

空間座標入力で3次元部屋環境モデルを作成する VRアプリケーションの初期評価

党文博^{†1} 岡哲資^{†2}

概要: メタバースでは、ユーザーが自由に仮想世界の3Dモデル(ワールド)をアップロードし、仮想空間に入り込むことができる。だが、仮想世界の3Dモデルを作るのに一定のモデリング知識やモデリングソフトのスキルなどが必要とされているため、VR初心者が想像した3Dモデルを作成することは難しい。このような3Dモデルを作るのに、簡単に操作できるシステムが必要と考えられる。そこで本研究では、仮想世界を作る前段階として、3次元部屋環境モデルを作成するVRアプリケーションの開発を行い、有用性を検証する。本稿では、そのシステムの構成及び評価実験による初期評価について述べる。体験者は、5分間のチュートリアルを通して各ツールの使い方を習い、指定された部屋モデルを作成し出力する。今回は5名の大学生及び大学院生を対象に実験を実施し、被験者全員が10分以内でモデルを作ることができた。所要時間から多くの人が5分以内にタスクを完了できると推測された。多くの人が各モデルを作る際には、0.3m以内の誤差が出ると推測された。また、実験データおよび実験後のアンケートから、開発したアプリケーションが3Dモデリング経験のない人に有用であると考えた。

1. はじめに

近年、仮想現実(Virtual Reality: VR)技術の発達により、VRChatやClusterなどのメタバースが登場してきた。このようなメタバースでは、ユーザーが自由に仮想世界の3Dモデル(ワールド)をアップロードし、仮想空間に入り込み、あたかも現実のように体験できる。また、これらのメタバースには、ほかのユーザーがアップロードされている仮想世界が数多く存在する。しかしながら、仮想世界の3Dモデルを作成するのに、一定のモデリング知識やモデリングソフトのスキルなどが必要とされている。そのため、VRの初心者が想像した3Dモデル、例えば「自分の部屋をSF風にモデリングしたい」ということを実現するのが難しいと考えられる。このような3Dモデルを作るのに、簡単に操作できるシステムが必要と考えられる。

そこで本研究では、3次元部屋環境のモデル作成に注目した。Meta Quest2を用いて両手コントローラで空間座標を入力し、3次元部屋環境モデルを作成するVRアプリケーションの開発及び評価を行う。本稿では、そのシステムの構成及び評価実験による初期評価について述べる。

2. 関連研究

仮想空間における3次元物体の作成と操作をする初期的なシステムの1つはButterworthらが設計・開発された3DM[1]である。3DMは没入型モデリングソフトウェアで、ユーザーが仮想空間において簡単にプリミティブな物体を作成することができる。だが、このシステムは一度に1つの視点しか提供できないため、視点を変えるには「飛ぶ」か「スケール」機能を使用する必要がある。

もう1つのISSAC[2]は、Mineらが設計した没入型仮想

環境構築のツールである。このツールは、モデリングソフトウェアではなく、事前に作られた3Dモデルを仮想空間に生成させ、配置やアレンジすることで仮想環境を作るツールである。だが、使用者は自由に3Dモデルを作成することができない。また、一般ユーザー向けのメタバース用の部屋モデルを作成することができない。

プリミティブなモデルを使った環境構築に対して、仮想空間内で自由にモデリングするスケッチという手法は多くの研究がされている[3]。その中の1つにLift-Off[4]はJacksonらがペン型デバイスを利用して2Dスケッチから3Dモデルを生成する研究である。だが、仮想空間におけるスケッチは、絵の描けない人に対してすぐ部屋のモデルを作成することができない。

また、これらの研究と類似するツールとしては、仮想空間内でコントローラや手で建物を設計できる建築ツール「Arkio」[a]や、スケッチによる3DCGを制作できるアプリ「Gravity Sketch」[b]が挙げられる。しかし、これらのツールは、学習コストが高く、すぐ手軽に自分の部屋の3Dモデルを作ることができない。

3. VRアプリケーション

3.1 システム構成

システムの構成を図1に示す。Meta Quest2の両手コントローラを利用して、コントローラ座標とボタンで入力を行う。また、システム内で入力された座標をポリゴンとして生成し、3Dモデルデータと3Dモデルファイルが出力される。入力とするコントローラのボタン(トリガー、Aボタン等)の配置を図2に示す。メニューの操作に関しては、右コントローラから出ているレーザーポインタで選択を行い、Aボタンでメニューボタンのクリックを行う。さ

†1 日本大学大学院生産工学研究科数理工学専攻

†2 日本大学

a) <https://www.arkio.is/>

b) <https://www.gravitysketch.com/>

らに、アプリケーションでの操作の流れを図3に示す。

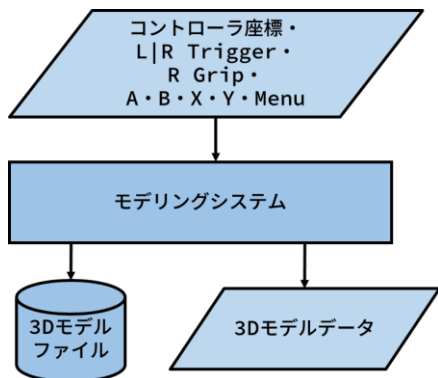


図1 システム構成図

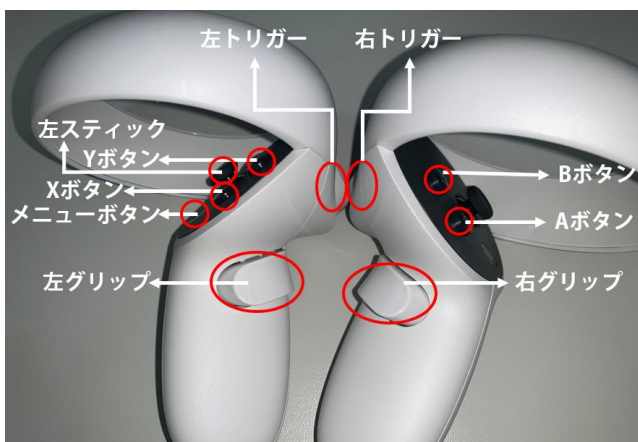


図2 使用するコントローラのボタン配置

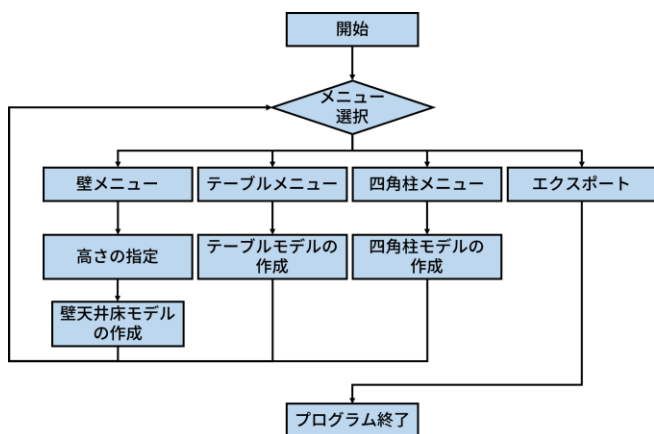


図3 操作の流れ

3.2 提案ツール

本研究では、Unity[c]を使用し Probuilder[d]パッケージと Oculus Integration[e]アセットを利用して VR 環境でオブジェクトのランタイム操作を行う。これによって 3D モデルを作成する VR アプリケーションにおいて 3つのツール

c) <https://unity.com/ja>
 d) <https://unity.com/ja/features/probuilder>
 e) <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/oculus-integration-82022>

を提案した。1つ目は壁の高さと壁の角を指定して壁・天井及び床を作成するツールである。2つ目はテーブルの角を4つ指定して4本脚の四角形テーブルを作成するツールである。3つ目はある四角柱物体の4つの角を指定して四角柱を作成するツールである。

3.3 壁・天井・床の作成

天井の高さは右コントローラを使ってメニューの UI ボタンで設定し、これを Y 座標とする。またトリガーボタンでコントローラの X 座標と Z 座標を時計回りに記録し、コントローラを仮想空間で時計回りに移動して順次に座標を2個～10個まで記録する。記録を終え、A ボタンで壁・天井・床が生成される。なお、面 (face) に関しては4つの頂点が図4の順で生成され、壁・天井・床の面がそれぞれ2枚片面のポリゴンを複製して反転した4枚のポリゴンからできている平面である。

3.4 テーブルの作成

テーブルの作成には高さの設定が不要であるが、コントローラの高さによりテーブルの高さが指定される。すなわち、コントローラの X 座標・Y 座標・Z 座標が全部記録対象となる。これも 3.3 と同じく、トリガーボタンで座標の記録を行い、コントローラを仮想空間で時計回りに移動して順次に座標を4回記録するものである。生成も同じく、A ボタンを利用する。なお、コントローラの Y 座標が常に同じ値にならないことを想定して、4回記録された Y 座標の平均を取り、記録された Y 座標に置き換える。

生成したモデルは図4を基準として、2つのポリゴンを上に0.025m押し出して、押し出された側面の4つの面をさらに各法線方向に0.025m押し出す。また、テーブルの脚はプリミティブなキューブを0.02m×0.02m×記録された Y 座標の平均で生成し、座標 $(x_a, y_{mean}/2, z_a)$ に4つ配置される。 x_a は、a番目の X 座標で、 z_a はa番目の Z 座標である。また、 y_{mean} は記録された Y 座標の平均である。テーブルのワイヤーフレームを図5に示す。

3.5 四角柱の作成

四角柱の作成では、高さを最後に設定できるように設計した。これも2.4の座標記録と同じく、コントローラを仮想空間で時計回りに移動し、トリガーボタンで4つの空間座標の記録を行う。記録を終え、A ボタンを押しながら上に移動し、底面から離れた距離を四角柱の高さとする。四角柱のワイヤーフレームを図6に示す。

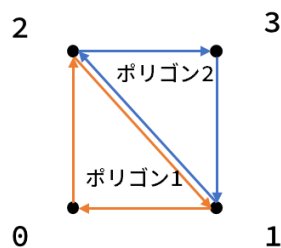


図4 面の生成

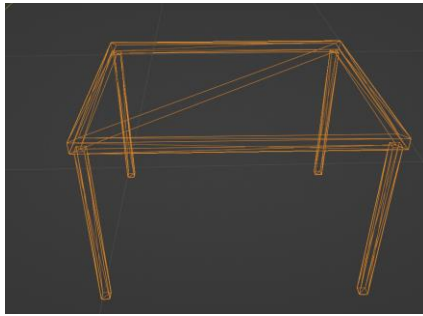


図5 テーブルのワイヤーフレーム

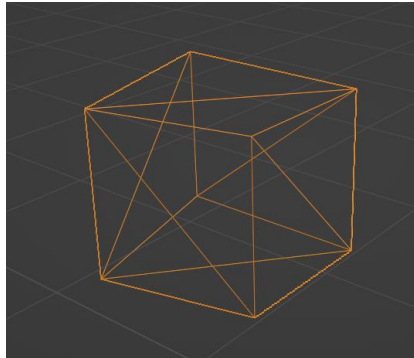


図6 四角柱のワイヤーフレーム

3.6 仮想空間

仮想空間では、20m×20mの平面オブジェクトを床、周りに非表示されたキューブオブジェクトを境界として設置した。また、カメラと両手コントローラのモデルを入れ、左手アンカーにメニューのUIを設置した。仮想空間の様子を図7に示す。メインメニュー以外に、壁メニュー、テーブルメニュー、四角柱メニューを図8のa, b, cに示す。モデルをエクスポートする際には、メインメニューの中心に出力先のパスが図8のdのように表示される。

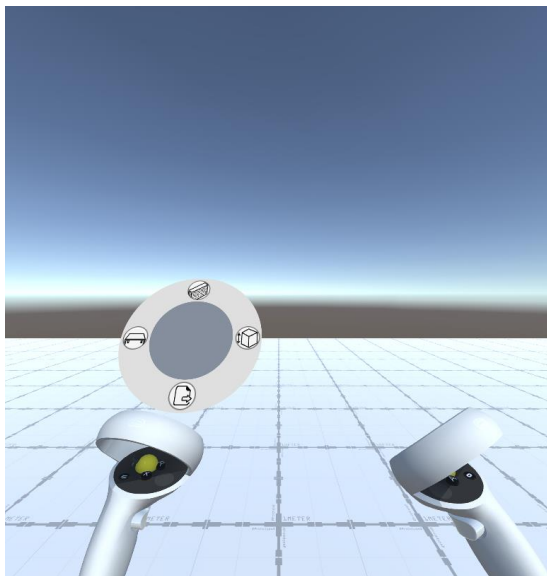


図7 アプリ内の仮想空間の様子

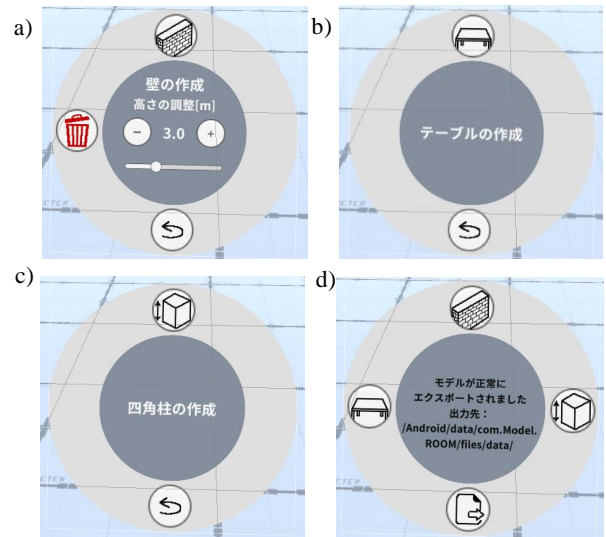


図8 メニューの操作UI

4. 評価実験

4.1 実験目的

本研究では、開発したVRアプリケーションを使って、使用者が指定されたモデルを作ることによって、所要時間とモデルの誤差の見通しを得ることと、アプリケーションの有用性の検証および問題点を発見するために初期評価として実験を行う。

4.2 実験条件

本実験の被験者は5名（内男性5名）で、平均年齢22.4歳の大学生または大学院生である。実験は、被験者がアプリを初めて使用することを前提として、大学の研究室でMeta Quest2を使って実施した。

4.3 実験手順

開発したアプリケーションの有用性を検証するために、以下の手順に沿って初期評価実験を行った。

(1) 事前説明

説明・同意書を配布し、開発したVRアプリケーションの概要・実験目的・コントローラの使い方の説明を行う。

(2) チュートリアル

ヘッドマウントディスプレイを装着し、メニュー操作及びチュートリアルに関する説明を行い、被験者からの質問に答える。チュートリアルシーンでは、図9の右図のように予め作成した部屋のモデルに半透明なマテリアルを適用した。被験者は、各ツールの説明を受け、このモデルを再現させる作業を行い、objファイルとして出力する。

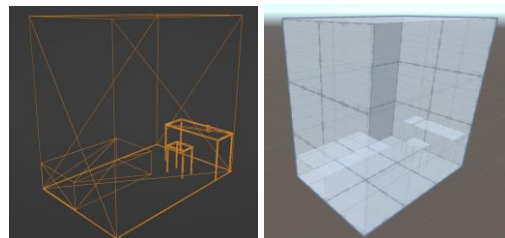


図9 チュートリアル用モデル

(3) 課題

タイトルシーンに戻り、課題のシーンに切り替える。課題シーンには、課題の要件が目の前に固定されている。被験者は、課題の要件に指定されたモデルを作成し、obj ファイルとして出力する。作成する 3D モデルは、壁、テーブル、椅子、ベッドとした。また、課題の要件を図 10 に示す。なお、被験者が各モデルを作成する前に、実験実施者は各課題の要件の説明を行う。課題では、被験者からの質問を受け付けないこととする。

(4) 調査

実験を終え、3 つの設問「コントローラを使用して物体の角の位置に関する記録操作がしやすかったか」、「記録された位置の場所が確認しやすく、モデルの作成に役立つと思うか」、「提案するツールを使って、ストレスなく部屋モデルの作成ができたか」について、アンケートの調査を実施した。回答は、「あてはまる」を 5 点、「ややあてはまる」を 4 点、「どちらともいえない」を 3 点、「あまり当てはまらない」を 2 点、「当てはまらない」を 1 点とした点数で主観的評価をしてもらった。そのうえで、体験した感想や改善点等を自由記述してもらった。加えて各モデルを作成するのに所要時間を計測し、モデルのそれぞれの頂点座標から指定された数値との誤差を記録した。

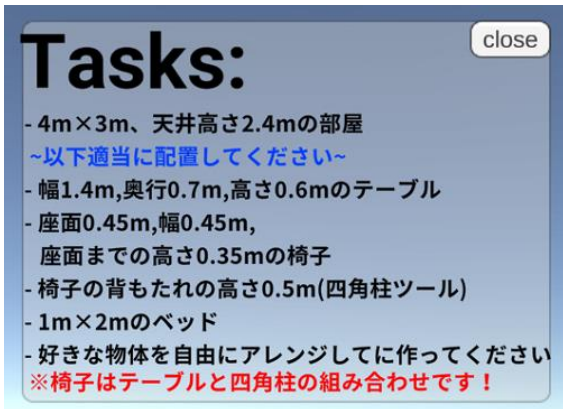


図 10 課題の要件

5. 実験結果と考察

5.1 実験結果

被験者が作成した壁、テーブル、椅子、ベッドのモデルについて、所要時間の平均、中央値、標準偏差を表 1 に、それぞれのタスク完了時間の分布を図 11 に示す。実験では、被験者全員が 10 分以内にタスクのモデルを作れた。

また、各作成された 3D モデルと指定された値との誤差の分布をそれぞれ図 12、図 13、図 14、図 15 に示す。グラフでは、「座標 a-b」が a 番目の座標と b 番目の座標の距離と指定された値の誤差を示す。さらに、プラスの値は指定された値より不足している値であり、マイナスの値は指定された値より超過した値である。

体験の映像から、テーブルと椅子を作成する際に、間違えた操作を行ったことで、やり直し操作を多く行ったことが見られた。

システム全体に関する主観評価を図 16 に示す。設問 1 は「コントローラを使用して、物体の角の位置に関する記録操作がしやすかった」、設問 2 は「記録された位置(赤・青の球)の場所が確認しやすく、モデルの作成に役立つと思う」、設問 3 は「提案するツールを使って、ストレスなく部屋モデルの作成ができた」である。設問 1 である角座標の記録についての評価平均点が 4 点、設問 2 である記録された点がモデリングに役立つかについての評価平均点が 4.2 点、設問 3 である提案したツールの使いやすさについての評価平均点が 3.8 点あり、それぞれの最高評価が 5 点で、最低評価が 3 点であった。

自由記述のうち、感想、意見、改善点等について書かれているものを次にまとめる。

- ・「空間的な操作」でオブジェクトを作る技術はパソコンの 2 次元画面を介さず、直観的に作ることができる。
- ・大きいものを作るときに、座標の確認がしづらい。
- ・高さが把握しにくいので高さを提示してくれると助かる。
- ・作成したモデルは斜め向きの線になるときがあるため、自動校正がほしい。
- ・プリミティブがあってもいいと感じた。
- ・移動が X 軸、Y 軸などに沿って移動できるとモデルの作成がもっとやりやすいと思う。
- ・VR 経験はあまりないが、部屋モデルを簡単に作成できた。
- ・記録された点は時計回りの順で記録しづらかった。

表 1 タスク所要時間の統計

タスク種類	平均値[s]	中央値[s]	標準偏差
壁	35.043	31.463	6.565
テーブル	45.488	44.452	16.057
椅子	65.594	89.188	38.684
ベッド	19.512	20.997	2.641
タスク全体	165.638	186.858	58.585

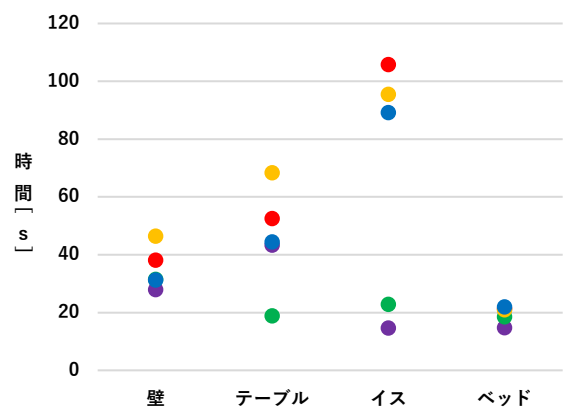


図 11 タスク所要時間分布

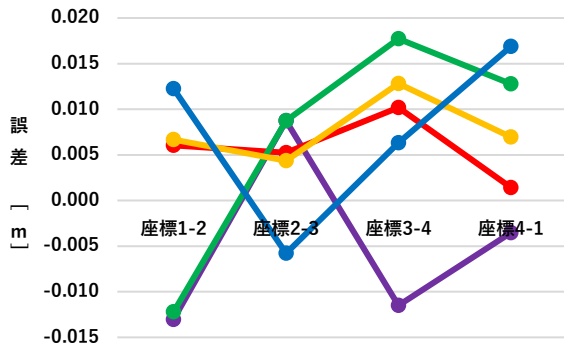


図 12 壁の各座標間距離の誤差

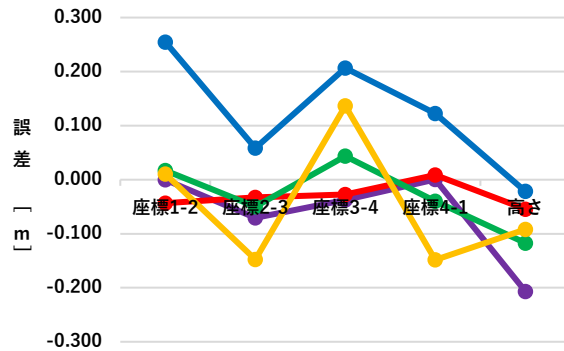


図 13 テーブルの各座標間距離の誤差

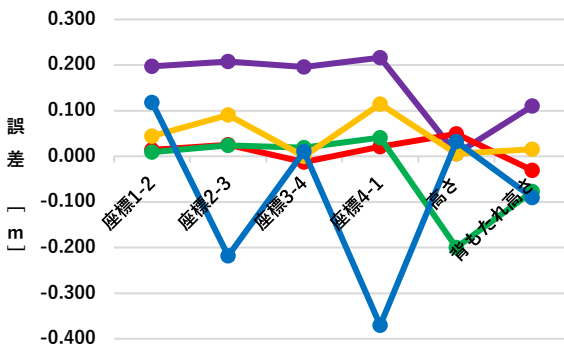


図 14 椅子の各座標間距離の誤差

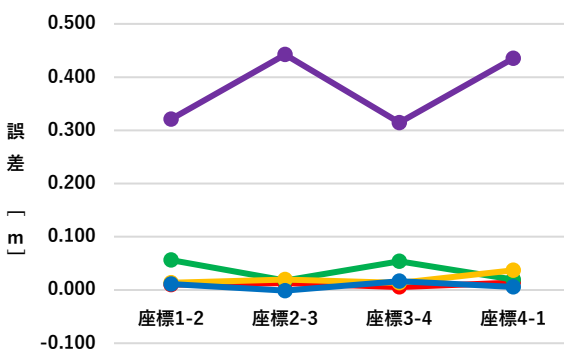
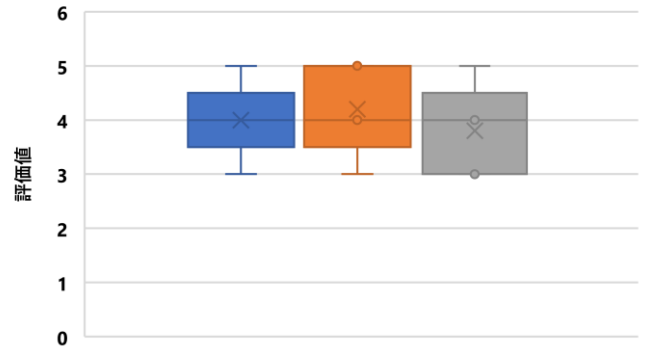


図 15 ベッドの各座標間距離の誤差



- コントローラを使用して、物体の角の位置についての記録操作がしやすかった
- 記録された位置(赤・青の球)の場所が確認しやすく、モデルの作成に役立つと思う
- 提案するツールを使って、ストレスなく部屋モデルの作成ができた

図 16 主観評価

5.2 考察

(1) 所要時間

所要時間について、壁の所要時間の平均値と標準偏差から、95.5%信頼区間では、多くの人がおおよそ 48.2 秒以内に壁のモデルが作れると推測される。また、テーブルの所要時間の平均値と標準偏差から、95%信頼区間では、多くの人がおおよそ 77.6 秒以内にテーブルのモデルが作れると推測される。椅子の所要時間の平均値と標準偏差から、95.5%信頼区間では、多くの人がおおよそ 143.0 秒以内に椅子のモデルが作れると推測される。ベッドの所要時間の平均値と標準偏差から、95.5%信頼区間では、多くの人がおおよそ 24.8 秒以内にベッドのモデルが作れると推測される。ここで、ベッドを作成する前に、椅子の作成に同じ四角柱ツールを使用したため、所要時間が短かったと考えられる。この中で、テーブルの高さはコントローラの Y 座標を利用するため、コントローラの高さを調整しつつ座標を記録することで難易度が高くなり、所要時間の散らばりの度合いが大きくなったと考える。椅子はテーブルと四角柱ツールの組み合わせから、難易度が高く、操作の手間が増えたと考えられる。よって、所要時間の散らばりの度合いがテーブルより大きいと見られる。また、被験者全員がタスク全体の所要時間から、多くの人がおおよそ 5 分以内にタスク全体を完成することができると予測される。

(2) 誤差

指定された値と作成されたモデル各座標間距離の誤差について、壁のモデリングでは、一番誤差が小さいことがわかる。信頼区間 95.5%では、多くの人が壁の長さの誤差を 0.018m 以内に作れると推測される。テーブルのモデリングでは、高さを確保しながら座標を記録する必要があるから、高さの誤差が小さいテーブルモデルには、幅と奥行き誤差が大きくなる。また、高さの誤差が大きいテーブルモデルには、幅と奥行き誤差が小さくなること分かる。

信頼区間 95.5%では、多くの人がテーブルの幅と奥行き
の誤差を 0.213m 以内、高さの誤差を 0.224m 以内に作れる
と推測される。椅子はまた、テーブルと四角柱ツールを使
って作ったモデルであるため、誤差のばらつきが大きくな
っていることが分かる。信頼区間 95.5%では、多くの人が
椅子の幅と奥行きを 0.299m 以内、座面の高さの誤
差を 0.204m 以内、背もたれの高さの誤差を 0.137m 以
内に作れると推測される。このことから、モデリングの操
作をする際に、X 座標、Z 座標と高さ (Y 座標) を同時
に確保することが難しいことと、誤差が大きく発生するこ
とがわかる。また、ベッドのモデリングでは、5 人分のデ
ータから、信頼区間 95.5%では、多くの人がベッドの幅
と奥行きを 0.385m 以内に作れると推測される。だが、
外れ値を排除すると、信頼区間 95.5%では、多くの人が
ベッドの幅と奥行きを 0.050m 以内に作れると推測さ
れる。外れ値に関しては、被験者が床のグリッド目盛りを
見間違えたと考えている。なお、本実験ではサンプルサイ
ズが小さいため、推測した値が変動することがあると考え
られる。

(3) 有用性

開発した VR アプリケーションが有用であると考え
る。図 11 の所要時間より、多くの人が短時間で部屋のモ
デルを作成することができると考える。作成されたモデル
では、目盛りを見間違えて作ったものがあるが、慎重に
作れば、正確なモデルが作れると考えられる。さらに、
実験後アンケートから、アプリケーションの全体評価の
平均点が 4 点であった。また、アンケートの自由記述
から、「空間的な操作」でオブジェクトを作れる技術は直
観的に作ることができる」、「部屋モデルを簡単に作
れた」といった感想が得られた。このことから、開発
した VR アプリケーションが 3D モデリング経験のない
人に有用であると考えている。

(4) 問題点

問題点 1 : 大きい誤差が出ることがある。テーブル
作成ツールを使用する際に、コントローラの X 座標、
Y 座標、Z 座標を同時に見る必要がある。図 13、
図 14 より、作られたテーブル、椅子モデルの誤差が
0.20m 以上出たことから、これらの座標を同時に見
ることが難しいと考えられる。高さを重視すれば幅
と奥行きを重視すれば高さの誤差が大きくなり、幅
と奥行きを重視すれば高さの誤差が大きくなること
があるだろうと考えている。また、図 15 より、ベ
ッドを作成する際に、見間違えがあったことで、
0.30m 以上の誤差である外れ値が出た。このこ
とから、モデルを作成する際に大きい誤差がでること
があることは問題だと考えられる。

問題点 2 : 操作が難しく感じられることがある。
体験の映像から間違った操作が何度も行ったことがあ
った。また、図 16 より、設問 3 のストレスなく部屋
モデルの作成に関しての評価では、2 人が 3 点と評
価された。自由記述より、「大きいものを作るときに、
座標の確認がしづらい」、「時

計回りの順で記録しづらかった」といった主観的な感
想から、操作が難しく感じられることは問題だと考
えられる。

6. おわりに

本稿では、Meta Quest2 を用いて両手コントローラ
で空間座標を入力し、3 次元部屋環境モデルを作成す
る VR アプリケーションを開発した。評価実験から、
5 分のチュートリアルを通して、多くの人が壁、
テーブル、椅子、ベッドが配置されている部屋の
モデルを 5 分以内に作成することができると推測
された。作られたモデルの誤差では、見間違えが
なければ正確に部屋のモデルが作れると考えてい
るが、多くの人が各モデルを作る際には、0.3m
以内の誤差が出ると推測された。また、実験デー
タおよび実験後のアンケートから、開発したアプ
リケーションが 3D モデリング経験のない人に有
用であると考えた。一方、作成された 3D モデル
の誤差と体験の映像および実験後アンケートから、
以下に 2 つの問題点があると考えた。

1. 大きい誤差が出ることがある。
2. 操作が難しく感じられることがある。

今後は実用に向けて、学習コストを最小限にア
プリケーションの改良を行うことを検討する。ま
た、より多くの実験参加者を募り、改良したア
プリケーションの有用性を検証していく予定であ
る。

参考文献

- [1] Butterworth, J., A. Davidson, S. Hench, and T. M. Olano.: 3DM: A Three Dimensional Modeler Using a Head-Mounted Display. ACM Computer Graphics: Proceedings of 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, Cambridge, MA, pp. 135-138 (1992).
- [2] Mine, M.: ISAAC: A virtual environment tool for the interactive construction of virtual worlds. UNC Chapel Hill Computer Science Technical Report TR95-020 (1995).
- [3] Xu, P., Hospedales, T. M., Yin, Q., Song, Y. Z., Xiang, T., & Wang, L.: Deep learning for free-hand sketch: A survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. (2022)
- [4] Jackson, B., & Keefe, D. F.: Lift-Off: Using Reference Imagery and Freehand Sketching to Create 3D Models in VR. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. (2016)