

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：21201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330237

研究課題名(和文) 障がい内容に柔軟な自動車操縦インタフェースの開発

研究課題名(英文) Development of Flexible Automobile Driving Interface for Disabled People

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：障害者の自立のためには自分で自動車を運転することが重要である。障害者が自動車を運転する方法としては、補助装置を市販車両に取り付ける方法が一般的であるが、障害者個々にカスタマイズする必要があり、車両の改造に多大な費用がかかる。全自動運転車の実現により障害者の要望が満足されるように思われるが、障害者の多くは自分で運転したいのであり、目的地に行くことだけを望んでいない。それに対し、本研究成果は、角度センサを利用した操縦装置を自由に動かせる身体の一部に取り付けて操作することで、身体への取り付け治具を除き共通化出来ることから、安価で障害内容に柔軟に対応可能としながら自分で運転するという要望を実現した。

研究成果の概要(英文)：Many disabled people want to stand on their own two feet, and achieving mobility is an important step in doing this. One way for them to enhance mobility is by driving automobiles to which mechanical driving-assistance devices have been attached. Mechanical devices have to be customized for users. Hence, they are inherently expensive. Autonomous cars have been developed, would solve their demand. However, they want to drive an automobile by themselves, do not want an autonomous car. We develop a driving interface that uses an angle sensor. This sensor is attached to a body part that a disabled people can control. Since other parts except this attachment unit are commonly used, this driving interface is flexible for kinds of disable; and leads them to drive an automobile by themselves. We evaluate it by an actual electric vehicle. As the result of evaluation, most participants achieved steering control that is closer to that with a steering wheel on roads that have not acute corners.

研究分野：センサデータベース

キーワード：障がい者 自動車操縦 曲げセンサ 角度センサ ジェスチャ操作

1. 研究開始当初の背景

多くの障がい者が自立を望んでいる。行動範囲を広げることも含めて、自分で自動車を運転することが自立に有効である。障がい者が自動車を運転する方法としては、障がい内容に応じた補助装置を取り付ける方法が一般的である。既存の補助装置は機械的な機構となっていることから、障がい者個々に対してカスタマイズする必要がある。そのため多くの場合、車両の改造に多大な費用がかかる。また、残念ながら、新たな補助装置の開発はほとんど行われていない。

以上述べたように、既存の機械式の補助装置は障がい内容によって異なる。補助装置によっては取り付け位置や高さ、ばね強度、感応度を個々の障がい者にカスタマイズする必要があり、障がい内容に柔軟に対応できているとは言い難い。

近年、大手 IT 企業である Google 社や大手自動車メーカーが全自動運転車の開発を積極的に進めている。全自動運転車は、障がい内容に関係なく、目的の場所まで障がい者を運ぶことはできる。しかしながら、多くの障がい者が自分で自動車を運転したいと考えており、全自動運転車はこの要望を解決できない。

2. 研究の目的

本研究では、障がい内容に柔軟に対応できる自動車操縦インタフェースを開発する。本操縦インタフェースは、操縦装置（角度センサ）を障がい者が自由に動かせる身体の部位（指、手首、足首等）あるいはその部位で操作できる位置に取り付けるだけである。操作部位に取り付ける操縦装置は取り付けられる身体の部位に応じて変更する必要があるが、それ以外は共通であることから、障がい内容に応じて柔軟に対応可能となっている。更に、角度センサの制御は運転者自身が行うことから、障がい者が自分で運転したいという要望も満足している。

3. 研究の方法

当初は、実験室内で取扱い易いジャイロセンサと自作のドライビングシミュレータを利用した。身体が多様な部位（指、手首、腕、足首）にセンサを取り付け、ハンドルに比べて大幅に少ない可動範囲で自動車を運転する方法を考案しつつ、安全に自動車を運転できることを確認した。

その結果を基に、ステアリング、アクセルおよびブレーキをコンピュータで操縦可能な電気自動車を制作し、センサも外部の動きに影響を受けない角度センサを 3 種類（Spectra Symbol の Flex Sensor、電磁材料研究所の Cr-N 歪センサ、東洋測器株式会社の TMI-160）入手し、操縦性能の評価を行った。

図 1 に示すように、前述の角度センサを指と足首に装着する。センサ出力は、図 2 に示

すように制御ボード Arduino を経由して電気自動車 PIUS のステアリングを制御した。Arduino には、ドライビングシミュレータとジャイロセンサを使った評価で明らかにした、センサ角度をステアリング角度に変換する数式を反映したプログラムを搭載した。



図 1. 角度センサ TMI-160 の取り付け形態

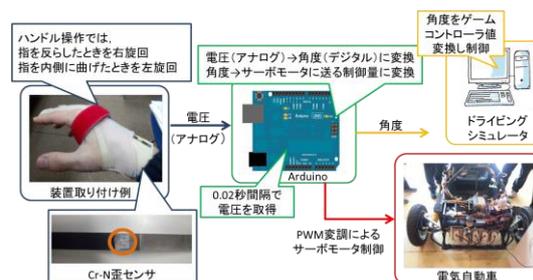


図 2. 角度センサによる操縦装置構成

走行コースは、図 2 に示す、岩手県立大学内の周回コース、直線コースおよび直線コース脇の駐車場に設けた正方形コースの 3 つを利用した。総合的な運動特性は周回コース、直進走行特性は直線コース、急角度の旋回特性は正方形を使って評価した。



図 2. テストコース

走行性能は、図 3 に示すように自動車の右前輪上にビデオカメラを取り付け、センターラインから右前輪の距離を測定し、センターラインからの平均距離とふらつき（標準偏差）を用いた。

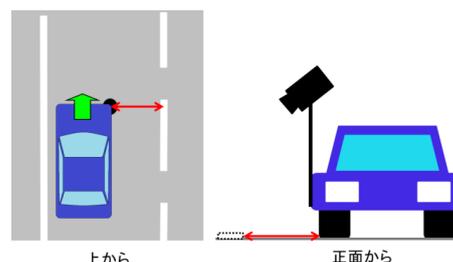


図 3. 実験車両でのふらつきの測定方法

4. 研究成果

(1) ステアリング操作に適した身体部位の動き

左右旋回に適した指や腕、足首といった身体部位の動きについてアンケート調査を29名に対して行った。その結果を表1に示す。指や手首の動きが上下になる場合は、両者に大きな差は見られない。それに対し、親指を上にする、ほとんどの人が同じ動きを選択した、これは、部位の動きが左右をイメージできるようになるためと考えられる。

表1. 左右旋回に適した身体部位の動き

Left hand		Turn to right	Right hand		Turn to right
Finger	Up	15	Finger	Up	18
	Down	14		Down	11
Finger	Right	26	Finger	Forward (Right)	27
	Forward (Left)	3		Left	2
Wrist	Up	16	Wrist	Up	16
	Down	13		Down	13
Wrist	Right	24	Wrist	Right	27
	Left	5		Left	2
Lower arm	Forward	11	Lower arm	Forward	21
	Backward	18		Backward	8
Lower arm	Right	25	Lower arm	Right	28
	Left	4		Left	1
Upper arm	Forward	17	Upper arm	Forward	14
	Backward	12		Backward	15

(2) 角度センサの切れ角とハンドルの切れ角の関係

ハンドルはロックツーロックが2回転、720度以上あるのに対し、身体部位の動きでは最大でも90度程度である。角度センサの切れ角とハンドルの切れ角の関係を1:1にした場合、角度センサが少し曲がっただけでも、ハンドルは大きく切れてしまう。これを避けるために、ニュートラル付近では角度センサが少し曲がってもハンドルはほとんど動かない一方、角度センサを大きく曲げた時はハンドルが大きく曲がるように制御した方が運転しやすいと考えられる。このような操作特性を実現するため、我々は「非線形制御」と「半自動制御」を導入した。図4を利用して説明する。直接操作角度内では、角度センサの切れ角とハンドルの切れ角の関係を非線形とする。角度センサの切れ角が直接操作角度を越えると自動的にハンドルの切れ角が増加するようにする。具体的には、角度センサの角度 S とハンドルの切れ角 y の関係を式(1)とする。ここで、ハンドルの最大切れ角を a 、センサの切れ角とその最大切れ角を S および S_{max} とする。 $x=S/S_{max}$ の乗数 n を1から4まで変化させ、前述のドライビングシミュレータを利用して操縦性能を評価した。なお、 $n=1$ の時は角度センサの切れ角とハンドルの切れ角が線形の関係になる。

$$y = ax^{\hat{n}} \quad (1)$$

センサは左足の甲の上につけ、左右に回転させた。被験者は障がいのない5名である。その結果、図5(1)に示すように、脱輪率は、練習開始当初は角度センサの切れ角とハンドルの切れ角の関係が線形の方が運転し易いが、周回回数が増えるに従い、 $n=3$ の時間が最も低くなっており、安定して走行していることが分かった。ふらつきについては、違いは見られない。半自動制御については、通常走行時では非常に操作が難しいことが分かった。そのため、车速が遅く大きなハンドルの切れ角が必要となる車庫入れや縦列駐車といった限定された領域でのみ適用すべきことが分かった。ハンドルの切れ角が ± 180 度以内で通常走行可能と考え、最大直接操作角度を ± 180 度ハンドル切れ角に対応付けた。

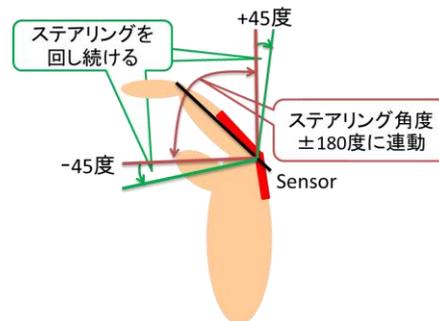
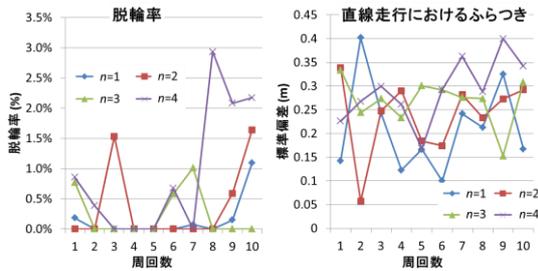


図4. ハンドル制御方法



(1) 脱輪率 RLD (2) ふらつき SDDG

図5. センサの切れ角とハンドルの切れ角の関係を変えた時の操縦特性

(3) 角度センサの評価

Spectra Symbol の Flex Sensor, 電磁材料研究所の Cr-N 歪センサ, 東洋測器株式会社の TMI-160 の 3 種類の角度センサを指に取り付け, ドライビングシミュレータを利用して評価した.

前述の 3 種類のセンサは曲げ角度に対して抵抗値が変化するタイプであることから, 電圧に変換した上で制御ボード Arduino を使って, ドライビングシミュレータ上の自動車や電気自動車を制御するようにした. 各センサ共に大なり小なり出力電圧にバラツキがあることから, 各センサをニュートラルポジションにした時に角度換算してどのようなバラツキがあるかを計測した結果を図 6 に示す. サンプル数は 100 である. また, センサの曲げ角度に対する出力電圧の関係を図 7 に示す. ここで, Flex Sensor は出力のバラツキが大きいことから, センサ角度に対する電圧は, 10 msec. でサンプリングした 100 個の平均値である.

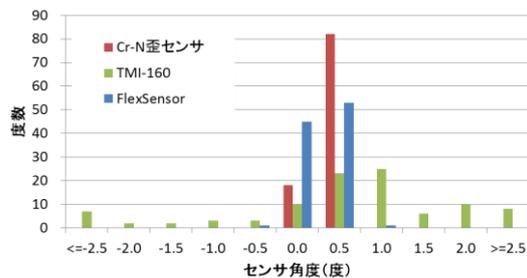


図6. センサ出力のばらつき

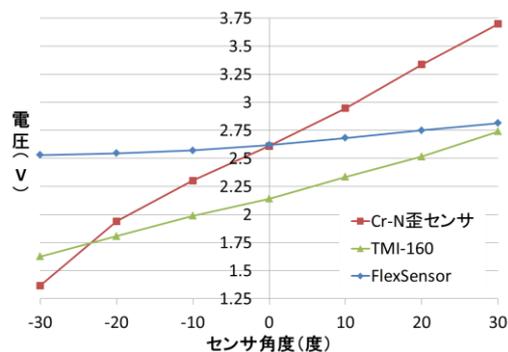


図7. センサ角度に対する出力電圧の比較

指によってハンドル操作する時の直接操作角度を ± 45 度とし, 直接操作角度内で操作できるハンドル角度を ± 180 度とした. 加えて, 関節可動域の中間を自動車が進むニュートラル位置とした. 親指を上にして, 指を左右に曲げることでハンドル操作する. ドライビングシミュレータ上で操縦性能を評価した. その結果を図 8 に示す. 被験者数はそれぞれのセンサで 5 名である. 全被験者に障がいは無い. 脱輪率および直線走行時のふらつきの測定結果を表 2 に示す. ふらつきは 3 つのセンサ間で違いが無いが, 脱輪率は, 時計回りは Cr-N 歪センサ, 反時計回りは TMI-160 が最も良いという結果となった.

Flex Sensor は出力のバラツキの多さに加えて, 実験している中で温度特性にも問題があることが明らかとなった. さらに操縦性能が他の 2 つに比べて劣っている. センサ出力の安定性では TMI-160 にバラツキが多かったが, 操縦性能としては Cr-N 歪センサと同等であった. 今回は, Cr-N 歪センサチップを取り付けた治具を身体各部位に作成することは大変であることから, 電気自動車を利用した操作部位別の操縦性能評価は TMI-160 を使用することとした.

表2. 角度センサ別操縦性能

	センサ	平均速度 [km/h]	ふらつき [m]	脱輪率 [%]
時計回り	TMI-160	33.8	0.25	4.12%
	Cr-N歪センサ	36.7	0.26	2.47%
	Flex Sensor	34.5	0.29	9.17%
	ハンドル	42.3	0.19	0.00%
反時計回り	TMI-160	32.6	0.26	0.91%
	Cr-N歪センサ	37.4	0.29	2.41%
	Flex Sensor	34.3	0.28	10.25%
	ハンドル	38.3	0.15	0.02%

(4) 走行実験結果

図 2 の直線コースを利用した直進走行性能, 周回コースを利用した急角度の右左折の無い道路での操縦性能, 正方形コースを利用した右左折走行性能を評価した.

① 直線コースおよび周回コースの操縦性能
被験者は障がいの無い 5 名で, 直線コースおよび周回コースを走行した時のセンターラインと右側フロントタイヤとの平均距離とふらつきを計測した結果を表 3 に示す. 直線コース, 周回コース共にハンドルでの走行時に比べて角度センサを利用した場合, センターラインに近いコースを走行する傾向があるが, 操作部位による違いはほとんど無い. ふらつきについては, ハンドルでの走行

に比べて、センサによる走行の方が若干大きく、蛇行しやすい傾向にあることが分かる。センターラインからの距離と同じく操作部位による違いは見られない。但し、足首での操作では、5名中1名が直線コースで脱輪しており、中指および手首に較べると左右の動きをイメージすることが難しいと考えられる。なお、それ以外では誰も脱輪していない。ほとんどの被験者が、数字上だけでなく操作感としても、急角度の旋回が無い道路であれば、ハンドルほどの安定感は無いが、十分に運転可能と感じていた。

表3. 周回コースと直線コースにおける操縦性能

コース	身体部位	走行時間 [分:秒]	センターラインとの平均距離 [cm]	ふらつき [cm]
直線	中指	0:58	53.3	6.6
	手首	1:03	56.2	7.0
	足首	1:04	55.8	6.2*
周回	ハンドル	0:59	54.0	6.1
	中指	6:12	56.3	8.2
	手首	6:22	56.5	10.0
周回	足首	7:03	53.3	9.4
	ハンドル	6:17	55.3	7.0

*:1名は車線アウトしたため、計測できていない。

② 右左折時の操縦性能

続いて、図8の正方形コースを利用して左右に旋回する時の操縦性能を評価した。被験者は障がいの無い者3名である。時計回りと反時計回りの走行をすることで、右旋回性能と左旋回性能を測定した。前節で述べた様に、右左折後に走行車線を維持できたか否かで評価した。周回数は、時計回りで3周、反時計回りで3周とした。それぞれで12箇所のコーナを曲がる。その結果を表4に示す。周回コースと異なり、90度のコーナを回った後、ほとんど外側に膨らみコースを外れてしまった。とりわけ足首での運転が難しかった。角度センサの最大角度とそれに対応したハンドルの最大切れ角を見直すことによる操縦性能の向上については今後の課題である。

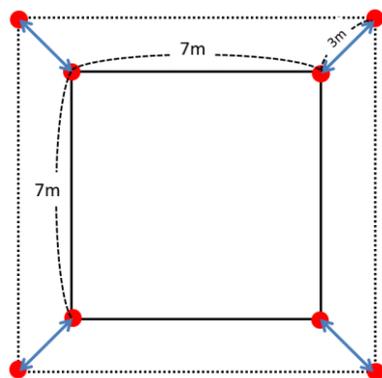


図8. 右左折のテストコース

表4. 右左折の操縦性能評価

操作手法	時計回り				反時計回り				
	A	B	C	平均	A	B	C	平均	
脱輪回数	ハンドル	0	0	0	0	2	1	1	1
	指	7	4	6	6	8	3	4	5
	手首	9	7	5	7	9	6	3	6
	足首	12	9	10	10	11	8	9	9
脱輪率	ハンドル	0%	0%	0%	0%	17%	8%	8%	11%
	指	58%	33%	50%	47%	67%	25%	33%	42%
	手首	75%	58%	42%	58%	75%	50%	25%	50%
	足首	100%	75%	83%	86%	92%	67%	75%	78%

③ 障がい者による評価

本研究は障がい者支援を目的として行っている。そのため、サリドマイド福祉センター「いしずえ」常務理事で、上肢に障がいのある増山氏を招いて走行評価を行った。増山氏は、日常的にフランチシステムを用いて自動車を運転している。今回、センサを図9のようにジョイスティックのようにセンサを手で左右に倒すことで操作する場合と足首で操作する場合の2つについて評価した。走行コースは周回コースである。



図9. ジョイスティックタイプの操縦装置

実験結果を表5に示す。ふらつきについては、表2に示す健常者がハンドルで周回走行した時の結果と増山氏がスティックタイプの装置で走行した時の結果がほぼ同じである。更に、足首での操作はハンドル操作よりも良い結果であり、安定して走行していたことが分かる。健常者の中で足首での操作時にふらつきが小さかった被験者と増山氏が足首で操作した時の周回コースにおけるセンターラインからの距離の変化を図10に示す。健常者の被験者に比べても増山氏は蛇行することなく安定して走行している。これは、日常的に足を使って自動車を操縦していることから、通常ハンドル操作をしている健常者の被験者よりも早めに順応できたと考えられる。

表5. 増山氏の実験結果

	走行時間 [分:秒]	センターラインとの平均距離 [cm]	ふらつき [cm]
ジョイスティックタイプ	8:37	61.3	8.7
足首	8:22	59.0	5.8

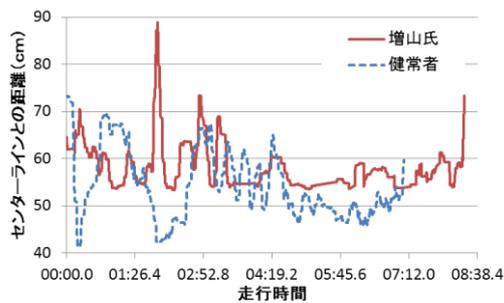


図 1 0. センターラインからの距離

④ 成果のまとめ

本研究では、角度センサを利用することで、操作部位毎に専用の取り付け治具を作成する必要があるが、それ以外は共通である障がい内容に柔軟な自動車操縦インタフェースを提案した。電気自動車を利用し、指、手首および足首で走行評価した結果、急角度のコーナでなければ、いずれの部位においても、ハンドル操作に近い走行が可能であることが分かった。既に障がい者向け自動車を運転している人であれば、提案の操縦インタフェースを利用して、健常者がハンドル操作した場合と同程度の操縦が出来る可能性があることが分かった。その一方、急角度のコーナを曲がることは難しいとの結果になった。センサの角度とハンドルの角度の関係については、更なる最適化をする必要がある。但し、最適化を行っても操縦性能に限界がある場合には、全自動運転で開発されているコーナリング技術との組み合わせなどについても検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- [1] Yoshitoshi Murata and Kazuhiro Yoshida, "Automobile Driving Interface Using Gesture Operations for Disabled People," IARIA, International Journal on Advances in Intelligent Systems, vol 6 no 3 & 4, pp.329-341, 2013 査読有
- [2] 湊 崇文, 村田嘉利, 鈴木彰真, 佐藤永欣, 佐々木祥弘, 「角度センサを用いた障がい者向け自動車操縦インタフェースの開発」, 情報処理学会, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, Vol.6 No.1, pp.11-21, (May 2016) 査読有

[学会発表] (計 1 件)

- [1] 湊 崇文, 村田嘉利, 鈴木彰真, 佐藤永欣, 佐々木祥弘, 「ひずみセンサを用いた障がい者向け自動車操縦インタフェースの開発」, 情報処理学会, DICOMO 2015, pp. 258 - 264, 2015 年 7 月 8 日, 岩手県八幡平市安比高原 査読有

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 運転者への状況伝達装置
 発明者: 村田嘉利, 鈴木彰真
 権利者: 公立大学法人岩手県立大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2015-90896
 出願年月日: 平成 27 年 4 月 27 日
 国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

[その他]

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

なし

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし

研究者番号: