

CrosSI：作業領域拡張のための 水平・垂直タッチディスプレイ連携機構

大月 理沙^{1,a)} 藤波 香織^{2,b)}

概要：作業空間では、用途の制限されない水平領域と垂直領域が存在し、その領域間で簡単に作業場所を切り替えられることが重要である。しかし現在一般的なデジタル情報を扱う卓上環境には、使用デバイスによる様々な制限が存在する。そこで、互いに固定されない水平・垂直タッチディスプレイを“繋がった”1つの領域として見せ、各領域の特徴を活かす作業を支援するシステム CrosSI を開発してきた。本論文では、全機能を有した CrosSI を紹介し、ユーザ評価実験を通じた CrosSI での作業体験を評価する。

1. はじめに

実世界の卓上作業空間は水平領域と垂直領域に大別される。それぞれの領域には適した用途や特別な効果があり、人々は目的によって自由に水平または垂直領域を選び使ってきた。近年では、タブレット・スマートフォンの普及や卓上ディスプレイ・壁面ディスプレイの登場により、デジタル情報を扱う卓上作業空間（デジタル卓上空間）にも水平・垂直領域が存在する。こういった空間を対象とした調査の結果、水平領域は入力、垂直領域は出力に適する傾向が見られた一方で、単純な入出力にとどまらない多様な特徴も明らかになった [11][2][8]。その中で Morris ら [4] は、水平・垂直ディスプレイの両方を含み、その間で簡単にデジタル情報を移動できることを次世代システムの要件として結論付けた。つまり水平・垂直領域に求められる役割はその時々で変化するため、ユーザが作業場所として水平または垂直領域を自由に選び簡単に切り替えられる環境が重要となる。しかし、一般的なデジタル卓上空間はこれらの要件に対応しておらず、使用デバイスによる制限が存在する。まず、“作業場所”がデバイスの画面内や可動域内に限られる。また機能特化型デバイスの存在により、“作業内容”が入力もしくは出力の片方のみに限定される場合もある。例えばキーボード・マウス・モニターで構成される現在一般的な卓上空間では、水平領域を入力、垂直領域を出力にしか利用できない。さらに、デバイスを跨ぐ“情報転送”には USB メモリやクラウドを介する複雑な操作が必要と

なる。よってモニタからスマートフォンといった画面から画面へ情報を動かす操作は容易でない。結果として、作業空間の自由度が低くなっている。

この考えのもと、水平・垂直ディスプレイを跨ぐドラッグ操作で情報を移動できる卓上型システム CrosSI（図 1）を開発している [6][7]。CrosSI は、卓上の水平・垂直タッチディスプレイによって自由な作業場所選択に対応する。さらに水平・垂直ディスプレイをハードウェアとソフトウェアの両面で繋がった1つの領域として見せ、直感的な作業場所の切り替えを実現する。また垂直ディスプレイは固定されておらず、「動かす」「持つ」など実物体を活かした操作も期待できる。これらの機能を通してデジタル卓上空間を拡張し、領域を活かした作業の支援を目指す。

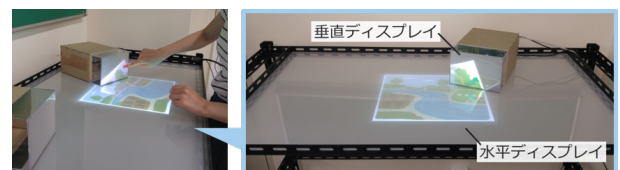


図 1 CrosSI システムの使用風景と外観

既報 [6] では、ドラッグ操作によるディスプレイを跨ぐ情報移動を実現した初期プロトタイプシステムを開発し、情報の操作性・視認性に注目した基礎的な評価を行った。実験にて水平・垂直領域でのドラッグ操作と視覚探索を行った結果、次の知見が得られた。その際、垂直ディスプレイにおける遅延が課題として残った。

- ・ 水平領域は情報の移動（入力）に適する
- ・ 垂直領域は情報の検索（出力）に適する
- ・ 移動の連続性は両領域の特徴を活かす上で重要となる

そこで既報 [7] にて、ハードウェア変更による課題点の解決と、ディスプレイを跨ぐ連続した画面表示を実現する機

¹ 東京農工大学大学院 工学府 情報工学専攻

² 東京農工大学大学院 工学研究院 先端情報科学部門

^{a)} s181385s@st.go.tuat.ac.jp

^{b)} fujinami@cc.tuat.ac.jp

能を追加した。ドラッグ操作の操作性を評価する再実験を行ったところ、新たな知見を得た。

- ・ 水平領域では短時間かつ正確な操作が実現される
- ・ 領域を跨ぐ操作と、下から上への操作は好まれない
- ・ 表示の連続性は操作を容易にする

本論文では、全機能を有した CrosSI と、アプリケーションを使ったユーザ評価実験について述べる。なお実験では CrosSI の提供する卓上空間における作業体験を評価した。

以下、第2章では調査より明らかになったデジタル卓上空間における水平・垂直領域の特徴をまとめる。また関連する卓上型システムを紹介し、CrosSI の位置づけを示す。続く第3章では CrosSI の実装方法について新機能を中心にまとめ、第5章でユーザ評価実験とその結果を述べる。これを受けた考察を第6章、結論を第7章に示す。

2. 関連研究

水平・垂直領域の特徴を調査した研究

デジタル卓上空間における水平・垂直領域の長所や短所が研究された。個人作業に関して、Morris ら [4] は文書にまつわる作業を調査した。その結果、水平領域は書く作業に適し、垂直領域では情報をひと目で確認できた。Pedersen ら [9] はタッチ入力操作への影響を比較した。水平領域はエラーが少なく被験者に好まれたが、垂直領域でのドラッグ操作は著しく疲労すると回答された。対して複数人の共同作業に着目した研究も存在する。Rogers ら [11] は、ある被験者が卓上に置いた入力デバイスを他の被験者が手に取るなど、水平領域で役割切り替えが促進されたと述べた。またアイデアの提案や被験者同士の行動認識にも適した。Inkpen ら [2] の調査でも水平領域が被験者間の快適な対話を実現した。垂直領域は多くの人と情報共有できるが、操作には身体的な疲労が伴った。よって議論が必要な長時間の作業には水平領域、短時間の集中した作業には垂直領域が最適だと論じた。Pavlovych ら [8] は、至近距離で情報を確認するなら卓上領域、効率的な操作を要するなら垂直領域が望ましいと示した。研究結果の概観として、水平領域では疲労感の少ない入力操作が好まれ、垂直領域は優れた視認性から情報の出力場所に適する。一方で共同作業の場を中心に、各領域の持つ多様な特徴も明らかになっている。

水平・垂直領域を利用した卓上空間に関する研究

デジタル卓上空間において水平・垂直領域のギャップを埋め、領域を跨ぐ操作を支援することで各領域の活用を促すシステムが開発された。まずディスプレイ同士の解像度差や設置位置の違いを考慮しソフトウェア面で表示画面を繋げた研究を紹介する。E-conic[5] は壁面ディスプレイと卓上ディスプレイ、ラップトップ、小型モニタのある環境で、全画面のウィンドウやカーソルが歪んで見えないよう常時補正し、視認性を向上させた。同様に Augmented

Surfaces[10] では、卓上ディスプレイとそこに置かれたラップトップ、壁面ディスプレイを連結した。上記のシステムによって画面を横断するカーソル移動と情報転送が実現された。さらにハードウェア面でも水平・垂直領域を繋げた研究として、BendDesk[12] と Curve[13] が挙げられる。これらのシステムはタッチ可能な卓上ディスプレイと垂直ディスプレイを曲面で連結し、タッチ入力を介した直接的かつ連続的なドラッグ操作を実現した。しかし両ディスプレイは固定されており、一般的な卓上空間のようなデバイスの位置・角度変更や持ち上げに対応できない。

CrosSI では、水平・垂直ディスプレイのソフトウェア・ハードウェアを繋げたまま、位置関係を変更できる。さらに持ち上げられる垂直ディスプレイを採用し、実物体の移動性を活かした直感的な情報操作を実現する。

3. CrosSI システムの設計と実装

3.1 設計

CrosSI では水平・垂直領域を跨ぐ直感的な情報転送の実現により、作業場所の切り替えと、領域の特徴を活かした作業を支援する。これを踏まえ、水平・垂直領域の要件として以下の3つを定めた。

- (1) 両領域は入力と出力に対応する
- (2) 領域間にはソフトウェア・ハードウェアの境界が無い
- (3) 各領域は固定されず情報を保持して移動できる

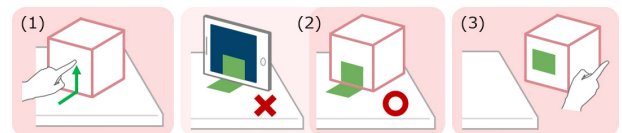


図2 水平・垂直領域の要件

要件(1)は、水平・垂直領域の場所に寄らず多様な作業に取り組みよう定めた。直感性を重視し、直接的な入力として指を使ったタッチ操作を採用し、出力は画像として表示する。また基本のタッチ操作としてドラッグ操作に対応する(図2(1))。要件(2)では、水平・垂直領域を1つの領域としてシームレスに繋げて見せることで、領域から領域へ情報を動かす操作を支援する。さらにディスプレイ間の解像度差や空間・ベゼルによる提示情報の分割と歪みが情報の視認性低下を促す[1]ことから、領域間に空間や縁の無いハードウェア構成を目指す(図2(2))。要件(3)は、ユーザによる水平・垂直領域の位置関係の変更を実現する。これにより卓上空間のカスタマイズや、領域の位置・角度を使った操作に対応できる。また領域とデジタル情報を関連付けて動かすという、実体を持つモノの移動性とアフォーダンスを活かす直感的な操作を助ける(図2(3))。上記の3要件を満たす機能を以下で説明する。

3.1.1 水平・垂直タッチディスプレイの実現

要件(1)より、水平・垂直領域の全面をタッチディスプ

レイとする。また水平ディスプレイは卓上面サイズ、垂直ディスプレイは要件(3)のため把持できる小型サイズとする。要件(2)で定めた空間や縁の無いディスプレイ境界を実現するため、垂直ディスプレイにはベゼルのある既存のデバイスを使用せず、縁の無い矩形ディスプレイを作成する。これにより垂直ディスプレイを水平ディスプレイ上に置いた際、ディスプレイ同士が隙間なく接する。以上の条件を満たすため、本システムのタッチ検出手法として Diffused Illumination (DI) 方式[3]を採用する。DI方式では、ガラス板やアクリル板などの透明なパネルに半透明の背面投影フィルムを貼って赤外光を照射し、接触物による光反射を赤外線カメラから検出する。この手法であれば、任意のサイズのアクリル板をタッチパネル化できる。さらにフィルムを活かしたプロジェクタによる情報表示が可能で、縁を必要としないタッチディスプレイを実現する。

水平ディスプレイにおけるタッチ検出の様子を図3に示す。(a)の赤外線画像には、パネルに接触した指先だけでなく、パネルに近接する掌や腕が写り込んでいる。そのため二値化処理により近接領域から接触領域のみを抽出する必要がある。しかし、水平ディスプレイ用の大型パネルには赤外光が均一に当たらないため、固定の閾値では接触領域のみが白く映る二値化画像を生成できない。例えば(b)では右2つの接触領域を一部しか抽出できておらず、(c)では近接領域が誤って抽出されている。そこで、画像の小領域ごとに閾値を設定する適応的閾値処理を施し、接触領域だけを白く映す(d)を求める。なお、システムは(d)における最大の白色領域の中心をタッチ座標として算出する。一定の面積以上の白色領域が無ければタッチ操作無しと判断する。さらに、タッチ座標の変化を記録してドラッグ操作を認識する。垂直ディスプレイでも同様の処理を行う。

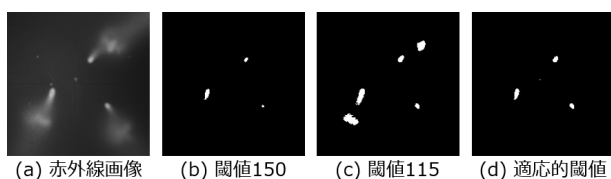


図3 タッチ検出のための接触領域抽出

3.1.2 ディスプレイ間のシームレスな情報表示

CrosSIの水平・垂直ディスプレイは位置関係が変化する。この環境下で要件(2)の通りディスプレイの表示画面を繋げ続けるには、水平ディスプレイ上での垂直ディスプレイの位置を知る必要がある。そこで垂直ディスプレイの底面(水平ディスプレイと接する面)に白黒パターンを印刷した基準マーカを貼り付け、赤外線カメラから検出する。このとき図4の通り、タッチ操作とマーカを1つの赤外線画像(a)から検出する。そこで、まず(b)のようにマーカを検出したのちマーカ領域を黒く塗って消した画像(c)を作り、次に3.1.1項のタッチ検出を行って(d)が求まる。

CrosSIでは水平ディスプレイが親機として動き、子機の垂直ディスプレイは親機から受け取る情報を元に自身の表示画面を生成する(図4e)。まず、マーカの姿勢を基準に垂直ディスプレイの座標・角度を求める。加えて、水平ディスプレイに表示されている画像の座標・角度データを、水平ディスプレイを制御するコンポーネントから垂直ディスプレイの制御コンポーネントへ送り共有する。以上のデータを元に、水平ディスプレイの表示画面のうち垂直ディスプレイ周辺の領域を、垂直ディスプレイの制御コンポーネント内で再現する。最後にこの再現画像から、適切な座標・角度・サイズの矩形画像を切り抜き、微調整して垂直ディスプレイに表示する。今回は表示画面の連続性を高めるため、表示画面の一部を再現してから切り抜き手法を採った。この手法により、垂直ディスプレイの表示画面を1枚の画像として持つことができ、プロジェクタ投影の歪みを始めとするハードウェアの問題を簡単なサイズ調整によって打ち消せる。既存のディスプレイやレンズ歪みの少ないプロジェクタ等で実装する場合は、共有データから直に表示画面を作る手法を採ることができる。

各ディスプレイで検出したタッチ操作は、親機である水平ディスプレイに集めてドラッグ操作か否かが判定する。なお垂直ディスプレイへのタッチ操作は、その時の垂直ディスプレイの姿勢を考慮し、水平ディスプレイへ適応できるよう座標を変換して共有する。この手法であれば、両ディスプレイを跨ぐドラッグ操作を単一ディスプレイでの操作と同様に扱い、表示画面に反映できる。

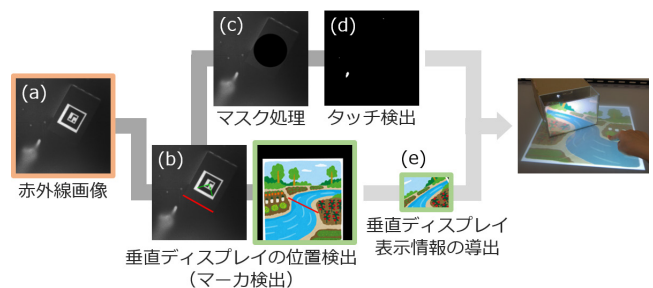


図4 赤外線画像取得から表示画面導出までの流れ

要件(3)より、ユーザが垂直ディスプレイを動かすとき、画像がいずれかのディスプレイと関連付いて見えるよう、表示を一時的に消したり表示位置を変えたりする必要がある。このとき、画像を“水平ディスプレイ”または“垂直ディスプレイ”に固定して紐付けるか、“画像がその時に配置されているディスプレイ”に自動的に紐付けるか、3通りから選びアプリケーション毎に事前設定する。

3.2 実装

3.1節の設計に基づくCrosSIの実装を以下に示す。

3.2.1 ハードウェア構成

CrosSIは、水平ディスプレイを有する機型のハードウェア

アと、垂直ディスプレイを有する箱型のハードウェアで構成される。3.1.1 項で述べたように DI 方式による縁の無いタッチディスプレイ実現のため、アクリル板と背面投影フィルムから成るパネルに加え、タッチ検出用の赤外光源と赤外線カメラと、表示画面を投影するプロジェクタを各ハードウェアに設置した (図 5)。水平ディスプレイは幅 100cm × 奥行き 60cm である。そこで、パネルを画角に収められる赤外線カメラおよび赤外光源として Kinect v2 を使用した。また近距離からパネル全面に投影するため短焦点プロジェクタ (MW824ST) を選んだ。着座姿勢のユーザの足が赤外光や投影光を妨害しないよう、机は高さ 90cm のスタンディングデスクとした。垂直ディスプレイは幅 11cm × 高さ 16cm で、小型化を意識して作成した。赤外線カメラには改造した USB カメラを使用し、赤外光源として IR LED (TSHG8400, 波長 830nm) 12 個を均等に配置した。超小型プロジェクタ (LB-UH6CB) には、投影範囲を更に広げるため広角レンズ (XYX-38) を装着した。またパネルにアクリルボックスを使うことで、縁を作らずハードウェア類を収める外箱と繋げた。外箱の奥行きは 22.8cm となった。既報 [6] では独立したハードウェアを目指し、垂直ディスプレイの制御用 PC として Raspberry Pi 3 (CPU: Broadcom BCM2837, メモリ: 1.0GB) を使ったが、処理の遅延が問題となった。そこで現行システムでは、両ディスプレイを同一の PC (CPU: Intel Core i5-4300U, メモリ: 8.0GB) で制御する。

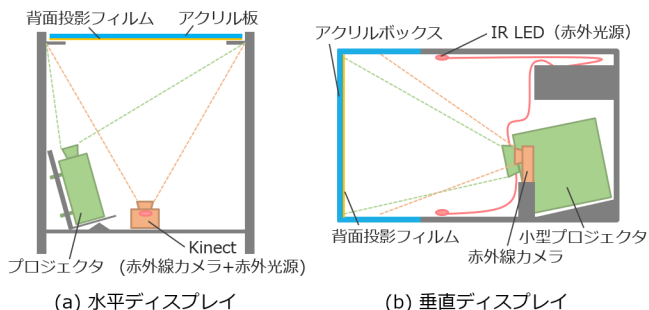


図 5 システム構成図

3.2.2 ソフトウェア構成

ソフトウェアは Windows10 で開発した。画像処理には OpenCV3.1.0 (32bit 版)、マーカ検出には ARToolKit2.72.1 のライブラリを使用した。処理性能は約 12fps である。

CrosSI は、独立して動作する水平・垂直ディスプレイの集合で構成される卓上空間を想定している。そのため、各ディスプレイを制御するコンポーネントは独立したプロセスとして動作させ、コンポーネント間の情報のやりとりは UDP によるプロセス間通信により実現した。将来、処理速度の問題が解決されれば、Raspberry Pi を始めとする小型の組み込みコンピュータへ容易に移植できる。またディスプレイ間の縁が 5mm 以下のとき表示画面の連続性への悪影響が少ない [7] ことから、スマートフォンのような縁

の薄いデバイスも垂直ディスプレイとして使用できる。

CrosSI の提供するデジタル卓上空間で動作するアプリケーションの開発は、単一のディスプレイを使うアプリ開発と同様の感覚で行える。開発者はディスプレイに表示したい画像を指定フォルダに用意し、初期設定情報をプログラムに書き込む。ドラッグ操作や垂直ディスプレイの移動といった入力情報取得機能と、表示画面を連続させるための出力情報生成機能はソフトウェアが提供する。

4. CrosSI の応用例

CrosSI の提案するデジタル卓上空間の応用例として、想定される水平・垂直ディスプレイの用途 3 つと対応するアプリケーションを表 1 に示す。

表 1 水平・垂直ディスプレイの用途と応用例	
水平・垂直ディスプレイの用途	応用例
情報置き場の拡張	地図閲覧アプリ
平面シミュレーター	虫の行動再現アプリ
三次元情報の切断	植物構造の学習アプリ

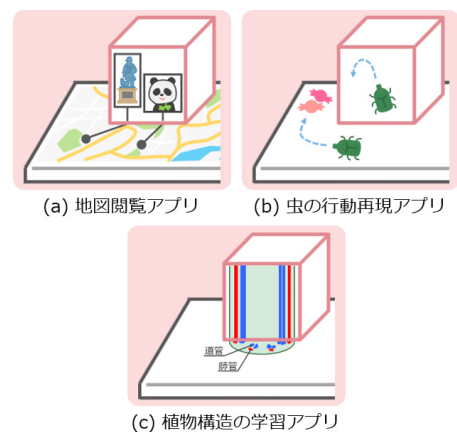


図 6 CrosSI を使うアプリケーションのイメージ図

“情報置き場の拡張”では、デジタル情報の配置場所を水平と垂直の 2 方向へ拡張する。地図閲覧アプリ (図 6a) ではこの性質を利用して、水平ディスプレイに地図、垂直ディスプレイに各スポットの詳細情報を表示する。これにより、1 つのディスプレイに表示される情報数の削減や、表示領域による情報分類など、視認性の向上が期待できる。さらに、水平・垂直ディスプレイの連続性を活かし、スポットと詳細情報をリンク線で繋いで関係性を直感的に表示する。“平面シミュレーター”では、環境を水平または垂直な平面に変化させた場合のシミュレーションを提示する。虫の行動再現アプリ (図 6b) は、水平ディスプレイつまり床で動く仮想の虫を、同ディスプレイ上の食物に寄せ付けないよう、垂直ディスプレイを使って撃退するゲームである。虫の進行方向に垂直ディスプレイを置くと、虫は直進して垂直ディスプレイつまり壁に侵入する。しばらく壁を登った虫はそのまま落下し、壁を避けるように動き出す。

このときディスプレイの連続性により、仮想空間における水平な床と垂直な壁での虫の行動を、現実味を以てユーザが体験できる。“三次元情報の切断”では、3D モデルから切り出した水平方向と垂直方向の断面図を見せる。例えば植物構造の学習アプリ（図 6c）なら、植物の茎を構成する道管や師管の通る位置を、水平と垂直の 2 方向から確認できる。水平・垂直ディスプレイの連続性によって、2 つの断面図が個別の情報ではなく、1 つの 3D モデルから切り出された立体的な断面図として学習者に提示される。

5. ユーザ評価実験

5.1 実験内容

CrosSI の提供する卓上空間における作業体験を評価するため、ユーザ評価実験を行った。実験には 4 章で紹介した応用例から、本システムの機能を偏り無く使う地図閲覧アプリを使用した。水平ディスプレイには仮想の路線図と運賃を表示し、駅周辺の風景を表すイラスト画像と路線図上の駅をリンク線で繋いだ。今回は地図を見ながら道順を決める日常的な行動を想定し、実験タスクとして、スタート地点からゴール地点まで、指定の駅を全て通り最も安い運賃となる経路を探すタスクを設定した。被験者数は 6 人（大学生および大学院生、男女各 3 名）で、個人作業と 3 人組での共同作業でそれぞれ 1 回ずつ実験に取り組んだ。実験タスクには 8 分の時間制限がある。事前にシステムの操作説明と練習、実験後はアンケートと口頭インタビューを行った結果、所要時間は合計 40～50 分だった。

5.2 実験結果

被験者が実験タスクに取り組む中で行った操作から、水平・垂直タッチディスプレイでのドラッグ操作と垂直ディスプレイの移動操作を行った回数を集計した。全員の操作回数の平均を表 2 に示す。なお、個人は 1 人、複人数は 3 人で行った実験を示す。

表 2 実験タスクにおける操作の平均回数

	個人	複人数
水平ディスプレイでのドラッグ操作	15.0	23.5
垂直ディスプレイでのドラッグ操作	5.0	4.0
両ディスプレイを跨ぐドラッグ操作	0.5	0.7
垂直ディスプレイのスライド移動	4.0	5.0
垂直ディスプレイの持ち上げ移動	0.5	0.8

紙面アンケートでは、CrosSI の実現する 3 つの主機能の感想と、マウスやモニタで構成される一般的なデジタル卓上空間との差異を質問した。被験者の回答を、タッチディスプレイでのドラッグ操作による情報移動 (A)、水平・垂直ディスプレイを跨ぐ連続した情報表示 (B)、垂直ディスプレイ自体を「動かす」「持ち上げる」操作 (C) に分類した上で次にまとめる。括弧内は同様の回答をした人数を示す。

A1 直感的で操作が簡単（4 人）

A2 スマートフォンの操作で慣れており簡単（2 人）

A3 上方向のドラッグ操作は慣れておらず難しい（2 人）

A4 タッチ操作では細かな作業ができないと感じた

B1 表示画像のサイズを常に揃えればより見やすい（2 人）

B2 自然に見える点が良い

C1 位置を自由に変更できる点が便利（2 人）

C2 色々な方向から画面を見られるので、
多人数での使用に適している

C3 水平ディスプレイの情報を隠さない位置に置いた

C4 情報をまとめて移動できる点が便利

また、実験タスクに取り組む中で、水平ディスプレイと垂直ディスプレイの使用目的やそれによって得た効果を質問した。また、その用途と効果が作業人数によって変化したか調査した。結果の一部を表 3 にまとめる。

表 3 実験タスクにおける水平・垂直ディスプレイの用途や効果

	水平ディスプレイ	垂直ディスプレイ
共通	・情報を見るとき 首が疲れそう	・重要な情報を配置して 目立たせた（3 人）
	・好きな場所に情報を 配置できた	・不要な情報を 溜めておいた（2 人）
	・手の届かない場所 があった（2 人）	・不要な情報を 溜めておいた（2 人）
個人	・好きな場所に情報を 配置できた（3 人）	
複人数	・情報を簡単に 共有できた（3 人）	・全員から見える場所に 置きづらかった（2 人）
		・人の邪魔になりそうで 動かせなかった（2 人）

6. 考察

6.1 実験での水平・垂直領域を使った作業

表 3 より、水平ディスプレイでは情報共有が促進され、垂直ディスプレイでは情報が目に入りやすいなど、関連研究と同様の特徴が確認された。また表 2 の操作回数より、被験者は水平・垂直ディスプレイの両方を使って作業したとわかる。実際の使用環境に近いアプリケーションを通した作業でも、水平・垂直領域にはそれぞれ特徴があり、作業場所を変えるために領域を跨ぐ情報転送操作が使用された。

表 2 にて作業人数毎の平均操作回数を比べると、水平ディスプレイでのドラッグ操作は、個人作業より共同作業のときに回数が多い。この操作の内訳として、個人作業では、情報を隠す画像の移動や重要な画像を集めるための移動など、必要な操作の割合が多かった。これに対して複人数の共同作業では、必要な操作に加え、手遊びのようなタスクと関係の薄い操作や、人とのコミュニケーションによって生まれた試行が観察された。また表 3 より、共同作業時にのみ確認された水平ディスプレイの特徴として情報共有の促進が挙げられた一方で、垂直ディスプレイの操作しづ

らさを答えた被験者もいた。以上より、水平・垂直領域の用途や効果は作業人数にも影響を受けると考えられる。

6.2 システムの基本機能について

ドラッグ操作は、3.1 節の設計通り、直感的な入力方法としては受け入れられた (A1)。この理由として、スマートフォンの普及によるドラッグ操作への慣れが挙げられた (A2)。また、水平・垂直領域を跨ぐ環境や下から上へのドラッグ操作は一般的でなく、被験者が難しさと感じる原因となった (A3)。よって、タッチ操作による直感性を活かしつつ、フリックやスワイプといった日頃から使い慣れた動きを取り入れた新しい操作法を考案・実装する必要がある。一方で、タッチ操作は細かな操作に不向きという欠点もある (A4)。タッチ操作と同様に直接入力ができるデバイスとして、タッチペンを導入できる。

実験で使用した地図アプリは、水平・垂直ディスプレイで繋がって表示される情報はリンク線のみで、画像は各ディスプレイに合わせてリサイズしたものを表示していた。しかし B1 の回答から、複数ディスプレイに散在する情報の視認性を上げるには、情報の位置だけでなく大きさの連続性も考慮した表示重要だとわかる。現実世界で物体の大きさが突然変化することが無いように、自然に見える表示 (B2) が求められている。

固定されない垂直ディスプレイの利点として、自由に位置を変えられる点が挙げられる (C1)。被験者は、垂直ディスプレイを見やすい角度に置き直す行動をとった (C2)。なお個人作業時は自分の見やすい角度、共同作業時は全員から見える角度に垂直ディスプレイを配置する傾向があった。また、水平ディスプレイ上の情報を隠さないよう垂直ディスプレイを動かす行動 (C3) も観察された。垂直ディスプレイを構成するハードウェア部分の小型化が進めば、垂直ディスプレイを置く場所の選択肢を増やせる可能性がある。さらに、垂直ディスプレイにまとめた複数個の画像を一度に移動する被験者も確認できた (C4)。一方で表 2 から分かるように、上記の行動の多くで、被験者は垂直ディスプレイを持ち上げず、水平ディスプレイの上でスライドさせた。その理由として、被験者はスライド操作がより容易だと答えた。また、垂直ディスプレイを持ち上げると、水平・垂直ディスプレイの連続性が失われるので避けたという意見もあった。つまり、簡単かつ表示画面の連続性を保てる点が、スライドによる垂直ディスプレイの移動に利点だと言える。

7. おわりに

水平・垂直ディスプレイを跨ぐ直感的な情報移動操作の実現により、領域の特徴を活かす作業を支援するシステム CrosSI を開発した。本論文では、既報にて実装した全機能を有する CrosSI にアプリケーションを実装し、ユーザ

評価実験を行った。その結果、水平・垂直領域の用途や効果が作業人数によって変化することがわかった。傾向として、個人作業では効率的な作業、共同作業では遊びや試行錯誤のある作業が確認された。アプリケーションの使用目的や使用人数を考慮して操作や機能を設定すれば、ユーザにとってより使いやすい卓上空間を実現できる。また、水平・垂直ディスプレイにおける画面表示の連続性を保つことは、情報の視認性を上げるためにも重要である。アプリケーション実装の際は、連続性を損なわない画面作りを心掛けるべきだといえる。

今後は、垂直ディスプレイを構成するハードウェアの小型化に取り組む。軽量かつ縁が薄いタッチディスプレイとして、スマートフォンを使った垂直ディスプレイを実装し、ユーザが垂直ディスプレイを様々な場所に置き、また容易に持ち上げられる環境を実現する。

参考文献

- [1] Bi, X., et al.: Effects of interior bezels of tiled-monitor large displays on visual search, tunnel steering, and target selection, *Proc. of SIGCHI'10*, pp. 65-74. ACM.
- [2] Inkpen, K., et al.: Exploring display factors that influence co-located collaboration: angle, size, number, and user arrangement, *Proc. of HCI international, Vol. 2005*.
- [3] Matsushita, N., et al.: HoloWall: designing a finger, hand, body, and object sensitive wall, *Proc. of UIST'97*, pp. 209-210. ACM.
- [4] Morris, M. R., et al.: Reading revisited: Evaluating the usability of digital display surfaces for active reading tasks, *Proc. of TABLETOP'07*, pp. 79-86. IEEE.
- [5] Nacenta, M. A., et al.: E-conic: a perspective-aware interface for multi-display environments, *Proc. of UIST'07*, pp. 279-288. ACM.
- [6] Otsuki, R. and Fujinami, K.: CrosSI: A Novel Workspace with Connected Horizontal and Vertical Interactive Surfaces, *Proc. of ISS'18*, pp. 339-344. ACM.
- [7] Otsuki, R. and Fujinami, K.: Transferring Information Between Connected Horizontal and Vertical Interactive Surfaces, *Proc. of NCSG'20*. (発表予定)
- [8] Pavlovych, A., et al.: Effect of screen configuration and interaction devices in shared display groupware, *Proc. of HCC '08*, pp. 49-56. ACM.
- [9] Pedersen, E. W., et al.: An experimental comparison of touch interaction on vertical and horizontal surfaces, *Proc. of NordiCHI'12*, pp. 370-379. ACM.
- [10] Rekimoto, J., et al.: Augmented surfaces: a spatially continuous work space for hybrid computing environments, *Proc. of SIGCHI'99*, pp. 378-385. ACM.
- [11] Rogers, Y., et al.: Collaborating around vertical and horizontal large interactive displays: which way is best?, *Interacting with Computers, Vol. 16 (2004)*, pp. 1133-1152.
- [12] Weiss, M., et al.: BendDesk: dragging across the curve, *Proc. of ITS'10*, pp. 1-10. ACM.
- [13] Wimmer, R., et al.: Curve: revisiting the digital desk, *Proc. of NordiCHI '10*, pp. 561-570. ACM.