

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01309

研究課題名（和文）ドライバへ権限が移譲された後のドライバ操作に生じる影響評価

研究課題名（英文）Study for evaluating effects on the driver operation caused by transfer of control authority to the driver

研究代表者

吉田 秀久 (Yoshida, Hidehisa)

防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・システム工学群・教授

研究者番号：00332635

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：自動走行する自動車が走行が継続できなくなった際に、システムからドライバに運転の主権の移動、運転交代要請がなされる。これに伴い心的負荷変動が生じ、ドライバによる運転操作の振る舞いは影響を受けることが想像できる。そこで心的負荷変動を受けたドライバの運転操作の振る舞いを、パラメータの変化で表現することで、システム設計に資する指針に寄与することを目的とした。ドライバ操作の振る舞いを把握するための実験環境の構築と、必要な周辺技術の研究のため、以下を実施した。(1)先行する研究開発状況の調査、(2)心的負荷変動を受けたドライバの運転シミュレータ実験環境の検討、(3)自動走行に関する制御系設計と試作

研究成果の学術的意義や社会的意義

システムの操作者特性をモデル化することは工学的有用性が有り、学術的な意義がある研究課題である。移動のためバスやタクシーなどの利用が可能であるものの、高齢者、身障者、子育て者などの何らかの事情により支援を必要とする移動制約者は、所有車両で自由に移動する可能性が広がることは、移動に対する心のバリアを解きほぐす。これを実現する自動走行に関する技術開発には期待が大きい。置かれた環境や個人の運転技量差などにより、心的負荷変動を受けたドライバの運転操作の影響を反映したシステムを設計することは一律には出来ない難しさがある。そのため研究の積み重ねが今後も必要であり、本研究がその一助となれば幸いである。

研究成果の概要（英文）：When the automated car couldn't run continue any more, control authority transfer from system to the driver. And, mental change of load affects to driver behavior of driving operation. So driver behavior of an operation who received mental change of load is expressed by a change in parameters, and the purpose of this study is to contribute the reference of a change in parameters which uses to system design. The followings were done.

(1) Survey of the previous research and development, (2) Making of the driving simulator experimental environment of the driver who received mental change of load, (3) Experimental design of control system and steering devices, about automated driving

研究分野：機械力学

キーワード：ドライビング・シミュレータ実験 ハンドル操舵動作 操舵入力端末 脳機能計測

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

自動車の交通事故を防止する取り組みにおいて、2000年代後半に登場する衝突を回避あるいは被害を軽減する自動ブレーキシステムは、車両購入の際、ユーザ側に選択権が有る状況でも、その多くは搭載する選択がなされ、交通事故ゼロを目指す予防安全技術として、社会的認知を獲得し、もはや社会に受容されたといえよう。これらは1980年代から日本で研究開発が本格化した路車協調型自動運転技術（現在の「コネクテッド・カー」への潮流）に端を発し、現在の自律型自動運転技術（現在の「ロボット・カー」への潮流）の開発につながる技術開発の成果である。2020年東京オリンピックの開催により、改めて日本政府が自動運転を推進するなど話題となった。昨今欧州でのロボット・カーの市場導入は加速している。

自動運転技術、具体的に自動車が自動走行する状況において、4つの具体例が、経済産業省・国土交通省による検討会（自動走行ビジネス検討会）で示された。そのうちの1つ、「ラストワンマイル自動走行」は、公共交通機関の駅と自宅や、お店や病院などと自宅を結ぶなどの、いわゆる Door to Door で生活を支える役割を担う目的がある。

平成18年12月に施行されたバリアフリー法以降、あらゆる場面で利便性の向上が図られてきた。移動の分野バスやタクシーなど、サービスの利用が可能であるものの、高齢者、身障者、子育て者などの何らかの事情により支援を必要とする移動制約者は、所有車両で自由に移動する可能性が広がることは、移動に対する心のバリアを解きほぐす。これを実現する自動走行に関する技術開発は期待が大きい課題である。

自動走行での課題のひとつに、システムの問題で自動走行が継続できなくなった際に、システムからドライバーに運転の主権の移動、運転交代要請(RtI: request to intervene/2016以前は、TOR: Take Over Request と呼ばれる)が発行されるのに伴い、安全を確保するため、運転の権限をドライバーにどのように移譲する手法が望ましいのか明らかにすることである。権限の委譲に伴い影響を受けるドライバーの運転操作の振る舞いや違いを、権限委譲時のシステム設計の指針を得られれば有益である。

2. 研究の目的

権限の委譲に伴い心的負荷変動が発生し、移譲後のドライバーによる運転操作の振る舞いは走行安全性・安定性に影響を受けることが想像できる。そこで状況の変化に影響を受けるドライバーの運転操作の振る舞いや違いを、パラメータの変化で表現することで、権限委譲のシステム設計における許容範囲の指針を得ることを目的とし、これを実現するための実験評価環境の構築と必要な周辺技術を研究・開発した。

3. 研究の方法

システムからドライバーに運転の主権の移譲、RtIの発行に伴うドライバー操作の振る舞いを把握するための実験評価環境の構築に向けて、本研究では以下を具体的に検討した。

- (1) 先行する研究開発状況の調査
- (2) 状況の変化により影響を受けるドライバーの運転シミュレータ実験環境の検討
- (3) 自動走行に関する制御系設計と試作

4. 研究成果

(1) 先行する研究開発状況の調査

自動走行に関して権限移譲する場合、ドライバーが車両周囲の環境を認識し、それまで自動運転システムがどのような意図で、走行制御の操作を実施していたのか理解をした上で、ドライバーが操作を担う必要があり、ドライバーの情報処理過程から権限移譲を10秒程度手前に告知する事例^[*1]が示されている。また2017年9月にはドイツのアウディ社が市販車へのSAEレベル3搭載を発表し、同年5月にはドイツの公道走行を認める道路交通法の改正も行われている。

自動運転走行から手動運転走行への遷移時のドライバー状態（例えばドライバーによる車両周囲への監視視度合いなど）を説明した時間履歴^[*2]を図1に示す。ドライバーによる手動運転走行への遷移時に、空走時間が生じることを織り込んだRtIの発行が理解できる。

自動車の運動制御系は、車両の前後方向を制御するアクセル・ブレーキの制御系と、横方向を制御する操舵系とに大別される。自動走行においてシステム側は、アクセル制御、ブレーキ制御、ハンドル制御を全て担う。このうちアクセル動作を停止することとブレーキ動作は、車体が減速し、運転挙動は安全方向に遷移する。また車両前後方向の制御では、AEB（日本名：衝突被害軽減ブレーキ、欧米名：Autonomous Emergency Braking Systems）が導入されるが、車両横方向制御では、これに相当するものは未だ開発の途上にある。回避のためには現時点で未だドライバーによる操舵に頼る部分がある。そこで本研究ではハンドル操舵動作に関わる権限移譲に寄与すべく、ハンドル操舵動作に関する実験を検討対象とした。

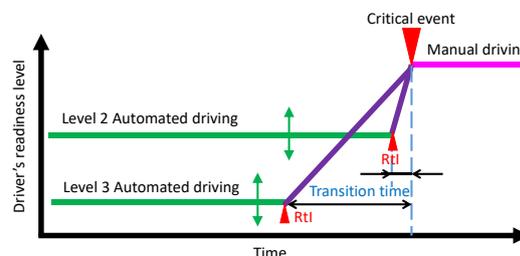


Fig.1 Driving transition^[*2]

SAE レベル 2 の自動運転システムの故障によるドライバーへの権限移譲の研究では、安全にハンドル操舵を引き継ぐためには、少なくとも 2s 程度の時間的余裕が必要であるとの報告がある^[*3]。システムが運転している際に周辺環境等の常時監視が求められない、SAE レベル 3 の自動運転システムからドライバーへの権限移譲では、5s や 10s の余裕時間でも少数ながら衝突する事例が報告されている^[*4]。

- [*1] 稲垣敏之, 人と自動走行システムが織りなす光と影の交錯模様—課題解決へ向けたデザインの視点—, 交通安全環境研究所, 2015 講演会「交通事故ゼロを目指した自動運転技術の導入に対する取り組み」, https://www.nts-el.go.jp/kouenkai/h27/0_150703.pdf
- [*2] Satoshi Kitazaki, Automated Driving System Human Factors, The 12th Japan ITS Promotion Forum, ITS Japan, February 28, 2018
- [*3] 児島亨, 波多野忠, 自動走行システムの故障発生時にドライバーが手動操作を安全に引き継ぐために必要な時間的余裕に関する実験的考察, 自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 5, September, 2018
- [*4] 本間亮平, 若杉貴志, 小高賢二, 高度自動運転における権限移譲方法の基礎的検討—自動運転時の覚醒度低下や運転以外の作業と権限委譲時のドライバー対応行動—, 自動車技術会論文集, Vol. 47, No. 2, March, 2016

(2) 状況の変化により影響を受けるドライバーの運転操作の選定・シミュレータ実験環境の構築

(1) に示した各種先行研究の状況を踏まえ、本実験では前方に障害物が不意に出現し、ブレーキ回避では間に合わない状況を含めた、前方障害物の出現タイミングの違いがドライバーの行動へ与える影響を、生理指標により基本検討した。具体的には、操舵回避前後の脳活動の変化を NIRS で計測し検証した。

宇野らの研究により、前方障害物に対するドライバーの操舵回避の限界として、被験者が運転する車両（自車）から障害物までの出現距離を車速で除した、余裕時間（出現時間）が 3.0s 以上であれば、25 名の被験者が操舵回避可能で、1.2s 以下では回避できるものがないことを明らかにしている^[*5]。そこでこの値を閾値と仮定し余裕時間 1s と 5s での実験を実施した。なお被験者実験は防衛大学校倫理委員会の承認を得て実施しており、1 回 5～10 分程度の休憩を挟み、ダミー実験を組み込みながら実施した。

酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb)、それらの合算値 (Total-Hb) の NIRS 信号の典型的な脳賦活のパターン^[*6]を図 2 に示す。障害物出現前、出現後を比較し、このパターンに合致する信号を判別した。なお信号は障害物出現前の標準偏差が 1 となるよう標準得点化した Z-score を用いる手法を採用^[*7]した。

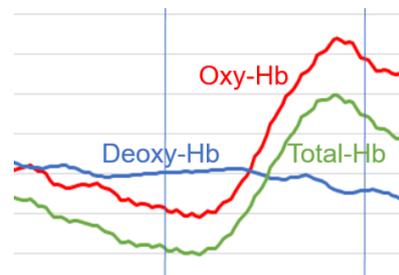


Fig.2 NIRS signal pattern

実施した実験全般において、左脳領域で典型的な脳賦活のパターンが多く見られ、ドライバーが運転タスクに集中していることが判断できた。また出現前後を 2 対比較し余裕時間の差により脳賦活のパターンの有無が生じることを確認することが出来た。これより状況の変化に影響を受けるドライバーの運転操作の振る舞いや違いを、パラメータの変化で表現することの可能性を示した。統計的有意差を議論するためには被験者数を増やし、結果の精度を増やすことが不可欠であり、これについては今後の課題である。またここではドライバーによる操舵応答も同時収録している。今後の解析によりドライバーの運転操作の振る舞いや違いを、モデルパラメータの変化で表現することで、脳活動と実際の操舵動作との相互関係からの考察が期待される。

- [*5] 宇野宏, 平松金雄, 緊急状況における余裕時間とドライバーの操舵回避との関係, 人間工学 Vol. 35, No. 4, pp. 219-227, 1999
- [*6] 灰田宗孝, 光トポグラフィ信号の意味, 認知神経科学, Vol. 13, No. 3, pp. 241-247, 2012
- [*7] 野澤孝之, 近藤敏之, NIRS 脳計測データのオンライン分析のためのアーティファクト除去手法の比較, 第 24 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp. 381-384, 2009

(3) 自動走行に関する制御系とデバイス開発

自動走行に関する制御系の開発として、自動走行時の経路計画手法を設計した。人との混在交通環境を対象に、歩行者の経路選択を模倣したモデルを参考に、歩行者の行動に倣い、走行速度を保ちつつ走行させることを方針とした。周囲環境の挙動変化を予測し、自らの急激な挙動変化を抑えた経路探索法を提案した。

自動走行に関する制御系のデバイス端末として、車両の前後方向を制御するアクセル・ブレーキの制御系と、横方向を制御する操舵系とで、それぞれのデバイス開発が考えられる。操舵系においてシステムから RtI の発行に対し、普段から操舵をしたことの無い車両から、適切な対応を求められることは、対応が困難である。そこで車両のハンドル角とタイヤの切れ角との比であるギヤ比は 1:1 とし、視覚的にハンドルの切れ方が判るよう、半円型ハンドル型端末と 2 輪車などで用いられるバーハンドル型端末の試験装置を試作した。今後これらを用いた実験結果から、望ましいハンドル形態への知見の一助となれば幸いである。

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 Hidehisa Yoshida, Kohei Yoshida, and Toyoyuki Honjo	4. 巻 32-2
2. 論文標題 Path Planning Design for Boarding-Type Personal Mobility Unit Passing Pedestrians Based on Pedestrian Behavior	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 588-597
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2020.p0588	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉田秀久, 吉田昂平, 本城豊之
2. 発表標題 搭乗型移動支援ロボットのすれ違い走行に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会, 第16回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田秀久, 吉田昂平, 本城豊之
2. 発表標題 歩行者挙動を設計に考慮した搭乗型移動支援ロボットの走行に関する一考察
3. 学会等名 日本機械学会, 第28回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2019)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	山川 淳也 (Yamakawa jyunya) (10546138)	防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・システム工学群・教授 (82723)	