

VR 向け仮想キーボードの位置および角度が 入力性能および作業負荷に与える影響の調査 (第2報)

富永 浩暉^{*1} 高倉 礼^{*1} 志築 文太郎^{*2}

Investigating the Effects of Virtual Keyboard Position and Angle
on Text Entry Performance and Workload (Part 2)

Koki Tominaga^{*1}, Rei Takakura^{*1}, and Buntarou Shizuki^{*2}

Abstract – The virtual keyboard in the VR space is characterized by the user can place the keyboard at any position and angle in the air. The user's posture changes as the position and angle of the virtual keyboard change. In our previous paper, we conducted an experiment to investigate the effects of the position and angle of the virtual keyboard on text entry. We found that the position of the virtual keyboard affected the workload by analyzing the experimental data for each participant in the experiment. In this paper, we analyzed the experimental data for each entry phrase. The results show that the entry speed and usability may be improved by tilting the keyboard toward the back from the user's point of view. Furthermore, since the fatigue of the arms was larger than the fatigue of the neck, the fatigue could be lowered by designing VR applications so as to place the user's fingers at a lower position than the user's eye level.

Keywords : Virtual Reality, User Interface, Text Entry, Head Mounted Display

1. はじめに

Virtual Reality (以降, VR) 空間における文字入力では, 主に仮想キーボードが用いられる. この VR 空間における仮想キーボードには, 仮想キーボードの位置および角度 (以降, 姿勢) を自由に設定できるという特徴がある. この仮想キーボードの姿勢は仮想キーボードの入力性能およびユーザの身体的作業負荷の両者に影響を与えられとされる. 特に, 指から放出されたレイを用いた文字入力手法^[1,2] に比べ, 空中タップを用いた文字入力手法^[3-6] では, ユーザが自身の指を用いて仮想キーボードに触れる必要がある. そのため, 仮想キーボードの姿勢に依って, ユーザの姿勢が異なる. ユーザの姿勢が異なれば, 両者も異なる可能性がある. また, 空中タップを用いた文字入力手法では, キーボードを操作する際にユーザが腕を上げる必要があるため, ゴリラアーム現象^[7] が生じる. このゴリラアーム現象の度合いも仮想キーボードの姿勢に依って異なると考えられる. なお, これまでにも, ユーザの視線より下方向の仮想キーボードを操作する際に, Head-Mounted Display (以降, HMD) および自身の

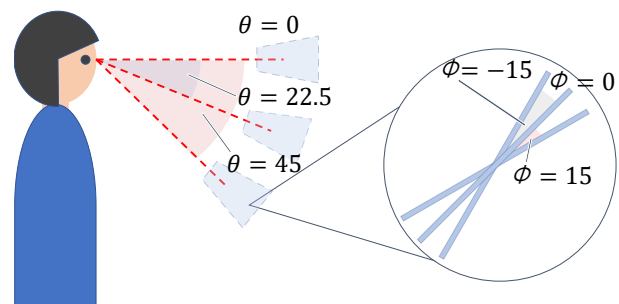


図1 仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ .
Fig.1 The declination angle θ and posture angle ϕ of the virtual keyboard.

頭部の自重によってユーザの首に疲労が生じることが報告されている^[8]. すなわち, 仮想キーボードの姿勢がユーザの身体に疲労を生じさせていると言える.

我々はこれまでに, これらの影響を調査するため, 空中タップにより操作される仮想キーボードを対象とし, 仮想キーボードの位置 (偏角 θ) および角度 (姿勢角 ϕ) の変化に伴う入力性能および作業負荷の比較実験を行った. 比較実験における仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ を図1に示す. 図1において, 偏角 θ は実験参加者の視線の高さを0度と定義し, 姿勢角 ϕ は実験参加者の視線に垂直な方向を0度と定義した. 比較実験の結果, 仮想キーボードの位置が作業負荷に影響を与えることが分かった^[8].

今回, 我々は, さらに上記の実験データを詳細に調

^{*1}: 筑波大学大学院 理工情報生命学術院 システム情報工学研究群 情報理工学位プログラム

^{*2}: 筑波大学 システム情報系

^{*1}: Graduate School of Science and Technology, Degree Programs in Systems and Information Engineering, Master's Program in Computer Science, University of Tsukuba

^{*2}: Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

べるために入力フレーズごとに解析を行った。その結果、仮想キーボードの位置および角度がユーザビリティおよび文字入力速度に影響を与えることが示された。本報では、その実験の結果および考察を述べる。

2. 関連研究

VR 向け仮想キーボードの文字入力性能および作業負荷を調査する研究、および生体工学に基づいたユーザインタフェース設計を調査する研究が多く行われている。本節では、それらの研究を述べた後、本研究との位置づけを述べる。

2.1 仮想キーボードの文字入力性能および作業負荷の調査

空中タップを用いた仮想キーボードによる文字入力性能および作業負荷の調査はこれまでも行われている [9-13]。

Speicher ら [9] は、コントローラを用いた文字入力手法および空中タップを用いた文字入力手法の作業負荷および入力性能を比較した。その結果、空中タップを用いた文字入力手法の作業負荷が大きく、かつ入力性能が低いことが示された。一方、Markussen ら [13] の調査では、ユーザはコントローラを用いた文字入力手法よりも空中タップによる文字入力手法を好むことが示された。

これらの研究では、仮想キーボードの姿勢を固定して実験しており、仮想キーボードの姿勢が文字入力に与える影響が調査されていない。腕を持ち上げる動作は腕への負担となるため、仮想キーボードの配置がユーザの文字入力性能および作業負荷へ影響を与えると考えられる。これを踏まえ、我々は VR 向け仮想キーボードの位置および角度条件を変化させて比較実験を行い、仮想キーボードの姿勢が文字入力に与える影響を調査した。

2.2 生体工学に基づいたユーザインタフェース設計の調査

生体工学の観点からユーザインタフェース設計を行うために、最適な入力位置および角度が調査されている [14,15]。

Simoneau ら [14] は、物理キーボードの設置角度の変化に伴う入力性能および作業負荷を調査した。その結果、Simoneau らは、キーボードの角度が入力性能に影響を与えないこと、肘より高い位置にキーボードを配置することによりユーザの不快感が高まること、およびキーボードの角度を -7.5 度から -15 度の範囲に設置することにより手首への負荷が軽減できることを示した。この研究では物理キーボードの設置角度を変化させた実験が行われているが、VR 向け仮想キーボードについての検証は行われていない。そのため、



図 2 前面に LeapMotion を取り付けた HTC VIVE.

Fig. 2 HTC VIVE with LeapMotion attached to the front.

我々は仮想キーボードの角度を変化させた場合の文字入力に与える影響を調査した。

Bachynskyi ら [15] は、VR 向けアプリケーションにて行う空中タップの位置に応じた、ユーザの筋肉の活性化部位を調査した。この結果から Bachynskyi らは、VR 空間における UI 設計の指針をいくつか述べており、特に仮想キーボード設置場所について、ユーザの目線より低い位置に設置することが腕の筋肉への負担が小さいため好ましいと述べている。

これらの研究ではユーザが HMD を装着した場合が想定されていない。HMD は 500 g 以上あり、装着時におけるユーザの首の疲労への影響は無視できない。したがって我々は、ユーザが HMD を装着した場合における、仮想キーボードを用いた文字入力性能および作業負荷を調査した。

3. 予備実験

HMD を装着した状態かつ仮想キーボードの偏角 θ が大きな条件において継続して文字入力を行うことにより、ユーザの首へ HMD および頭部の自重による大きな負荷がかかると考えられる。そこで我々は、安全に実験を行える仮想キーボードの偏角 θ の範囲を決めるために予備実験を行った。

予備実験では、著者を含めた 24 歳の大学院生 2 名を実験参加者とした。

3.1 実験環境および手順

予備実験において用いた HMD は HTC VIVE であり、コンピュータには ALIENWARE m15 (Intel® Core™ i7-8750H, 16 GB RAM, NVIDIA® GeForce® GTX 1060, Windows 10) を用いた。空中タップを検出するための機器には Leap Motion を使用した。Leap Motion は、図 2 のように HMD の前面に装着し

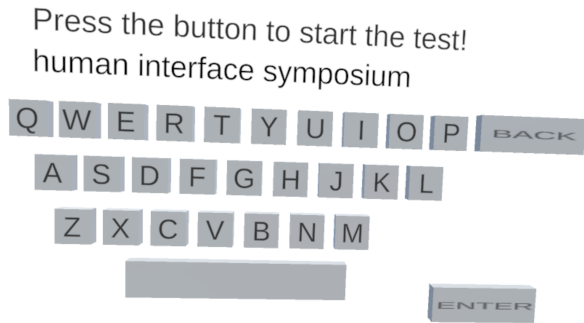


図3 予備実験にて用いた VR 向け仮想キーボード。

Fig.3 The Virtual keyboard for VR used in the user study.

た。赤外線による Leap Motion の外乱の影響を防ぐために直射日光が当たらない環境にて実験を行った。また、Unity の環境において C# を用いて実験用アプリケーションを実装した。

実験参加者は、仮想キーボードの偏角 θ が異なる条件において、空中タップを用いた英文入力を行った。先行研究にて空中タップによる QWERTY 配列の仮想キーボードへの文字入力では、両手の人差し指のみを用いた場合の入力性能が最も高いと報告されている^[10,11]。そのため、本予備実験の参加者は両手の人差し指のみを用いて空中タップを行うように指示された。

仮想キーボードのキーの形状は、縦 3.75 cm、横 3.75 cm、奥行き 1.25 cm の直方体とした (図 3)。また、キー同士の幅を 0.5 cm、キーの縦横方向の当たり判定を 4.125 cm、およびキーの奥行き方向の当たり判定を 6.25 cm とした。なお、キーを正面からタップした場合のみ文字入力が行われるようにした。また、仮想キーボードは実験参加者が腕を伸ばした位置に表示した。実験参加者は、直立した状態において偏角 θ が 0 度、30 度、45 度、60 度、75 度、および 90 度の 6 条件のキーボードに対して 10 フレーズの英文を入力した。入力する英文には、MacKenzie らの英文セット^[16]を用いた。MacKenzie らの英文セットとは、英語および本英文セットの文字出現頻度が近いこと、英文が長すぎないこと、および英文が覚えやすいことを考慮した 500 の英文からなる英文セットである。なお、実験参加者の立ち位置を固定し、かつ仮想キーボードの位置座標をワールド座標系にて固定することにより偏角 θ を一定に保った。各条件において英文入力終了後に、実験参加者は自身の疲労が実験を遂行するために適切な範囲であるか口頭にて回答した。なお、実験参加者は、実験中に腕および首に許容できないほど大きな疲労が生じた場合には、実験を中断するように指示

された。

3.2 結果

予備実験において、偏角 θ が 60 度の条件にて実験参加者 1 名が、偏角 θ が 75 度および 90 度の条件にて全ての実験参加者が首に大きな疲労を訴え実験を中断した。実験終了後、全ての実験参加者は偏角 θ が 60 度、75 度、および 90 度の 3 条件において、身体への疲労が許容できないほど大きいと回答した。また、全ての実験参加者は、偏角 θ が 0 度、30 度、および 45 度の 3 条件は実験を継続して遂行できる程度の疲労であったと回答した。以上の結果より、実験参加者が安全に実験を行える仮想キーボードの偏角 θ の範囲を 0 度から 45 度とした。

4. 実験

VR 向け仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ が入力性能および作業負荷に与える影響を調査するための実験を行った。

4.1 実験参加者

18 歳–26 歳の大学生もしくは大学院生 18 名 (うち女性 4 名、左利き 3 名、平均 21.5 歳、標準偏差 1.98 歳) を実験参加者とした。実験参加者 18 名の内、7 名が眼鏡、5 名がコンタクトレンズを装着して実験に参加した。また、残りの 6 名は裸眼にて実験に参加した。実験参加者のうち、1 名は日常的に VR 向け HMD を使用しており、10 名は過去に HMD を使用した経験があり、7 名は HMD を使用した経験が一度もなかった。実験の所要時間は 1 人当たり 2 時間であった。実験参加者は実験後に謝礼として 1720 円を受け取った。

4.2 実験内容

実験参加者は、仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ が異なる条件 (図 1) において、両手の人差し指を用いた空中タップによる英文入力を行った。なお、実験環境および仮想キーボードの実装は予備実験と同様とした。実験参加者は、出来る限り早く正確に英文入力を行うように指示された。実験開始前に、我々は、実験参加者の腕の長さを計測することにより、実験参加者が腕を伸ばした位置に仮想キーボードを表示した。また、実験参加者は、仮想キーボードの操作に慣れるための練習セッションを約 2 分間行った。実験では、偏角 θ を 0 度、22.5 度、および 45 度の 3 条件、姿勢角 ϕ を 0 度および ± 15 度の 3 条件とした。偏角 θ の 3 条件は、予備実験の結果から得られた実験参加者が安全に実験を行える偏角 θ の範囲である 0 度から 45 度の範囲から定めた。姿勢角 ϕ の 3 条件は、物理キーボードを用いた先行研究に倣って決定した^[14] (図 4)。実験参加者は、これらを組み合わせた 9 条件において、各条件ごとに 10 フレーズの英文を入力した。入力される



図4 姿勢角 ϕ が0度および ± 15 度の3条件における仮想キーボード。左：-15度。中央：0度。右：15度。

Fig.4 The Virtual keyboards in three conditions with posture angle ϕ of 0° and $\pm 15^\circ$. Left: -15° . Center: 0° . Right: 15° .

英文には、予備実験と同様に MacKenzie らの英文セット^[16]を用いた。参加者毎の条件の出現順はラテン方格にて決定し、実験タスクにおける実験参加者間の順序効果を除いた。なお、実験参加者の立ち位置を固定し、かつ仮想キーボードの位置座標をワールド座標系にて固定することにより偏角 θ を一定に保った。実験参加者は各条件の終了時に疲労評価（入力時に感じた疲労の10段階評価および疲労部位）、NASA-TLX^[17]、および SUS^[18] スコアを計測するためのアンケート、ならびに自由記述にて感想を回答した。

4.3 結果

入力性能の評価指標には Words Per Minute^[19] (WPM)、Minimum String Distance Error Rate^[20] (MSD エラー率)、KeyStrokes Per Character^[20] (KSPC) を用いた。WPM とは、文字入力の速度に関する指標であり、WPM が大きいほど入力速度が大きいことを表す。MSD エラー率は提示された英文と入力された英文がどの程度異なっているかを示しており、MSD エラー率が大きいほど誤タイプが多いことを表す。KSPC は余剰にタイプした度合いを示しており、誤タイプが無いときの KSPC は1であり、誤タイプするほどに値は大きくなる。

以降に、NASA-TLX より得られた加重ワークロード (WWL: Weighted WorkLoad)、SUS スコア、WPM、MSD エラー率、および KSPC を統計解析した結果、ならびに疲労評価および主な疲労部位を示す。WWL および SUS スコアの解析にはユーザ単位のデータを用い、WPM、MSD エラー率、および KSPC の解析には英文単位のデータを用いた。まず、主効果を調べるために偏角 θ および姿勢角 ϕ を因子としたフリードマン検定を行った。事後検定にはボンフェローニ補正をしたウィルコクソンの符号順位検定を用いた。また、有意水準は0.05とした。

4.3.1 入力性能

各偏角 θ および各姿勢角 ϕ の WPM ($M=19.3$, $SD=3.72$) を図5左に示す。フリードマン検定の結果、WPM に対して偏角 θ ($p = 8.87 \times 10^{-3} < 0.05$) および姿勢角 ϕ ($p = 1.38 \times 10^{-7} < 0.05$) の主効果

が検出された。事後検定の結果、偏角 θ が0度と22.5度との間 ($p = 0.02 < 0.05$) および22.5度と45度との間 ($p = 0.02 < 0.05$) に有意差が検出された。この結果より、偏角 θ が WPM に影響を与えることおよび偏角 θ が22.5度の時に最も入力速度が大きいことが分かった。また、姿勢角 ϕ が-15度と0度との間 ($p = 9.90 \times 10^{-4} < 0.05$)、-15度と15度との間 ($p = 1.10 \times 10^{-9} < 0.05$)、および0度と15度との間 ($p = 3.20 \times 10^{-2} < 0.05$) の全ての組み合わせに有意差が検出された。この結果より、姿勢角 ϕ が15度の条件において最も入力速度が大きく、次いで姿勢角 ϕ が0度、-15度と入力速度が小さくなることが分かった。

各偏角 θ および各姿勢角 ϕ の MSD エラー率 ($M=0.77$, $SD=0.73$) においてフリードマン検定を行った結果、MSD エラー率に対して偏角 θ ($p = 0.80 > 0.05$) および姿勢角 ϕ ($p = 0.88 > 0.05$) の主効果は検出されなかった。この結果より、偏角 θ および姿勢角 ϕ は MSD エラー率に大きな影響を与えないことが分かった。

各偏角 θ および各姿勢角 ϕ の KSPC ($M=1.17$, $SD=0.09$) においてフリードマン検定を行った結果、KSPC に対して姿勢角 ϕ ($p = 0.02 < 0.05$) の主効果が検出された。ただし、偏角 θ ($p = 0.15 > 0.05$) の主効果は検出されなかった。事後検定の結果、KSPC に対して姿勢角 ϕ の有意差は検出されなかった。この結果より、偏角 θ および姿勢角 ϕ は KSPC に大きな影響を与えないことが分かった。

4.3.2 作業負荷およびユーザビリティ

各偏角 θ および各姿勢角 ϕ の WWL ($M=54.2$, $SD=13.3$) を図5中央に示す。フリードマン検定の結果、WWL に対して偏角 θ ($p = 3.38 \times 10^{-5} < 0.05$) の主効果が検出された。ただし、姿勢角 ϕ ($p = 0.25 > 0.05$) の主効果は検出されなかった。事後検定の結果、偏角 θ が0度と22.5度との間 ($p = 2.10 \times 10^{-4} < 0.05$) および0度と45度との間 ($p = 1.40 \times 10^{-4} < 0.05$) に有意差が検出された。この結果より、偏角 θ が WWL に影響を与えることおよび偏角 θ が0度の条件におい

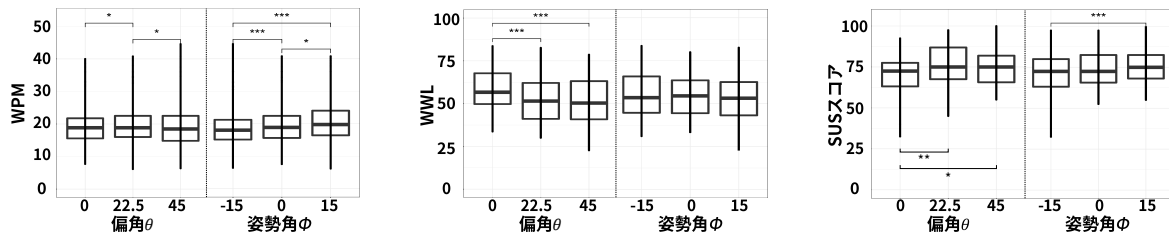


図5 各偏角 θ および各姿勢角 ϕ の WPM, WWL, および SUS スコア. 左: WPM, 中央: WWL, 右: SUS スコア

Fig. 5 The Words Per Minute (WPM), The Weighted WorkLoad (WWL), The System Usability Scale (SUS) score at a declination angle θ and a posture angle ϕ . Left: WPM. ; Center: WWL. ; Right: SUS score.

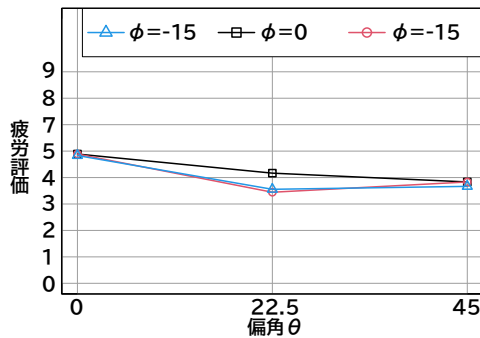


図6 偏角 θ および疲労の関係.

Fig. 6 The relationship between the declination angle θ and fatigue.

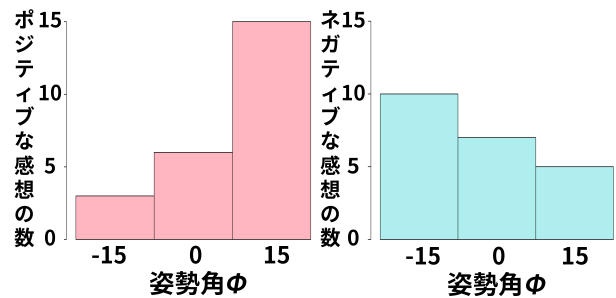


図8 各姿勢角 ϕ のポジティブな感想およびネガティブな感想の数.

Fig. 8 The relationship between the posture angle ϕ and fatigue.

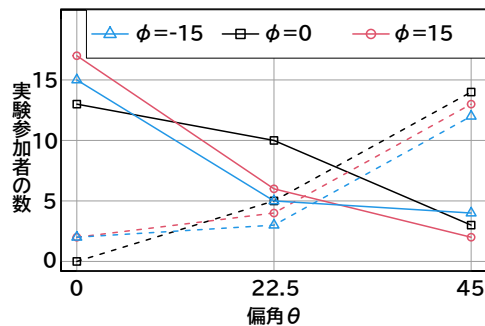


図7 偏角 θ および疲労部位の推移 (実線: 上腕, 点線: 首).

Fig. 7 The declination angle θ by the changes in fatigue points (solid line: upper arm; dotted line: neck).

て最も作業負荷が大きいことが分かった。

各偏角 θ および各姿勢角 ϕ の SUS スコア ($M=73.7$, $SD=12.2$) を図 5 右に示す。フリーマン検定の結果, SUS スコアに対して偏角 θ ($p = 3.05 \times 10^{-3} < 0.05$) および姿勢角 ϕ ($p = 1.99 \times 10^{-3} < 0.05$) の主効果が検出された。事後検定の結果, 偏角 θ が 0 度と 22.5 度との間 ($p = 3.40 \times 10^{-3} < 0.05$) および 0 度と 45 度との間 ($p = 0.02 < 0.05$) に有意差が検出された。この結果より, 偏角 θ が SUS スコアに影響を与えることおよび偏角 θ が 45 度の条件において最もユーザビ

リティが高いことが分かった。また, 姿勢角 ϕ が -15 度と 15 度との間 ($p = 2.30 \times 10^{-3} < 0.05$) に有意差が検出された。この結果より, 姿勢角 ϕ が -15 度の条件に比べて姿勢角 ϕ が 15 度の条件におけるユーザビリティが高いことが分かった。

4.3.3 アンケート結果

疲労評価アンケートの結果 ($M=4.11$, $SD=1.95$) を図 6 に示す。図 6 より, 偏角 θ が大きい時の疲労は, 偏角 θ が小さい時に比べて大きいことが分かる。各偏角 θ に対する腕および首の疲労を訴えた人数を図 7 に示す。実線が上腕, 点線が首の疲労を訴えた実験参加者の人数を表している。図 7 より, 偏角 θ が小さい時には腕の疲労が大きく, 偏角 θ が大きい時には首の疲労が大きいことが分かる。

実験にて各セッション毎に回答してもらったアンケートにおける自由記入の感想のうち, ポジティブな感想およびネガティブな感想を集計した結果を図 8 に示す。ポジティブな感想は, 「指を引き抜きやすい」, 「キーが押しやすい」, および「見やすい角度だった」等の感想であり, ネガティブな感想は, 「操作しづらい」, 「疲れる」, および「キーが押しにくい」等の感想であった。図 8 より, 仮想キーボードの姿勢角 ϕ が -15 度の条件においてポジティブな感想が最も少な

く、姿勢角 ϕ が 15 度の条件においてポジティブな感想が最も多いことが分かった。また、仮想キーボードの姿勢角 ϕ が -15 度の条件においてネガティブな感想が最も多く、姿勢角 ϕ が 15 度の条件においてネガティブな感想が最も少ないことが分かった。以上のアンケート結果より、実験参加者は仮想キーボードの姿勢角 ϕ が -15 度の条件において文字入力が不快であると感じ、姿勢角 ϕ が 15 度の条件において文字入力が快適であると感じていたことが分かった。

4.4 考察

実験より、VR 向け仮想キーボードの偏角 θ および姿勢角 ϕ が入力性能および作業負荷に影響を与えることが分かった。本節では実験結果に基づいた考察を述べる。

4.4.1 入力性能

偏角 θ が 22.5 度の条件において最も入力速度が大きいこと、および図 7 において姿勢角 ϕ が 0 度の条件を除き偏角 θ が 22.5 度の条件において疲労が最も小さいことから、仮想キーボードの配置が高過ぎるもしくは低過ぎると入力性能へ悪い影響があることが示唆される。加えて、姿勢角 ϕ が 15 度、0 度、-15 度の順に入力速度が大きいことから、VR 向け仮想キーボードをユーザから見て奥方向に傾けることにより入力速度が向上し、手前側に傾けることにより入力速度が低下することが分かった。以上より、仮想キーボードの偏角 θ が 22.5 度かつ姿勢角 ϕ を 15 度が、入力速度が大きくできるキーボードの姿勢であると考えられる。

一方、偏角 θ および姿勢角 ϕ が MSD エラー率および KSPC に大きな影響を与えなかったことが分かった。MSD エラー率および KSPC がともに小さいことから、ユーザは入力速度よりも入力精度を意識して文字入力を行ったと考えられる。これは QWERTY 配列のキーボードを人差し指のみで入力することが普段の物理キーボードにおける入力方法と異なることも一要因として考えられる。

4.4.2 作業負荷およびユーザビリティ

偏角 θ が 0 度の条件において首の疲労に比べて腕の疲労が大きい、かつ偏角 θ が 0 度の条件において最も作業負荷が大きいと実験参加者が述べていることから、実験参加者は首よりも腕の疲労が高い時により作業負荷を感じる傾向があると考えられる。よって、VR アプリケーションのデザインにおいて、ユーザの手指およびコントローラを用いてオブジェクトに触れる操作は、HMD および頭部の自重を考慮しても、Bachynskyi ら^[15]の報告と同様に、ユーザの目線より低い位置（本研究において偏角 θ が 22.5 度の位置）にて行うことが好ましいと考えられる。

姿勢角 ϕ が -15 度の条件に比べて姿勢角 ϕ が 15 度

の条件におけるユーザビリティが高いことから、VR 向け仮想キーボードをユーザから見て奥方向に傾けることは手前側に傾けるよりもユーザビリティに良い影響を与えることが示唆された。加えて、図 8 より、実験参加者は仮想キーボードの姿勢角 ϕ が -15 度の条件においてテキスト入力が不快であると感じ、姿勢角 ϕ が 15 度の条件においてテキスト入力が快適であると感じていたことが分かった。これらの結果から、仮想キーボードをユーザから見て奥方向に傾けることにより、物理キーボードの傾きに近づくため、ユーザビリティが向上したと考えられる。

5. まとめと今後の展望

本研究では、VR 向け仮想キーボードの姿勢がユーザの文字入力性能および作業負荷に与える影響を調査した。空中タップを用いた仮想キーボードを対象として、偏角 θ および姿勢角 ϕ の変化に伴う入力性能および作業負荷の比較実験を行った。その結果、偏角 θ および姿勢角 ϕ は入力速度に、偏角 θ は作業負荷に、および姿勢角 ϕ はユーザビリティに影響を与えることが分かった。

特に、仮想キーボードの配置が高過ぎるもしくは低過ぎると入力性能へ悪い影響があることが示唆された。このことから、先行研究同様にユーザの目線より低い位置（本研究において偏角 θ が 22.5 度の位置）にキーボードを設置することが好ましいと考えられる。また、姿勢角 ϕ が大きくなるにつれて入力速度が大きくなっていたこと、および姿勢角 ϕ が -15 度の条件に比べて姿勢角 ϕ が 15 度の条件におけるユーザビリティが高かったことから、VR 向け仮想キーボードをデザインする時には、ユーザから見て奥方向に傾けることにより入力速度およびユーザビリティが向上すると考えられる。

さらに、ユーザは首よりも腕の疲労が高い時により作業負荷を感じる傾向があることが示された。したがって、VR アプリケーションのデザインにおいて、仮想キーボードをユーザの目線より低い位置に設置することにより、作業負荷を抑えられると考えられる。

今後の研究では、姿勢角 ϕ の条件を細分化し、入力速度が最も大きい姿勢角 ϕ およびユーザビリティが最も高い姿勢角 ϕ を調査する。また、先行研究^[21,22]のように腕の疲労が小さな位置にて手の動きをトラッキングし、首の疲労が小さい目線の高さにハンドオブジェクトおよび仮想キーボードを表示して文字入力を行った際の入力性能および作業負荷を調査する。

参考文献

- [1] Schwind, V., Mayer, S., Comeau-Vermeersch, A., Schweigert, R., and Henze, N.: Up to the Finger

- Tip: The Effect of Avatars on Mid-Air Pointing Accuracy in Virtual Reality; In Proceedings of the 2018 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, CHI PLAY'18, ACM, pp. 477–488 (2018) .
- [2] Mayer, S., Schwind, V., Schweigert, R., and Henze, N.: The Effect of Offset Correction and Cursor on Mid-Air Pointing in Real and Virtual Environments; In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, No. 653, pp. 1–13 (2018) .
- [3] 福仲, 謝, 宮田: VR 環境におけるフリック入力形式インタフェースの開発. 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-HCI-182, No. 3, pp. 1–8 (2019).
- [4] 喜多, 小倉, Bista, B., 高田: LeapMotion を用いた VR 上での文字入力手法の検討; 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-HCI-181, No. 21, pp. 1–7 (2019).
- [5] 細野, 笹倉, 田邊, 川上: Leap Motion を用いたジェスチャ操作による文字入力方法の提案; 第 28 回全国大会論文集, 人工知能学会, pp. 1–4 (2014).
- [6] 大西, 渡辺: Leap motion を使用した文字入力方法の提案; コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学 (CG), Vol. 2016-CG-165, No. 8, pp. 1–4 (2016).
- [7] Boring, S., Jurmu, M., and Butz, A.: 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, OzCHI'09, ACM, pp. 161–168 (2009) .
- [8] 富永, 藤田, 志築: VR 向け仮想キーボードの位置および角度が入力性能および作業負荷に与える影響の調査; 第 83 回全国大会講演論文集, 情報処理学会, pp. 4:245–4:246 (2019).
- [9] Speicher, M., Feit, A. M., Ziegler, P., and Krüger, A.: Selection-Based Text Entry in Virtual Reality; In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'18, ACM, pp. 647:1–647:13 (2018).
- [10] Dudley, J. J., Benko, H., Wigdor, D., and Kristensson, P. O.: Performance Envelopes of Virtual Keyboard Text Input Strategies in Virtual Reality.; 2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2019, IEEE, pp. 289–300 (2019) .
- [11] Dudley, J. J., Gupta, A., Benko, H., and Kristensson, P. O.: Understanding, Detecting and Mitigating the Effects of Coactivations in Ten-Finger Mid-Air Typing in Virtual Reality; In Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'21, ACM, Article 287, pp. 1–11 (2021) .
- [12] Grubert, J., Witzani, L., Ofek, E., Pahud, M., Kranz, M., and Kristensson, P. O.: Text Entry in Immersive Head-Mounted Display-Based Virtual Reality Using Standard Keyboards; 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), IEEE, pp. 159–166 (2018) .
- [13] Markussen, A., Jakobsen, M. R., Hornbæk, K.: Selection-Based Mid-Air Text Entry on Large Displays; Human-Computer Interaction-INTERACT 2013, Lecture Notes in Computer Science, IFIP Conference on Human-Computer Interaction, Vol.8117, pp. 401–418 (2013) .
- [14] Simoneau, G. G., and Marklin, R. W.: Effect of Computer Keyboard Slope on Wrist Position and Forearm Electromyography of Typists Without Musculoskeletal Disorders; Physical Therapy, Vol.83, No.9, pp. 816–830 (2003) .
- [15] Bachynskyi, M., Palmas, G., Oulasvirta, A., and Weinkauff, T.: Informing the Design of Novel Input Methods with Muscle Coactivation Clustering; ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Interact. Vol.21, No.6, Article 30, pp. 1–25 (2015) .
- [16] MacKenzie, I. S., and Soukoreff, R. W.: Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques; In CHI'03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA'03, ACM, pp. 754–755 (2003) .
- [17] Hart, S. G., and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research; In Human Mental Workload, Advances in Psychology, Vol. 52. pp. 139–183 (1988) .
- [18] Brooke, J.: SUS : A Quick and Dirty Usability Scale; Usability Evaluation in Industry, pp. 189–194 (1996) .
- [19] Arif, A. S., and Stuerzlinger, W.: Analysis of Text Entry Performance Metrics; 2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity, TIC-STH, IEEE, pp. 100–105 (2009) .
- [20] Soukoreff, R. W., and MacKenzie, I. S.: Metrics for Text Entry Research: An Evaluation of MSD and KSPC, and a New Unified Error Metric; In SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'03, ACM, pp. 113–120 (2003) .
- [21] Feuchtnner, T., and Müller, J.: Ownership: Facilitating Overhead Interaction in Virtual Reality with an Ownership-Preserving Hand Space Shift; In Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '18, ACM, pp. 31–43 (2018) .
- [22] Brasier, E., Chapuis, O., Ferey, N., Vezien, J., and Appert, C.: ARPads: Mid-Air Indirect Input for Augmented Reality, 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR, IEEE, pp. 332–343 (2020) .