

知的集中状態を客観定量的に評価する手法開発の取り組み Development of a quantitative and objective evaluation method for intellectual productivity

上田 樹美[†], 下中 尚忠[†], 下田 宏[†], 石井 裕剛[†], 大林 史明[‡]
Kimi Ueda, Shota Shimonaka, Hiroshi Shimoda, Hirotake Ishii, Fumiaki Obayashi

[†]京都大学, [‡]パナソニック株式会社
Kyoto University, Panasonic Corporation
ueda@ei.energy.kyoto-u.ac.jp

概要

著者らは、知的作業に対する集中に着目して執務者の状態を客観定量的に評価する指標である集中指標の開発を行ってきた。これまでに、作業中に集中していた時間の割合を表す集中時間比率 CTR (Concentration Time Ratio)と、集中していた時間の中でもより深い集中状態にあった時間の比率を示す集中深さ指標 CDI (Concentration Depth Ratio)を提案しており、本研究ではこれらの詳細を実際の例を交えつつ紹介する。また、今後の展望として時系列解析の試みにも言及する。

キーワード：知的集中, 解答時間解析, 指標開発

1. はじめに

オフィス作業や勉強などの知的作業を行う際、「集中する」という表現を用いることがある。一般に、「作業に集中する」という表現は「作業に意識や注意を向ける」と表現されることが多く、様々な知的作業の進行に深くかかわる概念であると考えられる。情報化が進んだ社会では、肉体労働だけでなく、知的作業の生産性(以下、知的生産性)を高め、かつ健全な作業条件を構築するための環境調整や支援を行う必要があり、それに伴って執務者が知的作業を実施している際の状態を測る必要が生じる。著者らは、その際に利用できる指標のひとつとして、「集中」に着目した客観定量的な指標(以下、集中指標)の開発を行ってきた。

これまでも、様々な方法により集中を評価する試みが行われてきた。中でも、最も一般的な方法は主観評価を用いるものである。オフィス環境が知的生産性に及ぼす影響を評価するために杉浦らにより作成されたSAP[1]には、知的生産性に関わる要素として集中が取り上げられており、「集中のしやすさ」という項目で回答者に主観的な集中度合いを5段階評価で問うている。SAPのように、「集中しやすさ」を問う評価する方法をとる研究は多くある[2][3]。集中しやすさを主観的に問う方法は、質問紙への回答のみで評価が可能だが、一方で客観性に欠け、実際の作業進度や作業効率と主観的な申告値は必ずしも一致しないこと、回答者ごとに集

中の捉え方が異なる場合がある等の問題点がある。

主観評価以外の方法を用いて集中の評価を試みる研究もある。濱田ら[4]や島田ら[5]は講義中に撮影した受講者の映像を解析することにより、受講者全体の集中状態を判別するシステムの構築を試みた。これらは、前を向いている受講者の比率と受講者全体が集中していると感じられる主観的な評価は関連しているという、小林ら[6]の得た知見に基づいたものである。つまり、これらの研究における集中とは、注視に近いものと考えられる。この方法により、受講者の映像を記録するという比較的容易な方法によって集中をリアルタイムに計測することが可能である。しかし、計測に用いる特徴量は顔方向のみであり、全体の集中度の推定は可能である一方で、実際の学習効果や作業進度は考慮されていない。

執務者の動作や生理指標を用いて集中の評価を試みた研究もある。三木ら[7]は、照明環境と作業者の集中度との関係を調べるために、主観評価のみでなく、体動と脳波を集中の評価に用いた。体動を用いた評価では、あくびや椅子の座り直し等の知的作業の進行に無関係な動作を数え、脳波を用いた評価では事象関連電位の一つであるラムダ反応を用いて集中の評価を行った。國政ら[8]は瞳孔径や心拍計測等の生理指標から仮想タスクの回答時間を推定する手法を提案した。しかしこれらの生理計測を用いるものは、計測時に身体に電極を貼り付けること自体が作業者に影響を与える可能性や、計測実施に専門的な知識が必要であるという難点があった。

田中ら[9]は、パソコンを用いた作業時の情報提示タイミングについて、集中度が低い時に情報提示を行うことで、作業に割込まれた際の拒否度を抑えることができると考え、作業中のPCの操作量から作業者の状態を推定して適切な情報提示のタイミングを割り出した。しかしこれは実際のオフィス作業等におけるマルチタスクの割込みと割込み拒否度の軽減を想定したも

のである。すなわち、作業が進行していない、集中していない状態を測ることに特化した方法であり、著者らが開発した作業が進行している状態、つまり集中している状態を表現する手法とは異なる。

以上のように、様々な方法で集中を様々な捉え方で計測を試みた研究は多くあるなかで、著者らは、集中すると作業が進行するような、資料作成等の一人で行う定型作業に対する集中に着目した評価手法を開発してきた。本手法における集中とは、「対象の知的作業に対して認知資源を割り当てている状態」である。集中指標は、オフィス作業で要求される数字取り扱い能力や言語能力、比較判断能力を用いて回答する仮想タスクを実施した際の、解答時間データの解析によって算出され、タスク実施中の執務者の集中状態を客観定量的な評価に用いることができる。以下に、算出の際に想定する認知モデルと、指標の詳細について述べる。

2. 集中状態モデルと集中時間比率

Card の人間情報処理モデル[10]では、作業対象に注意している間、認知処理がシングルプロセッサのように進行すると表現されている。集中指標の算出においては、対象の作業に集中しているあいだ作業が進行すると考える。そこで、作業対象に対して注意している、つまり作業対象に対して認知資源を割り当てている状態を集中している状態(以下、集中状態)とした。人間情報処理モデルにおいて、同様の処理に対しても必要な時間に変動があることから、集中状態においても作業が進行している状態(以下、作業状態)と無意識のうちに作業が中断している状態(以下、短期中断状態)があると考えられる。さらに、評価対象であるオフィス作業などの知的作業を行う際には、疲労蓄積やモチベーションの低下等様々な理由で意図的な休息をとる状態(以下、長期休息状態)になることがある。この際、対象の作業には認知資源を割り当てていないと考えられるため、これを集中していない状態(以下、非集中状態)とした。以上のように、知的作業中の執務者は3つの状態を遷移しつつ作業を進行させるとしたものが、図1に示す集中状態モデル[11]である。改めて、下記に3状態の説明を記す。

- 作業状態：対象の課題に認知資源を割り当て、作業が進行している状態
- 短期中断状態：対象の課題に認知資源を割り当てているが、作業が進行していない状態

- 長期休息状態：対象の課題に認知資源を割り当てず、意図的に作業をやめ休息している状態

なお、集中指標で評価できる知的作業は、村上ら[12]の分類における情報処理と知識処理にあたる作業であると考えている。一般に、集中するだけでは成果が得られないとされている創造的な作業、知識創造にあたる作業については、定型処理ではなく、Card の人間情報処理モデルでも説明がつかないため、集中指標では評価の対象にはならない。

図1の集中状態モデルに基づくと、集中状態において難易度一定の課題を複数問解いた際の解答時間はある一定の分布を形成すると考えることができる。ここで、問題の難易度に基づいて、常に作業状態に遷移していたとしても最低限解答に至るまでに認知処理を行う必要があるため、最短の解答時間は存在しているが、一問の解答に至るまでに短期中断状態に遷移する回数は不定であるため、理論上最長の解答時間は存在しない。よって、集中状態における解答時間分布は、理論上下限があるが上限がない、偏りのある分布になると考えられる。加えて、難易度が一定の認知課題を複数問連続で解答した際の解答時間データが対数正規分布を形成する様子を、著者らが過去に実施した実験データからも確認した。そこで、解答時間データのうち対数正規分布で近似された解答を、集中状態での解答とした。解答時間分布と近似の様子を図2に示す。

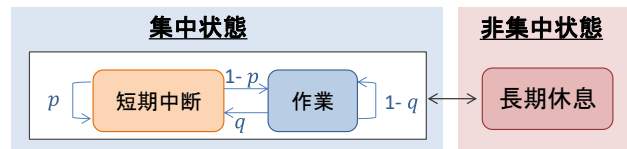


図1 集中状態モデル [11]

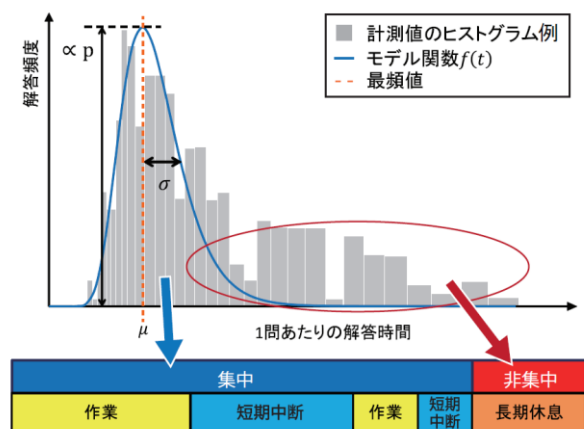


図1 解答時間ヒストグラムと対数正規分布近似のイメージ図

近似した結果得られた、集中状態を示す対数正規分

布のパラメータを用いることで、集中状態における解答時間期待値 E を得る。これを用いると、作業時間中に集中していた時間の長さ T_c を E と総解答数 N の積で求めることができる。これを用いて、客観定量的な集中指標として、一定時間作業を行った際に、集中していた時間の割合を示す集中時間比率 CTR (Concentration Time Ratio)を、総作業時間 T_{total} に対する集中していた時間 T_c の割合として算出する[11].

この方法を用いることで、解答時間データにおける解答数や回答速度を作業成績として直接用いる方法とは異なり、集中していた時間に着目した指標であるので、課題を繰り返し実施した際に作業成績が受ける習熟の影響を受けずに、知的作業への集中を評価することができる。

3. 集中深さモデルと集中深さ指標

CTR の算出では、解答時間データのなかで解答時間の短い部分に現れる分布を、あるひとつの対数正規分布で近似した結果を用いた。つまり、CTR は解答時間データの中でも最も解答時間が短い部分に形成される分布にのみ着目した指標である。しかし、認知資源の割り当て方は作業中にも様々に変化させることができるという Baddeley[13]の議論や、ワーキングメモリで保持できる情報の量は注意の制御、つまり認知資源の割り当て方と関わりが深いとして知見[14]がある。これらの先行研究を参考にすれば、認知資源を割り当てている集中状態の中にも、割り当てる認知資源の量が異なる、つまり集中の程度が異なる複数の集中状態が存在し得ると考えられる。実際の解答時間データにも、図3のように複数の対数正規分布の和を形成しているようなものが多く見られた。

そこで、対象に割り当てる認知資源の量を「集中の深さ」として、集中状態モデルを図4のような集中深さモデルに改めた[15]。このモデルでは、最も深く集中した状態を第一位集中状態、次いで深い状態を第二位集中状態、それ以降第三、第四と複数の深さの集中が集中状態に含まれるとした。

集中深さモデルに基づいて、CTR で着目した第一位集中だけでなく、第二位集中まで解析の対象を広げ、第一位、第二位のいずれかで作業を進行していた時間に対して、より深い第一位集中で作業していた時間の割合を指標として利用するものが、集中深さ指標 CDI

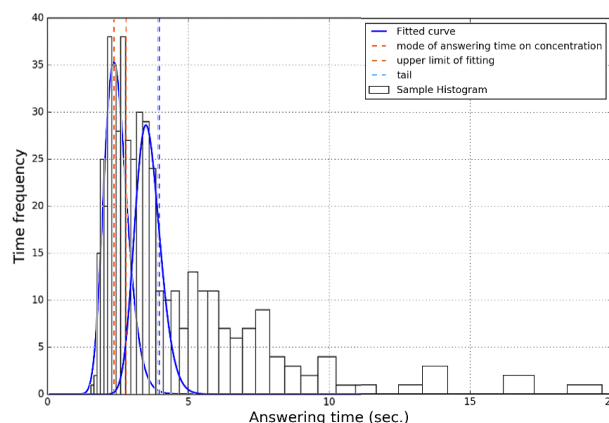


図3 ふたつの対数正規分布の和を形成する解答時間ヒストグラムの例

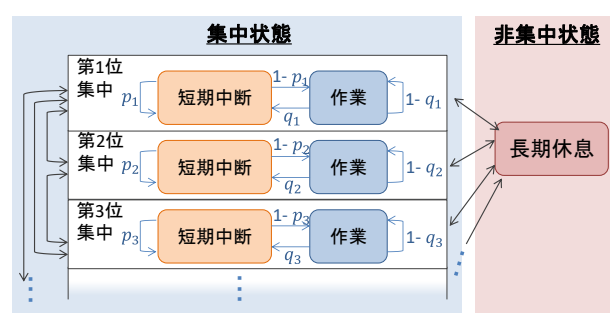


図4 集中深さモデル [16]

(Concentration Depth Ratio)である。実際には、第 n 位集中状態($n=1, 2$)での遷移時間 T_n を、それぞれの深さの集中状態ごとに対数正規分布で近似した結果から、解答時間期待値 E_n と解答数 N_n の積で計算し、 $CDI = T_1 / (T_1 + T_2)$ として算出する[15].

4. 実際の解析例と集中指標の算出

集中状態モデルと集中時間比率 CTR、集中深さモデルと集中深さ指標 CDI について、実際の実験データを解析した例を紹介する。解析に用いるデータは、オフィスにおける温熱環境を変化させた際に集中が受ける影響を評価した実験を実施した際の解答時間データである。データの収集日は2016年12月8日(12月8~10日で行われた実験の1日目)、実験参加者は健康な男子大学生であり、すでに1時間程度該当の仮想タスクを実施して十分タスクの解き方を理解し、一定の解答戦略で連続して解答できるようになった状態で収集されたデータである。

解答時間データの収集には、図5に示したような仮想タスクである比較問題[16]を用いた。比較問題は、著

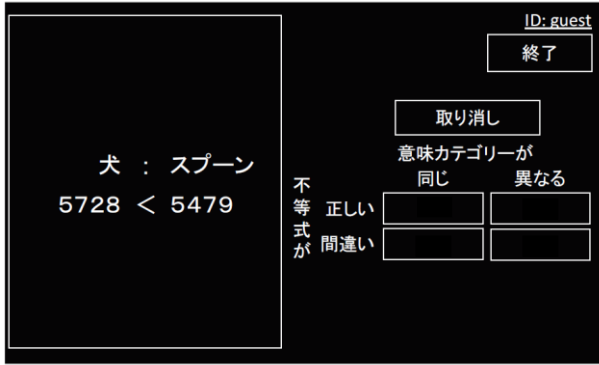


図5 比較問題の回答画面例 [16]

者らが過去に集中指標算出に適した課題として開発した。各問は、簡単な不等式の正誤を判定する「数字比較問題」と、表示された2単語が指定の4つの意味カテゴリー(動物, 植物, 人工物, 地名)に分類した際に同じ意味カテゴリーか異なる意味カテゴリーかを判定する「単語比較問題」から成る。集中指標の算出には、難易度が一定の問題を複数問続けて解答した際の解答時間データが必要である。そのため、比較問題において、数字比較問題では比較すべき数字が表示される桁を整える、単語比較問題では表示される単語のカテゴリーの順序によるプライミング効果の発生を防止するなど、各問の難易度が等しくなるように工夫が施されている。

実際に得られたデータと解析結果の例を、図5に示す。解答時間データを対数正規分布で近似する際、精度を高めるため、一度解答時間を短い順に並べ替えたうえで累積解答数のグラフに変換した後、対数正規分布の累積度数分布による最小二乗近似を実施している。

第一位、第二位集中の近似を行う際には、まず第一位集中状態に値する対数正規分布による近似を終えた後に、第一位集中状態と判別された解答時間データを解答時間データから削除したのに対して、改めて対数正規分布近似を行うことで、第二位集中状態に値する分布のパラメータを得る。ただし、最終的な近似曲線である第一位集中と第二位集中の和を求める際には、改めて最も適合度の高くなる第一位集中と第二位集中において解答された解答数 N_1 , N_2 が得られるよう最終調整を行っている。

図5の例では、集中時間比率 CTR は 52.3%, 集中深さ指標 CDI は 63.6%であった。

5. まとめと今後の展望

集中指標の開発により、オフィス環境の変化から執

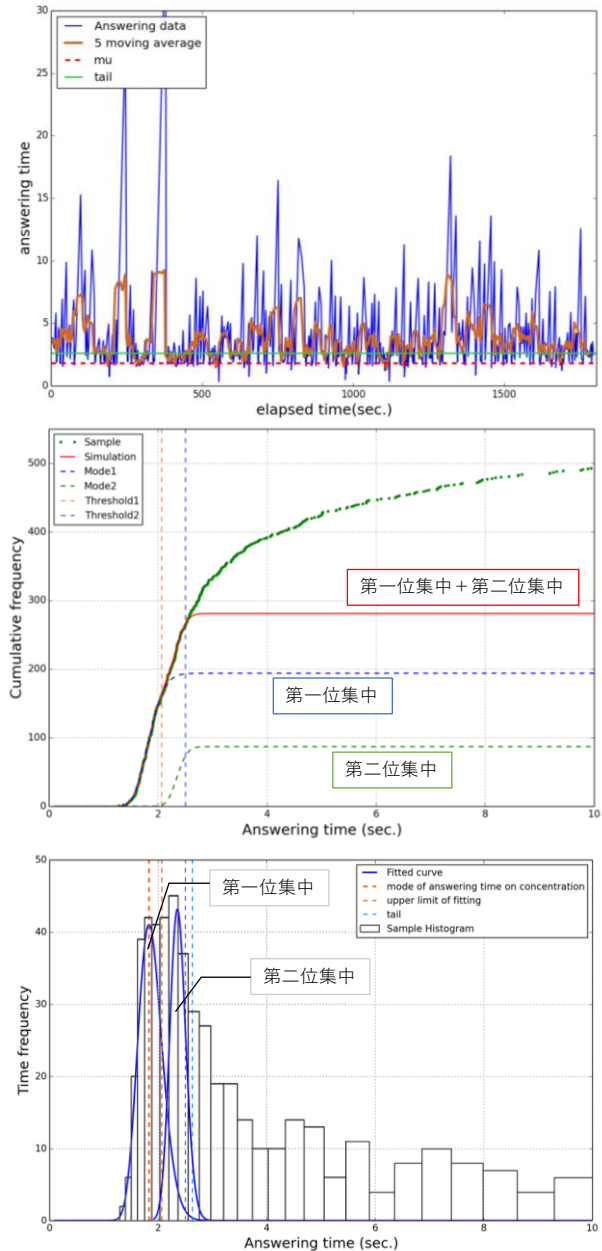


図6 実際の解答時間データと集中深さモデルに基づいた解析結果の例(上: 解答時間データ, 中: 累積解答数と対数正規分布の累積度数分布による近似結果, 下: 解答時間ヒストグラムと近似結果の対数正規分布)

務者の集中状態が受ける影響等について、仮想タスクによる容易な計測方法で、客観定量的な評価を実現することができた。集中時間比率に加え、集中深さ指標の開発により、2種類の異なる視点から集中状態をより詳細に考察できるようになった。

しかし、集中指標は、時系列データを全て切り捨てた形で算出する指標である。オフィスや学習のための環境として、在室者をリアルタイムに評価し、状況に応じ

た環境調整を行うためには、集中状態の時間変化を捉える必要がある。そのため、同モデルを用いて集中の時系列変化を評価する方法を検討中であり、ここではその一例を紹介する。

解答時間データの近似により第一位集中、第二位集中を示す対数正規分布を求めるときに、どの回答がどの分布として近似されたかは記録されている。図6のデータでは、解答時間の短いほうから194問が第一位集中の近似に用いられ、それに次いで短い87問が第二位集中の近似に用いられた。そこで、いずれの分布の近似に用いられたかを解答時間データにラベル付けし、時系列で表示した解答時間データに重ねて示したのが図7である。ただし、ここで長期休息としてラベル付けされた解答時間データには、実際は第三位集中以降のより浅い集中状態で解答されたものが含まれていると考えられる。加えて、長期休息としたものについても、解答時間には解答のための認知処理の時間、つまり集中状態での遷移時間が含まれていることから、純粋に長期休息のみをラベル付けすることは実際には困難である。また、見やすさのために、5問ごとに「その5問のなかで最も多いラベル」を表示したグラフも重ねて表示した。この例では、0~200秒まではうまく集中し続けることができず、200~400秒ごろに長い休息をとることで連続して集中し解答できるようになった様子や、中盤以降短い時間の集中に対して同程度の休息を挟みつつ作業を続けていたような様子を見て取ることができる。この方法に留まらず、解答時間を一定の時間窓に区切りつつ近似解析を実施する方法なども検討していく必要がある。

また、これまでの集中指標では、非集中状態に関する

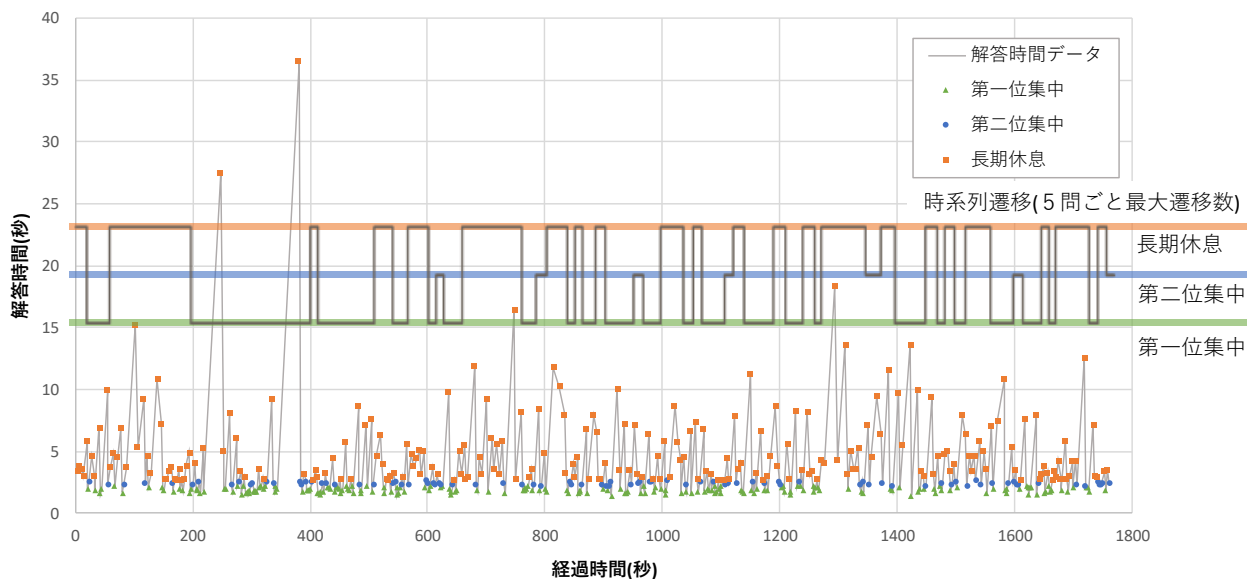


図7 時系列集中状態解析の一例

考察を行ってこなかった。知的作業を行う際、過度な作業の長期継続は過労死や精神疾患等にもつながる危険性がある。つまり、集中指標の向上を目指す一方で、長期で持続可能な執務状態を実現するためには、適切な休息や過度に集中しすぎない工夫も重要になると考えられる。そのため、集中状態だけでなく、非集中状態にも着目した検討を行っていく必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17H01777 JSPS 科研費 18J20603 の助成を受けたものです。

文献

- [1] 杉浦敏浩, 橋本哲, 寺野真明, 中村政治, 川瀬貴晴, 近藤靖史 (2007) “ワークプレイスプロダクティビティの評価方法, 第1報- プロダクティビティ評価方法の整理と標準的な評価票の提案”, 空気調和・衛生工学学術講演論文集, Vol.123, pp.11-22.
- [2] Masaya Nishikawa, Naoe Nishihara and Shin-ichi Tanabe, (2009) “The effect of moderately hot environment on performance and fatigue evaluated by subjective experiment of long time exposure”, Architectural Institute of Japan Journal of Environmental Engineering, Vol. 74, No. 638, pp. 525-530.
- [3] 杉浦敏浩, 橋本哲, 寺野真明, 中村政治, 川瀬貴晴, 近藤靖史 (2007) “ワークプレイスプロダクティビティの評価方法, 第1報- プロダクティビティ評価方法の整理と標準的な評価票の提案”, 空気調和・衛生工学学術講演論文集, Vol.123, pp.11-22.
- [4] Masaya Nishikawa, Naoe Nishihara and Shin-ichi Tanabe, (2009) “The effect of moderately hot environment on performance and fatigue evaluated by subjective experiment of long time exposure”, Architectural Institute of Japan Journal of Environmental Engineering, Vol. 74, No. 638, pp. 525-530.

- [5] 望月 菜穂子, 宇治川 正人, 平手 小太郎, 安岡 正人, (1996) “オフィスにおける行動と好まれる照明：タスク・アンビエント照明の問題点と可能性”, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 61, No. 479, pp. 17-25.
- [6] 濟田武志, 矢内浩文, “授業参加者の集中状態を判別する動画 像処理,” 電子情報通信学会技術研究報告. HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, vol.103, no.742, pp.83-87, 2004.
- [7] 島田 大樹, 彌富 仁, (2017) “畳み込みニューラルネットワークを使った授業映像中の聴講者の状態推定システムの構築と特徴量獲得に関する検討”, 知能と情報, Vol. 29, No. 1, pp. 517-526.
- [8] 小林陽平, 角所 考, 村上正行, (2013) “講義映像に基づく受講者の集中状況の認識”, 教育システム情報学会第 38 回全国大会(JSiSE2013) 講演論文集, pp. 17-18.
- [9] 明石 行生, 金谷 末子, 八木 昭宏, (1996) “作業者の集中度と周辺照度/作業面照度の比との関係”, 証明学会誌, Vol. 80, No. 8, pp. 540-549.
- [10] 國政 秀太郎, 瀬尾 恭一, 下田 宏, 石井 裕剛 (2019) “知的作業中の生理指標計測による作業成績推定手法”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 55, No. 4, pp. 260-268.
- [11] 田中 貴紘, 深澤伸一, 竹内 晃一, 野中 雅人, 藤田 欣也, (2012) “業務従事者を対象とした PC 作業時の割り込み拒否度推定可能性の検討”, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 1, pp. 126-137.
- [12] S. K. Card, T. P. Moran, A. Newell, (1983) “The Psychology of Human-Computer Interaction”, Erlbaum Associates.
- [13] Miyagi K., Kawano S., Ishii H., Shimoda H., (2012) “Improvement and Evaluation of Intellectual Productivity Model based on Work State Transition”, The 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1491-1496.
- [14] 村上周三, (2012) “建築空間と知的活動の階層モデル”, 2012.3.15 知的生産性研究委員会, 資料 No.5.
- [15] Alan Baddeley, (1996) “Exploring the central executive”, The Quarterly Journal of Experimental Psychology A, Human Experimental Psychology, Vol. 49, pp. 5-28.
- [16] Alan Baddeley, (1993) “Working memory or working attention? In A.D. Baddeley & Lawrence Weiskrantz (eds.), Attention, Selection, Awareness, and Control: A Tribute to Donald Broadbent”, New York: Clarendon Press, pp.152-170.
- [17] Kimi Ueda, Shota Shimonaka, Hiroshi Shimoda, Hirotake Ishii, Fumiaki Obayashi, (2017) “Quantitative Evaluation of Intellectual Productivity Considering Depth of Concentration”, 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pp.758-763.
- [18] Kimi Ueda, Hiroshi Shimoda, Hirotake Ishii, Fumiaki Obayashi, Kazuhiro Taniguchi, (2016) “Development of a new cognitive task to measure intellectual concentration affected by room environment”, The Fifth International Conference on Human-Environment System ICHES2016 Nagoya, Paper No.20144.