

令和元年6月26日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02862

研究課題名（和文）運転自動化における高齢者の行動分析に基づく運転システムの設計

研究課題名（英文）Design of driving system based on behavioral analysis of elderly people in automated driving

研究代表者

池田 徹志（Tetsushi, Ikeda）

広島市立大学・情報科学研究科・講師

研究者番号：50397618

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：自動運転時のドライバーの不安を解消し、運転する楽しさを高める自動運転の設計を目指した研究を進めた。ドライビングシミュレータを用い、ドライバーの行動計測により不安を感じる状況の特定を行い、適切な情報提示によってドライバーの安心感が向上することを示した。また、ドライバーの主体的な運転とシステムによる運転補助の共存を検討し、運転する楽しさを保ちながらシステムが安全を支える方式を検討した。ドライバーが車両の制御や周囲の状況とつながりを保つ自動運転の設計指針につながる成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動車の自動運転は、特に運動能力の衰えによる事故の危険を解消するなど、高齢者の社会参加を広げ、豊かなQOLの実現につながる。しかし、普及が予測される自動運転を利用するドライバーは、自動的な制御に不安を感じる場合がある。本研究では、不安を感じる状況を調査するとともに、安心感を高める方法を検証し、運転を楽しむ自動運転の設計指針を検討した。

研究成果の概要（英文）：We have conducted research aimed at the design of automated driving to reduce the driver's anxiety during driving and to increase the enjoyment of driving. An experiment using a driving simulator identified situations where the driver felt anxiety and showed that the appropriate information presentation improved the driver's sense of safety. Considering the coexistence of driver's independent driving and driving assistance, a method that the system supports safety while keeping the pleasure of driving by experiment was investigated.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：自動運転 安心感 運転する楽しさ

1. 研究開始当初の背景

自動車の自動運転は、特に運動能力の衰えによる事故の危険を解消するなど、高齢者の社会参加を広げ、豊かな QOL の実現につながる。自動運転の実現に向けて、周囲の交通状況や歩行者の正確な自動認識や、精密な地図情報を利用した安全な制御方式などの研究開発が盛んに進められている。一方で、運転の自動化がドライバーに与える影響については、これまでほとんど研究が進められていなかった。従来の手動の運転と比較して、ドライバーと車の関係は大きく変化するため、運転システムによる制御への不安、運転する楽しさの減少など、新たな問題が生じている。これは、運転が自動化されることにより、ドライバーは外部の状態を覚えずらくなり、車両の制御をしなくなるなど、外部の状況から切り離され、つながりが希薄な状況におかれることが原因である。特に、ドライバーは車両の将来の挙動の予測を行いにくい状況にあるため、不安や不快を感じる一因になっていると考えられる。この問題を解決し、ドライバーが安心できる自動運転を実現するためには、ドライバーが運転システムの挙動や周囲の様子を理解し、車両の外部とのつながりを維持する自動運転の設計が重要である。

2. 研究の目的

自動運転時または運転補助機能の利用時に、ドライバーが外界の認識や車両の制御から切り離されることの問題点と解消方法を提案することを目的とする。具体的には、以下の 5 つの課題に取り組む中で、運転システムの設計論を確立することを目的として、研究を進めた。

1. 前走車に追従して自動運転を行う車両のドライバーが、不安や不快を感じる状況の同定
2. 車両の将来の加減速を事前に情報呈示することにより、ドライバーの予測可能性や安心感を高める手法の検証
3. ドライバーが主体的に運転制御する快適さと、システムによる運転補助制御による安全を両立する手法の検証
4. 体性感覚を用いた情報呈示に向けた、体性感覚による空間把握の基礎的研究
5. ドライバーへの情報呈示に向けた、ドライバーへの視線を正確に計測する方法の検証

3. 研究の方法

研究テーマ 1~3 に対して、ドライビングシミュレータを用い、自動運転または運転補助機能を構築することにより、ドライバーの行動計測やアンケート評価に基づき実験的検証を行った。研究テーマ 4,5 に対しては、専用の実験装置を構築し、被験者実験により検証を行った。

4. 研究成果

主に研究テーマ 1~3 の成果について報告する。

4.1 ドライバーが自動運転時に不安を感じる状況の同定

自動運転時におけるドライバーの不安やストレスの評価に関して、車間距離や、加減速の強度が与える影響について研究が進められてきた。しかし、車間距離の長短と加減速の強度によるストレスは、相互に影響し合っていると考えられるため、個別の調査では十分に影響を調べることが難しい。例えば、車間距離が狭い時に減速をゆっくり行う条件では、ドライバーは自動運転による衝突の危険を感じ走行のストレスが高まると考えられるが、反対に車間距離が広い条件では、減速をゆっくり行う条件でストレスが低下する可能性がある。

本研究では、表 1 に示す自動運転時の様々な車間距離や加速度の条件の組み合わせに対して、ドライビングシミュレータを用いて前走車に追従する環境を構築し(図 1)、ドライバーが受けるストレスを、主観的な安心感と快適感により調査した。これにより、加減速と車間距離の組み

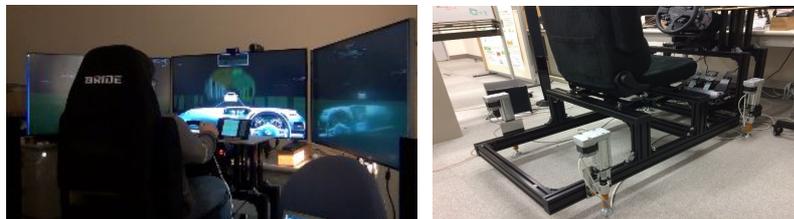


図 1 構築した運転シミュレータ環境(右: 運転シミュレータ概観, 左: モーションベース)

合わせがドライバーに与えるストレスの影響について知見を得ることを目的とした。

実験で得られた主観評価の安心感と快適感を図 2,3 に示す。図 2,3 の縦軸は値が大きいほど安心感および快適感が低いことを表す。車間距離が狭い条件 A,B と車間距離が広い条件 C,D を比較すると、C,D では走行の安心感に差が見られたが、A,B では差が見られない傾向が見られた。これは、条件 D の、車間距離が広い時の加減速の強度が弱い走行には安心感があつたが、車間距離が狭まった条件 B の時に、前走車に向かって減速をゆっくり行い衝突の危険を感じたことから走行に不安を感じ、安心感が大きく低下したからだと考えられる。このように、異なる車

間距離で、加減速の強度による安心感の差に違いがある傾向が見られ、自動運転時に車間距離と加速度がストレスに与える複合的な影響が明らかになった。

表 1 実験条件

条件	車間距離	加減速の強度
A	狭い	強い
B	狭い	弱い
C	広い	強い
D	広い	弱い

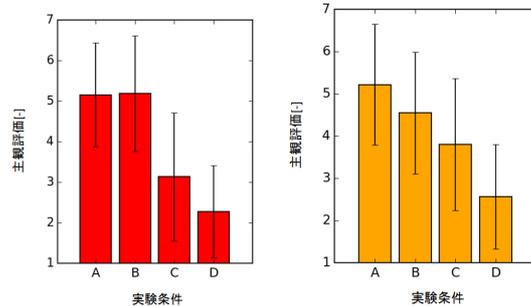


図 2 安心感の主観評価 図 3 快適感の主観評価

4.2 シートの動きを用いた自動運転ドライバーへの事前情報呈示

自動運転時にドライバーが感じる不安の原因として、車両の状況に対する認知が緩慢になるため、車両の動きを予測しにくい状況に置かれることが挙げられる。その結果、予期しない車両の動作が不快の原因となると考えられる。自動運転時の不安を軽減するためには、車両の将来の挙動をドライバーにわかりやすく伝える情報呈示が重要となる。

自動運転時に見通しが悪い道路条件で、路面の傾斜によりドライバーが予期しない動きをすることによる不快感に対して、カーブや上下動に伴う車体の動きを、体性感覚を利用したシートの動きを用いて事前にドライバーへ呈示し、自動運転時の不快感を低減する方法を検証した(図4)。数秒後の車両の位置と路面の傾きを推定し、将来の車体の傾斜を現時点でのシートに反映させることにより、ドライバーの不快感の低減を検証した(図5)。実際に下り始める数秒前(以後 t と記す)にシートのみが下る動きをすることでドライバーにこれから下るということを伝達する。

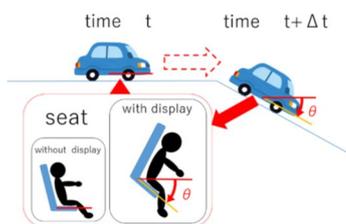


図 4 シートの傾きを用いたドライバーへの事前情報呈示

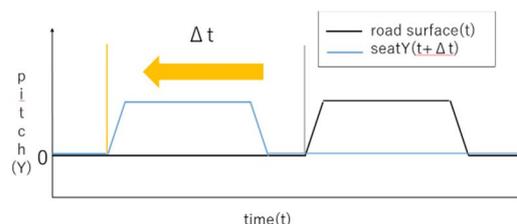


図 5 路面の傾きとシートの傾き

本研究では、 $t=0, 3, 6$ の条件でシートを用いて情報呈示を行う効果を、ドライビングシミュレータおよびシートを駆動するモーションベースを用いて確認した。被験者は3分間の走行後に、走行を行った。被験者は各条件での走行終了後に、予測しやすさ、安心感、快適感について5段階の主観評価を行った。

車両の動きの予測しやすさ、安心感に関して、条件 A, B を比較すると条件 B の方が予測しやすい傾向がみられた。これは提案する情報呈示により道路の先を予測しやすくなったため、安心感が向上したと考えられる。快適感に関しては、条件 B, C を比較すると条件 C が低い傾向がみられた。これは事前情報呈示時間が長くなったため、次第に違和感が高まり、快適感が低下したと考えられる。

以上より、シートを用いた車両の動きの事前情報呈示は、事前情報呈示時間を3秒に設定すれば有効である一方で、6秒などの長すぎる時間に対しては不快感原因となると考えられる。以上の結果より、シートを用いた車両の動きの事前情報呈示は、事前情報呈示時間を適切に設定すれば有効であることが示された。

4.3 視認難易度と視線挙動の関係性分析

ドライバーが理解できる適切な情報呈示を行い、ドライバーの注意状態を把握し適切に注意を誘導するためには、運転者が対象を見て確認したこと、すなわち視認を推定することが重要である。従来手法の多くは対象と視線の方向に関する一律の基準で視認の有無を判定しており、視認対象や周囲の視覚的特性の違いが考慮されていなかった。これらの特性が視認に与える影響を明らかにするため、対象の視認の難しさを「視認難易度(visual cognition difficulty, VCD)」と定義し、さらに対象視認時の眼球運動との関係を分析した。

実験では、被験者はディスプレイ上を移動する注視刺激と妨害刺激を呈示され、特定の注視刺激を視認したときに報告を行った。実験時の被験者の視線を計測し、注視対象の追従時間(t)、注視刺激との最近接時の角度(θ_d)、最近接時の移動方向(θ_v)を視線特徴量として計算した(図6)。

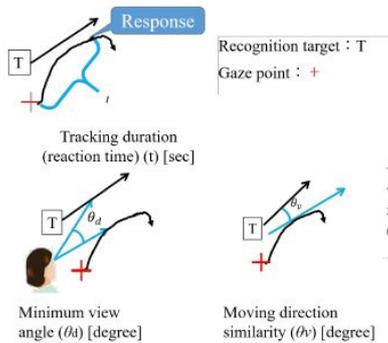


図6 視線特徴量

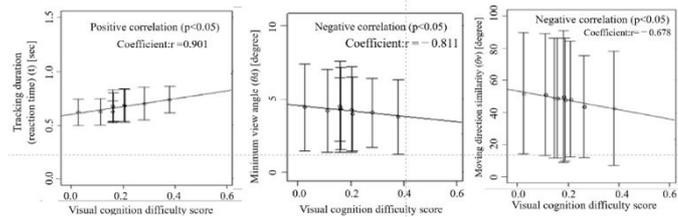


図7 視認難易度と視線特徴量との関係

視認難易度(VCD)と視線特徴量との関係について分析した結果、VCD と t には正の相関が見られ、視認が難しい対象ほど追従時間が長いことを確認した。また VCD と θ_d, θ_v にはそれぞれ負の相関が見られ、視認が難しい対象ほど、より近くを同方向に視線が追従することが分かった(図7)。さらに個人差を考慮したモデルの構築により、より適切な視認推定が可能であることも示した。

これらの結果より、視認難易度と視線挙動の関係が明らかになり、視線の分析に基づく視認推定手法に向けた基礎的な知見が得られた。

4.4 視認難易度と視線挙動の関係性分析

安全かつ快適な自動運転社会を実現するためには、完全自動運転に限らない多様な運転形態について検討することが求められる。ドライバーの操舵量と車両挙動を直結させないことで危険操作に対する安全性を確保し、同時に力覚フィードバックによる適切な操舵への誘導を行う運転システムを提案し、シミュレータを用いた快適性の評価実験を行った。

提案する運転システムでは、自動運転システムは車両の安全な制御を目的とした操舵角の制限と、ドライバーに対する情報呈示・操作支援を目的とした力覚フィードバックの2つの機能を持ち、ドライバーは自動運転システムによる監視と支援のもとで継続的に運転に関与することができる(図8)。実験時には、表2に示す異なる5つの運転システムの支援条件を比較した。ドライビングシミュレータを用いた実験環境で、3車線の高速道路を模したコースを用い、自車両が他車両に追いつくタイミングで、ドライバーもしくは自動運転システムが方向指示器を操作し、車線変更を行った。

	M	N	S1	S2	F
操舵角の制限	なし	あり	あり	あり	あり
力覚フィードバック	なし	なし	あり	あり	あり
$K_1 (K_2) [10^{-3}Nm/deg]$	—	—	50	50 (100)	500

表2 実験条件

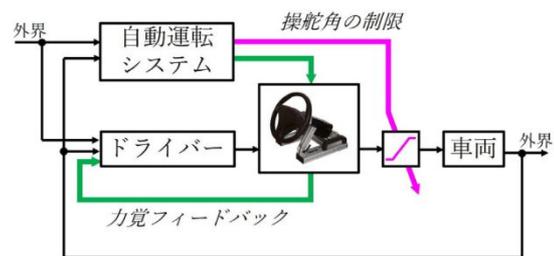


図9 システム構成

走行後に行ったアンケートにより安心感を評価した結果、自動運転システムの関与について高い評価値が得られた。フィードバックありの3パターンについて、運転補助なし(M)とS1の比較で有意差($p < 0.05$)が確認されるなど、手動運転よりも安心感が高まる傾向が示された。ドライバーが運転に消極的な状況では、自動運転システムの関与が明確になることで安心感が高まったと考えられる。

実験結果から、力覚フィードバックによるシステムからの明確な意思表示には安心感を高める傾向があり、強いフィードバックによる完全自動運転を模した運転形態とともに、適度な力覚フィードバックのもとでシステムと操舵を共有する運転形態が自動化の恩恵と移動における快適性の両立に有効である可能性が示された。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 21 件)

1. 永井 正太郎, 内海 章, 須佐見 憲史, 山下 久仁子, 岡田 明, "姿勢変化が体性感覚版ホロプターに与える影響の分析", 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE2018-84), pp.179-182, 2019/3.
2. 山本 光平, 内海 章, 須佐見 憲史, 佐藤 望, "歩行時の情報呈示が歩行に及ぼす影響に関する基礎検討", 映像情報メディア学会 ヒューマンインフォメーション研究会 (HI2019-52), pp.13-16, 2019/3.
3. 倉持拓明, 内海章, 池田徹志, 加藤弓子, 長澤勇, 高橋和彦, "高度自動運転における力覚フィードバックを用いた操舵の共有に関する快適性の評価", インタラクション 2019 論文集, 2B-48 pp.648-653, 2019/3.
4. 永井 正太郎, 内海 章, 山下 久仁子, 岡田 明, "体性感覚版ホロプターに重力加速度が及ぼす影響", 人類動態学会第 43 回西日本地方会 抄録集, p.4, 2018/12 (若手優秀発表賞)
5. 施 真琴, 内海 章, 山添 大丈, 萩田 紀博, 李 周浩, "CNN を用いた目領域抽出と眼球中心・虹彩中心推定に基づく視線検出手法の検討", 第 19 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 2018/12.
6. Toru Kobayashi, Tetsushi Ikeda, Yumiko O. Kato, Akira Utsumi, Isamu Nagasawa, Satoshi Iwaki, "Evaluation of Mental Stress in Automated Following Driving, " 3rd Int. Conf. on Robotics and Automation Engineering (ICRAE 2018), pp. 131-135, 2018/11.
7. Makoto SEI, Akira UTSUMI, Hirotake YAMAZOE, Norihiro HAGITA, Joo-Ho LEE, "Investigation of gaze detection method based on eyeball center and iris center estimation using CNN", The 14th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR2018), 2018/10.
8. 永井 正太郎, 須佐見 憲史, 内海 章, 山下 久仁子, 岡田 明, "Graduate school of Human Life Science, Osaka City University", "体性感覚版ホロプターに関する予備的検討", 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE2018-22), pp. 49-52, 2018/9.
9. 内海 章, 蘆田 宏, 須佐見 憲史, 長澤 勇, 萩田 紀博, "信号通過時の自動車運転者のペダル操作と脳波の関係性, 電子情報通信学会", ME とバイオサイバネティクス研究会 (MBE2018-15), PP.1-4, 2018/7.
10. 倉持 拓明, 内海 章, 池田 徹志, 加藤 弓子, 長澤 勇, 高橋 和彦, "力覚フィードバックを用いた協調型運転システムにおける操作者の制御感覚についての基礎的評価", 信学技報 ITS2018-4, pp.19-24, 2018/6.
11. 小林 亨, 池田 徹志, 内海 章, 加藤 弓子, 長澤 勇, 岩城 敏, "自動運転時の追従走行におけるドライバのストレス計測, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 1P2-B09, 2018/6.
12. 施 真琴, 内海 章, 山添 大丈, 萩田 紀博, 李 周浩, "CNN を用いた眼球中心・虹彩中心推定に基づく視線検出手法の検討", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 (ROBOMECH2018), 2A1-C13, 2018/6.
13. 内海 章, "交通事故低減のための人とくるまのコミュニケーション", 同志社大学 進化適応型自動車運転支援システム「ドライバ・イン・ザ・ループ」研究拠点形成 シンポジウム, 2018/3.
14. 阪口栄穂, 内海 章, 須佐見憲史, 近藤公久, 神原誠之, 萩田紀博, "視線挙動と対象の視認難易度に基づく視認推定手法の検討", 電子情報通信学会 ヒューマン情報処理研究会 (HIP2017-96), pp.17-20, 2018/3.
15. 施 真琴, 内海 章, 山添 大丈, 萩田 紀博, 李 周浩, "機械学習による眼球中心推定を用いた視線検出手法の検討", 第 18 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, SY0011/17/764-767, 2017/12.
16. 小坂田 光, 多田 昌裕, 内海 章, "カメラ画像による顔姿勢推定を用いたドライビングシミュレータ上におけるリアルタイム安全アドバイスシステムの試作", 映像情報メディア学会 11 月研究会, "Vol.41, No.41, pp.1-4, 2017/11.
17. 阪口栄穂, 内海章, 須佐見憲史, 近藤公久, 神原誠之, 萩田紀博, "視認推定モデル構築のための視認難易度と視線挙動の関係性分析", 電子情報通信学会 ヒューマン情報処理研究会 (HIP2017-55 - HIP2017-80), 信学技報 Vol.117 No.259 pp.77-80, 2017/10.
18. Hideho Sakaguchi, Akira Utsumi, Kenji Susami, Kondo Tadahisa, Masayuki Kanbara, Norihiro Hagita, "Analysis of Relationship between Target Visual Cognition Difficulties and Gaze Movements in Visual Search Task", IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS (SMC2017), pp. 1423-1428, 2017/10.
19. Yuta Inoue, Takuya Tanizawa, Akira Utsumi, Kenji Susami, Kimihisa Kondo, Kazuhiko Takahashi, "Visual Attention Control using Peripheral Vision Stimulation", IEEE

International Conference on System, Man, and Cybernetics (SMC2017), pp.1363-1368, 2017/10.

20. 阪口 栄穂, 内海 章, 須佐見 憲史, 近藤 公久, 神原 誠之, 萩田 紀博, "視認性の違いが対象認識時の眼球運動に与える影響", 電子情報通信学会 画像工学研究会 (IE2016-41), pp.131-135, 2017/3.
21. 内海 章, 不二門 尚, 肥塚 泉, 萩田 紀博, "再帰性反射を用いた眼球運動計測-動物眼による検討-", 計測自動制御学会 第21回パターン計測シンポジウム(第98回パターン計測部会研究会), pp.1-2, 2016/11.

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：内海 章

ローマ字氏名：Akira Utsumi

所属研究機関名：株式会社国際電気通信基礎技術研究所

部局名：知能ロボティクス研究所

職名：研究室長

研究者番号(8桁)：80395152

研究分担者氏名：加藤弓子

ローマ字氏名：Yumiko O. Kato

所属研究機関名：聖マリアンナ医科大学

部局名：医学部

職名：研究員

研究者番号(8桁)：10600463

研究分担者氏名：岩城敏

ローマ字氏名：Satoshi Iwaki

所属研究機関名：広島市立大学

部局名：情報科学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：00453209

(2)研究協力者

研究協力者氏名：長澤勇

ローマ字氏名：Isamu Nagasawa

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。