

TransformTable: 人の空間配置を動的に変化させる自律変形デジタルテーブル

高嶋和毅^{†1} 会田直浩^{†1} 横山ひとみ^{†1} 北村喜文^{†1}

テーブルの形を物理的に変形可能なインタラクティブデジタルテーブル TransformTable を提案する。これは、ホストコンピュータからの無線コマンドに従って、その形状を各種モータにより機械的に変形させる。これにより、動的に変化するグループインタラクションに対しても、快適かつ適切な空間を自動的に維持したり、創り出したりすることが可能になる。また、テーブルの形は周囲の場の印象や質に変化を与えることから、テーブルの自律変形によって、人の空間配置やインタラクションを誘導することも可能である。さらに、表示する視覚的なデジタルコンテンツの形に応じてスクリーン（作業面）を適切な形にすることができるため、コンテンツの形に沿ったグループインタラクションの空間を構築することも可能である。そのプロトタイプとして、本研究では、テーブルの形を代表的な3つの形（正方形、円形、長方形）に変形することが可能なテーブルを設計し、実装した。さらに、予備実験により、テーブルの自律変形が複数人会話中の快適性やインタラクションに大きな変化を与えることを明らかにした。

TransformTable: A Self-Actuated Shape-Changing Digital Table

Kazuki Takashima^{†1} Naohiro Aida^{†1} Hitomi Yokoyama^{†1} Yoshifumi Kitamura^{†1}

This paper proposes TransformTable, an interactive digital table, whose shape can be physically and dynamically changed. Shape transformations are mechanically and electrically actuated by wireless signals from a host computer. TransformTable represents digital information in a physically changeable screen shape and simultaneously produces different spatial arrangements of users around the table. This provides visual information while changing the physical workspace to allow users to effectively handle their tasks. We implemented the first TransformTable prototype that can deform from/into one of three typical shapes: round, square, or rectangular. We also discuss implementation methods and further application designs and scenarios. A preliminary study shows fundamental and potential social impacts of the table transformation on users' subjective views in a group conversation.

1. はじめに

我々は、日常生活の中で、様々なテーブル(PC テーブル、ダイニングテーブル、会議テーブル等)を様々な用途(勉強、食事、ボードゲーム、ミーティング等)に応じて使い分けている。ほぼ全ての生活場面に密接に関わるために、テーブルについては様々な検討が進められ、テーブル面にタッチディスプレイを搭載したインタラクティブデジタルテーブルなども登場し普及しつつある¹⁴⁾。

社会心理学の分野においてもテーブルは重要な研究テーマであり、テーブルの形やサイズは周囲の人々の空間配置に影響し、その場の印象や雰囲気を変える力を持つと言われている¹¹⁾¹⁵⁾。例えば、正方形のテーブルは4つの明確な角と領域があるため、個人的な領域を確保することに長けており、また、長方形のテーブルは短辺に位置する人に対して周囲からの注目を集めるようになる(対辺に誰もいない場合)。円形のテーブルは明白な境界が存在しないため、周囲の人々に対等な対人距離の確保を促すものである。それぞれのテーブルの形の特徴を生かした場面として、ボードゲーム等の競争、リーダーシップを要するディスカッション、晚餐などが挙げられる。実際に、国際紛争に関する

会議は円卓で行われることが多く、違反行為が許されないボードゲームは正方形が用いられるなど、特にタスクや利用者の関係性に注意を払う場合は、適切なテーブルの選択が重要である。

しかし、複数人によるグループインタラクション(協調作業や会話など)では、タスク内容、場の印象や雰囲気、構成員やその役割などが時間とともに動的に変化することが数多くある。そのそれぞれの場面で構成員すべてが快適に過ごすためには、形が異なる複数のテーブルをあらかじめ用意して切り換えるか、手動型の形状可変テーブルを利用してその都度変形させる方法などが挙げられる。しかし、テーブルの取り換えや準備など本来の作業とは別の労力を要し、空間の快適性や作業の生産性を阻害してしまう可能性がある。インテリジェントで快適な空間構築のためには、自律的に変形するテーブルが必須であると考えられる。

そこで本研究では、状況に応じて自律的にテーブル面の形を変形することが可能なインタラクティブデジタルテーブル TransformTable を提案する。これにより、動的に変化するグループインタラクションに対しても、ユーザ自身が特に意識せずに、適切な空間や雰囲気を維持したり、創り出したりすることが可能になる。また、テーブルの形は周囲の人々の配置に影響を与え、そのテーブルの周囲の場の印象や質に変化を与える特徴を持つことから¹¹⁾¹⁵⁾、テーブ

^{†1} 東北大学 電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

ルの形が自律変形することによって、その場やインタラクションを誘導することも可能であると考えられる。さらに、テーブル面はスクリーンにもなっているため、視覚的なデジタルコンテンツの形に応じた適切な形にスクリーンを変形することができ、コンテンツの形に沿ったグループインタラクションの空間を構築することも可能である。本稿では、TransformTable のプロトタイプ 1 号機として、先に述べた円形、正方形、長方形の 3 つの形状に変形することができるインタラクティブデジタルテーブルの設計と実装について述べる。また、主にグループインタラクションにおけるアプリケーションシナリオを議論し、テーブルの自律変形が、代表的なグループインタラクションである会話中の人の行動や主観にどのような影響を与えたかを予備的に調査した結果を報告する。

2. 関連研究

手動で変形できるテーブルは多く販売されており（例えば³⁾）、状況に応じたテーブルの拡張は極めて一般的な要求であると言える。本章では、デジタルテーブルの設計に関する議論、形状を変形するテーブルやディスプレイ、テーブルが持つソーシャルインパクトについての研究を述べる。

2.1 デジタルテーブルとグループインタラクション

インタラクティブデジタルテーブルは長く盛んに研究されており、複雑なデータを複数人で協調的に閲覧、操作する際に有効な手段とされている。テーブルの設計に関しても検討が進んでおり、例えば、より良い協調作業空間を設計するためにテーブル面の大きさとグループサイズとの関連が調査されている¹⁷⁾。この研究では、テーブル面の大きさはグループの作業効率に影響を与えないが、被験者の主観評価に有意な影響を与えることを示している。同様に、デジタルテーブルの面やその周囲の人々のテリトリーの獲得¹⁹⁾や立ち位置の設定²¹⁾といった空間行動も活発に議論されてきた。

近年、複数人による情報共有をより効率的にするために、テーブルの周囲にいる人々の身体の位置や向きを検知可能なデジタルテーブルが提案されている¹⁵⁾。このような研究は、ディスプレイと人々の空間的關係（例えば、F-陣形）に基づいた近接学インタラクションと呼ばれ⁵⁾、活発に研究が進められている。

2.2 形状可変ディスプレイ

人々の空間配置に合わせて形状が変化するディスプレイはこれまでにいくつか提案されてきた。例えば、Connectable は個人用のモバイル型テーブルトップディスプレイで、2 台のテーブルを動かしている 2 人のユーザが近づくだけで結合することができ、会話を始めるにあたっての共有空間を簡単に作る事ができる²⁰⁾。Xpaand は、柔軟に引き伸ばしが可能な巻取り式フィルムで構成されている携帯型スクリーンであり、複数ユーザの位置関係に依

じて簡単に適切な大きさに調節することができる¹⁰⁾。Chained display は、複数のプラズマディスプレイを結合して作られたパブリックディスプレイであり¹²⁾、3 つの形状（水平型、凹型、六角型）を手動で切り替えることができる。評価実験により、ディスプレイ形状はユーザの空間行動に影響を与えることを示している。

近年、手動ではなく、自律的に変形するディスプレイやインタフェースに関する研究が盛んに行われている²¹⁶⁾。例えば、表示面を変形することによって、三次元的な凹凸を表現したり⁴⁹⁾¹⁸⁾、触覚フィードバックを与えたりすることができる⁷⁸⁾。また、作業や状況によって動的かつ複合的なアフォーダンスを提供するディスプレイもある⁷⁸⁾¹³⁾。このようにデバイスの物理的な変形は、それに関連する多くのインタラクションに影響を与えると、デジタルテーブルの形を動的に変化させることは、テーブルの周囲のグループインタラクションに大きく刺激を与える重要な意義を持つと考えられる。

2.3 テーブルの形と人々の空間配置

社会心理学の分野では、代表的なテーブルの形とテーブルの周囲の人々の空間配置について長年検討されており、次に示すような特徴が明らかにされている¹¹⁾¹⁵⁾。

円形のテーブル: 角や側面がないため、平等と結束の象徴とされており、均衡のとれた配置を促すものである。また、円形のテーブルには明白な個人領域が生まれにくいいため、テーブルの周囲の人の動きが発生しやすいという特徴もある。そのため、パーティなどの社交場、国家間の外交や対立を解消するための会議など対等な関係を強調すべき場面で利用されることが多い。

正方形のテーブル: 典型的な正方形のテーブルは 4 人で使用する設計となっていることが多い。4 つの角は、4 つの領域が独立していることも意味しており、等しい長さの 4 辺は確かなパーソナルスペースが保証されている。このことから、正方形のテーブルは地位や権力が等しいことによる平等性を表すが、個人領域が明確になるという特徴から、協調作業よりも競争や交渉といった場面に適している。

長方形のテーブル: 長方形のテーブルの主な特徴は正方形のテーブルと同様である。しかし、短辺の 1 つに人が位置し、他方の短辺に人がいない場合は、前者は一般にテーブルの上座として認識される。上座に位置する人は人々の行動やインタラクションを簡単に観察できる状況になることから、長辺に位置する人々から多くの注目を得ることになる。そのため、進行役や指導者がいるミーティングや会議に適するとされる。

これらの知見は、テーブルの形が周囲の人々のインタラクションに影響を与え、また形によって異なる場の印象を創り出すことが可能であることを示している。

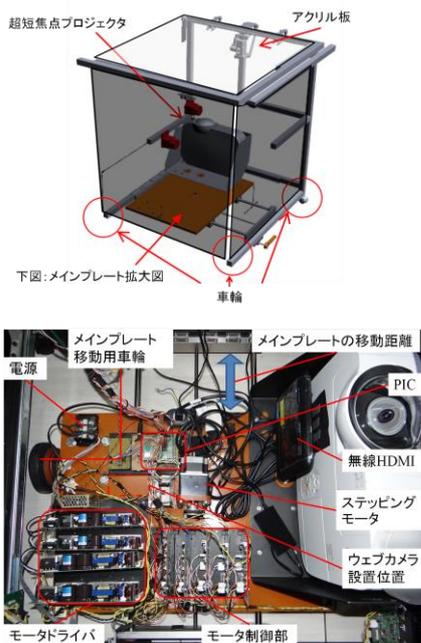


図 1: TransformTable の透視図と筐体内の上面図

3. TransformTable

これまで述べてきた通り、インタラクティブデジタルテーブルの多くはインタラクティブな操作と情報提示ができるディスプレイを持つテーブルとして設計され、協調作業等を便利に行わせる基本的なインタフェースとして発展してきた。しかしながら、テーブルとしての機能は従来のテーブルとほぼ同様であり、グループインタラクションにおける動的要因（構成員の変化、タスクの変化、雰囲気の変化など）に対して柔軟かつ適切な空間や作業面を提供しようとするものではなかった。

テーブルの大きさや形は周囲の人々の行動などに大きな影響を与えることが知られているため、本研究では、動的に形を変化させることができる自律変形デジタルテーブル TransformTable を提案し、会話などのグループインタラクションやタスクの状況に応じた空間や、異なる印象を持つ空間を創り出す新たな方法について検討する。本章では、TransformTable のプロトタイプの実装を詳細に述べる。

3.1 テーブルの形状

TransformTable のプロトタイプは、社会心理学の知見¹¹⁾¹⁵⁾と基本的な家具デザインに基づいて設計され、先に述べた 3 つの基本的な形（円形、正方形、長方形）に可変するものとした。その理由は、これらの 3 つの形が十分な社会的影響を持つと予想されることと、それら以外の形（三角形、半円、L 字型など）の効果をこれら三つの形の効果を組み合わせることで見積もれると考えられるからである。視覚的なデジタルコンテンツの形に応じて変形することを考えた場合は、この 3 つの形ではやや少ないが、本提案の主な目的は、テーブル面の変形によって周囲のユーザの立

ち位置などを含む行動変化を誘発し、結果として快適な空間行動を促すことであるため、その他の形状変化には今回は重きを置かないこととする。

3.2 実装

3.2.1 筐体とスクリーン

テーブルの大きさと高さは 4 人から 6 人のグループに合うように設計された。ここでは、ユーザが着席している状態ではなく立っている状態を想定している。それはテーブル面の変形の効果は、着席時ではなく起立時に顕著になると考えられるからである。故に、起立して作業が出来る高さにテーブル面を設置する必要がある。テーブル面にはアクリル板を使用し、ユーザはコーヒーカップや手をその上に置くことができ、また、テーブル面はスクリーンとしても機能する。テーブル面の変形に柔軟に対応する方法として、柔らかい材質を用いることも検討したが、変形時にしわがでる可能性が高いことと、物を置きにくいというテーブルの元来持つ機能が損なわれるため使用しなかった。

実装にあたり、まず、幅 960 mm、奥行き 960 mm、高さ 1000 mm のスチール製の正方筐体を製作した。図 1 は、内部に置かれたプロジェクタの位置やすべての制御盤が配置されたメインプレートやモータ、車輪などの位置関係を示している。4 つの側面は機械部品を防護するために、黒いアクリル板で覆われている（図 2）。メインプレートには、超短焦点プロジェクタ（NEC M350XSJL）を上向きに設置し、典型的なリアプロジェクションシステムと同様に、反射フィルムを貼りつけた透明なアクリル板に対して反転した映像を投影するものである。スクリーンの大きさは正方形のテーブルで約 40 インチ、長方形のテーブルで約 60 インチである。正方形のテーブルの最大投影領域は約 800 mm × 600 mm、長方形のテーブルでは約 1024 mm × 640 mm である。なお、正方形から長方形に変形する際、プロジェクタの投影中心がずれるため、テーブルの拡張方向にメインプレートを移動させる仕組みを有している。

プロジェクタの映像は外部のコンピュータから無線 HDMI 通信（WTR-HDAV/AT）を利用して送信される。また、我々は改造ウェブカメラと赤外線 LED、Touchlib ライブラリ²²⁾を使用して FTIR 方式⁶⁾のマルチタッチ入力を実装した。テーブルの変形を考慮し、赤外線 LED は長方形時のスクリーンの全ての側面に取り付けている。赤外線 LED は正方形と円形のテーブルを使用する場合には 3 つの側面にしか設置できないが、この場合でもテーブル面上の約 10 地点を同時に検知することができる。タッチスクリーンを無効にするとテーブル上にモノを置くこともできる。

3.2.2 自律変形のためのモータ操作

テーブルの自律変形はプログラムとテーブルの位置や周囲の人々を 3 次元位置センサで検知することで安全に制御されている。3 次元位置センサには Optitrack を使用し、

テーブルとユーザにマーカを取り付けることで空間内の 3 次元位置と方向を検出することが出来る。

外部の操作用コンピュータとテーブルに実装されたマイクロコントローラ (PIC:16F887, 20 MHz) は Bluetooth を用いてデータのやりとりを行う。外部コンピュータから変形や移動の命令信号を送ることで、全てのモータドライバ (PIC16F676, 4 MHz) が制御可能である。テーブルには、テーブルの移動に 2 つの 12V の DC モータ (DME60S8HPA) と、プロジェクタが設置されているメインプレートの位置調整にステッピングモータ (PK264B2-SG3.6) (正方形と長方形間の変形時)、側面を覆うための壁の開閉に 4 つの 12V の DC モータ (TG-47C-VG-230-KA)、4 つの半楕円のパネルの昇降に 24V の DC モータ (TG-47C-WM-145-HA)、スクリーンの形を長方形へ変形するための筐体の拡張に 2 つのリニアモータ (LAW2B90AW-6)、スクリーンの形を正方形から長方形へと変形する際の追加パネルの昇降に 2 つの 24V の DC モータ (TG-47C-WM-145-HA) が取り付けられている。全てのモータは PIC によって管理された各々のドライバによって制御されている。

TransformTable の全ての動作指示とスクリーンに投影される視覚コンテンツは無線通信を使って外部コンピュータから送られている。このプロトタイプはプロジェクタとメインの PIC などを作動させるために外部電源のみを導入しているが、今後、筐体内部を工夫して内部電源を設置する予定である。

3.2.3 自走と回転のためのモータ操作

テーブルは空間内で柔軟に動けるようにモータと車輪で並進移動と回転をすることができる。

テーブルの移動と回転は、筐体の底に取り付けられた 2 つの 12V の DC モータ (DME60S8HPA) と 2 つの車輪を利用して操作される。両輪が同じ方向に回転すればテーブルは前後に移動し (約 0.3 m/sec)、異なる方向に回転すればテーブルの中心を基準に回転する (約 $\pi/4$ rad/sec)。典型的な二輪モータのドライバのように、回転軸と回転角度は二つの車輪の速度を別々に調整することで変えることができる。テーブルとユーザの正確な位置は外部センサ (OptiTrack など) で検知できるため、ソフトウェアを通じてテーブルの位置と方向、形を精密に制御可能である。

3.3 変形

本プロトタイプは、円形⇄正方形⇄長方形の変形をすることができる。変形のスピードは、変形箇所とユーザの衝突がないように配慮して設定されている。

3.3.1 正方形と円形

3 つの形のテーブルの各種の寸法を図 2 に示す。正方形のテーブルは 850 × 850 mm のアクリル板をテーブル面とスクリーンとしている。円形のテーブルの筐体の大きさは正方形のテーブルと同じであるが、テーブルのスクリー

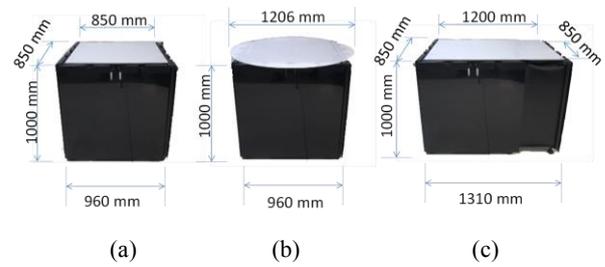


図 2. 各形状の TransformTable の見取り図

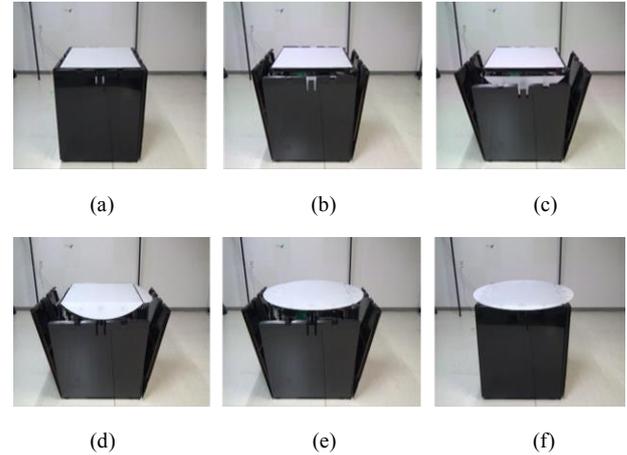


図 3. 正方形から円形への変形

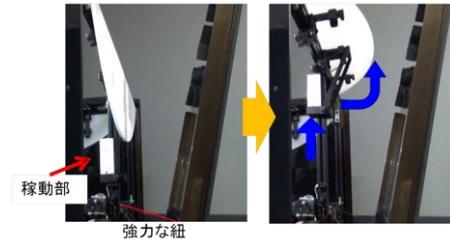


図 4. 壁と半楕円のパネルの挙動

ン面の直径は 1,206 mm であり、正方形のスクリーンに 4 つの半楕円のパネルを取り付けることで変形が完了する。その結果、スクリーン面の面積は $7,225\text{cm}^2$ から $11,417\text{cm}^2$ に変わり、円形のテーブルの面積は 3 つの形の中で最大となる。

図 3 は正方形のテーブル (図 3 (a)) が円形 (図 3 (f)) に変形する一連の流れを示している。まず、テーブルの側面の壁が外側に開き始める (図 3 (b))。テーブルの底にある蝶番でとめられた壁は自重によって外側に傾き、壁の中のモータのローラーに取り付けられた紐によって支えられている。壁が開ききったら (図 3 (c))、テーブルの中にある半楕円のパネルが壁の中に設置したモータとギヤ (図 4) によって持ち上げられ (図 3 (d))、正方形のパネルの各側面に取り付けられる (図 3 (e))。正方形のパネルの各側面に半楕円のパネルが水平に取り付けられたら、壁を支える紐をモータで巻取り閉じる (図 3 (f))。半楕円のパネルは正方形のパネルと同じアクリル板が使用されているが、現段階ではそのパネルはスクリーンとして使用できない。正

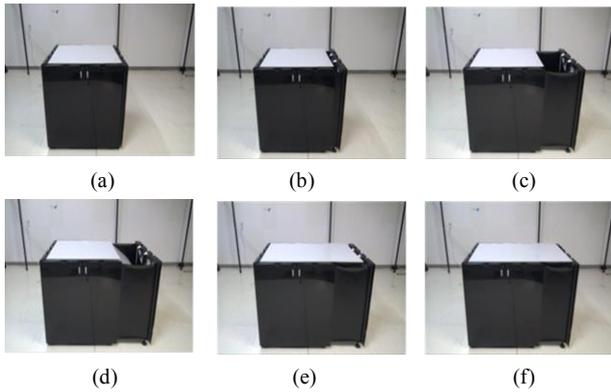


図 5. 正方形から長方形への変形

方形から円形への変形は約 20 秒, 円形から正方形への変形は約 18 秒の時間がかかる. これらの変形ではスクリーンの中心は同一なので, 筐体内のプロジェクトは移動しない.

3.3.2 正方形と長方形

図 2 の(c)に長方形のテーブルの寸法を示す. 長方形時の筐体の幅は正方形から 450 mm 伸びて 1,310 mm になり, 350 × 850 mm のパネルを正方形パネルの一边に並べて取り付けることで, スクリーンの面積は 7,225 cm²から 10,200 cm²に変化する.

図 5 は, 正方形のテーブル (図 5 (a)) が長方形 (図 5 (f)) に変形する一連の流れを示している. まず, ある側面の壁が 2 つのリニアモータとテーブルの底にある車輪によって外側に向かって移動する. この時, ロールカーテンを使うことで拡張された側面も覆われるようになっている (図 5 (b)と(c)). 壁の移動が完了すると, 正方形のパネルと同じ幅のパネルがベルトとモータによって持ち上げられ (図 5 (d)), さらに, 移動した壁が, そのパネルを支えるために, 少し内側に戻る (図 5 (e)と(f)).

正方形から長方形への変形, および長方形から正方形への変形は約 20 秒の時間がかかる. これらの変形については, スクリーンの中心にプロジェクトの位置を合わせる必要があるため, 図 5 に示す変形後に, プロジェクトの位置 (メインプレート) をステップモータで移動させる. 移動距離は 175 mm で, それが完了するまで約 1 分 30 秒の時間が必要となる.

3.3.3 円形と長方形

円形から長方形と長方形から円形の変形は, 図 4 と図 5 の一連の組み合わせで達成される. 変形に要す時間は約 40 秒である.

3.4 ドライブソフトウェア

テーブルの変形と移動は, Visual Basic によるプログラムで実装された外部プログラムによって制御される. テーブルとコンピュータの通信は Bluetooth を用いて行われる. プログラムは各種の壁, 半楕円のパネル, 長方形のスクリーンを補うための追加パネルのモータドライバを別々に操作することが可能である. またテーブル面のタッチ検知のた

めに Touchlib²²⁾を用いてソフトウェアも実装した. 図 7 は, 5 点のタッチ位置を検出できていることを示している.

4. アプリケーションシナリオ

4.1 対人インタラクション空間の動的な制御

TransformTable は協調的な作業空間を動的かつ柔軟に創り出すことができる. 一例として, 複数人の会話に参加する人数が変わるという場面で説明する. このようなグループの構成員が動的に変更される場面は, パーティや, 会社, 教室等で行われる会話では一般的であり, またその変化によって様々な印象が変わる. 例えば, 正方形のテーブルの 4 辺に位置する 4 人による会話を取り上げる. その場にさらに 1 人が加わった場合 (図 6 (a)の最右の男性), その人はおそらく等間隔で位置する 2 名の空間に割り込むことになり, ユーザの配置が等間隔であったテーブルの周囲の空間のバランスは崩れる可能性が高い. また, テーブルの形状 (4 人用) はその用途 (5 人会話) に適さなくなり, ユーザにとって快適な空間とは言えない. TransformTable を使うことで, そのような変化に柔軟に対応できると考える. 人数の増加やばらついた立ち位置を何らかのセンサ等で検出すると, テーブルの形を円形に変形することで, 新たに参加した人も適度な個人領域 (例えば手を置く等) を確保でき, 均等な配置 (適度な対人距離) による快適な空間を得ることができると考えられる (図 6 (b)). この例では, 円形のテーブルではなく, 長方形のテーブルに変形することでも対応でき, この場合は円形とは違った雰囲気を作り出すことが可能である (図 6 (c)).

以上の例では, あるイベントに基づきテーブルが変形するものであるため, ユーザはその形状変化の意味は比較的理解しやすく, 簡単にその効果や利点を会話やインタラクションに取り込むことができると考えられる.

4.2 会話スタイルに応じた動的な空間生成

TransformTable はテーブルの周囲で行われる会話スタイルを動的に制御することが可能である. 先行研究¹¹⁾¹⁵⁾や我々の予備実験では, 正方形のテーブルは競争場面向き, 長方形のテーブルは短辺に位置する人のリーダーシップを高め, 円形のテーブルは対等な立場でのインタラクションを促進する. したがって, 会話スタイルが動的に変化する場面において, TransformTable はそれに柔軟に対応でき, 常に適した空間を提供できるユニバーサルテーブルとして利用できる.

また, 自律変形できるという特徴を活用し, 例えば, 会話の状態をセンサ等で推定した上で, テーブルの形によってテーブルの周囲のユーザの立ち位置を変化させ, ある会話スタイルに誘導することも可能であると考えられる. 例えば, 複数人の会話において, 多様な意見を集めるブレインストーミング場面が検出された場合は, 円形のテーブルに変形することで, 特定の人の発言が多くなる状況を回避



(a) 不均等な配置

(b) 円形による均等な配置

(c) 長方形と協調作業によるリーダーシップの促進

図 6. 動的な空間生成の例



(a) 円形コンテンツ

(b) 長方形コンテンツ

(c) 正方形コンテンツ

図 7. マルチタッチ

図 8. コンテンツの形に応じたスクリーンの変形の例

してバランスの良いインタラクションを促す。または、あるリーダーのもとで意思決定をする場合には、長方形のテーブルに変形して短辺にそのリーダーを配置することで、その場でのリーダーシップを高めることも可能である（図 6 (b)から(c)）。これらの例では、テーブルの物理形状が変化するために高い確率で周囲のユーザの動きや立ち位置の変化を誘導することに成功すると考えられる。

4.3 コンテンツの形に応じたスクリーンの変形

TransformTable は、デジタルコンテンツの形に応じて、スクリーン（テーブル）の形を最適化することができる。例えば、地球や野球場など円に近い形のコンテンツを表示する場合は、円形のテーブルで表示する（図 8 (a)）。または、長い文章や 16:9 のアスペクト比の映画、またはサッカーなどのフィールドを見る場合は、長方形を用い（図 8 (b)）、チェス盤のような正方形コンテンツを見る場合には、正方形のテーブルに変形する（図 8 (c)）。このようにスクリーンを変形することで、コンテンツの形がより強調され、また、その周囲のユーザの立ち位置はコンテンツの形に沿ったものになるため、コンテンツへのアクセシビリティは向上すると考えられる。

5. テーブル変形の効果に関する予備的検討

本章では、TransformTable の最も重要な効果を調査した予備実験について述べる。テーブルの変形がグループインタラクションにどのような効果を残すのかを被験者実験により検証し、今後のアプリケーションの設計や心理学実験を計画する場合の基礎的な知見を得ることを目的とする。この実験は、テーブルの変形の効果のみを検証するものであり、スクリーン上の視覚コンテンツやタッチ機能の効果については検証しない。

5.1 実験手続

テーブルの 3 つの形と変形の効果を検討するために、4 章に基づいた 2 つのシナリオを用意した。1 つ目のシナリ

オは、集団で行われている会話に新たに 1 人が加わった場合に、より良い空間を創り出すために正方形から円形へ変形するものである。2 つ目のシナリオは、空間に対する印象を変えるために円形から長方形へ変形するものである。

TransformTable の機能を知らない 20 人（男性 9 名、女性 11 名、平均年齢 20.7 歳）の被験者が実験に参加した。実験者は被験者 5 人を 1 組とし、計 4 組を構成した。被験者は既知関係であった。2 つのシナリオの実施に関してはカウンターバランスをとった。被験者はテーブルの周囲で 5 分間会話を行った後、空間や対人インタラクションの快適性や印象に関する質問項目にリッカート尺度による 5 段階評価を行ってもらった。なお、テーブルの周囲で行われる基本的なグループインタラクションや空間行動を検討するため、自由会話を課題として用い、教示した。

5.1.1 シナリオ 1：正方形から円形へ

シナリオ 1 は次の 3 つの段階で構成されている。

- 1.1 正方形のテーブルの周囲で被験者 5 人のうち 4 人が会話。
- 1.2 実験開始 2 分後に、残りの 1 人が 4 人会話へ加わり、5 人で会話。
- 1.3 その約 10 秒後にテーブルが円形に変形し、被験者は引き続き 5 人で会話。

この実験では、グループインタラクションにおける動的要因に関する機能のうち、場の快適性の維持について検討することを目的とした。被験者は 3 つの段階全てに参加した後、各段階について「快適に感じましたか」という質問項目に回答した。1.1 と 1.2 の質問項目の比較は正方形のテーブルが 4 人の使用に適しているかを検討し、1.2 と 1.3 の質問項目の比較は被験者がテーブルの変形によって空間の快適さをどのように感じたのかを検討するものであった。また、テーブルの変形に関して、変形したことに驚いたか、変形したことに戸惑ったかという質問項目を分析し、テー

ブルの変形が会話の流れに及ぼす影響も検討した。

5.1.2 シナリオ 2 : 円形から長方形へ

このシナリオは次の 2 つの段階で構成されている。

2.1 円形のテーブルの周囲で被験者 5 人が会話。

2.2 実験開始 2 分後、テーブルの形が長方形に変形し、被験者は引き続き会話。

会話中に行われたテーブルの変形が場の雰囲気によぼす影響を検討するために、雰囲気は良かったかという質問項目を分析した。また、(長辺にいた人に対して) しばしば短辺にいる人を見たかという質問項目を分析し、長方形のテーブルの長短の辺の長さの違いが被験者にどのような印象を与えるのかを検討した。加えて、シナリオ 1 と同様に変形したことに驚いたか、変形が会話を邪魔したかという質問項目の分析を行い、会話中にテーブルの形を変形させることで生じる影響およびそのテーブルの変形に対する参加者の驚きを検証した。

5.2 結果

5.2.1 シナリオ 1 : 正方形から円形へ

1.1 vs. 1.2 正方形のテーブルを使用した場合、4 人による会話 (5 点中平均 4.2 点) は 5 人による会話 (3.4 点) より快適であることが示された。4 人の会話にもう 1 人加わることで、正方形のテーブルの 4 つの角や個別領域が新たに会話に加わった人だけでなく、他の 4 人に対しても配置に関して悪影響を与えた。観察においても、不均衡な空間配置を調整するために、被験者らは正方形のテーブルより大幅に大きな(テーブルから離れた)会話領域を形成して、テーブルによる効果を薄めようとする傾向も見取れた。

1.2 vs. 1.3 円形への変形 (4.5 点) は変形前の正方形 (3.4 点) と比較すると快適な空間を創出できたと考えられる。テーブルの周囲の被験者を等間隔の配置になるように円形のテーブルがそれを誘導した可能性が高く、それにより被験者が不足に感じていたパーソナルスペースを確保できたと考えられる。観察からも、会話領域は小さく円形のテーブルに沿っており、人々の配置の均衡がとれていることを確認した。

また、会話中のテーブルの変形は被験者を困惑 (3.0 点) させなかったが、ある程度の驚き (3.8 点) を感じさせた。

5.2.2 シナリオ 2 : 円形から長方形へ

2.1 vs. 2.2 長方形への変形 (3.7 点) は変形前の円形 (4.3 点) に比べて場の雰囲気をわずかに悪化させた。このような緩やかな効果であったのは、長方形の長短の異なる辺の長さの影響を受けない自由会話という課題であったためと考えられる。

被験者の多くは、長辺にいた者と短辺にいた者とは異なる印象を報告した。例えば、長辺にいた被験者は短辺にいた被験者に頻繁に注意を払ったと回答した (3.5 点)。ビデオデータの観察から、長方形のテーブルが円形のテーブルよりも広い会話領域を持つことと、本実験の場合は必ず

短辺に誰かが配置されていたことを確認した。しかしながら、テーブルの変形時間の長さが、驚き (4.3 点) や会話の流れを邪魔すること (3.4 点) が示された。

6. 考察

6.1 形と変形の効果

予備実験では、3 つのテーブルの形とテーブルの変形の興味深い効果を示した。正方形のテーブルを円形のテーブルに変形することで、被験者の空間配置を均一に調整する傾向が観察でき、快適な空間を維持することがアンケートにより確認できた。長方形のテーブルに関しては、被験者は、長辺と短辺の違いを感じることをアンケートにより確認し、円形から長方形への変形においては、より広い会話領域へと変化したことを観察した。これらの結果は、テーブルの形に関する心理学的理論と、本稿でも述べた様々なアプリケーション案を支持するものと言える。

2 つ目のシナリオでは、テーブルの自律変形は被験者を驚かせてしまい、自然な行動や会話を少し妨害した可能性があった。これについては変形時間を短縮することが重要になってくるが、我々は、実際のアプリケーションでは慣れやテーブル上の視覚的その他のコンテンツ等で何らかのアナウンスやアラートを提供することで解決できるものと考えている。また、現状のテーブルの変形時間 (約 20~40 秒) は、典型的なグループワークが行われる時間 (例えば、会議や協調作業に 1 時間費やすということは一般的である) よりも非常に短い時間であり、作業の本質に悪影響を与えるものではないと考えられる。TransformTable の利用方法については、ユーザ主導 (例えば、スイッチや身振り) の変形と、システム主導 (例えば、イベント、時間、インタラクションの計測に基づく) の変形があり、これらの違いを今後検討することでも、驚きやユーザの自然な行動の阻害に関して詳細に検証することができると考えられる。

6.2 実装

TransformTable は実験中に特に問題なく稼働しており、今後、ソフトウェアおよびハードウェアの改善が必要であるとしても、本稿で示したアプリケーションや心理学実験において利用可能な状態であると言える。テーブルの変形時間がやや長い点については、安全性を考慮して多くの部品を安定して連続稼働させるためにプログラム上で一定の待機時間を設けているためである。今後さらにデバッグを続けることで、この待機時間の最適化を図る予定である。また、円形と正方形間のテーブルの変形的设计において、テーブルの側面が開く際に、ユーザが少しテーブルから離れることがある。そのような行動は綿密なアプリケーションや心理学実験を実施する際に適切ではない可能性もあるため、半楕円のパネルを収納する別の方法を設計する必要がある。人の立ち位置の変化を促すという点では、現在の円形は半楕円のパネル部に映像投影できない点はそれほど

問題ではないが、側面に無線対応の携帯型プロジェクタ等を埋め込むといった工夫をすることで、この問題は改善できる可能性がある。また、より安全性の高い設計をするには、ユーザとの衝突を避けるために近接センサを稼働する部品全てに取り付けることも今後検討すべきである。

6.3 今後の展開

まず、スクリーン上のコンテンツの影響を調査する。テーブルの周囲にいるユーザは、インタラクティブコンテンツが表示されていなくても、テーブルに触れたりもたれたりすることが多かった。これはテーブルに対してユーザが自然と利用しようと近づくためである。そのために、インタラクティブコンテンツをスクリーン上に表示させた場合は、ユーザはコンテンツの形に沿った配置になると考えられるため、よりテーブルに近づき、テーブルの変形の効果はより高まると予想される。これに関連して、表示するデジタルコンテンツの形や向きも周囲のユーザの立ち位置に影響を与えることがあるため、物理的なテーブルの形と視覚的なコンテンツの形の関係についても検討していく必要がある。

その他、会議や議論、ゲーム、指導のようなより複雑なグループインタラクションにおけるテーブルの形や変形による効果についても検証していく必要がある。この場合は様々な社会的ニーズがあり、それによってテーブルそのものの効果や位置づけについても変わるものと考えられる。

さらに、変形の自由度を向上させることにも挑戦する価値がある。例えば、三角形や半円などのテーブルの形を増やすだけでなく、テーブルの傾きや高さなども変更することでより多様な場面に対応し、より効果的に人々のインタラクションに溶け込むと考えられる。さらに、このテーブルは移動や回転も可能であるため、それらや他の家具などとの連動も興味深い研究テーマとなりうる。

7. おわりに

本稿では、状況に応じて自律的に形を変形することが可能なインタラクティブデジタルテーブル TransformTable を提案した。これにより、余計な労力無しに様々なグループインタラクションに柔軟に対応した空間を維持したり、創り出したりすることが可能になる。また、テーブルの形は周囲の人々の配置を変化させ、場の印象や質に変化を与えるため、テーブルの自律変形によって、場やインタラクションを誘導することも可能である。さらに、テーブル上に表示する視覚的なデジタルコンテンツの形に応じた適切な形のスクリーンにもなるため、コンテンツに沿った作業空間を構築することも可能である。予備実験として、テーブルの形と変形がユーザの会話等のインタラクションに与える影響を調査し、十分な影響力を持つことを確認した。この基礎的な知見や経験はハードウェアやソフトウェアの向上につながり、今後は、アプリケーションの実装やより詳

細な社会心理学的な検討を実施していく予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(B): 23300081)の助成によるものである。

参考文献

- 1) Annett, M., Grossman, T., Wigdor, D., and Fitzmaurice, G. Medusa: a proximity-aware multi-touch tabletop, UIST, pp. 337-346, 2011.
- 2) Coelho, M., Ishii, H., and Maes, P. Surfex: a programmable surface for the design of tangible interfaces, CHI EA, pp. 3429-3434, 2008.
- 3) Fletcher Capstan Table: <http://www.dbfletcher.com>
- 4) Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Cheng, N., and Ishii, H. Jamming user interfaces: programmable particle stiffness and sensing for malleable and shape-changing devices, UIST, pp. 519-528, 2012.
- 5) Greenberg, S., Marquardt, N., Ballendat, T., Diaz-Marino, R., and Wang, M. Proxemic interactions: the new ubicomp?, interactions, Vol. 18, Issue 1, pp. 42-50, 2011.
- 6) Han, J. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection, UIST, pp. 115-118, 2005.
- 7) Harrison, C., and Hudson, S. E. Providing dynamically changeable physical buttons on visual display, CHI, pp. 299-308, 2009.
- 8) Hemmert, F., Haman, S., Lowe, M., Zeipelt, J., and Joost, G. Shape-changing mobiles: tapering in two-dimensional deformational displays in mobile phones, CHI EA, pp. 3075-3080, 2010.
- 9) Iwata, H., Yano, H., Nakaizumi, F., and Kawamura, R. Project feelex: adding haptic surface to graphics, SIGGRAPH, pp. 469-476, 2001.
- 10) Khalilbeigi, M., Lissermann, R., Mühlhäuser, M., and Steimle, J. Xpaaand: interaction techniques for rollable displays, CHI, pp. 2729-2732, 2011.
- 11) Knapp, M. L., Hall, J. A., and Horgen, T. G. Nonverbal communication in human interaction, WADSWORTH CENGAGE Learning, eighth edition, Chapter 5.
- 12) Koppel, M., Bailly, G., Muller, J., and Walter, R. Chained displays: configurations of public displays can be used to influence actor-, audience-, and passer-by behavior, CHI, pp. 317-326, 2012.
- 13) Rasmussen, M. K., Pedersen, E. W., Petersen, M. G., and Hornbæk, K. Shape-changing interfaces: a review of the design space and open research questions, CHI, pp. 735-744, 2012.
- 14) Rekimoto, J. SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces, CHI, pp. 113-120, 2002.
- 15) Richmond, V. P., McCroskey, J. C., and Hickson, M. L. Nonverbal behavior in interpersonal relations, sixth edition, Pearson Education, Inc., Chapter 9, 2007.
- 16) Roudaut, A., Karnik, A., Lochtefeld, M., and Subramanian, S. Morphees: toward high "shape resolution" in self-actuated flexible mobile devices, CHI, pp. 593-602, 2013.
- 17) Ryall, K., Forlines, C., Shen, C., Morris, M. R. Exploring the effects of group size and table size on interactions with tabletop shared-display groupware, CSCW, pp. 284-293, 2004.
- 18) Sato, T., Takahashi, N., Matoba, Y., and Koike, H. Interactive surface that have dynamic softness control, AVI, pp. 796-797, 2012.
- 19) Scott, S. D., Carpendale, M. S. T., and Inkpen, K. M. Territoriality in collaborative tabletop workspace, CSCW, pp. 294-303, 2004.
- 20) Tandler, P., Prante, T., Muller-Tomfelde, C., Streitz, N., and Steinmetz, R. Connectables: dynamic coupling of displays for the flexible creation of shared workspaces, UIST, pp. 11-20, 2001.
- 21) Tang, A., Tory, M., Po, B., Neumann, P., and Carpendale, S. Collaborative coupling over tabletop displays, CHI, pp. 1181-1190, 2006.
- 22) Touchlib: <http://nuigroup.com/touchlib/>