

種々のセンサを併用した集中度センシング法の検討

濱谷 尚志^{1,a)} 内山 彰^{1,b)} 東野 輝夫^{1,c)}

概要：近年，スマートフォンや装着型センサの普及により，人々の活動量や心拍数といったライフスタイルに関する情報の収集が容易になりつつある．このような生体情報を含む様々なセンサー情報を利用すれば，人々の集中度を推定できる可能性があるが，未だ十分な検討は成されていない．そこで本研究では，スマートフォン内蔵センサや市販の装着型センサから得られる加速度，心拍数などを併用して人の集中度合いを推定する方式について検討を行った．本稿では学生を対象にデータの収集を行い，様々な集中行動におけるセンサデータの関係性を分析した結果について報告する．

1. はじめに

近年，スマートフォンや装着型センサの普及により，日常生活における人々の活動量や心拍数や体温の変化などが容易に収集できる環境が整いつつある．収集したデータを利用した代表的なスマートフォンアプリケーションとして，ヘルスケア (iOS) や Google Fit (Android OS) が挙げられる．ユーザはこういったアプリを通じて歩数，心拍数，消費カロリーといった項目を確認し，健康管理に役立てることが可能である．このように，フィットネスに関するサービスの広がり盛んで，Fitbit[1] や Basis Peak[2] などスポーツに特化した腕装着型のウェアラブル機器も多数市販されている．

さらに，SONY 社はウェアラブル機器から収集した歩数や消費カロリーに加え，スマートフォンで写真を撮る，音楽を聴くといった活動も記録し，自身の一日の行動を振り返ることが可能なアプリケーション「Lifelog」[3] を公開している．これにより，ユーザはコミュニケーションの改善や，時間の有効な使い方を考えることができる．

しかしながら，蓄積したバイタルデータが有効活用されている例は未だ少なく，ユーザにとってより価値のある情報を提供することが望まれる．そこで，本研究ではスマートフォン内蔵センサや装着型センサから得られる情報に基づき，人々の集中度合いを推定する方式の検討を行う．集中度を把握することは，会話における理解度の把握，講義や演出における効果の確認，仕事における能率の向上などに役立てることができる．

これまで集中度のセンシング方法として，呼吸，心拍，脳波や皮膚電位の変動を用いることが一般的であった [4], [5], [6]．これらの生理指標のうち，今では装着型の呼吸センサ [7]，腕装着型の心拍計 [1] やガルバニック皮膚反応を計測可能な腕時計型センサ [2] などにより，多くの情報を大掛かりな装置を用いず取得することが可能である．しかしながら，集中度の把握に有効な脳波については頭部へのセンサの装着がユーザにとって負担となり，未だ日常的な計測は困難である．そこで，本研究ではユーザが市販のウェアラブルセンサを日常的に装着可能な環境を想定し，装着負荷の少ない装置，およびスマートフォンのみを用いて集中度を推定する方式を検討する．

本稿では，集中度合いと各種センサデータの相関を明らかにするため，学生 1 名を対象にタイピング作業，動画視聴などの集中を伴う行動データを 40 分間収集した．その結果，生理指標，および動きや姿勢といった身体の状態と各種行動に相関が見られた．

2. 関連研究

2.1 集中と生理状態

人の集中と関連する指標として，呼吸，心拍，皮膚電位，脳波といった生体信号が知られている [4], [5], [6]．呼吸はリラックス時には深くゆっくりしたものになり，精神作業負荷により速く浅くなることが知られている．また，集中時に一時的に呼吸停止（息こらえ）が起こる，作業負荷が大きくなると呼吸の規則性が低下する，といった現象も報告されている．こういった呼吸と精神負荷の相関を用いて，腰や胸に装着し加速度を用いて装着者の集中度を測定するセンサ SPIRE[7] が発売されている．このセンサでは，内蔵センサで呼吸パターンを検出することで集中度を

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科

^{a)} h-takasi@ist.osaka-u.ac.jp

^{b)} uchiyama@ist.osaka-u.ac.jp

^{c)} higashino@ist.osaka-u.ac.jp

計測している。また、身体的、精神的な負荷により心拍数が上昇することが知られており、人の主観的な作業負荷を知る手がかりとなる。さらに覚醒度の低下に伴い心拍数が低下し、作業パフォーマンスも低下することも知られている。皮膚電位は、手や足などの精神性発汗が起こる部位において計測し、覚醒度や情動の変化の検出に用いる。このうち、覚醒度については皮膚電位との有意な相関が認められるが、一過性の情動変化については反応の出現頻度の個人差が大きく、ほとんど出現しない人もいる。また、問題を解いたり、思考を行ったりと精神を集中させている際に、前頭葉から Fm シータ波と呼ばれる脳波が出現することも知られており、脳波を計測することができれば集中度合いを含めた脳の状態を知ることが可能である。



図 1 システム図

2.2 既存の集中度推定方式

集中度の推定に関しては、前節で述べた生理指標に基づく方法や、身近なセンサを用いた方法がこれまでに数多く報告されている。その多くが、加速度センサや圧力センサを用いて人の傾斜や動き、姿勢から人の作業状態を検知することで集中度を推定している。例えば、文献 [8] では椅子に装着した加速度センサからユーザの着席や離席、椅子の回転、背もたれの利用における加速度を測定し、そのパワースペクトルの和と集中度の指標である単位時間あたりのキーボード打鍵数に負の相関があることを明らかにしている。また文献 [9] では、ユーザが胸ポケットに保持しているスマートフォンの姿勢、およびキーボード操作からユーザの作業状態を推定し、集中度と関連付けている。

また、カメラを用いた手法も数多く報告されている。文献 [10] では、3D ステレオカメラと加速度センサを併用した集中度測定システムを提案しており、読み聞かせにおける子どもの集中度の計測を行っている。その結果、加速度の急激な変化、視線移動と集中度に相関があることが分かっている。さらに文献 [11] では、集中度の指標としての瞬目数を検知するために、PC 内蔵の低解像度カメラを用いた瞬き検知を行っている。

2.3 本研究の位置づけ

前節で述べたように、これまでに集中度推定の手法は数多く提案されているが、その多くはカメラや傾斜センサなど、新たにデバイスを用意する必要がある。さらに、ユーザの利用する椅子にセンサを正しく装着する、測定の実施前にカメラを定位置に装着するといったキャリブレーションが必要であり、ユーザにとって負担となる。また、スマートフォン内蔵のセンサを用いて姿勢を推定する方式は、センサ導入の手間が無いことが利点であるが、ユーザの姿勢と集中度の対応付けが簡潔であり、定量的な集中度評価が難しい。

また、昨今デバイスの発達がめざましく、先述の呼吸を

センシングする SPIRE[7] や、JINS 社から眼鏡型の JINS MEME[12] といったデバイスが利用可能である。いずれのセンサも呼吸や瞬目といった生理指標と関連付けて集中度をセンシングするため、高精度であることが期待できるが、SPIRE は腰部や胸部、JINS MEME は顔に装着する必要があるため、ユーザによってはセンサ装着が負担になりえる。また、定期的に取り外して充電を行う必要がありユーザにとって煩雑である。

以上の課題から、本研究ではユーザにとってシステムの導入、日常利用の両方の観点から負担となりにくく、かつ生理指標と関連付けた高精度な集中度推定法の確立を目指す。本稿ではその初期段階の検討として、スマートフォン、および市販のウェアラブルデバイスによるデータ収集を実施し、集中行動におけるセンサデータの分析を行う。

3. 集中度推定法

本節では、検討する集中度推定法の想定環境について述べ、図 1 に示すシステム全体のアーキテクチャ及び推定方法について述べる。

3.1 想定環境

本研究では、ユーザがスマートフォンやウェアラブルセンサを所持し、安静な状態で聴講、学習などの作業をしているものとする。それ故、想定する環境では運動による生理指標の変動は起こらないものとする。ユーザが可視化された自身の集中度を活用するシチュエーションとして、自身の 1 日のパフォーマンスを振り返り日々の生活に役立てたり、システムがユーザの集中力の低下を検知し、通知によってリフレッシュを促したりといったケースが考えられる。また、複数人の集中度を統合することにより、会話における理解度や盛り上がり度を評価したり、会議における参加度、議論の質などを評価したりといった活用が期待で

表 1 実施した行動

ID	行動	実施時間
TA	タイピング	10 分
NW	米ニュース視聴	10 分
CW	カートゥーン視聴	10 分
WS	ウェブ記事閲覧	10 分

きる。

3.2 システムアーキテクチャ

提案手法では、スマートフォン内蔵センサやウェアラブルセンサによって得られる加速度、心拍数、皮膚導電率といった様々なセンシング値を入力として、ユーザの集中度を定量的に評価するシステムを検討する。システムで利用する集中度推定アルゴリズムについては 4 章で議論する。システムによって推定された集中度はサーバに格納され、スマートフォン上に表示される。同時に、集中度の推移に基づきリフレッシュなどの通知を表示する。

4. 予備実験

本章では、検討するシステムにおいて入力として得られる様々なセンサデータに基づき集中度を評価するアルゴリズムの検討のため、実データを収集し分析を行った結果について述べる。

4.1 実験環境

性質が異なる集中行動におけるセンサデータを収集するため、学生 1 名が机上で各種行動を行い合計 40 分間のセンサデータを収集した。被験者は胸部の衣服ポケットにスマートフォンを収納し、左腕に腕時計型ウェアラブルセンサ Basis Peak[2] を装着した。スマートフォンでは加速度を収集し、ユーザの姿勢や胸の動きを計測する。Basis Peak は手首に装着することでユーザの心拍数および精神性発汗の指標となる皮膚導電率を違和感なく測定することが可能である。また、腕の加速度を計測可能なバンド型センサ Microsoft Band[13] を装着し右腕の動きを収集した。被験者が実施した行動、実施時間、および評価における ID は表 1 の通りである。各行動はそれぞれ、タイピング (TA) は百科事典の記事を見ながらテキストエディタに書き写す作業、米ニュース視聴 (NW) は米国向けのニュース動画の視聴、カートゥーン視聴 (CW) は非言語アニメーションの視聴、ウェブ記事閲覧 (WS) は Wikipedia で興味を持った記事を読む行動である。さらに、被験者の集中の様子を判断するためカメラを用いて被験者の上半身を撮影した。

4.2 結果

4.2.1 生体情報による分析

はじめに、図 2 から図 5 に生体情報として呼吸数、瞬目数、心拍数および皮膚導電率を示す。呼吸数はマイクによ

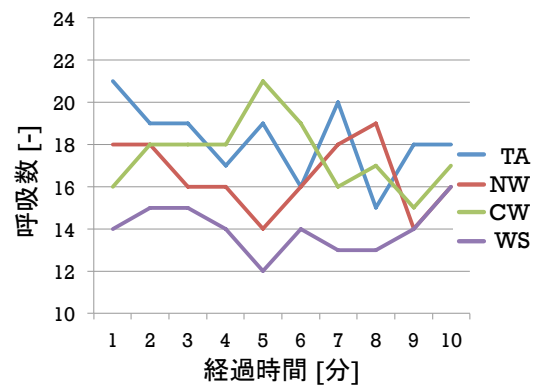


図 2 各行動における呼吸数

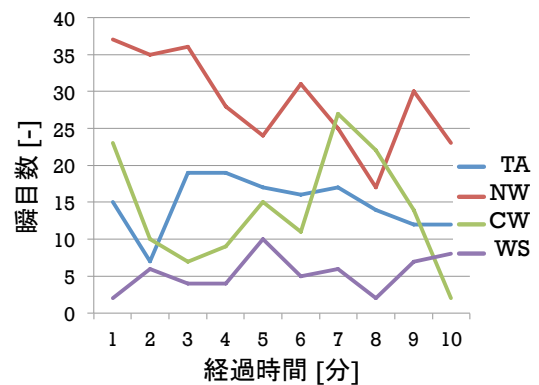


図 3 各行動における瞬目数

る呼気音解析、瞬目数は動画解析によってそれぞれ計数した。呼吸数、瞬目数は 1 分間の回数で、心拍数、皮膚電位は 1 分間の平均値でそれぞれ示す。

図 2 より、行動によって呼吸数に差があることが確認できる。特に、タイピングとウェブ記事閲覧では同じパソコン上で文字を追う作業であるにも関わらず、平均で毎分 4 回近くの違いが生じている。この理由として、2.1 節で述べたように精神作業負荷による呼吸数への影響が考えられる。タイピングは可能な限り多くの文字を打ち続けるためユーザにとって精神的負担が大きく、一方でウェブ記事を閲覧することはユーザにとって負担が少ない。また、2 種の動画視聴ではタイピング、およびウェブ記事閲覧と比較して呼吸数の変動幅が大きい。この原因として、コンテンツ内容によりユーザの感情が変化したことが考えられる。

図 3 では、米ニュース視聴における瞬目数が他と比較して大きくなっていることが分かる。この原因として、被験者にとって速い英語スピーチの聞き取りが困難であり、緊張に影響したことが考えられる。このことは、同じ動画視聴でも内容が分かりやすくリラックスできるカートゥーン視聴において平均瞬目数が小さくなっていることから分かる。また、タイピングとウェブ記事閲覧では画面上の文字を追うという作業は同じであるものの、タイピングにおいては記事、エディタ、キーボードとユーザの見る対象が

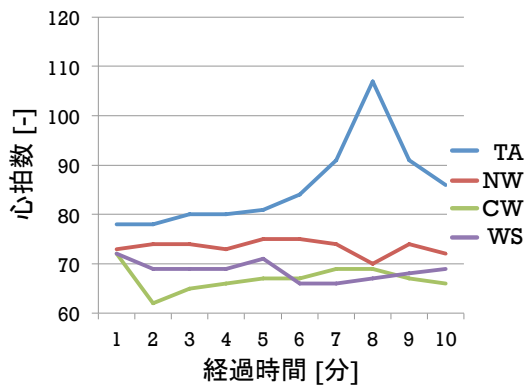


図 4 各行動における心拍数

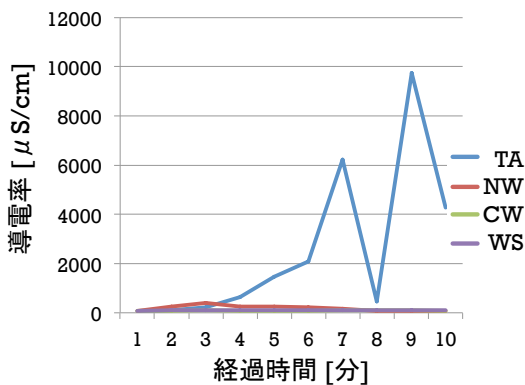


図 5 各行動における皮膚導電率

次々変化するため、目線移動の際に瞬目を行うことが多く、ウェブ記事閲覧と比較して瞬目数が多くなっている。ウェブ記事閲覧では、ユーザの目線が左から右へ一行文字を読み、次の行も左から右へ読むといった規則的な動きになっているため、よりユーザの集中が切れにくく瞬目が起こりにくかったと考えられる。

図 4 では、タイピングにおけるユーザの心拍数が他と比較して大きくなっていることが分かる。この理由は 2.1 節で述べた通り、精神的負荷により心拍数が上昇したからであると考えられる。また、8 分経過時点で心拍数が急上昇しており、ユーザの緊張が特に強くなったことがうかがえる。また、米ニュース視聴とカートゥーン視聴における心拍数と瞬目数の変化が類似しており、それぞれの相関計数は $R = 0.54$, $R = 0.69$ であった。

最後に、図 5 ではタイピングにおいてのみ皮膚導電率が急上昇し、腕部の精神的発汗があったことが分かる。精神的発汗が起こったタイミングは図 4 で心拍数が上昇し始めたタイミングと一致しており、両指標から精神的負荷の上昇が確認できた。

4.2.2 加速度による分析

次に、図 6 に右腕部のセンサの加速度、および胸ポケットに挿入したスマートフォンから得られた加速度を示す。両センサの測定間隔はそれぞれ 16ms, 20ms である。本研

究では、加速度センサを用いてユーザが動いているかどうか、およびユーザの姿勢を推定し、それらと集中行動における相関を分析する。そのために、1 分毎の腕部の加速度の分散、胸部の加速度の平均値をそれぞれ求めた。両特徴量はそれぞれユーザの動きの有無、ユーザの大まかな姿勢を把握するために用いる。図 6(a) から図 6(c) は腕部の加速度の 1 分間ごとの分散を示し、図 6(d) から図 6(f) は胸部の加速度の 1 分間ごとの平均を示す。図 6(a) や図 6(c) から分かるように、タイピングおよびウェブ記事閲覧時には腕部の動きがほとんど見られないのに対し、動画閲覧時には時折動きがあることが分かる。また、図 6(e) では各行動によって姿勢が異なり、さらに椅子にもたれるといった姿勢の変化を検知していることが分かる。これにより、ユーザの集中度合いの変化が伺える。

また、各加速度の特徴量と呼吸数、瞬目数、心拍数との相関度合いを分析したところ、米ニュース視聴時における腕の Z 軸加速度の分散と心拍数に $R = 0.64$ 、胸の X 軸加速度の平均と瞬目数に $R = 0.62$ 、胸の Y 軸加速度の平均と瞬目数に $R = 0.65$ の相関をそれぞれ得た。さらに、カートゥーン視聴時には腕の Y 軸加速度の分散と瞬目数に $R = 0.72$ 、腕の Y 軸加速度の分散と呼吸数に $R = 0.50$ 、腕の Z 軸加速度の分散と瞬目数に $R = 0.60$ の相関をそれぞれ得た。また、タイピングにおいても胸の Y 軸加速度平均と瞬目数に $R = 0.57$ 、胸の Y 軸加速度と呼吸数に $R = 0.59$ の相関を得た。以上の結果から、集中し始めると動きが無くなる、集中が切れてくると椅子にもたれて楽な姿勢になる、といったように体を動かすタイミングと集中度合いが変化するタイミングが同期している可能性が考えられる。従って、加速度センサを用いることでユーザの集中度合いを推定できる可能性が十分にあるといえる。

4.3 具体的なアプリケーション例

本研究では、幅広いシチュエーションを想定してセンサデータから集中度を推定する方式について検討を行ってきた。一方、先行研究 [10] のように、絵本の読み聞かせにおいては目配せ、子どもの視線などが利用可能であり、具体的なアプリケーションを想定することにより利用可能な情報が増加すると考えられる。よって、今後具体的なアプリケーションに適用していく方針を検討する。

4.3.1 講義の参加度評価

講師にとって、学生がきちんと講義を聴講し理解しているかどうかという情報は、効果的な講義の実現や講義スケジュールの管理のために重要である。これに対しては学生の傾注度合いを目視したり、小テストの実施などが有効であるが、本システムのセンシング技術により学生の集中度を可視化することができれば、より効率的な講義進行が可能であると考えられる。このケースにおいて利用可能な情報として、講義の進行に応じて発生するノート書きや資料

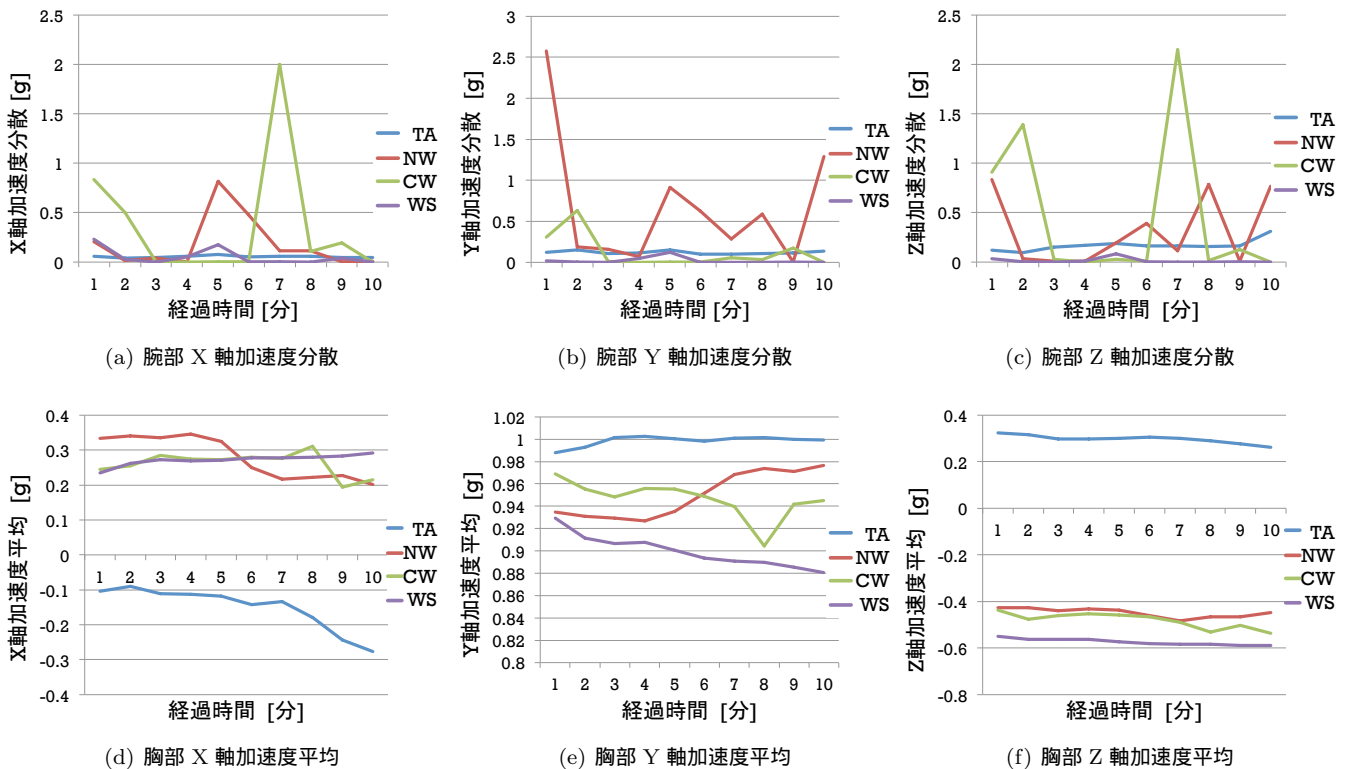


図 6 各行動における加速度特徴量

のページをめくるといった動作が適切なタイミングで実施されているかどうかや、学生の視線が講師に集中しているかどうか、学生全体の集中度がどう遷移しているかといった情報が挙げられる。これらの情報を組み合わせて、集中度に基づき講義の重要なポイントをダイジェスト化したり、学生の理解度が低かった箇所を可視化することが期待できる。

4.3.2 会話の理解度評価

効果的な議論のために、会話における人の理解度を評価することは重要である。理解が遅れた場合、その人はその後の議論において主体的な役割を果たすことが難しく、生産性が低下してしまう。また、日常会話においてもよく分からないまま相手に同調して、後にトラブルになるケースも考えられる。こういった問題は理解度を共有することで未然に防ぐことが可能である。本システムをこういったシチュエーションに適用すると、リアルタイムに集中度を把握することで理解の遅れを検知したり、相手の話への興味度合いを推定したりすることができる可能性がある。この際に、相槌の頻度やタイミング、応答の特徴語、視線や相手との距離、表情といった情報が有効であると期待できる。

4.3.3 スポーツにおけるパフォーマンス評価

スポーツにおけるパフォーマンスのために、プレイヤーの集中度は重要な指標となり得る。各選手の集中するタイミングの違いや、時間経過とともに集中が切れる選手、切れない選手の違いといった情報は、スポーツにおける戦略

考案に役立てることができる。また、練習時の集中度を収集することにより、各プレイヤーにとって有効な練習、そうでない練習の分別や継続的なトレーニングにおける効果の確認が可能であるかもしれない。スポーツにおいては、心拍や発汗が激しく反応するため生理指標の集中度推定への利用が困難であるという課題が存在するため、加速度センサやカメラを用いた初速やトップスピード、反応速度などのパフォーマンスに関する情報と集中度の相関を明らかにすることが重要であると考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、スマートフォン内蔵センサや装着型センサから得られる情報に基づき人々の集中度合いを推定する方式の検討を行った。集中度合いと各種センサデータの相関を明らかにするため、学生1名を対象に読書、タイピング作業などの集中を伴う行動データを合計約1時間収集した。その結果、各種行動と生理指標の反応に相関が見られることが分かった。また、身体の動きと生理指標が同調しているサンプルも見られた。今後、検討システムを実際の環境に適用するために、求められるアプリケーションを明確にし、それに特化したアルゴリズムを構築する。

参考文献

- [1] Fitbit: Fitbit Charge HR Wireless Heart Rate + Activity Wristband, Fitbit Inc. (online), available from <https://www.fitbit.com/chargehr/> (accessed 2015-11-

- 2).
- [2] Basis: Basis Peak — The Ultimate Fitness and Sleep Tracker, Basis, An Intel Company (online), available from <http://www.mybasis.com/> (accessed 2015-11-2).
 - [3] SONY: Lifelog — ソニーモバイルコミュニケーションズ, Sony Mobile Communications Inc. (オンライン), 入手先 <http://www.sonymobile.co.jp/myxperia/app/lifelog/> (参照 2015-11-2)
 - [4] 田村博一: ヒューマンインターフェース (1998).
 - [5] 栗城真也: 脳をみる, オーム社 (1995).
 - [6] 宮田 洋, 山崎勝男, 藤澤 清, 柿本昇治: 新生理心理学 三巻新しい生理心理学の展望, 北大路書房 (1998).
 - [7] SPIRE: Spire - Wearable activity and respiration tracking for a healthy body and mind., spire (online), available from <https://www.spire.io/> (accessed 2015-11-2).
 - [8] 大久保雅史, 藤村安耶: 加速度センサーを利用した集中度合い推定システムの提案, *WISS2008* (2008).
 - [9] 三井健史, 濱川礼: ~ヴァーチャル・スタバ~ 作業状態に応じた室内環境演出システムの開発と評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム 論文集, pp. 1424-1435 (2015).
 - [10] 岡田良平, 柴田征宏, 今城和宏, 上坂和也, 角谷隆行, 三本貴裕, 小林由季, 金田重郎, 芳賀博英: 3D ステレオカメラと 3 軸加速度センサを用いた読み聞かせ支援システムの構築, 全国大会講演論文集, Vol. 72, pp. 589-590 (2010).
 - [11] 兜森仁志, 安彦智史, 長谷川大, 佐久田博司: 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 論文集, No. 4, pp. 931-932 (2015).
 - [12] JIN: JINS MEME (ミーム) — JINS - 眼鏡 (メガネ・めがね), JIN CO.,LTD. (オンライン), 入手先 <https://www.jins-jp.com/jinsmeme/> (参照 2015-11-2)
 - [13] Microsoft: Microsoft Band — Official Site, Microsoft (online), available from <http://www.microsoft.com/microsoft-band/en-us/> (accessed 2015-11-2).