

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：32638

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17785

研究課題名（和文）ドライバの安全性と快適性向上を目指した自動運転車両における車内環境制御

研究課題名（英文）Interior Environment Control in Automated Vehicles for Enhancing Driver Safety and Comfort

研究代表者

郭 鐘聲（Gwak, Jongseong）

拓殖大学・工学部・准教授

研究者番号：20826078

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：自動運転車両における車内環境制御システムの構築を目指し、シミュレーション環境における生体計測により、以下の成果が得られた。まず、温度変化がドライバに与える影響を調査し、手動運転とレベル3自動運転の差異を事象関連電位の計測により検証した。その結果、手動運転では温度変化に対する感度が低下し、適度な温度変化が覚醒を維持させながら運転タスクに必要な認知過程に与える影響は少ないと示唆された。さらに、覚醒度と照明環境の関係を調べた結果、高覚醒状態では高照度・高色温度環境によるパフォーマンス向上効果が弱まることが示され、照度と色温度の制御はドライバの覚醒状態に応じて調整する必要があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動運転車両における最適な車内環境制御に関する基礎的な知見を提供するものである。特に温度変化、照明条件、シートの快適性の要素をどのように制御すれば快適性を損なわず覚醒維持できるのかに注目し、ドライバの覚醒度と認知機能に与える影響を明らかにした。また、事象関連電位や生理指標を用いた評価手法の確立は、今後の類似研究における手法として活用できると考えられる。これらの知見は自動運転車の安全性と快適性を向上させるための具体的な設計指針を提供し、ドライバの快適性確保、負担軽減や交通事故の減少に寄与することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Aiming to develop an in-vehicle environment control system for automated vehicles, we investigated the impact of temperature changes on drivers and examined the differences between manual driving and Level 3 automated driving through the measurement of event-related potentials. The results revealed that in manual driving, drivers' sensitivity to temperature changes decreased, but their driving performance improved. This indicates that proper temperature changes have minimal impact on the cognitive processes necessary for driving tasks while maintaining alertness. Additionally, we explored the relationship between arousal and lighting factors. The findings showed that there is an optimal level of arousal for peak performance, and this can also be influenced by external stimuli. This suggests that controlling illuminance and color temperature should be adjusted according to the internal factors affecting arousal.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：覚醒 快適性 生体情報

1. 研究開始当初の背景

近年、SAE (Society of Automotive Engineers) が定める自動運転レベル 2 (部分的運転自動化) 以上の自動運転機能を搭載した車が市場に投入されている中、道路交通法の改正や国際基準の制定など国内外の動きによりレベル 3 (条件付き運転自動化) の開発が進んでいる。レベル 3 では、限定された条件でシステムが運転タスクを行うが、緊急時など、システム側の要求に応じてドライバーが操作を行う必要がある。その操作主体の交代の際には、システム安全性の確保とともに、ドライバーの覚醒維持が要求される。しかし、覚醒維持のためには外的刺激をドライバーに与える必要があり、その刺激の種類や強さによってドライバーの快適性が低下することが考えられる。ドライバーの覚醒度について、生理指標、行動指標、運転パフォーマンス指標などを用いた覚醒度低下の検知(阿部ほか, 2018)、機械学習を用いた眠気判別 (Naurois et al., 2019)、覚醒維持手法に関する検討 (星野ほか, 2016) など、国内外で多く研究されているが、車内空間の快適性とドライバー覚醒度の両方を考慮した研究はあまりなされていない。また、本研究の対象シーンである自動運転システムや、テイクオーバー時における安全性についても検討されているが(本間ほか, 2016)、車内空間の快適性評価や、快適性向上については安全性に比べ、まだ注目されていない。ドライバーは自動運転技術より運転負担が減り、あるいは運転から解放され、移動中に快適な時間を過ごすことが望ましいと考える。そのため、車内を構成する環境要素がドライバーの快適性・安全性に与える影響について明らかにする必要があると考えられる。

2. 研究の目的

自動運転を含む様々な運転モードにおけるドライバーの快適性と安全性の両方の向上を目指し、極力ドライバーの快適性を損なわず、適切に覚醒度をコントロールできるような車内環境制御システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

実装の容易性を考慮し、別途の装置を装備する必要性が比較的低い空調、照明を制御対象とする。また、ドライバーの生体計測に基づき、覚醒度と快適性をそれぞれ定量的かつ連続的に評価可能な手法を確立し、各環境要素のパラメータとドライバーの覚醒度、快適性との関連性を検討する。

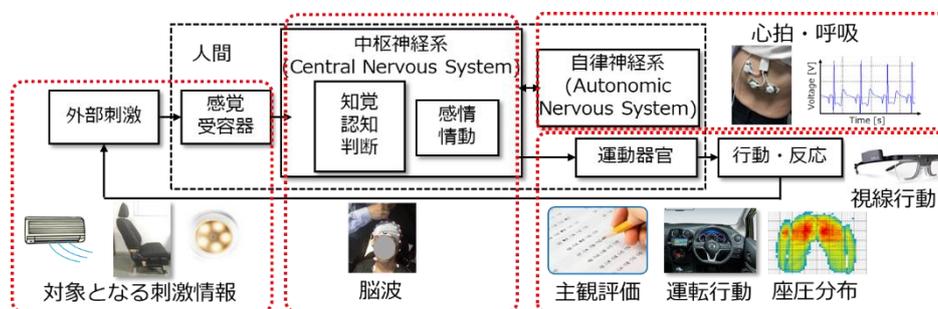


Fig.1 Physiological responses and measurements.

(1) 温度変化がドライバーの覚醒度および快適性に与える影響とそのメカニズムの解明

先行研究(Gwak et al., 2020)にて室内温度がドライバーの覚醒レベルと温熱快適性に影響を与えることが明らかになっており、その先行研究では運転タスク中のドライバーの皮膚温度の変化、温熱感覚と快適感の主観評価、覚醒レベルを分析した結果、環境温度の繰り返し変化がドライバーの温熱快適性を維持し、90分を想定した長距離運転中の覚醒の低下を抑制することが確認された。しかし、この効果のメカニズムについてまだ明らかでないため、本研究では、運転シミュレーション中にドライバーの状態と温熱刺激に対する知覚/認知特性を運転パフォーマンス指標および事象関連電位を用いて調査した。Two-factor (2x2) within-subjects design を用い、図 2 に示す 2 種類の温度条件 (ニュートラル/冷却) において、手動運転と自動運転 (レベル 3 相当) タスクを行わせることにより、適切な温熱刺激が運転タスクを遂行するために必要な認知処理に影響を与えないという仮説を検証した。本研究で用いる温度刺激は視聴覚刺激のように瞬時に与えられないため、課題非関連聴覚プローブを用い、温度刺激がある時とない時に聴覚刺激に対する反応の違いを調べることで、温度刺激に対する中枢神経反応を間接的に調べた。

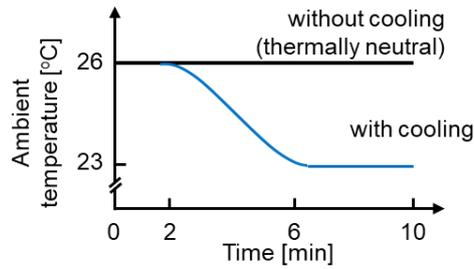


Fig.2 Thermal conditions.

(2) 覚醒度と照明環境の関連性検討

LED ライトの開発・普及により、光環境の照度や色温度の制御が容易になって来ており、様々な先行研究により照度や色温度が人の心理・生理やタスクパフォーマンスに与える影響について調べられている (Yu and Akita, 2023; Chen et al., 2022). ここでは車室内の光環境要素に加え、覚醒度の初期状態の違いが在室者に与える影響について調べた. 実験条件は初期の覚醒度を高めるためのカフェイン摂取とプラセボを、高照度・高色温度と低照度・低色温度と組み合わせた Two-factor (2×2) within-subjects design で設定した. ここでは基礎的な知見を得ることを目的とし、運転に比べ動作を極力行わない 10 分間の暗算を実験タスクとして設定した. タスク中には脳波と視線行動が測定された. 測定された脳波から視覚情報処理と関連する後頭葉部位の α 波の含有率を計算した. また、視線データから PERCLOS を覚醒度の指標として計算された. 1 分間の計算量をタスクパフォーマンス指標として算出し、条件ごとに比較をおこなった.

4. 研究成果

(1) 温度変化がドライバの覚醒度および快適性に与える影響とそのメカニズムの解明

本実験で設定された条件下では、事象関連電位 (ERP) 成分の中で P100, N200, および P300 成分が顕著に現れた (図 3). また、自動運転の場合に Cooling によってピーク振幅が減少する傾向がみられた. 特に P300 のピークは 2 要因分散分析の結果、Cooling の主効果が有意で、運転タスクの主効果と交互作用が有意傾向であり (図 4), 自動運転モードでは Cooling によりピーク振幅が減少する傾向がみられた. また、手動運転の場合の運転パフォーマンスの結果として、Cooling による SDLP と車間距離の標準偏差をそれぞれ図 5 に示す. SDLP について有意差は見られなかったが、車間距離の標準偏差については、Cooling ありの場合にその値が有意に下がる傾向がみられた.

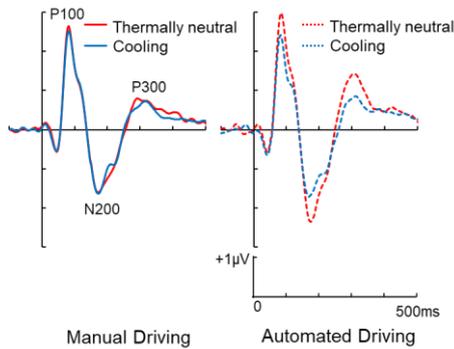


Fig.3 Grand-Average ERP Waves at Pz

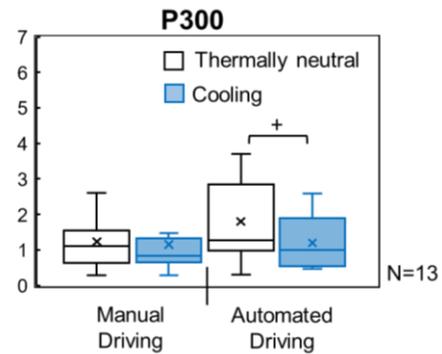


Fig.4 Grand-Average ERP Waves at Pz

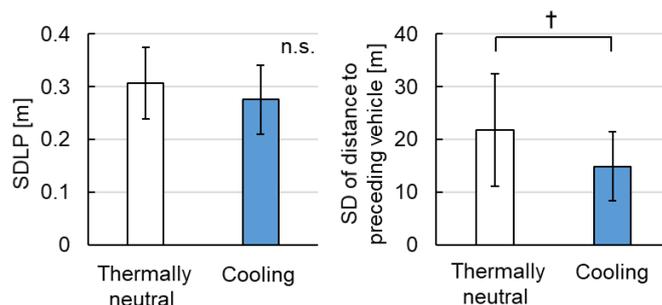


Fig.6 Indices of Driving Performance. Left and right indicates the SDLP and SD of distance to preceding vehicle

P300 は高次の認知処理と関連する指標であり、課題非関連聴覚プローブに費やしたリソースが減少したことは温度刺激にそのリソースを費やした結果であるとみられる。手動運転の際には運転タスクに費やすリソースが比較的多く、Cooling 刺激に注意資源が費やされず、Cooling に対する感度が減ったと推察する。一方、Cooling によるパフォーマンス向上効果が現れたことから、適度な温度刺激が運転タスクに必要な認知過程に影響を与えず、覚醒維持効果をもたらす可能性が示唆された。以上のことはドライバの安全性と温熱快適性の向上のための車室内の温度制御に関する重要な知見であると考えられ、運転タスクが温度刺激に対する感度に与える影響をより詳細に調べることにより、より最適な温度制御方針が立てられると考えられる。

(2) 覚醒度と照明環境の関連性検討

覚醒度と照明環境の関連性について検討した結果を図7に示す。図7の左は PERCLOS の結果を示しており、高い値は低い覚醒レベルを示す。分散分析によりカフェイン摂取が PERCLOS に有意な影響を与えることが明らかになった。カフェイン条件では PERCLOS が減少（覚醒を示す。）した。さらに、照明要素の主効果が有意傾向であった。高照度かつ高色温度条件で PERCLOS がわずかに減少した。図7の真ん中のグラフは後頭葉の α 波含有量の結果を示しており、分散分析により照明要素の主効果が有意傾向であった。高照度かつ高色温度で α 波含有量が減少する傾向がみられた。図7の右にタスクパフォーマンスの結果を示す。カフェイン摂取と照明要素がタスクパフォーマンスに有意な影響を与えることが明らかになり、かつ両要因間に有意な交互作用が見られた。カフェイン摂取状態では、高照度および高色温度のパフォーマンス向上効果が減少する傾向がみられた。

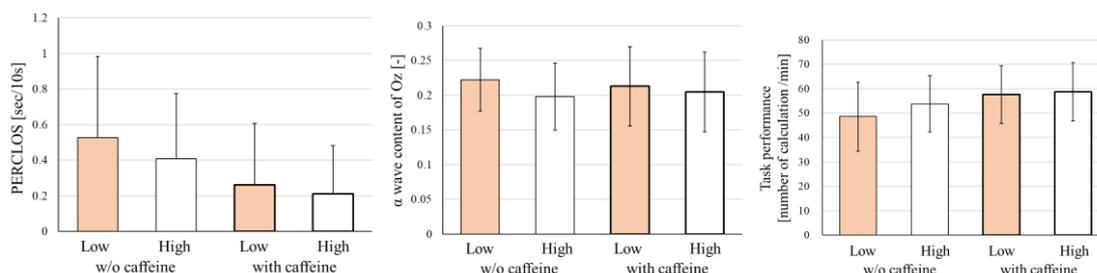


Fig.7 effects of arousal level and lighting factors on PERCLOS, alpha wave content, and task performance.

これらの結果は、高覚醒状態である場合、追加の照明刺激がさらなる覚醒効果を発揮しない可能性を示唆している。そして最適な覚醒レベルでピークパフォーマンスを達成するための法則である Yerkes-Dodson (1908) の法則を支持する結果であり、車内空間においても照度と色温度の制御はドライバの覚醒状態に応じて調整する必要があることが示唆された。

<参考文献>

- 阿部晃大ほか(2018), 自動運転時のドライバ覚醒維持を目的とした 各種タスク効果の脳波解析による比較, 自動車技術会論文集 49,2,423-427.
- 郭鐘聲ほか(2019), 車内の温度変化パターンの違いによるドライバの覚醒度と温熱快適性の変化, 自動車技術会論文集 50, 5,1146-1451.
- 星野博之ほか(2016), 運転環境に適合したサッカード誘導視覚刺激によるドライバ覚醒維持, 自動車技術会論文集 47, 3, 759-765.
- 本間亮平ほか(2018), 高度自動運転における権限委譲方法の基礎的検討 (第4報) - 運転以外の作業種類と作業画面への TOR 表示有無によるドライバ対応行動の比較 -, 自動車技術会論文集 49, 2, 396-402.
- Chen et al. (2022), Effect of Color Temperature and Illuminance on Psychology, Physiology, and Productivity: An Experimental Study, *Energies* 15, 4477.
- Naurois et al. (2019), Detection and prediction of driver drowsiness using artificial neural network models, *Accident Analysis & Prevention* 126, 95-104.
- Yerkes and Dodson (1908), The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation, *Journal of Comparative Neurology and Psychology* 18, 459-482.
- Yu and Akita (2023), Effects of illuminance and color temperature of a general lighting system on psychophysiology while performing paper and computer tasks, *Building and Environment* 228, 109796.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 郭 鐘馨、吉浪 讓、平尾 章成、小竹 元基
2. 発表標題 温度刺激に対するドライバの知覚・認知特性の運転タスクによる差異
3. 学会等名 自動車技術会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jongseong Gwak, Kenshiro Ide
2. 発表標題 An investigation of impacts of caffeine intake and lighting conditions on arousal and task performance using Uchida-Kraepelin Psychodiagnostic Test
3. 学会等名 15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2024) and the Affiliated Conferences (国際学会)
4. 発表年 2024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
---------	---------