

# 画面内外をつなぐ連続的なスクロールに関する検討

高嶋 和毅<sup>1</sup> 進士 奈菜<sup>1</sup> 北村 喜文<sup>1</sup>

受付日 2015年6月30日, 採録日 2016年1月12日

**概要:** 本論文では, 限られたサイズのスクリーン上におけるスクロール操作をスクリーン外へも拡張することができる連続的なタッチスクロールを提案し検討する. 本手法では, トラッキングシステムによりモバイルデバイスやスクリーンの周囲空間での指の運動軌跡を取得することで, タッチスクロール操作におけるユーザの運動領域を拡張し, 長距離スクロール時のクラッチ回数を減らすことができる. これにより, 指や手が画面上を覆う時間 (オクルージョン) を減らし, 安定した画面の情報探索や素早い画面外コンテンツの獲得を実現することができる. 大画面タッチスクリーンとモバイルタッチスクリーンの2つの代表的なスクリーン環境において, 連続的なスクロールのパフォーマンスを, 一般的な従来手法 (ドラッグ, フリック) との比較を通して実験的に検証した. 実験結果から, 連続的なスクロールは従来手法よりも, クラッチ回数, 操作指によるオクルージョン, 操作負担を減らすことを確認することができた. それをふまえ, 今後の連続的なスクロールの設計指針や実装例についても議論する.

**キーワード:** インタラクションテクニック, タッチスクリーン, フィンガートラッキング

## An Empirical Study of Continuous Scroll Across On-and Off Screens

KAZUKI TAKASHIMA<sup>1</sup> NANA SHINSHI<sup>1</sup> YOSHIFUMI KITAMURA<sup>1</sup>

Received: June 30, 2015, Accepted: January 12, 2016

**Abstract:** We explore a scroll interface that seamlessly extends the user's motor space around the screen or device by using a tracking system. The extended motor space relative to the visual space of the screen could contribute reducing the chance of clutching and increasing content visibility during casual and smooth content browsing. We empirically validated the scroll interface by comparing with traditional scroll interfaces (Drag and Flick) in two major screen conditions. The first screen condition was a large flat touch display where a non-full-screen window was displayed in its center and surrounding touch space was used for detecting user's finger movement to continue the scroll action beyond the window edge. The second condition was a mobile device with an external 3D tracking system that enables to keep tracking user's mid-air moving finger in order to maintain the scroll action. Our study showed this scroll interface provides many benefits such as less clutching actions, occlusion-less content observations, and fast and easy off-screen acquisitions and also provides some design implications for future scroll technique beyond the screen edge.

**Keywords:** interaction technique, touch screen, around-device interaction

### 1. はじめに

スクロールは, スクリーン上へのタッチおよびドラッグによって, 表示された内容を幾何学的に遷移 (移動) させる操作である. これは主にスクリーン外のコンテンツをスクリーン内に移動させるためのものであり, 小さいスクリー

ン領域を持つモバイルデバイスに限らず, 大画面ディスプレイにおいてもそのスクリーン領域に収まらない大きさを持つコンテンツを表示する際に, きわめて頻繁に行われる.

タッチパネル上などの環境におけるタッチスクロールでは, スクリーン上の指の動きと表示コンテンツの動きは1対1に対応していることが多い. そのため, 小さいスクリーン環境では特に, コンテンツが画面サイズに比して大きくなるほどに (スクロールする距離が長くなるほどに), 指をタッチスクリーン内で置き換えるクラッチという操作

<sup>1</sup> 東北大学電気通信研究所  
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Miyagi 980-8577, Japan

が多くなる。クラッチは、コンテンツ閲覧のための本質的な操作ではないのに、スクリーン上に指がある時間が長くなることで遮蔽が問題になったり、コンテンツを間違えてタップする機会が増えてしまったりするなど、様々な問題を引き起こす。ドラッグ操作だけでなく、クラッチ操作の回数を減らすために物体の慣性運動を考慮したフリックも一般的になってきているが、細かな位置制御法が設計されていないため、特に画面を詳細に観察しなければならないタスクには向いていない [9]。ズームをうまく利用する方法も提案されているが、余分な操作が加わり情報の遷移が大きいため、必ずしも正確で素早いコンテンツの閲覧を助けるとは限らない [6]。一般的にクラッチは、対象とするコンテンツのサイズとそれを表示 (表示領域)・操作 (運動領域) するためのスクリーンのサイズとのギャップから生じるものである。マウスやタッチパッドなどの間接指示入力デバイスを利用する場合は、C-D (Control-Display) 比を調節してこの問題を軽減することができたが、スクリーンを直接タップするスマートフォンやタブレットでは大きな問題になりやすい。実際、大量のクラッチによって引き起こされた指の腱鞘炎が報告されるなど、スクリーン上での指の負担増については活発な議論がなされている [18]。

従来から、マウスやタッチパッドなどの環境におけるクラッチ操作の回数を減らそうとする研究は多いが [5]、最近では、タッチスクロールにおけるクラッチの軽減を図ったシステムが多く提案されている。たとえば、画面外のオブジェクトの位置情報の手がかりを画面内に提示して無駄なスクロールを減らす方法 [2] や、音声入力によるスクロールの継続・停止コマンド [22] などが検討されている。これらはクラッチを発生させている根本的な問題である運動領域の狭さに着目し、それを物理的に解決しようという直接的な試みではない。また、2章でまとめているように、デバイスの周囲をインタラクション領域として利用する研究 ADI (Around-Device Interaction) についても近年さかんに研究が行われているが、タッチスクロールにおけるクラッチを取り上げたものはない。ADIにおいては、画面外へ運動領域を拡張する方法はよく利用されているが、人の腕の可動範囲をできるだけ大きく利用して画面内での指の運動を画面外領域へ連続的につなぐアイデアについては検討されていない。

本研究では、クラッチ回数の増加を解消するために、デバイス周囲空間における指の位置を計測することによりユーザの運動領域を拡張し、従来は画面上でしか行えなかったドラッグによるスクロール操作を、画面内外で連続的に行うことができるスクロール方法を提案する (以後、連続スクロール)。連続スクロールは、2つの代表的な利用環境が想定される。1つ目は、デスクトップ GUI 環境におけるフルスクリーンではないアプリケーションウィンドウであり、連続スクロールを適用すると、タッチスクリーンが指



(a) 大画面タッチスクリーン上



(b) モバイルスクリーン上

図 1 画面内外にわたる連続スクロール

Fig. 1 Continuous scroll across on- and off-screens.

をトラッキングできる範囲内で、ウィンドウサイズを越えた連続的なスクロール操作が実現できる (図 1 (a))。これは、すでに市販されている GUI でもいくつか見られるスクロールであるが (たとえば、Windows 8.1)、比較的新しいスクロールスタイルであり、その効果は詳細に検証されていない。2つ目は、タブレットなどのモバイルディスプレイデバイスにおける新たなスクロールの提案である。モバイル用の小さいサイズを保持しながら、デバイスの周囲空間における指の動きをトラッキングすることで、運動領域を拡張し、画面内外をつなぐ連続的なスクロール操作を可能とする (図 1 (b))。連続スクロールを利用する最大の利点はクラッチ回数の減少であり、それによって操作負荷の軽減だけでなく、クラッチという余計な運動を減らすことで素早いスクロールが可能であり、また指が画面外へ移行した後はオクルージョン (指や手による画面の遮蔽) が発生しないために連続的で慎重な情報閲覧にも効果的である。

本論文では、連続スクロールについて、従来手法であるドラッグ、フリックと比較してユーザの操作がどのように改善されるのか実験的に調査し、連続スクロールの持つ基本的な特徴とその設計や実装に関して議論する。

## 2. ADI (Around-Device Interaction)

モバイルデバイスの運動領域を画面外へ拡張しようとする研究 ADI (Around-device interaction) が近年活発になってきた。SideSight [4] では、デバイスの左右の側面に近接距離センサを配列して、デバイスの周囲 (近接) 空間での指の位置情報を取得することで、間接的にデバイス内の表

示コンテンツを操作できる。Hoverflow [16] もほぼ同様であるが、赤外線センサの配列を工夫し、スクリーン上空での空間的なジェスチャ入力が可能である。Surround-see [25] は、スマートフォン内蔵カメラにパノラマレンズを取り付け、システムがデバイス周囲の環境や指の動きを画像処理により認識できる。磁気を用いたワイヤレスセンシングにより、モバイルデバイス周囲の空中で指によるポインティングを可能にした研究もある [11], [23]。これらの研究はいずれも、デバイスの周囲空間におけるユーザの操作指のトラッキングや動作認識技術に焦点を当てたものである。

ADIにおけるインタラクションパフォーマンスの基礎的検討もなされており、外部の3Dモーションセンサや大画面タッチスクリーンを用いたシミュレーション環境を利用するものが多い。例として、画面外のターゲットへのポインティング [8] や、デバイスの周囲空間へコンテンツを配置（保管）する研究 [10]、さらには、ズームとスクロールに関するナビゲーションタスクの検討などがある [14]。これらの研究は、ADIにおける基礎的な操作を実験的に評価するものであるが、画面内と画面外をシームレスにつなげたスクロールについての提案はなく、また、クラッチという問題について取り組んでいない。

### 3. 連続スクロールの特徴と利用シナリオ

クラッチ回数を減少させることができる連続スクロールは、様々な利点がある。たとえば、モバイルデバイスにおける連続スクロールでは、スクロール前半の運動は物理的なタッチスクリーンによって支えられた直感的かつ安定的なものである。また、後半の位置調整に関わるフィードバック運動では、画面外へ指が出た場合には、指のスクリーンによる支持を失うために多少不安定にはなるが、オクルージョンの少ない画面閲覧にスムーズに移行できるため、長距離スクロールにおける画面の視認性は他の従来手法よりも高くなる。

モバイルデバイスを利用する場合は、そのモバイル性や小型性が活きる場面（たとえば公共空間や電車内など）では、連続スクロールを作動させることは望ましくない。ユーザが十分なスペースを確保でき、かつコンテンツを詳細に閲覧する（たとえば長文を読む、地図を詳細に検証する）機会が生じた際に利用を始めることが望ましい。連続スクロールは、従来のドラッグのシステムと非常に高い互換性があり、画面内においてはフリックとの共存も可能であるため、そのような状況に応じた使い分けに十分対応可能である。ただし、本論文では、外部センサを用いたプロトタイプの実装にとどめているため、上で述べた実用上のスクロールモードの切替えなどについては6.4節で述べるような実装を詳細に検証したうえで考える必要がある。

## 4. 連続スクロールの検証実験

### 4.1 実験概要

本実験では、連続スクロールが一般的なスクロールタスクにおいてどのようなパフォーマンスを持つのかを評価する。評価指標は、一般的なタスク完了時間とエラーだけではなく、クラッチ回数、視認性（オクルージョンの割合）、作業負荷やオーバシュートなどについて、スクロールにおける重要な複数の測定項目を用いた。

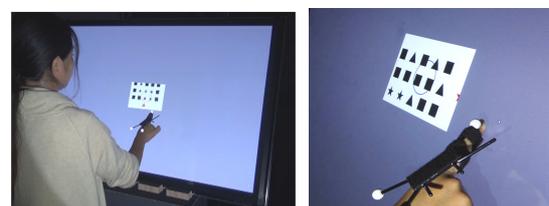
連続スクロールは、利用しているデバイスやアプリケーションウィンドウにおける周囲の状況やオブジェクトの存在などに依存する可能性が高いが、本実験は、スクロール操作に影響する周囲の障害物など（例：壁、コップ、スクリーンを持つ手、その他）の外的要因については考慮しない。加えて、モバイルスクリーンの環境での連続スクロールを実現するために、外部の高精度3Dモーショントラッカを用いた。モバイルデバイスにインストールできる3Dトラッキングシステムの開発例はいくつかあるが、いずれも本実験で目的とする連続スクロールという新しいスクロールシステムの基礎的な実験には精度や計測範囲が不十分なためである。

### 4.2 実験デザイン

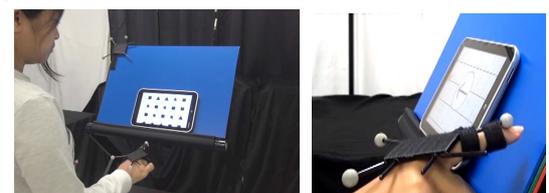
本実験は、環境（大画面、モバイル）、タスク（ターゲット獲得、視覚探索）、スクロール手法（連続スクロール、ドラッグ、フリック）、ターゲット距離（短（9 cm）、中（17 cm）、長（24 cm））の4つの実験要因を用いた。以下では、この4要因について説明する。

#### 4.2.1 環境

図2に、本研究で想定した2つの主な連続スクロール利用環境を示す。大画面とモバイルという代表的なこの2環境を実験要因として扱い、両者を比較することで、モバイ



(a) 大画面タッチスクリーンと指のトラッキング



(b) モバイルスクリーンと空中の指のトラッキング

図2 実験の様子

Fig. 2 Experimental settings.

ルスクリーンにおける空中操作の難しさなどを議論する。

大画面タッチスクリーンを用いた実験環境は、図 1(a) に示すように、大画面タッチスクリーン上で、フルスクリーンではないウィンドウに対して連続スクロールを適用する場面を想定して設定した。このような場面は、壁面ディスプレイや人の視野角を大きく超えるサイズのディスプレイにおいて頻発すると予想される。本実験では、最近、PC用としても利用されつつある 50 インチ (w: 111 cm × h: 63 cm) のプラズマディスプレイ (Panasonic PDP TH-P50ZT5) を用いた。これに外付けのタッチスクリーン (PQ-LAB's touch glass) を載せ、鉛直軸に対して 30° 傾けて設置した。この傾きは、仰角チルト機能は最近のディスプレイマウントに標準に搭載されていることと、実験参加者の快適なタッチ操作を助けるために設定した。実験条件を簡単にするために操作対象のアプリケーションウィンドウは 1 つとし、図 2(a) に示すように長方形として画面中央に表示される。その長方形の大きさは、後述するモバイルスクリーンの実験環境で用いる 8 インチのタブレット (w: 10.8 cm × h: 17.2 cm) と同じサイズとした。白い長方形外の領域は画面外を意味し、灰色で塗りつぶして実験用のコンテンツは何も表示されないようにした。タッチ操作が画面内 (白い長方形) から外 (灰色) へ移行するときにも物理的なベゼルや突起物はなく、画面内外での指のトラッキング方法は PQ Lab driver と Windows 8 APIs を用いて同一である。実験参加者はスクリーン正面に向かって立ち、右手の人差し指または中指 (実験参加者が選択可能) に 3 次元モーションセンサのマーカを操作や画面閲覧の邪魔にもならないように装着してタッチスクリーン上のコンテンツを操作した (図 2(a)) したがって、実場面においては、ウィンドウの位置や配置はユーザやそのときの状況次第であるものの、図 2(a) に示す実験環境は図 1(a) に示す場面の主要なものをほぼ再現できていると考える。

モバイルスクリーンを用いた実験環境では、図 1(b) に示すシーンを想定している。この図では、モバイルディスプレイの利用場面において、長距離スクロールに関する指の動きを、モバイルデバイスのサイズに制約されることなく画面外へと拡張することを示している。本条件では、大画面タッチスクリーン環境で設けた白い長方形と同じ大きさの 8 インチのタブレット PC (Toshiba Dynabook Tab) を用い、鉛直軸に対して 30° 傾けて固定設置した。参加者がモバイルを把持せずに固定したのは、先に述べた大画面環境との条件を合わせることや、本研究の主題である画面内外をつなぐ指の運動を安定して計測するためなど様々な目的があった。また、傾きについても、大画面環境と同様に、タッチしやすい、見やすい配置を考えたものである。モバイルデバイスを簡易スタンド (カバーなど) などで傾けて固定することは一般的な利用形態であるため、本環境はその状況をシミュレートしていることになる。ただし、

タッチしやすくスクリーンが見やすい位置に配置されているという意味では、ディスプレイを把持する場面とそれほど離れたものではなく、デバイス把持時のパフォーマンスをある程度予測することも可能である。大画面タッチスクリーンの環境と同様に、実験参加者はタブレットに向かって立ち、右手の人差し指または中指に 3 次元モーションセンサのマーカを装着してタッチスクリーンのコンテンツを操作した (図 2(b))。画面内での指先の動きはタブレットに搭載されているタッチスクリーンによって計測され、画面外での指先の動きはその指に装着したマーカの位置を計測した。本実験で用いたタブレットには 1.2 cm (水平方向) あるいは 2.0 cm (垂直方向) のベゼルがあったが、その影響は無視し、操作指が画面の端に到達した直後にデバイスのタッチスクリーンから 3D モーションセンサによる指先位置の計測方法を切り替えた。

本実験において、タスク実行、実験用コンテンツ表示、3 次元モーションセンサからの指の位置データ取得を管理するソフトウェアを C# で実装した。このソフトウェアは、マーカを持つ指の位置の 3 次元情報を 60 Hz で取得し、クランチ回数、スクロールにあたっての指の総移動距離やオクルージョンの時間なども算出した。

#### 4.2.2 スクロール手法

本実験では、最も単純なスクロール方法であるドラッグと、現在市販の商品 (例: Window8, iOS, Android) や関連研究 [1], [17] でも広く使われている慣性フリックを比較対象として用いた。フリックについては、スクロールに関する最新技術 CycloPan と同等の効率であったとも報告されており [17], ベースラインとしては妥当である。ただし、フリックは様々な実装が存在し、パラメータの設定に関する研究も行われているが [1], [19], [20], 本実験では WPF APIs を用いてパラメータを調整することにより、タブレットの業界で高いシェアを持つ iPad でのフリックの挙動と同じになるように実装した。実際に、予備実験から本実験まですべてを通して、実験用に実装した 3 フリックの挙動について違和感をいただいた参加者はいなかった。ドラッグの条件では、画面表示の移動量と、指で画面上をドラッグする距離の比は 1 対 1 である。

モバイルスクリーンでの実験環境において、連続スクロールを行うときは、空中でスクロール操作の終点をシステムに伝える必要がある。いくつかの方法が考えられるが、本実験ではジェスチャを用い、操作指を手前 (体方向) に閾値 5 mm/sec を超える速さで動かした (引きあげるような動き) 場合にスクロール操作を終えたと判定した。この閾値速度は、参加者が意図せずにスクロール操作を終えてしまうことを防ぐために予備実験をふまえて決定した。

#### 4.2.3 タスク

スクロールは基本的には画面外のものを獲得するために行われるものであるが、目的によってスクロールの速さや

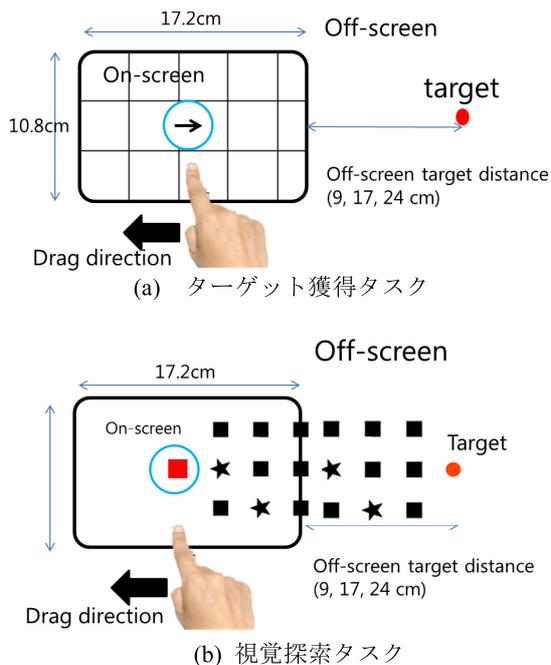


図 3 タスクデザイン  
Fig. 3 Task design.

操作の方法は変わる。本実験では、簡単な画面外ターゲット獲得タスクと、より画面の理解を必要とする視覚探索タスクの2つを用いた。

ターゲット獲得タスクとは、ユーザが画面外のターゲットの大まかな位置を知っているとき、または何がターゲットであるかが明らかである場合における、目的地に素早く到達することを重視したスクロールである。実験では、図 3(a) に示すように、タスク開始時にターゲットが存在する方向が画面中央に矢印で示される。実験参加者は与えられたスクロール手法を用いて、画面外にある赤いターゲットを画面中央にある半径 2cm の青い輪の中に入れるという試行を繰り返す。ターゲットを画面内に獲得後にタップをさせるようなタスクも考えられるが、ウェブサイト、長文閲覧などにおけるスクロール場面を考えると画面をタップすることより、視覚的に情報を画面内に獲得することの意味が大きいため、本実験では視覚的なターゲットの獲得をスクロールの達成と定義し、このようなタスクを設定した。次に述べる視覚探索タスクも同様の考えに基づいている。

視覚探索タスクでは、文章を読みながらスクロールをしてゆく場合など、画面内の情報を注意深く得る必要があるときのスクロールを想定している。このタスクでは、3種類の黒いシンボル（正方形、星形、正三角形）が登場する。タスク開始時に、まず、赤色の記号が1つ画面中央にターゲットシンボルとして表示される。図 3(b) に示すように、黒色の3種のシンボルは、始点（画面中央）から画面外のターゲットまでに、ランダムに見えるように敷き詰められており、実験参加者は、スクロールをしながらター

ゲットシンボルと同じ形の記号の個数を数える。そして、ターゲット獲得タスクと同様に、赤色のターゲットを画面中央にある青い円に入れたときにタスクが終了となり、その後、数えた記号の数を口頭で実験者に伝える。黒色のシンボル群の中にターゲットシンボルが含まれる出現数は、少ない場合（2–4個）と多い場合（5–7個）の2つのレベルを用意して、これらのレベルの出現数はバランスをとった。このタスクは、画面全体を注意深く閲覧する必要がある場面をシミュレートするために設定した。

#### 4.2.4 ターゲット距離

ターゲット距離は、スクロールに関する研究では手法の有効範囲を決定づける重要な要因である [12]。本実験では、最長の条件は、先行研究 [10] が提案する ADI の有効範囲として 40 cm 以内にすべきという知見を採用した。最短の条件は、本実験で用いる 8 インチデバイスにおいて、どの方向に対しても、1回のドラッグ（クラッチなし）ではタスクを完了できない状態を考え決定した。その結果、図 3 に示すように、画面内とするスクリーンの端から赤色のターゲットは 9, 17, 24 cm の3つの距離に配置され、それぞれの条件のタスク終了に要する時間などを評価した。

### 4.3 実験手続き

実験参加者は、日常的にスマートフォンやタブレットを利用する、右利きの 21 歳～27 歳の 12 人（男性 8 人、女性 4 人）の大学生および大学院生である。本実験は被験者内実験であり、全 6,912 データ（12 人 × 2 環境 × 2 タスク × 3 手法 × 3 距離 × 16 反復）を取得した、ここでの反復回数は、ターゲット出現方向の 4 方向（上下左右）を 4 回反復したものである。

実験順序は、参加者 12 人に対して、環境とスクロール方法における 6 パターンを軸にしてカウンターバランスをとった。ターゲット距離および反復要因であるターゲット出現方向はランダムに発生した。実験に入る前に、実験参加者がそれぞれのスクロール方法に対して操作に慣れるまで、最長 5 分間の練習時間を設けた。1つの実験環境、スクロール方法での実験が終わるたびに、実験参加者には主観評価と NASA-TLX のアンケートに答えるように求めた。実験は 1 人あたりタスク遂行、アンケート、十分な休憩をすべて含めて約 120 分かかった。

## 5. 実験結果

全データのうち、スクロール回数とタスク完了時間に対して Grubbs-Smirnov 検定を用いて、1.2% を外れ値として取り除いた。この異常値の原因は、実験参加者がターゲットを完全に見失ってしまうことがあったことと、タッチ検出のための PQLab と OptiTrack から照射される赤外線が干渉を起こすことがあったためである。いずれも稀であり、実験結果の結果や解釈には影響しない。連続スクロールの

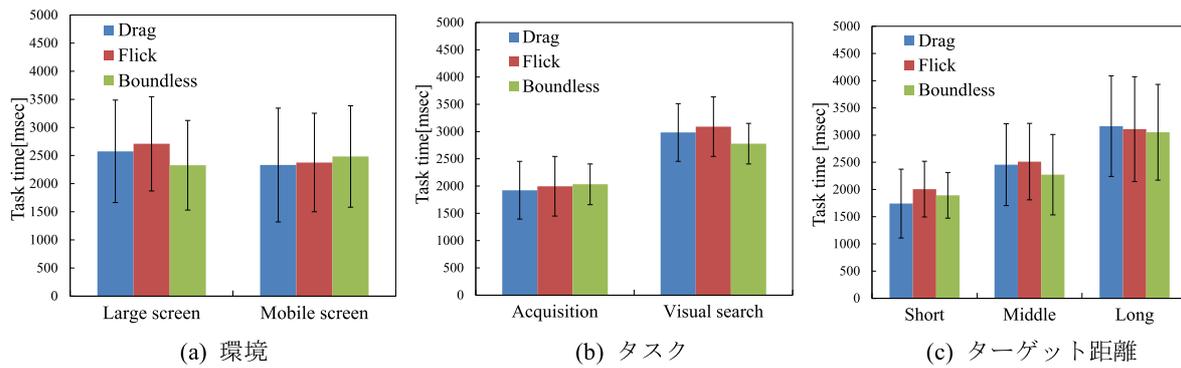


図 4 タスク完了時間

Fig. 4 Task completion time.

パフォーマンスを評価するため、1タスクごとに完了時間、スクロール回数、操作指の総移動距離、オーバシュート判定、操作指によるオクルージョンと、環境およびスクロール方法ごとに主観評価、NASA-TLXを取得し、それらについて、先に述べた四要因（環境、タスク、スクロール方法、ターゲット距離）を用いて分散分析を行った。

本実験では、連続スクロールの操作はスクリーン上のタップ操作からのみ始めることができる。そのため、実験参加者がデバイスやスクリーンの周囲空間の空中で意図しないタイミングで操作を終了してしまった場合には、再びスクリーン上に戻り、スクロール操作を始めなければならない。これにより、タスク完了時間、スクロール回数は増加することになるが、異常値として処理した極端な事例以外は、連続スクロールの本質的な課題として解析に含めた。

以降で述べる分散分析結果は多くの交互作用が出て複雑であった。主要な統計量は記述するが、可読性を考慮し、主効果を軸に重要な結果を取り上げて議論する。

## 5.1 各測定項目の結果

### 5.1.1 タスク完了時間

分散分析の結果、タスク完了時間は、タスク ( $F_{1,11} = 53.9, p < .001$ )、ターゲット距離 ( $F_{2,22} = 470, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .831$ ) に主効果が表れた。また、環境  $\times$  手法 ( $F_{2,22} = 12.6, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .533$ )、手法  $\times$  ターゲット距離 ( $F_{4,44} = 59.7, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .458$ ) において交互作用が確認できた。実験中の環境ごとのタスク完了時間の平均を図 4(a) に示す。図中、Boundless は画面内外を隔てた連続スクロールによる結果を意味する。同図からは、ドラッグとフリックでは、環境の違いは大きく影響しないが、連続スクロールでは、大画面環境と比較してモバイル環境において遅くなるのが分かった。得られたタスク  $\times$  手法、手法  $\times$  ターゲット距離の交互作用の関係をそれぞれ図 4(b) と (c) に示す。図 4(b) に示したように、連続スクロールが視覚探索タスクにおいて他よりも早くタスクを完了できる傾向は見られたが、統計的な有意差は見られなかったが、全体として、視覚探索タスクがター

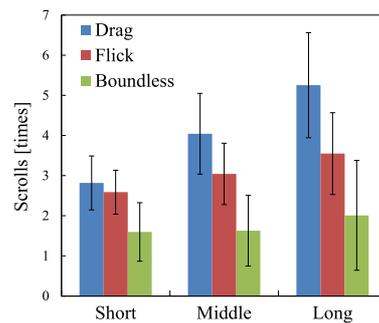


図 5 スクロール回数

Fig. 5 The number of scrolls.

ゲット獲得タスクより有意に時間がかかっていたことは確認された。図 4(c) は、ターゲット距離とタスク完了時間の関連であり、重要な結果を示している。ここから、連続スクロールは、ターゲット距離が中距離 (17 cm) であるときにドラッグおよびフリックより操作が有意に速い ( $p < .01$ ) ことが分かった。

### 5.1.2 スクロール回数

分散分析の結果、スクロール回数は、環境 ( $F_{1,11} = 8.67, p < .050, \eta^2_{\text{partial}} = .441$ )、スクロール手法 ( $F_{2,22} = 24.5, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .690$ )、ターゲット距離 ( $F_{2,22} = 463, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .977$ ) に主効果が確認できた。また、タスク  $\times$  ターゲット距離 ( $F_{2,22} = 15.3, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .582$ )、スクロール手法  $\times$  ターゲット距離 ( $F_{4,44} = 32.1, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .745$ ) において交互作用が見られた。そのうち、手法  $\times$  ターゲット距離の関係を図 5 に示す。全体として、連続スクロールは (1タスクあたり 1.76 スクロール) は、フリック (3.06 スクロール) とドラッグ (4.03 スクロール) より有意にスクロール回数が少なかった。同図に示すように、連続スクロールは、ターゲット距離が大きくなるほど、ドラッグやフリックはスクロール回数も大きくなるのに対し、連続スクロールは短距離と中距離では変化がなかった。このことから、連続スクロールは短、中距離ではほとんどのタスクを 1-2 回のスクロール操作で終えていたことが分かる。長距離の条件では、実験参加者が空中で意図しない操作の終了をしてし

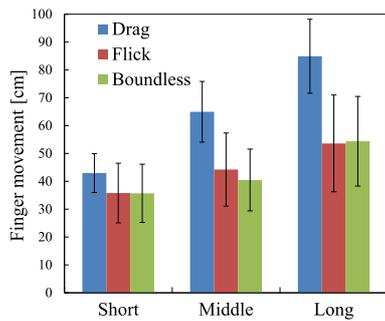


図 6 指の総移動距離

Fig. 6 Finger movement.

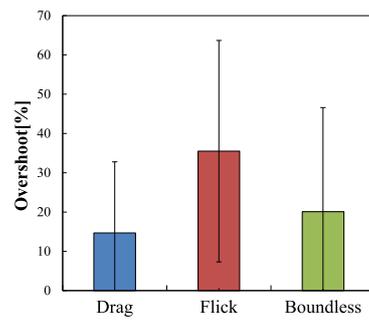


図 7 オーバシュート

Fig. 7 overshoot.

まうことが何件もあり、それによってスクロール回数の平均値が増加した。

### 5.1.3 指の総移動距離

本実験では 1 タスクを完了するまでの指の動きを、3D モーションセンサにより取得し、そのデータをもとに指の移動距離を算出し、分散分析を行った。この指の総移動距離とは、スクロール操作時、クラッチ動作時両方の指の移動距離を含んでいる。我々は、この測定値は、操作時の身体的操作負担を調べるための重要なものと考えて計測した。

指の総移動距離は、スクロール手法 ( $F_{2,22} = 28.4, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .721$ ), ターゲット距離 ( $F_{2,22} = 324, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .967$ ) に主効果が確認できた。また、タスク  $\times$  スクロール手法 ( $F_{2,22} = 6.69, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .378$ ), タスク  $\times$  ターゲット距離 ( $F_{2,22} = 32.2, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .756$ ), スクロール手法  $\times$  ターゲット距離 ( $F_{2,22} = 15.3, p < .01$ ), そして、スクロール手法  $\times$  ターゲット距離 ( $F_{4,44} = 38.3, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .777$ ) において交互作用が見られた。

この測定指標は実験遂行に関わる多くの情報（たとえば、不必要に大きなスクロール終了ジェスチャ、失敗事例など）を含んでいるために、分散分析の結果は複雑なものとなった。以降では、主効果を重点的に報告する。図 6 に示したように、ドラッグにおける指の総移動距離が一番大きく、ターゲット距離に応じて線形に増加する傾向が見られた。一方で、フリックと連続スクロールの間には差がほとんど見られずターゲット距離の影響もあまり受けていなかった。TukeyHSD の多重比較によると、連続スクロールとフリックは短、長距離では有意差がなく、中距離では連続スクロールの方が指の総移動距離は小さくなった。フリックの指の移動距離は、その特徴から非常に少ないと予想できるものであったが、連続スクロールでそれと同程度の指の移動距離であった。これは少ないスクロール回数で長距離スクロールができるフリックの特徴からは意外な結果であった。この原因として考えられるのが、ドラッグ操作の終盤にフリックがなされるという動きが多かったことである。実験の様子を観察した結果、多くの実験参加者は要求されている精度の高いスクロールを達成するために慎重な動きをしており、比較的長い時間タッチ面を触ってドラッグをした後にフリック機能を利用していた。また、その後の動き（クラッチ）も指先だけの小さなものではなく、手首も含めた比較的大きいものも多く見受けられた。多くのデバイスでのフリックはドラッグと併用されることが多いため、今回観察された挙動自体は不自然ではなくフリックの持つ現実的なパフォーマンスといえる。ただし、このことから、指の移動量だけではなく、今後は、空中でどのような動きをしたか、インタラクションに寄与する動きか、またはインタフェースの特徴を活かした操作ができたか、等の観点で検証していく必要がある。

また、本計測指標においても、連続スクロールは中距離において最も良いパフォーマンスであった。

### 5.1.4 オーバシュート

タスク遂行時に、ターゲットが画面中央の円を通り過ぎてしまうようなスクロール操作が行われた回数を調べ、それを操作の正確さの判断要因として検討した。分散分析を行った結果、オーバシュート判定は、環境 ( $F_{1,11} = 6.08, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .356$ ), タスク ( $F_{1,11} = 88.2, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .889$ ), スクロール手法 ( $F_{2,22} = 38.7, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .779$ ), ターゲット距離 ( $F_{2,22} = 45.1, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .804$ ) に主効果が確認できた。スクロール手法についてのオーバシュートの解析結果を図 7 に示す。TukeyHSD の多重比較から、フリックはドラッグと連続スクロールより有意に多くのオーバシュートを発生させていることが確認できた。これはフリックの本質的な特徴が現れているといえる。

### 5.1.5 操作指によるオクルージョン

本実験では、タスク遂行中に、実験参加者の操作指が画面上にある時間を調べ、それを指がオクルージョンを引き起こしていた時間と見なした。オクルージョン時間そのものは、視覚探索タスクなど参加者の視覚や探索精度にどのような影響を与えていたかを直接測るものではないが、画面内の情報を 100%獲得することが不可能な時間として重要な指標として考えている [24]。

ここでは、タスク完了時間に対するオクルージョンを引き起こしていた時間の割合を算出し、分散分析をした。そ

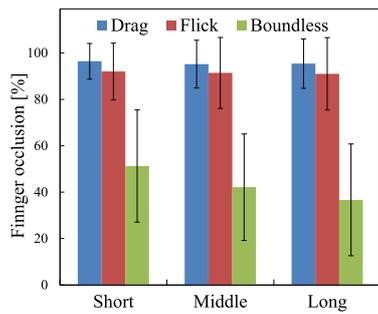


図 8 オクルージョンの時間  
Fig. 8 Finger occlusion time.

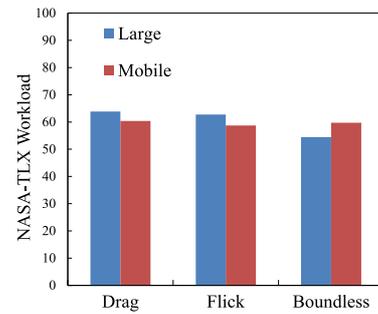


図 9 NASA TLX  
Fig. 9 NASA TLX.

の結果，環境 ( $F_{1,11} = 16.1, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .595$ ), スクロール手法 ( $F_{2,22} = 41.1, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .789$ ), ターゲット距離 ( $F_{2,22} = 59.1, p < .01, \eta^2_{\text{partial}} = .844$ ) の主効果が確認できた。様々な結果があるが，ここで最も注目すべき点は，図 8 から分かるように，連続スクロールは他のスクロール手法に比べてオクルージョンを大きく減少させていることである ( $p < .001$ )。この結果は，連続スクロールの原理上予想できる結果であるが，重要な特徴が客観的に示された。また，ターゲット距離が大きくなるにつれてオクルージョン時間の割合を 50%以下まで減少させることが確認できた。

#### 5.1.6 視覚探索タスクの正答率

視覚探索タスクにおいて参加者が口頭で回答したシンボル数の正答率について解析した。それぞれのタスク正答率の平均は，連続スクロール，ドラッグ，フリックのそれぞれで，90.9, 91.9, 89.0%であり，統計的有意差が認められるものではなかったが，フリックは他 2 手法よりも正答率がやや低かった。連続スクロールは，従来の安定したドラッグと同等の滑らかな情報の閲覧ができることが分かった。いずれも高い正答率であり，全実験参加者が要求どおりのタスクを実践したことを示している。

#### 5.1.7 NASA-TLX と主観評価

NASA-TLX を用いた分析結果によると，連続スクロールは，大画面タッチスクリーンにおいて，フリックよりも精神負荷を減少させることが分かった。図 9 には，NASA-TLX の全体負荷の平均値を，環境 × スクロール手法を区別して示している。環境とスクロール手法の二要因分散分析を実施した結果，交互作用が検出された。デバイスごとの多重比較検定の結果，連続スクロールは大画面タッチスクリーンにおいては Drag より有意に負荷を減少させることが分かった ( $P < .05$ )。連続スクロールは Flick より 8%ほど負荷を軽減できていたが統計的有意差は見られなかった ( $P < .08$ )。一方，モバイルスクリーンにおいてはすべての手法で差はなかった。したがって，連続スクロールは，大画面環境においては既存手法よりおおむね低負荷でのスクロールを実現でき，モバイル環境においては既存操作と同等の負荷であったことがいえる。実験後のインタビューによ

ると，モバイル環境における空中での操作は，何人かの実験参加者は，困難な操作だと感じていた。しかし，空中での操作を要するとしても，連続スクロールの総合的な負荷は物理的な接触を持つ既存操作手法とあまり変わらなかったことは注目すべき点である。

アンケートによる主観評価からは，連続スクロールは，大画面タッチスクリーンにおいて他の操作手法より一般的に好かれていた。しかし，モバイルスクリーンにおいてはそれほど大きな利点は見られなかった。多くの実験参加者が連続スクロールを用いることに興味を示し，他の手法よりも操作を楽しんでいた。また，今回の実装に対して操作時に強い違和感を持つ人もいなかった。

インタビューを通して，画面全体を見る必要がある視覚探索タスクにおいて，実験参加者はオクルージョンのない連続スクロールを好んでいたことを確認した。今回のモバイルスクリーンでの実験において，画面内外で操作のセンシング方法が切り替わることに気付いた人もいた。本実験では致命的なものではなかったが，変化に戸惑うことがあれば操作の終了や，精神負荷に影響すると思われる。また，ドラッグとフリックは日常的に広く用いられているスクロール手法であるが，スクロールしながら画面に表示される情報を詳細に見る場面では，フリックは不向きであり，ドラッグを利用していると回答した実験参加者は多かった。

## 6. 議論

### 6.1 実験結果

本研究の実験から，連続スクロールは，ドラッグやフリックを用いた操作よりもクラッチ回数の減少を可能にすることが分かった。それにより，関連する評価指標であるタスク完了時間，指の総移動距離，操作指によるオクルージョンも改善できることが分かった。また，連続スクロールがドラッグと同等の正確さを持つスクロール方法であることも確認できた。

連続スクロールは，大画面タッチスクリーンとモバイルスクリーンとで異なる効果も得られた。最も異なる結果はタスク完了時間であり，連続スクロールをモバイル環境で利用すると，大画面と比較してタスク完了時間は有意に長

くなる。これは、人間の腕の構造上、平面に触れることなく空中で正確な軌道を描いて指先を操作することが難しいためである。この点は、3DUIの研究分野において同様の議論は行われてきている [3], [13]。本実験においても、連続スクロールはターゲット距離が長距離であるときにはそのパフォーマンスは下がっており、中距離で一番良い結果が得られた。この大画面ディスプレイとモバイルとの比較は、指が物理的に接触しているかどうかの違いについても示している。たとえば、タスク完了時間と、図 9 に示す NASA TLX の結果では、連続スクロールは、大画面のほうがモバイル（空中で指が動く）より効果的とはっきりと表れている。モバイルを机の上で利用し、画面外に物理的な面を適用した場合はこの問題はかなり軽減されると予想されるが、連続スクロールの明確な課題といえる。その解決方法は、6.3.1 項で述べる仮想的な C-D 比の変更や背面の利用などが考えられる。

本研究の特徴的な点として、多くの指標によってスクロールの性能を評価しようとするところがある。たとえば、タスク完了時間に関して（図 4(b), (c)）、単純なタスク（たとえば、ターゲット獲得タスクや短距離の条件）においては、連続スクロールがドラッグやフリックと比較して有意に早くタスクを完了できていたわけではなかった。ドラッグとフリックの圧倒的なシェアを考えると理解できる結果である。しかし、連続スクロールは少なくとも 1 つの指標において、それらより優れた結果を得ることができている。スクロールは日常的なものであるが単純なものだけではなく、深い認知的負荷を引き起こすという難しい課題もある。そのため、タスク完了時間のみを軸に性能を判断するのではなく、本研究で提案しているように、タッチデバイス独特の指標であるオクルージョンや指がどのように動いたかなど、運動に関する詳細な指標を導入して様々な角度から解析することは有意義と考える。本研究で用いた指標は、効率、精度、負荷、主観的好みなどポインティングやスクロールインタフェースを評価するために一般的に用いられるものである。実験結果からは、これらによって、予想外のものも含めて連続スクロールの様々な特徴などを見いだすことができおり、連続スクロールを評価検証するための指標としてはすべて必要であり妥当なものであったと考えられる。しかし、その中でいくつかの指標間には関連がある可能性も見られた、たとえば、時間、スクロール回数、指の移動距離などはターゲット距離という要因に対して似た傾向を示しているため、指標を減らして重要な指標から本質的な有効性を予測する方向性も考えられる。しかし、冒頭で述べたように、タッチスクロールは高頻度利用され、腱鞘炎の懸念などを考えると、指標を減らした予測手法を考える段階ではなく、運動に踏み入ったより詳細な解析にいくことにもより重要と考える。たとえば、今回の実験結果や観察からは、より細分化した指標と

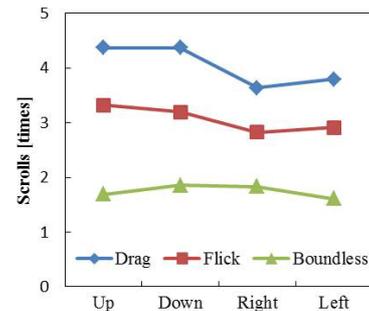


図 10 角度によるスクロール回数

Fig. 10 The number of scrolls.

して、指の保持時間や指の速度波形などを用いて詳細な運動のメカニズムや負荷を多様な指標により解析することは興味深い研究になりうると考えられる。

本実験では実験結果をスクロール方向ごとに詳細に解析していない。これは、ドラッグやフリックにおける方向ごとのスクロール回数は、画面のアスペクト比 (16:9) に影響を受けており、本実験の目的に強く合致しないためである。しかし、傾向を見るために試験的な解析結果を図 10 に示す。実際に、連続スクロールのみスクロール方向（上下左右の 4 水準）についての主効果がなく、その他 2 つの手法ではディスプレイの形状の影響を受け、左右と上下のスクロール方向間で有意差が見られた ( $P < .05$ )。これは、連続スクロールでは、操作スペースがディスプレイの形の影響を受けにくいということであり、手法の特徴が示されている。

大画面環境の連続スクロールの評価実験については、従来研究として実現されている手法のパフォーマンスを検討するための基本的知見を提供できると考える。12 人の中に商用的にこのスクロールスタイルが利用可能であることを認識していた参加者はいなかった。今後普及していくと考えられる壁面サイズの大画面ディスプレイやタイルドディスプレイ環境など、ディスプレイスペースに余裕があっても人の視野角の制限などで 1 つ 1 つのアプリケーションウィンドウを大きくしにくい場面における連続スクロールの有用性を示したと考えられる。

## 6.2 ADI とスクロール支援

本研究は、操作できるスペースを拡張し限られたスペースでの反復動作を減少させるという点で、AD-binning [10] と共通したコンセプトがある。しかし、文献 [10] をはじめ、画面外での空中ポインティングに関する研究例 [8] などでは、デバイス周囲の何も存在しない空間に向けて指を移動させるが、その操作を助けるため、画面内に強い視覚的フィードバックを重畳表示している。これ自体は大きな問題にはならないが、本来必要な画面領域を狭くしてしまうことになるため、複雑なタスクになれば様々な混乱や負の効果を生み出す可能性もあり、繊細に設計されるべき事

項である。本研究では、スクロール操作の反応が画面上で視覚的に明確である。そのため、連続スクロールは、非常にシンプルで慣れ親しんだ形で ADI の強みを主張できる手法と考えることができる。

マルチモーダルなインタラクション [22] や、円を描くようなジェスチャを用いたスクロール手法 [17] との比較をすることも興味深く、今後の重要な課題である。しかし、これらはオクルージョンに関する問題を解決していない。また、ディスプレイの縁を利用したインタラクション [21] などの研究は、オクルージョンの問題をほぼ完全に解決しているが、タッチスクリーン上での直感的なタップや選択の機能との連携を失っている。連続スクロールは、画面内で、直感的で安定したスクロールをスタートし、画面外で、画面閲覧を邪魔しないスクロールを行うという 2 段階に分かれているが、タッチスクリーンの利点も保持しつつオクルージョンの問題も軽減する妥当な方法であると考えられる。

### 6.3 デザイン検討

#### 6.3.1 スクロール距離

実験結果によると、連続スクロールは、画面外での操作範囲は中距離程度において最も強い効果が表れていた（例：画面の端から 17 cm）。大画面の条件のように、平面に触れたまま指を動かせるのであれば、腕の長さで最大限動かせる範囲での操作が望ましい（画面中央から 36 cm で、画面の端からは 23–28 cm）。一般的な人の腕の長さとして、実験で用いた 8 インチのデバイスという点を考慮すると、今回得たデザイン指針は、先行研究 [10] を支持するものである。

長距離でのスクロール操作方法に関して、画面外では、違和感のない程度に、C-D 比を変えてスクロール操作を行うという方法もある [5]。これは仮想的に運動領域を拡張する際に、画面内では少ない動きで長距離スクロールを続けることができることを意味し、有効と考えられる。ただし、スクロール終盤の細かな動きがどこまで正確に制御できるかが重要な課題となる。また、モバイル環境においては、物理的な接触なしに長距離の指の動きを課すること自体に問題がある可能性がある。実際に、負荷についての指標である NASATLX は、連続スクロールはモバイル環境で利用した場合に大画面（物理的接触がある）と比較して大きな負荷を要することを示しており、その他の指標も空中での操作による影響を一部示している。そのため、特にモバイルでの利用については、先に述べた C-D 比を変更してできるだけ空中での腕の動きを減らす方法や、本研究の方向性とはやや異なる形で物理的な運動領域を広げるために、モバイルデバイスの背面を利用する方法など解決策を考えていく必要がある。しかし、今回提案している 17 cm の範囲内での利用に限れば、デバイスのサイズやスクロールのサイズによっては画面内で発生した指の減速運動の一部を画面外で実施する形になることも考えられるため、深刻な

問題を起こすとは考えにくい。これら実際の精神的身体的ストレスについて今後詳細に検証していく必要がある。

#### 6.3.2 操作判定範囲

今回の実験で設定した環境では、ユーザのスクロール動作中の指の位置は、その移動距離が長くなるにつれて画面手前に上がることが観察できた。この動きは、今回のチルトされたディスプレイに正対する場面に限ったものではなく、人の腕の関節構造から生じるものであるため、より快適な動きをサポートするためには、曲線軌道になることを見越した操作判定基準を設定するなど重要である。これにより、意図しない操作終了を防ぎ、空中での操作時間やスクロール回数などのパフォーマンスはさらに改善できる。

#### 6.3.3 空中でのジェスチャ

今回の実験では、空中での操作終了時に、操作の自然さを重視して、単純に指を手前に引くというジェスチャを用いた。ある実験参加者からは、もし 2 本の指をトラッキングすることができるなら、2 本指でつまむようなよりはっきりしたジェスチャが望ましいと提案があった。

また、拡張する運動領域の最大範囲をセンサの認識できる範囲や、ユーザが快適に操作できる範囲に限定し、スクリーン上に適度な視覚的フィードバックを与えてユーザに画面外スクロールの範囲を伝える方法も有意義と考える。

#### 6.3.4 画面内外の操作切替え

本実験で用いた 3 次元モーションセンサは、綿密なキャリブレーションを経て 100 Hz で 1 mm 単位での認識精度を持つものであったため、空中でのセンシング精度は画面に触れて行う操作と同等であったと思われる。しかし、指の位置のトラッキングが、画面上でのタッチセンサから空中でのセンサに切り替わる際に表示画面が反映されるのに数ミリ秒程度のギャップがあった。このようなギャップは、画面内外にわたる連続的な操作をするうえで、ユーザに違和感を与える。同様に、スクリーン周囲にあるベゼルもまた問題になりうる。今回の実験で用いたデバイスはディスプレイとの境界で凹凸のない平らなベゼルであったためにユーザの指の動きに影響を与えることはなかったが、もしデバイスに凹凸があった場合は、連続的な操作は難しくなる。これらは、センサの実装などハードウェアを考える際に非常に重要な技術的な課題であるといえる。

### 6.4 モバイルスクリーンでの操作指認識システム

デバイスの縁に配列した近傍センサや、デバイス内蔵カメラを用いた画像認識は、理論的にはデバイスの周囲空間での指の位置や動きを認識できる。しかし、赤外線センサはごく近傍での距離計測が困難であるため、画面内外の連続した操作への利用には向いていない。奥行きセンサ [15] のような外部センサは、センシング精度は十分であるが、利用シーンが限定されるという問題がある。今日存在するトラッキングシステムでは、実験と同等のパフォーマンス



(a) 小型モーションセンサ (b) デジタルペンと受信機

図 11 連続スクロールの実装例

Fig. 11 Implementation examples of continuous scroll.

を実現することはできないが、本節では現時点で利用可能性を持つ2つの実装例を紹介する。

1つ目は赤外線距離センサ (Leap motion) を用いた例である。これは、マーカレスの指のトラッキングシステムであるが、小型で USB 給電であるため、モバイルデバイスに容易に取り付けることができる。そして、センサ本体から広角 110° で 2.5~60 cm での認識が可能であり、図 11 (a) のように 11.6 インチのタブレット PC (VAIO Duo 11) に設置した場合、運動領域は画面上方向に 5 cm、左右方向には、画面下部からの高さに応じて 3~10 cm 拡張できた。しかし、Leap が正確に操作指を認識するためには、操作指およびデバイスの把持においてもやや窮屈な姿勢を強いられることと、計測の安定性に課題がある。

2つ目の例は、ペンとそのペンの位置情報を追跡するレシーバ (PNF's Duo Pen) を用いた例である。ペンをユーザに持たせるという妥協的な面はあるが、操作点 (ペン先) の位置を安定して高精度に取得することができ、また、画面外での操作終了もペン付属のボタンにより判定できるため、連続スクロールを実現するにはかなり強力な方法であると考えられる [7]。図 11 (b) のように設置した場合、レシーバ装着位置とペンの位置認識可能範囲により、運動領域は上方向に 6 cm、下左右方向に 15 cm 程度拡張できた。ペンを標準搭載したタブレット型 PC も増えているために、利用可能性は十分にあると考えられる。

## 6.5 制約

本研究は、8 インチのデバイスまたはアプリケーションウィンドウを想定して実験を行った。これは iPad mini や ASUS タブレットに見られるように、このサイズのデバイスが徐々に主流になってきているためである。また、デバイスの持ち方も考慮した。スマートフォンの大きさでも連続スクロールは有効に働く可能性はあるが、デバイスを把持する際に、その周囲が指で覆われることが多いため、それが画面内と外の物理的なギャップになる可能性がある。タブレットの場合はその影響が少ないため、本研究では、7~15 インチのデバイスとターゲットとしている。

その他、本研究では実験条件を整えるためにいくつかの

大きな制約を設けている。たとえば、モバイル条件においてデバイスを把持させずに固定したこともその1つである。机の上に簡易スタンドなどで傾けてタブレットデバイスを配置する場面や、脚の上に傾けて置いたり、タブレット用アームを利用したりする場面で本研究の結果はおおむね適用できると考えられる。しかし、もう1つの代表的な利用形態であるデバイスを把持する場面については、デバイスがある程度固定されている場合に限られる。歩行中や限られた姿勢しかとれない場合などについては、デバイス自体も動き、傾きなども変化するために、ターゲット距離を明確にできないために、今回の知見は適用できない可能性が高い。このようなモバイル環境に向けた実応用については、3D トラッキングシステムの設定や実装なども含めて、異なる実験計画で詳細に検討すべきである。

デバイス周囲空間での指の位置認識をするにあたり、意図しないスクロールなどの誤操作が行われないために、周囲にある物や、操作に関係ない指についての認識に注意する必要がある。これを解決する簡単な方法は、画面上でのみ操作を開始できるという制限をつけた。これは、すべての操作を空中やデバイス周囲でのみ行う ADI に比べて、タッチスクリーンも併用できる連続スクロールの利点である。

## 7. まとめ

本研究では、クラッチ回数を軽減するために、画面上でのタッチスクロール操作を画面外にも拡張することができる連続スクロールについて検討した。大画面タッチスクリーン上のアプリケーションウィンドウとモバイルスクリーンという代表的な2つの環境において連続スクロールと従来手法 (ドラッグ、フリック) を比較し検証した。その結果、連続スクロールはクラッチ回数を減少させ、オクルージョンを減らし、効率を上げ、操作負担を減少させることが分かった。また、連続スクロールの効果は操作指のセンシング環境にも依存することも明らかになった。今後は、連続スクロールに向けたセンサなどの実装や、新たな設計要因について検討を行う予定である。

## 参考文献

- [1] Aliakseyeu, D., Irani, P., Lucero, A. and Subramanian, S.: Multi-flick: an evaluation of flick-based scrolling techniques for pen interfaces, *CHI*, pp.1689–1698 (2008).
- [2] Baudisch, P. and Rosenholtz, R.: Halo: A technique for visualizing off-screen objects, *CHI*, pp.481–488 (2003).
- [3] Bruder, G., Steinicke, F. and Sturzlinger, W.: To touch or not to touch? comparing 2D touch and 3D mid-air interaction on stereoscopic tabletop surfaces, *SUI*, pp.9–16 (2013).
- [4] Butler, A., Izadi, S. and Hodges, S.: SideSight: Multi-“touch” interaction around small devices, *UIST*, pp.201–204 (2008).
- [5] Casiez, G., Vogel, D., Pan, Q. and Chaillou, C.: Rub-

- berEdge: reducing clutching by combining position and rate control with elastic feedback, *UIST*, pp.129–138 (2007).
- [6] Cockburn, A., Karlson, A. and Bederson, B.: A review of overview+detail, zooming, and focus+context interfaces, *ACM Comput. Surv.*, Vol.41, No.1, Article 2, p.31 (2009).
- [7] Chen, X., Grossman, T., Wigdor, D. and Fitzmaurice, G.: Duet: Exploring joint interactions on a smart phone and a smart watch, *CHI*, pp.159–168 (2014).
- [8] Ens, B., Ahlström, D., Cockburn, A. and Irani, P.: Characterizing user performance with assisted direct off-screen pointing, *MobileHCI*, pp.485–494 (2011).
- [9] Fitchett, S. and Cockburn, A.: Evaluating Reading and Analysis Tasks on Mobile Devices: A case study of tilt and flick scrolling, *OZCHI*, pp.225–232 (2013).
- [10] Hasan, K., Ahlström, D. and Irani, P.: Ad-binning: Leveraging around device space for storing, browsing and retrieving mobile device content, *CHI*, pp.899–908 (2013).
- [11] Harrison, C. and Hudson, S.E.: Abracadabra: Wireless, high-precision, and unpowered finger input for very small mobile devices, *UIST*, pp.121–124 (2009).
- [12] Hinckley, K., Cutrell, E., Bathiche, S. and Muss, T.: Quantitative analysis of scrolling techniques, *CHI*, pp.65–72 (2002).
- [13] Hinckley, K., Pausch, R., Goble, J. and Kassell, N.F.: A survey of design issues in spatial input, *UIST*, pp.213–222 (1994).
- [14] Jones, B., Sodhi, R., Forsyth, D., Bailey, B. and Maciacci, G.: Around device interaction for multiscale navigation, *MobileHCI*, pp.83–92 (2012).
- [15] Kratz, S., Chiu, P. and Back, M.: PointPose: Finger pose estimation for touch input on mobile devices using a depth sensor, *ITS*, pp.223–230 (2013).
- [16] Kratz, S. and Rohs, M.: HoverFlow: Expanding the design space of around-device interaction, *MobileHCI*, Article 4, p.8 (2009).
- [17] Malacria, S., Lecolinet, E. and Guiard, Y.: Clutch-free panning and integrated pan-zoom control on touch-sensitive surfaces: The cyclostar approach, *CHI*, pp.2615–2624 (2010).
- [18] O’Sullivan, B.: Beyond BlackBerry thumb, *Canadian Medical Association Journal*, Vol.185, No.4, pp.185–156 (2013).
- [19] Quinn, P., Malacria, S. and Cockburn, A.: Touch scrolling transfer functions, *UIST*, pp.61–70 (2013).
- [20] Quinn, P., Cockburn, A., Casiez, G., Roussel, N. and Gutwin, C.: Exposing and understanding scrolling transfer functions, *UIST*, pp.341–350 (2012).
- [21] Roth, V. and Turner, T.: Bezel swipe: Conflict-free scrolling and multiple selection on mobile touch screen devices, *CHI*, pp.1523–1526 (2009).
- [22] Sakamoto, D., Komatsu, T. and Igarashi, T.: Voice augmented manipulation: Using paralinguistic information to manipulate mobile devices, *MobileHCI*, pp.69–78 (2013).
- [23] Son, P., 高橋, 田中: G-Shark: 磁石を利用した携帯端末3次元入力インタフェース, インタラクシオン予稿集, pp.787–789 (2013).
- [24] Vogel, D. and Casiez, G.: Hand occlusion on a multi-touch tabletop, *CHI*, pp.2307–2316 (2012).
- [25] Yang, X., Hasan, K., Bruce, N. and Irani, P.: Surround-see: enabling peripheral vision on smartphones during active use, *UIST*, pp.291–300 (2013).



高嶋 和毅

2006年大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。2008年同専攻博士後期課程修了。同年同大学院国際公共政策研究科助教。2011年より東北大学電気通信研究所助教。博士（情報科学）。



進士 奈菜

2015年3月東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程（前期2年）修了。2015年4月KDDI株式会社入社。



北村 喜文（正会員）

1987年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同年キャノン株式会社、1992年ATR通信システム研究所、1997年大阪大学大学院工学研究科/情報科学研究科助教/准教授。2010年東北大学電気通信研究所教授。

博士（工学）。