# VR向けの掌上における日本語フリック入力手法の提案

川口　航平 *1　　礒本　俊弥 *2　　志築　文太郎 *3　　高橋　伸 *3

## Flick-Based Japanese Text Entry Method on Palm for Virtual Reality

Kohei Kawaguchi*1, Toshiya Isomoto*2, Buntarou Shizuki*3, and Shin Takahashi*3

**Abstract** – **We propose a flick-based Japanese text entry method on a user's palm for virtual reality. Users can enter a word with tactile feedback by touching their palm. Using our method, users can display a keyboard on their palm by opening their hand. Then, users can enter a word by touching and flicking a part of the palm that represents the key**

**Keywords** ： 文字入力手法，キーボード，触覚フィードバック，手形状認識，HMD

## 1.　はじめに

Virtual Reality（以降，VR）空間内において文字入力を行う際，VR システムが提供するコントローラ（例えば，HTC 社のもの [1]）やユーザ自身の手指 [1], [2] が用いられる．このうち，ユーザ自身の手指を用いる文字入力手法では，手形状認識により取得されたユーザの手指がキーに触れることにより文字が入力される．特に，日本語文字入力に関しては，スマートフォン上にて用いられているフリック入力を VR 空間に適応した手法が提案されている [3], [4]．これらの手法を用いて例えば「き」を入力するには，ユーザはまず「か」（入力したい文字の「あ」段）のキー領域を指にて突く．次に「か」のキー領域の上下左右に表示される「か」行のキーのうち，「き」のキーは左に表示されるため，指を左に移動させる．その後，その場から指を引くことにより，「き」を入力できる．このとき，ユーザは指がキーに接しているかどうかを視覚的フィードバックから判断することになる．

Freeman ら [5] は，効果的なフィードバックが操作手法の性能を向上させると述べている．特に，空中における手指を用いた操作時に触覚フィードバックを与えることにより，操作が容易になったことを示している．また，Hoggan ら [6] はスマートフォンへの操作時に触覚フィードバックを提示することによって，文字入力性能が向上したことを報告している．

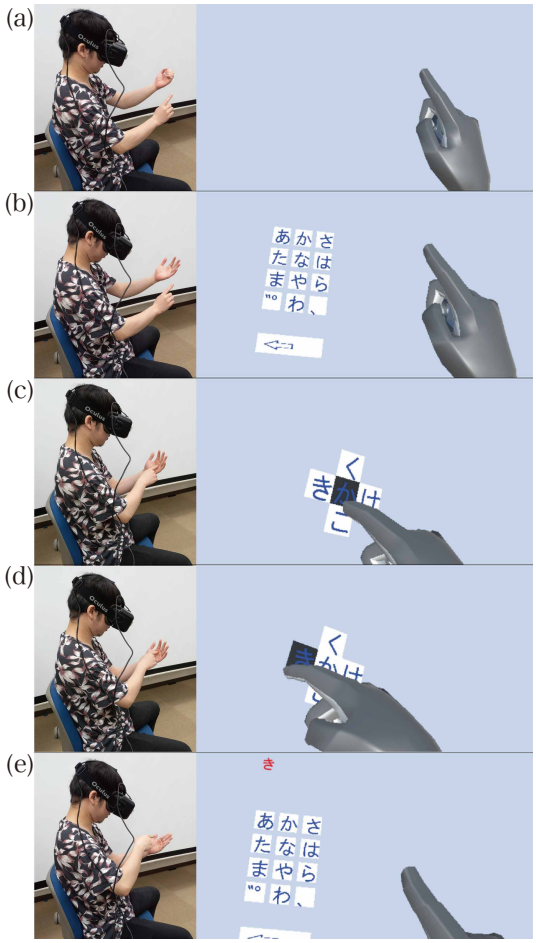



図 1　ユーザ自身の掌上における日本語フリック入力手法．

Fig. 1　Flick-based text entry method on the user's palm.

そこで，我々は，VR 空間における手指を用いた日本語入力手法に，触覚フィードバックを付与した手法を提案する（図 1）．ユーザは，VR 空間内において，片方の手の掌の上に表示したフリックキーボードを他方の手指を用いて操作する．提案手法を用いて「き」

*1: 筑波大学情報メディア創成学類
*2: 筑波大学コンピュータサイエンス専攻
*3: 筑波大学システム情報系
*1: College of Media Arts, Science and Technology, University of Tsukuba
*2: Department of Computer Science, University of Tsukuba
*3: Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

1: https://www.vive.com/us/accessory/controller/（2019 年 7 月 8 日最終閲覧）

を入力する入力手順は以下の通りである．

手順 1　手を HMD の前方に出し（図 1a），身体方向に掌を開きフリックキーボードを表示する（図 1b）．

手順 2　掌上に表示されたフリックキーボードから「か」を他方の指にて触れる（図 1c）．

手順 3　「か」のキーから左右上下に展開されるキーのうち「き」が表示されている左へ指を動かす（図 1d）．

手順 4　掌から指を離すことにより,「き」が入力される（図 1e）．

この手法の利点は，指がキーに触れる際に掌にも触れることになるため，入力中に触覚フィードバックを得られる点である．すなわち，ユーザはこの触覚フィードバックを参考に入力を行える．

## 2.　関連研究

VR 空間における文字入力を支援するために，コントローラを用いた文字入力手法，および手指を用いた文字入力手法が研究されている．また，操作手法に触覚フィードバックを付与することの効果を調査した研究もなされている．

### 2.1　コントローラを用いる文字入力手法

Carter ら [7] は VR 空間内の立体的なキーによって構成されているキーボードおよびコントローラを用いた文字入力手法を提案している．ユーザはコントローラを任意のキーの内部へ移動し，コントローラ上のタッチパッドをタップすることによって文字を入力できる．また，Speicher ら [8] は，VR 空間内の文字入力手法のパフォーマンスおよびユーザの好みを評価し，VR 空間内の文字入力手法にはレイキャストが適していると結論づけた．評価には速度，入力エラー率，およびユーザの好みを測定するためのアンケートを用いている．

VR 空間における文字入力にスマートフォンを用いた手法も研究されている [9]．また，Son ら [10] は，タッチパネルが搭載されたコントローラを用いた手法を示している．この研究では，スマートフォンよりすばやく入力することは出来ないが視覚的フィードバックを付与することにより性能が向上したと報告されている．

これらの手法では，ユーザは把持したコントローラを操作することにより文字入力を行う．コントローラには多くのボタンが備わっているため，キーボードの表示･非表示，および移動などの操作がこれらを通じて行うことができる．対して，我々の手法は，手指を用いた文字入力手法である．我々の手法において，キーボードの表示・非表示は手の開閉，キーボードの移動は手の移動により行う．

### 2.2　手指を用いる文字入力手法

VR 空間内における文字入力にユーザ自身の手指を用いた手法も提案されている．細野ら [11] は子音と母音が表示された 2 つの円状のキーボードを両手にて操作することに基づくひらがな入力手法を提案した．二本松ら [12] は片手のピンチジェスチャを用いた手法を提案した．この手法ではピンチジェスチャを行う親指と別の指の組み合わせによって入力可能な文字が決まる．例えば，親指と人差し指を接触させたピンチジェスチャの場合は a から h までのアルファベットが入力可能となる．大西ら [13] は簡略化された文字を指を用いて空中に描くことによる手法を提案した．

特に，日本語入力に関する研究においては，スマートフォン上にて行われているフリック入力を用いた手法が提案されている [3], [4]．これらの研究では，VR 空間内において手指を用いたひらがな入力ができるフリックキーボードを開発している．これらの研究のうち，喜多ら [4] は，QWERTY キーボードはフリックキーボードと比較し，Characters Per Minute（以降，CPM）および正誤率の両方において優れていると報告している．また，フリックキーボードの性能が劣った原因は，フリック時に触覚フィードバックがないため指を移動することが難しかったことであると考察している．福仲ら [3] は，フリックキーボードは QWERTY キーボードと比較し入力速度は同等以上であるが誤入力の頻度が多いと報告している．この研究では入力に対して視覚的なフィードバックを追加しており，アンケート評価から視覚的なフィードバックが入力の手助けとなったことが報告されている．

我々の手法では，先行研究 [3], [4] と同様に，普段使い慣れているフリック入力手法を用いている．ただし，これらの研究とは異なりキー入力の際に触覚フィードバックを付与している．福仲ら [3] はフィードバックの欠如を解決するために，視覚的フィードバックを付与した場合の効果を調査したが，触覚フィードバックの場合の効果は明らかになっていない．また，この研究では，キーを深く押し込みすぎることが誤入力の原因になると報告している．これは，実装した指がキーに触れた際にキーが押し込まれているように見える視覚的フィードバックによって引き起こされていると考察している．一方，掌上から触覚フィードバックを得ることによって，入力時にキーに触れたことを認知できるため，必要以上に押し込む必要のないインタフェース設計にできると考える．

### 2.3　触覚フィードバックの効果

スマートフォンの操作時に，ユーザへ触覚フィードバックを与えることによる効果の調査がされている．Freeman ら [5] は，触覚フィードバックは操作に要する

時間へ影響を与えなかったが，ユーザは触覚フィードバックがある方を好んだと報告している．また，Hoggan ら [6] は，文字入力時にユーザへ触覚フィードバックを与えることにより，文字入力の性能が改善され，実際の物理キーボードを用いた文字入力の性能に近づくことを示した．

Wu ら [14] は，VR 空間内における文字入力に触覚フィードバックを適応した．この研究では物理キーボード，仮想キーボードおよび触覚フィードバックがある仮想キーボードの比較を行っている．結果，仮想キーボードの場合は触覚フィードバックを付与した方が性能が高まったと報告している．

これらの研究では，アクチュエータや超音波アレイなどの装置を用いて触覚フィードバックを発生させている．我々の研究では，追加の装置を必要とせずに自身の身体を触れることにより触覚フィードバックを得ることができる．

## 3. 提案手法

### 3.1 入力方法

ユーザは，VR 空間上に表示された手指を用いて，図 1 に示す提案手法において使用するフリックキーボード（以降，提案キーボード）の操作を行う．VR 空間上の手指は，例えば Leap Motion といった機器を用いて検出したユーザの手指をもとに表示される．提案手法において例えば「き」の入力は以下のように行われる．まず，提案キーボードを VR 空間上に表示する．これは，ユーザが自らの手を HMD の前方に出し（図 1a），身体方向に開くことにより行われる（図 1b）．その後，掌を開いた手とは逆の手指を用いて，「か」を選択する．これは．提案キーボード上の「か」キー（つまり，「か」キーが表示されている掌の位置）を人差し指にて触れることにより行われる．「か」キーの選択を行うと，その左右上下に「か」段の子音を示すキーが表示される（図 1b）．そして，「き」キーが表示されている方向に人差し指を移動した後に，指を提案キーボードから離す（つまり，指を掌から離す）ことにより，「き」を入力することができる（図 1e）．

### 3.2 設計

提案キーボードの外観を図 2 に示す．提案キーボードは，フリックキーボードを参考に，「あ」–「わ」段を示す 10 個のキー，濁音・半濁音・小文字に変換する文字変換キー，および「、」や「？」といった特殊記号を入力する特殊文字キーの 12 個のキーからなるキー構成とした．提案キーボードの位置は「な」キーが掌の中心となるようにした．また，1 文字削除するデリートキーを提案キーボードの下部である腕に配置した．

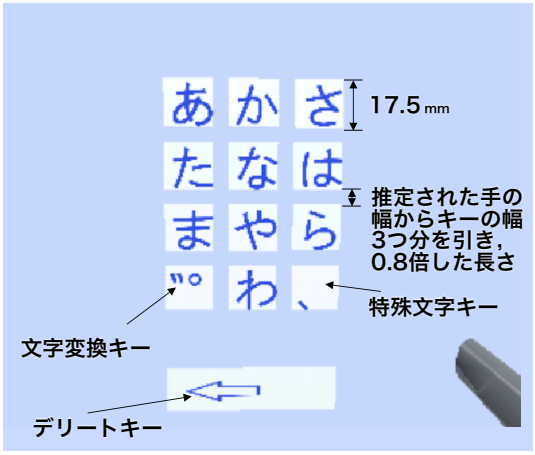



図 2 提案手法の入力に用いるフリックキーボードの外観．
Fig. 2 Appearance of the flick-based keyboard used for text entry in our method.

小澤ら [15] の研究によって仮想キーボードのキーの大きさは 17.5 mm ないし 26.3 mm が好ましいと述べられている，このことから，提案キーボードにおける各キーを 1 辺 17.5 mm の正方形とした．また，手指検出の精度の影響を受けずに入力しやすくするために，各キーを触れた際に表示される 5 つキーの大きさを 26.3 mm の正方形とし，キーを選択するには 50 ms 以上の間はそのキーに滞在する必要があるようにした．各キーの間隔はユーザの掌の大きさとキーの大きさをもとに，提案キーボードが掌内に収まるように決定した．

提案キーボードと人差し指が触れていることの検出は，各キーの表面と検出された人差し指の先端それぞれに当たり判定を付けることにより行われる．また，提案キーボードと人差し指が触れた後に離れたことの検出は，図 3 のように提案キーボードから垂直方向に 15.0 mm 指を離すことにより行われる．つまり，子音の選択は，人差し指にて提案キーボードに触れた後に，人差し指を垂直方向に 15.0 mm 移動せずに水平方向に移動する事により行うことができる．

## 4. 実験

提案手法の性能を調査するために実験を行った．実験は，提案手法および先行研究にて用いられている空中に浮遊しているフリックキーボードを用いた手法 [3], [4]（以降，従来手法）による文章入力タスクとした．

### 4.1 実験環境

実験参加者は，研究室内の大学生および大学院生の 6 人（21–23 歳，平均年齢 21.8 歳，男性 5 人，女性 1 人，全員右利き）である．また，実験参加者全員は

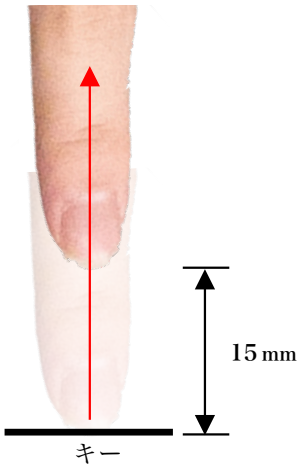



図 3　任意の文字を入力するために，指を 15 mm キーから離している様子.
Fig. 3　The finger is released up to 15 mm from the key to enter a character.

日常的にスマートフォンでの入力にフリック入力を用いていた．実験に用いた HMD は Oculus Rift DK2 であり，コンピュータは NEW ALIENWARE m15（Intel(R) Core i7-8750H，16 GB RAM，NVIDIA(R) GeForce(R) GTX 1060，Windows 10）を用いた．また，手形状を検出するための機器として Leap Motion [2] を使用し，図 4 のように HMD に装着した．実験は，外乱の影響を除くために直射日光が当たらない環境にて行った．

実験に用いたシステムを図 5 に示す（a : 提案手法，b : 従来手法）．実験画面は，キーボード，実験参加者が入力すべき文字列（以降，課題文），および実験参加者が入力した文字列（以降，入力文字列）からなる．ユーザが課題文とは異なる文字列を入力した際は，入力文全体が赤色にて表示される．

### 4. 2　文章入力タスク

実験において使用した 24 種類の短文は，深津ら [16] が用いたフレーズセットであり，文章入力タスクの対象として用いた．評価に用いる尺度は，CPM，Corrected Error Rate [17]（CER），ワークロード評価のための NASA Task Load Index（NASA-TLX），およびユーザビリティ評価のための System Usability Scale（SUS）である．実験参加者には文字をなるべく正確かつ速く入力するように指示した．また，誤入力をした場合には直ちに直すように指示した．

### 4. 3　実験内容

各手法を用いた実験は以下の手順にて行われた．まず，各手法を用いた文字入力方法および実験システム

2: https://www.leapmotion.com/ja/.（2019 年 7 月 8 日最終閲覧）

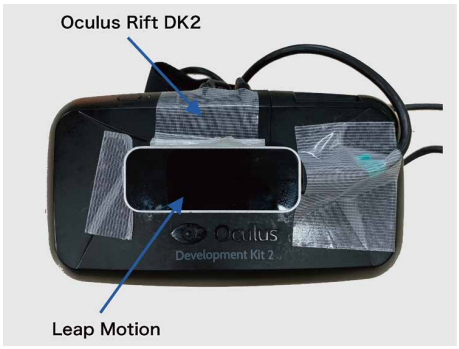



図 4　Leap Motion が取り付けられた Oculus Rift DK2.
Fig. 4　Oculus Rift DK2 attached with Leap Motion.

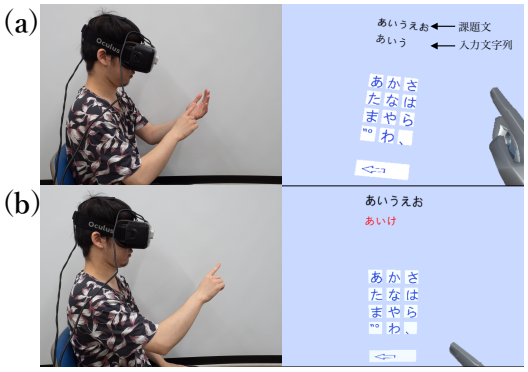



図 5　実験時に各手法を用いて文字入力を行っている様子．a）提案手法および b）従来手法.
Fig. 5　Overview of text entry using a) our method and b) previous method in the experiment.

の使用方法を説明し，実験参加者には椅子に座り HMD を装着するよう指示した．次に従来手法においては，キーボードの位置のキャリブレーションとして， 実験参加者を基準として空中のどの位置にキーボードを配置するか決定した．実験参加者に左手を閉じた状態においてキーボードを移動し，キーボードを設置したい場所にて手を開くように指示した．この場所に，キーボードは固定された．提案手法においては，実験参加者全員が右利きであることから，左手にて提案キーボードの表示を行い，右手にてフリック入力を行うように指示した．この際に，掌に触れることによってすべてのキーが入力出来ることを確認するように指示し，できなかった場合には掌とキーボードの距離を調節した．

その後，濁音・半濁音を含む全ひらがな，捨て仮名，および伸ばし棒（「ー」）の入力練習を 5 分間行った．練習タスクが終了した後，約 5 分の休憩を設け，本番タスクを行った．また，練習タスクが 5 分未満だった場合には，練習タスクが終わり次第に休憩を開始した．本番タスクは，ランダムに抽出された 24 文章の入力を

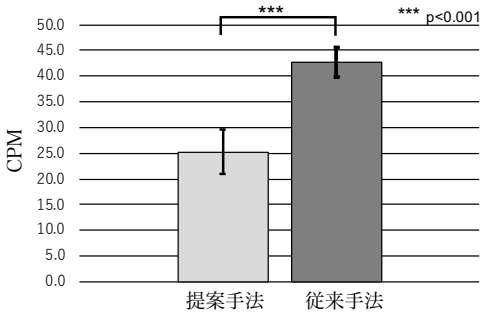



図 6　各手法における実験参加者の平均 CPM.
Fig. 6　Average CPM in each method.

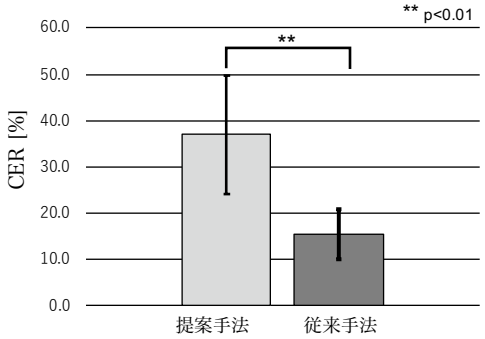



図 7　各手法における実験参加者の平均 CER.
Fig. 7　Average CER in each method.

した後に 5 分間休憩することを 1 回行うことである．また，24 文章の入力を 2 セッションに区切り，セッション間に休憩を 3 分とった．なお，セッション内における各文章を入力し終わってから，再び入力し始める間には自由に休憩を取ってよいこととした．本番タスクが終了した後に，実験参加者には NASA-TLX および SUS を調査するためのアンケートの記入を指示した．また，自由記述のアンケート記入を指示した．アンケート記入後 5 分の休憩を設け，もう一方の手法を用いた実験を行った．

順序効果を取り除くために，3 人の実験参加者は提案手法から実験を開始し，他の 3 人の実験参加者は従来手法から実験を開始した．

### 4. 4　実験結果

各手法における平均 CPM を図 6 に示す．平均 CPM は提案手法において 25.3（SD=4.38），従来手法において 42.8（SD=2.9）であり，t 検定の結果，両者の間に有意差が検出された（$p=0.000 < 0.001$）．また各手法における平均 CER を図 7 に示す．平均 CER は提案手法において 37%（SD=0.09），従来手法において 15%（SD=0.03）であり，t 検定の結果，両者の間に有意差が検出された（$p=0.001 < 0.01$）．次に各手法における NASA-TLX の平均スコアを図 8 に示す．平均スコアは提案手法において 10.0（SD=1.5），従来手法において 7.6（SD=2.2）であり，t 検定の結果，両者の間に有意差が検出された（$p=0.000 < 0.001$）．各手法における SUS の平均スコアを図 9 に示す．提案手法において 61.7（SD=9.9），従来手法において 71.7（SD=12.2）であり，t 検定の結果，両者の間に有意差が見られ無かった（$p=0.109 > 0.05$）．なお，NASA-TLX のスコアは低いほど優れており，対して SUS のスコアは高いほど優れていることを表している．

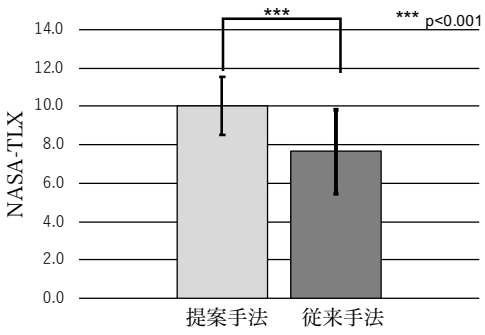



図 8　各手法における NASA-TLX によるアンケート結果の平均.
Fig. 8　Average score of NASA-TLX in each method.

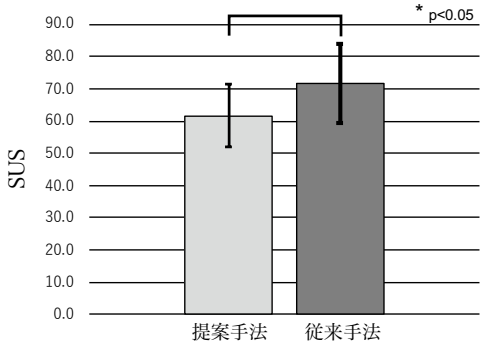



図 9　各手法における SUS によるアンケート結果の平均.
Fig. 9　Average score of SUS in each method.

### 4. 5　考察

CPM および CER の両方において従来手法の方が高い性能となった．この原因として，誤った手形状認識によるものがあると推測する．実験中の様子を観察すると，提案手法用いた文字入力時に手認識の誤りが多く発生していた．これも提案手法の性能が低くなった原因の 1 つであると考える．Leap Motion は内蔵する赤外線カメラから手の映像を取得し，手の形状を推定する．提案手法の場合は右手によって左手が隠れるため，誤認識の要因になっていると考えられる．

また，提案手法では触覚フィードバックがある点の他にキーボードの位置および角度が入力中に変更出来

る点が従来手法と異なる．従来手法ではキーボードが空中に直立しているが，対して従来手法では常に掌上に表示されるようになっており，掌の位置および角度によってキーボードの位置および角度が変わる．よって，キーボードの位置および角度が入力性能の差に影響している可能性がある．自由記述アンケートの結果の中に，従来手法では腕や肩が疲れるといった意見が多かった．これは従来手法ではキーボードを正面から捉えようとすると，自然と目線に近い高さにキーボードを設置するからだと考えられる．結果的に，右腕を上げて入力をする必要があるため，従来の手法を用いた文字入力時の疲労に影響を与えたと考える．しかし，NASA-TLX の結果では従来手法が優れた結果となった．NASA-TLX の身体的要求の項目のみに着目すると，提案手法は平均 18.4（SD=7.3），従来手法は平均 21.9（SD=4.3）となっている．t 検定を行ったところ有意差は見られなかったが，提案手法の方が平均値は低くなっている．提案手法における身体的要求の分散値が高くなっているのは，実験時に左腕の姿勢について指示しなかったことが要因の 1 つだと考えられる．例えば，左腕を目線の高さまで上げて文字入力をしているユーザと比較して，左腕を下げた状態において目線を掌に下ろしていたユーザの方が身体的要求が低くなっている可能性がある．

SUS のスコアは従来手法と提案手法との間に有意差は無かった．しかし，各手法のスコアは CPM，CER，および NASA-TLX と同様な傾向が見られた．

## 5. まとめと今後の展望

本研究では VR 空間におけるフリックキーボードを用いた触覚フィードバックのある文字入力手法を提案した．提案手法では，片方の手を開きその掌の上にキーボードを表示し，そのキーボードに対して他方の手指を用いて操作する．この時，ユーザは掌を触れることにより触覚フィードバックを得ることができる．提案手法および従来手法によって文字入力を行い，それぞれの入力性能を評価し比較した．結果は従来手法の方が優れた性能となった．提案手法においては，手の誤認識が多く入力判定のアルゴリズムやセンサーの設置方法に改善の余地がある．一方で自由記述のアンケート結果から従来手法では腕や肩が疲労するといった意見が多く，提案手法に身体的負荷が軽減する効果があることが示唆される結果を得た．

実験における自由記述のアンケートに，キーボードを目線より下に配置すると入力しやすかったとの意見があった．よって，提案手法と従来手法の実験結果にキーボードの位置が影響している可能性がある．しかし今回の実験では，キーボードの位置や角度による入力性能の影響について調べられていない．今後，影響について調査することによって，疲れにくいインタフェースの設計に役立つと考えられる．また，手の検出性能の向上を試みることによって，入力性能の向上を試みる．検出性能を高めることによって，システム全体のユーザビリティが高まると考える．

## 参考文献


[1] Azai, T., Otsuki, M., Shibata, F. and Kimura, A.: Open Palm Menu: A Virtual Menu Placed in Front of the Palm; In *Proceedings of the 9th Augmented Human International Conference*, AH '18, ACM, pp. 17:1–17:5 (2018).

[2] 石井，阿達，島，中前，志築，高橋: カードボード VR のための空中操作を用いたターゲット選択手法; コンピュータソフトウェア，Vol. 35, No. 2, 日本ソフトウェア科学会，pp. 64–78 (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] Freeman, E., Brewster, S. and Lantz, V.: Tactile Feedback for Above-device Gesture Interfaces: Adding Touch to Touchless Interactions; In *Proceedings of the 16th International Conference on Multimodal Interaction*, ICMI '14, ACM, pp. 419–426 (2014).

[6] Hoggan, E., Brewster, S. A. and Johnston, J.: Investigating the Effectiveness of Tactile Feedback for Mobile Touchscreens; In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, ACM, pp. 1573–1582 (2008).

[7] Carter, L. and Potter, L. E.: Spatial Virtual Keyboard for Wand Based Virtual Reality; In *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*, SUI '17, ACM, pp. 161–161 (2017).

[8] 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).

[9] Kim, Y. R. and Kim, G. J.: HoVR-type: Smartphone as a Typing Interface in VR Using Hovering; In *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '16, ACM, pp. 333–334 (2016).

[10] Son, J., Ahn, S., Kim, S. and Lee, G.: Improving Two-thumb Touchpad Typing in Virtual Reality; In *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '19, ACM, pp. LBW2217:1–LBW2217:6 (2019).

[11] 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 (2014).

[12] 二本松，中村: VR 環境におけるピンチ動作を用いた視覚に頼らない文字入力方法の検討; 第 79 回全国大会講演論文集，情報処理学会，pp. 309–310 (2017).

[13] 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).

[14] Wu, C., Hsu, C., Lee, T. and Smith, S.: A Virtual Reality Keyboard with Realistic Haptic Feedback in a Fully Immersive Virtual Environment; Virtual Reality, Vol. 21, No. 1, Springer, pp. 19–29 (2017).
[15] 小澤，梅澤，大澤: 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; 情報科学技術フォーラム講演論文集，Vol. 14, No. 3, 電子情報通信学会・情報処理学会，pp. 389–390 (2015).
[16] 深津: 携帯情報端末のタッチパネルにおけるアイズフリーな片手かな文字入力方式; 卒業論文，筑波大学情報メディア創成学類 (2013).
[17] Soukoreff, R. W. and MacKenzie, I. S.: Recent Developments in Text-entry Error Rate Measurement; In *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '04, ACM, pp. 1425–1428 (2004).