

# インタラクティブ3D屋内モデラとサービスフィールドシミュレータの連携に関するフィジビリティ調査

玄 政祐\*\* 石川 智也\*\* 興梠 正克\*\* 蔵田 武志\*\*

A Feasibility Study on the Cooperation between an Interactive 3D Indoor Modeler and a Service-Field Simulator

Jungwoo Hyun, Tomoya ISHIKAWA, Masakatsu KOUROGI and Takeshi KURATA

In this paper, we present a feasibility study on the cooperation between an interactive 3D indoor modeler and a *Service-Field Simulator*. The interactive 3D indoor modeler was developed for supporting to create 3D indoor models efficiently from a single photo by interaction techniques using geometric constraints and features of indoor environments and visualization techniques. Also, the *Service-Field Simulator* (SFS) was developed for reproducing about repetition of locomotion and relatively simple work, and for realizing pre-evaluation based on understanding conscious and unconscious behavioral selections of people in service fields. We performed the feasibility study for examining the cooperation between our modeler and simulator through simple experiments. Consequently, we confirmed that participants could design a high-precision model using a picture in a short time. And, we found the capability for performing prompt progression from 3D model design to experience in VR.

**Key words:** 3D indoor environment model, Interactive modeling, Service-field simulator, Feasibility Study, Cooperation

## 1. はじめに

3次元技術の発展と共に3D映画、PCゲーム、3Dテレビなど、3次元環境を接する機会が増えていく趨勢である。また、仮想現実感技術を用いたシミュレーションに対する様々な研究が行っている。その中、仮想環境の構築と体験をするためには高価なVR装備や開発ツールが必要であり、操作の難しさなどの制限が多いという問題があった。さらに、サービス産業には様々な現場があり、多様なサービス提供者と受容者の要求を満足させる必要がある。その際に、サービスの構築、維持、改良等を考慮して最適な方案を選択することが要件の1つとなる。従って、様々なサービス現場の多様な要求に対して高い柔軟性と融通性をもって対応していく技術が必要となってくる。

ここで、著者らは次の3点を基にしてインタラクティブ3D屋内モデラ[1]とサービスフィールドシミュレータを開発している。

- 1) 初心者でもし易く触れ合える仮想環境の設計と経験を提供
- 2) 複合現実感技術によるサービス現場の再現
- 3) サービス現場でのユーザの行動分析及び事前評価の実現

本稿では、実際のサービス現場を仮想的に再現するために開発したモデラと再現された仮想環境を事前評価するためのシミュレータとの連携を明らかにすることを目的としている。そして、参加者らが作成した仮想の部屋をシミュレータの中で拝見してもらい、モデルの作成から体験までの一連の過程における有効性に関して述べる。即ち、ショッピングセンタ、外食レストランなどのサービス現場の3DCGを作れると、そのCGの中に仮想的に入って体験できるため、その現場の理解に役立つことである。

## 2. 関連研究

サービスに対する多様なサービス提供者・受容者の要求を満足させてサービス現場に適用するために、複合現実感技術を用いて実際に構築しなくとも新しいサービスに関する事前評価の可能性を調べることを主眼点としている[2]。そこで、実際のサービス現場を仮想化し、ユーザに臨場感を与えるための没入型環境を提供する必要がある。

仮想環境の構築するツールや3次元復元手法に関する様々な研究が行っており、再現の仮想環境を体験するための没入型環境を提供する様々な装置が開発されている。

その中、写真を基に3次元モデルを構築する手法として、被写体の3次元形状を人の操作を加えることなく自動的に構築する自動モデリング手法と、モデリング作業に人が介在する手動・半自動モデリング手法がある。

自動モデリングの手法には被写体の3次元形状を復元するためのStructure-from-Motion (SfM) [3]やステレオ法[4, 5]などが挙げられる。3次元形状復元処理については処理の自動化により人的コストが削減可能という利点があるが、SfMやステレオ法によって良好なモデルを得るためには被写体を多くの視点位置から重複して撮影する必要がある。また、Inside-out撮影を適した屋内環境の撮影法はカメラの少ない移動量で得られた写真群からの推定したカメラパラメータや3次元点群情報が不安定になり易い。

手動・半自動モデリングでは、自動モデリングに比べてモデル作成に時間を要するが、人知による高品質で安定した3次元モデルを作成することができる。しかし、Google SketchUp[6]はモデリング作業において、写真は3次元モデルとの照合のために表示されている程度にしか利用されていない。Ohら[7]のシステムは事前に写真を手動で領域分割しておく必要があり、その作業には膨大な時間を要する。

また、これらのモデリング手法ではオクルージョンなどで伴うテクスチャの欠損の対策が考慮されておらず、テクスチャ欠損領域の発見や、実環境とその領域の対応有無などを把握することが

\* 原稿受付 平成22年 10月 15日

\*\* 非会員 産業技術総合研究所サービス工学研究センター (つくば市梅園 1-1-1 中央第二)

困難である。

没入型環境を提供するために HMD、CAVE[8]、Garnet Vision[9]、Ensphered Vision [10]、*blue-c*[11]、Cyber Dome[12]、などのディスプレイ装置が開発されている。

HMD、CAVE、Garnet Vision、Ensphered Vision は 360 度の仮想空間を提供しているため、完全に仮想空間に含まれているような感覚を伝達する。しかし、HMD は FOV に制限があり、低解像度による疲労感を与えてしまう問題点がある。また、手持ちデバイス又は地図による情報獲得が困難である。CAVE の場合、背面プロジェクション方式なので広いスペースが必要であり、設置場所に汎用性がない。Garnet Vision は 12 面体のスクリーンと 12 台のプロジェクタで構成されており、Ensphered Vision は球形スクリーンと平面鏡で構成されているため、開発が難しく、構築するのに高コストが必要である。

Cyber Dome と *blue-c* は部分没入型ディスプレイなので正面を見ている時は没入感を与えられるが、背面には映像が映っていないので、振り返りなどのユーザの行動が制限されるという問題点がある。

以下、3 節ではこれらの問題点や限界を考慮して開発した 3 次元環境モデリングツールであるインタラクティブ 3D 屋内モデラ [1] と没入型ディスプレイのハンズフリー全方位シミュレータであるサービスフィールドシミュレータについて述べる。

### 3. 仮想環境の構築及びシミュレータ

#### 3.1 インタラクティブ 3D 屋内モデラ

インタラクティブ 3D 屋内モデラは屋内環境の可視化への応用を想定し、ユーザが屋内環境の 3 次元モデルを容易かつ効率的に構築することを目的としている。また、実際のサービス現場に対して 3 次元環境モデルの適用を前提として、実用品質の 3 次元環境モデルを安定し、効率的に作成可能であることを開発指針とした。そのために 3D 屋内モデラは、安定にモデルの作成が可能な手動・半自動モデリングを基にして、写真からの幾何学的拘束を利用したインタラクションや可視化技法、Visual SLAM[13]や PDR センサモジュール[14, 15]からの位置・方位情報を用いた複数のモデルの統合処理により、効率的なモデリング作業を支援する。さらに、自動テクスチャ欠損検出と推奨撮影位置提示によって、より完成度の高いモデル作成を支援する。

インタラクティブ 3D 屋内モデラにおけるモデリングの流れ (Fig. 1) は、事前処理としてモデリング対象の屋内環境を撮影し、Visual SLAM によって 3 次元点群から成る疎な環境マップを生成すると同時に PDR によってグローバル座標系でのユーザの位置・方位を計測しておくことで、環境マップの実スケール化とグローバル座標系への変換を行う。撮影した写真上の消失点により推定される被写体の座標系 (ローカル座標系) でローカルモデルを作成し (Fig. 2)、モデリングの繰り返しによる多数のローカルモデルを統合することで広域屋内環境モデルであるグローバルモデルを作成する。また、モデリング中は視点移動や、射影テクスチャ・デプスマップ・色・奥行き値の混合提示、適応的に制御される第 2 視点表示によりモデルの形状を容易に把握可能とする。

ローカルモデルのグローバルモデルへの統合処理では、事前処理で生成した疎な環境マップと PDR からの写真撮影時の位置・方位情報を用いた自動統合処理と、幾何学的拘束を用いた

手動統合処理を併用することで、ユーザに負荷をかけることなく確実にモデルを統合する。モデル統合後、グローバルモデル中からテクスチャ欠損領域を自動検出し、その領域を効率良く撮影可能な視点位置と PDR からの自己位置・方位を表示することで、ユーザがよりテクスチャ欠損の少ないモデルを作成することを支援する。

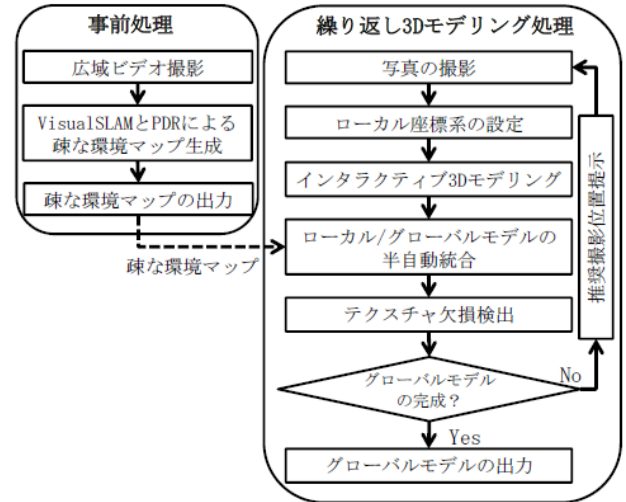


Fig.1 Flowchart of the modeling process

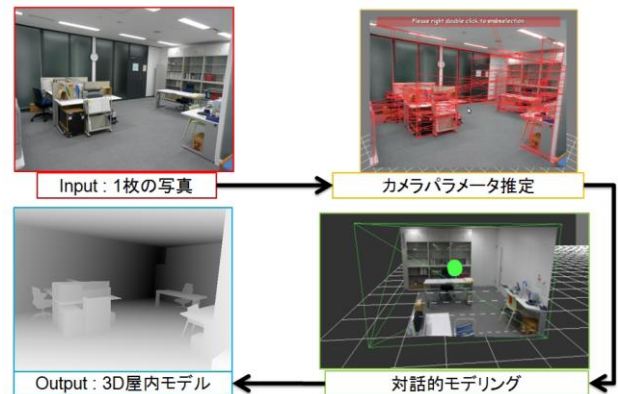


Fig.2 Interactive modeling using 1 image

#### 3.2 サービスフィールドシミュレータ

サービスフィールドシミュレータ (SFS) はサービス提供者・受容者にとって頻繁に起こる状態の 1 つである「サービス現場内の移動と比較的に単純な作業の繰り返し」を仮想的に再現し、人間行動の理解に基づいたサービス現場の事前評価を実現することを目的として開発されている。仮想化されたサービス現場における被験者実験においては、仮想環境と実環境との違いに起因するノイズ混入を抑制する必要がある。例えば、日常生活の中では歩行による移動が頻繁に行われている。また、人の動き (歩く、走る、回るなど) と同期化された視覚情報が得られる。さらに、人々はハンズフリーの状態 handheld デバイスや紙媒体 (地図、サイン、カタログなど) 又は、他の人との対話によって情報を獲得する。これらの人間行動に対して仮想環境でも類似感覚を提供する必要があり、被験者実験での誤差を減らして正確な結果を得る必要がある。

そして、評価実験時の最大のコストの 1 つは、被験者 (特にサービス提供者) の拘束であるため、コストや時間、スペースの制

限を解決しなければならない。

このような条件を果すために次の3つのコンセプトを想定してサービスフィールドシミュレータを開発した。

- 1) 足踏み動作と体の回転による操作体系
- 2) 対話による情報共有
- 3) コンパクトで簡易な機構による複製の容易さ

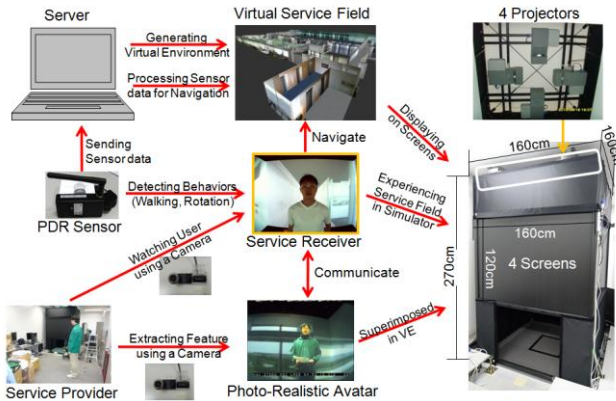


Fig.3 The Service-Field Simulator (SFS)

Fig. 3で表しているように、PDR センサモジュールを用いることによってユーザの足踏み動作と体の回転を検出し、仮想空間をナビゲーションできる。また、このようなセンサモジュールによりハンズフリーとなるので、手持ちデバイスや紙媒体による情報獲得と作業支援が再現できる。一方、PDR センサモジュール[14, 15]は実環境で歩行者の位置と方位の情報獲得と個人に移動サービスを提供するために開発したセンサであるが、サービスフィールドシミュレータではユーザの行動、特に足踏み動作と体の回転を計測するために導入された。

4台のプロジェクタを用いて仮想環境を4枚のスクリーンに均等配分して表示する。これによって全方位没入型シミュレータになり、ユーザの動きに同期化した視覚情報を提供することが可能である。そして、足踏み動作と体の回転による移動も提供していることで絶対方位感覚を維持することが可能となる。

画像処理技術に基づいてリアルタイムに生成される写実的アバター[16]による他ユーザとの対話機能を提供している。2台のカメラを利用してアバター役をする人（特にサービス提供者）の輪郭抽出とシミュレータ内でのユーザ（特にサービス受容者）の行動を観測する。こうすることで、仮想化サービス現場内でサービス提供者と受容者間の対面対話が可能となる。

加えて、サービスフィールドシミュレータはコンパクトで簡易な機構による複製の容易さを実現しているので、サービス現

場近くでの実験を可能として社会実装性を向上されることを考えている。

## 4. フィジビリティ調査

### 4.1 実験環境

**参加者** 17名（男性：8名、女性：9名）、平均年齢は12.6歳であった。参加者らは3D屋内モデルとサービスフィールドシミュレータでの体験について未経験であった。参加者の内、仮想現実という言葉を知っている人が9名、仮想環境を体験したことがある人が2名であった。また、3Dゲームの経験者が7名であった。ゲームやテレビ視聴など、日常生活での集中力[最小値：0、最大値：4]は平均2.59（標準偏差：1.18）であった。

**装置** 参加者らが作成した仮想部屋をナビゲーションするために、足踏み動作と体の回転を検出するセンサモジュールを用いた（Fig.4-センサ）。

**手続き** 実験は17名の被験者を4組に分けて行った。そして、実験はインタラクティブ3D屋内モデラを用いて1枚の写真から3D CGの部屋を作成してもらい（Fig. 5-(a)）、予め構築したグローバルモデルに統合した後、SFSの内でその部屋を拝見しながら体験する手順で行った（Fig. 4）。ここで、インタラクティブ3D屋内モデラを用いた3D部屋の作成方法は、1）1枚の写真を選択、2）平行直線、法線ベクトル選定などのカメラパラメータ推定、3）平面による3Dモデル設計、4）個別モデルのグローバル化、である。

また、参加者に交代でアバター役をしてもらい、対話による情報共有のために導入した写実的アバタの存在感を評価した（Fig. 5-(b)）。

各被験者に対して3D部屋の作成とシミュレータでの体験が終了してから2種類のアンケートを実施した。インタラクティブ3D屋内モデラについてのアンケートとサービスフィールドシミュレータについてのアンケートを用いてモデラとシミュレータのフィジビリティ調査を行った。



(a) 3D model made by a participant

(b) Photo-realistic abatar

Fig.5 Environment of experiment



Fig.4 The process of the design and experience for a 3D room

## 4.2 実験結果

インタラクティブ 3D 屋内モデラとサービスフィールドシミュレータに関するアンケートの評価結果、インタラクティブ 3D 屋内モデラを用いた 3D 部屋の作成に関して制作の面白さは高く評価された。操作の簡単さは普通だと評価されたが、制作における作業については比較的簡単だったことが分かった (Fig. 6)。サービスフィールドシミュレータにおける仮想環境の体験に関しては、足踏み動作で実際の歩き方と同じような移動ができなかったことと、アバタと会った時に本当の人と会っているようには思えなかったことが明らかになった。しかし、仮想環境に対して VR 酔いはほとんど感じずに、体験の楽しさと作ったモデルへの満足度は高く評価されたことが確認された (Fig. 7)。

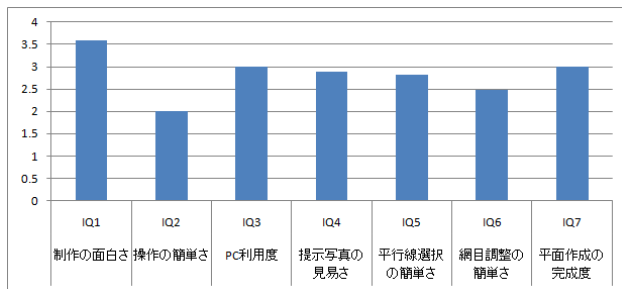


Fig.6 The result of the questionnaire for the interactive 3D indoor modeler

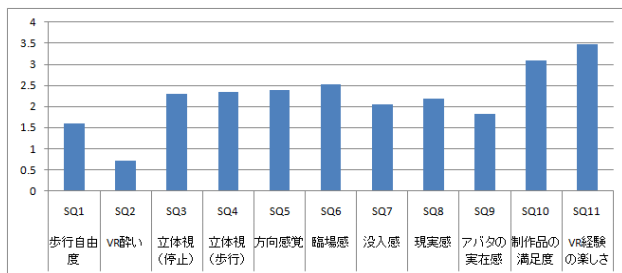
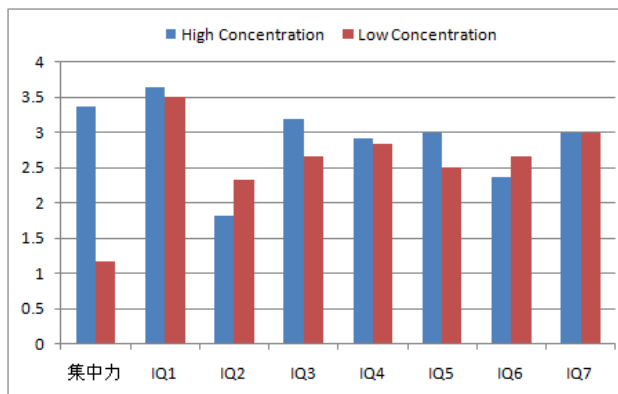
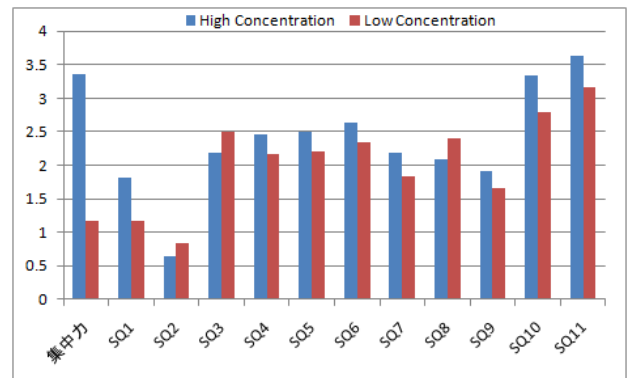


Fig.7 The result of the questionnaire for the SFS

アンケートの結果から日常生活での集中力が高い群と低い群を分けて比較した結果、モデルの作成については有効な差が確認されなかったが (Fig. 8-(a))、高い群の方が低い群よりも仮想環境における臨場感や没入感、現実感、作成したモデルの満足感、そして体験の楽しさが高く評価されたことが確認された (Fig. 8-(b))。



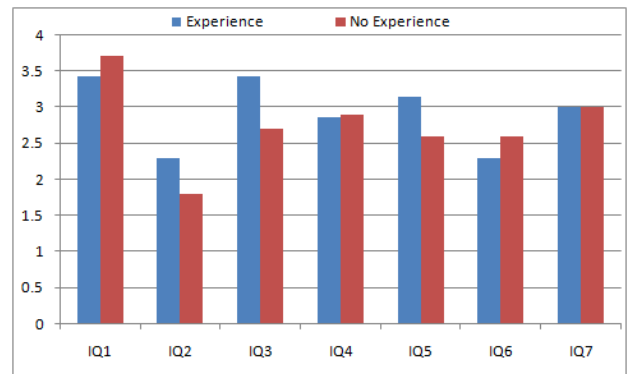
(a) Interactive 3D indoor modeler



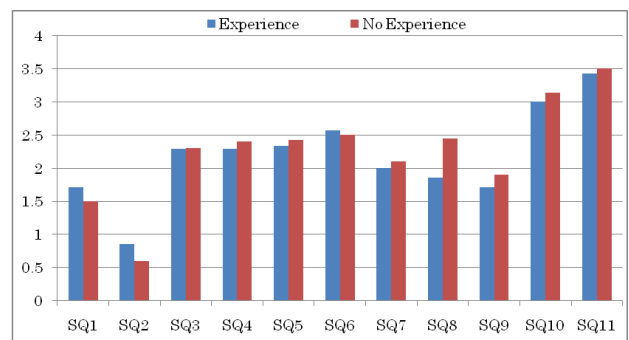
(b) Service-Field Simulator

Fig.8 The result of the concentration in daily life

Fig. 9 は VR 又は 3D ゲームの経験有無による評価結果を表す。ここで、経験ありの参加者は日ごろパソコンの利用時間が多く、モデルの作成が比較的簡単だったことが分かった。SFS での体験では有効な結果は見られなかったが、経験あり群がない群より現実感の評価が高いことが確認された。



(a) Interactive 3D indoor modeler

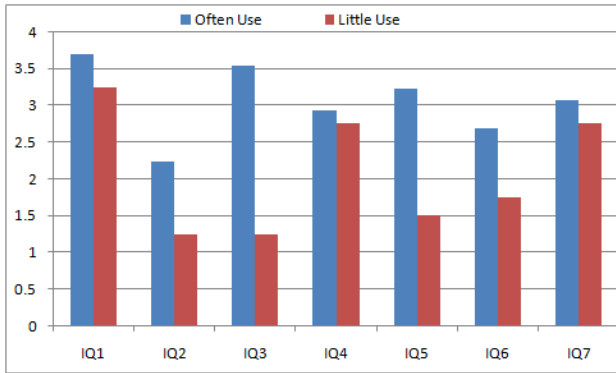


(b) Service-Field Simulator

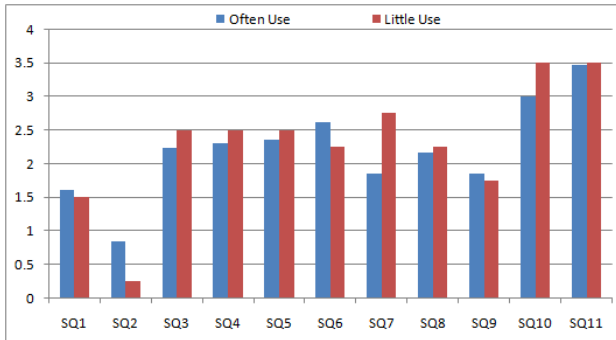
Fig.9 The result by experience of VR or 3D games

日ごろパソコンの利用が多い群と少ない群に分けて比較した結果でも多い群の方が少ない群より簡単にモデルの作成ができたことが明らかになった。また、透視法によって提示されるモデリング環境での平行線選択が簡単に遂行されたことが確認された (Fig. 10-(a))。しかし、SFS での体験では少ない群の方が全般的によく評価された。特に、VR 酔いをあまり感じなかったし、高い没入感が観察された (Fig. 10-(b))。





(a) Interactive 3D indoor modeler



(b) Service-Field Simulator

Fig.10 The result by the availability of the PC

Fig. 11 は参加者が作ったモデルの実環境を拝見してから SFS での体験を行った群とその実環境を見ずに体験した群を分けて比較した結果を表す。実環境を拝見した群がそうではない群よりも VR 酔いを感じたことが分かった。また、SFS で提示した映像がより立体的に見えたことが確認された。さらに、作成モデルへの満足度と VR 体験の楽しさはより高く評価された。しかし、実環境の拝見がない群が仮想環境での没入感や現実感、アバタの実在感について高く評価された。

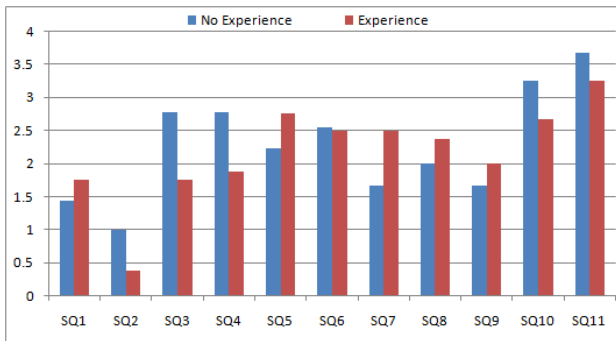


Fig.11 The result by the experience of the real environment

## 5. 考 察

一般的に 3D 部屋 CG を作るための操作、平行な直線の選択、網目調整等が簡単ではなかったと評価した被験者でもモデルが精度よく作成されたことが観察された (Fig. 12)。さらに、低年齢代の子供も無理なくモデルを作成することが可能であることを確認した。

即ち、3次元モデリングに未熟なユーザ又は透視法などの 3次元グラフィックスに関して未知なユーザでもインタラクティブ

3D 屋内モデラを用いて精度よく 3次元モデルを設計することが可能であることを示す。また、このような結果からインタラクティブ 3D 屋内モデラは汎用性を持っていると判断できる。

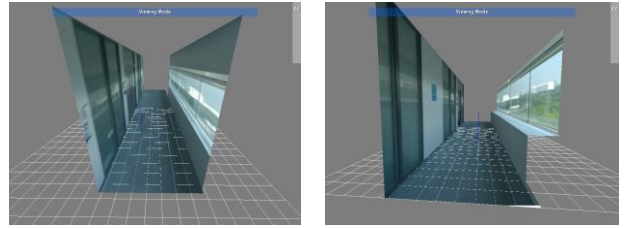


Fig.12 Models made by participants with

サービスフィールドシミュレータでの仮想環境体験は VR の有経験者、3D ゲームの有経験者、そして体験前に実環境を拝見した参加者よりも非経験者の方がより臨場感や没入感、現実感、アバタの実在感が高いという傾向が確認された。これは、経験した参加者の場合、既存の経験又は他の VR 環境と意識的、無意識的に比較し、期待値が高くなり、これらの要因が結果に影響を与えたと考えられる。また、非経験群の場合、比べる対象がなかったことと新しい経験からくるセンセーションが結果に影響を与えたと看做される。

全体的にシミュレータ内で表示された 3次元の画像に対して、参加者らは立体的に感じたが、運動視差による立体視と停止している時の立体視に関してはその差が見られなかった。

1組(4人)の場合、モデル作成から SFS での体験が終わるまで約 1 時間程度の実験時間が所要された。モデルの作成は各参加者に担当されたパソコン上で同時に遂行されて、SFS での体験は順番に行われたので、一人当たり約 30 分の所要時間を必要とすると本稿で紹介したモデラとシミュレータの連携による仮想環境の体験は即行性を持つと言える。さらに、インタラクティブ 3D 屋内モデラとサービスフィールドシミュレータを用いたサービス現場の仮想的再現及び事前評価と分析に関する連携性は高いと考えられる。

## 6. 結 言

屋内環境の 3次元モデルの効率的な作成を支援するインタラクティブ 3D 屋内モデラと仮想化サービス現場に対する事前評価を目的としているサービスフィールドシミュレータを開発した。1枚の写真からし易く 3次元モデルが作成できる提案のモデラを用いてサービス現場を仮想的に再現し、提案のシミュレータで事前評価を行うという連携に関してフィジビリティ調査を行った。

本稿で述べた結果から、仮想空間を移動する際に実際の歩き方と同じく移動できるようにするため、センサの改良又は新たな移動手法が必要であり、画像のクオリティを向上させるなどより現実感を与えるための方法が必要であることが明らかになった。その反面、短時間で精度よくモデリングが可能であることと共に作成した 3次元モデルを即行的に体験できることを確認した。これにより、インタラクティブ 3D 屋内モデラとサービスフィールドシミュレータを用いて様々なサービス現場における設計や体験、分析までの一連のプロセスが可能であると考えられる。また、インタラクティブ 3D 屋内モデラとサービスフィールドシミュレータの連携によるサービス現場の仮想的再現とその事前評価を行うことを期待している。

## 謝 辞

本稿で紹介した研究事例は、経済産業省サービス工学研究開発事業 (METI) の支援を受け行われた。

## 参 考 文 献

- 1) T. Ishikawa et al: In-Situ 3D indoor Modeler with a Camera and Self-Contained Sensors, In Proc. HCI2009, LNCS 5622, (2009) pp. 454-464.
- 2) T. Kurata et al.: Service Cooperation and Co-creative Intelligence Cycles Based on Mixed-Reality Technology, In Proc. INDIN 2010, (2010) pp. 967-972.
- 3) N. Snavely et al: Modeling the World from Internet Photo Collections, Int. Journal of Computer Vision, vol. 80, (2008) pp. 189-210.
- 4) M. Pollefeys et al: Visual Modeling with a Hand-Held Camera, Int. Journal of Computer Vision, vol. 59, (2004) pp. 207-232.
- 5) M. Goesele et al: Multi-View Stereo for Community Photo Collections, In Proc. Int. Conf. on Computer Vision (ICCV 2007), (2007) pp. 14-20.
- 6) Google SketchUp: <http://sketchup.google.com/>.
- 7) B. M. Oh et al: Image-Based Modeling and Photo Editing, In Proc. SIGGRAPH, (2001) pp. 433-442.
- 8) C. Cruz-Neira et al: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, In Proc. of the 20<sup>th</sup> Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ACM SIGGRAPH 93, (1993) pp. 135-142.
- 9) H. Iwata: Rear-projection-based Full Solid Angle Display, In Proc. ICAT'96, (1996) pp. 59-64.
- 10) W. Hashimoto, H. Iwata: Ensphered Vision: Spherical Immersive Display using Convex Mirror, Trans. of the Virtual Reality Society of Japan, Vol.4, No.3, (1999) pp. 479-486.
- 11) M. Gross et al: blue-c: A Spatially Immersive Display and 3D video Portal for Telepresence, Int. Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ACM SIGGRAPH 2003, (2003) pp. 819-827.
- 12) CyberDome: <http://denko.panasonic.biz/Ebox/nashop/cyberdome/>.
- 13) A. P. Gee et al: Discovering Higher Level Structure in Visual SLAM, IEEE Trans. on Robotics, vol. 26, no. 5, (2008) pp. 980-990.
- 14) M. Kourogi et al: Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/RFID/Self-contained Sensor System, In Proc. ICAT2006, (2006) pp. 1310-1321.
- 15) M. Kourogi, T. Kurata: Personal Positioning Based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera, In Proc. ISMAR2003, (2003) pp. 103-112.
- 16) A. Park et al: Codebook-based Background Subtraction to Generate Photorealistic Avatars in a Walkthrough Simulator, In Proc. of Advanced in Visual Computing, Part I, LNCS 5875, (2009) pp. 500-510.