

概念操作に対応した空間操作ジェスチャインタフェースの提案

Proposal of gesture based spatial interface associated with design modeling

○川角 典弘^{*1}, 中尾 俊祐^{*2}, 稲田 優史^{*3}, 北川 仁^{*4}, 輪玉 隼也^{*4}
Norihiro Kawasumi^{*1}, Shunsuke Nakao^{*2}, Yushi Inada^{*3}, Jin Kitagawa^{*4} and Junya Wadama^{*4}

*1 和歌山大学システム工学部 講師 工博

Lecturer, Faculty of System Engineering, Wakayama University, Ph.D.

*2 凸版印刷株式会社 修士(工学)

Toppan Printing Corporation, M. Eng.

*3 和歌山大学大学院デザイン科学クラスター 大学院生

Graduate, Cluster of Design Science, Graduate School of Wakayama University.

*4 和歌山大学システム工学部 学部生

Undergraduate, Faculty of System Engineering, Wakayama University

Summary: In this research, we propose an interface to create architectural model by gesture operation in virtual space. Generally, in architectural modeling process by 3D CAD, a model is produced by mouse operation or command procedure in 2D display interface. However, these operations is not optimized for the designer's thoughts and conceptual procedures and make the modeling process complicated. It is necessary to introduce intuitive gesture operations such as manipulating physical blocks and objects. In developing a gesture operation interface, we will investigate case examples of pioneering spatial gestures. Then, we propose a conceptual model corresponding to the designer's thinking. Next, we tried on the development of a prototype interface using a motion sensor and head mount display. The system is a application that runs on Unity, and the linkage between the HMD and motion tracking sensor is programmed in C#. With this interface, it becomes possible to intuitively perform 3D modeling by the procedure of basic operations such as making models and blocks in virtual space. Finally, the effectiveness of the system is clarified by comparing the operation process of the proposed tool and the general 3D CAD system.

キーワード: 仮想空間; HMD; ジェスチャ; モデリング; インタフェース

Keywords: Virtual Space; HMD; Gesture; Modeling; Interface.

1. はじめに

CAD/CGによるデザイン検討は、CUIからGUIへと変化し、デザイナーは直感的なインタラクションによる操作が可能になった。現在は、タブレットやスマホの普及により、2D画面上でのフィンガージェスチャやペン操作といった従来のデザインメソッドを実現したタッチ操作でのオペレーションが導入されている。

一方で、HMDなどの空間表示・体験デバイスの登場は、ディスプレイ上での2D画面操作を超えて、仮想の3D空間上で直接、建築物などのデザイン検討や操作を可能にしつつある。仮想空間表示は、設計対象をリアルなスケールで体験でき、様々なシミュレーションや編集作業を行えることや従来のモデリング作業に伴う複雑な手順やコマンドの組み合わせをより理解しやすいメソッドへ転換させることが期待でき、今後、デザイン作業に対応した空間表示型インタフェースの重要性は高まっていくと

考えられる。しかし、現在、3Dモデルを表示、編集する際の操作手順や機能は、ツール毎に異なる仕様で実装されており、設計者の想起する概念や思考に対応して十分に最適化されているとは言えず、設計者の戸惑いや操作の煩雑さを生み、柔軟なデザイン思考や発想に対応できているとは言い難い。

本研究では、仮想空間上に置かれた3Dモデルを指や腕の動きによるジェスチャで操作するインタフェースの開発を通じて、設計者が対象を操作する概念や操作手順をモデル化し、プロトタイプによる検証実験を行った結果について述べ、空間表示型インタフェースを実現する際の問題点や課題について明らかにする。

2. 先行研究からみた位置づけ

設計者の思考に対応したデザイン支援について先行研究を調査し、本研究の位置づけを明らかにする。特に空

間やオブジェクトの操作に既存のメタファを利用，システム化を行なった事例についてまとめると，仮想空間上に3次元的なスケッチ操作を行う「空間スケッチ」^[9,10,11]，粘土のようにオブジェクトの固まりを加工していく「デジタルクレイ」^[14]，ブロックや積み木の組み合わせ操作で形成する「デジタル積み木」^[8,15,16,17,18]などに分類できる。本研究では，複数の部材を，物理シミュレーションを行いながら造形していく“積み木”操作が，立体構成などの基礎的造形教育として，また建築的な空間構成に有効と考えられること，デジタルデバイスの操作に不慣れな者でも，直感的な操作が可能な点からシステム開発の目標とする。

3. 研究方法

本研究を進めるにあたり，既存の3DCAD/CGツールのコマンド体系と操作手順を調査し，設計者が考える図形・立体操作の概念の整理を試みる。また，先駆的な空間操作インタフェースの構築事例を収集し，その中で行われているジェスチャ操作要素の抽出と基本的なタイプ分けを行う。これらの基本要素を組み合わせた一連の手続き

(プロシージャ)が，設計者の立体・空間操作の概念モデルと一致するようにモデル化する。次に空間操作ジェスチャを実装した仮想空間表示によるデザイン検討インタフェースのプロトタイプ構築に取り組む。このツールでは，HMDによる没入型の仮想空間表示に加え，非接触型モーションセンサーにより，設計対象の編集操作やコマンド選択をジェスチャで行い，3D立体の対話的なモデリング環境を実現する。最後に，提案ツールと既存の3DCADツールでのモデリングや操作体験の比較実験を行い，有用性を検証する。

4. 立体操作ジェスチャの事例調査とモデル化

三次元空間上の操作ジェスチャのモデル化にあたり，Youtube, Vimio などの動画サイトで公開されている製品プロモーション映像を収集した。モーションセンサーを利用したジェスチャ操作の実装事例の映像資料 47 例を基に，ユーザ側の行った手や指の動きの操作を「行為動作」，システム側がどのような反応を返したかを「操作目的」として抽出，最終的に 238 の行為抽出を行った。ジェスチャである「行為動作」は，ジェスチャ概要を示すイラストと説明を加えた「ジェスチャーカード」にまとめている。^[21]特定の目的や操作のためのジェスチャの 24 ケース (Table1) と複数の事例で確認できた汎用的なジェスチャ 20 ケースとなった。(Table2) これらのカードを組み合わせることで仮想空間上で立体を作成する際，どのような行為動作のプロセスをたどって目的の操作機能に至る

Table.1 特定の目的に沿った動作のジェスチャ

はらう 手を平らな状態で おしつけるように動かす	両手を振らす 上から下へ両手を振り下ろす	前後に並べる 両手を前後に並べ距離を近づけたり遠ざけたりする	手を横向けの 片手を右/左に向けて数秒止める	トリガーを引く 引き金を引くように人差し指を対象に向けて曲げる
手を開く 手を平らな状態で開くように動かす	両手を合わせる 持っている本を閉じるように両手を合わせる	クロスさせる T字に両手をクロスさせる	上下に動かす 手の平を下に向けて上下に動かす	親指を立て指す 親指を立てながら対象のものを指す
両手ですくう 両手で下から上へすくうように動かす	両手でつまむ 両手の左右をともに親指と人差し指をつける	指ではじく 指の先端で軽くはじくように動かす	投げる 片手でつかんで素早い動きではなす	はなす 手を握って持っているものをはなす/触れない
近づける, 触る 対象のものに手を近づける/触る	両手でつかむ 両手の左右をともに手をつかむ	両手を引寄せ 両手を前に伸ばす状態から曲げて両手まで引き寄せる	手を引寄せ 片手を前に伸ばす状態から曲げて両手まで引き寄せる	両手を開く 両手を合わせた状態から左右に広げる
首を傾ける 首を3軸方向に自由に動かす	掌を広げかざす 手の平を一面に広げて対象のものをかざす	両手を広げ伸ばす 両手を合わせた状態から大きく広げ伸ばす	手を動かす 両手の状態から3軸(前後左右上下)方向に自由に動かす	

Table.2 汎用的に利用された動作のジェスチャ

スワイプ 手または指をはらうように動かす	ピンチアウト 指と指を近づけた状態から離していく	手を前に出す 画面など自分の向いている方に向けてかざす	タップ 指で空間上を軽く叩くように動かす	ピンチイン 指を離した状態から近づけていく
回す 2本の指を回転させる片手/両手どちらでも	ダブルタップ 指と指を近づけた状態から離していく	手をかざす センサー/オブジェクトなどに手に向けてかざす	引っ張る はなすことなく対象の一部を移動させる	指す 人差し指などで対象のものを指す
つまむ 親指と人差し指をつけるもしくは、はさむ	ドラッグ はなすことなく対象のものを移動する	ひねる 手首を回転させ手をまわす	つかむ 片手でつかむ, グラブする	手を向け静止 画面に手に向けて数秒止める
手を押し込む 画面に手に向けてさらに押し込む	手を振る 片手を前に数回動かす	フリック 手または指を素早くはじくように動かす	円を描く 指で空間上に円を描く	手の平を返す 手を動かして、手のひらを自分に向けて

かのジェスチャ動作の手続きを検討し、空間モデリングを行う思考プロセスの手続きの体系化を行う。次に BIM 対応など、特定分野に対応した操作や手続きを実装している専門ツールではなく、基本的なオブジェクト操作を行う汎用 3DCG ツール (SketchUp, Rhinoceros, Lightwave Modeler) について、空間を操作する行為動作とその行為の目的を参考に、先に収集した 238 の事例を「行為動作」の意味の近いもので統合していくことで 38 行為に集約し、「操作目的」も意味の違いで 33 種類に集約した。以上の事例分析から収集した空間表示や立体操作をメタファとした行為は、1 つの行為が多目的に利用され、汎用的に用いられるケースと特定の操作概念に対応し、単一の目的に用いられるケースに分類できた。行為動作と操作目的の対応をパスとし、操作手続きの関係を図解したツリー図を示す。(Fig. 1) システムに実装するジェスチャとして複数の操作目的を持つ行為を中心に、システム上での役割を対応させた。(Table.3)

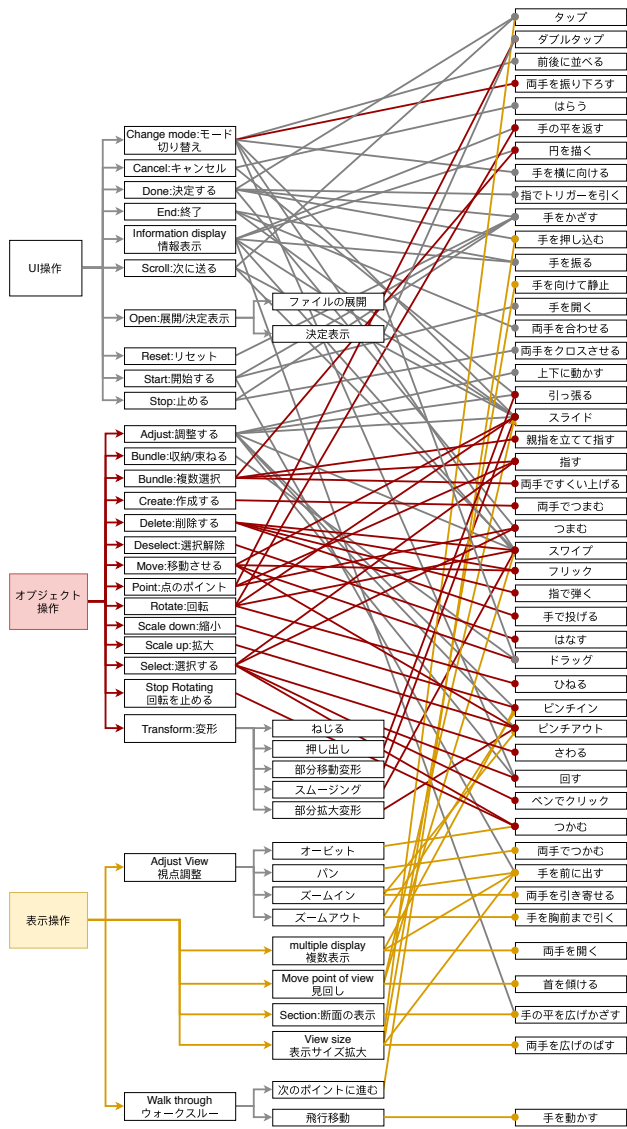





Fig. 1 ジェスチャ操作対応の行為動作と操作目的関係

Table.3 汎用ジェスチャから実装する機能一覧

ジェスチャ名	操作概要	システム上での機能
タップ	指で対象物を軽く叩くように動かす	ボタンを押す
ピンチアウト	指と指を近づけた状態から離していく	オブジェクトを拡大する
ピンチイン	指と指を離れた状態から近づけていく	オブジェクトを縮小する
つかむ	何かを片手で持つ、グラブ握る	オブジェクトを移動及び回転する
ひねる	手首を回転させる	オブジェクトを回転する
手で投げる	つかんだものを素早い動きではなす	オブジェクトを飛ばす、除外する
触る/近づける	何か対象のものに手を近づける	オブジェクトを位置調整する
指で弾く	指の爪側を素早く動かす	オブジェクトを弾く、除外する
はなす	手を開いて持っていたものと触れない	オブジェクトを配置する (選択の解除)
頷く	首を上下に縦に振る	ウィンドウ画面に肯定の意味として伝わる
首を横に振る	首を左右に横に振る	ウィンドウ画面に否定の意味として伝わる
手をかざす	手を何かの真上近くもしくは真ん前に持つ	センサーに検知させ操作を開始する
引っ張る	はなすことなく対象の部分を移動させる	オブジェクトの奥行きを伸縮できる
首を傾げる	首を三軸方向自由に動かす	視点位置がリンクして移動する
さす	人差し指などで対象の方向を示す	選ばれているボタン枠が強調される
手のひらを返す	手首をひねり手のひらの向く方向を変える	メニュー表示 (情報) が表示される
手を前に出す	自分の向く方向に手の平を向ける	センサー検知させ変形を開始する
両手でつまむ	両方の手ともに親指, 人差し指をつける	基本立体図形を生成する
両手で幅を作る	両手のひらを向かい合わせ間隔を作る	オブジェクトの幅を伸縮する
上下に動かす	手にひらを下に向け上下に動かす	オブジェクトの高さを伸縮する
つまむ	親指人差し指をくっつける	奥行き変形の機能を開始する
ダブルタップ	指で軽く 2 回間をあけず叩くように動かす	オブジェクトを複製する
手を押し込む	手を手のひらが向いている方向に素早く動かす	オブジェクトを前に移動し保存する
スライド/スワイプ	指または手を直線的に払うよう動かす	離れた位置にあるオブジェクトが移動する
手を上に向けて引き寄せ	手のひらを上に向け指だけを素早く 2 回動かす	離れた位置にあるオブジェクトが現れる
手を振る	手を広げ掌が向いている方向に対して横に手を数回動かす	シーンが再読み込みされる, 全て消える

また HMD のセンサーに対応し、モデリング操作上、システム操作により他の機能との連携に必要なと思われる新規ジェスチャ 4 種類を設定、追加を行っている。(Table4) 頷くは肯定、首を横にふるは否定などの直感的なフィードバックを与え、手で幅を作るはモデリングによくあるスケールの変更、手を上に向けて引き寄せは、モデルの手繰り寄せ行為に対応している。

Table. 4 追加で実装するジェスチャ操作

イメージ	説明	イメージ	説明
	頷く 首を上下に縦に振る		両手で幅を作る 両手のひらを向かい合わせ間隔を作る
	首を横に振る 首を左右に横に振る		手を上に向け引き寄せ 手のひらを上に向け指だけを素早く2回動かす

5. ジェスチャ操作インタフェースの開発

事例調査から抽出したジェスチャ操作の分類と汎用3DCG ツールのオブジェクト操作の対応から考察した立体操作ジェスチャを組み込んだインタフェースの開発を行う。このシステムは、仮想空間内に設計対象となるモデルを表示するヘッドマウントディスプレイと非接触モーションセンサーを組み合わせて、手によるジェスチャーで三次元立体操作を行うことができるプロトタイプと位置付ける。

ジェスチャ操作インタフェースの開発には、統合コンテンツ開発ツールの Unity を使用、表示デバイスは没入表示型 HMD「Oculus Rift」、手や指の動きをトラッキングするモーションセンサーデバイスに LeapMotion を使用する。主なソフトウェア開発環境と用途を示す。

- ・ 開発 PC : Microsoft Windows10
- ・ コンテンツ制作 : Unity(ver.2018.2.13f1) Personal
- ・ LeapMotion Orion(ver.4.0.0+52173): Leap サービスによるセンシングを行う SDK
- ・ LeapMotionCoreAssets4.4.0: Unity 上でハンドモデル表示と操作
- ・ LeapMotionInteractionEngine1.2.0: 触る、掴むなどのオブジェクト操作と物理シミュレーションの連携

LeapMotion でトラッキングするユーザの手は「手のひらの向いている向き」、「動きの速さ」、「位置や距離」を取得し、HMD では、頭の位置や向きを同様に取得して対応づけられたジェスチャかどうかの判定を行う。一連のオブジェクト表示や判定処理は、Unity 上で C#スクリプトによって制御している。システム構成の概要を Fig. 2 に示し、初期画面のインタフェースを Fig. 3 に示す。HMD を装着した操作者は、システムを立ち上げると仮想空間上の作業スペースに、自身の手を模したハンドモデルが表示される。作業スペース上部には「Editing Area (編集領域)」と表示される円形の作業台があり、変形、ユニット化、シンボル化の際に選択されているオブジェクトを判定する

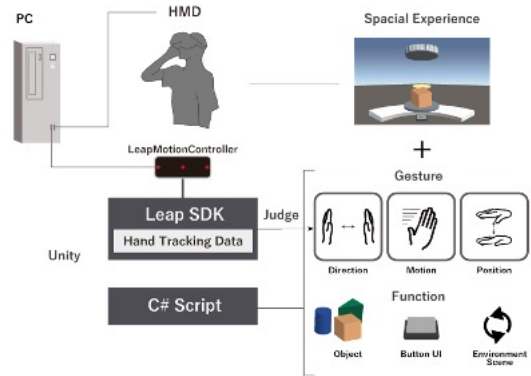


Fig. 2 ジェスチャインタフェースシステム構成図

以下にインタフェースの各要素について説明する。

- ・ 編集領域: 直径 400mm、高さ 4mm の灰色円形プレートで、上部の「Editing Area (編集領域)」と書かれている間のエリアが編集できる範囲となる。立体オブジェクトはこのエリア内にある時だけ変形が可能。
- ・ 扇形テーブル: 立体オブジェクトを編集領域から出し、一時的に置いておく。
- ・ 高さ調整判定ターゲット: 左右両側に配置された淡い緑色のターゲットで、高さ調整を行う際に使用する。
- ・ セレクトテーブル: 奥にある黄色の円形テーブルで、シンボル化した複数のオブジェクトからどのオブジェクトを再使用するか選択する際に使用する。
- ・ ガイド用パネル: 奥にある直方体のアイコンが三種類描かれたパネルで、オブジェクト変形を行う際、現在のモデル変形操作を行っているかのフィードバックを返す。
- ・ ハンドモデル: 設計者の手の動きをセンサーがトラッキングした結果を反映する仮想モデル。
- ・ 左手メニュー表示パネル: 左手のひらを目線方向に向けると表れるメニューパネルで、6つのボタンがある。立体を作成する際、どの立体を作成するか選択できる。
- ・ 仮想の身体: 半透明で表示された腰までの半身モデルで、仮想現実の没入感を高める演出。
- ・ ダブルタップボタン: 編集領域の下に配置されているボタンで、2回押すと複製が作られる。
- ・ トラッシュボックス: 後ろ側に配置された白い箱状のモデル、弾くまたは投げられ、落下した立体オブジェクトが入る。

モデルの作成は、基本的にハンドジェスチャのみで行う。主要なジェスチャ操作は基本オブジェクトの選択時の拡大縮小 (ピンチアウト)、幅の変更 (ストレッチ)、手をかざした押上げと押下げ、手のひらを上に向けて表示されるコマンド選択 (オブジェクト選択やグループ化) などの一連の操作を実現している。(Fig. 4)

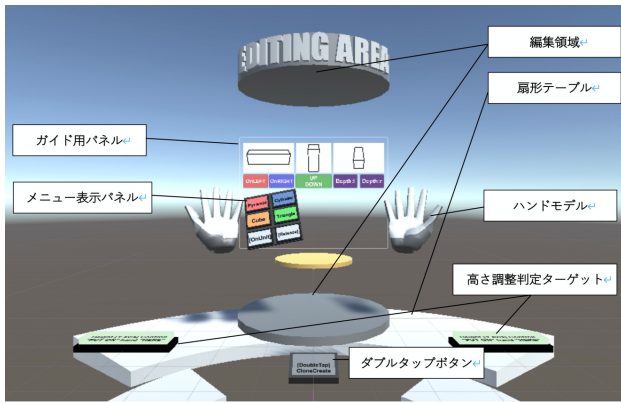


Fig. 3 仮想空間インタフェースの画面（正面と側面）

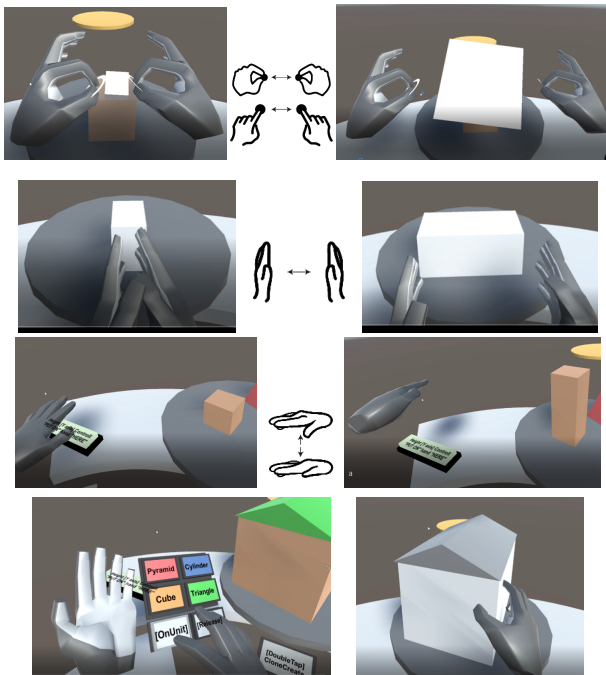


Fig. 4 ジェスチャ操作の操作画面（一部）

6. 提案インタフェースの評価

「手の動作」及び「動作の組み合わせ」のジェスチャ操作の対応と理解について、3DCG 経験のある学生 10 名を対象に事前アンケートを行い、既存の手続き型操作の 3DCG ツールと開発したインタフェースでのモデリング手順を比較する。(Fig.5)実装ジェスチャの理解、仮想空間表示と操作性、インタフェース全体の評価、操作対象と

操作手順の関係が、操作者が想定した手順とどの程度つながりを持ち、直感的に理解できたかを理解共感度として評価するアンケート調査を行なった。理解共感度は、イメージした使い方と操作手順が一致したかどうか、「一致しない」を 1、「一致する」を 5 とした 5 段階の平均値とする。11 種類のジェスチャ、「タップ、つかむ、投げる、触る、弾く、はなす、頷く、首を横に振る、手で幅を作る、手を上下させる」という操作については機能と操作の関係に高い共感理解度が得られた。

6 種類のジェスチャ、「手のひらを返す、ピンチ、引っ張る、押し込む、スワイプ、引き寄せ」はユーザーの理解に差があったものの理解が得られた。

3 種類のジェスチャ、「さす、ダブルタップ、手を振る」という操作については機能イメージと実装した機能について差があり、理解共感度が低かった。結果の一部抜粋を Table.5 に示す。(Table.5)



Fig. 5 比較実験の様子

7. 研究総括と今後の課題

本研究では、空間表示インタフェースの事例調査から抽出した操作ジェスチャについて分類し、3D モデリング行為の目的別に対応づけた手続きをジェスチャーカードとしてまとめ、ジェスチャ操作による空間操作インタフェースの提案を行った。設計者の概念モデルに対応した多義的・汎用的な用途のジェスチャに、独自ジェスチャを追加し、模型を作るような直感的操作と体験を可能にするインタフェースのプロトタイプは、HMD とモーショントラッキングセンサーによるナビゲーションシステムの操作性を実現した。

有用性の比較実験では、3D モデリング経験のある被験者を対象に、実装したジェスチャについて操作と機能の対応付けが適切かどうかの検証を行った。システム開発前の事前調査ではジェスチャから想起される意味について「機能イメージが想起される行為」と「使用者毎に機能イメージが異なる行為」に分かれたが、提案システムを体験後、各ジェスチャの適合性を示す「理解共感度」(Table5 中では、理解度と記述)は比較的高い平均値となる結果を得られた。既存モデリングソフトと比較した検証結果から、ジェスチャ操作による提案システムの特徴は以下が挙げられる。

- ・ 操作手順や手続きが決まっている既存ツールに比べ

て、ジェスチャ操作は直感的に理解しやすい

- ・ マウス選択などの操作に比べ、立体を直接扱う一体感が高いと感じやすい。
- ・ ジェスチャ操作後の結果表示や置いた、繋いだという触感、物理シミュレーションの誤判定などフィードバックに課題があった。
- ・ HMD の空間表示は、設計対象の位置やサイズの認識に個人差がある。
- ・ 仮想空間上に表示されたハンドモデルを自分の手と認識して操作できた
- ・ コマンド操作に比べ、モデリングに必要な作業量(手続数)は少ないと感じた

今後の課題として、理解共感性が低いジェスチャの見直し、モーションセンサーの精度向上、触感対応デバイ

Table.5 ジェスチャ操作と機能の理解度(評価数)

ジェスチャー	アンケート多数回答抜粋		システム上の動き	理解度
	何を	どうする		
タップ	オブジェクトを	選択する	ボタンを押す	5
つかむ	オブジェクトを	移動させる	オブジェクトを移動及び回転する	5
投げる	オブジェクトを	遠くへ配置	オブジェクトを飛ばす、除外する	4.9
触る/指で押す	オブジェクトを	選択する	オブジェクトを位置調整する	4.7
弾く	オブジェクトを	遠くへ配置	オブジェクトを弾く、除外する	4.9
はなす	オブジェクトを	はなす(つかむを解除)	オブジェクトを配置する	4.9
頷く	選択画面(ウィンドウを)	肯定を意味する	ウィンドウ画面に肯定の意味として伝わる	5
首を横に振る	選択画面(ウィンドウを)	否定を意味する	ウィンドウ画面に否定の意味として伝わる	5
首を傾ける	視点を	移動させる(向きを変える)	視点位置がリンクして移動する	4.8
さす	視点を	センタリングする	選ばれているボタン枠が強調される	3.6
手の平を返す	オブジェクトを	裏返す	メニュー表示(情報)が表示される	4.3
ピンチ	オブジェクトを	拡大する・縮小する	立体図形を生成しサイズ変形	4.3
幅を作る	複数オブジェクトを	整列させる	オブジェクトの幅を伸縮する	5
上下させる	オブジェクトを	高さを変更する	オブジェクトの高さを伸縮する	4.9
引っ張る	点(頂点)を	伸ばす(引き伸ばす)	オブジェクトの奥行きを伸縮できる	4
ダブルタップ	オブジェクトを	選択する	オブジェクトを複製する	3.3
押し込む	オブジェクトを	奥に移動させる	オブジェクトを前に移動し保存する	3.8
スワイプ	シーン・ビュー・ツールを	切り換える	離れた位置にあるオブジェクトが移動する	3.7
引き寄せ	オブジェクトを	手前(近く)引き寄せる	離れた位置にあるオブジェクトが現れる	4.4
手を振る	システムを(画面を)	終了する	シーンが再読み込みされる、全て消える	3.6

スの導入などが挙げられる。一方で、従来の画面ディスプレイ上で行う 3D モデリングに比べて、模型を扱うような立体表示の体験と加工・編集に伴うモデリング手順を模型操作のメタファーとして概念的に理解できる可能性を示せたことにより、デザイン検討シミュレーションのインタフェースとして価値があるものと考えている。

[参考文献]

- 1) 両角光男:建築設計の新しいかたち,丸善株式会社,1998
- 2) 井上勝雄:魅力的なインターフェースをデザインする,工業調査会,2008
- 3) 井上勝雄:インターフェースデザインの教科書,丸善出版,2013
- 4) 佐藤優美:参加型まちづくりにおける拡張現実を利用した非同期同室型討論システムの提案,システム工学研究科,和歌山大学,2017
- 5) 中尾俊祐:デザイン初期段階におけるジェスチャーインターフェースを用いた立体構成ツールの基礎的研究,システム工学部,和歌山大学,2016
- 6) 井上勝雄:直感的なインターフェースの10原則の提案,日本デザイン学会,デザイン学研究,2015
- 7) 三原功雄,沼崎俊一,土井美和子:ジェスチャ操作インターフェースのためのシニアのジェスチャの解析,情報処理学会,2002
- 8) 石井真奈,水谷元:アナログ的操作性とデジタルの段階的な確実性を持つ直感的な GUI デザイン,デザイン学研究,2012
- 9) 木村文彦:スケッチ情報を利用した3次元形状制御法,情報処理学会,1999
- 10) 吉田俊介:コンセプトデザインのためのデジタルツール「空間スケッチシステム」の開発,VR学会,2001
- 11) 中沢一雄:スケッチベース ボリュームモデリング,情報処理学会,2003
- 12) 佐賀聡人:3次元図形入力インターフェース BlueGrotto における重ねがきスケッチ入力の実現,電子情報通信学会,2003
- 13) 佐賀聡人:仮想空間上での手書きやジェスチャー認識に基づいた3次元モデリングインターフェース BlueGrotto の提案,電子情報通信学会,2004
- 14) 金谷一朗:投影型複合現実重畳による三次元造形支援システムのための操作インターフェース,電子情報通信学会,2007
- 15) 遠藤啓介:積み木メタファを用いたインタラクティブ仮想空間構築インターフェースの開発と評価,ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集,2003
- 16) 市田浩靖:TSUMIKI 仮想世界と実世界をシームレスに融合するユーザーインターフェース,VR学会,2006
- 17) 宮田一乗:TSUMIKI CASTLE 積み木を用いたインタラクティブな VR システム,芸術科学会,2014
- 18) 三村泰成:モーションキャプチャシステムと Blender を用いた組立構造模型システムの検討,日本機械学会,2014
- 19) Daniela Grijincu,Miguel A. Nacenta Per Ola Kristenson “User-defined Interface Gestures:Dataset and Analysis” Dresden,Germany,2014
- 20) Thomas G. Zimmerman, Jaron Lanier, Chuck Blanchard, Steve Bryson, Young Harvill “A HAND GESTURE INTERFACE DEVICE” VPL Resarch CHI + GI,1987
- 21) Luke Wroblewski, 「Touch Gesture Reference Guide by Luke Wroblewski」, <https://www.lukew.com/ff/entry.asp?1071>,2010