

芸術系職種における固定姿勢緩和に向けた 腹圧による機能切り替え手法とその検証

成瀬 詩織¹ 中村 聡史¹

概要：長時間の座位姿勢を伴うイラストレータや漫画家などの芸術系職種の描画業務では、姿勢の固定化による身体的疲労や姿勢の悪さから首・腰・肩への負担が蓄積しやすくなる問題がある。ここで、座位姿勢において腹部に力を入れると、姿勢への意識が向きやすい。そこで、描画中に行われるペンと消しゴムの機能切替操作に対して、腹圧を加える動作を入力操作として割り当てる UI を提案する。これにより、作業を中断せずに体幹筋群の軽度な活動を促し、良い姿勢の維持と集中力の継続を支援することを目的とする。本稿では腹圧による入力を用いた描画支援システムを構築し、従来のタッチ操作による機能切替との比較実験を行った。実験により、腹圧による入力は切替精度を保ちつつ、集中維持の両立が可能であることが示唆された。

1. はじめに

1日8時間以上の長時間座位が疲労の増加や心血管リスクの上昇と関連すること [1][2] や、上半身の筋骨格系の痛みが頻発することが明らかになっており [3]、長時間にわたる座位での集中作業は、精神・身体負荷の両面において無視できないものである。オフィスワークを対象とした調査では、勤務時間の約6時間を座位で過ごしており、首・腰・肩の痛みを訴える割合がいずれも50%を超えることが明らかになっている [1]。また、3年間の追跡研究により、勤務時間の大半を座位で過ごすひとは、将来的に慢性的な首や腰の痛みを訴えるリスクが高いことが報告されている [4]。以上のことから、長時間固定化された座位姿勢は、無意識のうちに身体各部への負荷を蓄積させ、結果として慢性的な痛みや健康障害といったリスクを引き起こすといえる。

ここでイラストレータやアニメーター、漫画家などの芸術系職種では、締め切りが迫ると長時間連続して制作に没頭するケースがあり、その多くが自宅やスタジオにこもって行う座位作業であることが厚生労働省の職業情報サイトに明示されている [5]。これらの職種では、長時間の座位姿勢と深い集中が不可欠であり、一般的なデスクワークと比較しても健康リスクが深刻化しやすいと考えられる。実際に、身体的負荷の蓄積によって健康障害を引き起こし、長期の休載に至るクリエイターも少なくない [6][7][8]。

長時間の座位作業による健康障害への対策として、定期

的な姿勢の変化を促す通知やアラームを用いる手法が提案されている。このアプローチは習慣化の観点から有効であるとされている [9]。また、定期的な通知によって立ち上がり行動を促す介入は、集中力や神経筋パフォーマンスの改善につながるが示されている [10]。しかし、漫画のペン入れや描画作業のように持続的な集中と没入状態を必要とする業務においては、こうした外的な通知やアラームが作業の中断を招き、再集中に時間がかかるなど作業効率の低下を招く恐れがある。また、ディスプレイ [11] や椅子 [12] を自然に動かすことで固定姿勢緩和を促す研究がなされているが、こうした手法はシステムの導入コストが大きい。

ここで Hodges ら [13] は、横隔膜と腹部筋による腹圧の上昇により、体幹の安定性を高めることができることを明らかにしている。つまり、デスクワーク中に腹部に定期的に力を入れることは、姿勢改善につながると期待される。

そこで本研究では、描画作業において Undo や保存などのショートカットキーを使うように、腹部に力を入れることで描画作業を補助する操作を行いつつ、結果的に固定姿勢緩和を行う手法を提案する。具体的には、腹圧による操作を高頻度で利用するペンと消しゴムの切り替えなどに割り当てる。本研究ではこの腹圧動作による補助操作をもつ描画支援ツールをプロトタイプシステムとして実装し、その精度と有用性、問題点について検証を行う。

¹ 明治大学
Meiji University

2. 関連研究

2.1 固定姿勢が与える健康リスク

長時間にわたる座位作業は、身体にさまざまな悪影響を与えることが知られている。厚生労働省による調査報告では、成人の1日の活動時間のうち、座位で過ごす時間が6割以上を占めることが明らかにされており[14]、デスクワークを中心とした労働環境の普及に伴い、その割合は今後さらに増加すると予測されている[15]。先行研究では、長時間の座位は腰痛や肩・背中の慢性的な痛みの要因になるだけでなく[3][4][16]、足組みや前傾姿勢の習慣化による骨盤の歪みや呼吸機能の低下など、身体全体に影響を及ぼすことが指摘されている[13]。また、身体的不調は作業効率や集中力の低下にも直結し、生産性の面でも無視できない問題となる。つまり、座位作業における健康リスクを軽減する仕組みをいかに自然に作業環境へ組み込むかが、重要な課題といえる。

2.2 座位作業中に運動や姿勢修正を促すシステム

Matuska ら[9]は、椅子に設置した力覚センサでユーザの座位姿勢を検出し、不良姿勢が続いた場合にスマートフォンアプリを通じてアラーム音や通知を送信することで姿勢修正を促すシステムを提案している。また、実験によりユーザは通知を受け取ることで姿勢を直す傾向を示し、姿勢改善効果があることを明らかにしている。一方、作業に集中している最中に強制的に通知音が鳴ることで注意が途切れ、作業効率を損なう可能性が報告されている。

Donath ら[10]は、オフィスワークを対象としたランダム化比較試験により、日常的に「立つ／座る」の選択を求められる定期通知を提示することで立ち上がり行動が増加し、集中力や神経筋パフォーマンスの改善につながることが明らかにしている。しかし、この手法は外部からのリマインドに依存する仕組みであり、ユーザが受動的に通知に従うことに違和感を抱く可能性や、長期的に通知効果が減衰するリスクがあることが課題である。

固定姿勢緩和を外部から促すのではなく、ユーザ自身の身体動作を入力インタフェースとして積極的に取り入れるアプローチも存在する。上野ら[17]は、足に装着したマーカと上方からのウェブカメラ撮影を組み合わせることで、足のジェスチャをPCの操作入力に変換する手法を提案している。この仕組みによって、カーソル移動やショートカット操作を足の動作で行えるなど、手を使った作業と並行して入力が可能となっている。

また、石山ら[18]は、椅子の座面に敷いた圧力分布センサシートによってユーザの上体や足の動作を検出し、それに応じた画面内を覗き込む操作や、ショートカット操作などのPC操作を実現している。さらに、清水ら[19]が提案

した DeskWalk は、キー入力を身体動作で置き換えることで、座位作業時の運動不足を解消するシステムであり、作業と運動を統合する試みとして注目される。同様に、Han ら[20]の DistKey は、身体動作を空間的に分散配置したホットキー入力として利用することで、日常的なPC操作に身体活動を統合する手法である。このような手法は、ごく自然な身体動作を介して入力できる点で高い直感性と操作の補助手段としての可能性を示している。

こうした研究は姿勢改善などを目指したものではないが、我々の手法に取り入れることで固定姿勢緩和の1つの方法として採用できると期待される。

2.3 環境の物理的な変化による姿勢誘導

ディスプレイや椅子を自律的に動かし、ユーザの姿勢を無意識に矯正する研究も提案されている。Slow Robots[11]は、ディスプレイをひとに気づかれないうつくりと動かすことで、偏った姿勢を取った際に画面位置を微調整し、結果的に利用者に姿勢修正を促す仕組みである。4時間の作業実験でディスプレイの動作によって無意識の姿勢微調整が増加し、不良姿勢持続時間が有意に減少することが示されている。また、藤田ら[12]は椅子の座面角度を電動で変化させ、傾斜による圧力変化を利用してユーザが無意識に体を起こすように働きかける TiltChair を提案している。このような環境側からのさりげない姿勢操作は、従来の通知型システムとは異なり、直接的な注意喚起を伴わない点で特徴的である。さらに Bailly ら[21]は、ユーザの位置や姿勢に応じてデバイス配置や画面角度を自動調整する LivingDesktop を提案し、正しい姿勢保持を支援している。しかし、こうしたシステムは自然な動作を取り入れられるものの実用性や環境依存性があること、導入コストが高いことなどが問題となっている。

本研究では、感圧センサとベルトによる簡易な構成により、環境に依存せず導入可能な軽量の姿勢支援手法を実現し、作業の補助操作を腹圧により入力可能とすることで、従来研究の課題であった集中の妨害と環境依存性を同時に解消することを目指している。

3. 提案手法

本研究では、長時間の座位作業を行う上で姿勢が固定化され、血流不良や身体の痛みといった健康リスクが引き起こされることを防ぐために、業務に必要なツール切替操作を身体動作に割り当て固定姿勢緩和を促す UI 操作手法を提案する(図1)。

本手法は一章でも述べた通り芸術系職種が主として取り組む描画作業を対象とした。Hodges ら[13]は、横隔膜と腹部筋の共収縮によって腹腔内圧が持続的に上昇し、この腹圧の上昇は体幹の安定性に寄与することを示している。このことから本研究では、作業中に比較的容易に動か



図 1: システムイメージ図

すことができ、かつ姿勢の改善にも効果が期待される身体部位として、腹部に力を入れる動作に着目した。具体的には、ベルトを用いて腹部に感圧センサ (FSR 402, Interlink Electronics) [22] を装着し、Arduino Uno[23] を用いて腹部圧を計測する。センサから得られた値に基づいて、ある閾値を超えた場合にツール切替を可能とする UI を提案する。

4. プロトタイプシステム

4.1 腹圧センシング

腹圧センシングの方法として曲げセンサ (Flex Sensor 2.2, Spectra Symbol) や伸張センサ (導電性ゴムシート $200 \times 200 \times 0.5$ mm, Switch Science) など複数の方式を検討した。しかし、曲げセンサは腹部のような平面的な圧力変化の計測には不向きであり、導電性ゴムシートは一度伸長すると元の状態に戻るまでの復帰が遅いため制御が困難であるといった問題があった。これに対して感圧センサは、面全体に加わる圧力変化を即時に反映でき、装着位置や姿勢の影響も比較的小さい。そこで本研究では、腹部に着用するベルトと腹部との間に感圧センサを挟み、腹圧を入れているかどうかのセンシングを行う。

データ取得はサンプリング周波数 100Hz、分圧抵抗 10k Ω で行った。また、厚さ 2.5mm の EVA シートを 5 枚積層 (合計約 12.5mm 厚) し、外周部を縫合して一体化したブロックを作製した。縫合部にはリード線を通す隙間を設け、センサ本体がブロック上面中央に安定して保持されるようにした。EVA ブロックは、長さ調整可能な革製ベルトの裏面にアクリルフォーム基材の両面テープ (厚さ 1mm) で固定した (図 2)。この方法により、センサの位置ずれを防ぎつつ実験協力者が短時間で着脱できるようにした。本手法でこのような方式を採用した理由は、簡易なハードウェア構成で連続的な腹圧データを取得できるためである。装着後、実験協力者のリラックス状態を数秒間計測し、その平均値をゼロ点キャリブレーション値とした。

回路は単純であり、感圧センサと抵抗を直列に接続し、

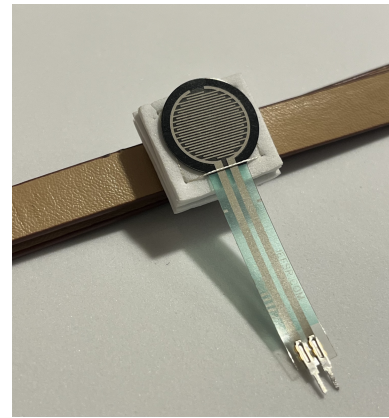


図 2: 感圧センサ部装着図

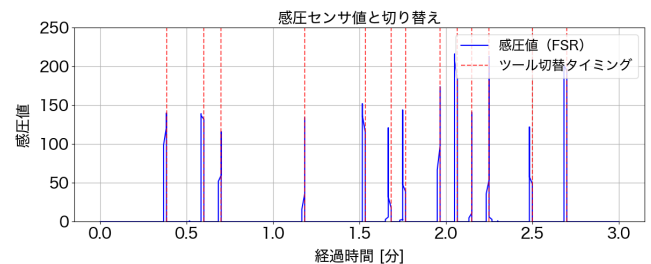


図 3: 切替時のセンサ値の変化

その接続点を Arduino のアナログ入力端子 (A0) に接続した。センサの一端を 5V 電源に、もう一端を抵抗を介して GND に接続することで電圧分割を構成し、センサの抵抗値変化に応じて A0 ピンの入力電圧が変化するようにした。センサの固定にはブレッドボードとワニ口クリップを用いた。

4.2 腹圧操作を可能とする描画支援ツール

描画支援ツールは Python の Tkinter を用いて実装した。GUI は大きく「キャンパスサイズ入力画面」と「描画面」に分かれる。起動時にはまずキャンパスサイズを入力する画面が表示され、ユーザーが数値を入力して新規作成ボタンを押すと描画面に遷移する。描画面では、デジタルペンを用いた自由描画が可能となっており、ペン機能と消しゴム機能を切り替えることが可能となっている。

今回実装した描画支援ツールは、腹圧データをベルトに装着した感圧センサから Arduino を介してシリアル通信を用いて取得する。具体的には、Arduino の A/D 変換を通じて取得される腹圧センサの値 (以下、analogRead 値) を取得し続けている。これにより、描画操作中でも遅延を感じることなく、圧力変化を正確に観測できる。図 3 に、描画システム使用時における腹圧センサ値とツール切替タイミングの時系列変化を示す。腹圧を加えたタイミングでセンサ値が上昇し、閾値を超えるとツール切替が発生していることが確認できる。このことから、描画動作中でも腹圧センシングが安定して動作していることがわかる。

ここで腹圧データは時間的に連続で変化するため、単純な Press/Relax の二値入力ではなくその長さにより複数の操作モードを実現できる。そこで本システムでは Relax 状態から Press 状態、また Relax 状態への変化における Press の時間の長さに応じて「Short Press」と「Long Press」を区別し、以下の2つの操作に割り当てた。

- **Short Press:** 描画業務に頻繁に行われるペン機能と消しゴム機能を切り替える操作に割り当てる (図4)。
- **Long Press:** レイヤー操作画面の呼び出し。この画面では、新規レイヤーの追加や既存レイヤーの削除、表示／非表示の切替が可能であり、複数レイヤーを利用した描画作業に対応できる。

なお、今回は腹圧による操作には対応付けていないが、描画作業をより実用的にするために、Undo/Redo 機能を実装した。描画支援ツールの利用にあたっては、ユーザは鳩尾付近にベルトを装着し、腹部に力を入れることでツールを切り替える。これにより、ペンを持ったままペンと消しゴムの切替を操作でき、通常の描画作業と同様に利用できる。

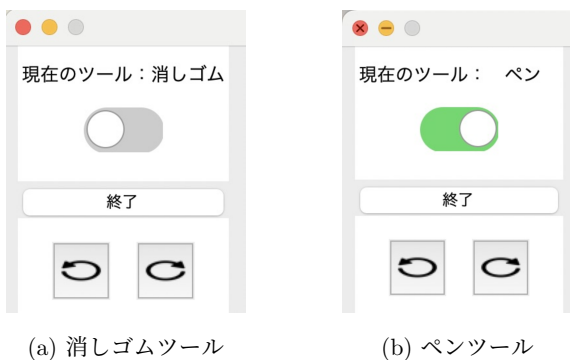


図4: ツール切替時のアイコン表示

5. 腹圧入力の精度検証

5.1 実験概要

本実験では、腹圧操作の認識精度を定量的に評価する。実験協力者には「腹圧を加える (Press)」「腹圧を加えない (Relax)」の二つの状態を明確に切り替えて入力してもらい、その際の腹圧センサ値を記録した。入力は Arduino を介して連続的なアナログ値として取得され、ログとして保存される。

実験協力者は大学生 10 名であり、1 人あたり 200 回の試行を行った。提示方法は GUI 画面に「Press」「Relax」をランダム順に表示し、実験協力者には指示に従って操作してもらった。測定データは、各試行における腹圧センサ値の連続ログと提示ラベル (Press / Relax) とその圧力値である。なお、実験中は判定処理結果を実験協力者に提示しなかった。実験時間は 20 分程度であった。

実験後、取得したログに対してあらかじめ設定した閾値

を適用し、「Press / Relax」に二値分類した。この分類結果と提示ラベルを比較して混同行列を作成し、腹圧による切替精度 (Accuracy) を分析し、腹圧入力がシステム上でどの程度安定して識別可能かを評価した。本タスクは短時間で繰り返し実行可能であり、実験協力者ごとの腹圧操作の安定性や誤判定の傾向を定量的に比較することができる。

閾値設定の方法として、Press 区間と Relax 区間における腹圧センサ値の最大値を求め、そのトリム平均 p_m (Press) および r_m (Relax) を計算した。しきい値 θ は次式により決定する：

$$\theta = r_m + \tau(p_m - r_m)$$

ここで τ は 0.1 から 0.7 まで 0.02 刻みでグリッドサーチを行い、F1 スコアを最大化する値を選択した。これにより、個人差を考慮した最適な閾値設定が可能になる。

5.2 実験結果

5.2.1 キャリブレーションに必要な手間と精度

分析では、最初の複数回の Press / Relax 動作から得られたセンサ値を基に、腹圧入力のしきい値 τ を算出した。この回数が少ないほどユーザの手間は少ないものとなる。本研究ではキャリブレーションにおいて、この Relax 動作と Press 動作を何回実施する必要があるかを調査するため、Relax 動作 1 回と Press 動作 1 回の組をフェーズ数 K として定義する。

キャリブレーションに用いるフェーズ数 K が分類精度に与える影響を分析するため、 $K = 1, 2, 3, 4, 5$ の条件について、10 人分の最初の K 組分を判定に利用し、それぞれ残りデータに対する精度を比較した。結果を表 1 に示す。表 1 より、いずれの条件においても精度 (Accuracy) は

表 1: フェーズ数ごとの性能比較

フェーズ数	精度 (Accuracy)	サンプル数
$K = 1$	0.981	1980
$K = 2$	0.987	1960
$K = 3$	0.986	1940
$K = 4$	0.986	1920
$K = 5$	0.986	1900

0.981~0.986 と高く、キャリブレーションに用いるフェーズ数を増加させても精度の向上はほとんど見られなかった。ただし、 $K = 1$ (Relax と Press 動作がそれぞれ 1 回) の場合はキャリブレーション時間が短い一方で、閾値推定が外れ値の影響を受けやすく安定性に欠ける可能性がある。そのため、本研究では精度と安定性のバランスを考慮し、 $K = 3$ を基準として以降の分析を行う。なお、 $K = 3$ の場合でも、入力に 10 秒程度必要なだけであるため、その手間は十分に小さく、負担にはならないと考えられる。

5.2.2 腹圧切替の精度検証

キャリブレーション区間数を $K = 3$ とした場合の結果と、全体として閾値 $\tau = 30$ を固定した場合の結果をそれぞれ表 2、表 3 に示す。表 2 では、実際の Press 970 回のうち誤分類は 6 回のみであり、Relax 970 回のうち誤分類は 21 回であった。また、表 3 では Press 1000 回のうち誤分類は 6 回、Relax 1000 回のうち誤分類は 30 回とこちらも精度は全体的に高かった。

表 2: 全体の混同行列 ($K = 3$)

	推定 Press	推定 Relax
実際 Press	964	6
実際 Relax	21	949

表 3: 固定閾値 $\tau = 30$ での全体混同行列

	推定 Press	推定 Relax
実際 Press	994	6
実際 Relax	30	970

このとき全体の精度 (表 4) について、閾値を個々で設定した場合の精度は 0.986 であり、高い識別性能を示した。結果として、少数区間による初期キャリブレーションで十分な性能が得られることが確認された。また、閾値を $\tau = 30$ を固定した場合の全体精度は 0.982 であった。そのため、システムとして閾値を固定した場合には、Relax を Press と判定する確率が高くなるものの、比較的高い識別性能を示すことが確認され、手軽に他者に体験してもらえるものであることがわかる。

表 4: 閾値の設定とその精度 ($K = 3$)

	個々で設定	全体で固定
閾値 τ	個々	30
全体精度	0.986	0.982

5.2.3 時系列安定性

ベルト内でのセンサの位置の移動や、ユーザの疲労などにより、精度が徐々に低下することが考えられる。そこで、 $K = 3$ としたときの 970 区間を前半 485 区間と後半 485 区間に分け、精度比較を行った。実験結果を表 5 に示す。

この結果より、前半／後半で比較しても精度差はわずかであり、両者に大きな差は見られなかった。このことから、20 分程度の座位作業において腹圧による切替操作は時間的に安定して機能することが確認された。また、前半よりも後半のほうが精度があがることから、慣れによる効果が現れると期待される。

表 5: キャリブレーション区間数 $K = 3$ における前半／後半での精度比較

評価区間	精度 (Accuracy)
前半	0.980
後半	0.993

6. 描画タスクを対象とした比較実験

6.1 実験概要

実際の描画作業において腹圧入力がどの程度自然に利用できるかを検証するため、従来のボタン操作によるツール切替との比較実験を行った。タスクは同一の静止画像である植物のイラストを模写するものであり、描画時間に関する制限は設けず、提示された図を描き終えるまでを 1 タスクとした。実験では全員に対して以下の 2 条件を実施した。

- 腹圧条件: 腹圧入力によってペン／消しゴムを切り替えながら植物の葉を模写する。
- 従来条件: タッチ操作によって同一の課題を行う。

また、作業中に不明点が生じた場合や、腹部ベルトの締め付けが緩んだ場合にはその旨を伝えるよう事前に指示した。実験開始前には、参加者が腹圧によるツール切替操作の感覚をつかめるよう、実際の操作手順に沿って数回の練習を行った。各タスク終了後には、参加者の体調や集中度を確認し、必要に応じて最大 2 分間の休憩を挟んだ。全体の実験は、説明および練習試行、アンケート回答を含め、1 名あたり約 50～60 分で実施した。腹圧条件と従来条件の順序による学習効果や描画順序の影響を排除するため、参加者の半数には従来条件から、残りの半数には腹圧条件から描画を開始してもらった。

描画中は、腹圧値およびツール切替の時刻をシステムログとして記録し、1 セッションあたりのツール切替回数や切替時間、切替頻度などの客観指標を収集した。実験後には、操作感や負担感を評価するために NASA-TLX[24] による主観評価を実施した。NASA-TLX では、知的・知覚的要求、身体的要求、時間的圧迫感、作業成績、努力、フラストレーションの 6 項目について回答を得た。さらに操作性や集中度、誤操作の有無などについて自由記述を含むアンケート調査を実施した。これにより、腹圧入力によるツール切替が描画タスクの中でどの程度自然に受け入れられ、従来操作と比べてどのような印象差があるかを評価した。なお、実験協力者は大学生 20 名である。

6.2 実験結果

6.2.1 描画タスクにおける比較実験結果

次に、実際の腹圧を用いたペンと消しゴムの切替システムと、従来のペンによるタッチ操作での切替システムを用いた描画タスクにおける比較実験結果について示す。図 5

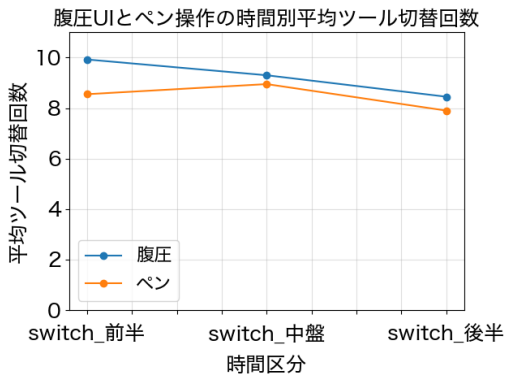


図 5: 腹圧 UI とペン操作におけるツール切替回数の変化

表 6: 区間別平均ツール切替回数

区間	腹圧 (sensor あり)	ペン (sensor なし)
前半	9.93	8.55
中盤	9.30	8.95
後半	8.45	7.90

表 7: 腹圧 UI と従来 UI の平均比較

条件	平均時間 [分]	切替回数	切替頻度 [回/分]
腹圧 UI	10.72	27.68	2.51
従来 UI	10.64	25.40	2.33

表 8: NASA-TLX における評価項目ごとの比較結果
($n = 20$)

項目	t 値	p 値
総合スコア	-1.784	0.090
知的・知覚的要求	0.363	0.720
身体的要求	-5.054	< .001
時間的圧迫感	-0.809	0.428
作業成績	0.925	0.367
努力	-0.462	0.650
フラストレーション	0.175	0.863

に、描画中の時間区分（前半・中盤・後半）ごとの平均ツール切替回数を示す。腹圧による切替操作とペンによるタッチ操作いずれの条件においても時間経過に伴い切替回数は減少傾向を示した。表 6 は、区間別の平均切替回数をまとめたものである。腹圧 UI では前半 9.93 回／中盤 9.30 回／後半 8.45 回、ペン操作では前半 8.55 回／中盤 8.95 回／後半 7.90 回であり、全体として腹圧 UI のほうが高頻度に切替が行われていた。さらに、描画タスク時のペン機能と消しゴム機能の切り替えを分析した結果（表 7）では、腹圧 UI と従来 UI での実験時間、切替回数、切替頻度はほとんど差が見られず、実験協力者は平均して約 10 分の描画作業の中で、1 人あたり平均 25～27 回のペン機能・消しゴム機能の切り替えを行っていたことが分かる。

6.2.2 NASA-TLX および主観評価の結果

また、主観評価として実施した NASA-TLX の総合スコ

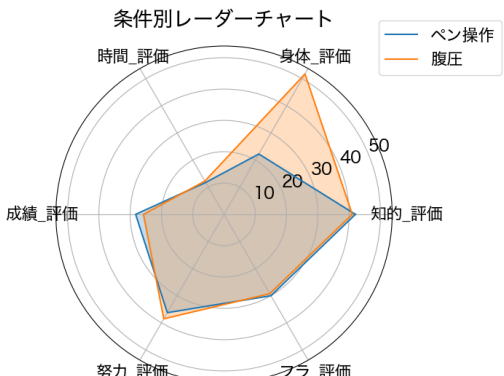


図 6: NASA-TLX 条件別レーダーチャート

表 9: 質問紙における各項目の平均スコアおよび標準偏差
(5 段階評価, $n = 20$)

No.	質問項目	平均	標準偏差
Q1	腹圧でのツール切替は直感的に操作できたか	4.05	0.69
Q2	ツール切替はスムーズだったか	3.85	0.67
Q3	意図したタイミングで切り替えられたか	3.85	0.99
Q4	切替時に手を動かさないことで、より描画に集中できたか	3.50	1.00
Q5	作業が途切れずに続けられたと感じたか	3.50	1.05
Q6	腹圧操作は描画作業への集中を妨げたか	3.29	0.73
Q7	腹圧を意識するようになったか	4.25	0.91
Q8	身体的に疲労を感じたか	3.65	1.04

アでは、腹圧条件が平均 40.1 (SD = 17.7)、従来条件が 34.7 (SD = 14.4) であったが、 t 検定による有意な差は認められなかった ($t = -1.78, p = 0.09$)。一方で、NASA-TLX における評価項目ごとの比較結果（表 8）では、「身体的要求」の項目で有意差が見られ ($t = -5.05, p < .001$)、腹圧操作が従来手法と比較してより身体を用いるインタフェースであることが確認された。その他の知的負荷、時間的圧迫感、成績、努力、フラストレーションには有意な差が見られなかった。実験後のアンケート調査による主観評価では、各項目に対して 5 段階リッカート尺度（1: 全くそう思わない～5: 非常にそう思う）で主観的な評価を回答してもらった。結果として、Q1「腹圧でのツール切替は直感的に操作できたか」、Q7「腹圧を意識するようになったか」という問いに対し、それぞれの平均値は 4.05 (SD = 0.69)、平均 4.25 (SD = 0.91) であり、肯定的な回答が多く得られた。一方、Q4「切替時に手を動かさないことで、より描画に集中できたか」、Q6「腹圧操作は描画作業への集中を妨げたか」の項目では、それぞれ平均値が 3.50 (SD = 1.00) および 3.29 (SD = 0.73) と中間的な値を示し、腹圧操作による集中度への影響は認められなかった。また、自由記述では「手を動かさずに切り替えられるのが便利」「姿勢を意識する機会が得られた」といった意見が挙げられたが、「腹圧をかけることでベルトの位置が下がると反応しにくい」と

表 10: 腹圧入力インタフェースの応用可能性

利用者層	想定利用シーン	具体的な操作例（太字は腹圧での主操作候補）
描画業務（芸術分野）	デジタルペイントや 3DCG 制作	ペン／消しゴム切替，レイヤー切替，拡大縮小など
プログラマ（エンジニア）	コードエディタでの開発作業	コード補完呼び出し，コードの保存，タブ切替，ビルド実行，デバッグ制御など
オフィスワーカー（事務作業）	Excel・Word・PowerPoint 操作	日本語・英数入力切替，文字変換，他ショートカット呼び出し，フォーマット切替，コピー＆ペーストなど
学生	レポート・文書作成作業	Web ページの翻訳モード切り替え，文字変換，日本語・英数入力切替，スクロール，コメント挿入など

いった改善要望も得られた。

7. 考察

本研究では、キャリブレーション区間数や閾値設定が識別精度に与える影響を分析した。キャリブレーション区間数 K を 1 から 5 まで変化させても、全体精度は 0.981～0.986 と高水準であり、少数区間による初期キャリブレーションで十分な性能が得られることが確認された。また、 $K = 3$ で決定した閾値を用い、残り 194 区間を前半・後半に分割して比較した結果、精度はそれぞれ 0.980 と 0.993 であり、時間経過による性能低下はほとんど見られなかった。さらに、閾値 $\tau = 30$ を固定した場合でも全体精度は 98.2% に達し、高い識別性能を示した。そのため、少数区間のキャリブレーションによっても安定した識別が可能であり、実運用においては個人差を考慮した閾値設定が重要であると考えられる。

次に、描画タスクの比較実験結果（図 5、表 6）、腹圧操作とペンによるタッチ操作どちらも後半にかけて切替回数が減少する傾向が見られた。これは、描画対象の仕上げ段階で細かな修正操作が減少した、または参加者が腹圧操作に慣れ、必要なタイミングを最適化した可能性が考えられる。さらに、表 7 より、実験協力者は腹圧 UI を使用して平均約 10.72 分間の描画作業中に約 27.68 回のツール切替を行っており、1 分あたり約 2.51 回の切替操作が発生していた。この結果は、腹圧入力によるツール切替が描画作業の自然な一部として定着していたことを示している。

NASA-TLX の結果（図 6）では、身体的要求のみ有意差が見られた ($t = -5.05, p < .001$)。腹圧 UI が身体を伴う操作であるため、ペン操作よりも腹部筋群を使う負担が高まったためであるといえる。しかし、総合スコアには有意差がなく ($p = 0.09$)、腹圧操作が努力や知的・知覚的要求といった全体的な作業負担を増加させることはないことが確認された。つまり、ペンによるタッチ操作と比較して、身体的要求は高い水準を維持しつつも、知的・知覚的要求や時間的負担を上げることなく、描画作業を継続できた

いえる。このことから、従来の操作感を損なうことなく、体幹を軽く使った入力を自然に取り入れることができることが示唆される。そのため、腹圧操作は姿勢改善を促す筋群を緩やかに活用しながら描画を行う新たな入力手段として有効であると期待される。

5 段階リッカート尺度でのアンケート結果（表 9）から、腹圧によるツール切替操作は概ね良好に受け入れられていることが分かった。特に Q1「腹圧でのツール切替は直感的に操作できたか」、Q7「腹圧を意識するようになったか」といった項目では高い評価が得られ、腹部を利用した入力が操作感や身体意識の観点から違和感なく受け入れられていることが示唆される。一方、Q4「切替時に手を動かさないことで、より描画に集中できたか」、Q6「腹圧操作は描画作業への集中を妨げたか」といった集中度に関する項目では中間的な評価となり、腹圧操作が作業への没入感を直接高める効果は限定的であった。このことから、腹圧 UI は描画ワークフローの中に自然に組み込める一方で、集中維持の向上を促すというよりも、身体意識の喚起や姿勢改善を付加的に促す要素として機能していると考えられる。

さらに、本研究で提案した腹圧入力による補助操作は、主に描画業務を想定して設計していたが、両手が作業で占有される幅広い作業への応用が期待できる。例えば、エンジニアを含む情報通信業の年間総実労働時間は 1933 時間と全産業平均を大きく上回っており [25]、姿勢の固定化や悪化が問題となっているため本手法が有用であると考えられる。表 10 に、本手法の応用可能性を示す。このように、キーボードやマウスを頻繁に使用するタスクでは、腹圧入力を併用することで従来必要だった手の移動を削減でき、作業効率の向上や集中状態の維持に寄与すると考えられる。

8. おわりに

本研究では、腹圧による入力を用いた描画支援システムを構築し、従来のペンを用いたタッチ操作による機能切替手法との比較を通じて、身体動作を取り入れた UI の有用性を検証した。結果として、Press / Relax の二値判定は、

高精度かつ安定して識別可能であり，少数区間のキャリブレーションによっても十分な精度が得られることを確認した。また，描画タスクにおいても，NASA-TLX や主観評価の結果から，従来のペン操作と同等の操作感を保ちながら，身体動作を用いた自然な切替操作が実現できた。

今後は，ベルト調節やより集中に適した身体操作 UI の構築を目指しつつ，腹圧だけでなく新たに足，首，体の傾きなど他の部位について着目し，多様な作業環境における身体的負担の軽減と，作業効率の両立を目指したインターフェース設計を進めていく。さらに，長期的な運用実験を通じて，腹圧入力をはじめとする身体動作が体幹筋群の活動や姿勢保持に与える影響を明らかにし，健康促進への可能性を検討していく。

参考文献

- [1] Daneshmandi, H., Choobineh, A., Ghaem, H. and Karimi, M.: Adverse effects of prolonged sitting behavior on the general health of office workers, *Journal of Lifestyle Medicine*, Vol. 7, No. 2, pp. 69–75 (2017).
- [2] Bruellman, R., Pahlen, S., Ellingson, J. M., Corley, R. P., Wadsworth, S. J. and Reynolds, C. A.: A twin-driven analysis on early aging biomarkers and associations with sitting-time and physical activity, *PLOS ONE*, Vol. 19, No. 9, p. e0308660 (2024).
- [3] Goldsmith, E.: Upper-body musculoskeletal pain and eye strain among language professionals, *arXiv preprint*, Vol. 2409, No. 19598, pp. 1–10 (2024).
- [4] Hallman, D. M., Gupta, N., Heiden, M., Mathiassen, S. E., Korshøj, M., Jørgensen, M. B. and Holtermann, A.: Is prolonged sitting at work associated with the time course of neck-shoulder pain? A prospective study in Danish blue-collar workers, *BMJ Open*, Vol. 6, No. 11, p. e012689 (2016).
- [5] 厚生労働省：職業情報提供サイト：「イラストレータ」に関する職業詳細 (2025). (Accessed: 2025/08/17). Available from: <https://shigoto.mhlw.go.jp/User/Occupation/Detail/342>.
- [6] 週刊少年ジャンプ編集部：『HUNTER × HUNTER』今後の掲載についてのお知らせ (2022). (Accessed: 2025/08/19). Available from: https://www.shonenjump.com/j/2022/12/26/221226_oshirase002.html.
- [7] 週刊少年ジャンプ編集部：週刊少年ジャンプ 29 号～『呪術廻戦』休載のおしらせ (2021). (Accessed: 2025/08/18). Available from: https://www.shonenjump.com/j/2021/06/10/210610_oshirase001.html.
- [8] 週刊少年ジャンプ編集部：『ブラッククロバー』休載のおしらせ (2022). (Accessed: 2025/08/18). Available from: https://www.shonenjump.com/j/2022/04/25/220425_oshirase002.html.
- [9] Matuska, S., Paralic, M. and Hudec, R.: A smart system for sitting posture detection based on force sensors and mobile application, *Mobile Information Systems*, Vol. 2020, p. 6625797 (2020).
- [10] Donath, L., Faude, O., Schefer, Y., Roth, R. and Zahner, L.: Repetitive daily point of choice prompts and occupational sit-stand transfers, concentration and neuromuscular performance in office workers: An RCT, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 12, No. 4, pp. 4340–4353 (2015).
- [11] 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*, Association for Computing Machinery, pp. 1–10 (2019).
- [12] Fujita, K., Suzuki, A., Takashima, K., Ikematsu, K. and Kitamura, Y.: TiltChair: manipulative posture guidance by actively inclining the seat of an office chair, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery, pp. 1–14 (2021).
- [13] Hodges, P. and Gandevia, S.: Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 89, No. 3, pp. 967–976 (2000).
- [14] 厚生労働省：座位行動に関する資料，技術報告，厚生労働省 (2020). (Accessed: 2025/06/15). Available from: <https://www.mhlw.go.jp/content/000656521.pdf>.
- [15] Barrero, J. M., Bloom, N. and Davis, S. J.: The evolution of work from home, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 37, No. 4, pp. 23–50 (2023).
- [16] 厚生労働省：平成 25 年 国民健康・栄養調査報告 第 73 表，技術報告，厚生労働省 (2013). (Accessed: 2025/06/15). Available from: <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyou/dl/h25-houkoku.pdf>.
- [17] 上野祐正，山口拓真，濱川 礼：ウェブカメラを用いた足による入力インターフェース，第 74 回全国大会講演論文集，Vol. 2012, No. 1, 情報処理学会，pp. 363–364 (2012).
- [18] 石山英貴，高橋 伸，田中二郎：しりコン：着席時における身体動作を用いるインタラクションシステム，情報処理学会シンポジウム論文集，Vol. 2012, No. 3, 情報処理学会，pp. 753–758 (2012).
- [19] 清水裕介，大西鮎美，寺田 努，塚本昌彦：DeskWalk：パソコンを利用した作業時のキー入力を身体動作で置き換えることによる運動不足解消システム，情報処理学会論文誌，Vol. 63, No. 2, pp. 468–481 (2022).
- [20] Han, D., Chen, P., Sun, Y., Zhang, X. and Ren, X.: DistKey: Incorporating Physical Activities into Daily Workflow through Spatially Distributed Hotkeys, *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery, pp. 1–17 (2025).
- [21] Bailly, G., Sahdev, S., Malacria, S. and Pietrzak, T.: LivingDesktop: Augmenting Desktop Workstation with Actuated Devices, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery, pp. 5298–5310 (2016).
- [22] Interlink Electronics: FSR-402 Force Sensing Resistor (FSR-400 Series), Interlink Electronics Official Website (2025).
- [23] Arduino: Arduino Uno R3 Board (A000066), Arduino Official Store (2025).
- [24] Hart, S. G. and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, *Advances in Psychology*, Vol. 52, pp. 139–183 (1988).
- [25] 厚生労働省：IT 業界の長時間労働対策について，厚生労働省 雇用環境・均等局 労働基準部 資料 (2017). (Accessed: 2025/08/29). Available from: https://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/shigoto/it/pdf/seminar2017_2.pdf.