

# 室内環境・生体情報による 複数のセンサを用いた非接触集中度推定測定システム

川隅恭介†1 岩井将行†2

**概要:** 本研究では、複数の非接触センサを用いて取得したデータから、利用者の集中力を数値化し、集中力の低下を検知することで、交通事故やその他重大なミスの防止、または学習効率や知的生産性の向上を目的としている。利用者の集中力は、室内の空気環境と利用者の生体情報からの数値化する。具体的には、空気環境として室内の二酸化炭素濃度や温湿度、生体情報として利用者の瞬きの回数や目を閉じている時間を検知し、それらの数値から利用者の集中力を複合的に推定する。本稿では、その推定結果と、計算力を必要とする問題に回答した時の時間や正誤を測定してわかった、実際の利用者の集中力を比較することで、室内の空気環境や利用者の生体情報から、利用者の集中力を推定することが可能なかどうかを考察する。実際の利用者の集中力は、思考力を必要とする作業を行うときの作業時間や体感時間、回答の正誤から測定する。また、単一のセンサを使用する場合と複数のセンサを複合的に使用する場合の集中力の検知効率を比較し、使用リソースや誤検知の増減の検証を行った。その結果、単一のセンサを使用する場合よりも複数のセンサを使用する場合の方が、より効率よく集中力を数値化することができるという知見が得られた。

**キーワード:** 集中力推定, 室内環境, 二酸化炭素濃度, 温湿度, 生体センシング, 瞬き

## Non-contact concentration-level estimation system using multiple-sensors

Kyosuke KAWASUMI†1  
Masayuki IWAI†2

**Abstract:** In this research, from the data acquired by using multiple non-contact sensors, by converting the user's concentration ability into numerical values and detecting a decrease in concentration, it is possible to prevent traffic accidents and other serious mistakes. It is aimed at improving and improving operations. The user's concentration ability is quantified from indoor air environment and user's biological information. Specifically, it detects the concentration of carbon dioxide in the room, temperature and humidity, the number of blinks of the user as the biological information and the time when the eyes are closed as the air environment, and compares the concentration of the user from these numerical values presume. In this paper, we compare the estimation result with the concentration of actual users measured by several methods, so that it is possible to estimate the concentration of the user from the indoor air environment and the user's biological information. Consider whether it is possible or not. Concentration ability of actual users is measured from working time and sensible time when doing tasks requiring thought power, correctness of answers. In addition, we compared the detection efficiency of concentrating power when using a single sensor and when using multiple sensors in combination, and verified the increase and decrease of used resource and erroneous detection. As a result, it was found that the concentrating power can be quantified more efficiently when using a plurality of sensors than in the case of using a single sensor.

**Keywords:** concentration force estimation, indoor environment, carbon dioxide concentration, temperature and humidity, biometric sensing, blink

### 1. 序論

近年、自動車の制御技術の向上や交通安全基本計画<sup>[1]</sup>の継続的な実施によって、交通事故件数が減少傾向を示している。平成26年の交通事故死者数は4,113人となり、14年連続で減少し、6年連続で5,000人を下回り、過去最悪であった昭和45年の1万6,765人の4分の1以下となってきている。しかしながら、交通事故死者数の減少幅は年々縮小傾向にあり、交通事故死者数全体に占める65歳以上

の高齢者の割合が高い水準で推移している。また、死者数の指標となる致死率についても2年連続で上昇に転じており、死者数が減りにくい状況となっている。さらに、死傷者数についても、それまで減少傾向にあった年間交通事故死傷者数が増勢に転じた昭和55年と比較すると、平成26年の死傷者数は1.18倍となっている。なお、平成26年中の死傷者数は71万5,487人と10年連続で減少したものの、依然として高い水準にある。自走車保有台数、走行距離、免許取得者数についても、ともに増加傾向にあり、現状の

†1 東京電機大学大学院未来科学研究科情報メディア学専攻  
Tokyo Denki University, Graduate School of Science and Technology for  
Future Life

†2 東京電機大学未来科学部情報メディア学科  
Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life,  
Department of Information Systems and Multi-media Design

自走車交通システムでの事故防止を難しくしている要因なっていると考えられる。しかし、道路整備、信号機、道路標識等の交通安全施設の増設といった交通システムの改善には総合的かつ長期的な施策が必要であり、自動運転技術をはじめとする急速な交通社会の変化に対応することは難しい。さらに年間70万件以上ある交通事故件数のうち、居眠りや前方不注意、ハンドルの操作ミスなどの集中力の低下が影響していると思われるものは全体の50%を超えている。実際に、自走車運転中の運転手に集中力の低下や眠気の発生が見られることは多くの研究で報告されている<sup>[2]-[6]</sup>。今後、より一層安全な交通社会を目指すためには運転者の状況判断力や注意力、そして集中力自体の把握が必要不可欠であるといえる。

また、2015年8月に閣議決定された改訂版「日本再興戦略」で議論されていたが、企業の生産性の向上は日本の大きな課題の一つである<sup>[7]</sup>。主たる知的生産の場であるオフィス環境を設計する際には、省エネルギー性と並んで知的生産性が重要視されている。省エネルギー性は基準値を設定することで、ある程度絶対的な評価が可能である。また、オフィス間での相対的な比較も可能である。しかし、企業活動の最終的なアウトプットである知的生産性はオフィス環境との直接的な対応付けが難しいとされている。さらに、IoTやビッグデータ等のように新しい技術が企業でも次々と導入されてきており、知的生産性と共に学習効率の向上も注目されてきている。そして、知的生産性や学習効率の観測は集中度が汎用的な指標になると言われている<sup>[8]</sup>。

そこで本研究では、集中力を客観的に把握することで、利用者の意識を改善し交通事故やその他重大なミスの防止、または学習効率や知的生産性を向上させることを目的とする。集中力を把握するために、集中力の低下に幾つかある要因の中から、外的要因である室内の環境と内的要因である利用者の生体情報に関して考察する。

室内の温熱環境の差異が、利用者の認知・行動様式に影響を及ぼす事が内田ら<sup>[9]</sup>の研究で報告されている。村上ら<sup>[10]</sup>は実験室実験及び現地実測に実施により、室内の温熱・空気環境が学習効率並びに集中力に及ぼす影響を検討している。橋本ら<sup>[11]</sup>は温熱・空気環境といった室内環境の質が集中力に及ぼす影響を考察している。また、室内の二酸化炭素濃度と集中力の低下や眠気にも密接な関係がある。アメリカのローレンス・パークレー国立研究所の研究報告によると、人間の思考力は二酸化炭素濃度が1000ppmを超えると低下し始め、2500ppmを越えたあたりから急速に低下し、集中力や意思決定に支障をきたすことが確認されている<sup>[12]</sup>。

以上より、室内環境の中でも特に温湿度と二酸化炭素濃度を観測することで、集中力の低下を検知できる可能性が高いと考えられる。しかし、温湿度や二酸化炭素濃度はあくまで集中を阻害する外的要因であり、単体では集中力の

指標にすることは難しいと考えられる。

集中力を推定する生体情報は、脳波を利用する手法が一般的である<sup>[13]-[15]</sup>。しかし、脳波から測定する手法はどれも接触型のデバイスを装着しなければならないため、自動車車室内やオフィスでの作業時に集中力を測定する本研究の目的には向いていない。そこで、本稿では非接触で測定することができ瞬目活動、つまり瞬きに注目する。田中ら<sup>[16]</sup>は瞬目運動と集中力の関係性について考察している。兜森ら<sup>[17]</sup>の研究では、瞬きの回数をWebカメラで計測し、瞬きが多いほど集中力の低下がみられると報告している。

以上より、利用者の生体情報の中でも非接触で測定できる瞬きを観測することで、自動車車室内やオフィスでの集中力の低下を検知できる可能性が高いと考えられる。しかし、瞬き回数の検知にはある程度の画質の画像処理が必要であり、常時観測するにはマシンスペックと電力消費が要求される。

そこで、外的要因である室内の温湿度と二酸化炭素濃度が設定値を超えた場合に、内的要因である利用者の瞬きの回数を計測し、集中力の低下を検知する手法を提案する。

## 2. 研究概要

本研究の研究目的及び提案手法、また提案するシステムの実装環境、システム構成は以下の通りである。

### 2.1 研究目的

本研究は、利用者自身では認識することが難しい、利用者の集中力を数値化し、集中力の低下を検知することで、交通事故やその他重大なミスの防止、または学習効率や知的生産性の向上を目的としている。

### 2.2 提案手法

集中力低下の外的要因である室内の温湿度と二酸化炭素濃度が、あらかじめ設定した値を超えた場合に、内的要因である利用者の瞬きの回数を計測し、集中力の低下を検知する手法を提案する。以下、集中力の数値化を目的とした内外的要因利用手法とする。

集中力の数値化を目的とした内外的要因利用手法は、自動車内やオフィスなどでも容易に利用可能なように、非接触で行うものとする。

また、室内の温湿度と二酸化炭素濃度は、NDIR (Non Dispersive Infrared Gas Analyzer) 方式の気体センサを利用して測定し、得られたデータはリレーショナルデータベースに保存する。

利用者の瞬きの回数は、Webカメラで撮影した画像は顔認識APIを利用して画像認識し、人の顔の特徴点を抽出して、連続で撮影した画像の前後の差分を計算して測定する。瞬きの回数は通常1分間に15-20回程度で、1回の瞬きで目を閉じている時間は0.10-0.15秒程度であるとされている。よって、今回はfpsを20に設定し、ある1秒間に瞬きをしたのかを観測した。また、短い時間に瞬きが連続して

起こる現象である瞬目群発が起こって、同じ1秒間に複数回瞬きをした場合でも、今回は瞬きの回数は1回とカウントして計測する。

### 2.3 事前実験

温湿度や二酸化炭素濃度、瞬きの回数を利用者の集中度と結び付けて相対的な指標とするために、それぞれの関係性を測定する事前実験を行った。また、温湿度に関しては、先行研究を参考にして不快指数<sup>[18]</sup>を算出し、その値と集中度との関係を計測した。なお不快指数は以下の計算式から求められる。

$$(\text{不快指数}) = 0.81 \times T + 0.01 \times H \times (0.99 \times T - 14.3) + 46.3$$

※Tは乾球気温℃、Hは湿度%とする

#### 2.3.1 事前実験概要

被験者には温湿度と二酸化炭素濃度を調整し、密閉されている部屋に入って、以下のような四則演算の問題を30分間で解けるだけ解いてもらった。

例) 問1  $5+25/5-4*18/3+13$

以下の式で求められる値を利用者の実際の集中度とする。

$$(\text{集中度}) = P + SP \times 2$$

※解いた問題数をP、その内で正解した問題数をSPとする。

また、瞬きの回数は1分間に何回瞬きしたかを計測した。

#### 2.3.2 事前実験詳細

室内の温湿度や二酸化炭素濃度は気体センサをマイコンコンピュータに接続し、測定したデータをマイコンコンピュータのローカルのデータベースに保存した。

瞬きの回数はWebカメラを気体センサと同じマイコンコンピュータに接続して、利用者の顔を撮影し、顔認識APIであるFace++APIを利用して割り出した顔の特徴点から、眼と眉の距離の変化を以下の図のように計算し、瞬きを検知した。

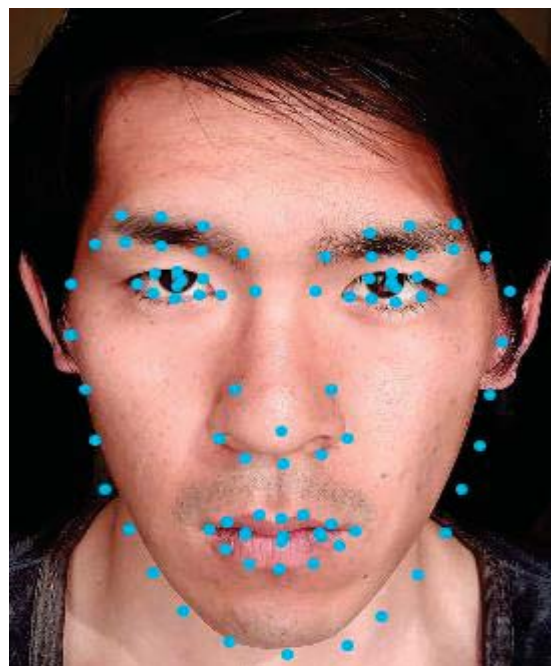


図1 顔の特徴点

※画像右の顔の輪郭にあつてない部分はFace++の認識によるズレ

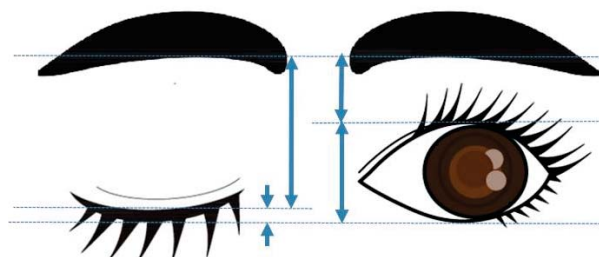


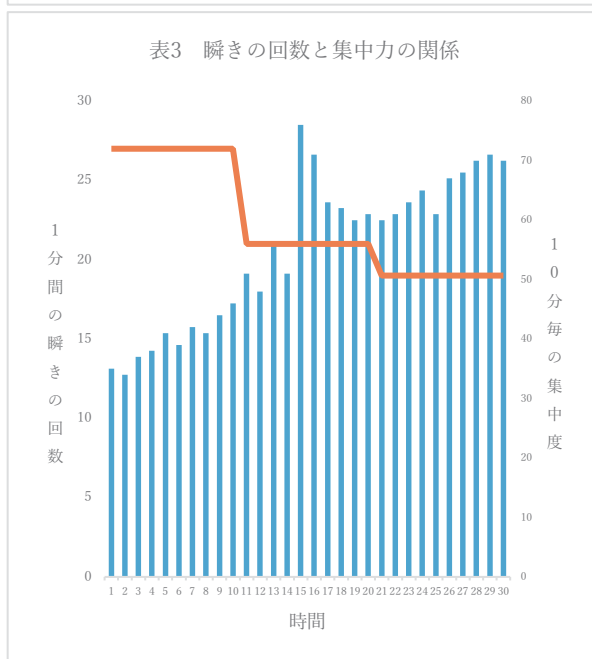
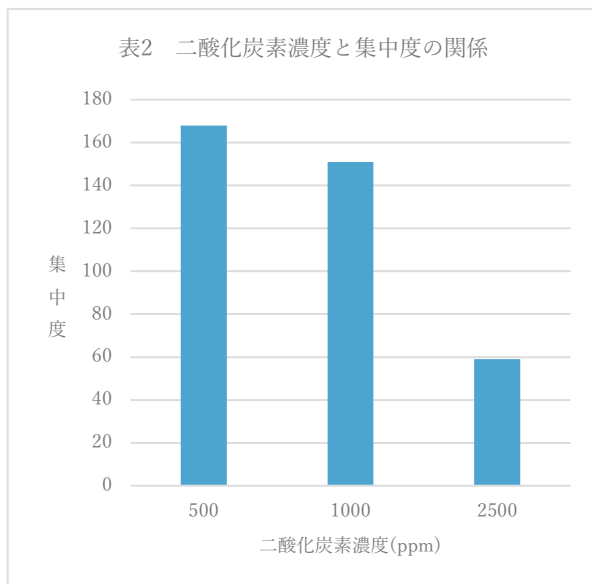
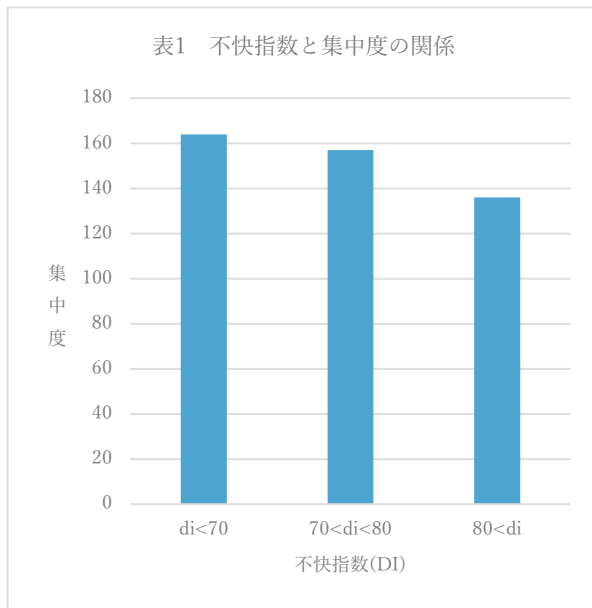
図2 眼と眉の距離の変化

また、二酸化炭素濃度の調整のため、被験者はあらかじめ部屋で待機し、室内の二酸化炭素濃度がそれぞれ600ppm、1,000ppm、2,500ppmに達した時点から、問題の回答を開始した。温湿度の調整は加湿器とエアコンを利用し、不快指数が通常時の70以下、何人かの人が不快に感じる70以上80以下、ほとんどの人が不快に感じる80以上の室内環境で計測を行った。

瞬きに関しては、集中度を、問題を解き始めて最初の10分間、その次の10分、最後の10分に3分割し、それぞれの集中度と30分間の瞬きの回数の推移を比較した。また、回答開始から15分経ったところで騒音を流し、故意に集中を阻害して観測した。

#### 2.3.3 事前実験結果

事前実験の結果は以下のとおりである。



以上の結果より次のことが分かった。

- ◆ 表 1 より不快指数が上昇すればするほど集中度が下がる事がわかった
- ◆ 表 2 より二酸化炭素濃度が上昇すればするほど集中度が下がる事がわかった
- ◆ 表 3 より集中度が下がると瞬きの回数が増える事が分かった

#### 2.4 提案システム

事前実験の結果より、不快指数と二酸化炭素濃度が上がると集中度が下がることが分かった。

そこで、省マシンスペック、省電力のために常時瞬きの回数を測定するのではなく一定間隔で瞬きの回数を測定し、不快指数や二酸化炭素濃度が基準値を上回ったらそれに付随して瞬きの回数を測定する手法を提案する。

ところで、不快指数と集中度に関して事前実験結果から得られた近似式は以下の式になる。

$$\text{式 1) } y = -14.0x + 180.3$$

二酸化炭素濃度と集中度に関する近似式は以下の式になる。

$$\text{式 2) } y = -54.5x + 235.0$$

上記の式の傾きはそれぞれの指標が集中度に影響を与える度合いになるので、二酸化炭素濃度の方が不快指数よりも4倍ほど集中度に影響を与えると言える。よって不快指数と二酸化炭素濃度から集中度を推定する時に、二酸化炭素濃度の方により比重を置くこととする。具体的には二酸化炭素濃度は基準値を上回った場合、即座に瞬きの回数を測定するのに対し、不快指数は4回以上連続で基準値を上回っていた場合のみ瞬きの回数の測定を行う。

また、不快指数と二酸化炭素濃度の集中度推定のための基準値に関しては以下のように設定する。

不快指数の基準値は、集中度が安定して150を下回る不快指数80に設定する。二酸化炭素濃度の基準値は同じく集中度が150を下回る1000ppmに設定する。

瞬きの回数に関しては1秒に1回、1分間に60回を上回ったら、集中度が落ちていているとする。

#### 2.5 実装環境

本システムを実装するデバイスにはARMプロセッサを搭載したシングルボードコンピュータであるRaspberry Pi 2 model Bを利用した。室内の二酸化炭素濃度・温度・湿度を測定する気体センサには株式会社ユードムのCO2デテクタを利用し、測定した情報はRaspberry Piに構築したデータベースに入力して使用するときに必要な値を取り出せるようにした。データベースにはSQLiteを使用した。使用言語は基本的にPython2.7を使用した。CO2デテクタとの相性の問題で、データベースにデータを受け渡す部分はRuby2.0を使用した。また、Webカメラで撮影した画像か



ら顔の特徴点の座標を検知するために、顔認識 API である Face++API を利用した。なお、ローカルのライブラリではなく API を利用したのは、Raspberry Pi ではローカルで顔認識の処理をすることが難しいためである。割り出した顔の特徴点から、眼と眉の距離の変化を計算し、瞬きを検知した。

また、以下は本システムで温湿度と二酸化炭素濃度を測定した気体センサである。



図3 UDOM社製 CO2 デテクタ C2D-W02TR

次に今回使用した主なソフトウェアや開発環境を示す。

表4 ソフトウェアや開発環境

OS	Raspbian Jessie
使用言語	Python2.7, Ruby2.0
データベース	SQLite3.8.2
顔認識 API	Face++API

### 2.6 システム構成

本システムの構成を以下に示す。

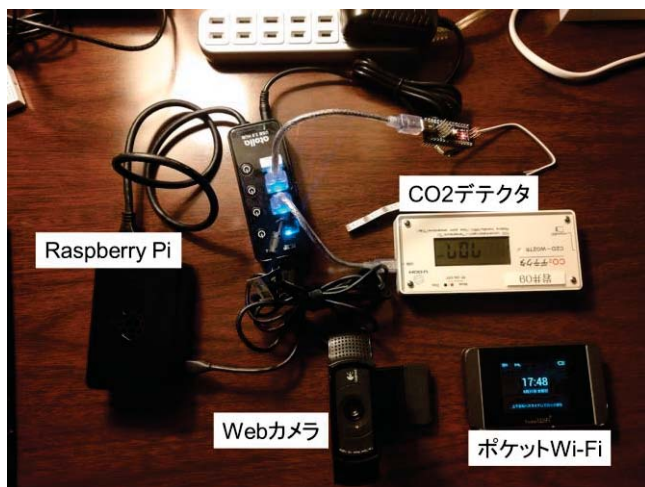


図4 本システムの構成

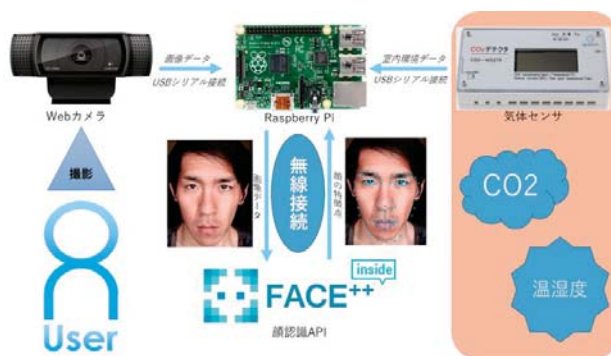


図5 システム概念図

### 3. 評価実験

この章では、前章で提案したシステムの評価を行う。提案手法の他に、瞬きの回数のみを監視する手法と、室内環境のみを監視する手法の3つを比較し、推定される集中度や消費電力、CPU使用率にどのような影響が出るかを検証した。今回も事前実験と同様に、被験者に問題を解いてもらい実際の集中度を測定した。推定される集中度の誤検知は False negative と False positive を分けて観測した。また、消費電力と CPU 使用率に関しては Raspberry Pi での利用を前提に測定した。



図6 評価時の様子

#### 3.1 実験概要

理系大学生 30 人を対象に実験を行った。事前実験と同じように、被験者には 30 分間四則演算の問題に回答してもらい、先ほどの3つの手法で推定される集中度や消費電力、CPU使用率を観測し、記録した。

#### 3.2 実験結果

以下に、実験によって得られたデータを示す。

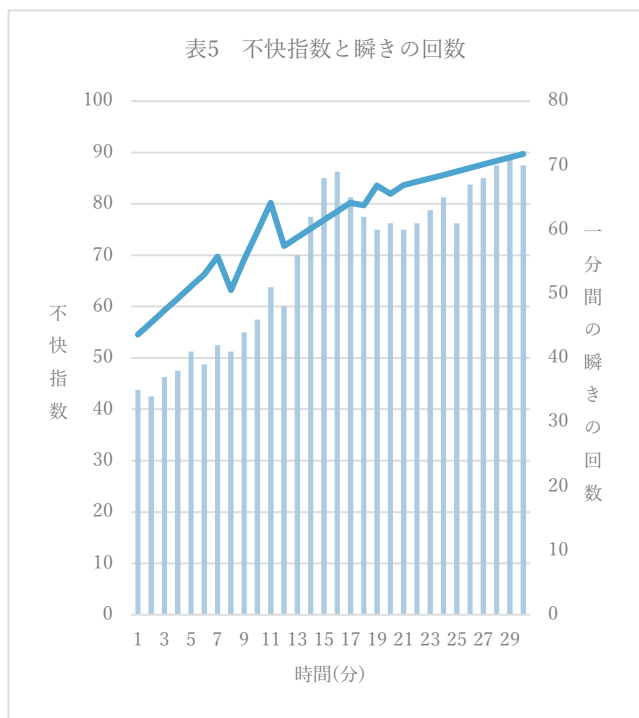


表5から、不快指数が基準値を超えたときの瞬きの回数の変化がわかる。

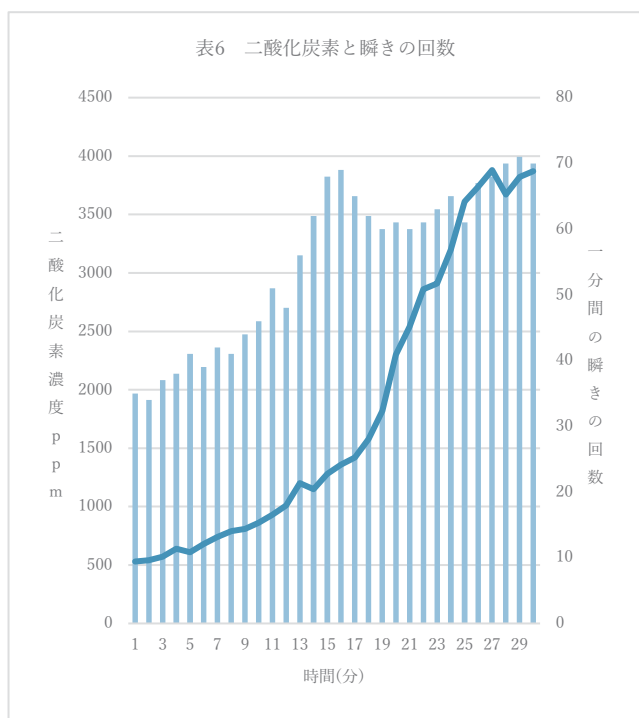
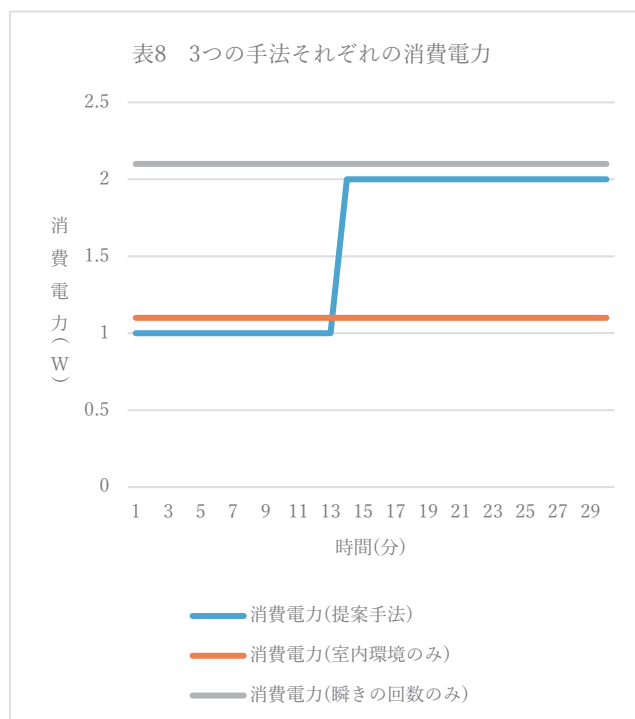
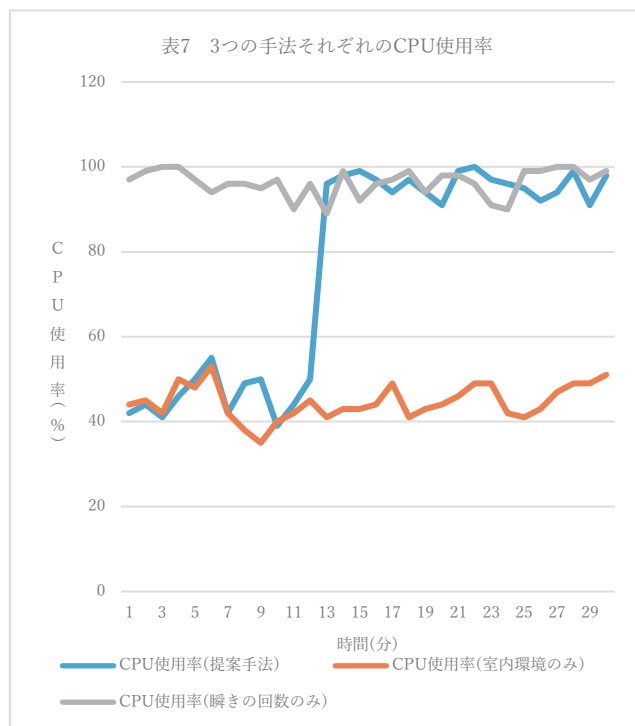


図6から二酸化炭素濃度が基準値を超えたときの、瞬きの回数の変化がわかる。



また、集中度の誤検知 False negative と False positive は、提案手法では 30 分のうち False negative が 1 箇所、False positive が 1 箇所であった。室内環境のみを利用した場合は、False negative が 4 箇所、False positive が 1 箇所であった。瞬きの回数のみを監視する方法では提案手法と同じく、False negative が 1 箇所、False positive が 1 箇所であった。

図7・図8より、CPU 使用率と消費電力に関しては、画像処理を行う場合は、室内環境を計測する場合の 2 倍ほどの CPU や電力が必要なことがわかった。

### 3.3 考察

実験の結果より得られた知見を以下にまとめる。

#### 3.3.1 提案手法について

実験結果より、提案手法では常時画像処理を行う場合の3分の2ほどのCPU使用率と消費電力で集中力の推定が出来ることがわかった。更に、誤検知についても、瞬きの回数のみを監視する場合と検知率は変わらなかった。しかし、室内環境が設定値を常に上回っている場合は瞬きの回数のみを監視する場合と同じなので、CPU使用率や消費電力が上昇すると考えられる。誤検知についても、途中で換気を行うなどして室内環境に変化を与えた場合では、また違う結果が得られる可能性がある。

#### 3.3.2 その他の2つの手法について

実験結果より、室内環境のみを監視して集中度を推定する手法はCPU使用率や消費電力は少ないが、外的要因でしか判断できないので、誤検知が多く出てしまった。瞬きの回数のみを監視する手法はCPU使用率や消費電力が高いが、利用者の集中力は最も正確に推定出来る手法であると考えられる。利用の用途などによって手法を使い分けるのも有効な方法であると言える。

### 4. まとめ

本研究の目的であった、利用者の集中力の数値化のための指標を計算し、集中力の低下を検知する事が出来た。また、単一のセンサを使用する場合よりも複数のセンサを使用する場合の方が、CPU使用率や消費電力などの面で、より効率よく集中力を数値化することができる場合があるという知見が得られた。

今後の展望としては、今回利用した、温湿度、二酸化炭素濃度、瞬きの回数以外にも、知的生産性や学習効率、集中力に影響している要因を観測し、本手法に取り入れる事でより正確で効率的な集中力の数値化システムを提案していきたい。

具体的には、外的要因として、室内の照明や色など視覚的なもの、音楽や環境音等の聴覚的なものを利用する。また内的要因としては、姿勢や身体の動き等、体温や発汗、体臭なども利用出来ると考えている。

### 参考文献

- [1] 交通安全白書 平成27年度版, 2015, 総務省
- [2] 石橋富和, 夜間運転時の疲労, 交通科学, 21-2(1992), 89-90.
- [3] 西村千秋・小坂明生・常光子和・吉沢修治・南雲仁一. 皮膚電気水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試み I 一路上運転時の皮膚電気変化, 人間工学, 23(1987a), 103-110.
- [4] 西村千秋・小坂明生・常光子和・吉沢修治・南雲仁一. 皮膚電気水準による自動車運転時の覚醒水準評価の試み II 一諸生理量の比較. 人間工学, 23(1987b), 111-118.
- [5] 加藤正明, 交通事故誘因の徹底分析知られざる原因とドライバーの意識, (1993), 134, 技術書院.
- [6] Summala, H. and Mikkola, T., Fatal Accidents among Car and Truck Drivers: Effects of Fatigue, Age, and Alcohol, Human Factors, 36-

- 2(1994), 315-326.
- [7] Prime Minister of Japan and His Cabinet, "Japan Revitalization Strategy-JAPAN is BACK-" : [http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/en\\_saikou\\_jpn\\_hon.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/en_saikou_jpn_hon.pdf) , cited 29 August, 2015.
- [8] パナソニック株式会社 エコソリューションズ社 "快適性・知的生産性を考慮した照明・空調の省エネ制御の実証評価" <https://www.env.go.jp/earth/setsudenco2/jigyoku2.pdf> , 3月2014年.
- [9] 内田仁, 松尾典義, & 大北幸宏. (1994). 自動車車室内温熱環境の運転者反応時間を与える影響. 衛生工学シンポジウム論文集, 2, 172-175.
- [10] 村上周三, 伊藤一秀, ポール ワルゴッキ: 教室の環境と学習効率, 建築資料研究社, pp44-108, 2007.10.
- [11] 橋本哲, et al. "室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究." 空気調和・衛生工学会論文集 93 (2004): 67-76.
- [12] BERKELEY LAB, Elevated Indoor Carbon Dioxide Impairs Decision-Making Performance, Feature Story Julie Chao (510) 486-6491 • OCTOBER 17, 2012.
- [13] 野田さとみ, and 佐久間春夫. "手指の運動を伴う遊びにおける脳波および覚醒度・快感度の変化について." バイオフィードバック研究 36.1 (2009): 41-46.
- [14] 稲田脩二, et al. "O-045 脳波によるヒューマンエラーの予兆となる注意力の低下の検知 (O 分野: 情報システム, 一般論文)." 情報科学技術フォーラム講演論文集 12.4 (2013): 627-630.
- [15] 高桑栄松, et al. "集中維持機能 (TAF) に関する研究 (IX)." 日本衛生学雑誌 21.6 (1967): 397-402.
- [16] 田中裕. "覚醒水準と瞬目活動." 心理学研究 70.1 (1999): 1-8.
- [17] 兜森仁志, et al. "web カメラを用いた瞬き検出による集中度評価." 情報処理学会第 77 回全国大会 2 (2015): 05.
- [18] 武田 京一. 体感気候と不快指数. 気象集誌 : 日本気象学会誌 : journal of the Meteorological Society of Japan / 日本気象学会 編. 41(6) 1963.12. ISSN 0026-1165.