

労働生産性改善に向けたウェアラブル機器を用いた 体調推定法の検討

高橋 雄太¹ 水本 旭洋¹ 荒川 豊¹ 安本 慶一¹

概要：体調が優れない状態で労働した場合の労働生産性の低下が問題視されており、経済的損失が大きいことがわかってきている。企業の経営者側としては、従業員の健康状態を把握・改善することで、潜在的な経済的損失を減らすことができる。また、労働者側としては、自己の体調を把握し、生活を改善することができれば、体調が良い状態で仕事に取り組むことができる。労働時以外の生活リズムや生体・行動データを取得できることから、ウェアラブル機器に着目し、ウェアラブル機器を用いた労働生産性を改善するシステムの構築を目指している。本稿では、労働生産性に影響している体調の種類を調査し、不安・抑うつ、肩こり・腰痛、鼻炎、疲労、睡眠障害、腹痛、頭痛7つの主な体調不良状態を選定した。そして、調査の結果、不安・抑うつ、疲労、睡眠障害はウェアラブル機器から測定・計測できることが判明し、肩こり・腰痛、鼻炎、腹痛、頭痛はウェアラブル機器やウェアラブル機器以外でも測定・推定が難しいことが判明した。

キーワード：ウェアラブルデバイス、ワーク・エンゲイジメント

1. はじめに

過度なストレス、不規則な生活、長時間労働などが原因で健康状態が悪くなり、勤務中に体調が優れなくなることがある。このような、体調が優れない状態で仕事を行う場合の労働生産性の低下が問題視されている。健康リスク要因(栄養失調、肥満、運動不足など)が多いほど、労働生産性の低下が大きいということが判明しており [1]、健康と労働生産性には密接な関係がある。米国の労働生産性と健康に関する調査では、体調が優れない状態での労働生産性の低下による損失は、従業員の医療費・薬剤費より大きいことが報じられている [2]。体調が優れない状態で労働することをプレゼンティーイズム (Presenteeism) といい、体調が優れなく欠勤してしまうことをアブセンティーイズム (Absenteeism) という。プレゼンティーイズムでの損失は、アブセンティーイズムと医療費の合計よりも多いと試算されており [3]、経営者の立場からすると、潜在的な会社の損失を減らすためには、従業員の健康状態を維持・増進する必要がある。このような考えに基づき、従業員の健康状態を把握・支援し、会社全体の生産性を上げる経営戦略を健康経営という。健康経営は経済産業省を中心に推進されており、近年、週休3日制や6時間労働を導入する企業が増

えてきている。

従業員の立場からすると、体調が良い状態を維持することでより活発的に仕事に取り組みやすくなる。仕事に熱中し、熱意を持ち、仕事から活力を得ていきいきしている心理状態のことをワーク・エンゲイジメントという。そして、仕事には熱中しているが、過度に脅迫的に仕事に取り組む状態をワーカホリックという。日本での調査において、ワーク・エンゲイジメントは不健康に対し負の相関を示し、ワーカホリックは不健康に対し強い正の相関があることが報告されている [4]。また、生産性は、ワーク・エンゲイジメントに正の相関があり、ワーカホリックに負の相関がある。つまり、従業員がいきいきとやりがいを持って生産的に仕事をするためには、健康は重要な要因の一つとなっている。

このように、労働生産性はプレゼンティーイズムやワーク・エンゲイジメントを元に研究・調査が行われている。これらの実態を調査する手法として、質問紙調査票ベースの指標が使用されてきた。表1にプレゼンティーイズムとワーク・エンゲイジメントの調査で使用される代表的な指標の一覧を示す。

質問紙調査票は、大きなグループにおける実態調査には向いているが、データ収集のコストが高く、フィードバックの頻度が低いため、詳細な動向を分析することはできない。そして、指標の結果を用いて従業員が自身のプレゼ

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

表 1 代表的な指標

調査対象	指標の種類
プレゼンティーイズム	Work Limitations Questionnaire (WLQ)[17]
	Stanford Presenteeism Scale (SPS)[18]
	The Health and Work Performance Questionnaire(HPQ) [19]
	Work Productivity and Activity Impairment Questionnaire (WPAI)[20]
ワーク・エンゲージメント	Maslach Burnout Inventory-General Survey (MBI-GS) [21]
	Oldenburg Burnout Inventory (OLBI) [22]
	The Gallop Q ¹²
	Utrecht Work Engagement Scale (UWES) [23]

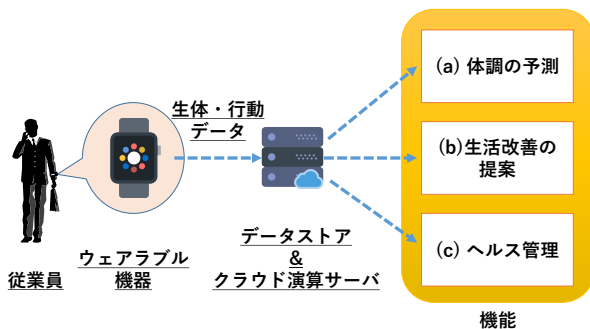


図 1 ウェアラブル機器を用いた労働生産性改善システム

ンティーイズムを防いだり、ワーク・エンゲージメントを高めたりするような使い方ができない。そこで、著者らはウェアラブル機器を用いて、従業員の体調を測定・予測し、結果を従業員と経営者へフィードバックするシステムの構築を目指す。図1に検討中のシステムの概要を示す。

本システムでは、ウェアラブル機器を用いて従業員の行動・生体情報の取得を行う。ウェアラブル機器を使用することで、労働時以外の生体・行動データを取得することができ、日頃の生活リズムを抽出したり、リアルタイムに生体・行動データの分析を行うことができる。関連研究として、ウェアラブル機器のセンサデータとスマートフォンの操作履歴から学業生産性(GPA)、睡眠の質、ストレスレベル、メンタルヘルスの推定が行われている[16]。しかし、ウェアラブル機器で身体的な体調の不具合を推定するような取り組みはあまり行われていない。本システムでは、(a) 体調の予測、(b) 生活改善の提案、(c) ヘルス管理の3つの機能の開発を行う。体調の変化を予測することができれば、昼休みに仮眠を取ったり、仕事の順番を入れ替えることで、生産性を落とさないような工夫を取り入れることができる。そのため、(a) 体調の予測では、過去のデータに基づき、勤務時間中に体調の不具合が起こるか予測を行う。例えば、「夕方眠くなる」、「昼頃頭痛が起こる」のような予測が行われる。(b) 生活改善の提案では、体調の不具合を検知した際に、この不具合の原因を過去のデータから推測し、生活改善の提案を行う。アプローチとしては、(a) 体調の予測のデータから予測に貢献しているパラメータを抽出し、体調の不具合に影響している原因を推定

する。そして、(c) ヘルス管理は、経営者側が従業員全体のヘルス情報を把握するための機能であり、社内のヘルスを改善するために使用する。

このような、システムを開発するにあたり、労働生産性に影響のある体調や使用するセンサを選定する必要がある。そこで本稿では、プレゼンティーイズムの調査結果から労働生産性に影響のある体調を選定し、次に、その体調が計測・推定可能か調査する。

2. 労働生産性に影響のある体調の選定

体調の不具合にも様々な原因があり、どの原因が労働生産性にどの程度影響があるのかを知る必要がある。プレゼンティーイズムとアブゼンティーイズムの既存研究では、体調と労働生産性への影響に関して、調査しているものがある。本章ではその結果を用いて、労働生産性に影響のある体調の選定を行う。

Koji WADA らは、Stanford Presenteeism Scale (SPS) を用いて、19 企業から計 6,777 人の回答を集計した [5]。この調査から、肩こり・腰痛による経済的損失が大きいことが判明した。また、症状別の一人当たりの損失は抑うつ・不安・感情の障害が最も経済的損失が大きいことを報告している。Collins, J. J. らは、SPS を用いて、1つの企業から計 7,797 人の回答を取得し、集計を行った [3]。この調査では、抑うつ、アレルギー、関節症、肩こり・腰痛が労働生産性に大きく影響していることが報告されている。アレルギー、肩こり・腰痛は SPS のスコア値が高かったが、状態ごとの経済的損失を試算した結果、他の症状に比べて有意な差は現れなかった。しかし、アレルギー、肩こり・腰痛を患っている従業員は多いため、1人あたりの経済的損失は小さくても、全体としての損失が大きい。Loeppke, R. らは、The Health and Work Performance Questionnaire を用いて、10 企業を対象に 51,648 人から回答を取得、集計を行った [2]。プレゼンティーイズムでの影響は、鬱、不安、疲労、睡眠障害、過敏性腸症候群、頭痛が大きいことが報告されており、どの症状も年間 10 営業日以上分の経済的損失が試算されている。

これらの調査結果から労働生産性への影響がある体調の不具合に、不安・抑うつ、肩こり・腰痛、アレルギーがあ

表 2 労働生産性に影響のある体調

労働生産性への影響の度合い	体調不良の種類
とても大きい	不安・抑うつ 肩こり・腰痛 鼻炎
大きい	疲労 睡眠障害 腹痛 頭痛

り、影響が大きい体調の不具合に疲労、睡眠障害、過敏性腸症候群、頭痛があることが判明した。結果を表2にまとめる。アレルギーは、食べ物によるものではなく、花粉から生じるアレルギー性鼻炎を指すため、鼻炎に置き換えている。過敏性腸症候群は、体調不良ではなく疾患の意味合いが強いため、広義の腹痛に置き換えている。この中でも、不安・抑うつが最も生産性を下げる症状となっている。肩こり・腰痛、鼻炎は、他の症状とあまり大きな差はないが、患っている人数がとても多いため、全体の損失から見ると労働生産性へ大きく影響しているという理由から影響度合いを「とても大きい」に分類している。

3. 労働生産性に影響のある体調の測定・推定方法

前章では、労働生産性に影響のある体調を調査し、不安・抑うつ、肩こり・腰痛、鼻炎、疲労、睡眠障害、腹痛、頭痛が労働生産性に影響があることが判明した。本章では、選定した体調を測定もしくは推定することができる手法の調査を行う。測定・推定可能な場合どのような手法が用いられているのかをまとめ、そうでない場合はどのような手法を用いれば推定可能か考察する。頭痛に関しては、有効な既存技術を発見、考案することができなかつたため、本章では取り扱わない。調査結果を表3に示す。「○」は測定・推定可能、「△」は測定・推定ができる可能性がある、「×」は測定・推定が難しい、または、既存研究がないを表す。

3.1 不安・抑うつ

不安・抑うつ状態になると、気分が落ち込み、仕事への活力がなくなってしまう。この状態は他の体調に比べ労働生産性を最も下げる要因となっている。不安・抑うつはストレスが原因であり、長時間労働、上司・部下との職場関係、家庭環境等と様々な要因がこの状態を引き起こす原因となっている。

不安・抑うつのようなメンタルヘルスの不調が生じると、活動量の低下、精神活動の低下のような変化が現れる。活動量の低下は、ウェアラブル機器やスマートフォンのGPSや加速度計などを用いて測定することが容易であり、この手法によるメンタルヘルスの推定が行われている [26], [27]。また、SNSでのアクティビティを取り入れた推定も行われ

表 3 体調の測定方法の調査結果

体調	ウェアラブル機器での測定	それ以外での測定
不安・抑うつ	○	○
肩こり・腰痛	×	△
鼻炎	△	△
疲労	○	○
睡眠障害	○	○
腹痛	△	△
頭痛	×	×

ている [28]。

メンタルヘルスの不調の原因となるストレスを定量化する代表的な手法は複数あり、(1) 心電計から心拍間隔の時系列データを測定し、自律神経の乱れである LF/HF を算出する手法、(2) 生理的なストレス量であるアミラーゼを唾液から測定する方法 [6]、(3) 皮膚の電気抵抗を測定し、発汗量から緊張度を推定する手法 [9] があげられる。(1) と (3) の手法によるストレス値の測定は、既にウェアラブル機器での測定が可能である。間接的な推定方法として、PCの操作ログを用いてストレス量の推定を行う手法 [7] や画像を選ぶだけでストレス量が推定できる手法 [8] が提案されている。

3.2 肩こり・腰痛

肩こり・腰痛が生じる原因は単純ではなく、複雑な要素から生じている。大きく分けると、骨や筋肉から生じる器質的な痛み、神経の異常から生じる神経痛、神経的なストレスから生じる非器質的な痛みの3つに分類される。慢性的な肩こり・腰痛は、労働中の集中力を妨げる原因となり、生産性の低下に繋がると考える。

肩こり・腰痛を測る指標としては、筋肉の硬さを表す筋硬度が用いられているが、筋硬度は性別・運動経験の有無等の様々な要因により個人の特性を大きく反映するため、定期的に計測を行わなければ肩こり・腰痛を測定することはできない。パソコンを長時間使用すると、肩こり・腰痛が生じるリスクが高まることがわかっており [24]、症状の改善・防止として、姿勢を正すことを促すシステムが提案されている [10], [25]。

3.3 鼻炎

アレルギーや風邪が原因で生じる鼻炎は、労働生産性を大きく下げる原因とはならないが、患者が多く総合的な労働生産性の損失が大きい。鼻炎から頭痛が生じることもあり、集中力の欠如の原因となる。

鼻炎状態を検知する手法が見つからなかつたため、間接的な推定方法を提案する。鼻炎になると、くしゃみの回数やちり紙で鼻をすする回数が増えるため、この音をマイクで検出することで、鼻炎かどうかの推定が行えると考えられる。Chenらは、スマートフォンのマイクからくしゃみと鼻をす

する音を検出する技術を開発している [11]。また、くしゃみの動作をウェアラブル機器の IMU センサから識別することができれば、間接的に鼻炎状態を推定できる可能性がある。

3.4 疲労

十分な休息が取れない、または、睡眠の質が低いと身体が疲労しやすくなる。疲労状態になると、「反応速度が鈍くなる」、「思考力・集中力が低下する」、「行動力が低下する」、「自律神経に異常が生じる」といった状態に陥る。

疲労の計測は自動車の分野で研究が盛んに行なわれている。手法としては、(1) 眼電位から推定する方法 [12]、(2) 外部のカメラから被験者の顔をトラッキングし、瞬きの回数、眼を閉じている長さ (PERCLOS)、頭の動き、視線の方向を計測し、疲労具合の推定を行う方法 [13]、(3) 心拍の変動から推定する方法 [29] があげられる。運動における疲労度であれば、足に IMU センサを取り付けて活動量を測定し推定する方法が提案されている [14]。

3.5 睡眠障害

睡眠障害を患うと、疲労の十分な回復が行えず、労働中に眠くなり、集中力が保てず労働生産性への低下へと繋がる。睡眠障害には不眠症、過眠症など様々な症状があるが、睡眠状態と睡眠の質の推定が行えれば、睡眠障害の検出は容易であると考えられる。睡眠状態の推定には、(1) 心拍から推定する方法、(2) 寝室の環境音から推定する方法、(3) 体動センサから推定する方法などがあり、それぞれ既存製品として広まっている。近年では、心拍計を搭載しているウェアラブル機器が増え、睡眠のログ機能がついている。

3.6 腹痛

腹痛は、食が原因で生じるが、ストレスが原因で生じる場合もある。ストレスが原因の腹痛を特に過敏性腸症候群という。腹痛が生じれば、短時間ではあるが集中力が大いに欠如し、労働生産性を大きく下げることとなる。

腸の状態をモニタリングするデバイスとして、トリプル・ダブリュー・ジャパン株式会社の DFree [15] が利用されている。DFree は超音波を用いることで、腸の状態をセンシングすることができ、腹部の状態や排便のタイミングを推定することができる。この技術を用いれば、腸の状態の異常を検知し、腹痛の予測や検知が可能だと考えられる。

4. まとめ

本稿では、労働者のためのウェアラブル機器を用いた労働生産性改善のシステムを設計するため、まずは、先行調査から労働生産性に影響がある体調の種類を選定した。プレゼンテーションの調査結果から、不安・抑うつ、肩こり・腰痛、鼻炎、疲労、睡眠障害、腹痛、頭痛が労働生産性

に影響があることが判明した。次に、選定した体調のセンサや行動データから計測・推定を行う手法の調査を行った。ウェアラブル機器で測定できる労働生産性に影響のある体調 (不安・抑うつ、疲労、睡眠障害) は、心電や心拍から測定できることが判明した。そのため、今後使用するウェアラブル機器には心電が測定できるものを採用したい。頭痛、肩こり、腰痛のような痛みに関わる体調は計測できる技術があまりないことも判明した。このような、センサで計測できない状態は、ユーザーに直接聞くことでデータの取得を行うことを検討している。このデータの収集時、ユーザーの負担をできるだけ減らすような仕組みを取り入れたい。今後は、データを収集・分析する基盤を作成し、ウェアラブル機器を実際に使用し、実生活のデータを用いて、体調の推定を行う技術の開発を行う予定である。

参考文献

- [1] Faragher, E. Brian, Monica Cass, and Cary L. Cooper.: *The relationship between job satisfaction and health: a meta-analysis.*, Occupational and environmental medicine 62.2, pp.105-112 (2005).
- [2] Loeppke, R., Taitel, M., Haufle, V., Parry, T., Kessler, R. C., and Jinnett, K.: *Health and productivity as a business strategy: a multiemployer study.*, Journal of Occupational and Environmental Medicine 51.4, pp.411-428 (2009).
- [3] Collins, J. J., Baase, C. M., Sharda, C. E., Ozminkowski, R. J., Nicholson, S., Billotti, G. M., ... and Berger, M. L.: *The assessment of chronic health conditions on work performance, absence, and total economic impact for employers.*, Journal of Occupational and Environmental Medicine 47.6, pp.547-557 (2005).
- [4] Shimazu, Akihito, and Wilmar B. Schaufeli.: *Is workaholism good or bad for employee well-being? The distinctiveness of workaholism and work engagement among Japanese employees.*, Industrial health 47.5, pp.495-502 (2009).
- [5] Wada, K., Arakida, M., Watanabe, R., Negishi, M., Sato, J., and Tsutsumi, A.: *The economic impact of loss of performance due to absenteeism and presenteeism caused by depressive symptoms and comorbid health conditions among Japanese workers.*, Industrial health 51.5, pp.482-489 (2013).
- [6] 山口昌樹, 金森貴裕, 金丸正史, 水野康文, 吉田博.: 唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか, 医用電子と生体工学 39.3, pp.234-239 (2001).
- [7] 鳥羽美奈子, 櫻井隆雄, 森靖英, 恵木正史: オフィスワークのストレス量と PC 操作ログ特徴量の重回帰分析— PC 操作ログ分析サービスの応用に向けて—, 情報処理学会デジタルプラクティス 7.1, pp.71-79 (2016).
- [8] Haim, S., Wang, R., Lord, S. E., Loeb, L., Zhou, X., and Campbell, A. T.: *The mobile photographic stress meter (MPSM): a new way to measure stress using images.*, Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers. ACM, (2015).
- [9] Koo, H., Hebrion, I., Johnston, M., Hosein, N., and Fallon, K.: *Stresssense: skin conductivity monitoring garment with a mobile app.*, Proceedings of the 2016 ACM Inter-

- national Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct. ACM, (2016).
- [10] Khurana, R., Marinelli, E., Saraf, T., and Li, S.: *Neck-Graffe: a postural awareness system.*, CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, (2014).
- [11] Chen, Nan-Chen, Kuo-Cheng Wang, and Hao-Hua Chu.: *Listen-to-nose: a low-cost system to record nasal symptoms in daily life.*, Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing. ACM, (2012).
- [12] Lin, C. T., Wu, R. C., Liang, S. F., Chao, W. H., Chen, Y. J., and Jung, T. P.: *EEG-based drowsiness estimation for safety driving using independent component analysis.*, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers 52.12, pp.2726-2738 (2005).
- [13] Yin, H., Su, Y., Liu, Y., and Zhao, D.: *A driver fatigue detection method based on multi-sensor signals.*, 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). IEEE, (2016).
- [14] Schmidt, M., Rheinlander, C. C., Wille, S., Wehn, N., and Jaitner, T.: *IMU-based determination of fatigue during long sprint.*, Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct. ACM, (2016).
- [15] D Free — Maintain human dignity 入手先 (<http://dfree.biz/>) (参照 2016-11-07).
- [16] Sano, A., Phillips, A. J., Amy, Z. Y., McHill, A. W., Taylor, S., Jaques, N., ... and Picard, R. W.: *Recognizing academic performance, sleep quality, stress level, and mental health using personality traits, wearable sensors and mobile phones.*, 2015 IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN). IEEE, (2015).
- [17] Lerner, D., Amick III, B. C., Rogers, W. H., Malspeis, S., Bungay, K., and Cynn, D.: *The work limitations questionnaire.*, Medical care 39.1 (2001): 72-85.
- [18] Koopman, C., Pelletier, K. R., Murray, J. F., Sharda, C. E., Berger, M. L., Turpin, R. S., ... and Bendel, T.: *Stanford presenteeism scale: health status and employee productivity.*, Journal of occupational and environmental medicine 44.1 pp.14-20 (2002).
- [19] Kessler, R. C., Barber, C., Beck, A., Berglund, P., Cleary, P. D., McKenas, D., ... and Wang, P.: *The world health organization health and work performance questionnaire (HPQ).*, Journal of Occupational and Environmental Medicine 45.2 pp.156-174 (2003).
- [20] Reilly, Margaret C., Arthur S. Zbrozek, and Ellen M. Dukes.: *The validity and reproducibility of a work productivity and activity impairment instrument.*, Pharmacoeconomics 4.5 : pp.353-365 (1993).
- [21] Maslach, Christina, Susan E. Jackson, and Michael P. Leiter. *Maslach burnout inventory.*, Evaluating stress: A book of resources 3 pp.191-218 (1997).
- [22] Demerouti, Evangelia, and Arnold B. Bakker.: *The Oldenburg Burnout Inventory: A good alternative to measure burnout and engagement.*, Handbook of stress and burnout in health care. Hauppauge, NY: Nova Science (2008).
- [23] Schaufeli, W. B., Salanova, M., González-Romá, V., and Bakker, A. B.: *The measurement of engagement and burnout: A two sample confirmatory factor analytic approach.*, Journal of Happiness studies 3.1 pp.71-92 (2002).
- [24] Hakala, P. T., Rimpela, A. H., Saarni, L. A., and Salminen, J. J.: *Frequent computer-related activities increase the risk of neck-shoulder and low back pain in adolescents.*, The European Journal of Public Health 16.5 pp.536-541 (2006).
- [25] Lee, H., Choi, Y. S., Lee, S., and Shim, E.: *Smart pose: mobile posture-aware system for lowering physical health risk of smartphone users.*, CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, (2013).
- [26] Saeb, S., Zhang, M., Karr, C. J., Schueller, S. M., Corden, M. E.: *Mobile phone sensor correlates of depressive symptom severity in daily-life behavior: An exploratory study.*, Journal of medical Internet research 17.7 (2015).
- [27] Canzian, L., and Musolesi, M.: *Trajectories of depression: unobtrusive monitoring of depressive states by means of smartphone mobility traces analysis.*, Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. ACM, (2015).
- [28] S, Ishimaru., K, Kise.: *Quantifying the mental state on the basis of physical and social activities*, UbiComp/ISWC'15 Adjunct Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers, pp.1217-1220 (2015).
- [29] Trutschel, U., Heinze, C., Sirois, B., Golz, M., Sommer, D., and Edwards, D.: *Heart rate measures reflect the interaction of low mental workload and fatigue during driving simulation.*, Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. ACM, (2012).