モータに印加する電圧に対してハンドルの角度が対応するのではなく、ハンドルの回転速度が対応する。ロードセルの値(踏力)とハンドルの関係として、以下の2つを用意し、評価した。

- (1) 連続方式：圧力の大きさとハンドルの回転速度が比例関係である方式
- (2) 段階方式：ステアリングの回転速度を左右3段階 + ニュートラル位置1段階の計7段階で制御する方式

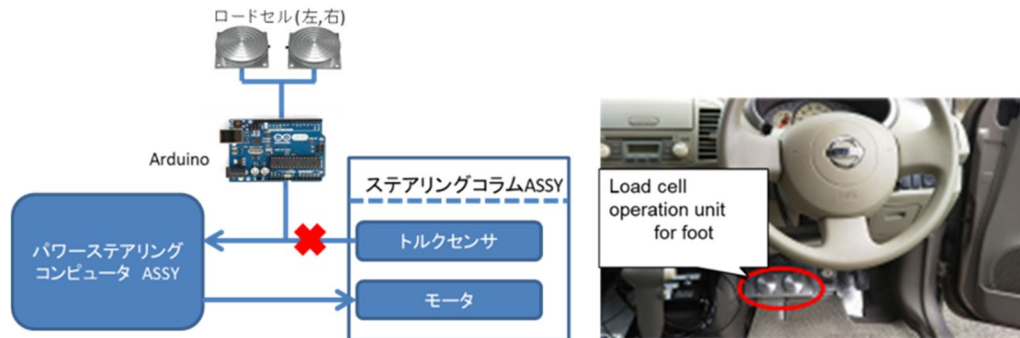


図1. パワーステアリングモータとロードセルの接続 図2. ロードセルの設置場所

3.2 障害物認識

提案システムのアクチュエータは、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、当初は市販のシートマッサージクッションを参考に、座面に振動アクチュエータを採用していた。その後、多彩な振動表現が可能なアクチュエータとして、フォスター電機株式会社製の振動アクチュエータ(ACHOSTIC HAPTIC Actuator)を採用した。図3に、シートへのアクチュエータの埋め込み位置を示す。5つのアクチュエータはそれぞれ臀部の左、右、左後、右後、後の5箇所に接するように埋め込まれている。それぞれのアクチュエータが自動車の周囲の通知対象の方角に対応して振動する。それぞれのアクチュエータは、図4に示す波形を振動させる。自動車の周囲通知対象の種別として、本システムでは歩行者、バイク、自動車を通知する。図4にはそれぞれの種別ごとのエンジン音や歩行における足音をもとに作成した振動波形を示している。それぞれのアクチュエータの強度については、弱、中、強の三段階とし、強を最大音圧とし、中を強の-8dB、弱を強の-16dBで振動させる。ただし、中については-5dBの場合も検討している。

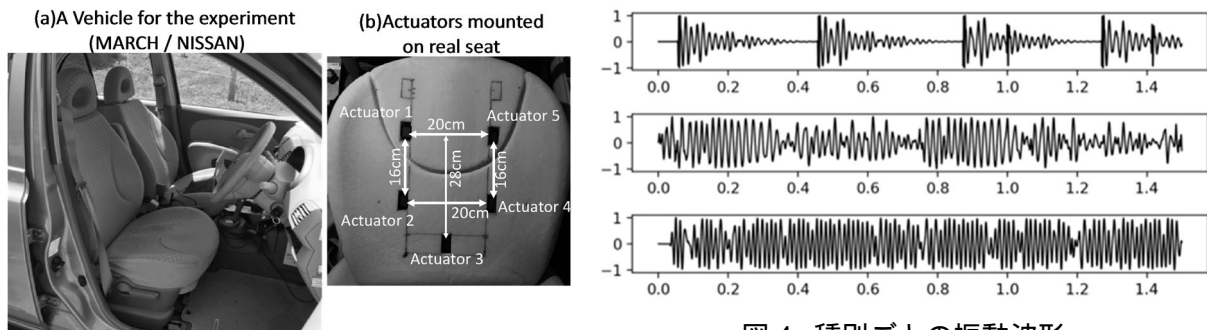


図3. 振動アクチュエータのシート埋め込み位置

図4. 種別ごとの振動波形
(上から歩行者、バイク、車)

4. 研究成果

4.1 運転操作

ロードセルを用いた自動車操縦インタフェースの操縦性能を評価するため、図5に示す岩手県立大学内の直線コース、周回コース、および右左折のコースで評価実験を行った。道路幅は

2.6m である。図 6 に示すように車両にビデオカメラを取り付け、車体とセンターラインとの距離を測定することで標準偏差を算出し、ふらつきの評価値とした。



図 5 . テストコース



図 6 . 計測用カメラの取り付け位置

実験の流れとしては、各方式で 2 回練習を行った後にふらつきを計測した。被験者にステアリング操作に集中してもらうため、走行時の速度を 20km/h に固定し、ブレーキの操作は助手席に乗った補助者が行うこととした。パワーステアリングモータに印加する電圧の制御方式である連続方式と段階方式の順序は被験者によって入れ替え、習熟の度合いに差が生まれないようにした。比較参照のため、通常のハンドルによる走行においてもふらつきを測定した。被検者数は、直線コースで 5 名、周回コースで 6 名である。被験者は、いずれも普通自動車運転免許を取得している健全な学生である。

各被験者のふらつきの平均を表 1 に示す。直線コース、周回コースともに段階方式の方が連続方式よりも少しふらつきが少ない結果となった。被験者の感想としては、方式によって好みにばらつきはあった。しかし、直線コース、周回コースともに段階方式よりも連続方式の精度が良かったものが 1 名しかおらず、短時間での練習では段階方式の方が習熟しやすいという結果になった。段階方式は、ハンドルと比較して差が 1.5 cm 程度とあまり差がでなかった。多くの被験者が練習を重ねるにつれて本運転方式に対する違和感がなくなっていったと報告しており、時間をかければより操作性が向上するものと思われる。

表 1 . 直線コースと周回コースにおける操縦性能

コース	インタフェース	平均走行時間 [mm:ss]	センターラインとの 平均距離[cm]	ふらつき [cm]
直線	ハンドル	00:22	56.0	3.7
	段階方式	00:26	59.3	5.0
	連続方式	00:22	65.5	6.2
周回	ハンドル	03:16	67.9	8.7
	段階方式	03:40	72.0	10.2
	連続方式	03:38	71.5	10.6

4 . 2 障害物認識

まず、山道、大通り、市街地の各道路において、任意の方角にあるアクチュエータに小、中、大のどれかの強度で振動を与え、5 人の被験者に対してその強度と方角を回答してもらった。図 7 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。本実験では、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する。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、次の試行を行う。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

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。

次に、種別の正答率について評価した。図4に示す3種の振動を最大の振動強度で振動させた。5回ずつ計20回ランダムに提示し、種別のみを回答させる実験を15人に対して実施した。図8にそれぞれの正答率の推移を示す。図8は、1~5回目の提示における15人の正答率の平均を、人、バイク自動車の各種別で示している。図8に示すように、学習を積み重ねることで高い正答率になった。5回目の正答率は9割を超え、図4に示す3種であれば種別の判別が可能であることが示された。

さらなる正答率の向上をめざし、振動波形の種別ごとの誇張表現や各臀部部位で知覚する振動の感覚をベースにした振動強度の正規化を行った。図9は、正規化しない場合の正答率、中強度:-8dBとした正規化を適用した正答率、中強度:-5dBとした正規化を適用した正答率をそれぞれ示している。実験はすべての種別や方向で実施しており、図9は強度ごとの正答率をまとめている。また、折れ線グラフは三つの強度の平均を表している。実験の結果、誇張表現による振動波形を利用し、中強度:-8dBとして正規化した場合、強度の正答率が向上した。

さらに、音や画像といった従来の通知方法と提案手法を組み合わせた評価も行った。画像と音と振動の3つを組み合わせた通知の評価は8名中5名が画像と音と振動、全てあったほうが判断しやすいと回答した。さらに、運転時には8名中7名が既存の通知と振動があっても運転の支障にはならないと回答した。画像や音声による通知に対して、振動通知を付加することで、方角・危険度・種別ともに100%の正答率で判断できた。そのため、既存の音や画面による通知に振動による通知を付加しても運転の支障にならず、より効果的に周囲の情報が通知できることが示唆された。

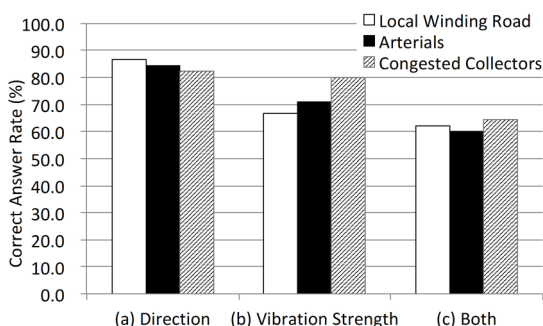


図7. 山道、大通り、市街地における、方角と危険度の通知正答率

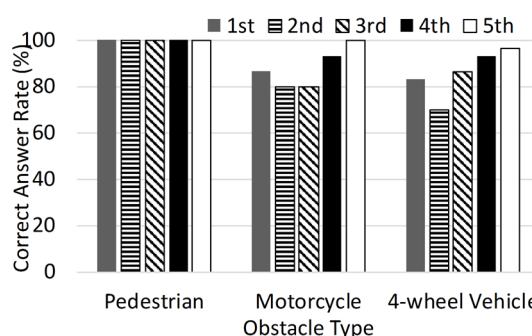


図8. 歩行者、バイク、自動車の種別の正答率

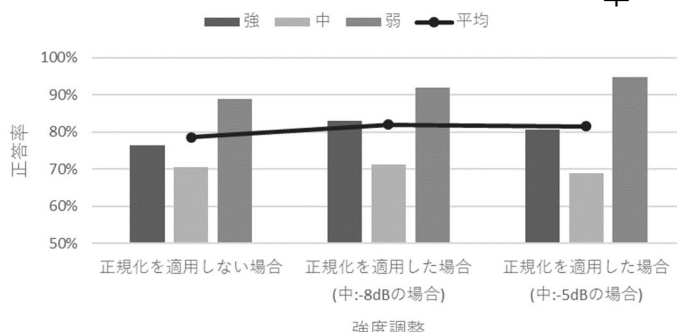


図9. 各種別の正規化による強度正答率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 鈴木彰真, 菱田勇弥, 村田嘉利	4. 巻 Vol.8 No.1
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会 コンシューマ・デバイス&システム トランザクション	6. 最初と最後の頁 pp. 39-47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Yoshitoshi Murata, Yuto Higuchi, Takaya Abe
2. 発表標題 Car-driving Interface with Load Cells for Upper-extremity-disabled People
3. 学会等名 IARIA, VEHICULAR 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshitoshi Murata
2. 発表標題 Proposal of Traffic Database Management System
3. 学会等名 IARIA, VEHICULAR 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Suzuki, Yoshitoshi Murata, Shoma Fujimura
2. 発表標題 Robustness Against Hazard Notifications Around a Vehicle Using Seat Actuators
3. 学会等名 IARIA, VEHICULAR 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀江 郁, 鈴木彰真, 村田嘉利, 佐藤永欣
2. 発表標題 誇張表現された振動を用いた自動車周囲情報通知システムにおける実車両に基づく正規強度による精度向上
3. 学会等名 第82回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 乙部 悟, 鈴木彰真, 村田嘉利, 佐藤永欣
2. 発表標題 実車両を用いたマルチメディアアラートシステムの提案
3. 学会等名 第82回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshitoshi Murata, Yuto Higuchi , Takaya Abe
2. 発表標題 Car-driving Operation Unit with Load Cells for Physical Disabled People
3. 学会等名 26th ITS World Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Suzuki
2. 発表標題 Notification of Hazards Around a Vehicle Using Seat Actuators
3. 学会等名 ITS World Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤村 祥真
2. 発表標題 臀部振動を用いた自動車周辺通知におけるシート素材による認識差
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内湧太
2. 発表標題 自動二輪車における頭部触覚を用いた周囲情報通知手法の提案
3. 学会等名 第81回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 征徳, 鈴木 彰真, 村田 嘉利, 佐藤 永欣
2. 発表標題 臀部触覚を用いた自動車周囲通知システムにおける種別通知
3. 学会等名 第80回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樋口 悠人, 村田 嘉利, 鈴木 彰真, 佐藤 永欣
2. 発表標題 踏力を利用した自動車操縦インタフェースの提案
3. 学会等名 第80回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木彰真, 佐藤永欣, 村田嘉利
2. 発表標題 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通知
3. 学会等名 情報処理学会 DICO MO 2017
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 菱田勇弥, 鈴木彰真, 村田喜利, 佐藤永欣
2. 発表標題 ートの振動を用いた自動車の周辺通知システムにおける実用性評価
3. 学会等名 第79回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阿部貴也, 村田嘉利, 佐藤永欣, 鈴木彰真
2. 発表標題 ユニバーサルドライビングインタフェースの提案
3. 学会等名 第79回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 操舵支援システム	発明者 村田嘉利	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-109561	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	鈴木 彰真 (Suzuki Akimasa) (10609423)	岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・講師 (21201)	