

運転時のストレス状態への気づきを促す生理現象自己状態フィードバック手法

Physiological feedback of user's stressful condition in driving.

吉田 直人[†] 米澤 朋子[‡]
Naoto Yoshida Tomoko Yonezawa

1. はじめに

近年、自動車の自動運転技術が発達しているが依然として課題は多く [1]、自動運転機能を持たない車が大半であるため、衝突回避システムや事故の被害を軽減するシステム [2] の開発と併せて、ドライバーに対する安全運転への啓発活動や事故を未然に防ぐシステムの開発が進められている。これらの取り組みでは、事故の危険性が高い状態として主に「居眠り運転」や「長時間の運転による疲れ」などに着目し、そのようなドライバーの状態を検出するシステムの開発 [3, 4] や、警報音や音声メッセージを用いてドライバーに注意を促すシステムの開発 [5, 6] が行われている。

居眠り運転などの危険性の高い状態の警告に関して、警報音などの強い刺激は有効であるが、ドライバーの運転特徴に合わなかったり、ドライバーに自覚がないような軽度の危険に対して頻繁に提示するとシステムへの不快感や煩わしさを招く恐れがある [7, 8]。この不快感を軽減するために、擬人的な存在であるロボットやバーチャルエージェントを用いて対話的に注意を促すシステムの研究 [6, 9] も行われている。しかしながら、事故を起こしやすいドライバーほど、自身の運転技術に対する過信や攻撃的な性格を持つ傾向があり、また他者との協調性に欠けるとい調査結果 [10] から、他者からの注意や指摘はかえってストレスを増加させる可能性が考えられる。また、同乗者の行動によって注意が散漫になり事故になるケースも報告されているように、会話などのコミュニケーションがかえって事故を引き起こす可能性も排除できない [11]。ドライバーが警告システムに対し強い不快感を受けると、システムを無効化してしまう恐れがあり、ドライバーに注意を促す方法には検討の余地があると言える。

ここで、事故の危険性がありドライバーに注意を促すべき状態として「イライラ運転」を取り上げる。イライラ運転とは、時間的な余裕の無さや渋滞などの道路状況、他の車の運転に対する不満から、車間を詰め過ぎたり信号を無視するなどの無理な運転や危険運転のことを指し、他のドライバーに対しても危険を及ぼす可能性のある運転である。このような運転を引き起こすドライバーの状態を

検出する手法については様々な手法が提案されているが、実際にドライバーに注意を促す手法に関しては前述のように議論の余地がある。

そこで本研究では、イライラなどのストレス状態にある生理状態を、システムによって外在化することでドライバーに気づかせ、注意を促す生理現象自己状態フィードバック手法を提案する。事故に直結しかねないいわゆる「ヒヤリ・ハット」事象の直後においては、心臓の鼓動や体温の変化を主観的に感じられる場合があるが、ストレス状態や緊張状態では、ストレス状態に伴う生理的变化が起こっているにも関わらず、注意が前方車両や道路状況に向けられるため、自己の状態を意識できない場合が多い。提案手法は、自動車のハンドルに取り付けた生理現象フィードバック機構でドライバー自身の心拍や体温・発汗を提示することで、ドライバーに自己のストレス状態への気づきを与え、自省を促すことを狙うものである。提示される情報はシステムやバーチャルエージェントなどの第三者による忠告ではなく、ドライバー自身の状態のフィードバックであると捉えられることから、システムへの不快感を軽減し自省を促す効果を期待する。

我々はこれまでに、ユーザの生理現象の取得とそれに基づくユーザの感情状態表現について試みてきた [12, 13]。また、運転中のドライバーの生理現象によるストレス状態推定に関しては、先行研究における様々な手法を用いて実現可能であると考えられることから、本稿では、生理現象自己状態フィードバック手法に基づく生理現象フィードバック機構について述べる。

2. 関連研究

2.1 ドライバへの安全運転誘導手法

運転中のドライバーに対し、運転行為への集中を逸らすことなく居眠り運転を緩和させる手法として、毛利ら [14] は脊柱部への磁気刺激による覚醒手法を提案した。この手法は、運転中のドライバーにシステムの動作を意識させることなく効果を持続させることができるが、ストレス状態の緩和に対する効果を狙ったものではない。しかしながら、毛利らは検証における比較対象として、ペパーミントの香り噴射刺激によってドライバーを覚醒させることに成功している。

実際に、川上ら [15] は適切な間隔かつ適切な濃度で覚醒作用を有する香りを提示することで運転中の覚醒度を

[†] 関西大学大学院, Graduate School of Kansai University

[‡] 関西大学, Kansai University

維持できることを示した。また、運転終了後に香りを提示することで、疲労の回復効果や鎮静作用があることが示唆された。川上らの検証においては、運転中の鎮静作用については検証されていないが、香りは種類によって不安を和らげたりストレス解消などのへの効果 [16, 17] があるとされていることから、イライラ運転などのストレス状態にも効果が期待できる。しかしながら、実験においてもその効果や香りの好みに個人差が認められており、柳平ら [18] の調査では、実験参加者によって気分が活発化したグループと沈静化したグループに別れるなど対照的な結果も示されている。また、香り原料の管理や異なる香りの提示、噴射した香りの回収・除去、同乗者への配慮などの観点からも、香りを提示する手法には課題があると考えられる。

Jaemin ら [19] はハンドルやシートベルトへの振動提示がドライバへの注意喚起として有効であると示した。ハンドルやシートベルトなどのドライバの身体に接触するものに振動提示装置を取り付けることによって注意を促す手法は、視界を邪魔しないという点で有用であると考えられる。本研究においては、単なる注意喚起のための振動ではなく、ドライバのストレス状態フィードバックのために振動を用いた心拍の提示を行う。

2.2 運転時ストレスに伴う生理的变化

運転中のドライバの状態推定に関する研究の中から、焦りやストレス状態の推定に関する先行研究を取り上げる。

生理現象は交感神経と副交感神経からなる自律神経に影響を受け、この2つの拮抗作用により変化する。心拍に関しては、心拍に含まれる高周波成分 (HF) と低周波成分 (LF) から LF / HF 値ストレス指標 (交感神経の活性度) として用いられることが示されている [20, 21]。渋滞や無理な追い越しなどによるイライラ運転時にこれらの値が影響を与えと言われており [22], Shing-Hong ら [23] の調査においては、運転時のストレス状態による有意な差が示されている。また体温や発汗に伴う皮膚電気活動 (EDA), 筋電図 (ECG), ハンドルのグリップ圧力からもストレス状態を検出可能であることが示されている [24, 25, 26]。

また、阿部ら [27] は心拍変動に加えて、アクセルペダル・ブレーキペダルのストロークからドライバの状態を推定するモデルを提案し、運転中の「焦り」や「急ぎ」の状態の分類を行った。このことから、ストレス状態の推定には心拍や体温などの生理指標に加えて、アクセルやブレーキなどの実際の運転状況を考慮することが有効であると考えられる。

これらの先行研究から、非侵襲な計測によって運転中のドライバのストレス状態を検出できる可能性が高いと

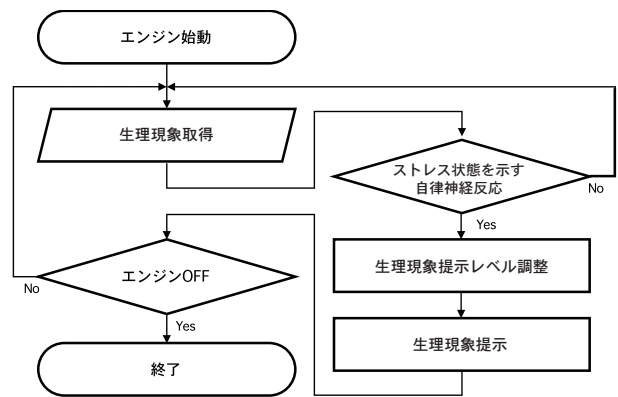


図 1: 生理現象自己状態フィードバックの流れ

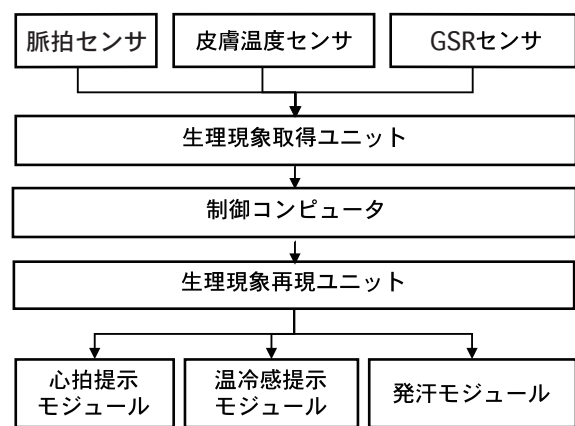


図 2: 生理現象フィードバック機構の構成

いえる。

3. 生理現象による自己状態フィードバック

3.1 生理現象による自己状態フィードバックの概要

生理現象による自己状態フィードバックの流れを図 1 に示す。生理現象による自己状態フィードバックとは、ドライバにストレス状態への気づきを与えることを目的として、ドライバ自身の生理的状態を自動車のハンドルに取り付けた生理現象フィードバック機構でドライバ自身の心拍や体温・発汗を提示するものである。

3.2 生理現象自己状態フィードバック機構

システム構成 提案手法の有効性や実際の運転時の安全性の確認を行うためのプロトタイプシステムとして、ハンドル取り付け型生理現象フィードバック機構を試作した。生理現象取得ユニットおよび生理現象再現ユニットの各モジュールの配置を図 3 に示す。市販のドライビングコントローラ (GAMMAC™ Real Drift Race Handle, KMP3-105, KYUNGMUN Entertainment Co., Ltd. 製) を用いて実装を行い、ドライビングシミュレータを用いて実際の運転状況を再現した。

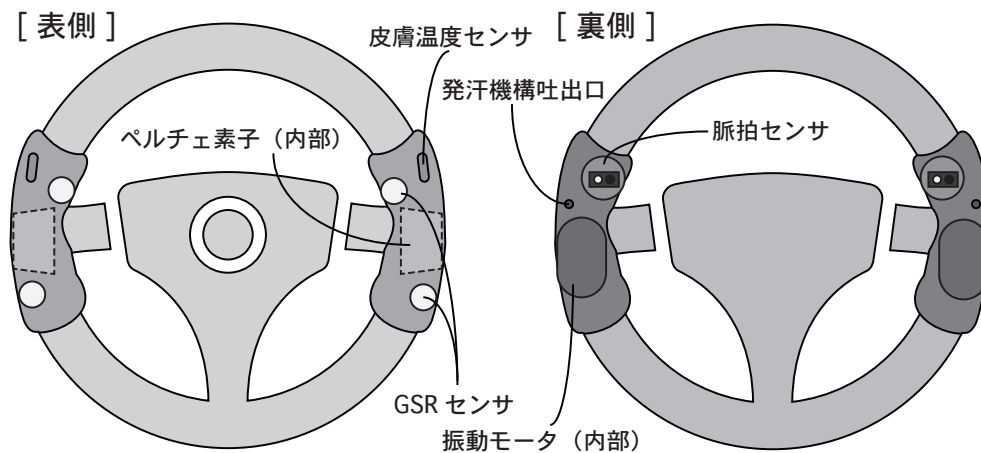


図 3: 生理現象取得ユニット・生理現象再現ユニットにおける各モジュールの配置

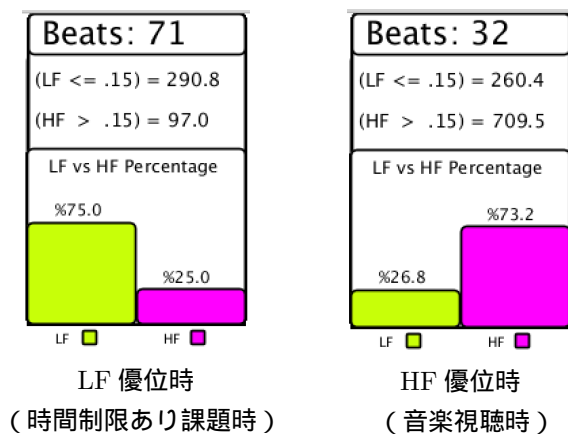


図 4: HF/LF 値の変化の例

生理現象取得ユニット 生理現象取得ユニットは、ドライビングコントローラのハンドル部の左右両側の掌握部に取り付けられる。各ユニットには裏側の指先部に脈拍センサ [SFE-SEN-11574 (SWITCH SCIENCE)], 手掌部に GSR (電気性皮膚反射) センサ [SEN01400P/101020052 (Seeed Studio)] と皮膚温度センサを内蔵する。各センサからの信号はドライビングコントローラ本体部に取り付けられたマイコン [AVR, Arduino Uno R3 (Arduino Srl)] で取得する。マイコンは制御コンピュータと接続され、制御コンピュータにおいて心拍データからドライバのストレス状態検出を行う。

制御コンピュータ 制御コンピュータはマイコンから送信された生理現象データの処理を行う。GSR センサと皮膚温度からは、発汗レベルと体温を算出する。脈拍センサ値からは心拍数を算出するほか、後述のストレス状態推定を行う。この推定によってドライバのストレス状態が検出されると、算出された発汗レベル、体温、心拍

数を生理現象再現ユニットに送信する。

ドライバのストレス状態の検出 本プロトタイプシステムにおいては、心拍に基づくストレス状態推定を導入した。生理指標に関しては、心拍変動に含まれる高周波成分 (HF) と低周波成分 (LF) のバランス (LF / HF) をもとにストレス状態を推定する。LF 成分、HF 成分のそれぞれの大きさは、LF 成分の領域を 0.05[Hz] から 0.15[Hz] まで、HF 成分の領域を 0.15[Hz] から 0.40[Hz] までとし、それらの積算値から求める。LF の積算値が HF の積算値に比べて大きい場合、交感神経優位な状況であり、ドライバはストレス状態にあると判断する。ただし、運転行為自体へのストレスがかかることから、HF に基礎ストレス係数 p を乗算することで、運転時のストレス状態の基準値を設定することとした。また、生理現象提示レベル調整のための係数を暫定値として LF / HF をもとに LF / HF 値 0-5 を係数 l の 0-1 の値として算出する。

図 4 には心拍変動における LF / HF の例を示す*。

生理現象再現ユニット 生理現象再現ユニットでは、制御コンピュータより送信された発汗レベル、体温、心拍数の値をもとに、心拍提示モジュール、温冷感提示モジュール、発汗モジュールを動作させる。各モジュールの動作に必要な値は今後の検証のために暫定値として設定した。心拍提示モジュールは、振動モータ [RS-365, 5V, 5000rpm] を心拍間隔に合わせて 100[ms] 提示することで心拍を再現する。温冷感モジュールは、ペルチェ素子 [TES1-12705 (Wellen Technology Co.,Ltd)] によって体

*LF / HF の表示は下記を参考とした。
 Arduino Pulse Sensor Cardio Graph
<http://www.instructables.com/id/Arduino-Pulse-Sensor-Cardio-Graph>

温を再現する。発汗モジュールは先行研究 [28] において実装を行った空気圧による発汗提示装置を用いた。

各モジュールの出力値は、制御コンピュータにて算出した値を最大値として、生理現象レベルを係数として乗算することで、提示する強度を変化させる。提示強度は振動モータに関しては動作電圧、ペルチェ素子に関しては提示温度、発汗モジュールに関しては吐出される水量とした。

4. まとめと今後

本稿では、イライラなどのストレス状態にある自身の生理現象を、システムによって外在化することでドライバに気づかせ、注意を促す生理現象自己状態フィードバック手法を提案し、提案手法の有効性や実際の運転時の安全性の確認を行うためのプロトタイプシステムであるハンドル取り付け型生理現象フィードバック機構を試作した。これにより、ストレス状態の警告システムに対する不快感を軽減し自省を促す効果を期待する。

今後、警報音や音声による注意と比較することで、生理現象自己状態フィードバック手法の有効性を検証するとともに、複数の生理指標にもとづくストレス状態検出についても検討する。また、運転操作に悪影響を与えず適切なタイミングで提示を行うために、状況に応じたフィードバック [29] についても検討することで、生理現象自己状態フィードバック効果の向上にも期待したい。謝辞

本研究は、科研費 15H01698 および 25700021 の助成の一部を受け実施したものである。

参考文献

- [1] 坪谷剛, 辻野照久. 自動運転自動車の研究開発動向と実現への課題. 科学技術動向, Vol. 1, p. 2, 2013.
- [2] 鈴木桂輔, 望月誠, 見市善紀, 山田喜一. 衝突回避支援装置の効果分析手法. 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 835, pp. 15-00565, 2016.
- [3] 松尾治夫ほか. 運転者の行動解析に基づく居眠り運転早期検出方法の開発. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 98, No. 4, pp. 700-708, 2015.
- [4] 松村寿枝, 河村絵美, 小坂洋明, 吉村宏紀, 清水忠昭. 音声分析を用いた自転車シミュレータ運転時の疲労測定法の基礎的検討. 電気学会論文誌. C, Vol. 136, No. 1, pp. 92-98, 2016.
- [5] 福元将高, 萩尊史, 山田拓郎, 山崎初夫, 石垣裕嗣, 中野倫明, 山本新. ドライバの運転時の意識状態に応じた警報提示法. 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 29, No. 22, pp. 29-32, 2005.
- [6] 佐藤翔吾, 片上大輔, 稲葉通将, 田中貴紘. ドライバの心的負担を軽減する擬人化エージェントの開発. HAI シンポジウム 2015 プロシーディングス, G-23, 2015.
- [7] 杉本尚哉, 井口裕介, 今宮隆英. センター連携型ドライバサポートシステムの提案. 富士通テン技報=Fujitsu Ten technical report, Vol. 32, No. 1, pp. 9-15, 2015.
- [8] 自動車安全運転センター. 安全運転支援のための情報提供が運転行動に与える影響に関する調査研究. 平成 20 年度調査研究報告書, 2009.
- [9] 谷山拓未, 上田博唯, 中川善典, 朴啓彰, 小野浩. 対話型ロボットとドライビングシミュレータを用いた同乗者効果の検証実験. HAI シンポジウム 2015 プロシーディングス, G-14, 2015.
- [10] 嶋田喜昭, 星野貴之, 舟渡悦夫, 伊豆原浩二. 若者ドライバーの性格と交通事故との関連分析. 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, pp. 51-58, 2003.
- [11] 常夫松浦. 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, aug 2003.
- [12] 吉田直人, 中谷友香梨, 久保嶋健人, 米澤朋子. 吐息と腹部運動を伴う呼吸表現に関する因子分析に基づいた生物的な身体感情インタラクションの設計. HAI シンポジウム 2014 プロシーディングス, G-2, 2015.
- [13] 吉田直人, 米澤朋子. 呼吸・心拍・体温の非侵襲な計測に基づく生理現象表現ロボット介在型コミュニケーション. HAI シンポジウム 2015 プロシーディングス, P-27, 2015.
- [14] 毛利佳之, 川口雅人, 小島茂也, 山田宗男, 中野倫明, 毛利佳年雄. 居眠り運転防止に関する睡眠リバウンドのない磁気刺激による覚醒保持効果. 電気学会論文誌. C, Vol. 136, No. 3, pp. 383-389, 2016.
- [15] 満幸川上, 和香子兼子, 真一青木. 自動車運転における作業負担に香りが及ぼす影響. 日本経営工学会論文誌, Vol. 51, No. 3, pp. 213-219, aug 2000.
- [16] 基行岩橋, 空気調和・衛生工学会. 香りと環境. 空気調和・衛生工学会新書. 理工図書, 1995.
- [17] Robert Tisserand, 林太郎高山. アロマセラピー: 「芳香療法」の理論と実際. フレグランスジャーナル社, 1985.

- [18] 安士光男, 柳平雅俊. 車載用香り発生器の効果の検討 (特集): カーエレクトロニクス. Pioneer R&D, 2009.
- [19] Jaemin Chun, Sung H Han, Gunhyuk Park, Jongman Seo, Seungmoon Choi, et al. Evaluation of vibrotactile feedback for forward collision warning on the steering wheel and seatbelt. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 42, No. 5, pp. 443–448, 2012.
- [20] 林博史ほか. 心拍変動の臨床応用-生理的意義, 病態評価, 予後予測, 1999.
- [21] 土川奏, 岩倉成志, 安藤章. 心拍間隔指標を用いた長距離運転時のストレス計測実験と解析- ahs の需要予測にむけて-. 土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集 IV-425, 2002.
- [22] 服部真. タクシ-運転手の虚血性心疾患発症に関する長期予測と運転勤務の循環機能・自律神経機能への影響-2-運転勤務時の時系列的観察による, タクシ-運転労働の循環機能・自律神経機能に与える影響. *労働科学*, Vol. 65, No. 12, pp. p651–658, 1989.
- [23] Shing-Hong Liu, Chin-Teng Lin, and Wen-Hung Chao. The short-time fractal scaling of heart rate variability to estimate the mental stress of driver. In *Networking, Sensing and Control, 2004 IEEE International Conference on*, Vol. 2, pp. 829–833. IEEE, 2004.
- [24] 西村千秋, 小坂明生, 常光和子, 吉沢修治, 南雲仁一. 皮膚電位水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試み i 路上運転時の皮膚電位変化. *人間工学*, Vol. 23, No. 2, pp. 103–110, 1987.
- [25] K-E Hagbarth, RG Hallin, A Hongell, HE Torebjörk, and BG Wallin. General characteristics of sympathetic activity in human skin nerves. *Acta physiologica Scandinavica*, Vol. 84, No. 2, pp. 164–176, 1972.
- [26] 中村弘毅, 中野公彦, 方芳, 鄭仁成, 大堀真敬. 運転者緊張度とステアリンググリップ力の相関に関する考察. *生産研究*, Vol. 64, No. 2, pp. 269–272, 2012.
- [27] 阿部喜, 宮武秀樹, 小栗宏次. 心拍変動を用いた運転行動モデルの切換による運転行動予測. *電子情報通信学会論文誌 A*, Vol. 91, No. 1, pp. 78–86, 2008.
- [28] Xiaoshun Meng, Naoto Yoshida, and Tomoko Yonezawa. Evaluations of involuntary cross-modal expressions on the skin of a communication robot. In *Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2015 12th International Conference on*, pp. 347–352. IEEE, 2015.
- [29] 芹川葵, 吉田直人, 米澤朋子. 運転状況に応じた注リソースに基づくコミュニケーションモダリティ切替手法の提案. 2016 年度情報処理学会関西支部大会特別セッション D 「行動変容と社会システム」, D-103, 2016, to appear.