

TiltChair: 座面の前傾により姿勢誘導するオフィスチェア

鈴木 蒼生¹ 藤田 和之¹ 高嶋 和毅¹ 池松 香^{2,1} 北村 喜文¹

概要:

長時間の静的な座位姿勢は、筋骨格系の不調だけでなく、心疾患や生活習慣病のリスクを高め死亡率の増加にも繋がる深刻な問題である。しかし、これまで検討されてきた姿勢誘導手法の多くはユーザの作業中断を伴うか、ユーザの自発的な利用を必要とする。そこで本研究では、座面の前傾角度を変化させることでユーザの立位動作を物理的に支援するシステムである TiltChair を提案する。本システムの有効性を示すため、一般的なオフィスチェアの座面を空気圧制御により傾斜可能にした TiltChair のプロトタイプを製作した。このプロトタイプを用い、12名の参加者に平均4.25時間のデスクワークを実施してもらい、長時間の座位の解消への有用性を検証する実験を行った。この結果、小さな傾斜角度（15度）では27.2%、大きな傾斜角度（35度）では60.0%の割合で、本システムの前傾動作がユーザを立位姿勢へ誘導した。また、大きな傾斜角度（35度）であっても、ほとんどの参加者から、座面傾斜はタスクを干渉するものではなかったと感じられていたことがわかった。

1. はじめに

多くの人々が一日の大半を自身のデスクで座って過ごしている。長時間の静的な座位は、筋骨格系に不調を及ぼす [15], [17] だけでなく、総死亡率 [10] や心疾患、生活習慣病に代表される様々な疾患リスク [2], [6], [10], [31] を高めるとされており、社会的に問題視されている。これに対して、人間工学および生理学の観点から様々なオフィスチェアが考案されている。その多くは、座面や背もたれがユーザの動きに応じて（受動的に）スライドしたり傾いたりするものである [13], [25], [26], [32] が、このアプローチはあまり効果がないと指摘する研究も少なくない [25], [26]。一方で、高さを調節可能なデスク（昇降デスク）やエクササイズしながら利用可能なワークステーション等が開発されている [7], [22], [24], [29], [30] が、これらはユーザが自発的に利用する必要がある [9], [12] ため、一様に効果が得られない。

ヒューマン・コンピュータ・インタラクション (HCI) の分野では、姿勢のセンシングおよび誘導・矯正に関する多くの研究が行われてきた。特に、姿勢の誘導や矯正は、画面上の通知 [1], [16], [18], 振動触覚フィードバック [16], [34], 卓上オブジェクトの形状変化 [8], [16], [19] 等の様々な方

法が検討されてきた。しかし、これらの方法も、ユーザが意識的に姿勢を変えることを促すものであり、より明示的な通知であるほどユーザの邪魔になる可能性も高くなる [16], [34]。別のアプローチとして、ユーザのしているスクリーンを物理的に動かすことで視線を誘導し、非明示的に姿勢を操作する手法も提案されている [27], [28] が、この手法は、ユーザが画面を見続けているタスクでのみ有効である。その他、能動的に移動する椅子 [20] 等も検討されているが、これは姿勢誘導を目指したものではない。

本研究では、新たな姿勢誘導のアプローチとして、オフィスチェア座面の傾きに焦点を当てる。座面の傾きの変化は、ユーザの作業内容に関わらず、着座姿勢に直接働きかけることが可能であると考えられる。加えて、座面を前傾させることで立位と座位の間の過渡的な状態（半座位 [33]）へ誘導し、ユーザの自然な姿勢の変化を促せると期待される。これまでに、座面が受動的に傾斜する機構を持つ椅子 [3], [4], [5], [23], [33] は検討されているが、システムからの能動的な座面角度変化を検討している例は少なく、長時間の座位の解消への程度効果があるのかを調査した研究はほとんどない。

そこで本研究では、座面の前傾角度変化により姿勢誘導を促すオフィスチェアである TiltChair を提案する。図1に昇降デスクと併せて使用した場合の提案システムの使用イメージを示す。本システムでは、座位姿勢から立位姿勢への移行を物理的に誘導する。本システムを用いた先行研

¹ 東北大学電気通信研究所
Sendai, Miyagi, Japan

² ヤフー株式会社
Chiyoda, Tokyo, Japan

究では、傾斜角度および変化速度を制御することで、姿勢誘導の強制力やタスクへの干渉度合いを調節できることが明らかになった [11]。本稿では、この知見に基づき、実利用を想定したオフィス作業向けの座面前傾アルゴリズムを実装し、これを用いたユーザスタディの結果を報告する。実験結果から、本システムを用いた姿勢誘導の可能性について考察する。

2. TiltChair

TiltChair は、座面の前傾角度変化を用いて姿勢変化を促進するオフィスチェアである。座面の傾斜角度と変化速度を制御することで、姿勢誘導の強制力とユーザへの干渉を意図的に調整することが可能であると期待される。これを用いれば、例えばユーザを半強制的に立ち上がらせる誘導や、逆にユーザにあまり気付かれずに立位を促す誘導等、幅広いコンテキストでの利用が期待できる。以下では、TiltChair を実現するためのシステム設計とそのプロトタイプの実装について説明する。

2.1 システムデザイン

TiltChair のシステム要件は下記のとおりである。

- 一般的なオフィスチェアへの追加機構であること。これは、通常のオフィスチェアの座り心地を維持するためである。
- システムは、座面の「傾斜角度」と「変化速度」を制御できること。これらの変数は作業中の姿勢変化においてユーザに大きく影響を与えると想定しているため、制御できる必要がある。さらに、今回着目した要素は座面の前傾角度変化であり、座面の動きは背もたれから独立している必要がある。
- 座面の傾斜がユーザを半座位の姿勢に誘導できること。座面の傾斜動作は多数考えられるが、中でもユーザを半座位姿勢へと誘導可能なものとする。具体的には、座面の前端を回転軸として、座面表面が水平状態と前傾状態（後傾は不可）との間で遷移する。この前傾は、傾斜角度に応じてユーザの腰の位置を上昇させることが期待され、座っている状態と立っている状態の間の自然な移行を促す。
- 傾斜動作は滑らかであること。傾斜動作中の急激な加速または減速は、ユーザに身体的もしくは精神的なストレスを与える可能性がある。加えて、傾斜以外の動作（モータからの振動など）は、座面の前傾を提示する中で避けるべき要素である。これらの理由から、システムは傾斜角度や速度に関係なく滑らかな動作が必要となる。

これら 4 つの要件を考慮して、座面下に挿入したエアクッションを空気圧制御することにより座面角度を制御する機構を採用した。

2.2 実装

2.2.1 前傾機構

座面の傾斜は、通常のオフィスチェア (BIT-X45LO-F-BL, アイリスチトセ) の座面下に空気圧制御機構 (以下、前傾機構) を挿入することで実現する。図 2a に前傾機構のシステム構成、図 2b に前傾機構の側面図を示す。前傾機構は、2 つの蝶番 (B-214-4, TAKIGEN) で接続された 2 枚の木製プレート (W300 × D300 × H20mm) とその間に挿入されたエアクッション (Toughage Triangle Inflatable Pillow, 膨張時 W450 × D360 × 160mm, 耐荷重 120 kg) で構成されている。上部プレートはオフィスチェアの座面下部に、下部プレートはオフィスチェアのフレームにそれぞれ取り付けられている。また下部プレートには、エアクッションの厚みを考慮したうえで傾斜角度を 0 度に維持するため、3D プリント素材によるオフセットパーツを取り付けている。エアクッションは、手動バルブ (250V, KOGANEI) を介してエアコンプレッサ (ACP-10A, EARTH MAN) と真空ポンプ (TA150XD, TASCO) に接続されており、手動バルブをサーボモータ (DS3218mg, Goolsky) によって操作することで膨張と収縮を切り替える。空気の流入量は、レギュレータ (AT-77, 藤原産業) のダイヤルを別のサーボモータで回転させることで制御する。上部プレートには、傾斜角を測定するための加速度センサ (MPU6050, IvenSense) と、ユーザの座位の有無を取得する圧力センサ (BME280, Bosch Sensortec) を設置した。マイクロコントローラには、Arduino Uno (Gravitech) を使用した。前傾機構により、オフィスチェアの座面角度を最大 55 度まで上昇させることができる。前傾機構を取り付けた座面の高さは 92-102cm であり、元のオフィスチェアよりも 9.0cm 高くなっている。この高さについては、先行研究 [4] で、座面が高い状態においてユーザが座面の傾斜を受け入れやすいと報告されていたこと、加えて予備テスト (N = 5) で座面の高さに対する否定的な反応が確認されなかったことから、大きな悪影響はないと考えた。

2.2.2 制御アルゴリズム

傾斜の速度は、サーボモータでレギュレータのダイヤルを回転させ、空気の流入量を変更することで制御する。この方法を用いて正確な座面角度の変化速度の制御を行うために、ダイヤルの回転角度と、結果として生じるシートの傾斜速度との関係を調べた。ユーザ (体重 72 kg) が TiltChair に座った状態で、0-40 度の間で 1 度ずつダイヤルの回転角度を上げながら、その時の傾斜速度を測定した。速度は、座面角度を 0 度から 30 度まで上げるのにかかる時間から計算し、モータの回転角 x (度) と得られた座面の傾斜速度 y (度/min) の関係をロジスティック曲線 $y = a / (1 + b \times e^{cx})$ にフィッティングさせたところ、 $a = 1.02 \times 102$, $b = 1.30 \times 103$, $c = -0.270$ が得られ、残差の標準誤差は 2.25 度/min, 自由度は 38 であった。この

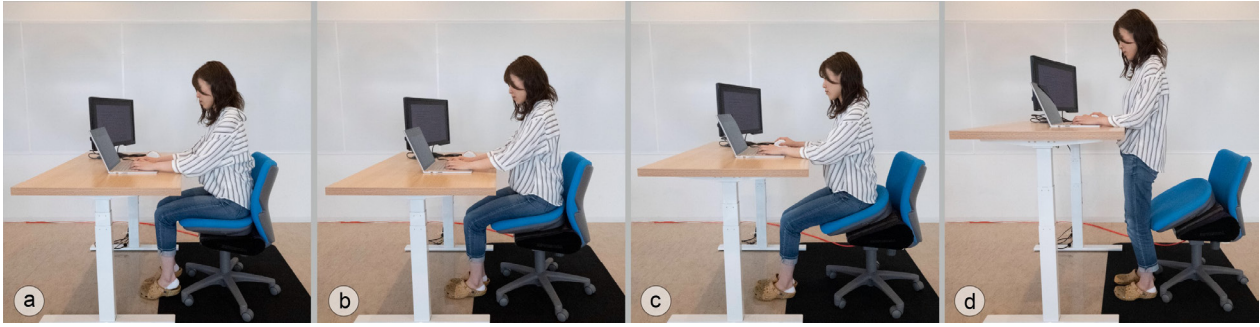


図 1 TiltChair の利用イメージ。座面角度：(a) 0 度, (b) 15 度, (c) 35 度, (d) 40 度

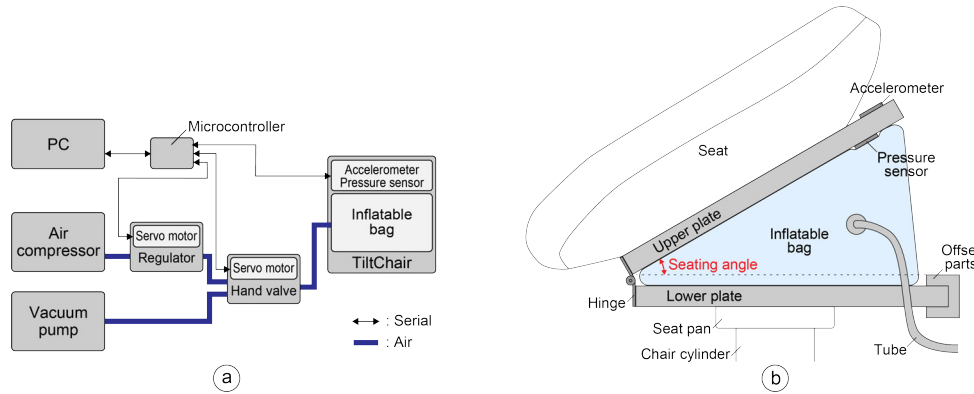


図 2 (a) TiltChair のシステム構成. (b) 前傾機構の側面図 (背もたれは省略)

結果から、特定の傾斜速度 y を与えるダイヤル回転角 x は、その逆関数によって決定できる。ユーザの体重や体の動きによって座面角度がわずかに変動する可能性があるが、予備調査においてこの影響は無視できると考え、フィードバック制御を採用しなかった。

この機構を用い、前傾角度制御の精度を測定するためのテストを実施した。ユーザ ($N = 5$) が着座した状態で、0 度から 35 度までの座面の前傾角度変化を 2 種類の速度 (5 度/min と 40 度/min) で提示した。加速度センサから座面角度の時系列データを 4Hz で取得し、0 度から一定速度で 35 度に達する際の動作を理論値と比較し、測定値との誤差を算出した。合計 9450 の取得サンプルを測定したところ、平均絶対誤差は 1.55 ± 0.534 度 (平均誤差率 4.42%) であり、これは姿勢誘導を実現する上で十分に小さいものであると考えた。

3. アプリケーションの検証

製作した TiltChair のプロトタイプを利用し、長時間の座位の解消を目的としたアプリケーションの有用性を検証するユーザスタディを実施した。

3.1 実験計画

本検証では先行研究の結果 [11] に基づき、長時間または静的な座位の解消を目的として図 3 に示す座面動作を採用する。すなわち、デスクワーク作業にできるだけ干渉しな

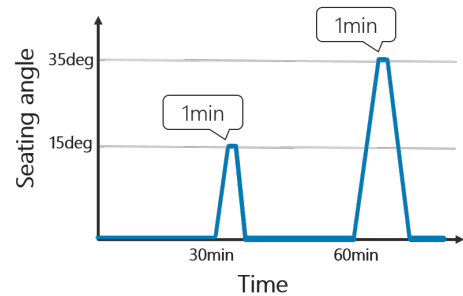


図 3 継続着座時間に対する TiltChair の座面角度動作。

いよう、傾斜速度は先行研究 [11] で用いたもののうち最低速なもの (5 度/min) とした。また傾斜動作の到達角度は、先行研究 [11] で用いた 2 種類 (15 度と 35 度) を順に提示することを試みる。ユーザが着座しているかどうかは TiltChair 座面に設置された圧力センサにより取得され、連続座位時間が 30 分に達すると到達角度 15 度、60 分に達すると到達角度 35 度として、5 度/min の速度でそれぞれ座面を傾斜させた。座面の傾斜は、到達角度に達してから 1 分間提示した。参加者は、自身のノート PC、2 章で述べた TiltChair プロトタイプ、および昇降デスクと拡張ディスプレイから構成されるワークスペースにて、最低 4 時間自由にデスク作業を行い、作業後に座面動作および作業性に関するインタビューに回答した。また参加者の姿勢変化を録画した映像から観察した。

3.2 参加者

参加者は、12名の大学生または大学院生（男性：11名、女性：1名）で構成され、平均年齢は23.5歳（SD=1.29）であった。全ての被験者には事前情報として、研究の背景（長時間/静的な座位の悪影響）と本システムの目的について伝えた。

3.3 手順

参加者には、まず実験の概要とデスク環境の使用方法について説明を与えた。その後、参加者にはそのまま数時間自由にデスク作業を行ってもらった。加えて、自身のノートPCとイヤホンまたはヘッドホンを予め持参してもらい、また作業中はコンプレッサ等の騒音による影響を考慮し、持参したイヤホンまたはヘッドホンを常時装着してもらった。参加者には自由に離席してもよいが、長時間の離席がないように指示した。作業終了後、座面動作および作業性に関するインタビューに回答してもらい実験を終了した。また実験時に撮影した映像から、着座時間や立位回数を観察した。

3.4 結果

参加者が行った作業は、主に文書作成、論文調査、プログラミング、オンラインミーティングへの参加で、一人あたりの平均作業時間は4.25時間（SD = 0.20）であった。参加者の映像の観察による結果として、到達角度15度の傾斜の一人あたり平均提示回数3.67回（SD = 0.97）のうち、参加者が立位姿勢に移行した平均回数は1.00回（SD = 1.45）であり、全体の27.2%であった。到達角度35度の傾斜の平均提示回数は1.67回（SD = 1.15）で、そのうち平均立位回数は1.00回（SD = 1.27）で、全体の60.0%であった。またインタビューの結果から、到達角度15度では座面の動作に気づかないことがあった、または気づくまでに時間を要したと回答した参加者が多かった（7名）。一方で、到達角度15度の緩やかな傾斜であっても、座面の傾斜中、数名の参加者（4名）に立位作業への移行や立ち上がったの休憩、体を伸ばす等の動作が観察された。到達角度35度の場合には、多くの被験者が椅子から立ち上がるという行動を見せた（8名）。また作業への集中に関してインタビューしたところ、11名が到達角度15度、35度の両方で集中力を阻害されることはほとんどなかったとコメントしており、また7名が立位での作業や休憩を挟んだことで普段よりも作業に集中できたと述べた。加えて、オンラインミーティングのような主に視聴覚のみ用いる作業と、文書作成のようなキーボード入力が必要な作業では、集中力等への影響が異なるという参加者の意見もあった。日常のデスクワークでの利用に関しては、10名の参加者がポジティブな意見を述べ、長時間/静的な座位の解消以外にも目覚ましや作業時間の通知、作業時のリフレッシュ等に使

いたいという意見があった。一方で、そもそも立位での作業を好まない、デスクワークにおいて身体的な不調を感じないことから、特に利用したいとは思わないという意見もあった（2名）。

3.5 考察

到達角度15度の傾斜では、座面動作への気付きの有無には個人差が見られ、数名の参加者の姿勢変容や軽微な運動を促していたことから、姿勢誘導の強制力はあまり強くなかったと考えられる。一方、到達角度35度の変化においては、到達角度15度よりも明らかに高い割合でユーザを立位へと誘導した。このことから、到達角度をより大きなものにするだけで、より強制的に立位を促せることが期待できる。また、座面傾斜が作業への集中を阻害しないものであったという意見が多かったことから、タスクの最中に座面傾斜を与えたとしても、ユーザのタスクを大きく干渉せずに立位を促せるという本システムの有用性が示唆された。これは、タスクの合間に用いることを推奨している関連研究[21]と比較しても大きな利点であるといえる。また、参加者からのコメントでも得られたように、本システムは、長時間の座位の解消という目的以外の様々な日常場面に利用可能であると考えられる。中でも、目覚ましやスケジュールの通知への応用は有望であると考えられるが、認知しやすいつ変化速度での動作など他の動作アルゴリズムが適していると考えられる。加えて、1つのアプリケーション内でも作業内容によってユーザへ与える影響が異なる可能性があり、ユーザの作業状態や体勢を考慮した動作アルゴリズムに関しても検討の余地がある。

4. まとめと今後の展望

本研究では、座面の前傾角度変化を用いて姿勢を誘導させるシステムであるTiltChairを提案し、そのプロトタイプを実装した。加えて、プロトタイプを用い、長期的な座位の解消に向けたアプリケーションを実装し、実利用を想定したユーザスタディを実施した。結果から、本システムがデスク作業中においてユーザの作業を邪魔せずに立位を促進できることが示唆された。しかし一方で、今回の実装と検証にはいくつかの制限がある。大きな制限1つは、アプリケーションの検証において長期的な座位行動を観察していないことである。長時間の座位というのは習慣的な行動であり、システムの実際の有用性を確認するためには長期使用時の行動の変化を調べるのが不可欠である。加えて、実用する上では使用ユーザの安全が最優先となる。長時間の作業における問題は発生しなかったが、これも長期的な観点から調査する必要がある。したがって、長期的なユーザ調査を実施することは将来的に必要な作業の1つである。

実装に関する制限としては、ポンプからのノイズとシス

- van, P. and Dankaerts, W.: The effect of dynamic sitting on the prevention and management of low back pain and low back discomfort: a systematic review, *Ergonomics*, Vol. 55, No. 8, pp. 898–908 (2012).
- [27] Shin, J. G., Kim, D., So, C. and Saakes, D.: Body Follows Eye: Unobtrusive Posture Manipulation Through a Dynamic Content Position in Virtual Reality, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI' 20*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–14, DOI: 10.1145/3313831.3376794 (2020).
- [28] Shin, J.-G., Onchi, E., Reyes, M. J., Song, J., Lee, U., Lee, S.-H. and Saakes, D.: Slow Robots for Unobtrusive Posture Correction, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–10 (2019).
- [29] Shrestha, N., Kukkonen-Harjula, K. T., Verbeek, J. H., Ijaz, S., Hermans, V. and Pedisic, Z.: Workplace interventions for reducing sitting at work, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 6 (2018).
- [30] Straker, L., Levine, J. and Campbell, A.: The effects of walking and cycling computer workstations on keyboard and mouse performance, *Human factors*, Vol. 51, No. 6, pp. 831–844 (2009).
- [31] Tudor-Locke, C., Schuna, J., Frensham, L. and Proenca, M.: Changing the way we work: elevating energy expenditure with workstation alternatives, *International journal of obesity*, Vol. 38, No. 6, pp. 755–765 (2014).
- [32] Van Dieën, J., De Looze, M. and Hermans, V.: Effects of dynamic office chairs on trunk kinematics, trunk extensor EMG and spinal shrinkage, *Ergonomics*, Vol. 44, No. 7, pp. 739–750 (2001).
- [33] Vink, P., Konijn, I., Jongejan, B. and Berger, M.: Varying the Office Work Posture between Standing, Half-Standing and Sitting Results in Less Discomfort, *Proceedings of the International Conference on Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers: Held as Part of HCI International 2009, EHAWC'09*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, p. 115–120, DOI: 10.1007/978-3-642-02731-4_14 (2009).
- [34] Zheng, Y. and Morrell, J. B.: A vibrotactile feedback approach to posture guidance, *2010 IEEE haptics symposium*, IEEE, pp. 351–358 (2010).