

LeapMotion を用いた VR 上での文字入力手法の検討

喜多修太郎^{†1} 小倉加奈代^{†1} Bista Bhed Bahadur^{†1} 高田 豊雄^{†1}

概要：現在の VR はコントローラを使用することが前提になっており、各種入力もコントローラを利用しているのが現状である。しかし、コントローラを使用することで、アプリケーションやツールで利用できる手指に制約が生じる。また、オンラインゲーム等、コンピュータを介したコミュニケーションではボイスチャットが便利であるが、見知らぬ人に対し、自分の音声を利用して会話することに抵抗を感じる層が一定数存在している。したがって、今後 VR 上でも文字入力の必要性が増加する可能性がある。本研究では、LeapMotion を用いた VR 上での文字入力手法を検討するため、VR 空間上に qwerty キーボードとフリックキーボードを実装し、入力速度、正確性、操作感に関する評価実験を行った。その結果、VR 空間上において空中入力を行う場合、qwerty キーボードの方が実用的な入力手法であることがわかった。

キーワード：LeapMotion, VR, 空中文字入力, qwerty キーボード, フリックキーボード

1. はじめに

2017 年の VR/AR に対する消費者の支出は 140 億ドルであったが、2018 年にはその規模は 270 億ドルにまで達すると予測されており、2021 年には 2000 億ドルを超すともいわれている[1]。このように今後さらなる成長が見込まれる VR 市場であるが、現在の VR 空間上での操作にはコントローラが必須である。そのため、文字入力を行う場合、VR 空間内でコントローラを使用する、もしくは、ヘッドセットとコントローラから手を放し、物理キーボードで入力する必要がある。しかしながら、LeapMotion[2]の登場により、VR 空間上に自分自身の手をトレースして表示することが可能になった。今後は、LeapMotion を利用し、VR コントローラを使用しない VR コンテンツが増加することが予想される。それに伴い、コントローラを使用しないフリーハンドでの文字入力手法を検討する必要がある。

また、オンラインゲーム等、コンピュータでのコミュニケーションではボイスチャットが便利であり、VR 空間上でもフリーハンド状況下で音声によるコミュニケーションが利用されている。しかし、KDDI による「日本人の音声操作に対する意識調査」[3]によると、人前で音声検索等の音声操作を利用することを恥ずかしいと考える回答者が全体の 7 割を超えている。この結果から考えると、見知らぬ人に対し、自分の音声を利用して会話することに抵抗がある層が一定数存在する可能性が高く、VR 上でも今後、文字入力の必要性が増していく可能性がある。そこで本研究では、コントローラを使用しないフリーハンドでの文字入力を実現するために、LeapMotion を利用した VR 上での日本語文字入力手法を検討する。

本章以降、2 章で、関連研究として LeapMotion を利用した文字入力手法を概観する。3 章では本研究で利用する文字入力手法について説明する。4 章では実装した入力手法

の基本性能、操作感を評価するための実験について説明し、その結果と考察、問題点を述べる。5 章では本稿のまとめと今後の課題である。

2. 関連研究

2.1 LeapMotion を用いた qwerty 配列の文字選択手法

安部[3]は、一般的なキーボードに用いられる qwerty 配列をもとにした仮想キーボードを実装し、ディスプレイの前に置いた LeapMotion で手を認識して入力を行う「10 本指キータップ入力手法」(図 1)と「一本指タイピング手法」を提案した。いずれも手法も画面上にキーボードと手の位置を赤い丸で表示し入力する。10 本指キータップ入力手法は、空中で指をタップするジェスチャーを行うことで、その指があるキーを入力することができる。一本指タイピング手法は、キー入力は指を下げることで丸枠が赤くなり、その指が含まれる手全体を下げることで入力することができる。

これら 2 つの手法の評価実験では、4 人の被験者が 2 回ずつ入力した。結果として、一本指タイピング手法は 1 回目、2 回目ともに 4 人全員が入力速度は 6.52WPM 以上であり、速い被験者では 8.78WPM という結果であった。正誤率では、3 人の被験者が 2 回入力したうち 1 回は 90%の精度で入力を行えた。しかし 10 本指キータップ手法では、2 回目に最も入力速度が速い被験者で 6.78WPM を出していたが、正誤率では 1 人の被験者を除き 90%を割る精度であった。本稿では、安部の研究を参考に、実験で使用する qwerty 配列キーボードを実装する。

^{†1} 岩手県立大学
Iwate Prefectural University.



図 110 本指キータップ入力手法に表示した QWERTY 配列のキーボードで F を押したとき [参考文献[3]の図 4.3 より転載]

2.2 LeapMotion を用いた仮名文字入力手法

山崎[4]は、母音と子音の組み合わせによる 50 音全てを入力可能とした手法を提案した。右手の甲を水平にした状態から、腕を軸にした角度で「あかさたな」の 5 つの子音を選択することができ、手の平の開閉を行うことで残りの「はまやらわ」を選択することができる。左手は各指に母音を割り当て、指を曲げた際に曲げた指に対応する文字枠の色が変化し、指を戻すことで入力を可能とした。例として、「け」を入力する時は右手で「か」を選択している時に、左手で「え」に対応する薬指を曲げて戻すことで入力することができる。

また、山崎は前述の提案手法と比較するために、空中ポインティング手法も実装した。空中ポインティング手法は、50 音全てを配置したキーボードある。入力は、片手の位置にカーソルを表示し、親指を曲げて戻すことで行う。

評価実験結果では、14 人の被験者が、それぞれのキーボードを使用し平仮名で構成された 4 単語と 1 文を入力した。その結果、入力時間の平均では、提案手法は 12.18 秒だったのに対し、空中ポインティング手法では 10.07 秒と提案手法より早い結果となった。また正誤率に関しても、提案した手法が 76.50%だったのに対し、空中ポインティング手法は 92.77%と提案手法を大きく上回る結果となった。

本稿では、山崎の研究を参考に、4 単語と 1 文を評価実験で使用する。

3. LeapMotion を用いた VR 上の文字入力手法

3.1 概要

本論文では、LeapMotion により VR 空間上に自分自身の手を表示できる点を活用し、既存の qwerty 配列キーボード（以下 qwerty キーボード）とフリックキーボードをもとに実験で使用される入力システムを実装する。qwerty キーボードについては、2.1 節で説明した安部[3]の手法を参考に実装する。フリックキーボードについては、スマートフォンで日本語入力時に日常的に使用されているフリックキーボードを実装する。なお、今回は、LeapMotion によるフリー

ハンド状況下の文字入力の可能性を調べるため、どちらのキーボードにもキーの変化や音といったフィードバックは実装しない。

3.2 実装の準備

実装には以下の機器を使用する。なお、実装に使用する PC は、Windows10 でグラフィックボード(Nvidia Geforce GTX 1080)を搭載したものである。

- LeapMotion
- OculusRift
- UnrealEngine4

3.2.1 LeapMotion

2012 年に LeapMotion 社から販売された手のジェスチャーによって入力が可能な機器（図 2）の名称である。

2 基の赤外線カメラと赤外線照射 LED を搭載し、3D 撮影された画像を解析することによって両手と 10 本の指の動きを独立して認識することができる。

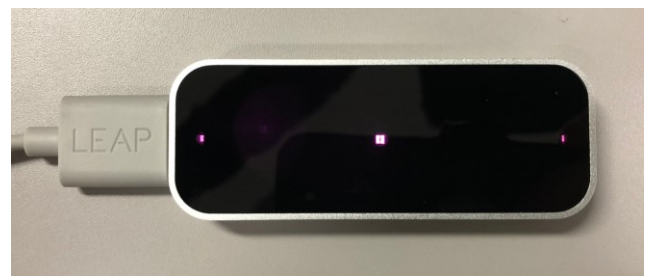


図 2 LeapMotion の概観

3.2.2 OculusRift

OculusRift[5]（図 3）とは Oculus 社より提供されている VR 向けヘッドマウントディスプレイのことである。

本研究では、OculusRift の前面に LeapMotion を取り付け使用する。



図 3 LeapMotion を前面に取り付けた時の外見

3.2.3 UnrealEngine 4

UnrealEngine 4[6]とは Epic Game 社によって開発されたゲームエンジンである。

提案手法を開発する上で、VR 空間上への手の表示 (図 4) をするため、UnrealEngine 4 向けに提供されている LeapMotion Plugin を使用する。

また、開発には UnrealEngine4 のバージョンは 4.19.2 を使用する。

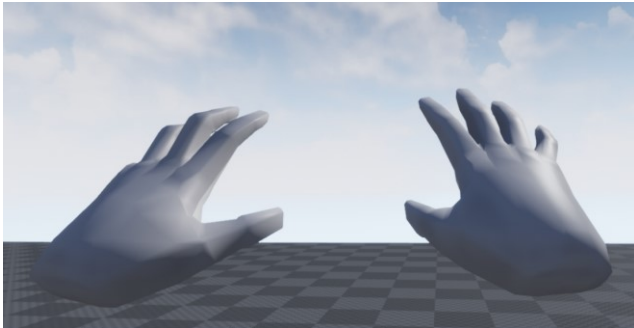


図 4 VR 空間上に手を表示した様子

3.3 VR 空間上の qwerty キーボード

VR 空間上に物理キーボードとして採用されている qwerty キーボードを実装する (図 5)。



図 5 VR 空間上に設置した qwerty キーボード

実装後、正確性および操作感を確認した。その結果、ゴーグルの前に手をかざした際に人体の構造上、手を斜めに傾けるため、OculusRift に取り付けられた LeapMotion に対して水平に保つと負担がかなり大きくなり、キーボードへの誤入力が増えることがわかった。これらを改善するため、キーボードのサイズを大きくしたところ、ある程度誤入力は減ったものの使用感に問題があることがわかった。そこで、安部[3]の一本指タイピング手法を参考に一本指での入力を取り入れたところ、入力がスムーズに行えるようになった。そのため、qwerty キーボードを用いた安部の手法を参考に、両手の人差し指による一本指タイピング入力手法を採用した。また、キーボードの最終的なサイズは横 53 cm 縦 18 cm、キーサイズは 3.9 mm とし、誤入力を防ぐため、キー同士の間を 1 cm 空けた。

3.4 VR 空間上におけるフリックキーボード

スマートフォンで日本語入力時に日常的に使用されているフリックキーボードを VR 空間上に実装する (図 6)。

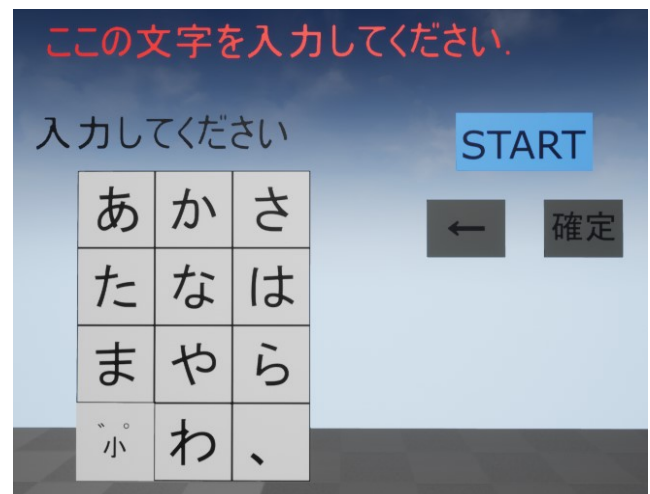


図 6 VR 空間上に設置したフリックキーボード

qwerty キーボードと同様に、実装後、正確性および操作感を確認した。その結果、手の傾きによる負担の増加はなかったものの、キーサイズが小さいために誤入力が頻発した。そこで、キーボードのサイズを大きくし、横 22 cm 縦 22 cm、キーサイズは 4.4 cm (キー間隔はサイズ縮小のため空けてない) としたところ誤入力が大幅に減少した。

4. 評価実験

本稿では、前章で説明した VR 空間上での qwerty キーボードとフリックキーボードの 2 つを使用し、文字入力の入力速度と正確性により基本性能を確認し、アンケートにより操作感を確認する。また、実験結果を考察し、VR 空間上におけるフリーハンド状況下の文字入力で求められる要件を検討する。なお、qwerty キーボードではローマ字を日本語に変換する機能を搭載していないため、日本語をローマ字で入力することとする。

4.1 実験手続き

被験者は、普段よりフリックキーボードと qwerty キーボードの両方を使用している 8 名である。被験者は、2 つのキーボードのユーザインタフェースの説明を受けた後に、名前や好きな文などで 15 分程度入力練習し、山崎[4]が評価実験に使用した 4 つの単語と 1 文を入力する。これらの単語と文はキーボードの左に設置した Start ボタンを触ることで表示され、入力が完了した後に qwerty キーボードでは Enter キー、フリックキーボードでは確定キーに触ることで完了する。なお、「←」を押すことで文字を削除できる。以下に評価に使用した 4 つ単語と 1 文を示す。

- (1) ほうれんそう
- (2) とうもろこし
- (3) あすばらがす
- (4) ばいナップる
- (5) きょうは、いいてんきだ。

また、実験は、順序効果をなくすため、被験者全 8 名を A グループ 4 名と B グループ 4 名に分け、A グループは qwerty キーボード、フリックキーボードの順、B グループにはフリックキーボード、qwerty キーボードの順で実験する。

4.2 評価単位の定義

入力速度と正確性を評価するために、1 単語もしくは 1 文あたりの入力時間と削除回数 (delete キー使用回数) を集計し、WPM(Word per minutes)と正誤率(精度)を算出する。WPM と正誤率の算出式を以下に示す。

$$\text{WPM} = \frac{(\text{入力した文字数}) - (\text{削除回数})}{\text{入力時間(s)}} \times 60(\text{s})$$

$$\text{正誤率} = \frac{(\text{入力した文字数}) - (\text{削除回数})}{\text{入力した文字数}}$$

入力文字数について、フリックキーボードはひらがな 1 文字で 1 文字とカウントし、qwerty キーボードではローマ字で文字数を換算する。また、基本的な母音は 1 文字、子音は 2 文字で入力するように指示し、「ん」は「n」の 1 文字、「し」は「shi」の 3 文字として入力するよう指示した。

4.3 アンケート調査

操作感を調べるために、実験後にアンケート調査を行う。以下にアンケート項目を示す。なお設問(5)、(6)は、本実験とは関係なく VR 空間上でチャットする場合を想定して回答してもらう。

- (1) 文字の入力をしやすかったキーボードはどちらか
- (2) 精度が良いと感じたキーボードはどちらか
- (3) 疲労の少ないキーボードはどちらか
- (4) 操作感が良いと感じたキーボードはどちらか
- (5) チャットを行う場合、フリックキーボードによる日本語入力と qwerty キーボードによるローマ字入力、どちらで行いたいですか(今回の実験を含まずに)
- (6) (5)で選んだキーボードを使用したい理由を教えてください

4.4 入力速度と正誤率の実験結果

被験者 8 人の qwerty キーボード、フリックキーボード別

の入力時間の平均、WPM の平均、正誤率の平均を図 7、図 8、図 9 に示す。図 7 の入力速度平均と図 8 の WPM 平均より、短い単語はフリックキーボードの方が速く、1 分間あたりの入力速度は、いずれの単語、文も qwerty キーボードの方が速いことがわかった。図 9 の正誤率に関してはいずれの単語、文も qwerty キーボードの方が高い結果であり、特にフリックキーボードでは文の正誤率は 50%を割る結果であった。

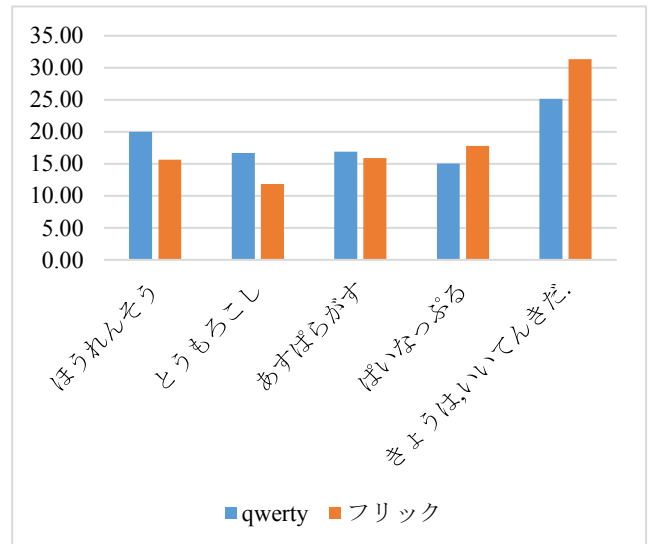


図 7 被験者 8 人の入力時間(s)の平均

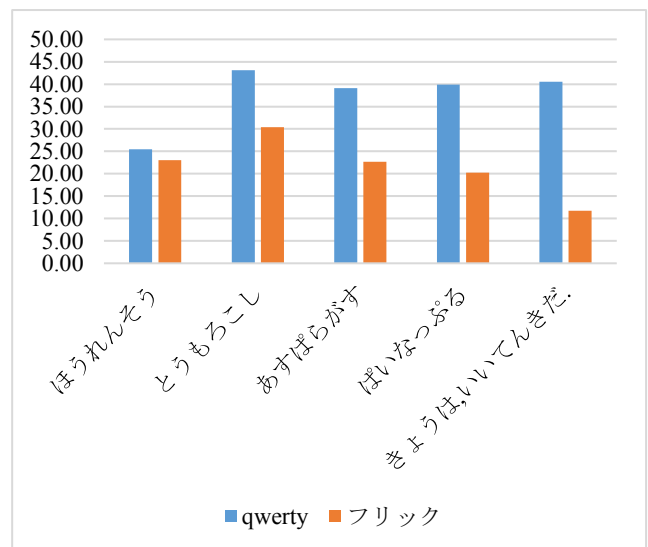


図 8 被験者 8 人の WPM の平均

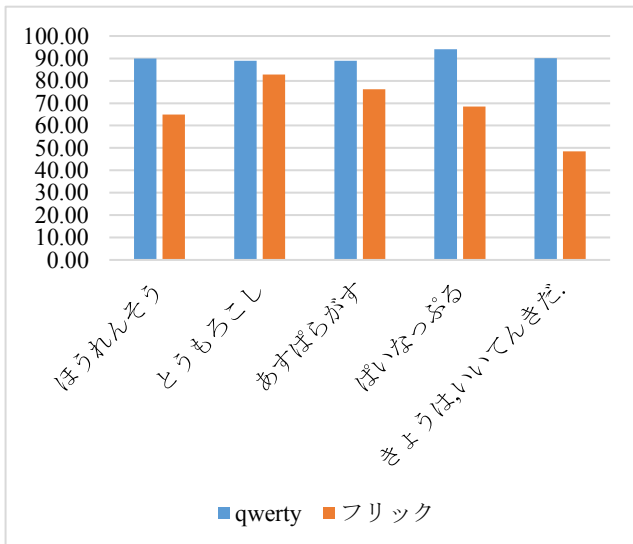


図9 被験者8人の正誤率(%)の平均

4.5 アンケート結果

アンケートの設問(1)から(5)までの結果を表1に、設問(6)の結果を表2に示す。設問(2)の入力精度については、4.4節の実験結果と同様に qwerty キーボードの方が良いと回答した被験者の方が多かった。しかし、設問(1), (3), (4)の入力しやすさ、疲労の少なさ、操作感については、各キーボードで半数に割れる結果となった。設問(5)の本実験に限らずチャットで使用したい入力方法に関する設問では、フリックキーボードを使用したいと回答した被験者が6人であり、qwerty キーボードを上回る結果となった。フリックキーボードを選んだ理由(表6)としては、「キーを押す回数が少なくて済む」、「慣れれば素早く入力できる」などであった。

表1 設問(1)から(5)までのアンケート結果

アンケート結果 (1)~(5)	qwerty	フリック
Q1. 文字が入力しやすかったキーボードはどちらか	4	4
Q2. 精度が良いと感じたキーボードはどちらか	5	3
Q3. 疲労の少ないキーボードはどちらか	4	4
Q4. 操作感が良いと感じたキーボードはどちらか	4	4
Q5. チャットを行う場合、フリック キーボードによる日本語入力と qwerty キーボードによるローマ字入力、どちらで行いたいですか(今回の実験を含まずに)	2	6

表2 設問(6)のアンケート結果

Q5の回答	
フリック	キーを押す回数が少なくて済むから 慣れれば素早く入力できる 片手の人差し指で操作できるため
qwerty	qwertyの方が入力の時間は要するかもしれないが、キーボード入力で慣れている為使いやすく感じるの 日本語に関しては早く打てるから フリックキーボードの方が、入力速度が早い気がしたうえ、慣れたらもっと早く打てそうな気がしたから
qwerty	個人的には qwerty 配列の方が得意なので 入力しやすかったため

4.6 考察

アンケートの設問(5)のチャット時に利用したい入力方法を除き、ほぼ全てにおいて qwerty キーボードの方がフリックキーボードを上回る結果となった。短い単語の入力時間に関しては、フリックキーボードが若干上回っていたが、これは単純に打鍵するキー数が少ないためであると考えられる。

フリックキーボードが qwerty キーボードに対して劣る結果となった理由として、フィードバックがなかったことが原因と考えられる。フリックキーボードは qwerty キーボードと違い、キーに触れてから指をスライドさせる必要があるため、キーに触れた感触を得られない VR 空間ではスライドする感覚を掴むことが難しかったと考えられる。実際に、被験者はキーに触れるという感覚を掴みかねている様子を観察できた。この点については、キーに触れた時にキーの色を変更するなどの視覚的なフィードバックを追加することで、ある程度の改善に繋がる可能性がある。

qwerty キーボードは、打鍵数が多くなるものの、正誤率はほぼ全てで 90%を超えていた。WPM も単語ではほぼ全てでフリックキーボードの2倍以上、文では3倍以上の結果であった。しかし、キーボードが横に長くなる性質上、手が LeapMotion の認識範囲外に出ることが度々生じるという問題があり、実際、認識範囲の問題により被験者は入力しづらそうにする場面を観察できた。

WPM と正誤率では qwerty キーボードがフリックキーボードを大きく上回る結果となった。しかし、前述の通りいずれのキーボードにも視覚的・聴覚的なフィードバックを実装しておらず、特にフリックキーボードにおいてはフィードバックがないために qwerty キーボードに大きく劣る

結果となった可能性がある。

また、各文字の入力時間の最小値と最大値（表 3、表 4）をまとめたところ、文字によっては最大値と最小値に 30 秒以上の開きがあるものもあった。これは被験者によって学習速度が異なることが原因であると考えられる。しかしこれは、学習時間を長くすることで解決できると考える。参考として、2 つのキーボードの入力に慣れている筆者の入力時間を表 5、6 に示す。

表 3 qwerty キーボードにおける各文字の入力時間の最小値（秒）と最大値（秒）

入力文字	最小値	最大値
ほうれんそう	9.63	43.34
とうもろこし	9.41	29.91
あすばらがす	12.74	25.10
ばいナップる	11.76	20.67
きょうは、いいてんきだ。	14.50	48.42

表 4 フリックキーボードにおける各文字の入力時間の最小値（秒）と最大値（秒）

入力文字	最小値	最大値
ほうれんそう	6.16	23.38
とうもろこし	6.56	29.37
あすばらがす	7.18	24.07
ばいナップる	10.18	31.60
きょうは、いいてんきだ。	22.13	46.91

表 5 qwerty キーボードにおける筆者の入力時間（秒）

入力文字	最小値
ほうれんそう	6.04
とうもろこし	8.27
あすばらがす	7.71
ばいナップる	9.61
きょうは、いいてんきだ。	10.16

表 6 フリックキーボードにおける筆者の入力時間（秒）

入力文字	最小値
ほうれんそう	4.90
とうもろこし	3.79
あすばらがす	5.98
ばいナップる	7.69
きょうは、いいてんきだ。	9.19

評価実験では qwerty キーボードの方が良い結果が出たものの、アンケート結果では 3 つの項目でフリックキーボードと qwerty キーボードの割合が半数に割れる結果

となった。これは、普段からチャットでは使い慣れたキーボードがフリックキーボードであると答えた被験者が多かったことも原因として考えられる。このことから、フリックキーボードには一定の需要があると考えられるが、前述のフィードバックを付与することも含め、現状の操作法を改善する必要があると考えられる。

4.7 問題点

評価実験の結果から今後の課題をあげる。1 つ目の問題点として、qwerty、フリックいずれのキーボードにも視覚的・聴覚的なフィードバックを実装していない点である。物理キーボードでは主に触覚を介したフィードバックをユーザに与え、スマホ等のタッチディスプレイで使用される仮想キーボードでは、主に視覚によるフィードバックを与えている。しかし、今回はいずれの手法にもフィードバックを実装しておらず、本来のキーボードとしての性能を発揮できていなかった可能性がある。実際、VR 空間上では距離を目測する指標となるものがなく、キーボードとの距離感を掴めていない被験者が多かった。

2 つ目の問題点は、手の認識に使用した LeapMotion である。OculusRift ゴーグルの正面でキーボードを操作する場合は誤認識も少なく手を表示できた。しかし、qwerty キーボードのような横に長いキーボードの場合、視点を固定したまま端のキーを入力しようとするときーボードが認識範囲外で手が表示されず、一方向からの認識のため手に隠れた指が意図せず曲がるが多々あった。キーボードが範囲外になる問題は、LeapMotion を取り付けたゴーグルを手の方向に向けることで解決出来るが、指が意図せず曲がる問題を解決するためには 2 方向からの認識が必要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、LeapMotion を用いた VR 上での文字入力手法を検討するため、VR 空間上に qwerty キーボードとフリックキーボードを実装し、入力速度、正確性、操作感に関する評価実験を行った。その結果、VR 空間上において空中入力を行う場合、qwerty キーボードの方が実用的な入力手法であることがわかった。しかし、アンケート結果では 3 つの項目においてフリックキーボードと qwerty キーボードの選択が半数ずつに割れたことや、アンケートによりチャットの際はフリックキーボードを使いたいという人が多いことから、フリックキーボードにも一定の需要があることがわかった。このことから、フリックキーボードについても VR 空間上における空中での文字入力手法の 1 つとしてさらなる検討が必要であるといえる。また、本研究では、どちらのキーボードにも視覚的・聴覚的なフィードバックを実装しておらず、そのためにフリックキーボードは qwerty キーボードに大きく劣る結果となった可能性がある。

今後はフィードバックを実装し、今回同様の入力速度、正確性、操作感の評価を行う予定である。

参考文献

- [1] Worldwide Spending on Augmented and Virtual Reality Forecast to Reach \$17.8 Billion in 2018, According to IDC.
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS43248817>, (参照 2018-10-07).
- [2] LeapMotion. <https://www.leapmotion.com/ja/>, (参照 2018-12-18).
- [3] KDDI, 日本人の音声操作に対する意識調査 2017,
<http://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2017/10/05/2726.html>, (参照 2018-12-19).
- [4] 安部弘樹, 三浦元喜, LeapMotion を用いた文字入力インタフェースにおける文字選択手法, 九州工業大学工学部総合システム工学科, 平成 28 年度卒業論文.
- [5] 山崎宏樹, 渡辺大地, 両手の動きによる母音と子音の組み合わせを用いた仮名文字入力手法の研究, 東京工科大学メディア学部, 2017 年度学部卒業論文.
- [6] OculusRift. <https://www.oculus.com/rift/>, (参照 2018-12-18).
- [7] UnrealEngine4. <https://www.unrealengine.com/ja/what-is-unreal-engine-4>, (参照 2018-12-18).