

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32629

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01305

研究課題名（和文）ドライバの親和性と受容性が高い自動運転車に向けた予測・制御ロジックの構築と評価

研究課題名（英文）Evaluation of autonomous driving system which have high affinity and acceptability with drivers including the logic of conflict object prediction and speed control

研究代表者

竹本 雅憲 (Takemoto, Masanori)

成蹊大学・理工学部・准教授

研究者番号：70437515

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、潜在危険に対する運転場面において、ドライバとの親和性および受容性が高い自動運転システムの実現を目指した。信号交差点右折時における横断者との交錯場면을対象として、自動車教習所指導員の実車両運転データを分析して規範的な運転行動を示し、実験データに基づいて横断自動車に対する挙動予測と車速制御のロジックを構築した。これらのロジックを搭載し、かつドライバとシステムがインタラクションを行う自動運転システムをドライビングシミュレータの実験環境に実装して評価実験を行い、安全性と受容性を両立するためにドライバへの情報提供に関する設計要件を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、高速道路での実用化が進む自動運転システムの市街地走行を実現するために、自動車ドライバにとって安全で快適な自動運転システムの実現を目指した。具体的には、自動車教習所指導員の実車両の運転データを分析して、衝突対象物の挙動予測と速度制御のロジックを構築した。さらに、システムによる周辺環境の検知が困難な状況で、ドライバとシステムが相互にやりとりするという新しい発想により、自動運転走行を可能にすることを試みた。自動車運転シミュレータに本システムを実装して評価実験を行い、安全性と受容性を両立するためにドライバへの情報提供に関する設計要件を示した。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to realize autonomous driving system which have high affinity and acceptability with drivers in the driving situation for potential hazards. We recorded and analyzed the actual driving data of an instructor when turning right at signalized intersections and revealed the normative driving behaviors. Based on the experimental driving data, we build the logic of autonomous driving system concerning the prediction for bicycle movement and the speed control. The autonomous driving system which included the logic and an interaction between a driver and system was implemented in the driving simulator environment. From the results of the evaluation experiment, we finally showed some design requirements of displaying information for driver to heighten both safety and acceptability.

研究分野：ヒューマンファクターズ、人間工学、自動車の運転行動分析、運転支援システム開発、自動運転システム開発

キーワード：ヒューマンファクター 自動車 運転行動 自動運転 事故防止 リスク認知 ドライビングシミュレータ

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

自動車の自動運転におけるドライバとシステムの役割分担は、米国の自動車技術会 (SAE : Society of Automotive Engineers) の定義をもとにした「自動運転レベル」が基準となり、自動運転の研究開発の議論の場で用いられる。本研究課題の申請時には既に、顕在危険としての動的対象となる高速道路走行時の先行車に対しては、自動追従走行や衝突回避など自動運転レベル 1 の安全運転支援システムは実用化されており、完全自動運転となるレベル 4 も 2020 年代後半での実現が目標とされていた。しかし、市街地で自車の前方に飛び出してくるかもしれない歩行者や自転車などの潜在危険としての動的対象に対しては、自動運転レベル 1 の安全運転支援システムが残した課題であった。

一方で、将来的な自動運転の研究開発に目を向けると、システムの機能限界で運転交代が要求される自動運転レベル 3 では、運転交代時に自動制御の状況を理解して対応操作がとれる、ドライバとの親和性が求められる。完全自動運転となるレベル 4 でも、自動制御に対するドライバの受容性が求められる。これらは特に、潜在危険としての動的対象に対する運転場面では、ドライバ視点に立った、衝突対象の挙動予測と車両制御のロジックが不可欠になると考えた。

以上より、本研究課題では、人間が自然に行える規範的な運転行動データをもとに、潜在危険としての衝突対象に対する予測ロジックと衝突回避できる制御ロジックを分析し、レベル 3 以上の自動運転システムの設計に適用するという発想に至った。

2. 研究の目的

本研究課題では、潜在危険に対する運転場面として、信号交差点右折時における横断自転車との交錯場면을対象とした。そして、自動車教習所指導員の実車両の運転データを規範的な運転行動として、横断自転車に対する挙動予測と車両制御のロジックを分析し、これらのロジックを搭載した自動運転システムを模擬したドライビングシミュレータの実験環境で安全性と受容性を実験的に検証することを研究目的とした。具体的な研究課題は以下の通りである。

(1) 研究課題 1 : 規範運転行動の解明

教習所指導員の実車両運転データを記録する実験を行い、横断自転車に対する確認行動と速度制御のシーケンスを解明する。

(2) 研究課題 2 : 予測・制御ロジックの構築

研究課題 1 の結果を用いて、信号交差点右折時で衝突対象となる対向車と横断自転車という複数の衝突対象に対して、対象物検知と速度制御のロジックを構築し、ドライビングシミュレータの実験環境で自動運転システムを模擬的に実装する。

(3) 研究課題 3 : ドライバへの情報提供に関する設計要件の解明

実装した自動運転システムに対するドライバの親和性と受容性を高めるために、ドライビングシミュレータを用いた評価実験を通して、ドライバへの情報提供に関する設計要件を解明する。

3. 研究の方法

(1) 研究課題 1 : 規範運転行動の解明

研究課題 1 に対して、安全な運転行動が期待できる教習所指導員を対象として、信号交差点右折場面における運転行動データを記録する実車両実験を実施した。ドライブレコーダをベースとした複数のカメラを用いて、同時に視線計測装置からドライバの視線方向を、車両信号から速度データを記録した。これらにより、自車両の位置に応じた確認行動と速度制御の時系列データを得た。対向車線数 (予備実験より確認行動に影響) を基準として複数の異なる交差点を選定した走行コースで実験を行った。

(2) 研究課題 2 : 予測・制御ロジックの構築

研究課題 2 に対して、前年度の実車両実験データから、自動運転システムの対象物検知と車速制御のロジックを構築した。人間のドライバとは異なり、自動運転車両に搭載される各種センサでは、全方位の対象物検知を同時に行える。しかし、自動運転レベル 3 での運転交代やレベル 4 での自動制御への受容度を考えると、自動運転システムでも人間と同じく、一方向ずつ対象物の有無を検知するロジックとした。実車両実験のデータから、対象物検知のタイミングとその地点における車速の代表値を求め、それらを時系列に連結した予測・制御ロジックを構築した。こ

れらをドライビングシミュレータの実験環境に実装した。

(3) 研究課題3：ドライバへの情報提供に関する設計要件の解明

研究課題3に対して、ふたつの実験を実施した。予測・制御ロジックを自動運転システムに適用させた場合、車両挙動に直結するのは速度制御である。よって、潜在危険となる対向車と横断自転車に対して回避可能な範囲、かつ実車両実験でのデータ分布の範囲で車速を変化させ、自動運転システムにおける車速の変化による安全度とドライバの受容度を評価する実験を実施した。さらに、前年度の評価実験より、潜在危険に対して自動運転システムのみで安全度とドライバの受容度を両立することは困難であると判断した。その打開策として、人間であるドライバとインタラクションを行いながら走行する自動運転システムを設計した。ドライビングシミュレータに実装して評価実験を実施し、ドライバへの情報提供の設計要件を分析した。

4. 研究成果

(1) 研究課題1：規範運転行動の解明

実車両実験における視線計測データの分析結果および実験後の教習所指導員へのヒアリングから、信号交差点右折時には5方向からの衝突対象物を意識した確認行動がとられていた。すなわち、図1に示すように、対向車線からの対向車、および4方向(手前側歩道、対向側歩道、右折手前側歩道、右折対向側歩道)からの横断自転車である。また、各対象物との交錯地点を考えると、対向車、手前側および対向側からの横断自転車、そして、右折手前側および対向側からの横断自転車の順で3箇所の交錯地点があると考えられた。

さらに、視線計測データを分析すると、図2のように、自車位置と確認対象の関係をシーケンスで整理できた。つまり、5種類の衝突対象物に対して、各々の交錯地点に向けて、2段階(フェーズ1、フェーズ2)で存在有無を確認していることが分かった。

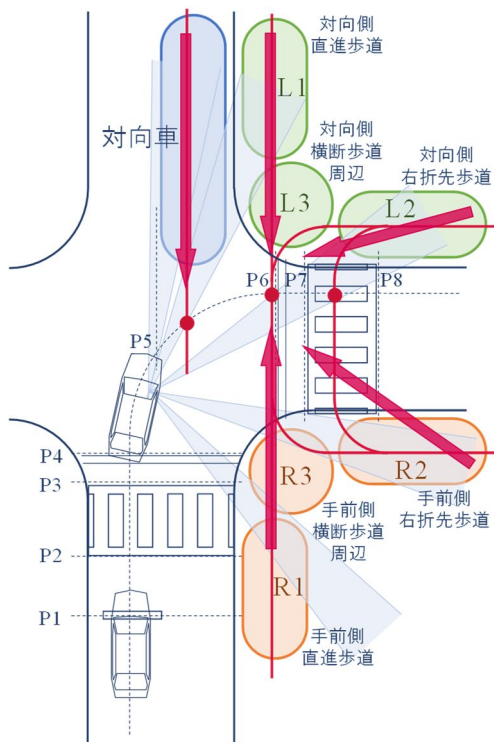


図1 信号交差点右折時における確認対象

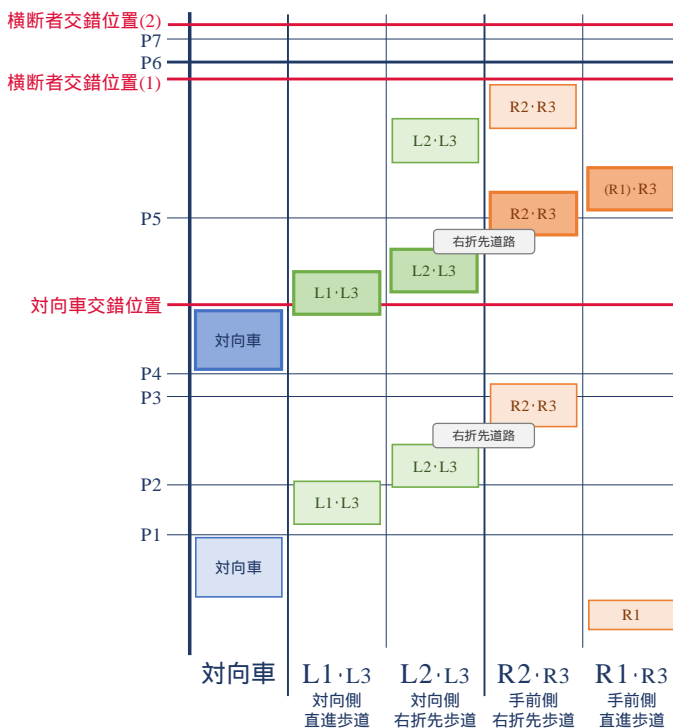


図2 自車位置と確認タイミングの関係

(2) 研究課題2：予測・制御ロジックの構築

実車両実験で十分なデータ数が得られたため、5種類の衝突対象の各交錯地点からのTTCを用いて確認タイミングのデータ分布が得られ、その代表値を求めることができた。また、これらの確認タイミングにおける車速に関してもデータ分布から得られる代表値を求めた。これらを用いて、確認タイミングより自動運転システムの予測ロジックを、確認時の車速より速度制御ロジックを構築した。予測および速度制御ロジックに基づく自動運転システムをドライビングシミュレータの実験環境に実装した。

(3) 研究課題3：ドライバへの情報提供に関する設計要件の解明

自動運転の速度に関する評価実験の結果

自動運転の速度に関する評価実験では、自動運転システムの検知対象としては、対向車と手前側歩道からの横断自転車の2種類とした。自動運転システムの走行速度に対しては、対向車の存在有無が不明な場合(対向車線を正常にセンシングできなかった場合)は走行速度を低くしてもドライバの受容性が高かった。一方で、横断自転車の存在有無が不明な場合(手前側歩道のセンシングが不適だった場合)は走行速度が低いと受容性が低かった。これらの結果から、対象領域のセンシングの状況やセンシング対象物の種類に関して、ドライバに情報提供の必要性があると考えられた。

ドライバへの情報提供に関する評価実験の結果

ドライバへの情報提供に関する評価実験では、以下のように実験要因を定めた。

- 自動運転システムの検知対象：対向車、手前側歩道および対向側歩道からの横断自転車の3種類
- センシング不適となるタイミング：フェーズ1、フェーズ2の一方、および両方の3種類
- センシング不適に関する提示情報：音声、不適領域を囲む枠、アイコンの3種類(枠とアイコンの視覚情報はヘッドアップディスプレイを想定)

はじめに、提示情報の種類に関する結果を述べる。提示情報に対する受容性に関する主観評価(-3~+3で評価)は、枠が1.33、音声は1.00、アイコンが0.167となった。アイコンの場合、ドライバが確認すべき不適領域とアイコンの提示位置の間を視線移動する必要があるためである。ただし、枠の場合でも十分に高い受容度とは言えない。よって、不適領域に重畳する(もしくは近くに提示する)シンプルな視覚情報と聴覚情報を併用することが、短い時間でドライバの確認行動を十分に誘導できると考えられる。

次に、衝突対象物の種類に関する結果を述べる。実験参加者が主観的に評価した確認が必要な対象物と、視線計測装置で記録された実際の視線移動箇所との整合性は、対向車と対向側自転車に関しては十分に高かったが、手前側自転車に関しては低い結果となった。すなわち、ドライバ自身では、手前側自転車の確認は十分に行えない可能性がある。対向車線や対向側歩道と比べて、手前側歩道はドライバの元の視線方向からの視線移動距離が大きいことが原因であると考えられる。よって、例えば別の研究課題で検討しているような、ドライバの視線を誘導する視覚インタフェースを用いて、センシング不適箇所へドライバの視線を誘導することも併用した方がよいと思われる。

最後に、ドライバへの情報提示について、その他に二つのことが示唆された。一つ目は、ドライバへの情報提供のタイミングである。フェーズ1での不適情報に対しては、システムへの応答と自身の確認行動に費やす時間として、十分な対応時間があると評価された。一方で、フェーズ2での不適情報に対しては、十分な時間がないと評価された。このことより、自動運転システムからドライバへ情報提示する場合は、早めに行うことが望ましいと考えられる。

二つ目は、センシングが正常な場合のドライバへの情報提示である。本実験では、センシング不適の場合のみ、ドライバへ情報を提示して対応を求めた。実験参加者の視線は、センシング不適の場合は対象領域へ分布が集中した。一方で、当然ではあるが、センシング不適でない場合は、実験参加者の視線は様々な領域へ分布した。この状態からその後の走行でセンシング不適になった場合、ドライバの視線を誘導するのは困難になると考えられる。よって、例えば、センシング不適でない場合でも、システムが正常に対象領域を検知したこと、すなわちシステムが行っていることをドライバに伝えることで、システムの自動制御に対するドライバの理解が深まり、かつ、ドライバの視線方向を統制できると考えられる。

以上の三つの研究課題に関する実験と分析を通して、ドライバとのインタラクションにより、自動運転システムの走行を人間であるドライバがサポートする考え方は、高速道路だけでなく市街地での自動運転走行を実現する可能性があり、運転場面を限定する自動運転レベル4から限定しないレベル5への開発に貢献できると考える。

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 0件）

1. 著者名 竹本雅憲、内藤貴博、塩谷武司、北島洋樹、中嶋豊	4. 巻 50(3)
2. 論文標題 高速道路の合流時および退出時における自動運転からの運転交代場面での行動分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 904-910
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田中研利、竹本雅憲
2. 発表標題 高速道路の合流時を対象とした自動運転からの運転交代場面における道路環境と周辺車両による運転行動への影響
3. 学会等名 自動車技術会秋季学術講演会、No.118、運転行動、オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 名越陽紀、竹本雅憲
2. 発表標題 周辺視野へ提示した手がかり刺激の動的設計による視線誘導効果
3. 学会等名 自動車技術会秋季学術講演会、No.123、HMI、オンライン開催
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 名越陽紀、竹本雅憲、中嶋豊
2. 発表標題 周辺視野への手がかり刺激の提示による視線誘導効果に関する基礎的研究
3. 学会等名 自動車技術会秋季学術講演会、No.131、HMI、仙台国際センター
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中研利、竹本雅憲、内藤貴博、塩谷武司、北島洋樹、中嶋豊
2. 発表標題 高速道路の合流時を対象とした自動運転からの運転交代場面における一般ドライバの行動分析
3. 学会等名 自動車技術会秋季学術講演会、No.132、運転行動、仙台国際センター
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹本雅憲、内藤貴博、塩谷武司、北島洋樹、中嶋豊
2. 発表標題 高速道路の合流・退出時における自動運転からの運転交代場面での行動分析
3. 学会等名 自動車技術会2018秋季大会学術講演会、No.128、自動運転のヒューマンファクタ、名古屋国際会議場
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅利元貴、竹本雅憲
2. 発表標題 信号交差点右折時における教習所指導員の確認行動の分析
3. 学会等名 日本人間工学会第58回大会、39-408、運転行動、日本大学生産工学部津田沼校舎
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅利元貴、竹本雅憲
2. 発表標題 信号交差点右折時における規範的な確認行動の定量分析
3. 学会等名 自動車技術会秋季学術講演会、No.129、運転行動、グランキューブ大阪
4. 発表年 2017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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------