

# 円筒形タッチスクリーンの同時利用に関するユーザー調査

田中 宏和<sup>†</sup> 三輪 貴信<sup>‡</sup> 橋本 周司<sup>‡</sup>

早稲田大学大学院先進理工学研究科<sup>†</sup> 早稲田大学理工学術院<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

円筒形スクリーンのユーザモデルを研究した例は少なく、ジェスチャ操作によるインタラクションがいくつか報告されているのみである[1]。また、円筒形スクリーンにタッチ操作を組み合わせた「円筒形タッチスクリーン」に関する研究も極めて少ない[2]。

我々は、円筒形タッチスクリーンを開発するとともに、そのデジタルサイネージへの応用を目的として、円筒形タッチスクリーンに関するユーザモデルを構築することを目指している[3][4]。本論文では、Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)を用いた円筒形タッチスクリーンを製作し、そこに表示された短文を複数のユーザーに同時に読み取らせる実験を行った結果について報告する。実験結果から、短文の長さやタッチスクリーンの操作方法が、ユーザーの行動にどう影響するかを分析し、ユーザーが円筒形タッチスクリーンをストレスなく利用するために必要な条件を検討した。

## 2. 円筒形タッチスクリーン

ここでは実験に用いた円筒形スクリーンの構成とインタラクションの方法について述べる。

### 2.1. ハードウェア

図1に円筒形タッチスクリーンの構成を示す。スクリーンは、厚さ10mm、直径800mm、高さ600mmの透明アクリル樹脂製の円筒の内側にトレーシングペーパーを貼ったもので、リアプロジェクション方式で映像を表示する。円筒の中心下方に置かれたプロジェクタ (BenQ TH681) の映す像を上方に置かれた双曲面ミラーで反射させることによって全周囲に映像を表示可能である。アクリル円筒上下縁には、FTIRのための赤外線LEDがアクリル円筒の縁に沿って配列されており、外部に光が漏れないようにゴム材で遮光されている。LEDから出た赤外線は、通常はアクリル樹脂内を全反射するが、ユーザーがスクリーンをタッチしたときには屈折率の変化から赤外線が拡散する。FTIRでは、この赤外線の拡散をプロジェクタの上部に置かれたウェブカメラで検出することで、ユーザーがタッチした位置を認識する。

### 2.2. 映像の投影方法

図2に映像の投影に用いた光学系を示す。投影平面上の点  $p_s(x_{ps}, y_{ps})$  と円筒スクリーン上の点  $p_p(x_{pp}, y_{pp}, z_{pp})$  の関係は式(1)で表される。ただし、双曲面ミラーの頂点と原点の距離を  $b$ 、双曲面ミラーの焦点と減点の距離を  $c$ 、映像平面とカメラ位置間面の中心とカメラ位置間の距離

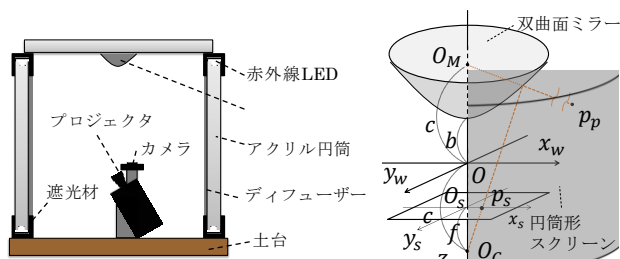


図1 スクリーンの構成。

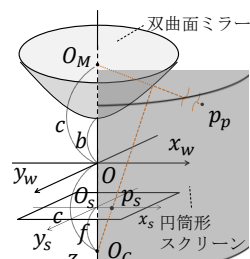


図2 スクリーンの光学系。

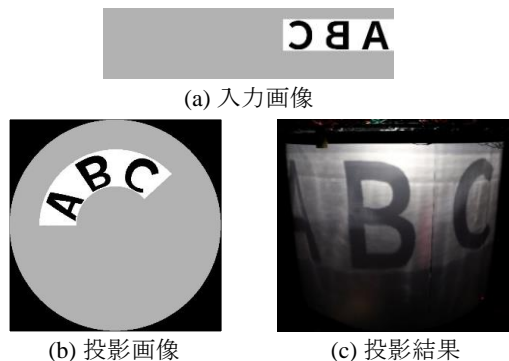


図3 全周囲画像の幾何変換。

を  $f$  とした。

$$\begin{cases} x_{ps} = x_{pp} f \frac{(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)z_{pp} - 2bc\sqrt{x_{pp}^2 + y_{pp}^2 + z_{pp}^2}} + x_c \\ y_{ps} = y_{pp} f \frac{(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)z_{pp} - 2bc\sqrt{x_{pp}^2 + y_{pp}^2 + z_{pp}^2}} + y_c \end{cases} \quad (1)$$

円筒形スクリーンへの映像の投影は、図3に示すように、長方形の入力画像を式(1)の関係を用いて円形の画像に変換することで行われる。

### 2.3. タッチインタラクション

タッチ操作の方法として、タップとスワイプの二種類を実装した。両者の判別には、ユーザーがスクリーンの表面をタッチした後の指先の移動距離を用いた。移動距離が予め決められた閾値より小さければタップと認識し、逆に閾値より大きければスワイプと認識する。ユーザーがスクリーンをスワイプした場合には、指先が移動した向きにスクリーンに表示された映像がスクロールする。そのときのスクロール速度はスワイプ時の指先の移動距離に比例し、スクリーン速度とスクリーンに接触してからの経過時間との積が移動距離となる。

## 3. 実験方法

複数人のユーザーがスクリーンを利用する際、タッチ操作の有無がユーザーの振る舞いに対してどのような影響を与えるかを調べる実験を行った。

User Study for Simultaneous Using of Cylindrical Touch Screen

<sup>†</sup>Hirokazu Tanaka, Graduate School of Advanced Science and Engineering, Waseda University

<sup>‡</sup>Takanobu Miwa and Shuji Hashimoto, Faculty of Science and Engineering, Waseda University

### 3.1. 実験参加者

作製した円筒形タッチスクリーンを床に立てて、実験には、20代の男女12名(6名：円筒形タッチスクリーン経験者、6名：未経験者)が参加した。

### 3.2. 実験タスク

実験では参加者に対して、円筒形タッチスクリーンに表示された短文を自由な方法で読み取るというタスクを、タッチ操作が可能な状態と不可能な状態のそれぞれで行わせた。ただし、タッチ操作が可能な場合であっても、実際にタッチ操作を使うかどうかは参加者が決めてよいとした。順序効果による影響を軽減するために、ユーザーを6人ずつに分けてタッチ操作可能な状態から始める集団と不可能な状態から始める集団で実験を行った。

実験では、円筒形タッチスクリーンを180度ずつ2つの領域に分割し、各々の領域に参加者を1名ずつ配することで、2名の参加者が同時に実験を行うこととした。

短文は全部で36種類(縦書き18種類、横書き18種類)ある。文章は読める向きにあらかじめ決められた速度で自動スクロールする。つまり、縦書きの短文はユーザーから見て左から右に、横書きの短文は右から左にスクロールさせた。タッチ操作が可能な状態では、スクリーンをタップすることで自動スクロールのオンオフを切り替えることができる。また、スワイプすることで、手動でスクロールさせることが可能である。短文の長さは、スクリーンの一周分、半周分、1/5周分の3種類である。2人の参加者には異なる文章を提示した。

参加者は短文を読み終えた後、読み取りが終了したことを合図し、その短文の内容を口頭で報告する。参加者が報告した内容が表示された短文と一致すれば正解とし、読み取りにかかった時間を記録した。その後、次の短文の読み取りに進んだ。

実験の様子は円筒形タッチスクリーンの両側にそれぞれ5m離れた位置に置かれた2台のカメラによって記録した。また、各実験条件のタスクが終わったタイミングで、参加者に対して半構造化インタビューを行い、タッチ操作の有無による短文の読み取りやすさの違いを、「1. タッチ操作があるほうが良かった」～「5. タッチ操作がないほうが良かった」の5段階で評価させた。また、他に必要なタッチ操作があるかを回答させた。

### 3.3. 解析方法

我々は実験結果として以下の2つを予想した。

- ① タッチ操作が可能な場合には、参加者はスクリーンの周囲を歩き回らずに、立ち止まってタッチ操作で画面をスクロールすることで短文を読み取る。
- ② タッチ操作で画面をスクロールさせた方が、短い時間で文章を読み取ることができる。

実験では、円筒形タッチスクリーンの操作履歴、カメラによる録画、半構造化インタビューの3種類のデータを収集することで検証した。操作履歴は、短文を読み取る際にユーザーがタッチ操作を用いた時間を明らかにするためのものである。カメラによる録画は、参加者の移動や体の動きなどの振る舞いを調べるためである。また、半構造化インタビューは、実験で観察された参加者の振る舞いと主観的な感覚の関係を知るためのものである。

これらのデータを用いて、正解時に読み取りに要した時間(回答時間)を、タッチ操作の有無と短文の種類

(1周、半周、1/5周)について比較した。また、録画した映像からタッチ操作の有無によってユーザーの振る舞いの変化するかを調査した。さらに実験結果と観察結果について半構造化インタビューの結果と照らし合わせて、円筒形タッチスクリーンを利用した際のユーザーの振る舞いについて考察した。これにより実験結果が我々の予想と合っていたかどうかを確認した。

## 4. 実験結果と考察

表1は短文の読み取りにかかった時間の平均を短文の長ささとタッチ操作の有無ごとにまとめたものである。バラツキの範囲は標準偏差で示した。文章の長さが半周以下では、タッチ操作の有無は結果に影響を及ぼさなかった。一方、文章の長さが1周分になるとタッチ有りの回答時間が長くなった。スクリーンの表示領域が180度しか無いため、表示されていない文字列を読むためにスクリーンをタップしてスクロールを一旦停止させた後、再度見えない部分を読むためにタップするというのを繰り返し行ったためである。実験中にユーザーがスクリーンをスワイプすることはほとんどなく、自動スクロールとタップによる一時停止を用いて文章を読んでいた。これは以前の研究[3]で仮説を立てたユーザーは身体的疲労が少ない行動を選ぶという仮説に一致する。

「タッチ操作可能な場合と不可能な場合で、どちらの方が文を読み取るのに便利と思ったか」という質問項目に対して、5段階評価の平均スコアが2.6、標準偏差が1.1という結果となり、強い偏りは見られなかった。評価の理由として「文章に理解できない部分があるとき自動スクロールを止められると良かった」等の文章の難しさに触れた内容を参加者のうち8名が報告した。また4名が自動回転の速度について調整したいと述べた。他のコメントとして「タッチをした際、近づいた分だけ視野が狭まる」「画面を拡大縮小する機能が欲しい」というコメントがあった。これらは、ユーザーがストレス無く利用するためには、個々のユーザーの読みやすい文字サイズをタッチ操作可能な状態と不可能な状態それぞれ別に決定する必要があることを示している。また、一読で理解することが難しい文字列を素早く読んでもらいたい場合は自動回転を停止もしくは減速させることを検討しなければならないことを示している。

表1 短文の長ささとタッチ操作の有無毎の回答時間(秒)

	1/5周	半周	1周
タッチ無	9.5(±5.8)	19.1(±11.4)	40.1(±20.7)
タッチ有	10.8(±7.3)	19.8(±12.3)	48.9(±23.4)

### 参考文献

- [1] G. Beyer et al.: In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1021–1030. (2011)
- [2] F. Alt et al.: In Proceedings of the International Symposium on Pervasive Displays, Article No. 17. (2012)
- [3] 田中, 他: ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 論文集, 19–22. (2016)
- [4] Y. Jefferson: In Proceeding of the ACM symposium on User interface software and technology, 115–118. (2005)