物理キーボードにおける初学者のタイピング習得支援に向けたキーボードインタラクションの開発

園智佳子[†1]　　長谷川達人[†1]

本研究では，物理キーボードにプロジェクションマッピングを行うことで，初学者のタイピング習得を支援するインタラクションを開発する．タイピング習得時において，キーボードのキー配置を記憶することは，初学者が真っ先につまずく課題である．本システムではタイピング練習アプリに，次に打つべきキーを点灯させキーの配置を知らせる演出や，正しい文字を入力すると効果映像が流れる演出等を付与する．演出によりキー配置の記憶を補助すること，初学者でもタイピングが楽しく行えるようにする効果を期待している．初学者がキー配置の記憶で挫折することなくタイピング習得が行える環境を構築することが目的である．開発したキーボードインタラクションによりタイピング習得を支援できるか評価実験を行い，提案手法の有用性を検証する．

1. はじめに

文部科学省が小学生と中学生を対象に調査した「1 分間あたりのキーボードの入力文字数」は，小学生は平均 5.9 文字，中学生でも平均 17.4 文字である[1]．また，小学生は 1 分間に 5 文字未満しか入力できない学生が最も多い．文部科学省は 21 世紀を生き抜く力として，「情報活用能力」の重要性を強調している．この情報活用能力の一部として小学生は「10 分間に 200 文字程度の文字入力ができること」，中学生は「10 分間に 300 文字程度の文章が正確に入力・編集できること」が求められている[2]．現状ではその能力に遠く及んでいない．この問題の解決には，学生のタイピング能力の向上が求められる．

タイピング能力を向上させるためには，以下の 3 点が重要である．

A) キー配置の記憶 : 打鍵したいキーの配置を記憶していること．キー配置を記憶していない場合，一文字毎にキーボードの印字から打鍵キーを探す必要があり，タイピング速度が低下する．

B) 適切な運指 : 適切な指で所定のキーを打鍵できること．キーボードにはホームポジションを基準として，各キーを打鍵するのに適切な指がある．5 本の指を適切に使用できることで，一般的に正確で高速な打鍵がしやすくなる．

C) タッチタイピング : キーボードを目視せずに A，B ができること．タッチタイピングにより，視線を画面からキーボードに移動させることなくタイピングが行える．

我々の先行研究[3]では，B) 適切な運指について，表面筋電位の簡易計測デバイス Myo を用いてタイピング時の指の認識手法を開発した．被験者ごとに 10-fold Cross Validation (10-fold CV)で評価した結果，8 割弱の精度で 5 本のどの指で打鍵したか，何も打鍵しない状態であるかの 6 状態を認識できることを示した．別の先行研究[4]では，C) タッチタイピングについて，メガネ型ウェアラブルデバイス JINS MEME を用いてセンサデータを計測し，Leave-one-subject-out Cross-Validation (LOSO-CV)で評価した結果，約 80%の精度でユーザの視線方向が推定できることを示した．

一方本研究では，A) キー配置の記憶を支援するキーボードインタラクションの開発を行う．物理キーボードにプロジェクションマッピングを行い，打鍵するキーをわかりやすくすることで，タイピング初学者のキー配置の記憶を支援する．特にキー配置を覚えていない初学者は，タイピング練習を行っていても，次に押すべきキーがどこにあるのかわからずにフラストレーションが溜まってしまうことが少なくない．画面上に次に押すべきキーの位置を表示して誘導することもできるが，画面とキーボード間で視線を行き来せねばならず，これも初学者にとってはフラストレーションにつながる．本研究では，物理キーボードにプロジェクションマッピングを行うことで，これらの問題を解決する．

2. 関連研究

2.1 キーボードとプロジェクションマッピング

キーボード上にプロジェクションマッピングを行い，タイピング体験を拡張するシステムが過去に提案され，Web で公開されている．Augmented Typing [5]は，タイピングという単調な作業に高揚感や心地よさを加えることをコンセプトに作られたシステムである．キーを押すとキーの周りに演出が表示される．複数の演出が用意されており，自分好みの演出を選んだり，演出の速度や派手さを自由に変更したりすることができる．cyberkeyboard [6]は，キーを押すと押したキーに対応する文字がキーボードの上部に打ち出されていく演出が表示されるシステムである．Projection Mapping on keyboard [7]は，複数の機能が搭載されたシステムである．通常モードでは押したキーの枠が一定時間光り続け，押したキーに対応する文字がキーボードの上部に打ち出され，キーボードの上部に文字が 1 列に並んで表示される．Guide モードでは，コントロールキーを押した際のショートカットの内容がキー上に表示される．例えば，C キ

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan

ー上では「コピー」，V キー上では「ペースト」のように表示される．その他，キーが浮き出て見える White Keyboard モードや，キーが金属のボタンの様に見える Mechanical Keyboard モードが存在する．

2.2 プロジェクションマッピングを用いた学習支援

プロジェクションマッピングによる箏演奏学習支援システム[8]は，箏の演奏時に弾くべき弦に光を投影するシステムである．演奏時に求められる「箏譜を読む」，「撥弦位置を探す」という 2 つの過程を，システムによって簡単な 1 つの過程に置き換えて箏演奏を支援する．

プロジェクションマッピングによる電子工作体験支援[9]は，タッチパネルディスプレイにプロジェクションマッピングを行う．ディスプレイ上に置いた現実の素子間を，ディスプレイを指でなぞり線を引いてつなげることで，簡単に電子工作を体験することができる．

2.3 関連製品

ELECOM のキー投影型 Bluetooth®ワイヤレス英語配列キーボード TK-PBL042 シリーズ[10]など，机に光でキーボード全体を投影し，投影されたキーに触れるとセンサーで感知し，文字が入力されるキーボードがある．投影型キーボードは短焦点のプロジェクタで，キーボードの奥から手前へ光を投影するため手と投影されたキーのかぶりが気になりにくいという利点がある．

電子楽器のキーボードである CASIO の LK-511[11]には，演奏を行う際押すべき鍵盤が光る「光ナビ」というシステムがある．これは楽譜が読めない人やピアノ初学者が演奏を行う際，どの鍵盤を押せばよいかがわかるため，演奏に大きく役立つシステムである．

2.4 本研究の位置づけ

従来のキーボードにプロジェクションマッピングを付与したシステムは，ユーザが打鍵時の演出を見て楽しむことが主であった．見て楽しむシステムとタイピング練習アプリを組み合わせることで，タイピング初学者が楽しみながらタイピング能力向上の支援につながると考えられる．

そこで本研究では，演出を付与したタイピング練習アプリを物理キーボードにプロジェクションマッピングを用い投影することで，初学者のタイピング習得を支援するシステムを開発する．タイピング習得の支援に特化した演出として，次に打つべきキーを点灯させキーの配置を知らせる演出と，タイピング課題を 1 単語打ち終わるごとに達成感を与えるための演出を表示する．従来のタイピング練習アプリと比べ，見て楽しむ要素が増え，打鍵時に爽快感を得ることや，キーを探すフラストレーションが減少する効果を期待している．また，従来のタイピング練習アプリは，タイピング課題をディスプレイに表示するが，本研究ではキーボードと同じ机上に投影する．これにより課題とキーボードとの視線移動を減らすことができる利点がある．

3. 提案手法

3.1 システムの概要

今回開発したシステムは，タイピング練習アプリをベースとし，机とキーボードにプロジェクタで演出を投影したものである．演出は，以下の 3 つである．

ア) 次に打つべきキーを表示する．

イ) 正しいキーを押すと，キーの周りに光が弾ける効果映像を表示する．

ウ) タイピング課題を 1 単語打ち終わるごとに，キーボードが下から 1 段ずつ光る効果を表示する．

本システムは，特にキー配置をまだ覚えられていない初学者をターゲットにしている．上記の演出により，初学者に対して以下の効果を期待している．

- ア) により，キー配置を覚えていない初学者でもスムーズな打鍵を体験することができる．
- イ) により，打鍵を行うことに対する爽快感を，ウ) により，単語を 1 セット入力することに対する達成感を感じさせる．

従来，初学者は打鍵時の爽快感を体験する以前にキー配置を記憶する必要があった．キー配置がわからず中々キーを押せない事でフラストレーションがたまり，キー配置を覚える前にタイピングが苦手だと思いこんでしまうことにつながっている．本システムにより，キー配置を覚えずとも爽快感のある打鍵体験を味わうことができるようになる．これにより，タイピングへの苦手意識なく継続的な学習を促す効果を期待している．将来的には継続的な学習の過程で徐々にサポートを減らし，無意識下でキー配置を記憶する仕組みを導入予定である．

また，本システムは，タイピング課題の表示も全て机上で実現する．一般的にはディスプレイ上に課題を表示するが，キーボードに近い机上に課題を表示する事により，課題とキーボードとの視線移動を減らすことができる．これによりディスプレイに課題を表示するタイピング練習アプリと比べ，初学者への負担を軽減させ，タイピングに対するフラストレーションの緩和効果を期待している．

3.2 タイピング練習アプリ

タイピング練習アプリの画面を投影した様子を図 1 に示す．本システムでは，キーボード上部に表示される単語を入力する．出題画面にはひらがなの問題文とアルファベットの問題文，問題数，正しく入力した文字数と間違って入力した文字数を表示する．タイピング練習アプリをプレイ中の様子を図 2 に示す．打ち終わったタイピング課題の文字は青く表示する．また，タイピング課題の文字を正しく押した際，キーボード上の該当キー周辺に効果映像を表示する．効果映像の作成には Unity のパーティクルシステムを使用した．キーボードに効果映像を投影した様子を図 3 に示す．

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan

今回，キーボード上の数字の 0～9，アルファベットの A～Z の各キーに対応するオブジェクトを作成した．オブジェクトの表示非表示の切り替えによってキーを光らせる．次に押すべきキーに対応するオブジェクトのみを表示することで，次のキーを光らせる（図 2）．また，1 単語を打ち終わるごとに，キーボードの下段から 1 段ずつ順に表示し，青色のバーが下から上がってくる様な演出を行う．

タイピング時の効果音として，キーが押された際に音声ファイルを再生する．効果音はフリー素材として配布されている音源を利用した．正しい文字を打った際の効果音の音源には，効果音ラボ[12]のキャンセル 1 を使用した．誤った文字を打った際の効果音の音源には，くらげ工匠のボタン 065[13]を使用した．

タイピング練習アプリに演出の効果を追加したシステムを，Unity を使用し実装した．あるキーを押してから次のキーを押すまでの時間の間隔，正しく打った文字数，ミスタイプ数を CSV ファイルで保存する．

本システムのハードウェア構成について説明する．まず，PC をプロジェクタに接続し，上述のタイピング練習アプリに演出を追加したシステムをプロジェクタからキーボードに投影する．キーボードは PC に無線接続し，音はプロジェクタから再生する．PC は FUJITSU LIFEBOOK SH90/W，キーボードは iclever キーボード&マウスセット IC-GK02，プロジェクタは Xperia Touch G1109 を採用した．システムの全貌を図 4 に示す．

図 1　タイピング練習アプリを投影した様子

図 2　タイピング練習アプリをプレイ中の様子

図 3　キーボードに効果映像を投影した様子

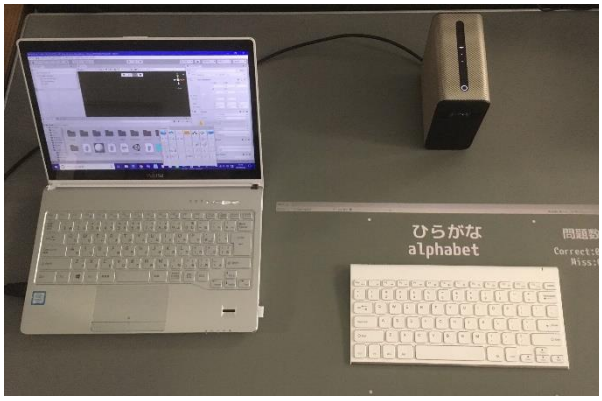

図 4　システムの全貌

4.　評価実験

4.1　実験の内容

今回開発したシステムを利用し，キーボードに演出を投影することでタイピングに影響が生じるかを評価するため実験を行った．実験は 21～55 歳の男女 22 名を対象として行い，事前アンケートとして性別，年齢と表 1 の項目を回答してもらった．

実験は，ア)，イ)，ウ)の演出ありと演出なしで本システムを用いたタイピング課題を 90 秒間ずつ，計 2 回実施してもらった．タイピング直後にそれぞれ印象評価のアンケートに回答してもらった．カウンターバランスを考慮し，光の演出有無の順序は被験者毎に無作為に変えている．印象評価に用いたアンケートの項目を表 2 に示す．この内，Q1～Q4 は演出有無に関わらず回答したもらい，Q5～Q6 は演出ありで実施したときのみ回答してもらった．選択肢には 5 段階のリッカート尺度を用い，「1：あてはまらない」，「2：あまりあてはまらない」，「3：どちらともいえない」，「4：ややあてはまる」，「5：あてはまる」とした．また，タイピング練習アプリを使用している間，あるキーを押してから次のキーを押すまでの時間の間隔，正しく打った文字数，ミスタイプ数を記録した．

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan

表 1　事前アンケートの内容と選択肢

質問内容	選択肢
タイピングに自信があるか (5 段階評価)	とても自信がある， 自信がある， どちらともいえない， 自信がない， とても自信がない
タッチタイプができるか (2 段階評価)	できる，できない
1 時間以上のタイピングを 要するタスクの頻度 (4 段階評価)	週 0〜1，週 2〜3， 週 4〜5，週 6〜7

表 2　アンケートの項目

	質問内容	選択肢
Q1	タイピング練習アプリを 使って楽しい	あてはまらない， あまりあてはまらない， どちらともいえない， ややあてはまる， あてはまる
Q2	継続して使いたい	同上
Q3	タイピングしやすい	同上
Q4	ホームポジションを 意識する	同上
Q5	演出が鬱陶しく感じる	同上
Q6	演出と手のかぶりが 気になる	同上

4.2　アンケート結果

印象評価アンケートの集計結果から，被験者が演出に対し否定的か，どちらでもないか，肯定的かを評価するためアンケートの集計結果を 3 段階に割り当てなおした．5 段階評価の 1，2 をまとめて「Neg.：否定的」，3 を「Neut.：どちらともいえない」，4，5 をまとめて「Pos.：肯定的」の 3 段階とした．アンケートの集計結果を表 3 に示す．この結果に対し，演出の有無に関する有意差検定を実施する．有意水準 5%でカイ二乗検定を適用し，Q1〜Q4 に対する p 値を算出し表 3 に示した．その結果，Q1，Q2 で有意差ありとなった．図 5 に 3 段階にした Q1 のアンケート結果のモザイク図，図 6 に 3 段階にした Q2 のアンケート結果のモザイク図を示す．本結果より，演出がない場合より演出がある方がタイピング練習アプリを使っていて楽しいと感じた人，継続して使いたいと感じた人が有意に多くなることを確認した．

表 3　印象評価アンケートの集計結果

	Q1		Q2		Q3		Q4		Q5	Q6
	演出なし	演出あり	演出なし	演出あり	演出なし	演出あり	演出なし	演出あり	演出あり	演出あり
Neg.	2	2	5	3	6	4	12	9	9	17
Neut.	9	2	11	5	8	7	3	8	5	0
Pos.	11	19	6	14	8	11	7	5	8	5
P 値	0.026 *		0.047 *		0.623		0.210			

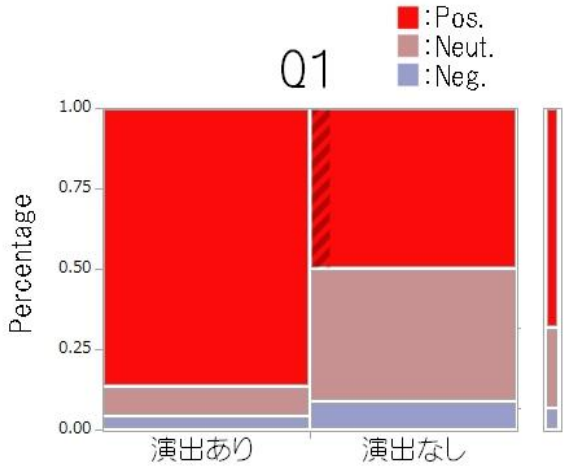

図 5　3 段階にした Q1 のアンケート結果

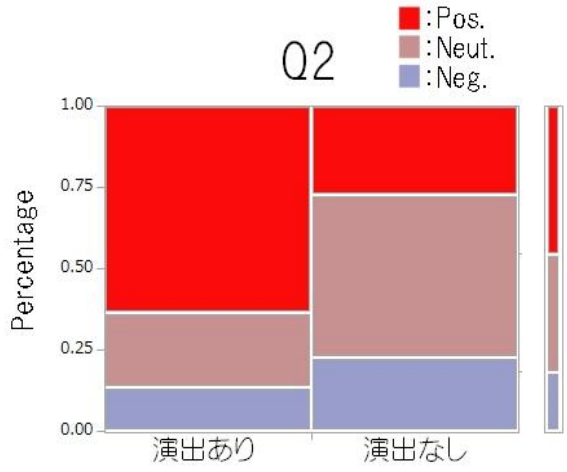

図 6　3 段階にした Q2 のアンケート結果

4.3　演出に関する評価

Q5 は「演出が鬱陶しく感じるか」を問うており，Neg. に該当する人が 9 人，Pos. に該当する人が 8 人とほぼ同数で，Neut. に該当する人は 5 人となった．Q6 は「演出と手のか

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan

ぶりが気になるか」を問うており，Neg. に該当する人が 17 人となった．したがって演出については，演出と手がかぶる事自体，すなわちプロジェクションマッピングを採用したことに関するデメリットは感じていないようであった．

事前アンケートの「タッチタイプができるか否か」と「タイピングに自信かあるか」という被験者の属性が，Q5，Q6 の回答に影響を与えるかに関して，同様にカイ二乗検定を適用し p 値を算出した．「タイピングに自信があるか」については，自信がある，どちらでもない，自信がないの 3 段階に割り当てなおした．5 段階評価のとても自信がある，自信があるをまとめて自信が「ある」，どちらともいえないは「どちらともいえない」，自信がない，とても自信がないをまとめて自信が「ない」とした．「タッチタイプができるか否か」を説明変数に，Q5 の回答を目的変数にした分析の結果，p 値は 0.191 で有意差は確認できなかった．モザイク図を図 7 に示す．有意差は確認できなかったものの，図より，タッチタイプができる人の方が演出を鬱陶しく感じる傾向が見て取れる．これはタッチタイプができる人がタイピング練習アプリを使用すると，演出なしの場合では問題文に集中することができるが，演出ありの場合演出が視界に入ることで視線が乱され，問題文だけに集中しづらくなるためだと考えられる．説明変数を「タイピングに自信かあるか」に変えて分析した結果，p 値は 0.872 となり有意差は確認できなかった．しかし，図 8 のモザイク図を見ると，同様にタイピングに対する自信が「どちらともいえない」に該当する人に比べ，自信が「ある」，「ない」に該当する人の方が演出を鬱陶しく感じる結果となった．2 つの説明変数「タッチタイプができるか否か」，「タイピングに自信かあるか」が Q6 の回答に影響を与えるか見たところ，有意差は確認できず，演出と手のかぶりが気になるかどうかは個人の感性が影響していると考える．

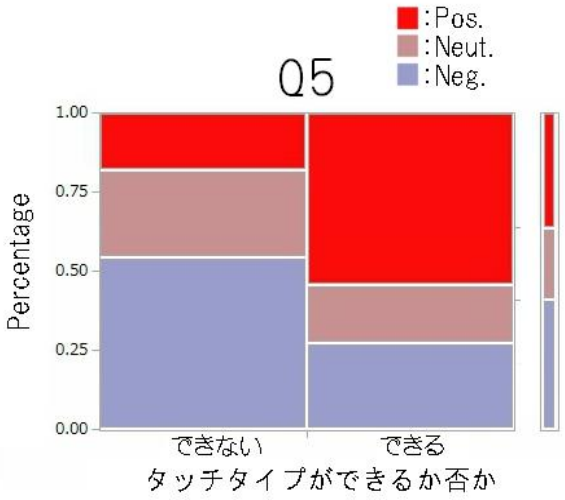

図 7　タッチタイプができるか否かに関する Q5 の結果

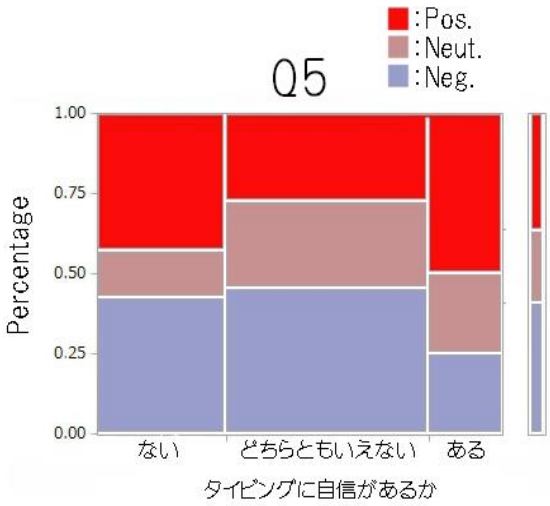

図 8　タイピングの自信に関する Q5 の結果

4.4　キーを押す時間の間隔

あるキーを押してから次のキーを押すまでの時間の間隔についてユーザごとに平均値を算出し，演出の有無に関する一元配置分散分析を行い，p 値を算出した．時間の間隔の平均値は，タイピング練習アプリの 2 単語目の表示から 75 秒分のデータに対し，各単語の 1 文字目の入力分を省いて算出した．p 値は 0.005 となり，演出の有無により入力間隔に有意差があった．図 9 は演出ありの場合と演出なしの場合の入力間隔平均値を表している．ひし形の縦の長さはグループ平均の 95%信頼区間を表し，ひし形の中央線はグループ平均を示している．図 9 より，演出なしに比べて演出ありの方が入力間隔の平均値が長くなった．

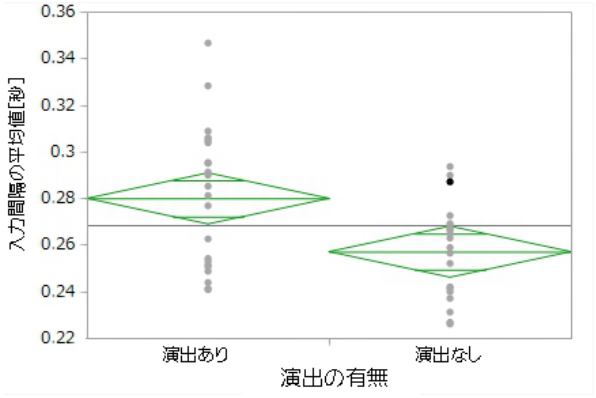

図 9　演出の有無による入力間隔平均値

4.5　ミスタイプ率

被験者の演出の有無に関するミスタイプ率を図 10 に示す．ミスタイプ率はミス数/総入力数×100[%]と定義した．演出ありの方が演出なしよりミスタイプが減ると予想したが，ミスタイプ率が減る人が 11 人，増える人が 11 人と半分に分かれた．演出の有無によってミス率に変化があるか

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan

一元配置分析を行ったが，p 値は 0.623 で影響を与えているとはいえなかった．

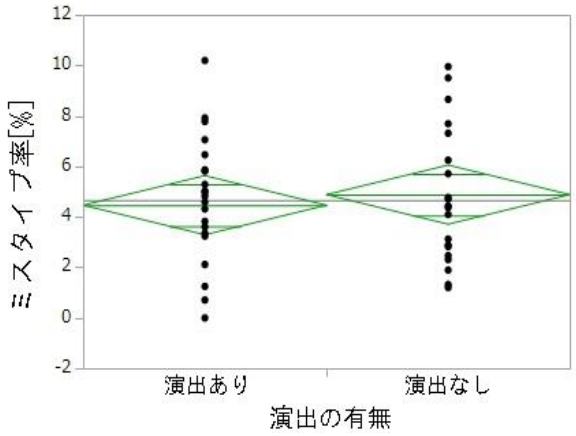

図 10　演出の有無によるミスタイプ率

4.6　被験者による定性評価

実験終了後に，被験者からもらったコメントの一部を以下に示す．

- タイピングが得意な人としては基本演出が邪魔である．ただし，「-」キーのようにタッチタイプがあいまいなキーを押すときのガイドには役立つかもしれない．
- 演出でキーの位置把握がしやすかった．「Z~M」の段の演出が見づらかった．
- 「-」などのうろ覚えのキーの位置がわかりやすく，タイプの修正がしやすかった．
- 演出が綺麗だった．楽しかった．
- キーボード以外の部分に演出があると嬉しい．
- 1 単語打ち終わるごとの演出が次に打つべきキーが光る演出と混ざって惑わされた．

以上より，キー配置があいまいなキーに対してだけキーを光らせること，演出の位置やデザインを工夫することでタイピングがしやすくなり楽しさ，使いやすさが向上すると考えられる．

5.　おわりに

本研究では，物理キーボードにプロジェクションマッピングを行うことで，初学者のタイピング習得を支援するインタラクションを開発した．タイピング練習アプリに，次に打つべきキーを点灯させキーの配置を知らせる演出や，正しい文字を入力すると効果映像が流れる演出等を付与した．

今回行った実験から，演出がない場合より演出がある方がタイピング練習アプリを使っていて楽しい，継続して使いたいと感じる人が有意に多くなることを確認した．

今回実験に参加した被験者集団は，1 分間に 100～300 字打てる人が多数を占めていた．そのため，演出がタイピングの集中の妨げとなり入力の間隔が大きくなったこと，常にキーボードの上に手を置いているため「次に押すべきキーが光る」という演出が見えにくく，入力速度の向上やミスタイプの減少につながらなかったと考えられる．今後はタイピング初学者に対して同じ評価実験を行い，タイピングを楽しいと思わせる，入力の間隔を小さくするなど，タイピング能力の向上を支援する効果について評価を行う予定である．また，将来的には今回開発したシステムに視線認識を導入し，キーボードを見た回数に応じて徐々に次に打つべきキーを光らせる演出を減らし，徐々に無意識下でキー配置を記憶する仕組みを導入する予定である．

謝辞　本研究は I-O DATA 財団の研究開発助成によるものである．ここに謝意を表す．

参考文献

1) 文部科学省：情報活用能力調査結果第 4 章 http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/__icsFiles/afieldfile/2015/03/24/1356189_04_1.pdf
2) 文部科学省：「教育の情報化に関する手引」作成検討会(第 4 回)配布資料，教育の情報化に関する手引」検討案，第 4 章情報教育 http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/056/shiryo/attach/1249670.htm
3) 濱崎大輔，長谷川達人：ウェアラブルデバイスを用いたタイピング時の指の認識，「マルチメディア，分散，協調とモバイル（DICOMO2019)シンポジウム」,Vol.2019，pp.1086-1091
4) T. Hasegawa，T. Hatakenaka，"Touch-typing detection using eyewear: toward realizing a new interaction for typing applications", Sensors，Vol. 19，Issue. 9，ID. 2022，pp. 1-15，2019.
5) T. Yumura，S. Nakamura，"Augmented Typing: Augmentation of Keyboard Typing Experience by Adding Visual and Sound Effects", In Proc. Of the AsianCHI Symposium 2019，Glasgow，5 May. 2019
6) 文字を撃ち出すプロジェクションマッピングキーボード cyberkeyboard, http://yumulog.hatenablog.com/entry/2016/03/05/212815
7) Projection Mapping on keyboard https://www.youtube.com/watch?v=iFFdU68WJ8Q
8) 土井麻由佳，宮下芳明:プロジェクションマッピングによる箏演奏学習支援システム，情報学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)，Vol. 2017，No. 15，pp . 1-8 (2017)
9) 秋山耀，宮下芳明：プロジェクションマッピングによる電子工作体験支援，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 20，No. 2，pp . 83-86，2015
10) ELECOM TK-PBL042 シリーズ https://www2.elecom.co.jp/peripheral/full-keyboard/tk-pbl042/
11) CASIO LK-511 https://casio.jp/emi/products/lk511/
12) 効果音ラボ https://soundeffectlab.info/sound/button/
13) くらげ工匠 ボタン 065 http://www.kurage-kosho.info/mp3/button65.mp32nd.

ⓒ2019 Information Processing Society of Japan