

筋電位に基づくドライバの緊張度に応じた ロボット型エージェントによる運転支援

向 直人 須田紗雪

概要

本研究では、運転技術が未熟な初心運転者や、身体能力が低下した高齢運転者の運転時の緊張度を緩和するために、運転支援エージェントを開発することを目的とする。運転支援エージェントとして、同乗者効果が期待できる人型のロボットを採用し、ドライバの緊張状態に応じて発話する。ドライバの緊張度は、腕部に設置した筋電位センサから判定し、その計測値が閾値を超えた場合は、ドライバにリラックスを促すような発話を行う。アンケートの結果、初心運転者にとって、運転支援エージェントの印象評価は高く、緊張を和らげる効果が期待できることがわかった。

1 はじめに

国土交通省がまとめた交通事故の状況¹⁾によると、交通事故死者数は昭和45年に16,765人で過去最多となったが、その後は減少を続け令和4年には2,610人と過去最小となった。一方で、死傷事故件数では小学生、死亡事故件数では75歳以上の高齢者が多くを占めており、生活道路における事故は少なくない。また、交通事故総合分析センターの操作不適事故の分析 [1] によると、操作不適を起こしやすい年齢層は、24歳以下の若い運転者と、75歳以上の高齢運転者の割合が高い。操作不適の主な要因は「慌て、パニック」であると指摘しており、若い運転者は運転技術が未熟であること、また、高齢運転者は身体能力が低下することで反応速度が遅れることを理由に挙げている。操作不適を起こしやすいドライバに対しては、ドライバの精神的・身体的な状態に応じて、運転中に適切な支援を行うことが事故を防ぐために効果的と考えられる。

そこで、本研究では、初心運転者や不慣れな道

の走行などが原因で緊張状態にあるドライバの事故発生を防ぐことを目的とし、生体センサを用いてドライバの筋電位を測定することで緊張度合いを判定する。また、その緊張度合いに応じて、運転支援エージェントが適切な発話を行うことで、ドライバに自身の状態を自覚させ、より安全な運転行動を促す仕組みを構築することを目指す。運転支援エージェントには、同乗者効果が期待できるシャープ株式会社のロボホン (RoBoHoN) を採用した [2]。ロボホンは、5歳の男の子をモデルとした、合成音声により会話が可能な人型のロボットであり、親しみやすい形状や音声が特徴となっている。また、同乗者効果とは、同乗者がドライバが気づかない情報をドライバに知らせたり、同乗者との会話が単調感を和らげることで、ドライバに良い影響を与え、事故率が低下する減少を指している [3]。実車両の車両情報を取得することは困難であるため、実験ではドライブシミュレータを利用し、ドライバが操作する車両の情報 (位置、速度など) を取得する。ロボホンの発話のタイミングと内容は、ドライブシミュレータの車両情報と、ドライバに装着した生体センサから得た筋電位のデータを組み合わせて決定する

ことにした。筋電位が一定以上の値を示した場合は、リラクセスを促すような発話を行うことで、ドライバの緊張を緩和させることを狙う。

本稿の構成は以下である。第2章で、ドライバの支援を目的としたエージェントに関する従来研究について述べる。第3章で、本稿で提案する生体情報を利用した運転支援エージェントについて述べる。第4章で、開発した運転支援エージェントに対するアンケートの結果について述べる。最後に、第5章で、本稿をまとめる。

2 関連研究

本章では、ドライバの運転支援を目的としたエージェントに関する従来研究について述べる。

田中らは、高齢ドライバの事故率低減を目的として、運転行動の変容を促すエージェントの開発を進めている [4]。エージェントは運転中の支援に加えて、運転後の振り返り支援（評価フィードバック）を行うことで、ドライバ自身の運転行動を認識させ、行動変容を狙う仕組みとなっている。エージェントの形態として、音声、映像、ロボットを比較した結果、ロボットは年齢層を問わず受容性が高い結果を示した。また、ロボット型のエージェントを利用した全国規模の実験では、運転行動の改善や、ドライバの自己認識の変化が確認できたと述べている。藤掛らは、ロボット型のエージェントによる注意喚起や振り返りなどの機能に対する評価実験を実施した [5]。実験結果から、エージェントの機能に一定以上の有効性があることを示したが、高齢者は振り返りを重視するのに対し、非高齢者は運転支援のみで十分であることが明らかとなった。これらの研究成果から、ロボット型の運転支援エージェントは受容性が高く、ドライバの事故率低減に効果的であるといえる。

宮本らは、ポライトネス理論に基づく運転支援エージェントの発話戦略を検討した [6, 7]。ポ

ライトネス理論とは、人間同士の関係性を構築する際に用いられる言語活動を体系的に分類したものであり、相手との心理的距離を積極的に縮めるポジティブ・ポライトネス・ストラテジーと、相手との心理的距離を維持するネガティブ・ポライトネス・ストラテジーがある。運転支援エージェントの発話の文末を変化させることで、両ストラテジーを比較した結果、ポジティブ・ポライトネス・ストラテジーが高い評価となることを示した。また、運転支援においては、丁寧や曖昧な表現よりも、シンプルな発話の方が好まれること、性別によって受容性の高い発話戦略が異なる可能性も指摘している。楓らは、運転の振り返りに置いてエージェントが与える印象に関して調査した [8]。ドライブシミュレータで生じた危険運転に関して、ロボット型の運転支援エージェントと共に運転を振り返る仕組みとなっている。実験の結果から、運転支援エージェントの振り返りは、システム単独よりも良い印象をドライバに与えることが示された。これらの研究成果から、エージェントはドライバとの心理的距離を縮めるように積極的に発話する方が好ましいことがわかる。

本研究においても、幅広い年齢層において受容性の高いロボット型の運転支援エージェントを採用した。従来の研究では、ドライバの状態に応じて運転支援エージェントの発話を切り替えることは検討されていなかったが、本研究では、ドライバの腕部に取り付けた筋電位センサーから取得した値に応じて、運転支援エージェントの発話を切り替える。ドライバの緊張度に応じてフィードバックすることで、エージェントとドライバの心理的距離を縮め、高い同乗者効果を生み出すことを期待する。

3 生体情報を利用した運転支援エージェント

本章では、ドライブシミュレータから取得する

車両情報と、生体センサから取得する筋電位について解説し、それらを組み合わせて運転支援エージェントの発話を生成する仕組みについて述べる。

3.1 ドライブシミュレータ

ドライブシミュレータには、株式会社フォーラムエイトのUC-win/Road²⁾を採用した。また、走行コースとして、名古屋大学未来社会創造機構HMI・人間特性研究部門の評価用モデルを用いた。このモデルは、一時停止交差点、歩行者の回避、駐車車両の回避など、普段の運転時に遭遇する可能性のある危険な状況で構成されている。図1は、一時停止交差点であり、運転者は「停止線で一時停止し、左右を確認してから、交差点に侵入する」という行動が求められる。同様に、歩行者や駐車車両の回避では、「歩行者の飛び出しに注意しながら、徐行で横を通過する」という行動が求められる。



図1 ドライブシミュレータの一時停止交差点

ドライブシミュレータのプラグインを独自に開発し、表1に示す車両に関する情報を取得する。位置はシミュレーション空間における車両の3次元座標である。方向は車両の進行方向であり、3次元のベクトルで表される。速度は車両の時速である。ステアリング角はハンドルを操作するときのステアリングの入力角であり、 $-1 \sim 1$ の範囲で表される。アクセルとブレーキは、それぞれアクセルペダルとブレーキペダルの踏み込みの強さ

を表し、 $0 \sim 1$ の範囲で得られる。この他、車両が走行している車線の番号と幅員が取得できる。これらの情報は、ドライバーの運転中に400msの間隔で更新され、ドライブシミュレータから、運転支援エージェントの制御プログラムに、リアルタイムに送信される。

3.2 生体センサ

運転者の生体データの取得には、Plux社のBITalino³⁾を採用した。BITalinoは様々なセンサの利用が可能であるが、ドライバーの緊張状態を表す前腕部の筋電位(EMG: ElectroMyoGraphy)をセンサで取得することにした。これは、中村らがドライバーの緊張度を把握するために採用した方法[9]と同じであり、周囲に車両が多く存在するなど、運転負荷の大きく緊張度が高い場面ではグリップ力が高くなることが理由である。図2のように前腕部から肘の辺りに電極を取り付け、測定した筋電位に基づき運転者が緊張状態かりラックス状態かを判定する。しかし、山場らの研究[10]によると、筋電位の計測値は、個人差が大きく、同一人物であっても異なる波形が得られることが分かっている。そこで、本研究では、事前に運転者に「力を入れる、力を抜く」という運転行動を再現してもらい、緊張状態とリラックス状態を判断するための閾値を設定した。筋電位の情報は、運転支援エージェントの制御プログラムに、リア

表1 ドライブシミュレータから取得する情報

情報	詳細
位置	車両の座標
方向	車両の進行方向
速度	車両の速度(時速)
ステアリング角	ステアリングの回転角
アクセル	アクセルペダルの踏み込み
ブレーキ	ブレーキペダルの踏み込み
車線番号	走行中の車線の番号
車線幅員	走行中の車線の幅員

ルタイムで送信される。

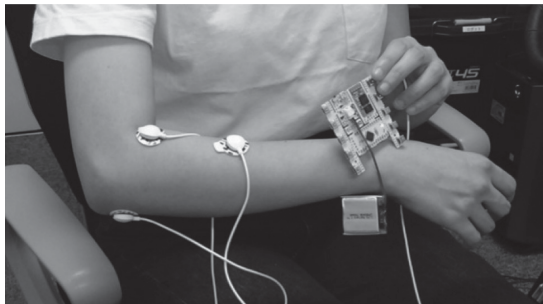


図2 腕部に取り付けた生体センサ

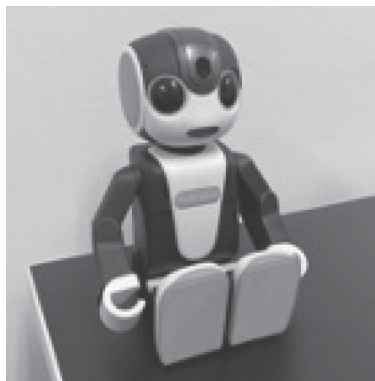


図3 ロボホン

3.3 運転支援エージェントの発話

運転支援エージェントとして、図3に示す人型ロボットのロボホン (RoBoHoN) を採用した。ロボホンは発話機能に加えて、音声認識機能があるが、発話の条件は上述の車両情報と生体情報に基づくため、音声認識機能は用いない。発話は、位置に基づく発話、車両情報に基づく発話、緊張度に基づく発話の3種類に分かれる。位置に基づく発話の例を表2に示す。この発話では、ドライブシミュレーションのスタート地点や交差点の直前などにおいて、目指すべき運転行動をドライブに示す。例えば、交差点での直前では「もうすぐ交差点だよ 左右確認してから徐行で直進してね」と発話し、左右確認や徐行などの運転操作を提示する。車両情報に基づく発話の例を表3に示す。この発話では、車両の速度やハンドル角が異常な数値を示したとき、ドライバに注意喚起する。例えば、車両の速度が60km/h以上となったとき「スピードが出過ぎているよ」と警告する。緊張度に基づく発話の例を表4に示す。この発話では、筋電位の標準偏差が閾値を超えたとき、ドライバが緊張状態にあると判断し、緊張を和らげるための声掛けを行う。例えば、速度が29km/h以下で、筋電位が閾値以上となり、緊張状態と判断された場合は、「緊張しすぎだよ リラックスしようね」と発話し、ドライバの緊張の緩和を促す。

表2 位置に基づく発話の例

条件 (位置)	発話内容
スタート地点	僕がナビゲートするから安全運転でドライブしようね
交差点の直前	もうすぐ交差点だよ 左右確認してから徐行で直進してね
駐車車両の直前	駐車車両がいるよ 対向車や飛び出しに注意してね
歩行者の直前	歩行者がいるよ 歩行者の安全を最優先に運転してね
ゴール地点	これで運転は終了だよ お疲れ様

表3 車両情報に基づく発話の例

条件 (車両情報)	発話内容
速度が60km/h以上	スピードが出過ぎているよ
速度が15km/h以上、かつ、ステアリング角が0.8以上	急ハンドルは危ないよ
速度が10km/h以上、かつ、ブレーキが0.9以上	急ブレーキは危ないよ
アクセルが0.9以上	アクセルを踏み込み過ぎだよ
交差点で速度が30km/h以上	スピードが速いよ 交差点は徐行で通過しようね

4 実験

本章では、開発した運転支援エージェントを評価するための実験方法について述べ、アンケート調査の結果について考察する。

表4 緊張度に基づく発話の例

条件 (緊張度)	発話内容
速度が29km/h 以下、かつ、筋電位が閾値以上	緊張しすぎだよ リラックスしようね
速度が30km/h 以上、かつ、筋電位が閾値以上	緊張しすぎだよ リラックスして徐行で通過しようね
速度が29km/h 以下、かつ、筋電位が閾値以下	リラックスして運転できてるね
速度が30km/h 以上、かつ、筋電位が閾値以下	しっかり左右確認して徐行で通過しようね

4.1 実験方法

本学の学生1名を被験者として、運転中のリラックス状態と緊張状態を再現して、ドライブシミュレータを体験してもらった。実験の様子を図4に示す。運転支援エージェントは運転者の視界の右側に設置した。被験者は生体センサを右腕に装着した状態でドライブシミュレータを操作する。リラックス状態での走行と、緊張状態での走行を、それぞれカメラで撮影し、映像を作成した。この2パターン映像を、学生15名に視聴してもらい、アンケートに回答してもらった。アンケートは回答者の年齢や性別などの属性に関するセクションと、映像の印象評価に関するセクションで構成されている。選択式の設問においては、リッカート尺度を用いて、“1：まったく当てはまらない”、“2：当てはまらない”、“3：やや当てはまらない”、“4：どちらともいえない”、“5：やや当てはまる”、“6：当てはまる”、“7：よく当てはまる”の7段階のスケールで回答してもらった。

た。最後に感想や改善点を自由記述で回答してもらった。



図4 実験の様子

4.2 実験結果と考察

アンケートの回答者は、本学学生を対象としたことから、15名全てが20代の女性であった。全員が運転免許を取得しているが、7名が「普段は全く運転しない」、3名が「あまりしない（月に1回以下）」と回答しており、被験者の多くは本稿で対象とする初心運転者に近い状態であると考えられる。

回答者の運転技術の自己分析に関するスコアをボックスプロットで図5に示す。「運転しているときに緊張する」の平均スコアは5.46と高く、半数以上が運転時に緊張を伴っていることがわかる。また、「運転技術に自信がある」の平均スコアは2.53と低く、運転技術に自信がないことがわ

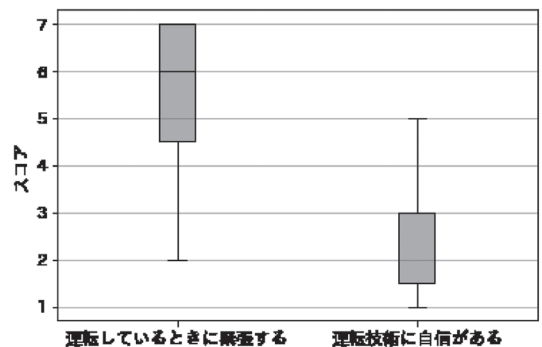


図5 運転技術の自己分析に関するスコア

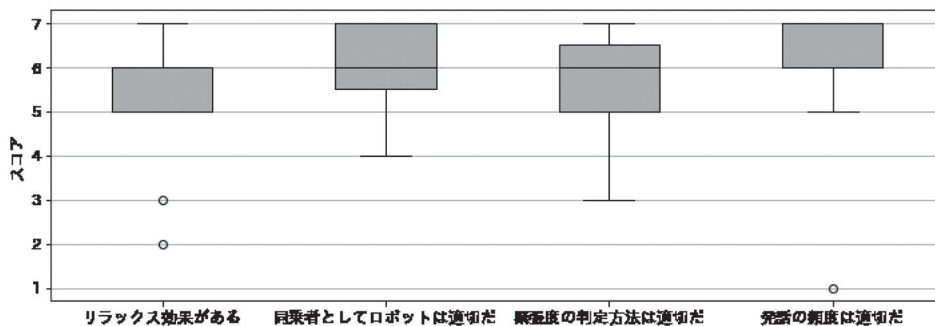


図6 運転支援エージェントの印象評価に関するスコア

かる。これらの結果から、回答者の多くは初心運転者に近い状態であり、運転支援エージェントによる緊張緩和の効果が期待できる。

運転支援エージェントの印象評価に関するスコアをボックスプロットで図6に示す。「リラックス効果がある」の平均スコアは5.33と高いことから、ロボホンによる発話によって緊張を和らげる効果が期待できることが示された。「同乗者としてロボットは適切だ」の平均スコアは6.00と最も高い結果となった。ロボホンの容姿や声質に好感を抱くことで、運転支援エージェントに対する安心感が増すなどの同乗者効果が期待できる。一方で、発話やモーションによって気が散るなどの指摘もあり、ロボットの配置、音声のボリューム、モーションの種類など、運転の妨げにならないような工夫が必要と考えられる。「緊張度の判定方法は適切だ」の平均スコアは5.73と高く、腕部に取り付けたセンサで手軽に緊張度の測定が可能であることが評価されたと考えられる。自由記述では手汗や心拍などの生体データの利用に関する指摘もあり、より正確な緊張度を測定するための方法を検討したい。「発話の頻度は適切だ」の平均スコアは5.93と高い結果となったが、1名は最も低いスコアを付けた。この回答者は、ロボホンの発話が煩わしく集中力が落ちると回答しており、発話頻度を任意に設定する機能を検討する必要がある。

この他、運転支援エージェントにドライバを褒める発話を追加して欲しいなど機能に関する指摘や、ロボホンの導入コストなど実用化の上での問題点が指摘された。安価なロボットで代替するなど、実用化に向けた検討を続けたい。

5 まとめ

本研究では、ドライバの筋電位により運転者の緊張度を把握し、運転支援エージェントによる発話でフィードバックすることで、運転者の緊張状態の緩和を促す仕組みを構築した。ドライブシミュレータの車両情報と、生体センサで取得したドライバの筋電位を組み合わせ、運転支援エージェントの発話条件を設定することで、運転者の緊張状態に適した発話を行う。アンケートでは肯定的な評価が得られ、運転支援エージェントが初心運転者の緊張を効果的に和らげることが示唆された。一方で、発話頻度が高く煩わしく感じるとの意見もあり、運転者の熟練度に合わせて、発話の頻度を調整する必要があることがわかった。また、筋電位に加えて、手汗や心拍などのデータを利用することで、より正確に運転者の緊張度を測定する仕組みを検討したい。

謝辞

本研究は名古屋大学未来社会創造機構 HMI・人間特性研究部門の「エージェントを介した運転支援研究プロジェクト」の助成を受けている。多大な支援を頂いたプロジェクトのメンバーに感謝を申し上げる。

むかい・なおと / 文化情報学部准教授
E-mail : nmukai@sugiyama-u.ac.jp

注

- 1) 国土交通省交通事故の状況 <https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/sesaku/jiko.html>
- 2) UC-win/Road <https://vr.forum8.co.jp/>
- 3) Plux <https://www.pluxbiosignals.com/pages/bitalino>

参考文献

- [1] 交通事故総合分析センター. 特集運転操作の誤りを防ぐ: 若者、高齢者に多い操作不適事故, 08 2014.
- [2] 江角直起, 小柳津拓也, 志々見亮. ココロ, 動く電話. ロボホン. 人工知能学会研究会資料言語・音声理解と対話処理研究会, Vol. 78, No. 0, p. 08, 10 2016.
- [3] 松浦常夫. 自動車事故における同乗者の影響. 社会心理学研究, Vol. 19, No. 1, pp. 1-10, 2003.
- [4] 田中貴紘. ドライバエージェントを活用した運転行動変容. IATSS Review (国際交通安全学会誌), Vol. 48, No. 1, pp. 43-50, 06 2023.
- [5] 藤掛和広, 田中貴紘, 吉原佑器, 稲上誠, 米川隆, 青木宏文, 金森等. 2c3-6 ドライバエージェントの運転支援・振り返り支援に対する主観評価. 人間工学, Vol. 55, No. Supplement, pp. 2C3-6, 06 2019.
- [6] 宮本友樹, 片上大輔, 重光由加, 宇佐美まゆみ, 田中貴紘, 金森等, 吉原佑器, 藤掛和広. ポライトネス理論に基づく運転支援エージェントにおける発話の文末スタイルに着目した印象評価. 知能と情報, Vol. 31, No. 3, pp. 739-744, 06 2019.
- [7] 山下智矢, 宮本友樹, 片上大輔. 自動運転の段階解除時における運転支援エージェントの言語的配慮発話に対する受容性の評価. 日本知能情報ファジィ学会ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol. 37, No. 0, pp. 354-359, 2021.
- [8] 楓紘希, 石川育恵, 奥山竣太, 牧翔吾, ジメネス・フェリックス, 加納政芳, 早瀬光浩, 吉川大弘, 田中貴紘. ドライブシミュレータにおいて運転振り返りを促すロボットが与える印象効果. 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2023, No. 0, pp. 2O4GS802-2O4GS802, 2023.
- [9] 中村弘毅, 中野公彦, 萩原武司, 大石秀雄, 大堀真敬, 佐久間皓平. 高速道路合流支援装置利用時の運転者緊張度評価. 生産研究, Vol. 65, No. 2, pp. 217-221, 2013.
- [10] 山場久昭, 長友想, 久保田真一郎, 岡崎直宣, So Nagatomo, Shinichiro Kubota. 表面筋電位を用いた個人認証手法の検討. 宮崎大学工学部紀要, Vol. 44, pp. 259-262, 07 2015.