

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

母音，子音の順に選択する間接タッチ用かな文
字入力手法

和田 優斗

指導教員 志築 文太郎，川口 一画

2025 年 2 月

概要

間接タッチとは、操作対象が表示された出力面に直接触れるのではなく、別の入力面を介して行われるタッチを指す。間接タッチを行う際、ユーザは入力面を直接視認しないため、正確な位置に指をタッチダウンすることが難しい。日本語文字入力におけるこの課題を解決するために、スマートウォッチを入力面に用いた間接タッチ用かな文字入力手法を開発した。本手法では、ユーザはベゼルからのスライドインによる母音選択、および目的の子音キーからのタッチアップによる子音選択を連続して行う。これにより、入力面の視認を必要としない、間接タッチによる正確な日本語文字入力の達成が期待される。初めに、評価実験を通じて、一般的な外部ディスプレイを用いた環境における間接タッチおよび直接タッチでの本手法の入力性能および特性を調査した。続いて、間接タッチを用いた文字入力の実利用に近い MR 環境を想定して、本手法の評価実験を実施した。その結果、本手法は、外部ディスプレイ環境にて平均文字入力速度が 29.5 CPM、平均トータルエラー率が 10.0% であることが示された。また、MR 環境では、平均文字入力速度は 36.5 CPM、平均トータルエラー率は 6.14% を記録した。実験結果より、間接タッチにおける本手法の有用性が示唆された。

目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的およびアプローチ	4
1.3	貢献	4
1.4	本論文の構成	5
第2章	関連研究	6
2.1	間接タッチ	6
2.1.1	特性	6
2.1.2	文字入力手法	6
2.2	日本語文字入力手法	7
2.2.1	一般的な手法	7
2.2.2	スマートウォッチ用手法	7
2.2.3	アイズフリー用手法	8
2.3	スマートウォッチにおけるインタラクション	9
2.3.1	マルチモーダルなインタラクション	9
2.3.2	ベゼルの活用	9
第3章	実装	10
3.1	実装環境	10
3.2	本手法の設計	11
3.2.1	間接タッチ用設計	12
3.2.2	直接タッチ用設計	14
第4章	実験1：一般的な画面環境における性能評価	15
4.1	実験計画	15
4.1.1	独立変数	15
4.1.2	従属変数	16
4.2	実験参加者	17
4.3	実験システム	18
4.3.1	実験用アプリケーション	18
4.3.2	キーボード	19

4.4	実験タスク	21
4.5	実験手順	21
4.6	練習文，課題文セット	21
4.7	実験結果	22
4.7.1	文字入力速度	22
4.7.2	トータルエラー率	23
4.7.3	SUS	23
4.7.4	NASA-RTLX	25
4.7.5	手法の好み	25
4.8	考察	26
第 5 章	実験 2：MR 環境における性能評価	27
5.1	実験計画	27
5.1.1	独立変数	27
5.1.2	従属変数	28
5.2	実験参加者	28
5.3	実験システム	31
5.4	実験タスク	31
5.5	実験手順	31
5.6	練習文，課題文セット	32
5.7	実験結果	32
5.7.1	文字入力速度	33
5.7.2	トータルエラー率	33
5.7.3	SUS	34
5.7.4	NASA-RTLX	36
5.7.5	姿勢およびキーボードサイズの好み	36
5.8	考察	37
第 6 章	議論	38
6.1	本手法の設計	38
6.2	本研究の限界および今後の課題	39
第 7 章	結論	41
	謝辞	42
	業績リスト	43
	参考文献	44

付 録 A 練習文，課題文セット	51
付 録 B 実験 1 にて使用したアンケート	66

目次

1.1	間接タッチの例. ユーザはトラックパッドにタッチして, ディスプレイ上のカーソルを操作する.	2
1.2	スマートフォンに対する直接タッチを用いた大画面とのインタラクション. ユーザは, スマートフォンを視認しながらタッチを行う.	2
1.3	スマートフォンを入力面に, 大画面を出力面に用いた間接タッチのインタラクション. ユーザは, スマートフォンを視認せずにタッチを行う.	3
1.4	本手法を用いたアプリケーション例. ユーザはスマート TV 上の動画を見ながら, スマートウォッチにタッチすることにより, 右下に表示されたキーボードを介してコメントの入力を行う.	4
2.1	フリック入力 of 操作.	8
3.1	本手法にて使用するキーボード.	12
3.2	間接タッチ用設計における操作.	13
3.3	間接タッチ用設計における判定領域. a) 母音判定. b) 子音判定.	13
3.4	直接タッチ用設計における操作.	14
4.1	間接タッチにおける操作.	16
4.2	直接タッチにおける操作.	17
4.3	実験システムの構成.	18
4.4	タッチ条件ごとの外部ディスプレイおよびスマートウォッチの画面.	19
4.5	キーボード設計の詳細.	20
4.6	実験 1 にて使用した課題文セットにおけるかな文字の出現頻度.	22
4.7	手法ごとの平均文字入力速度. $*p < .05$. エラーバーは 95% 信頼区間を示す.	23
4.8	文字入力速度の変遷および線形回帰.	24
4.9	手法ごとの平均トータルエラー率. $*p < .05$. エラーバーは 95% 信頼区間を示す.	24
4.10	手法ごとの平均 SUS スコア. $*p < .05$. ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す.	25
4.11	手法ごとの NASA-RTLX 項目別平均スコア. $*p < .05$. ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す.	26
5.1	座位姿勢.	28

5.2	立位姿勢.	29
5.3	歩行姿勢.	29
5.4	中サイズのキーボード.	30
5.5	小サイズのキーボード.	30
5.6	実験2にて使用した課題文セットにおけるかな文字の出現頻度.	32
5.7	手法ごとの平均文字入力速度. エラーバーは 95% 信頼区間を示す.	33
5.8	実験2の全セッションを通じた本番タスク中の手法の習熟.	34
5.9	手法ごとの平均トータルエラー率. エラーバーは 95% 信頼区間を示す.	35
5.10	手法ごとの平均 SUS スコア. ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す.	35
5.11	手法ごとの NASA-RTLX 項目別平均スコア. ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す.	36
6.1	キーボードフィードバックの簡素化の例. 1) 現在のキーボードフィードバック. 2) キー上の文字を削除した状態. 3) キーボードを矩形にした状態.	39
B.1	実験前アンケートに使用したアンケートフォーム (1/3)	67
B.2	実験前アンケートに使用したアンケートフォーム (2/3)	68
B.3	実験前アンケートに使用したアンケートフォーム (3/3)	69
B.4	手法アンケートに使用したアンケートフォーム (1/5)	70
B.5	手法アンケートに使用したアンケートフォーム (2/5)	71
B.6	手法アンケートに使用したアンケートフォーム (3/5)	72
B.7	手法アンケートに使用したアンケートフォーム (4/5)	73
B.8	手法アンケートに使用したアンケートフォーム (5/5)	74
B.9	NASA-TLX の評価に使用したアンケート用紙. 本用紙は indirect-slide 条件用であるが, 条件に関わらず設問内容は同一である.	75
B.10	実験後アンケートに使用したアンケートフォーム (1/2)	76
B.11	実験後アンケートに使用したアンケートフォーム (2/2)	77

第1章 序論

本章では、本研究の背景、本研究の目的およびアプローチ、本研究の貢献、ならびに本論文の構成を示す。

1.1 背景

間接タッチ (indirect touch) とは、操作対象が表示された画面 (以下、出力面) とは別の入力面 (以下、入力面) を介して行われるタッチである [1, 2, 3, 4]。従来、間接タッチは、トラックパッドおよびペンタブレットを用いた操作に使用されてきた (図 1.1)。近年では、スマート TV に代表される大画面の操作、ならびにヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いた仮想現実 (VR: Virtual Reality) および複合現実 (MR: Mixed Reality) 環境での操作にも、間接タッチが活用されている [5]。

出力面に直接タッチする直接タッチ (direct touch) と比較して、間接タッチでは、ユーザは入力面を直接視認する必要がない。また、間接タッチは、垂直に設置された出力面のタッチ時に腕を持ち上げることによる疲弊 (ゴリラアーム現象 [6]) を抑制する [4]。さらに、間接タッチでは、フィードバックの表示を縮小しても、入力精度に影響が及びにくいという特徴を有する [7]。

間接タッチのこれらの特徴を文字入力に応用することにより、ユーザは画面上に表示された他の情報を見ながら、文字入力を行うことが可能となると考えられる。

一般に、大画面および HMD での文字入力には、ソフトウェアキーボードが使用される。しかしながら、ポインタ、レイ、および視線をキーボード中のキーに直接当てて選択する文字入力手法 (例: [8, 9]) では、ユーザが正確にキーを選択するためには、キーの面積を大きく確保する必要がある [10]。ゆえに、ソフトウェアキーボードによって画面上の他の物体が遮蔽されるという問題が生じる。そこで、フィードバックの縮尺が入力精度に影響しにくい間接タッチを文字入力に応用することによって、フィードバックであるキーボードの面積が削減される。その結果として、キーボードによる画面の遮蔽が抑制されることが考えられる。

また、モバイル端末 (スマートフォン等) を用いて、大画面および HMD に対して文字入力を行う状況では、直接タッチよりも間接タッチを用いた方が、ユーザの視線および頭部の移動が抑制される [11]。直接タッチによる文字入力を行う場合、ユーザは手元のスマートフォンおよび大画面の間にて、視線および頭部を交互に向ける必要がある (図 1.2)。一方、間接タッチでは、ユーザは手元の入力面を視認する必要がないため、視線を出力面に向け続けることが可能である (図 1.3)。

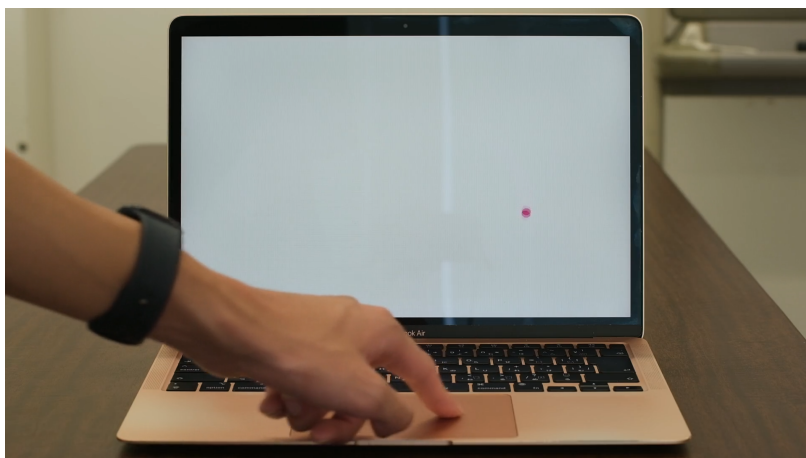


図 1.1: 間接タッチの例. ユーザはトラックパッドにタッチして, ディスプレイ上のカーソルを操作する.



図 1.2: スマートフォンに対する直接タッチを用いた大画面とのインタラクション. ユーザは, スマートフォンを視認しながらタッチを行う.



図 1.3: スマートフォンを入力面に，大画面を出力面に用いた間接タッチのインタラクション．ユーザは，スマートフォンを視認せずにタッチを行う．

これらの特徴を活かした文字入力の利用例として，スマート TV での動画視聴中に内容を見ながらコメントを入力する，および VR 上のチャットにて，相手の顔を注視しながらメッセージを送信するという状況が想定される．

しかしながら，間接タッチでは，ユーザは入力面を直接視認しないため，正確な位置に指をタッチダウンすることが難しい [2]．この特性を踏まえて，タッチダウンが不正確であっても使用可能な，間接タッチ向けに設計された文字入力手法が提案されている [5, 12, 13, 11]．これらの手法では，出力面の一部にキーボードおよびポインタが表示される．ユーザは，間接タッチによって操作したポインタを用いてキーを選択することによって文字入力を行う．しかし，これらの手法は QWERTY キーボードを用いた英文字入力用に設計されているため，日本語入力に対応していないか，あるいは対応したとしてもタッチ数が増加してしまうという課題を有する．また，確認した限りでは，間接タッチ向けに設計された日本語文字入力手法は提案されていない．

日本語文字入力は英文字入力と比較して独特な特徴を有する．日本語文字入力において，ユーザは最初にかな文字を入力する．続いて，Input Method Editor (IME) を用いてかな漢字変換を行うことにより，漢字交じり文へと変換する [14]．このように，日本語文字入力ではかな文字を最初に入力する必要があるため，かな文字入力手法が重要な役割を果たす．フリック入力に代表される一般的なタッチスクリーン用かな文字入力手法は，かな文字の音節が子音および母音のペアによって構成されるという特徴を活用する．間接タッチ用の日本語入力手法においても，これらの特徴を考慮した手法が要求されている．



図 1.4: 本手法を用いたアプリケーション例. ユーザはスマート TV 上の動画を見ながら, スマートウォッチにタッチすることにより, 右下に表示されたキーボードを介してコメントの入力を行う.

1.2 目的およびアプローチ

1.1 節に示した課題を解消するために, スマートウォッチを入力面に用いた間接タッチ用日本語文字入力手法を開発した. 近年, スマートウォッチのジェスチャを活用してターゲットを遠隔から操作する手法が注目を集めている [15, 16, 17, 18, 19, 20]. ゆえに, 間接タッチ用の入力デバイスとしてスマートウォッチに着目した.

本手法では, ユーザは最初にベゼルからのスライドイン (入力面外側から内側へのスライド) [21] によって母音を選択する. そのまま, ユーザは入力面上にて指をスライドし, また目的の子音キーにてタッチアップすることによって子音を選択する. この操作により, ユーザは母音, 子音の順に連続した 1 ストロークによって, かな文字を入力する. ユーザは, ベゼルの触れた際に得られた触覚フィードバックを基にジェスチャを開始するため, 入力面を直接視認しなくとも, 正確に入力を開始することが可能である. これにより, 入力面を直接視認することなく, 出力面に目を向けたまま, 間接タッチを用いて日本語文字入力を行うことが可能となる (図 1.4).

1.3 貢献

本論文の貢献を以下に示す.

- 間接タッチ用かな文字入力手法の設計および実装を示した.
- 実験を通じて, 間接タッチおよび直接タッチ時における本手法の入力速度, エラー率, ユーザビリティ, および作業負荷を示した.

- 実験を通じて、MR 環境にて本手法を用いた際に、ユーザの姿勢およびキーボードサイズが入力精度に与える影響を明らかにした。
- 実験参加者から得られたコメントを参考に、本手法の改善点を示した。

1.4 本論文の構成

本論文の構成を示す。第 1 章では、本研究の背景、本研究の目的およびアプローチ、本研究の貢献、ならびに本論文の構成を示した。第 2 章では、本研究の関連研究として、間接タッチおよびスマートウォッチのタッチジェスチャに関する研究、ならびにこれらを用いた文字入力手法に関する研究を示す。第 3 章では、本手法の実装環境および本手法の設計を示す。第 4 章では、一般的な画面環境における本手法の性能評価を行った実験を述べる。第 5 章では、MR 環境における本手法の性能評価を行った実験を述べる。第 6 章では、本手法の設計および上記の実験結果に関する議論を示す。第 7 章では、本研究の結論を述べる。また、本論文の最後に、本研究の付録を示す。

第2章 関連研究

本手法は間接タッチ用かな文字入力手法である。また、入力面にスマートウォッチの画面を用いる。本章では、間接タッチの特性および文字入力手法、スマートウォッチ用タッチジェスチャ、ならびに日本語文字入力手法についての関連研究を述べる。

2.1 間接タッチ

間接タッチの特性に関する調査および、その特性に合わせたインタフェースが提案されている。

2.1.1 特性

間接タッチの特性に関する調査、および間接タッチを用いたインタフェースの研究が行われている。Schmidt ら [3] は、間接タッチおよび直接タッチにおけるマルチタッチの性能を比較した。J         [7] は、間接タッチに関する実験を通じて、間接タッチのインタラクションにおける推奨事項を示した。その結果、操作性能は入出力面の縮尺による影響を受けない一方、アスペクト比が重要であることが示された。Xin ら [2] は、間接タッチのターゲット選択精度の低さに着目して、間接タッチ入力技術を調査した。Voelker ら [1] は、間接タッチにおいて、ユーザが手元を視認せずオブジェクトに狙いを定めるために必要な設計の推奨事項を示した。また、間接タッチおよび視線を組み合わせた入力手法を提案した [4]。B         [22] は、指先のトラッキングを通じて指のホバリングを検出した。これを間接タッチを用いた絶対的なポインティングに組み合わせることにより、間接タッチがマウス操作を代替することが示された。本手法も、間接タッチにおける使用を想定する。

2.1.2 文字入力手法

間接タッチ向けに設計された文字入力手法が提案されている。Yang ら [5] は、タッチの開始位置が不正確であっても使用可能な、ジェスチャ入力による間接タッチ用文字入力手法を提案した。加えて、間接タッチを使用した文字入力手法が存在する。川瀬らの手法 [12] および HoldBoard [13] は、入力面にスマートウォッチを、出力面に HMD またはスマートグラスを用いる。これらの手法では、出力面にキーボードおよびポインタが表示される。ユーザは、間接タッチによって操作したポインタを用いて、入力対象の文字のキーを選択する。Lu ら [11]

は、文字入力のフィードバックを大画面または HMD を通じて受け取る状況を想定して、アイズフリー用の文字入力手法を開発した。Wong ら [21] は、スマートウォッチのジェスチャを用いて、TouchOne キーボード¹を間接タッチ用に改良したアプリケーション例を示した。しかし、確認した限りでは、間接タッチ向けに設計された日本語文字入力手法は存在しない。

2.2 日本語文字入力手法

日本語およびかな文字が有する特徴を活用した、多様な日本語文字入力手法が提案されている。

2.2.1 一般的な手法

日本語入力では、ユーザは最初になな文字を入力した後、POBox [23] 等の予測変換システム、ならびに Google 日本語入力 [24] および ATOK [25] 等の IME を用いてかな漢字変換を行う [14]。このように、日本語文字入力ではかな文字を最初に入力する必要があるため、かな文字入力手法が重要な役割を果たす。

タッチスクリーン用の一般的な日本語入力には、QWERTY キーボードを用いてローマ字をひらがなに変換する手法のほかに、テンキー配列を用いたトグル入力およびフリック入力が存在する。テンキー配列には、「あ」、「か」、「さ」、「た」、「な」、「は」、「ま」、「や」、「ら」、および「わ」行の子音を含む 3×4 または 4×4 のキーが配置される。トグル入力では、ユーザが目的の子音キーを一度押すと、子音および「あ」段の母音を組み合わせたかな文字が入力される。また、同一の子音キーを複数回タッチすると、母音は「い」「う」「え」「お」段に順に変化する。フリック入力は、スマートフォン、タブレットおよびスマートウォッチでの文字入力に標準的に採用されている文字入力手法である。フリック入力は、若年層のユーザを中心に広く利用されている [26]。フリック入力では、ユーザは最初の子音キーにタッチダウンする (図 2.1a)。その後、「あ」段を入力する場合は、ユーザはそのままタッチアップする。「い」「う」「え」「お」を入力する場合は、ユーザは子音キーから母音に対応する外側方向に向けてフリックジェスチャを行う (図 2.1b)。フリック入力は、トグル入力よりもタップ数を抑制し、またワンストロークでの入力を実現するという利点を有する。これらを踏まえて、本手法のキーボードにテンキー配列を採用するとともに、フリック入力のジェスチャと類似性を持つようにジェスチャを設計した。

2.2.2 スマートウォッチ用手法

watchOS および wearOS に代表されるスマートウォッチ用 OS では、音声による日本語文字入力機能が一般に使用されている。しかしながら、音声入力は雑音の多い場所および公共空

¹<https://www.kickstarter.com/projects/790443497/touchone-keyboard-the-first-dedicated-smartwatch-k>

a. 母音選択

あ	か	さ	←
た	な	は	
ま	や	ら	
^^ _	わ	,	↵

b. 子音選択

あ	ぬ	さ	←
に	な	ね	
ま	の	ら	
^^ _	わ	,	↵

図 2.1: フリック入力の実操作.

間 [27] での使用が困難である。また、これらの OS にはフリック入力が搭載されているが、スマートウォッチは画面が小さいため、ファットフィンガ問題 [28] およびスクリーンオクルージョン問題 [29] が発生する。

これらの課題に対して、スマートウォッチ用にキー選択を工夫した日本語文字入力手法が提案されている。SiT [30] では、ユーザは周縁に配置された小さなキーから画面中央へと指をスライドインして子音を選択する。スライドインの動作を取り入れることにより、初期状態において表示されるキーが削減され、その結果としてスクリーンオクルージョン問題が軽減された。HARI キーボード [31] では、ユーザは円環状に配置された子音キーから画面中央へ指をスライドインさせて子音を選択する。この際、子音キーが母音キーへと変化するため、ユーザは画面中央から母音キーへと指をスライドアウトさせて母音を選択する。BubbleFlick [32] では、ユーザは円環状に配置された子音キーから、扇状に配置された母音キーに向かってフリックを行う。BubbleFlick の改良版である BubbleSlide [33] では、フリックの代わりに画面中央に指をスライドさせるジェスチャが導入された。これにより、BubbleFlick に存在した、子音によってフリック方向が異なるため覚えにくいという課題が解消された。PonDeFlick [34] では、ユーザは円環型に配置された子音キーにタッチした後、フリック入力と共通の方向にフリックして母音を選択する。これにより、フリック入力と共通のジェスチャを取り入れることの有用性が明らかとなった。しかし、これらの手法は入力面の視認を前提とするため、間接タッチにて使用することは難しい。

2.2.3 アイズフリー用手法

さらに、画面の視認を必要としない、アイズフリー用日本語文字入力手法が提案されている。No-look Flick [35] では、ユーザは画面上の 3 つのキーを始点にフリックを行う。Move&Flick [36] では、ユーザは指を 8 方向のいずれかに 2 回スライドさせる。下岡ら [37] は、2 本指を用いてフリックを行うスマートウォッチ用のアイズフリー文字入力手法を提案した。漆山ら [38] は、指の軌跡に基づいて入力を行うモバイル端末向け手法を提案した。井川ら [39] は、入力

プロセスを子音と母音の二段階に分けることにより、フリックの「方向のみ」で入力する手法を提案した。これらの手法がアイズフリー用に特化しているのに対し、出力面を活用した、間接タッチ用の文字入力手法を開発した。

2.3 スマートウォッチにおけるインタラクション

スマートウォッチの普及に伴い、スマートウォッチを用いたインタラクションの研究が行われている。

2.3.1 マルチモーダルなインタラクション

近年、スマートウォッチを用いた、Extended Reality (xR) および遠隔ディスプレイとのインタラクションが注目を集めている [15, 16, 17, 18]。特に、スマートウォッチのタッチジェスチャを用いたインタラクションが提案されている。Lang ら [19] は、xR 上にて、スマートウォッチのタッチジェスチャがハンドジェスチャと比較して高速に実行可能かつユーザに好まれることを示した。GestureMark [20] は、スマートウォッチのタッチジェスチャを用いて xR 空間上のターゲットを選択する技術である。Side-Crossing Menus [40] は、様々な遠隔の機器とアイズフリーにてインタラクションを行うことを目的に設計された、大規模なジェスチャセットである。

2.3.2 ベゼルの活用

タッチスクリーンにおいて、ベゼルを活用したジェスチャが有効 [41, 42, 43, 44] であることから、スマートウォッチにおいてもベゼルを活用したジェスチャの研究が行われている [45, 46, 47, 48]。PageFlip [49] は、スマートウォッチの隅からページを捲るようにドラッグするインタフェースである。B2B-Swipe [50] は、四角形のスマートウォッチにおけるベゼルの始点および終点とした 16 種類のジェスチャを実現する。Rey ら [51] は、円形スマートウォッチにおける B2B-Swipe の性能を調査した。その上で、機械学習を用いて B2B-Swipe の精度を向上させた。Wong ら [21] は、ベゼルの始点としたスワイプ（ベゼルからのスライドイン）である Bezel-initiated Swipe (BIS) の、円形スマートウォッチにおける性能を調査した。ユーザ実験の結果、6 方向の BIS は 93.34% の精度で実行可能であることが示された。ユーザはベゼルに触れた際に触覚フィードバックを得られるため、入力面を視認しなくともこれらのジェスチャを実行することが可能である。以上の特徴を踏まえて、本手法もスマートウォッチおよび BIS を入力に使用する。

第3章 実装

本章では、本手法の実装に用いた実装環境、および本手法の設計の詳細を示す。

3.1 実装環境

本手法の実装に使用した端末を以下に示す。

- ラップトップ PC：MacBook Air（13 インチモデル, M1 2020）
 - OS：macOS Sonoma 14.4.1
 - プロセッサ：Apple M1
 - RAM：8 GB
 - ストレージ：256 GB
 - 画面解像度：2560 × 1600 ピクセル
- スマートウォッチ：Apple Watch Series 9（41 mm モデル）
 - OS：watchOS 10.6.1
 - プロセッサ：Apple S9
 - ストレージ：64 GB
 - 画面解像度：352 × 430 ピクセル
- ディスプレイ：EIZO FlexScan EV2785（27 インチ）
 - 画面解像度：3840 × 2160 ピクセル
- HMD：Meta Quest 3
 - OS：Meta Horizon OS（ver. 71.0.0.605）
 - プロセッサ：Qualcomm Snapdragon XR2 Gen 2
 - RAM：8 GB
 - ストレージ：128 GB
 - 画面解像度：2064 × 2208 ピクセル

また、本システムの開発に使用したソフトウェア，ならびにプログラミング言語およびフレームワークを以下に示す．

- ソフトウェア
 - Xcode (ver. 15.4)
 - Visual Studio Code (ver. 1.96.2)
 - Node.js (ver. 20.13.1)
 - Unity (ver. 6000.0.26f1)
- プログラミング言語およびフレームワーク
 - Swift (ver. 5.10)
 - SwiftUI
 - TypeScript (ver. 5.7.3)
 - C# (ver. 9.0)

3.2 本手法の設計

本手法は，入力面にスマートウォッチの画面を用いた，間接タッチ用かな文字入力手法である．本節では，本手法の設計の詳細を示す．

本手法では出力面にキーボードが表示される．ユーザは，初めにスライドインを用いて母音を選択する．この際に選択される母音は，スライドインの始点によって決定される．続けてユーザは入力面から指を離さずにスライドした後，入力対象の子音キーにてタッチアップすることによって子音を選択する．この操作を通じて，母音，子音の順に連続した1ストロークにて入力を行う．

本手法は，日本語文字入力において広く普及しているフリック入力と同配列のキーボードを採用する（図 3.1）．キーボードには初期状態にて 12 個のキー「あ, か, さ, た, な, は, ま, や, ら, 小, わ, ←」が表示される．これらのキーは，母音選択後に，選択された母音に応じたキー（「い」段の選択時には「い, き, し, ち, に, ……」）に変化する．「小」キーは末尾の文字を濁音，半濁音，および捨てがなに変換する．「←」キーは末尾の文字を削除する．

本手法の間接タッチ用設計は，母音入力が BIS に割り当てられ，かつ母音が先に入力される点を特徴とする．先行研究にて，画面を視認しない状態では正確なタッチが困難である [35] のに対し，入力方向が少ない BIS は正確に実行可能である [21] と報告されている．このため，子音と比べて数の少ない母音の入力を BIS に割り当てることによって，ユーザは入力面を直接視認しなくとも，ジェスチャを正確に開始することが可能となる．タッチダウン後はタッチ位置を示すポインタが出力面に表示されるため，ユーザはこのポインタを通じて，子音も正確に選択することが可能である．これにより，間接タッチにおける正確かつ連続的なかな



図 3.1: 本手法にて使用するキーボード.

文字入力の実現される。加えて、既存のフリック入力とスライドインの方向を共通化することによって、学習コストの削減を見込む。

また、本手法を間接タッチ用に設計しつつ、直接タッチにおいても使用可能とするために、本手法を直接タッチ用に再設計した。これらの設計を以下に示す。

3.2.1 間接タッチ用設計

キーボードは入力面（スマートウォッチの画面）には表示されず、別の出力面に表示される（図 3.2）。母音入力時、入力対象の母音が「い、う、え、お」であれば、ユーザはスマートウォッチのベゼル（「い」段：左側、「う」段：上側、「え」段：右側、「お」段：下側）から入力面中央へ指をスライドインする。入力対象の母音が「あ」段であれば、入力面の中央付近にタッチダウンする。スライドインまたはタッチダウンした時点にて母音が選択されると同時に、入力面のタッチ位置を示すポインタが出力面に表示される。子音入力時、ユーザは入力面から指を離さずにスライドすることによって、出力面上のポインタを目的の子音キーまで移動させる。その後、指をタッチアップすることによって子音を選択する。

入力される母音は、入力面を 5 分割した領域へのタッチダウンの位置によって決まる（図 3.3a）。入力される子音は、入力面を 12 分割した領域からのタッチアップの位置によって決まる（図 3.3b）。指の移動量を抑えるとともに端に位置するキーの選択を容易にするために、「い、う、え、お」段が入力されている間、スライドインされたベゼルの方向に判定領域が移動する。加えて、端に位置するキーの判定領域が入力面の端まで拡張される。誤った母音を選択した場合、ユーザはスライドインしたベゼルに指を戻すことによって入力を中断すること

1. 母音選択

「あ」段 : 画面中央にタッチダウン
「いうえお」段 : ベゼルからスライドイン

2. 子音選択

タッチアップ

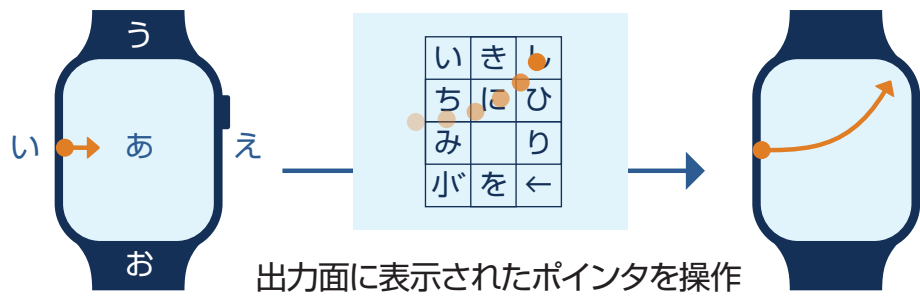


図 3.2: 間接タッチ用設計における操作.

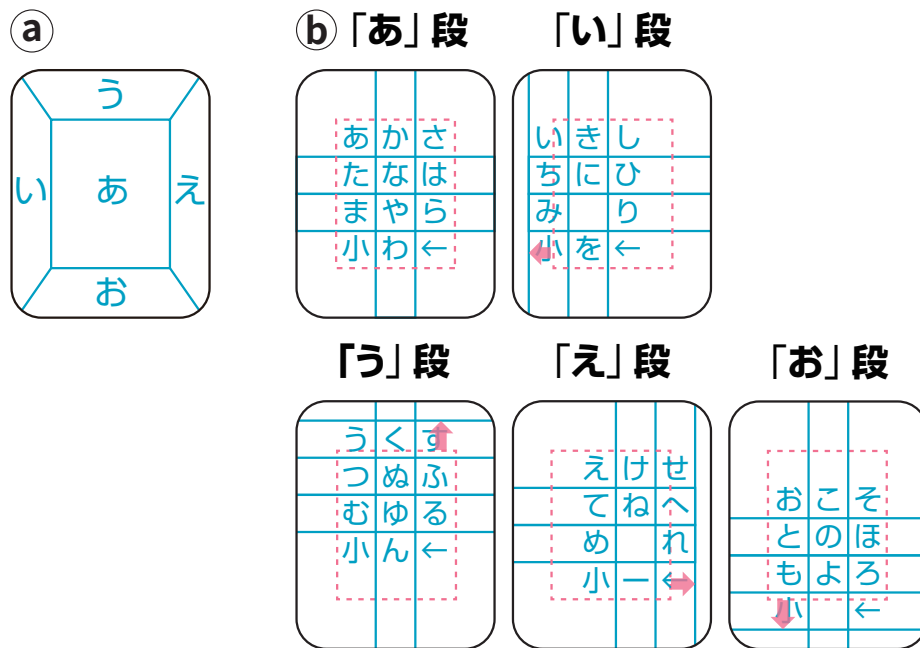


図 3.3: 間接タッチ用設計における判定領域. a) 母音判定. b) 子音判定.

1. 母音選択

「あ」段：キーボード中央にタッチダウン
「いうえお」段：キーボード外からスライドイン

2. 子音選択

タッチアップ

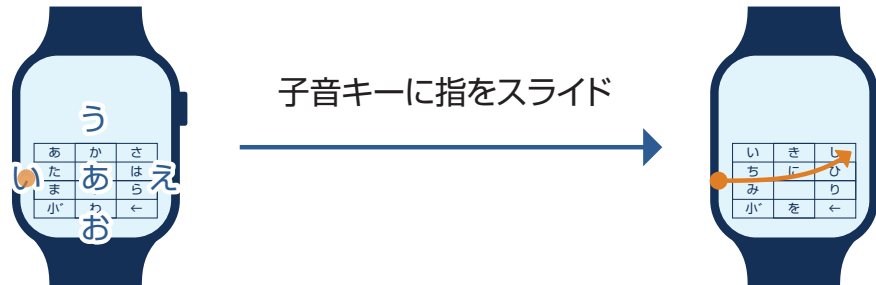


図 3.4: 直接タッチ用設計における操作.

が可能である。ただし、「あ」段を選択した場合には、入力を中断できない。

3.2.2 直接タッチ用設計

キーボードは入力面（スマートウォッチの画面）に表示される（図 3.4）。ユーザは、入力対象のかな文字の母音に応じてキーボードの内側または外側（「あ」段：内側、「い」段：左側、「う」段：上側、「え」段：右側、「お」段：下側）にタッチダウンする。続けて目的の子音キーまで指をスライドした後、タッチアップする。入力を中断する場合、キーボードの外側に指をスライドさせる。間接タッチ用設計では、母音入力時に各方向のベゼルがスライドインの起点となる。一方、直接タッチ用設計では、入力面にキーボードが表示されるため、キーボードに対する相対位置がスライドインの起点となる。

第4章 実験 1：一般的な画面環境における性能評価

ベースライン手法との比較を通じた本手法の性能評価を行うとともに、間接および直接タッチにおける本手法の利用を比較するための評価実験を行った。本実験では、一般的な画面環境を想定して、出力面として外部ディスプレイが使用された。実験には2時間程度の時間を要した。本章では、実験計画、実験参加者、実験システム、実験タスク、実験に使用した課題文セット、実験結果、および考察を述べる。

4.1 実験計画

本実験は参加者内計画にて行われた。

4.1.1 独立変数

独立変数は、タッチ（間接タッチ、直接タッチ）、および文字入力手法（スライド手法、フリック手法）の2つであった。実験条件は、タッチおよび文字入力手法を組み合わせた以下の4条件から構成された。

- indirect-slide：間接タッチにてスライド手法を使用する
- indirect-flick：間接タッチにてフリック手法を使用する
- direct-slide：直接タッチにてスライド手法を使用する
- direct-flick：直接タッチにてフリック手法を使用する

タッチおよび文字入力手法の詳細を以下に示す。

間接タッチ ユーザの正面に設置された外部ディスプレイが出力面として機能した。課題文、入力文、およびキーボードは外部ディスプレイに表示された。実験参加者は、外部ディスプレイを見ながら、スマートウォッチの画面をタッチして入力を行った（図4.1）。いずれの文字入力手法においても、スマートウォッチの画面へのタッチ中は、タッチ点を示すポインタがディスプレイに表示された。スマートウォッチの画面に情報は表示されなかった。



図 4.1: 間接タッチにおける操作.

直接タッチ スマートウォッチの画面が出力面として機能した．課題文，入力文，およびキーボードはスマートウォッチに表示された．実験参加者は，スマートウォッチの画面に表示された情報を見ながら，スマートウォッチの画面をタッチして入力を行った（図 4.2）．外部ディスプレイは使用しなかった．

スライド手法 3.1 章に述べた文字入力手法であった．

フリック手法 ベースライン手法として実装された，2.2.1 節に述べたフリック入力と同様の文字入力手法であった．

4.1.2 従属変数

従属変数には，Characters Per Minute (CPM)，トータルエラー率 [52]，System Usability Scale (SUS) [53]，および NASA-RTLX (NASA Raw Task Load Index [54, 55]) を用いた．

CPM は，1 分あたりに入力された文字入力速度を示す評価指標である．CPM は式 4.1 として定義される．式 4.1 における T は最終的に入力された合計文字数である．また， S は最初の文字が入力されてから，最後の文字が入力されるまでの秒数である．1 文字目の入力を除外するために， T からは 1 が引かれた．

$$CPM = \frac{T - 1}{S} \times 60 \quad (4.1)$$

トータルエラー率は，文字入力における誤入力を考慮したエラー率を示す評価指標である．トータルエラー率は，式 4.2 として定義される．式 4.2 における INF は誤って入力された文



図 4.2: 直接タッチにおける操作.

字のうち、修正されなかった文字の数である． IF は誤って入力された文字のうち、修正された文字の数である． C は最終的に入力された文字のうち、正しい文字の数である．

$$TER = \frac{INF + IF}{C + INF + IF} \times 100\% \quad (4.2)$$

SUS は、各手法の主観的なユーザビリティを評価するための評価指標である．SUS に用いられるアンケートは、5 段階のリッカート尺度を用いた、10 項目の質問から構成される．SUS において、ユーザビリティは 0 から 100 のスコアによって評価される．SUS スコアが高いほど、ユーザビリティが高いことを示す．SUS スコアが 70 点以上であれば、ユーザビリティは良好とみなされる．一方、70 点未満であればユーザビリティに対する配慮不足が考えられ、特に 50 点未満であれば深刻な欠陥があると考えられる [56]．

NASA-RTLX は、各手法の主観的なメンタルワークロードを評価するための評価指標である．知的・知覚的欲求、身体的欲求、タイムプレッシャー、作業達成度、努力、およびフラストレーションの 6 項目により構成される．NASA-RTLX において、メンタルワークロードは 0 から 100 のスコアによって評価される．このスコアが高いほど、作業負荷が高いことを示す．すなわち、スコアが低いほど良い．

4.2 実験参加者

本実験には、研究室内の大学生および大学院生 12 名（男性 11 名、女性 1 名、平均 22.8 歳、 $SD = 1.0$ 歳、ID: P1-P12）がボランティアとして参加した．11 名が右利き、1 名が左利きであった．スマートフォンの平均使用年数は 9.1 年（ $SD = 2.0$ 年）、スマートウォッチの平均使

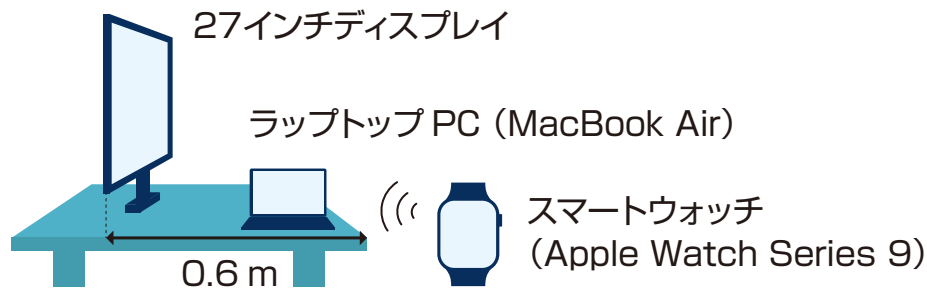


図 4.3: 実験システムの構成.

用年数は 0.4 年 ($SD = 1.0$ 年) であった. 全員がスマートフォンを毎日使用すると, 3 名がスマートウォッチを日常的に使用すると回答した.

スマートフォンにおける日本語文字入力手法について, 10 名がフリック入力を, 2 名が QWERTY 入力を日常的に使用すると回答した. スマートウォッチを日常的に使用する全員が, スマートウォッチにて文字入力を行わないと回答した. フリック入力時, 1 名が「ほぼキーボードを見ない」と, 7 名が「時々キーボードを見る」と, 4 名が「常にキーボードを見る」と回答した. すべての実験参加者は, 本実験においてスライド手法を初めて使用した.

4.3 実験システム

実験システムは, スマートウォッチ, ラップトップ PC, および外部ディスプレイから構成された. ディスプレイは PC に接続された後, 机の端から 0.6 m 離れた位置に設置された (図 4.3).

4.3.1 実験用アプリケーション

スライド手法およびフリック手法を用いて文字入力を行う実験アプリケーションを実装した. 本アプリケーションは, スマートウォッチ用アプリケーションおよび PC 用アプリケーションから構成された (図 4.4). 課題文と一致する入力文の部分文字列は, 太字のフォントを用いて強調された. また, これらのアプリケーションは, Bluetooth Low Energy (BLE) を介して無線通信を行った.

スマートウォッチ用アプリケーション

スマートウォッチ用アプリケーションは, Swift を用いて実装された watchOS 用アプリケーションであった. 本アプリケーションは, タッチ情報に基づく文字入力処理, タッチ座標および入力文の PC 用アプリケーションへの送信, ならびにキー選択時の触覚フィードバックの提示を行った. また, 直接タッチに限って, 課題文, 入力文, キーボード, およびタッチ中の視覚フィードバックを表示した.



図 4.4: タッチ条件ごとの外部ディスプレイおよびスマートウォッチの画面.

PC 用アプリケーション

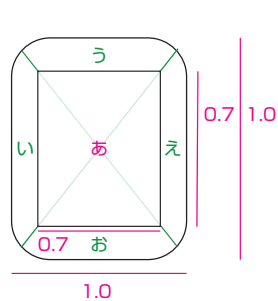
PC 用アプリケーションは, Swift を用いて実装された macOS 用アプリケーションであった. 本アプリケーションは, スマートウォッチ用アプリケーションからタッチ座標および入力文を受信した. また, 間接タッチに限って, 課題文, 入力文, キーボード, ならびにタッチ中のポインタおよび視覚フィードバックを表示した.

4.3.2 キーボード

すべての文字入力手法において, キーへのタッチ時に触覚フィードバックが提示された. スライド手法では, 指をスライドさせて別のキーを選択した際にも触覚フィードバックが提示された. いずれのタッチおよび文字入力手法でも, キーにタッチしている間, キーの色が変化した.

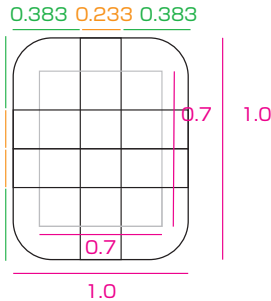
キーボードの設計の詳細を図 4.5 に示す. キーボードの幅は, watchOS 標準のフリック入力を参考に画面幅の 70% に設定された. キーボードの高さは, 間接タッチではキーボードの幅と等倍に設定された. 直接タッチでは課題文および入力文を表示する都合上, キーボードの幅の 60% に設定された.

間接タッチ（母音判定） 提案手法



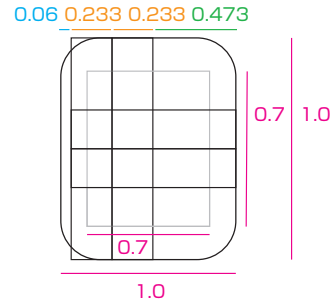
- 画面幅に対して
あ段の幅：0.7 倍
いうえお段の幅：0.15 倍
- 高さも同様
いうえお段の斜めの境界は
画面の対角線に沿って分けられる

間接タッチ 提案手法 (子音判定：あ段)



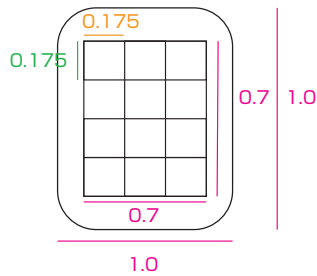
- 画面幅に対して
真ん中列のキー（オレンジ）：
 $0.7 / 3 = 0.233$ 倍
- 画面の高さに対して
両端列のキー（緑）：
 $(1.0 - 0.7 / 3) / 2 = 0.383$ 倍
当たり判定は端まで存在する
- 画面の高さに対して
両端以外の列のキー（オレンジ）：
 $0.7 / 4 = 0.175$ 倍
- 画面の高さに対して
両端列のキー（緑）：
 $(1.0 - 0.175 * 2) / 2 = 0.325$ 倍
当たり判定は端まで存在する

間接タッチ 提案手法 (子音判定：いうえお段)



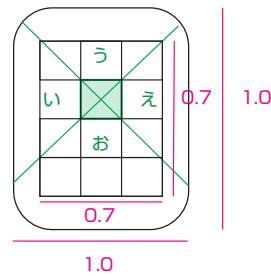
- 画面幅に対して
入力キャンセル領域（水色）：
 $(1.0 - 0.7) * 0.4 = 0.06$ 倍
- 画面の高さに対して
スライドイン方向から
1 列、2 列目のキー（オレンジ）：
 $0.7 / 3 = 0.233$ 倍
- 画面の高さに対して
スライドイン方向から 3 列目のキー（緑）：
 $1.0 - 0.18 - 0.233 * 2 = 0.473$ 倍
当たり判定は端まで存在する
- 高さはあ段と同様
上記はい段の場合であり、
スライドインの方向に応じて入れ替わる

間接タッチ フリック (子音判定)



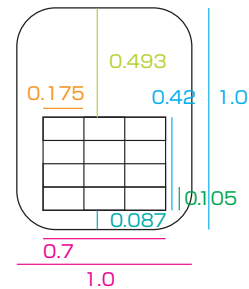
- 画面幅に対して
キーボードの幅：0.7 倍
キーの幅： $0.7 / 4 = 0.175$ 倍
- 高さも同様

間接タッチ フリック (母音判定)



- 画面幅に対して
キーボードの幅：0.7 倍
キーの幅： $0.7 / 4 = 0.175$ 倍
- 高さも同様

直接タッチ 提案手法、フリック (子音判定)



- 画面幅に対して
キーボードの幅：0.7 倍
キーの幅： $0.7 / 4 = 0.175$ 倍
キーボードの位置は水平中央
- 画面の高さに対して
キーボードの高さ： $0.7 * 0.6 = 0.42$ 倍
キーの高さ： $0.42 / 4 = 0.105$ 倍
- キーボードの余白は
上側： $(1.0 - 0.42) * 0.85 = 0.493$ 倍
下側： $(1.0 - 0.42) * 0.15 = 0.087$ 倍

図 4.5: キーボード設計の詳細.

4.4 実験タスク

本実験のタスクは、表示された課題文を、指定された文字入力手法を用いて入力することであった。実験参加者は、可能な限り高速かつ正確に文字を入力するように指示された。タスクは座位にて行われた。実験参加者は、利き手と反対の腕にスマートウォッチを装着して、腕を机の上に置いた。操作時には利き手の親指および中指を用いてスマートウォッチを把持することが推奨された。また人差し指を用いて画面をタッチするように指示された。加えて、OS 標準の通知センタの呼び出しを避けるために、上側のベゼルに長時間触れないように指示された。

実験参加者は、課題文が表示された時点で入力を開始した。また、課題文の入力が完了したと各自が判断したタイミングにて、スマートウォッチの竜頭を回転させた。これにより、次の課題文が表示された。課題文および入力文が必ずしも一致する必要はなく、画面に1度以上触れた時点で次の課題文に進むことが許可された。一連の操作（課題文の入力および竜頭の回転）を、すべての課題文の入力が終了するまで行った。

4.5 実験手順

実験は静かな会議室にて行われた。実験概要の説明を行った後、実験前アンケートを実施した。実験参加者は、年齢、性別、利き手、スマートフォンおよびスマートウォッチの使用状況、普段使用する文字入力手法、ならびにフリック入力の習熟度を回答した。

次に実験タスクを説明した後、4セッションから構成される実験を実施した。実験条件はセッションごとに変更された。実験条件（タッチおよび文字入力手法の組み合わせ）の順番はラテン方格法を用いて、実験参加者間のカウンタバランスを取って決定された。各セッションにおいて、実験参加者はタッチ条件および文字入力手法を確認した後、練習タスクを行った。練習タスクでは、12文の練習文が連続して提示された。続いて、本番タスクを行った。本番タスクでは、28文の課題文が連続して提示された。本番タスクには、練習タスクにて使用した練習文セットとは異なる課題文セットが使用された。本番タスク終了後、実験参加者は、SUS および自由記述から構成された手法アンケート、ならびに NASA-RTLX アンケートに回答した。

全セッション終了後、実験後アンケートとして、実験参加者はタッチ条件ごとに好みの文字入力手法および順位付けの理由を回答した。

付録 B に、実験前アンケート、手法アンケート、NASA-TLX アンケート、および実験後アンケートに使用したアンケートフォームおよび用紙を示す。

4.6 練習文、課題文セット

練習タスクには、独自に作成した4セットからなる日本語の練習文セットを用いた。練習文セットは、1セットあたり短文12文から構成された。また、本番タスクには、独自に作成

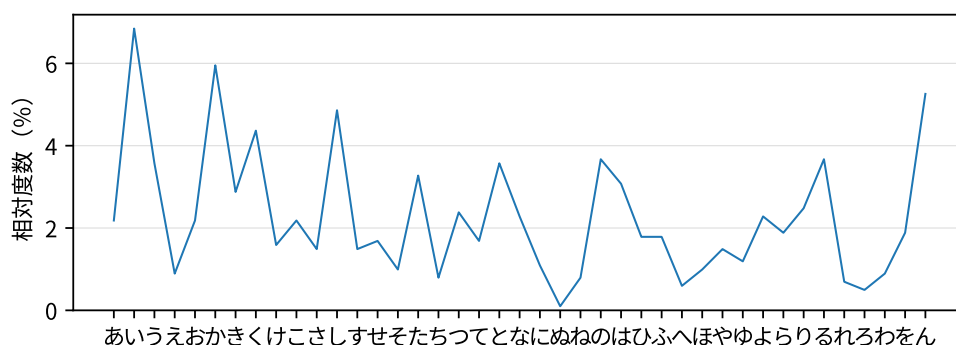


図 4.6: 実験 1 にて使用した課題文セットにおけるかな文字の出現頻度.

した 4 セットからなる日本語の課題文セットを用いた。課題文セットは、1 セットあたり短文 28 文から構成された。練習文および課題文セットには連続する数字が振られた。セッション毎に、対応する番号の練習文および課題文セットが使用された。付録 A に、これらのフレーズセットを示す。

課題文セットは、かな文字の清音、濁音、半濁音、捨てがな、および長音記号から構成され、また全体を通じてすべての清音が出現した（図 4.6）。1 つの短文の長さは 10–14 文字であり、文字数の平均は 12 文字、合計は 336 文字であった。どのセットにおいても、同じ長さの短文が同じ回数だけ出現した。

4.7 実験結果

本番タスクを通じて、計 1,344 文（2 手法 × 2 タッチ × 28 文 × 12 人）の入力データが収集された。

4.7.1 文字入力速度

平均文字入力速度は、indirect-slide では 29.5 CPM（SD = 9.1 CPM）、indirect-flick では 31.4 CPM（SD = 13.5 CPM）、direct-slide では 30.8 CPM（SD = 11.1 CPM）、direct-flick では 51.2 CPM（SD = 20.7 CPM）であった（図 4.7）。

コルモゴロフ-スミルノフ検定を行った結果、文字入力速度に正規性は確認されなかった。そのため、タッチおよび文字入力手法を独立変数として整列ランク変換（ART）[57, 58, 59]を行った後、二元配置分散分析を行った。その結果、主効果がタッチ（ $F_{1,1314} = 272.75, p < .001, \eta_p^2 = .17$ ）および文字入力手法（ $F_{1,1314} = 284.47, p < .001, \eta_p^2 = .18$ ）に、交互作用がタッチ × 文字入力手法（ $F_{1,1314} = 227.03, p < .001, \eta_p^2 = .15$ ）に検出された。その後、下位検定として ART-C [60] を実施した。その結果、direct-flick – direct-slide（ $t_{1314} = 18.933, p < .001$ ）、および indirect-flick – direct-flick（ $t_{1314} = 18.771, p < .001$ ）に有意差が検出された。

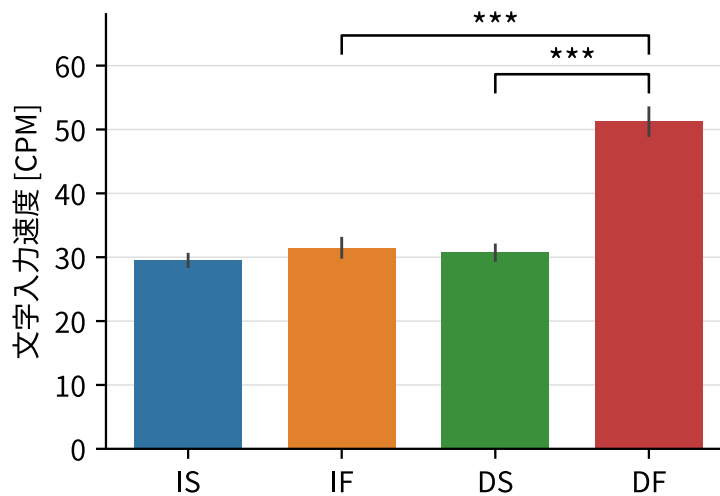


図 4.7: 手法ごとの平均文字入力速度. $*p < .05$. エラーバーは 95% 信頼区間を示す.

練習および本番タスク中の文字入力速度の変遷を図 4.8 に示す.

4.7.2 トータルエラー率

平均トータルエラー率は, indirect-slide では 10.0% (SD = 11.0%), indirect-flick では 32.3% (SD = 14.7%), direct-slide では 11.8% (SD = 11.6%), direct-flick では 10.8% (SD = 10.9%) であった (図 4.9).

コルモゴロフ-スミルノフ検定を行った結果, トータルエラー率に正規性は確認されなかった. そのため, タッチおよび文字入力手法を独立変数として ART を行った後, 二元配置分散分析を行った. その結果, 主効果がタッチ ($F_{1,1314} = 293.41, p < .001, \eta_p^2 = .18$) および文字入力手法 ($F_{1,1314} = 327.62, p < .001, \eta_p^2 = .20$) に, 交互作用が タッチ $\times$ 文字入力手法 ($F_{1,1314} = 382.45, p < .001, \eta_p^2 = .23$) に検出された. その後, 下位検定として ART-C を実施した. その結果, indirect-slide – indirect-flick ($t_{1315} = 21.873, p < .001$) および indirect-flick – direct-flick ($t_{1314} = 21.146, p < .001$) に有意差が検出された.

4.7.3 SUS

平均 SUS スコアは, indirect-slide では 70.6 (SD = 19.4), indirect-flick では 52.7 (SD = 20.9), direct-slide では 72.1 (SD = 17.8), direct-flick では 76.0 (SD = 16.8) であった (図 4.10).

シャピロ-ウィルク検定を行った結果, SUS スコアに正規性が確認された. そのため, 二元配置分散分析を行った. その結果, 主効果がタッチ ($F_{1,11} = 6.96, p < .05, \eta_p^2 = .39$) に, 交互作用が タッチ $\times$ 文字入力手法 ($F_{1,11} = 6.96, p < .05, \eta_p^2 = .39$) に検出された. その後,

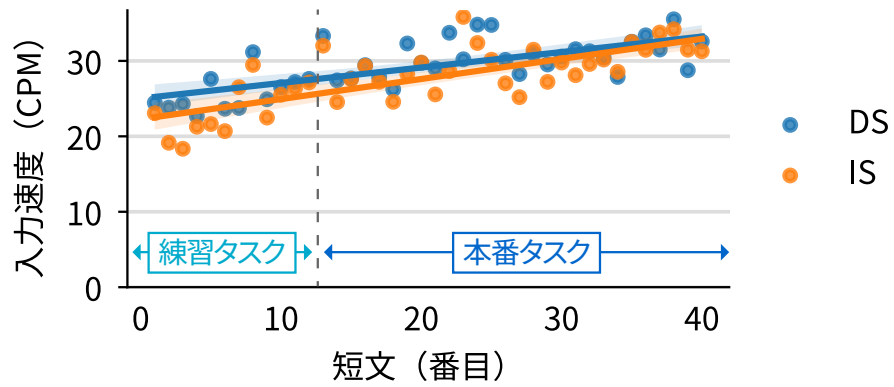


図 4.8: 文字入力速度の変遷および線形回帰.

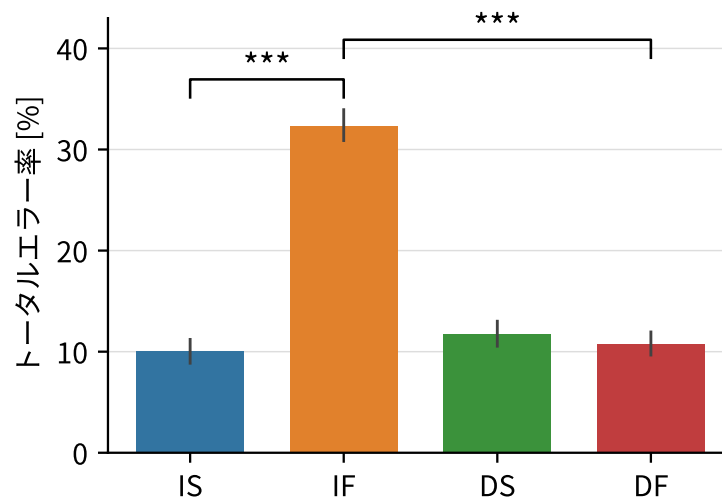


図 4.9: 手法ごとの平均トータルエラー率. $*p < .05$. エラーバーは 95% 信頼区間を示す.

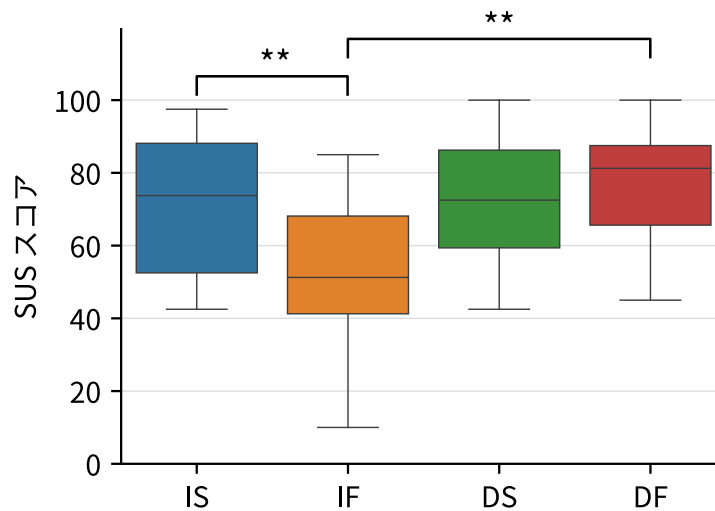


図 4.10: 手法ごとの平均 SUS スコア. $*p < .05$. ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す.

下位検定としてホルム補正とともに t 検定を実施した. その結果, indirect-slide – indirect-flick ($t_{11} = 2.38, p < .001$) および indirect-flick – direct-flick ($t_{11} = -3.36, p < .001$) に有意差が検出された.

4.7.4 NASA-RTLX

NASA-RTLX の総合的ワークロードは, indirect-slide では 37.2 (SD = 17.3), indirect-flick では 53.1 (SD = 10.5), direct-slide では 39.7 (SD = 17.7), direct-flick では 38.8 (SD = 12.9) であった (図 4.11).

シャピロ-ウィルク検定を行った結果, NASA-RTLX の総合的ワークロードに正規性が確認された. そのため, 二元配置分散分析を行った. その結果, 交互作用が タッチ × 文字入力手法 ($F_{1,840} = 18.60, p < .01$) に検出された. その後, 下位検定としてホルム補正とともに t 検定を実施した. その結果, indirect-slide – indirect-flick ($t_1 = 3.20, p < .01$) および indirect-flick – direct-flick ($t_1 = 3.68, p < .01$) に有意差が検出された.

4.7.5 手法の好み

間接タッチでは, 11 名がスライド手法を, 1 名がフリック手法を好むと回答した. スライド手法の選択理由には, 「誤入力が少ない」 (P1, P3, P6, P8), 「触っている位置が分かりやすい」 (P2, P4), 「指の開始位置を判断しやすい」 (P5), 「タッチ時にキーを選択しなくてよい」

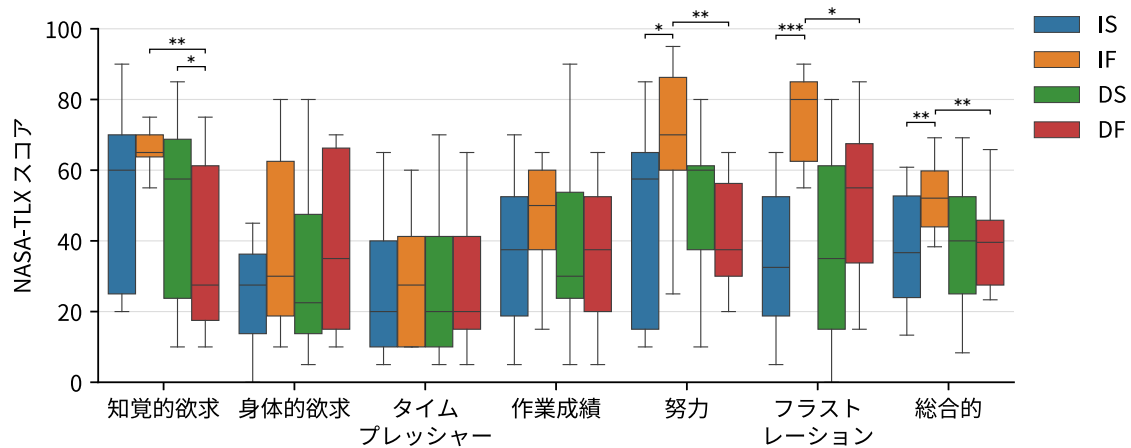


図 4.11: 手法ごとの NASA-RTLX 項目別平均スコア. $*p < .05$. ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す.

(P7), 「正確にキーを選択できる」(P10), 「ミスタッチした際にリカバリできる」(P11, P12) が挙げられた. フリック手法の選択理由には「使い慣れている」(P9) が挙げられた.

直接タッチでは, 6 名がスライド手法を, 6 名がフリック手法を好むと回答した. スライド手法の選択理由には, 「誤入力が少ない」(P3, P8), 「キーの小ささが気にならない」(P4, 10), 「どのキーを選択してるかが把握できる」(P6), 「端のキーが選択しやすい」(P11) が挙げられた. フリック手法の選択理由には「使い慣れた手法である」(P1, P5, P7, P9, P12), 「入力が速い」(P2) が挙げられた.

4.8 考察

間接タッチにて, 本手法はフリック手法と比較して, 平均文字入力速度が同程度でありながらも, 平均エラー率および総合的ワークロードが有意に低く, またユーザビリティが有意に高かった. ゆえに, 本手法の間接タッチにおける有用性が示唆された.

直接タッチにて, 本手法はフリック手法と比較して, 平均文字入力速度が有意に低かった. その一方, 間接タッチおよび直接タッチにおいて, 本手法の文字入力速度およびエラー率の差は少なかったことから, 本手法は, 両方のタッチインタラクションにて共通して使用することが可能であると考えられる. また, 自由記述には「指を動かしながら操作を行うため, 選択中のキーが分かりやすい」(P4, P6, P12) との回答があった. ゆえに, 本手法はファットフィンガ問題の解消に有用である可能性がある.

また, 本手法はタッチダウン時のみならず, 指をスライドさせて別のキーを選択した際にも, 連続的に触覚フィードバックを提示可能であるという特徴を持つ. 複数の実験参加者 (P1, P5, P6, P9, P10) が, 自由記述にてこの点を好意的に回答した.

第5章 実験 2：MR 環境における性能評価

続いて、MR 環境における本手法の性能評価を行うための実験を実施した。実験には 2.5 時間程度の時間を要した。なお、本実験は、筑波大学システム情報系の倫理審査委員会の承認を受けて実施された。

5.1 実験計画

本実験は参加者内計画にて行われた。

5.1.1 独立変数

独立変数は、姿勢（座位、立位、歩行）、およびキーボードサイズ（中、小）の 2 つであった。実験条件は、姿勢およびサイズを組み合わせた以下の 6 条件から構成された。

- sitting-medium：座位姿勢にて中サイズのキーボードを使用する
- sitting-small：座位姿勢にて小サイズのキーボードを使用する
- standing-medium：立位姿勢にて中サイズのキーボードを使用する
- standing-small：立位姿勢にて小サイズのキーボードを使用する
- walking-medium：歩行姿勢にて中サイズのキーボードを使用する
- walking-small：歩行姿勢にて小サイズのキーボードを使用する

姿勢およびサイズの詳細を以下に示す。

姿勢

姿勢は、本手法を実験参加者が操作する際の姿勢である。座位姿勢では、実験 1 と同様、実験参加者は座った状態にて、机の上に腕を置いてタスクを行った（図 5.1）。立位姿勢では、実験参加者は立った状態にてタスクを行った（図 5.2）。歩行姿勢では、実験参加者は室内の決められたルートを往復しながらタスクを行った（図 5.3）。実験参加者は、標準的な速度（秒速 2 歩程度）で歩行するように指示された。立位および歩行姿勢の場合、腕の位置は自由



図 5.1: 座位姿勢.

であった．いずれの姿勢においても，実験参加者はタスクを行う間，正面を向くように指示された．

キーボードサイズ

キーボードサイズは，Google が定義した xR コンテンツ用の単位である dmm (distance-independent millimeter) を用いて定義された．1 dmm は，オブジェクトが視点から 1 m 離れたときに 1 mm に見えるサイズを表す．中サイズでは，1 つあたりのキーの高さが 64 dmm に設定された (図 5.4)．これは，Google が提供するガイドライン [61] に基づいて，xR 環境にてユーザが容易に選択可能なオブジェクトの最小サイズとして決定された．小サイズでは，1 つあたりのキーの高さが 24 dmm に設定された (図 5.5)．

5.1.2 従属変数

従属変数には，実験 1 と同様に，CPM，トータルエラー率，SUS，および NASA-RTLX を用いた．

5.2 実験参加者

本実験には，学内の大学生および大学院生 12 名 (男性 11 名，女性 1 名．平均 22.3 歳，SD = 1.1 歳，ID: P13–P24) が参加した．実験参加者には，大学の規定に基づく謝金が支給された．全員が右利きであった．スマートフォンの平均使用年数は 8.9 年 (SD = 2.0 年)，スマー



図 5.2: 立位姿勢.



図 5.3: 歩行姿勢.

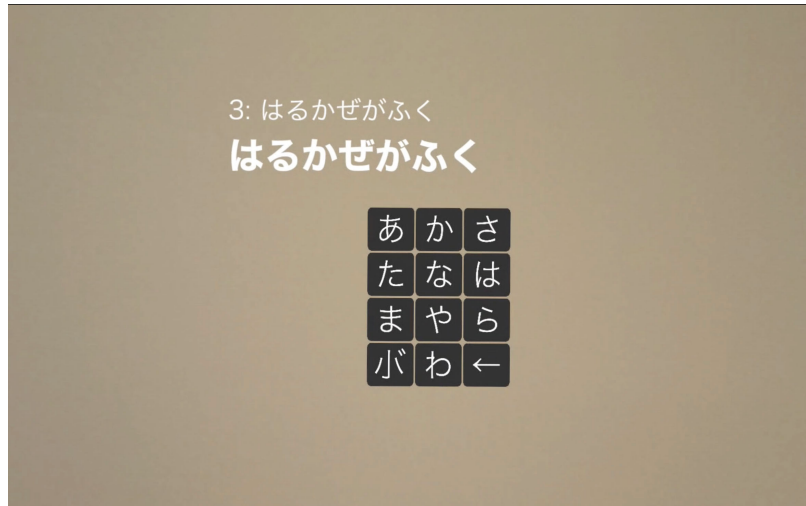


図 5.4: 中サイズのキーボード.



図 5.5: 小サイズのキーボード.

トウォッチの平均利用年数は 1.1 年 ($SD = 1.9$ 年), HMD の平均利用年数は 1.4 年 ($SD = 1.3$ 年) であった。全員がスマートフォンを毎日使用すると、4 名の実験参加者がスマートウォッチを日常的に使用すると回答した。

スマートフォンにおける日本語文字入力手法について、10 名がフリック入力を、2 名が QWERTY キーボードを日常的に使用すると回答した。スマートウォッチを日常的に使用する全員が、スマートウォッチを用いて文字入力を行わないと回答した。フリック入力時、3 名が「ほぼキーボードを見ない」と、5 名が「時々キーボードを見る」と、4 名が「常にキーボードを見る」と回答した。すべての実験参加者は、本実験において本手法を初めて使用した。

5.3 実験システム

実験システムは、スマートウォッチ、ラップトップ PC、および外部ディスプレイから構成された。

本手法を用いて MR 環境にて文字入力を行う実験アプリケーションを実装した。本アプリケーションは、スマートウォッチ用アプリケーション、PC 用アプリケーション、および HMD 用アプリケーションから構成された。これらのアプリケーションは、BLE および WebSocket を介して無線通信を行った。スマートウォッチ用アプリケーションは、実験 1 にて使用したものと同様であった。PC 用アプリケーションは、スマートウォッチおよび HMD を接続するサーバとして機能した。HMD 用アプリケーションは、課題文、入力文、キーボード、およびポインタを仮想空間上に表示した。これらの要素は、画面の水平および垂直中央に配置され、また頭部方向に対して固定された。キーボードサイズは、全体の縦横比が 4:5 を維持するように設定された。キーの背景色は不透過な黒色、文字色は白色で表示された。また、視覚フィードバックを提供するため、ポインタによってキーが選択されている間は青色で描画された。

5.4 実験タスク

本実験のタスクは、姿勢以外の点において、実験 1 と同一であった。

5.5 実験手順

実験は静かな広い会議室にて行われた。実験概要の説明を行った後、実験前アンケートを実施した。実験参加者は、年齢、性別、利き手、スマートフォン、スマートウォッチ、および HMD の使用状況、普段使用する文字入力手法、ならびにフリック入力の習熟度を回答した。

次に実験タスクを説明した後、6 セッションから構成される実験を実施した。実験条件はセッションごとに変更された。実験条件（姿勢およびキーボードサイズの組み合わせ）の順番はラテン方格法を用いて、実験参加者間のカウンタバランスを取って決定された。各セッションにおいて、実験参加者はタッチ条件および文字入力手法を確認した後、練習タスクを行った。練習タスクでは、10 文の練習文が連続して提示された。続いて、本番タスクを行っ

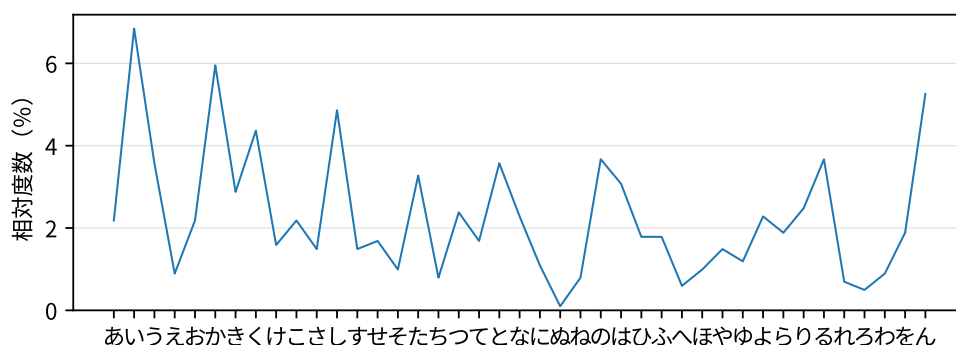


図 5.6: 実験 2 にて使用した課題文セットにおけるかな文字の出現頻度.

た. 本番タスクでは, 24 文の課題文が連続して提示された. 本番タスクには, 練習タスクにて使用した練習文セットとは異なる課題文セットが使用された. 本番タスク終了後, 実験参加者は, SUS および自由記述から構成された手法アンケート, ならびに NASA-RTLX アンケートに回答した.

全セッション終了後, 実験後アンケートとして, 実験参加者は好みの姿勢およびキーボードサイズ, ならびに順位付けの理由を回答した.

5.6 練習文, 課題文セット

練習タスクには, 独自に作成した 6 セットからなる日本語の練習文セットを用いた. 練習文セットは, 1 セットあたり短文 10 文から構成された. また, 本番タスクには, 独自に作成した 6 セットからなる日本語の課題文セットを用いた. 課題文セットは, 1 セットあたり短文 24 文から構成された. 練習文セット, 課題文セットともに, 実験 1 にて使用された短文セットとは異なるものであった. 練習文および課題文セットには連続する番号が振られた. セッション毎に, 対応する番号の練習文および課題文セットが使用された. 付録 A に, これらのフレーズセットを示す.

課題文セットは, かな文字の清音, 濁音, 半濁音, 捨てがな, および長音記号から構成され, また全体を通じてすべての清音が出現した (図 5.6). 1 つの短文の長さは 6-8 文字であり, 文字数の平均は 7 文字, 合計は 168 文字であった. どのセットにおいても, 同じ長さの短文が同じ回数だけ出現した.

5.7 実験結果

本番タスクを通じて, 計 1,728 文 (3 姿勢 $\times$ 2 サイズ $\times$ 24 文 $\times$ 12 人) の入力データが収集された.

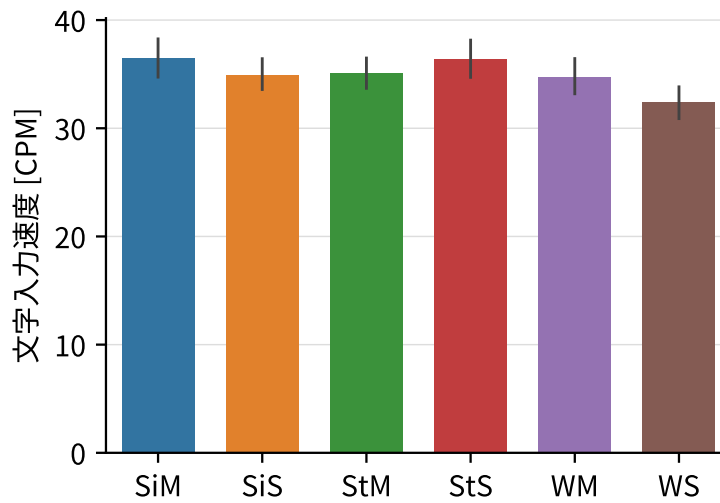


図 5.7: 手法ごとの平均文字入力速度. エラーバーは 95% 信頼区間を示す.

5.7.1 文字入力速度

平均文字入力速度は, sitting-medium 条件では 36.5 CPM (SD = 14.5 CPM), sitting-small 条件では 34.9 CPM (SD = 12.1 CPM), standing-medium 条件では 35.1 CPM (SD = 11.7 CPM), standing-small 条件では 36.4 CPM (SD = 14.8 CPM), walking-medium 条件では 34.7 CPM (SD = 13.9 CPM), walking-small 条件では 32.4 CPM (SD = 13.0 CPM) であった (図 5.7).

コルモゴロフ-スミルノフ検定を行った結果, 文字入力速度に正規性は確認されなかった. そのため, タッチ条件および文字入力手法を独立変数として ART を行った後, 二元配置分散分析を行った. その結果, 主効果が姿勢 ($F_{2,1666} = 7.87, p < .001, \eta_p^2 = .0094$) に検出された. 交互作用は検出されなかった. その後, 下位検定として ART-C を実施した. その結果, 座位姿勢 - 歩行姿勢 ($t_{1666} = -3.132, p < .001$) および立位姿勢 - 歩行姿勢 ($t_{1666} = -3.680, p < .001$) に有意差が検出された.

全セッションを通じた本番タスク中の文字入力速度の変遷を図 5.8 に示す.

5.7.2 トータルエラー率

平均トータルエラー率は, sitting-medium 条件では 6.14% (SD = 11.0%), sitting-small 条件では 7.02% (SD = 11.0%), standing-medium 条件では 6.16% (SD = 10.4%), standing-small 条件では 6.53% (SD = 10.8%), walking-medium 条件では 7.37% (SD = 11.4%), walking-small 条件では 7.23% (SD = 11.6%) であった (図 5.9).

コルモゴロフ-スミルノフ検定を行った結果, トータルエラー率に正規性は確認されなかった. そのため, タッチ条件および文字入力手法を独立変数として ART を行った後, 二元配置

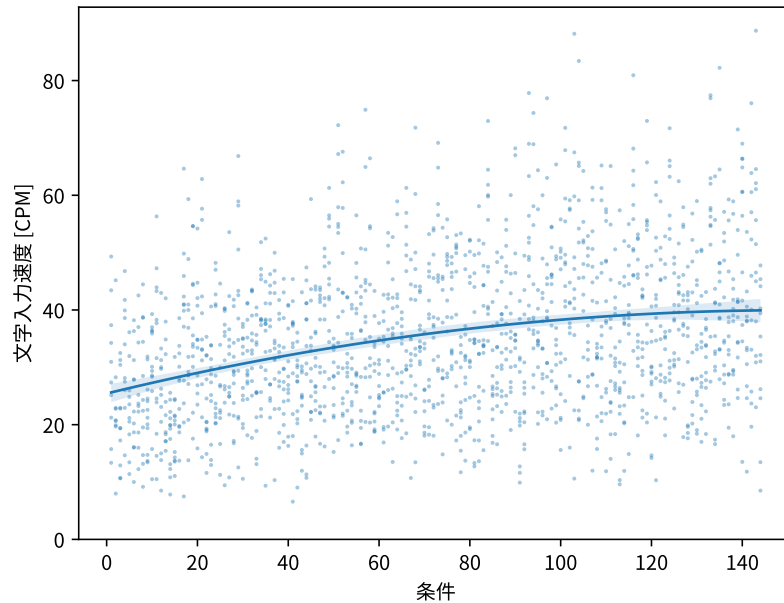


図 5.8: 実験 2 の全セッションを通じた本番タスク中の手法の習熟.

分散分析を行った．その結果，主効果は検出されなかった一方，交互作用が 姿勢 × サイズ ($F_{2,1666} = 3.57$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .0043$) に検出された．その後，下位検定として ART-C を実施した．その結果，有意差は検出されなかった．

5.7.3 SUS

平均 SUS スコアは，sitting-medium 条件では 77.9 (SD = 13.5)，sitting-small 条件では 76.2 (SD = 12.2)，standing-medium 条件では 75.4 (SD = 13.6)，standing-small 条件では 71.9 (SD = 13.4)，walking-medium 条件では 68.8 (SD = 13.8)，walking-small 条件では 67.9 (SD = 17.4) であった (図 5.10)．

シャピロ-ウィルク検定を行った結果，SUS スコアに正規性は確認されなかった．そのため，タッチ条件および文字入力手法を独立変数として ART を行った後，二元配置分散分析を行った．その結果，主効果が姿勢 ($F_{2,55} = 6.06$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .18$) に検出された．交互作用は検出されなかった．その後，下位検定として ART-C を実施した．その結果，座位姿勢 – 歩行姿勢 ($t_{55} = -3.450$, $p < .01$) に有意差が検出された．

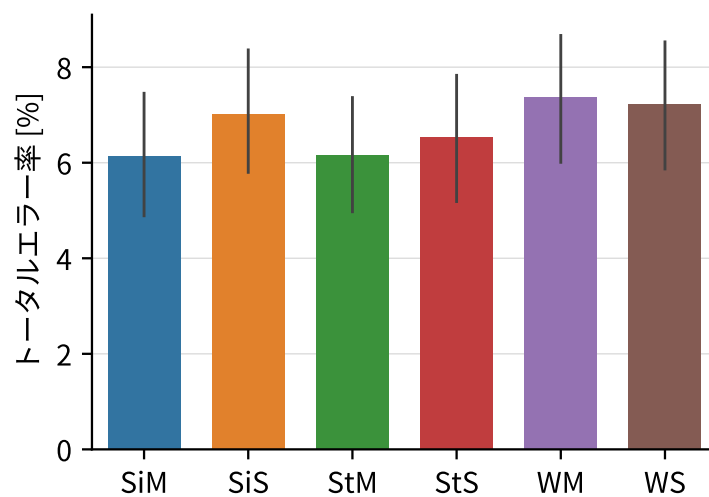


図 5.9: 手法ごとの平均トータルエラー率. エラーバーは 95% 信頼区間を示す.

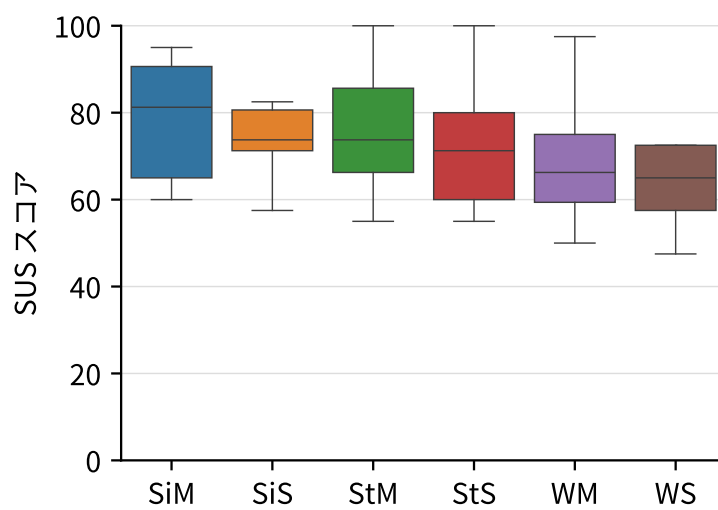


図 5.10: 手法ごとの平均 SUS スコア. ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す.

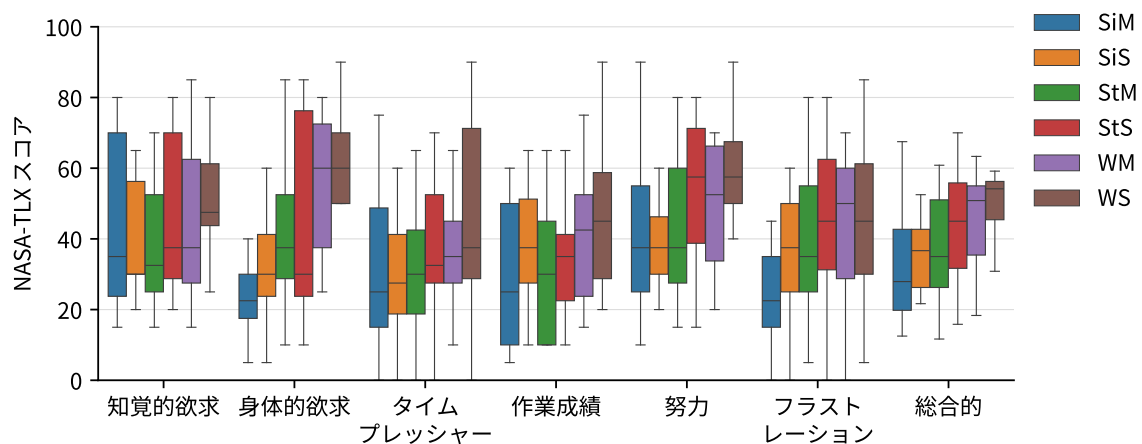


図 5.11: 手法ごとの NASA-RTLX 項目別平均スコア。ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す。

5.7.4 NASA-RTLX

NASA-RTLX の総合的ワークロードは、sitting-medium 条件では 32.6 (SD = 17.0), sitting-small 条件では 35.6 (SD = 10.2), standing-medium 条件では 37.5 (SD = 16.2), standing-small 条件では 43.1 (SD = 17.5), walking-medium 条件では 45.0 (SD = 15.2), walking-small 条件では 52.2 (SD = 14.6) であった (図 5.11)。

シャピロ-ウィルク検定を行った結果、NASA-RTLX の総合的ワークロードに正規性が確認された。そのため、二元配置分散分析を行った。その結果、主効果が姿勢 ($F_{2,22} = 12.10, p < 0.001, \eta_p^2 = .0052$) およびサイズ ($F_{1,11} = 7.17, p < 0.05, \eta_p^2 = .0039$) に検出された。交互作用は検出されなかった。その後、下位検定としてホルム補正とともに t 検定を実施した。その結果、座位姿勢 - 歩行姿勢 ($t_{11} = 5.76, p < .001$) および座位姿勢 - 立位姿勢 ($t_{11} = 2.85, p < .05$) に有意差が検出された。

5.7.5 姿勢およびキーボードサイズの好み

姿勢では、10 名が座位姿勢を、1 名が立位姿勢を、1 名が歩行姿勢を好むと回答した。座位姿勢の選択理由には、「腕が安定して入力しやすかった」(P13, P14, P15, P16, P21, P22), 「立つ必要がなく楽だった」(P18, P19, P20), 「視界が安定した」(P23) が挙げられた。立位姿勢の選択理由には「腕を置くと手首に負担が掛かる」(P17) が挙げられた。歩行姿勢の選択理由には「歩行時に特に有用な手法だった」(P24) が挙げられた。

キーボードサイズでは、10 名が中サイズを、2 名が小サイズを好むと回答した。中サイズの選択理由には、「キーボードが見やすかった」(P13, P23), 「入力がしやすかった」(P16, P18, P21), 「操作の難易度が低かった」(P19, P20), 「ポインタ操作時のミスが少なく感じた」(P15), 「画面のブレが少なく感じた」(P22), 「理由なし」(P14) が挙げられた。小サイズの選択理

由には、「視線移動量が小さい」(P17)、「キーボードが大きいと指を動かすすぎてしまった」(P24)が挙げられた。

5.8 考察

実験2では、より実利用に近い環境として、MR空間にて、複数の姿勢およびキーボードフィードバックサイズの条件下における本手法の性能を調査した。その結果、本手法はMR環境においても実用的な文字入力速度およびエラー率を達成することが示された。これにより、本手法は様々なシナリオにて機能することが示唆された。

異なるキーボードフィードバックのサイズ間にて、入力速度、エラー率、ユーザビリティ、ワークロードに有意差は検出されなかった。ゆえに、本手法では、キーボードフィードバックのサイズを小さくしても実用的であることが示唆された。実験参加者からのフィードバック（「周囲が見やすい」(P14, P16, P19)、「視線の移動量を少なく感じた」(P19, P23, P24)）も、小さなキーボードフィードバックの有益性を示した。この利点を活かした応用例として、6節に示した通り、より視野角の狭いスマートグラスおよびARグラスでの本手法の利用が想定される。一方、キーボードフィードバックが小さいことによる目の疲れ（「目が比較的疲れた」(P18)、「目を集中させる必要があった」(P17, P23)）、およびCD比の影響を示唆する（「小のほう指の移動量が少なく感じた」(P23)、「キーボードが大きいと、指を大きく移動させてしまうことがあった」(P24)）コメントが得られた。これらについては、より詳細な検証が必要である。

姿勢に関しては、歩行姿勢は、座位姿勢および立位姿勢に比べて文字入力速度が有意に低かった。ただし、その減少幅は2 CPM程度と軽微であった。また、SUS、NASA-RTLXともに歩行姿勢はその他の姿勢よりもスコアが有意に悪かった。加えて、トータルエラー率に関しては有意差は検出されなかった。したがって、本手法は歩行時にも安定したパフォーマンスを記録することが示唆された。

第6章 議論

本節では、実験1および2の結果および実験参加者からのフィードバックを踏まえて、本手法の設計、適用可能性、および本研究の限界を議論する。

6.1 本手法の設計

スライドインの始点に、一般的なフリック入力における母音のフリック方向と同様の方向を割り当てることによって、本手法にフリック入力との共通性を持たせようと試みた。しかし、現在の設計では指を動かす方向がフリック入力と反対になる。結果として、慣れとともに混乱が改善したと述べた参加者（P16, P18, P19, P20, P22）がいた一方、複数の実験参加者（P1, P8, P12, P23）がこの不一致について混乱したと回答した。また、「「う」段の入力が通知センタと干渉して誤入力に繋がった」と述べた参加者（P6, P14, P20）がいた。加えて「特に歩行時に、竜頭の操作がスライドインと間違えて判定された」（P14, P17）と述べた参加者がいた。これらの意見から、母音選択時のスライドインを反転させる、スライドイン判定の時間的な閾値を長くするといった改善案が示された。

また、母音入力のキャンセルについて、「判定領域が小さかった」（P13, P18）、「「あ」段の入力キャンセル機能が欲しかった」（P21, P22）との意見が得られた。これに対して複数の参加者が「「い」または「え」段に存在した空白のキーを退避用に活用した」（P22）と回答したことから、キー配置を4×4にして、入力キャンセル用のキーを明示的に設ける改善案が示された。

また、本手法のキーボードフィードバックは簡素化が可能であると考えられる（図6.1）。本手法では、フリック入力において広く用いられているキーボード配列を採用しているため、ユーザがこの配列を記憶することにより、キー上の文字情報を省略可能であると考えられる。さらに、ユーザの習熟度が向上するにつれて、ポインタの非表示化、およびキーボードの透過度の低減が可能となると考えられる。これにより、キーボードフィードバックの表示領域を縮小するだけでなく、さらなる視覚的な煩わしさの軽減が期待される。

本手法は、物理的な触覚フィードバックを活用して、入力面の視認を伴わずに入力を開始可能である、これは、四角形のスマートウォッチのベゼル以外に、同様に面積の小さな入力面を持つ他のデバイスにおいても使用可能であると考えられる。この例として、円形スマートウォッチ、VIVE、およびApple TV等に利用されるタッチパッドを備えるリモートコントローラ、およびPS4等のゲームパッドが想定される。ただし、本研究では四角形のスマートウォッチに限定して性能評価を行ったため、円形等の他の形状の入力面に対するインタフェー

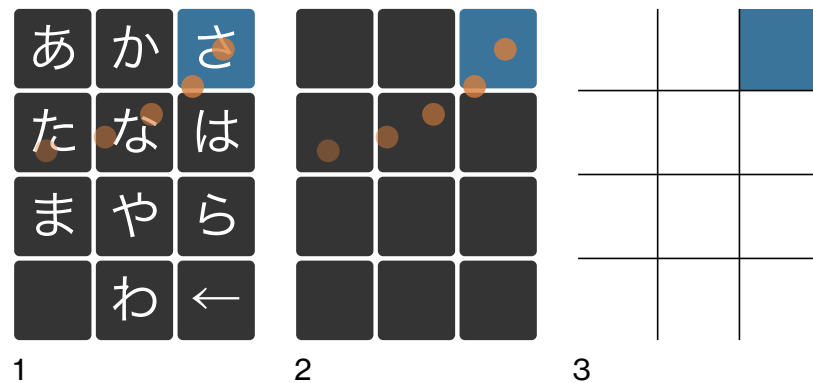


図 6.1: キーボードフィードバックの簡素化の例. 1) 現在のキーボードフィードバック. 2) キー上の文字を削除した状態. 3) キーボードを矩形にした状態.

スの設計, およびスマートウォッチ以外のデバイスを用いた性能調査が必要である.

6.2 本研究の限界および今後の課題

本節では, 本研究が抱える限界を示すとともに, 今後の課題を述べる.

はじめに, 本手法の正確な性能を調査するには, さらなる追加実験が必要である. 実験 1, 2 とともに, 学内の大学生および大学院生を対象に実験を行った. 加えて, 実験参加者の数が各 12 人と少なかったため, 年齢および性別に偏りが生じた. 本研究の外的妥当性を高めるためには, より多様な年齢層および性別の参加者を対象に, サンプル数を増やした実験を行う必要がある.

また, 実験 1, 2 とともに 2 時間程度で終了する実験であったため, 本手法の性能が安定するまでの正確な習熟を調査できていない. ゆえに, 今後長期間にわたる性能評価を行うことにより, 正確な習熟を調査する.

本研究ではスマートウォッチ入力におけるベースライン手法であるフリック入力との比較を行った一方, 既存の VR 用文字入力手法との比較が不足している. 幅広い環境における利用を想定するのであれば, 既存の文字入力手法との広範な比較が必要である.

加えて, 本手法を用いて文字入力を行う際に, ユーザが出力面上のどの点を注視しているかは本研究では調査されていない. ゆえに, 画面上に表示された他の物体を見ながらの入力が可能であるかは明らかではない. 今後, 本手法を用いて文字入力を行う際の頭部移動量および視線移動量を計測することにより, これらを明らかにする.

実験参加者からのフィードバックに「転写は日常的なタスクではない」(P21), 「より現実的な状況下におけるタスクを試してみたい」(P13) といった意見があった. 本研究で実施したタスクは, シンプルな状況下における文字入力性能を評価するものであった. これは初期評価には適している一方, 日常生活にて遭遇するような複雑なタスクは想定していない. したがって, 今後より複雑なルートおよび障害物を含むような, 実際の使用状況を想定した環

境での調査が必要である。

その他に、かな漢字変換機能の欠如がある。本研究では日本語のかな文字入力に焦点を当てた。一方、日本語にはカタカナ、漢字、アルファベットといった多様な構成文字が存在するため、実用的な文字入力を実現するためには、かな漢字変換機能を実装する必要がある。特に、スマートウォッチのような小さなデバイスを使用して間接タッチのように入力面を視認しない場合、通常のIMEを利用することとは困難であるため、専用のインタフェースを設計する必要があると考えられる。

最後に、キーボードの表示位置についても検討が必要である。実験2では、自由記述にて「キーボードが中央にあると視界が塞がれて怖い」(P16)、「キーボードは真ん中でないほうが良い」(P17)という意見が得られた。したがって、キーボードの表示位置についてはさらなる検討が必要である。一方、キーボードを視界端に配置した場合の性能については調査できていない。今後、キーボードの位置を独立変数に加えた新たな実験を行うことにより、適切な配置について調査する。

第7章 結論

本論文では、スマートウォッチでの Bezel-initiated swipe を用いた間接タッチ用日本語文字入力手法を示した。初めに、フリック入力との比較を通じて、本手法を間接および直接タッチにて使用した際の性能調査を行う実験を実施した。実験の結果、間接タッチでは、本手法はフリック入力より同程度の文字入力速度 (29.5 CPM) を示し、またトータルエラー率 (10.0%) はフリック入力よりも低かった。これにより、間接タッチにおいて、本手法は実用的な間接タッチ用文字入力手法として使用可能なことが示唆された。続いて、MR 環境下における本手法の利用可能性を検証すべく、複数の姿勢およびキーボードサイズにて、性能評価を行った。その結果、文字入力速度は 36.5 CPM、エラー率は 6.14% に到達した。また、本手法はキーボードフィードバックを小さくした場合でも実用可能なことが示された。今後、追加実験を通じて、本手法の既存手法との比較、および異なる状況下での性能評価、習熟の調査を行う。また、本手法の設計の改善、およびかな漢字変換機能の実装を行う。

謝辞

本研究を進めるにあたって、志築文太郎先生、川口一画先生、高橋伸先生には多大なご意見とご指導を頂きました。心から感謝申し上げます。特に、志築文太郎先生には、研究の進め方、論文執筆をはじめとした研究の基礎をご指導いただきました。さらに、研究の相談および研究生活に関して多くのご助言およびご指南を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

インタラクティブプログラミング研究室の同輩、先輩方には、研究生活において大変お世話になりました。WAVE チームの皆様にはチームゼミにおけるご意見および論文の添削に加えて、研究生活に関しても多くのご助言を頂きました。心より感謝いたします。特に、崔明根氏、白根薫氏には研究方針、論文執筆等、本研究における重要な部分に関する多くのアドバイスを頂きました。多大なご協力に心からお礼申し上げます。COMMUNICATION チームのみなさまにも、研究発表および研究室生活において、多くのご意見とご支援を頂きました。また、評価実験に参加いただいた皆様に深く感謝いたします。

最後に、学生生活においてお世話になった全てのみなさま、そして、私の学生生活を支えて頂いた家族に深く感謝申し上げます。

業績リスト

本論文に関する論文および発表

査読付き国内学会予稿

- 和田 優斗, 白根 薫, 崔 明根, 志築 文太郎. 母音, 子音の順に選択を行う間接タッチ用かな文字入力手法. 第 32 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ予稿集, WISS 2024, pp. 69–76, 2024.

その他論文および発表

査読なし国内学会予稿

- 本田 佳杏樹, 佐藤 玲生, 和田 優斗, 志築 文太郎. 立体図形学習のためのタブレットコンピュータ用 AR アプリケーション. インタラクション 2025 論文集, 4 pages, 2025.
- 角田 陸, 松田 大樹, 白根 薫, 和田 優斗, 池松 香, 志築 文太郎. 画面上の触覚フィードバックがバーチャルジョイスティックに与える影響の基礎調査. 情報処理学会研究報告 (HCI-210), 8 pages, 2024.
- 和田 優斗, 志築 文太郎. グリッドレイアウトに基づく組版作業を支援する手書きストロークを入力としたインタフェース. インタラクション 2023 論文集, 4 pages, 2023.

参考文献

- [1] Simon Voelker, Chat Wacharamanotham, and Jan Borchers. An Evaluation of State Switching Methods for Indirect Touch Systems. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 745–754, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [2] Yizhong Xin, Ruonan Liu, and Yan Li. Strategy for Improving Target Selection Accuracy in Indirect Touch Input. *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. 103, No. 7, pp. 1703–1709, 2020.
- [3] Dominik Schmidt, Florian Block, and Hans Gellersen. A Comparison of Direct and Indirect Multi-touch Input for Large Surfaces. In *Proceedings of the IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*, INTERACT '09, pp. 582–594, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer Berlin Heidelberg.
- [4] Simon Voelker, Andrii Matviienko, Johannes Schöning, and Jan Borchers. Combining Direct and Indirect Touch Input for Interactive Workspaces using Gaze Input. In *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction*, SUI '15, pp. 79–88, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [5] Zhican Yang, Chun Yu, Xin Yi, and Yuanchun Shi. Investigating Gesture Typing for Indirect Touch. In *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 3 of *IMWUT*, pp. 117:1–117:22, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [6] Sebastian Boring, Marko Jurmu, and Andreas Butz. Scroll, Tilt or Move It: Using Mobile Phones to Continuously Control Pointers on Large Public Displays. In *Proceedings of the 21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group: Design: Open 24/7*, OzCHI '09, pp. 161–168, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [7] Jérémie Gilliot, Géry Casiez, and Nicolas Roussel. Impact of Form Factors and Input Conditions on Absolute Indirect-touch Pointing Tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 723–732, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.

- [8] 喜多修太郎, 小倉加奈代, Bista Bhed Bahadur, 高田豊雄. LeapMotion を用いた VR 上での文字入力手法の検討. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, HCI-181, pp. 1–7, 東京, 日本, 2019. 情報処理学会.
- [9] 小澤宗馬, 梅澤猛, 大澤範高. 空中におけるつまむ動作を用いた効率的な文字入力の検討. 第 14 回情報科学技術フォーラム講演論文集, FIT 2015, pp. 389–390, 東京, 日本, 2015. 情報処理学会.
- [10] Huawei Tu, Susu Huang, Jiabin Yuan, Xiangshi Ren, and Feng Tian. Crossing-Based Selection with Virtual Reality Head-Mounted Displays. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, pp. 618:1–618:14, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [11] Yiqin Lu, Chun Yu, Xin Yi, Yuanchun Shi, and Shengdong Zhao. BlindType: Eyes-Free Text Entry on Handheld Touchpad by Leveraging Thumb's Muscle Memory. In *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 1, pp. 18:1–18:24, New York, NY, USA, June 2017. Association for Computing Machinery.
- [12] 川瀬寛也, 澤邊太志, 藤本雄一郎, 神原誠之, 加藤博一. 日常利用の拡張現実感環境におけるタッチタイピング可能な文字入力システム. 複合現実感研究会 MR2022-10, pp. 30–35, 東京, 日本, 2022. 日本バーチャルリアリティ学会.
- [13] Sunggeun Ahn, Seongkook Heo, and Geehyuk Lee. Typing on a Smartwatch for Smart Glasses. In *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '17, pp. 201–209, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [14] 浦城恒雄. 日本の情報処理技術の足跡 漢字・日本語処理技術の発展：日本語の入出力と処理. 情報処理学会誌 情報処理, Vol. 43, No. 10, pp. 1093–1098, 2002.
- [15] Franca Alexandra Rupprecht, Achim Ebert, Andreas Schneider, and Bernd Hamann. Virtual Reality Meets Smartwatch: Intuitive, Natural, and Multi-Modal Interaction. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '17, pp. 2884–2890, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [16] Shaishav Siddhpuria, Sylvain Malacria, Mathieu Nancel, and Edward Lank. Pointing at a Distance with Everyday Smart Devices. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 173:1–173:11, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [17] Keiko Katsuragawa, Krzysztof Pietroszek, James R. Wallace, and Edward Lank. Watchpoint: Freehand Pointing with a Smartwatch in a Ubiquitous Display Environment. In *Proceedings of*

- the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '16, pp. 128–135, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [18] Daniel Kharlamov, Brandon Woodard, Liudmila Tahai, and Krzysztof Pietroszek. TickTock-Ray: Smartwatch-based 3D Pointing for Smartphone-based Virtual Reality. In *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '16, pp. 365–366, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
 - [19] Matěj Lang, Clemens Strobel, Felix Weckesser, Danielle Langlois, Enkelejda Kasneci, Barbora Kozlíková, and Michael Krone. A Multimodal Smartwatch-based Interaction Concept for Immersive Environments. *Computers & Graphics*, Vol. 117, pp. 85–95, 2024.
 - [20] Juyoung Lee, Minju Baeck, Hui-Shyong Yeo, Thad Starner, and Woontack Woo. Gesture-Mark: Shortcut Input Technique using Smartwatch Touch Gestures for XR Glasses. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2024*, AHs '24, pp. 63–71, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
 - [21] Pui Chung Wong, Kening Zhu, Xing-Dong Yang, and Hongbo Fu. Exploring Eyes-free Bezel-initiated Swipe on Round Smartwatches. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, pp. 1–11, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
 - [22] François Bérard. Congruent Indirect Touch vs. Mouse Pointing Performance. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 187, pp. 1–12, 2024.
 - [23] Toshiyuki Masui. POBox: An Efficient Text Input Method for Handheld and Ubiquitous Computers. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, HUC '99, pp. 288–300, Berlin, Heidelberg, 1999. Springer-Verlag.
 - [24] Google. Google 日本語入力. <https://www.google.co.jp/ime/>. (最終閲覧日 2025 年 2 月 3 日) .
 - [25] ジャストシステム. 日本語入力システム「ATOK」. <https://atok.com/>. (最終閲覧日 2025 年 2 月 3 日) .
 - [26] 長澤直子. 大学生のスマートフォンと PC での文字入力方法. *コンピュータ&エデュケーション*, Vol. 43, pp. 67–72, 2017.
 - [27] Sami Ronkainen, Jonna Häkkinen, Saana Kaleva, Ashley Colley, and Jukka Linjama. Tap Input as an Embedded Interaction Method for Mobile Devices. In *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '07, pp. 263–270, New York, NY, USA, 2007. Association for Computing Machinery.

- [28] Katie A Siek, Yvonne Rogers, and Kay H Connelly. Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs. In *Proceedings of the IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*, INTERACT '05, pp. 267–280, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer Berlin Heidelberg.
- [29] Chris Harrison and Scott E. Hudson. Abracadabra: Wireless, High-precision, and Unpowered Finger Input for Very Small Mobile Devices. In *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, pp. 121–124, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [30] 秋田光平, 田中敏光, 佐川雄二. 画面占有率の低いスマートウォッチ向け文字入力手法 SliT. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 131–140, 2019.
- [31] 齋藤航平, 奥寛雅. HARI キーボード: 超小型タッチパネル端末向け日本語入力キーボード. インタラクシオン 2016 論文集, pp. 701–703, 東京, 日本, 2016. 情報処理学会.
- [32] Takaki Tojo, Tsuneo Kato, and Seiichi Yamamoto. BubbleFlick: Investigating Effective Interface for Japanese Text Entry on Smartwatches. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '18, pp. 44:1–44:12, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [33] 東條貴希, 本田裕己, 加藤恒夫, 山本誠一. BubbleSlide: スマートウォッチ向け円環型日本語かな入力インタフェース. 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 10, pp. 2075–2084, 2024.
- [34] Kai Akamine, Ryotaro Tsuchida, Tsuneo Kato, and Akihiro Tamura. PonDeFlick: A Japanese Text Entry on Smartwatch Commonalizing Flick Operation with Smartphone Interface. In *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, pp. 941:1–941:11, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [35] Yoshitomo Fukatsu, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. No-look flick: Single-handed and Eyes-free Japanese Text Input System on Touch Screens of Mobile Devices. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '13, pp. 161–170, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [36] Ryosuke Aoki, Ryo Hashimoto, Akihiro Miyata, Shunichi Seko, Masahiro Watanabe, and Masayuki Ihara. Move&Flick: Design and Evaluation of a Single-finger and Eyes-free Kana-character Entry Method on Touch Screens. In *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, ASSETS '14, pp. 311–312, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.

- [37] 下岡純也, 浅井洋樹, 山名早人. スマートウォッチにおけるアイズフリー日本語入力手法. 第23回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ予稿集, WISS 2015, pp. 1–2, 東京, 日本, 2015. 日本ソフトウェア科学会.
- [38] 漆山裕太, 中村拓人, 志築文太郎. 指の軌跡に基づくモバイル端末向けアイズフリーかな文字入力の提案. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, HCI-181, pp. 1–8, 東京, 日本, 2019. 情報処理学会.
- [39] 井川洋平, 宮下芳明. アイズフリーで速記できる「方向のみ」のフリック入力手法. インタラクション 2013 論文集, pp. 651–656, 東京, 日本, 2013. 情報処理学会.
- [40] Bruno Fruchard, Eric Lecolinet, and Olivier Chapuis. Side-Crossing Menus: Enabling Large Sets of Gestures for Small Surfaces. In *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 4, pp. 189:1–189:19, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [41] Volker Roth and Thea Turner. Bezel Swipe: Conflict-free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1523–1526, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [42] Mohit Jain and Ravin Balakrishnan. User Learning and Performance with Bezel Menus. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2221–2230, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [43] Marcos Serrano, Eric Lecolinet, and Yves Guiard. Bezel-Tap Gestures: Quick Activation of Commands from Sleep Mode on Tablets. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 3027–3036, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [44] Sangtae Kim, Jaejeung Kim, and Soobin Lee. Bezel-Flipper: Design of a Light-weight Flipping Interface for E-Book. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, pp. 1719–1724, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [45] Ali Neshati, Bradley Rey, Ahmed Shariff Mohommed Faleel, Sandra Bardot, Celine Latulipe, and Pourang Irani. BezelGlide: Interacting with Graphs on Smartwatches with Minimal Screen Occlusion. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, pp. 501:1–501:13, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [46] Ali Neshati, Aaron Salo, Shariff Am Faleel, Ziming Li, Hai-Ning Liang, Celine Latulipe, and Pourang Irani. EdgeSelect: Smartwatch Data Interaction with Minimal Screen Occlusion. In

- Proceedings of the 2022 International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '22*, pp. 288–298, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [47] Cheng Zhang, Junrui Yang, Caleb Southern, Thad E. Starner, and Gregory D. Abowd. WatchOut: Extending Interactions on a Smartwatch with Inertial Sensing. In *Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers, ISWC '16*, pp. 136–143, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
 - [48] Katrin Plaumann, Michael Müller, and Enrico Rukzio. CircularSelection: Optimizing List Selection for Smartwatches. In *Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers, ISWC '16*, pp. 128–135, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
 - [49] Teng Han, Jiannan Li, Khalad Hasan, Keisuke Nakamura, Randy Gomez, Ravin Balakrishnan, and Pourang Irani. PageFlip: Leveraging Page-Flipping Gestures for Efficient Command and Value Selection on Smartwatches. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '18*, pp. 529:1–529:12, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
 - [50] Yuki Kubo, Buntarou Shizuki, and Jiro Tanaka. B2B-Swipe: Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '16*, pp. 3852–3856, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
 - [51] Bradley Rey, Kening Zhu, Simon Tangi Perrault, Sandra Bardot, Ali Neshati, and Pourang Irani. Understanding and Adapting Bezel-to-Bezel Interactions for Circular Smartwatches in Mobile and Encumbered Scenarios. In *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 6, pp. 1–28, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
 - [52] Ahmed Sabbir Arif and Wolfgang Stuerzlinger. Analysis of Text Entry Performance Metrics. In *2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity, TIC-STH '09*, pp. 100–105, 2009.
 - [53] John Brooke. SUS: A Quick and Dirty Usability Scale. *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194, 1996.
 - [54] James C Byers, AC Bittner, and Susan G Hill. Traditional and Raw Task Load Index (TLX) Correlations: Are Paired Comparisons Necessary. *Advances in industrial ergonomics and safety*, Vol. 1, pp. 481–485, 1989.
 - [55] 芳賀繁, 水上直樹. 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定–各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度. 日本人間工学会誌, Vol. 32, No. 2, pp. 71–79, 1996.

- [56] 山内繁. エンジニアのための人を対象とする研究計画入門. 丸善出版, 2015.
- [57] James J. Higgins and Suleiman Tashtoush. An Aligned Rank Transform Test for Interaction. *Nonlinear World*, Vol. 1, No. 2, pp. 201–211, 1994.
- [58] K. C. Salter and R. F Fawcett. The Art Test of Interaction: A Robust and Powerful Rank Test of Interaction in Factorial Models. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, Vol. 22, No. 1, pp. 137–153, 1993.
- [59] Jacob O. Wobbrock, Leah Findlater, Darren Gergle, and James J. Higgins. The Aligned Rank Transform for Nonparametric Factorial Analyses using Only Anova Procedures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 143–146, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [60] Lisa A. Elkin, Matthew Kay, James J. Higgins, and Jacob O. Wobbrock. An Aligned Rank Transform Procedure for Multifactor Contrast Tests. In *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21, pp. 754–768, 2021.
- [61] Google. Designing Screen Interfaces for VR (Google I/O '17). <https://www.youtube.com/watch?v=ES9jArHRFHQ>. (最終閲覧日 2025 年 2 月 3 日) .

付 録 A 練習文，課題文セット

第 4，5 章にて述べた実験 1，2 にて使用した，練習文および課題文セットを以下に示す．

表 A.1: 実験 1：練習文セット 1

番号	例文	入力対象のかな文字
1	東京タワーがある夜景	とうきょうたわーがあるやけい
2	台風が接近する	たいふうがせっきんする
3	つくばの魅力を発信	つくばのみりょくをはっしん
4	友達と遊ぶ日々	ともだちとあそぶひび
5	包帯のような嘘を見抜く	ほうたいのようなうそをみぬく
6	電車が遅れている	でんしゃがおくれている
7	空虚な時間が流れる	くうきょなじかんがながれる
8	可愛いスイーツを食べる	かわいいすいーつをたべる
9	雨の日に読書をする	あめのひにどくしょをする
10	漫画を読むのが好き	まんがをよむのがすき
11	写真を撮るのが得意	しゃしんをとるのがとくい
12	永遠の平和を願う	えいえんのへいわをねがう

表 A.2: 実験 1：練習文セット 2

番号	例文	入力対象のかな文字
1	歌を歌って踊る	うたをうたっておどる
2	海のほとりを走る電車	うみのほとりをはしるでんしゃ
3	ウェブサービスを開発する	うえぶさーびすをかいはつする
4	夜の散歩が楽しい	よるのさんぽがたのしい
5	柔らかな風が吹き抜ける	やわらかなかぜがふきぬける
6	全力で頑張る	ぜんりょくでがんばる
7	千葉の港を訪れる	ちばのみなとをおとずれる
8	静寂を訪れる	せいじゃくがおとずれる
9	温泉旅行が癒やし	おんせんりょこうがいやし
10	映画館で映画を見る	えいがかんでえいがをみる
11	プログラミングは難しい	ぷろぐらみんぐはむずかしい
12	誰も憧れに彷徨う	だれもあこがれにさまよう

表 A.3: 実験 1：練習文セット 3

番号	例文	入力対象のかな文字
1	花畑を見に行く	はなばたけをみにいく
2	首都高から見た隅田川	しゅところからみたすみだがわ
3	同窓会の案内	どうそうかいのあんない
4	素敵な出会いを願う	すてきなであいをねがう
5	猫とボールで遊ぶ	ねことぼーるであそぶ
6	親友にお便りを書く	しんゆうにおたよりをかく
7	みなとみらいで見た花火	みなとみらいでみたはなび
8	新しい靴を買いたい	あたらしいくつをかいたい
9	外で飲むビールは最高	そとでのむびーるはさいこう
10	地図を見ながら運転する	ちずをみながらうんてんする
11	猫が魚を追いかける	ねこがさかなをおいかける
12	生まれ変わってまた歩き出す	うまれかわってまたあるきだす

表 A.4: 実験 1：練習文セット 4

番号	例文	入力対象のかな文字
1	お祭りの屋台に行く	おまつりのやたいにいく
2	長年の夢を叶える	ながねんのゆめをかなえる
3	秋は読書の秋	あきはどくしょのあき
4	ハイキングでリフレッシュ	はいきんぐでりふれっしゅ
5	寒い冬は苦手だ	さむいふゆはにがてだ
6	目まぐるしく時代が移ろう	めまぐるしくじだいがうつろう
7	世間の変化に戸惑う	せけんのへんかにとまどう
8	新幹線のホームに立つ	しんかんせんのほーむにたつ
9	学園祭を開催する	がくえんさいをかいさいする
10	昼下がりの喫茶店	ひるさがりのきっさてん
11	美味しい料理を食べる	おいしいりょうりをたべる
12	楽しかった大学生活	たのしかっただいがくせいかつ

表 A.5: 実験 1: 課題文セット 1

番号	例文	入力対象のかな文字
1	暖かな日差しに包まれる	あたたかなひざしにつつまれる
2	母の日にプレゼントを選ぶ	ははのひにぶれぜんとをえらぶ
3	春は別れの季節	はるはわかれのきせつ
4	畑で野菜を育てる	はたけでやさいをそだてる
5	海で泳ぐのが好き	うみでおよぐのがすき
6	自転車を修理する	じてんしゃをしゅうりする
7	家族とピクニックに行く	かぞくとびくにつくに行く
8	映画館で映画を見る	えいがかんでえいがをみる
9	雨の日はおうちでまったり	あめのひはおうちでまったり
10	手作り料理を食べる	てづくりりょうりをたべる
11	友達とカラオケに行く	ともだちとからおけに行く
12	雪景色が広がる街	ゆきげしきがひろがるまち
13	電車の車窓を眺める	でんしゃのしゃそうをながめる
14	学校の先生に会う	がっこうのせんせいにあう
15	工場夜景を眺める	こうじょうやけいをながめる
16	新しい靴を想买いたい	あたらしいくつをかいたい
17	夜空に星が輝く	よぞらにほしがかがやく
18	仕事が終わったらカフェへ	しごとがおわったらかふえへ
19	バスで友達と出かける	ばすでともだちとでかける
20	パソコンで作業をする	ばそこんでさぎょうをする
21	春の風が心地よい	はるのかぜがここちよい
22	山登りが趣味です	やまのぼりがしゅみです
23	青い空を見上げる	あおいそらを見あげる
24	甘い果物が食べたい	あまいくだものがたべたい
25	ピアノを弾くのが上手	ぴあのをひくのがじょうず
26	七夕の短冊を書く	たなばたのたんざくをかく
27	京都の寺院に行く	きょうとのじいんに行く
28	旅行先で迷子になる	りょこうさきでまいごになる

表 A.6: 実験 1: 課題文セット 2

番号	例文	入力対象のかな文字
1	昼寝をしてリフレッシュ	ひるねをしてりふれっしゅ
2	好きな音楽はロック	すきなおんがくはろっく
3	雨の日にパズルをする	あめのひにばずるをする
4	美味しい料理を作る	おいしいりょうりをつくる
5	雪が降るとワクワクする	ゆきがふるとわくわくする
6	春の訪れを感じる	はるのおとずれをかんじる
7	空港に行く予定	くうこうにいくよてい
8	緑が綺麗な公園	みどりがきれいなこうえん
9	空港で出発待ち	くうこうでしゅっぱつまち
10	夏休みが楽しみです	なつやすみがたのしみです
11	公園で夜桜を楽しむ	こうえんでよざくらをたのしむ
12	カラオケで歌いたい	からおけでうたいたい
13	秋は食欲の秋	あきはしょくよくのあき
14	熱いラーメンが食べたい	あついらーめんがたべたい
15	コンサートで感動した	こんさーとでかんだうした
16	地元の料理を堪能	じもとのりょうりをたんのう
17	冬休みが始まる	ふゆやすみがはじまる
18	新しい本を読みたい	あたらしいほんをよみたい
19	夕日を眺めると落ち着く	ゆうひをながめるとおちつく
20	猫が可愛くて癒やされる	ねこがかわいくていやされる
21	花火大会が楽しみ	はなびたいかいがたのしみ
22	先生に質問をする	せんせいにしつもんをする
23	料理教室に通う	りょうりきょうしつにかよう
24	趣味は写真撮影	しゅみはしゃしんさつえい
25	ライブに行くのが楽しみ	らいぶにいくのがたのしみ
26	部活動で全力を出す	ぶかつどうでぜんりょくをだす
27	秋の夜長にホットコーヒー	あきのよながにほっとこーひー
28	今宵の月は綺麗だ	こよいのつきはきれいだ

表 A.7: 実験 1: 課題文セット 3

番号	例文	入力対象のかな文字
1	新しい春がやってくる	あたらしいはるがやってくる
2	一人暮らしを始める	ひとりぐらしをはじめる
3	ハート型の雲が見える	はーとがたのくもがみえる
4	イルミネーションを見に行く	いるみねーしょんをみにいく
5	自転車で通学する	じてんしゃでつうがくする
6	週末はゴルフに行く	しゅうまつはごるふにいく
7	高速をドライブする	こうそくをどらいぶする
8	デパートで買い物をする	でばーとでかいものをする
9	海外旅行がしたい	かいがいりょこうがしたい
10	花火大会に行きたい	はなびたいかいにいきたい
11	コーヒーを飲むのが癒やし	こーひーをのむのがいやし
12	桜の花が舞い上がる	さくらのはながまいあがる
13	夕焼けが美しい	ゆうやけがうつくしい
14	家族でバーベキューをする	かぞくでばーべきゅーをする
15	ハンバーガーを食べる	はんばーがーをたべる
16	明るい未来を見据える	あかるいみらいをみすえる
17	昼ごはんは外で食べる	ひるごはんはそとでたべる
18	早起きすると気持ちよい	はやおきするときもちよい
19	涼しい川で遊ぶ	すずしいかわであそぶ
20	寒い日にはお鍋が食べたい	さむいひにはおなべがたべたい
21	塗り絵をするのは得意だ	ぬりえをするのはとくいだ
22	料理が上手な友人	りょうりがじょうずなゆうじん
23	大雨で通学が大変	おおあめでつうがくがたいへん
24	美味しい果物を買う	おいしいくだものをかう
25	秘密の場所を見つける	ひみつのばしょをみつける
26	赤いバラが咲いている	あかいばらがさいている
27	美しい花を育てる	うつくしいはなをそだてる
28	昼寝するのが至福の時	ひるねするのがしふくのとき

表 A.8: 実験 1: 課題文セット 4

番号	例文	入力対象のかな文字
1	新しい友達ができる	あたらしいともだちができる
2	仕事帰りにひと休み	しごとがえりにひとやすみ
3	海辺で波の音を聞く	うみべでなみのおとをきく
4	春が来るのを待っている	はるがくるのをまっている
5	机の上に本がある	つくえのうえにほんがある
6	美味しいジュースを飲む	おいしいじゅーすをのむ
7	山でキャンプを楽しむ	やまできゃんぷをたのしむ
8	寝坊して遅刻した	ねぼうしてちこくした
9	楽しいパーティーに行く	たのしいぱーてぃーに行く
10	部屋を片付ける予定	へやをかたづけるよてい
11	新しいスマホが欲しい	あたらしいすまほがほしい
12	古い友達と再会した	ふるいともだちとさいかいした
13	大晦日は紅白を見る	おおみそかはこうはくをみる
14	花火大会で盛り上がる	はなびたいかいでもりあがる
15	スポーツ観戦が趣味	すぽーつかんせんがしゅみ
16	山の頂上に登る	やまのちょうじょうにのぼる
17	森できのこを探す	もりできのこをさがす
18	美味しいご飯が食べたい	おいしいごはんがたべたい
19	昔の思い出に浸る	むかしのおもいでにひたる
20	疲れた体を癒やす	つかれたからだをいやす
21	道路工事が始まった	どうろこうじがはじまった
22	夏の終わりが寂しい	なつのおわりがさみしい
23	手紙を書いて送る	てがみをかいておくる
24	梅雨の季節がやってきた	つゆのきせつがやってきた
25	自然の中でリラックス	しぜんのなかでりらくす
26	秋の空気が心地よい	あきのくうきがこちよい
27	試験まであと一週間	しけんまであといっしゅうかん
28	雪の下に春が待っている	ゆきのしたにはるがまっている

表 A.9: 実験 2 : 練習文セット 1

番号	例文	入力対象のかな文字
1	エンドロール	えんどろーる
2	リラックスする	りらくくすする
3	新鮮な空気	しんせんなくうき
4	雪の下の春	ゆきのしたのはる
5	古いスマホ	ふるいすまほ
6	秘密基地に行く	ひみつきちにいく
7	北海道	ほっかいどう
8	新たな時代	あらたなじだい
9	麦わら帽子	むぎわらぼうし
10	電車に乗る	でんしゃにのる

表 A.10: 実験 2 : 練習文セット 2

1	パラダイムシフト	ばらだいむしふと
2	時計の針	とけいのはり
3	ランプの明かり	らんぷのあかり
4	言葉の力	ことばのちから
5	事の顛末	ことのてんまつ
6	梅雨の季節	つゆのきせつ
7	御茶ノ水	おちゃのみず
8	旅立ちの日に	たびだちのひに
9	清澄白河	きよすみしらかわ
10	海外旅行	かいがいりょこう

表 A.11: 実験 2 : 練習文セット 3

1	料理上手	りょうりじょうず
2	風が強い日	かぜがつよいひ
3	春風が吹く	はるかぜがふく
4	抹茶味	まっちゃあじ
5	論文投稿	ろんぶんとうこう
6	仕事帰り	しごとがえり
7	充電器	じゅうでんき
8	友達の家	ともだちのいえ
9	夜の星空	よるのほしぞら
10	一心同体	いっしんどうたい

表 A.12: 実験 2：練習文セット 4

1	野生の竹の子	やせいのたけのこ
2	山でキャンプ	やまできゃんぷ
3	ライトノベル	らいとのべる
4	サハラ砂漠	さはらさばく
5	雀の親子	すずめのおやこ
6	狐と狸	きつねとたぬき
7	初日の出を見る	はつひのでをみる
8	銀行口座	ぎんこうこうざ
9	一人暮らし	ひとりぐらし
10	世界を旅する	せかいをたびする

表 A.13: 実験 2：練習文セット 5

番号	例文	入力対象のかな文字
1	試験当日	しけんとうじつ
2	道路工事	どうろこうじ
3	電車の遅延	でんしゃのちえん
4	優しい光	やさしいひかり
5	些細な違和感	ささいないわかん
6	波の音を聞く	なみのおとをきく
7	おやつの時間	おやつのじかん
8	飛騨高山	ひだたかやま
9	注意事項	ちゅういじこう
10	平和の鐘	へいわのかね

表 A.14: 実験 2：練習文セット 6

番号	例文	入力対象のかな文字
1	いちごタルト	いちごたると
2	夏の日差し	なつのひざし
3	日常の謎	にちじょうのなぞ
4	東京五輪	とうきょうごりん
5	空虚な空	くうきよなそら
6	寝坊で遅刻	ねぼうでちこく
7	綺麗な夜桜	きれいなよざくら
8	川辺りの家	かわべりのいえ
9	テレビ放送	てれびほうそう
10	美味しい鍋	おいしいなべ

表 A.15: 実験 2：課題文セット 1

番号	例文	入力対象のかな文字
1	古いアルバム	ふるいあるばむ
2	流星群	りゅうせいぐん
3	クラシックを聴く	くらしっくをきく
4	先生に会う	せんせいにあう
5	世界中	せかいじゅう
6	鍋が食べたい	なべがたべたい
7	新聞を畳む	しんぶんをたたむ
8	年賀はがき	ねんがはがき
9	ウェブサービス	うぇぶさーびす
10	ライブに行った	らいぶにいった
11	甘い果物	あまいくだもの
12	孤独な旅人	こどくなたびびと
13	フロントエンド	ふろんとえんど
14	プレゼントを買う	ぶれぜんとをかう
15	夜の散歩	よるのさんぽ
16	時代は回る	じだいはまわる
17	暗い所	くらいところ
18	海浜幕張	かいひんまくはり
19	明るい未来	あかるいみらい
20	生クリーム	なまくりーむ
21	別れの季節	わかれのきせつ
22	メリーゴーランド	めりーごーらんど
23	好きな言葉	すきなことば
24	素敵な出会い	すてきなであい

表 A.16: 実験 2：課題文セット 2

番号	例文	入力対象のかな文字
1	陰りゆく部屋	かげりゆくへや
2	昔の思い出	むかしのおもいで
3	美味しい料理	おいしいうりょうり
4	奨学金	しょうがくきん
5	新しい春	あたらしいはる
6	ハンバーガー屋	はんばーがーや
7	涼しい日陰	すずしいひかげ
8	大晦日の夜	おおみそかのよる
9	工場夜景	こうじょうやけい
10	美味しいラーメン	おいしいうーめん
11	満天の星	まんてんのほし
12	筆記試験	ひっきしけん
13	星の輝き	ほしのかがやき
14	学園祭	がくえんさい
15	海で泳ぐ	うみでおよぐ
16	空を見上げる	そらをみあげる
17	クリアファイル	くりあふぁいる
18	静かな場所	しずかなばしょ
19	ボードゲーム	ぼーどげーむ
20	お昼は外で	おひるはそとで
21	仕事終わり	しごとおわり
22	冬は苦手だ	ふゆはにがてだ
23	野菜を育てる	やさいをそだてる
24	夏の終わり	なつのおわり

表 A.17: 実験 2：課題文セット 3

番号	例文	入力対象のかな文字
1	小さな世界	ちいさなせかい
2	夜の首都高	よるのしゅとこう
3	早寝早起き	はやねはやおき
4	新しい靴	あたらしいくつ
5	イルミネーション	いるみねーしょん
6	国語辞典	こくごじてん
7	日曜大工	にちようだいく
8	映画を見る	えいがをみる
9	新幹線	しんかんせん
10	景色が綺麗	けしきがきれい
11	ピアノを奏でる	ぴあのをかなでる
12	パラグライダー	ぱらぐらいだー
13	お家でまったり	おうちでまったり
14	マイナンバー	まいなんばー
15	温泉旅行	おんせんりょこう
16	クリスマスイブ	くりすますいぶ
17	同窓会	どうそうかい
18	友達になる	ともだちになる
19	読書の秋	どくしょのあき
20	卒論を書く	そつろんをかく
21	蛍の光	ほたるのひかり
22	自然言語	しぜんげんご
23	お便りを書く	おたよりをかく
24	食欲の秋	しょくよくのあき

表 A.18: 実験 2：課題文セット 4

番号	例文	入力対象のかな文字
1	昨日の残り	きのうののこり
2	不満をつぶやく	ふまんをつぶやく
3	思い出の日	おもいでの日
4	希望の轍	きぼうのわだち
5	まちかどの春	まちかどのはる
6	研究室	けんきゅうしつ
7	手紙を送る	てがみをおくる
8	旅行先	りょこうさき
9	講義を受ける	こうぎをうける
10	挨拶する	あいさつする
11	筑波大学	つくばだいがく
12	柔らかな風	やわらかなかぜ
13	プログラミング	ぶろぐらみんぐ
14	リフレッシュする	りふれっしゅする
15	大学院	だいがくいん
16	夕日を眺める	ゆうひをながめる
17	雪の苗場	ゆきのなえば
18	猫に癒される	ねこにいやされる
19	歩き続ける	あるきつづける
20	雨の日にパズル	あめのひにぱずる
21	美しい花	うつくしいはな
22	今宵の月	こよいのつき
23	新しい雑誌	あたらしいざっし
24	季節は巡る	きせつはめぐる

表 A.19: 実験 2 : 課題文セット 5

番号	例文	入力対象のかな文字
1	京葉線	けいようせん
2	都道府県	とどうふけん
3	漫画を読む	まんがをよむ
4	七夕飾り	たなばたかざり
5	花火大会	はなびたいかい
6	感想を書く	かんそうをかく
7	金木犀	きんもくせい
8	永遠の平和	えいえんのへいわ
9	ふわふわの雲	ふわふわのくも
10	風に吹かれて	かぜにふかれて
11	大学生活	だいがくせいかつ
12	京都の寺院	きょうとのじいん
13	桜が舞う	さくらがまう
14	変化に戸惑う	へんかにとまどう
15	明日への記憶	あすへのきおく
16	外で飲むビール	そとでのむびーる
17	ビルドを通す	びるどをとおす
18	郷土料理	きょうどりょうり
19	ホットコーヒー	ほっとこーひー
20	海のほとり	うみのほとり
21	美味しいお茶	おいしいおちゃ
22	インターネット	いんたーねっと
23	国際会議	こくさいかいぎ
24	りんごジュース	りんごじゅーす

表 A.20: 実験 2：課題文セット 6

番号	例文	入力対象のかな文字
1	簡易書留	かんいかきとめ
2	幻を見る	まぼろしをみる
3	四月の風	しがつのかぜ
4	春の嵐	はるのあらし
5	塗り絵が得意だ	ぬりえがとくいだ
6	写真撮影	しゃしんさつえい
7	美味しいご飯	おいしいごはん
8	長年の夢	ながねんのゆめ
9	車窓を見る	しゃそうをみる
10	花見が楽しみ	はなみがたのしみ
11	写真を撮る	しゃしんをとる
12	ドキュメント	どきゅめんと
13	みなとみらい	みなとみらい
14	猫と遊ぶ	ねことあそぶ
15	温かな陽射し	あたたかなひざし
16	春はあけぼの	はるはあけぼの
17	自転車に乗る	じてんしゃにのる
18	現地開催	げんちかいさい
19	羽田空港	はねだくうこう
20	光の中	ひかりのなか
21	インタラクション	いんたらくしょん
22	カラオケに行く	からおけにいく
23	悲しみの果て	かなしみのはて
24	春の訪れ	はるのおとずれ

付 録 **B** 実験 **1** にて使用したアンケート

第 4 章にて述べた実験 1 にて使用した，アンケートフォームおよび用紙を以下に示す．

実験前アンケート

wada@iplab.cs.tsukuba.ac.jp [アカウントを切り替える](#)

 共有なし



* 必須の質問です

ユーザ ID *

回答を入力

年齢 *

回答を入力

性別 *

☐ 男性

☐ 女性

☐ 回答しない

所属 *

☐ 筑波大学大学院システム情報工学研究群

☐ 筑波大学情報学群



図 B.1: 実験前アンケートに使用したアンケートフォーム (1/3)

普段、時計を装着しない手はどちらですか。 *

☐ 左手

☐ 右手

スマートフォンの利用年数は何年程度ですか。 *

回答を入力

スマートフォンの利用頻度はどの程度ですか。 *

☐ 毎日

☐ 週に何日か

☐ 月に何日か

スマートウォッチの利用年数は何年程度ですか。 利用経験がなければ「なし」と *
記入してください。

回答を入力

スマートウォッチの利用頻度はどの程度ですか。 *

☐ 毎日

☐ 週に何日か

☐ 月に何日か

☐ 利用したことはない





図 B.2: 実験前アンケートに使用したアンケートフォーム (2/3)

スマートフォンにて日常的に利用する日本語入力手法はどれですか。 *

☐ フリック入力

☐ QWERTY キーボード

☐ その他:

スマートウォッチにて日常的に利用する文字入力手法はどれですか。 *

☐ フリック入力

☐ QWERTY キーボード

☐ スマートウォッチにて文字入力を行わない

☐ スマートウォッチの利用経験がない

☐ その他:

フリック入力を行う際、キーボードをどの程度見て文字入力を行いますか。 *

☐ ほぼキーボードを見ずに文字入力を行う

☐ 時々キーボードを見ながら、文字入力を行う

☐ 常にキーボードを見ながらでないと、操作することは難しい

フリック入力のキー配列を覚えていますか。 *

☐ キーの配列を暗記している

☐ キーの配列を大体覚えている

☐ キーの配列はそこまで覚えていない

☐ キーの配列は覚えていない





図 B.3: 実験前アンケートに使用したアンケートフォーム (3/3)

手法アンケート

wada@iplab.cs.tsukuba.ac.jp [アカウントを切り替える](#)

 共有なし

* 必須の質問です

ユーザID *

回答を入力

次へ

フォームをクリア

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。

Does this form look suspicious? [レポート](#)

Google フォーム



図 B.4: 手法アンケートに使用したアンケートフォーム (1/5)

手法アンケート

wada@iplab.cs.tsukuba.ac.jp [アカウントを切り替える](#)

 共有なし

* 必須の質問です

SUS

利用した入力手法についてお聞きます。以下の質問に関して、あてはまるものを選んでください。

この入力手法をしばしば使いたいと思う。 *

12345

全くその通りでない○ ○ ○ ○ ○全くその通りだ

この入力手法は不必要なほど複雑であると感じた。 *

12345

全くその通りでない○ ○ ○ ○ ○全くその通りだ

この入力手法は容易に使えと思った。 *

12345

全くその通りでない○ ○ ○ ○ ○全くその通りだ





図 B.5: 手法アンケートに使用したアンケートフォーム (2/5)

この入力手法を使うのに技術専門家のサポートを必要とするかもしれない. *

1

2

3

4

5

全くその通りでない

☐

☐

☐

☐

☐

全くその通りだ

この入力手法では、さまざまな機能がよくまとまっていると感じた. *

1

2

3

4

5

全くその通りでない

☐

☐

☐

☐

☐

全くその通りだ

この入力手法では、一貫性の無いところが多くあったと感じた. *

1

2

3

4

5

全くその通りでない

☐

☐

☐

☐

☐

全くその通りだ

たいていのユーザは、この入力手法の使い方を素早く学べるだろうと思った. *

1

2

3

4

5

全くその通りでない

☐

☐

☐

☐

☐

全くその通りだ

この入力手法はとても扱いにくいと思った. *

1

2

3

4

5

全くその通りでない

☐

☐

☐

☐

☐

全くその通りだ




図 B.6: 手法アンケートに使用したアンケートフォーム (3/5)

この入力手法を使うのに、自分は自信があると感じた。 *

1

2

3

4

5

全くその通りでない

☐

☐

☐

☐

☐

全くその通りだ

この入力手法を使い始める前に多くのことを学ぶ必要があると感じた。 *

1

2

3

4

5

全くその通りでない

☐

☐

☐

☐

☐

全くその通りだ

戻る

次へ

フォームをクリア

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。

Does this form look suspicious? [レポート](#)

Google フォーム





図 B.7: 手法アンケートに使用したアンケートフォーム (4/5)

73

手法アンケート

wada@iplab.cs.tsukuba.ac.jp [アカウントを切り替える](#)

 共有なし

自由記述

この入力手法に関して、良かった点があれば記述してください。

回答を入力

この入力手法に関して、不満点や改善点があれば記述してください。

回答を入力

その他、意見や感想があれば自由に記述してください。

回答を入力

戻る

送信

フォームをクリア

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。

Does this form look suspicious? [レポート](#)

Google フォーム



図 B.8: 手法アンケートに使用したアンケートフォーム (5/5)

74

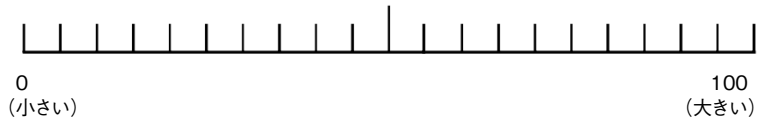
NASA-TLX (indirect-slide)

実施日 年 月 日

当てはまる度合いのラインに印を付けてください

ユーザID

知的・知覚的要求 ～ どの程度の知的・知覚的活動が必要な手法でしたか？



身体的要求 ～ どの程度の身体的活動を必要とする手法でしたか？



タイムプレッシャー ～ 作業のペースはどの程度急かされましたか？



作業達成度 ～ 求められたタスクに対してどの程度成功しましたか？



努力 ～ タスクを達成するためにどの程度の努力が必要でしたか？



フラストレーション ～ 手法に対してストレスをどの程度感じましたか？

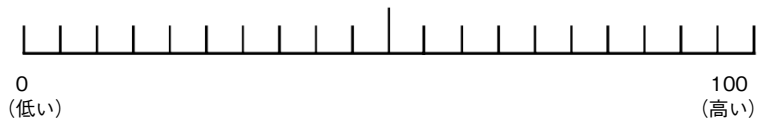


図 B.9: NASA-TLX の評価に使用したアンケート用紙。本用紙は indirect-slide 条件用であるが、条件に関わらず設問内容は同一である。

実験後アンケート

wada@iplab.cs.tsukuba.ac.jp
[アカウントを切り替える](#)

共有なし

* 必須の質問です

ユーザID *

回答を入力

直接タッチ条件において、好ましい入力手法を順に選択してください。 *

	フリック手法	スライド手法
1 番目	☐	☐
2 番目	☐	☐

この順番にした理由があれば、記述してください。

回答を入力

図 B.10: 実験後アンケートに使用したアンケートフォーム（1/2）

間接タッチ条件において、好ましい入力手法を順に選択してください。 *

	フリック手法	スライド手法
1 番目	☐	☐
2 番目	☐	☐

この順番にした理由があれば、記述してください。

回答を入力

今回の実験全体で感じた点（良かった点、不満点、改善点）があれば記述してください。

回答を入力

その他、意見や感想があれば自由に記述してください。

回答を入力

送信 [フォームをクリア](#)

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。
Does this form look suspicious? [レポート](#)

Google フォーム




図 B.11: 実験後アンケートに使用したアンケートフォーム（2/2）