

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04928

研究課題名(和文) 内発的動機づけの誘発による覚醒維持手法の確立

研究課題名(英文) Establishment of a method for maintaining arousal by inducing intrinsic motivation

研究代表者

中西 美和 (Nakanishi, Miwa)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授

研究者番号：70408722

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)：本研究課題は、人の内発的動機づけを誘発することは覚醒水準の維持に繋がるとの仮説に立ち、これを検証するとともに、特に安全致命性の高いオペレーションに従事する人への応用を目指して、内発的動機づけの誘発による覚醒水準維持手法を確立、最適化することを目的とした。研究成果として、心理学領域の知見に基づく内発的動機づけを誘発する手法の具体化、内発的動機づけを誘発する情報をオペレータに提示した場合の覚醒水準維持の効果検証、個人の覚醒水準の変化を機械学習によって予測し、効果的なタイミングで情報提示する方法の確立、外的刺激による覚醒維持手法(音、振動、ガム咀嚼)と比した提案手法の有効性の明確化を遂行した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題は、非侵襲的かつリアルタイムでの生理反応の計測とデータ処理、及び、機械学習による予測モデルの活用という、新たな諸技術によって可能な方法で取り組むテーマでもあり、その成果は、心理学、生理学、情報科学、データサイエンスなど、複数の領域と接する人間工学の新たな発展可能性を示すものと考えられる。また、運輸事業をはじめとした安全致命性の高いオペレーションに従事する人にとって、覚醒水準を適切に保つことは、事故防止の観点から極めて重要な課題であることは疑いがなく、人に不快さを与えず覚醒水準を維持する新たな手法の提案は、特にシステムの自動化が進む今日において、新たな問題解決を与えるものといえる。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we hypothesized that inducing intrinsic motivation in humans would lead to the maintenance of arousal levels, and verified this. In addition, we aimed to establish and optimize a method for maintaining arousal level by inducing intrinsic motivation, with the aim of applying it to people engaged in safety-critical operations. The research results are summarized below; 1) Realization of methods to induce intrinsic motivation based on knowledge in the field of psychology. 2) Verification of the effect of maintaining arousal level when information that induces intrinsic motivation is presented to the operator. 3) Establish a method for predicting changes in individual arousal levels by machine learning and presenting information at effective timings. 4) Clarification of the effectiveness of the proposed method compared with the arousal maintenance method (sound, vibration, gum chewing) by external stimulus.

研究分野：人間工学

キーワード：覚醒維持 内発的動機づけ 自動運転 機械学習

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

古くは航空機操縦やプラント運転、また近年では自動車運転に至るまで、システムの自動化が急速に進みつつある。これによって、安全性の向上が望まれる一方、人とシステムとの間のインタラクションが減少・単調化することで、人の覚醒水準が低下し、本来人が果たすべき監視や介入の能力喪失が懸念されている。運輸事業をはじめとした安全致命性の高いオペレーションに従事する人にとって、覚醒水準を適切に保つことは、事故防止の観点から極めて重要な課題であることは疑いがない。一方で、人の覚醒水準を維持することは、睡眠物質の蓄積に伴って生じる生理的欲求に反することでもあり、重要であると同時に、確度の高い手法を得ることが難しい課題であることも認識されている。

従来の覚醒維持のアプローチは、外的刺激によるものが主であった。例えば、警告音や香り、振動、ガムの咀嚼、カフェインの摂取などに代表されるもので、これらの効果に関しては多くの研究報告がある。しかしながら、いずれも、睡眠リバウンドが生じること、また刺激に対する不快感や違和感を生む場合もあるため、効果は限定的と結論付けられている。一方、人は内発的動機づけに基づいて熱中、集中している活動においては、覚醒した状態を保ちやすいことが経験的によく知られているが、このような人の内的側面、すなわち心理状態に着目した覚醒維持のアプローチについては、研究報告がほとんどなく、その実際的な効果も明らかにされていない。

本研究では、内発的動機づけを誘発することにより、覚醒水準を維持することに繋がるか否かにまず焦点を当てる。ここで、内発的動機づけと覚醒との関連性について、理論的な仮説が成り立つかどうか検討したところ、次のような機序が、過去の研究知見から期待できる。すなわち、1) 内発的動機づけにより、脳の報酬系が活性化し(村山ら,2010)、2) 報酬系に関連する大脳辺縁系の側坐核・扁桃核から、視床下部のオレキシンニューロンに入力が存在するため(桜井ら,2005)(吉田ら,2006)、3) オレキシンニューロンの活性化が、投射先の覚醒神経系を興奮させる(柏木ら,2016)との理論的な機序が成り立つ。この他にも、視床下部外側部に存在するオレキシンニューロンは、覚醒の誘導に重要な役割を果たすこと、オレキシンニューロンは報酬系との関連を持つことも示唆(Christian,2010)されており、これらのことを総合すると、本研究課題において、内発的動機づけの誘発によって覚醒水準を維持する工学的手法を探ることの価値、見込みは十分にあると考えられた。

### 2. 研究の目的

本研究課題は、人の内発的動機づけを誘発することは覚醒水準の維持に繋がるとの仮説に立ち、これを検証するとともに、特に安全致命性の高いオペレーションに従事する人への応用を目指して、内発的動機づけの誘発による覚醒水準維持手法を確立、最適化することを目的とする。本研究課題は、以下のフェーズ(0)～フェーズ(3)によって構成される。

フェーズ(0) 心理学領域の知見に基づいて内発的動機づけを誘発する手法を具体化する。

フェーズ(1) 内発的動機づけを誘発する情報をオペレータに提示した場合、覚醒水準が維持されるかどうかを各種生理指標計測を含む実験により、統計的に明らかにする。

フェーズ(2) より効果的な内発的動機づけ誘発のための情報提示方法を探索するために、個人の時系列の心理状態及び覚醒水準を計測し、その変化を学習によって予測し、それに基づいて高い確度で情報提示する方法について検討する。

フェーズ(3) 外的刺激による覚醒維持手法(音、振動、ガム咀嚼)と比較した、提案手法の優位性を実験的に検証する。

### 3. 研究の方法

上記のフェーズ (0) ~ フェーズ (3) は、それぞれ下記の方法で研究を遂行した。によって構成される。

フェーズ (0) 心理学領域の知見に基づいて内発的動機づけを誘発する手法を具体化する。

心理学領域の知見で挙げられている内発的動機づけを誘発する要因を整理し、オペレータの内発的動機づけを誘発する情報（言語情報）のリストを構築した。

フェーズ (1) 内発的動機づけを誘発する情報をオペレータに提示した場合、覚醒水準が維持されるかどうかを各種生理指標計測を含む実験により、統計的に明らかにする。

自動システムのオペレーションを模擬した PC ベースの実験システムによる実験を実施した。実験参加者 (11 名) に、フェーズ 0 で明らかにした情報を、タスク中にメッセージ提示する条件としない条件、さらにそれらを音声情報と視覚情報で提示する条件を組み合わせさせて試行させ、タスク中の内発的動機づけ、及び覚醒水準を計測するため、NIRS による脳血液量変化、脳波、呼吸、心電図、皮膚コンダクタンス水準の各種生理反応を計測した。得られたデータについて、内発的動機づけを誘発する情報をメッセージとして提示した条件における内発的動機づけの誘発、及び覚醒水準維持の効果に着目し、統計的有意性を検定した。

フェーズ (2) 効果的な内発的動機づけ誘発のための情報提示方法を探索するために、個人の時系列の心理状態及び覚醒水準を計測し、その変化を学習によって予測し、それに基づいて高い確度で情報提示する方法について検討する。

変化する覚醒水準を顔表情の変化及び生理反応の変化をリアルタイム計測して、リアルタイム推定するモデルを構築するため、データ取得実験を行い、機械学習によるモデルの探索を行った。実験参加者 (10 名) に、自動システムのオペレーションのタスクを 3~8 回試行させ、各種データを計測した。また機械学習モデルとして、LBPH(Local Binary Patterns Histogram)による特徴量抽出と学習を実施し、精度を検討した。さらに、異なる覚醒水準で内発的動機づけを誘発する情報をメッセージとして提示し、その後の覚醒水準に対する影響を評価する実験を行い、最も効果的な情報提示のタイミングを探索した。実験参加者は 9 名で、各人の覚醒水準を 5 段階でリアルタイム推定して、タスク中 1 度だけ、所望の覚醒水準に低下したタイミングでメッセージを提示した。タスク中の内発的動機づけ、及び覚醒水準を計測するため、フェーズ 1) 同様の各種生理反応を計測した。

フェーズ (3) 外的刺激による覚醒維持手法（音、振動、ガム咀嚼）と比較した、提案手法の優位性を実験的に検証する。

既存手法に対する提案手法の優位性を確認するため、音、振動、ガム咀嚼の条件と、フェーズ 2) で明らかにした個人の覚醒水準の変化も加味した、内発的動機づけを誘発するメッセージ提示の条件とで、再度同タスクの実験を行い、各条件を比較した。実験参加者は 10 名で、各人が、何も刺激がない場合、音、振動、ガム咀嚼、内発的動機づけを誘発するメッセージ提示の各 5 条件を 1 回ずつ試行した。タスク中の内発的動機づけ、及び覚醒水準を計測するため、フェーズ 1) 同様の各種生理反応を計測した。

なお、上記の実験はいずれも、慶應義塾大学理工学部・理工学研究科生命倫理委員会の承認を経て実施した。

#### 4. 研究成果

各フェーズによって得られた成果の概要は、以下の通りである。

フェーズ (0) 心理学領域の知見に基づいて内発的動機づけを誘発する手法を具体化した。

心理学文献を調査し、内発的動機づけの要因を抽出した結果、環境に効果的に関わりながら学んでいこうとする傾向性を意味する有能感、行為を自ら起こそうとする傾向性を意味する自律性、他者やコミュニティと関わろうとする傾向性を意味する関係性の 3 つの欲求を満たすことで、内発的動機づけが高まるとの知見を得た。さらに、上記の特性要因図に基づいて、自動システムと人のインタラクションにおける内発的動機づけを誘発する情報提示を、自動運転を例として導出した。

フェーズ (1) 内発的動機づけを誘発する情報をオペレータに提示した場合、覚醒水準が維持される効果が見られることを明らかにした。

何も情報を提示しない場合、テキストで走行案内情報（ナビゲーション）を提示した場合、音声で走行案内情報（ナビゲーション）を提示した場合、及び内発的動機づけを誘発する情報提示を音声で行った場合の 4 条件を比較したところ、内発的動機づけを誘発する情報提示を音声で行った場合において、特に脳波の  $\alpha$  波成分及び呼吸間隔（図 1）の結果に、覚醒維持効果が見られた。

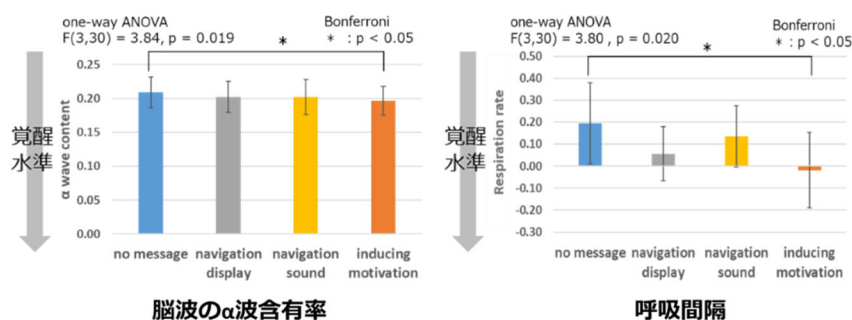


図 1 生理指標による覚醒水準の評価（内発的動機づけを誘発する情報提示を含む条件間比較）

フェーズ (2) 効果的な内発的動機づけ誘発のための情報提示方法を探索するために、個人の時系列的に変化する覚醒水準を予測するモデルを構築し、覚醒維持効果の高い情報提示タイミングを導出した。

走行中の顔画像をリアルタイムで取得し、LBPH(Local Binary Patterns Histogram)による特徴量抽出と学習によって、覚醒水準を 5 段階で推定するモデルを構築した。推定結果の 1 例を図 2 に示す。

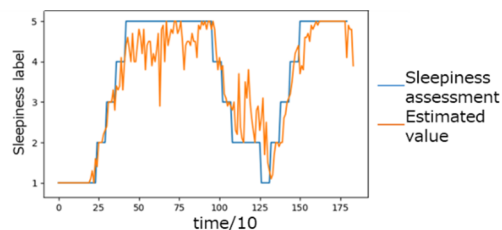


図 2 覚醒水準推定モデルの推定結果の一例

各回のデータに対してモデルによる推定を行い、モデルの精度を検証するために、眠気（ $\Leftrightarrow$ 覚醒水準）の主観値と推定値の差の絶対値（推定のずれ）の平均値を算出したところ、2 回分のデータを除いて推定のずれは 1 以下の値となった。

上記の覚醒水準推定モデルを用いて、覚醒水準の推定値が段階間で変化する際に、内発的動機づけを誘発する情報提示をした場合としなかった場合を比較した。図3に、横軸に内発的動機づけを誘発する情報提示のタイミングを0とした経過時間（分）、縦軸に覚醒水準の推定値を示す。覚醒水準が1→2に変化する際、及び2→3に変化する際は、覚醒水準が3分程度維持されること、また、3→4に変化する際は、覚醒水準が10分程度維持される傾向が見られた。一方、4→5に変化する際、覚醒水準の改善は見られず、低下が続く傾向が見られた。

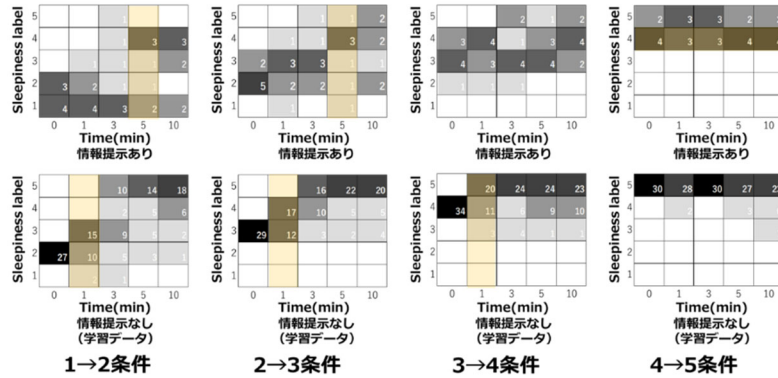


図3 覚醒水準の推定値が変化した各タイミングにおける内発的動機づけを誘発する情報提示の覚醒維持効果

フェーズ (3) 外的刺激による覚醒維持手法（音、振動、ガム咀嚼）と比較し、提案手法の優位性を明らかにした。

内発的動機づけを誘発する情報提示と、既存の眠気対策法（警告音、振動、香り、ガム咀嚼）を比較したところ、各種生理指標は図4のような結果を示した。これらを総合すると、内発的動機づけを誘発する情報提示は、振動及びガム咀嚼と同程度の覚醒維持効果が得られることが示された。一方、ガム咀嚼については、途中で吐き出すことができる点、また振動は不快感が伴う点を考慮すると、内発的動機づけを誘発する情報提示は、不快感を軽減しつつ、覚醒水準を維持できる方法として期待できる。

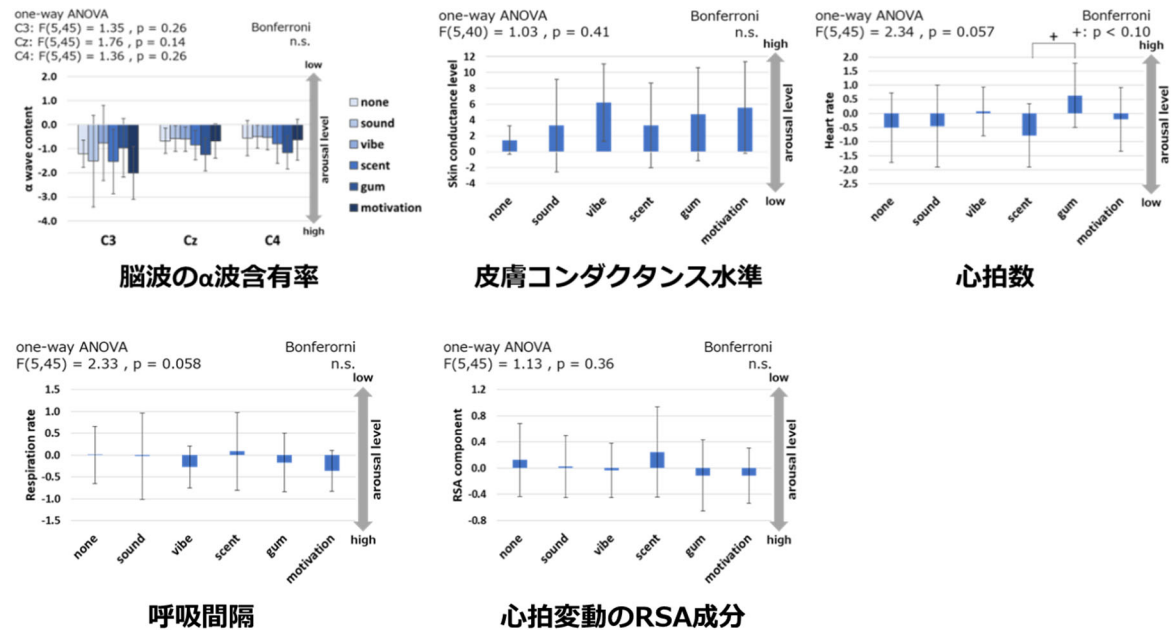


図4 各種生理指標における既存の眠気対策法と提案手法の覚醒維持効果に関する比較

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 1件）

1. 著者名 Yuki Mekata, Miwa Nakanishi	4. 巻 -
2. 論文標題 Construction for Multistage Arousal Level Estimation and Application to Real-Time Feedback Model Using Face Images Aime	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ヒューマンファクターズ	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 目片悠貴, 中西美和
2. 発表標題 内発的動機づけの誘発による覚醒維持手法と既存の眠気対策法との効果の比較
3. 学会等名 自動車技術会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 目片悠貴, 中西美和
2. 発表標題 多次元生理指標データの学習による覚醒水準推定モデルの構築
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020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
---------	---------