

# 実環境と仮想環境での行動比較に関するサービスフィールドシミュレータの フィージビリティスタディ

玄 政祐<sup>†</sup> 羽瀨 由子<sup>†</sup> 朴 鴈振<sup>‡</sup> 石川 智也<sup>†</sup> 興梠 正克<sup>†</sup> 蔵田 武志<sup>†</sup>

<sup>†</sup>産業技術総合研究所サービス工学研究センター 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 中央第二

<sup>‡</sup>韓国 Soongsil 大学 情報技術研究センター 〒156-743 韓国 ソウル 銅雀区 上道洞 511

E-mail: <sup>†</sup> {jw.hyun, habuchi.y, tomoya-ishikawa, m.kouroggi, t.kurata}@aist.go.jp, <sup>‡</sup> anjin.park@gmail.com

**あらまし** 本稿ではサービス現場に対して事前評価を行うために開発したサービスフィールドシミュレータ (SFS) のフィージビリティスタディについて述べる。また、実環境とその仮想環境において簡単な作業を遂行する際に起こる被験者の行動と視線運動を比較し、主観評価した実験に関して紹介する。実験の結果、本シミュレータでは実環境より仮想環境で低現実感と高作業負荷が評価されたにも関わらず、高臨場感と高没入感が評価された。また、SFS で絶対方位感覚の維持や紙と写実的アバタによる情報共有が可能であった。さらに、SFS を用いて仮想化サービス現場における事前評価の可能性を確認した。SFS を用いた事前評価がサービス現場に対する評価・検証に資することを望んでいる。

**キーワード** サービスフィールドシミュレータ, フィージビリティスタディ, サービス現場, 行動比較

## A Feasibility Study of the Service-Field Simulator on Behavior Comparison in a Real and Virtual Environment

Jungwoo HYUN<sup>†</sup> Yoshiko HABUCHI<sup>†</sup> Anjin PARK<sup>‡</sup> Tomoya ISHIKAWA<sup>†</sup> Masakatsu KOUROGI<sup>†</sup> and Takeshi KURATA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Center for Service Research, AIST AIST Tsukuba Center 2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568 Japan

<sup>‡</sup> ITRC, Soongsil University 511 Sangdo-Dong, Dongjak-ku, Seoul, 156-743 Korea

E-mail: <sup>†</sup> {jw.hyun, habuchi.y, tomoya-ishikawa, m.kouroggi, t.kurata}@aist.go.jp, <sup>‡</sup> anjin.park@gmail.com

**Abstract** We present a feasibility study of a *Service-Field Simulator* (SFS) which was developed to perform a pre-evaluation for service fields. And we introduce results of experiments by evaluating and comparing behaviors of participants while performing simple works in a real and virtual environment. Consequently, we found that participants felt high spatial presence and high involvement despite low realism and high task load in a virtual environment. Most of all, we confirmed that they kept their sense of absolute orientation and could share information by papers and by a photo-realistic avatar in both environments. Also, we knew the capability of the SFS for the pre-evaluation of the service fields reproduced in virtual environment. We expect that pre-evaluation using the SFS will be useful to evaluation and verification for real service fields.

**Keyword** Service-Field Simulator, Feasibility Study, Service Field, Behavior Comparison

### 1. はじめに

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、改良などを考慮して最適な方案を選択することが要件の一つとなる。一方、現状では構築、維持、改良において実現場で実装して行わなければならないので、制限された状態で限定された計画しか試されない。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。

このような要望と制約のトレードオフを解決する方法として次の二点に着目した。

一点目は多様なサービス現場を仮想的に再現する

ことである。そのためには観察、探索、対話などの比較的簡単な作業とサービス現場での移動を支援しなければならない。サービス現場では多くの状況と行動が有しているが、それらを全て実現するには限界がある。それで、日常生活で頻繁に起こる状況である歩行による移動と上記の簡単な作業を優先的に提供することにする。

二点目は仮想化サービス現場を用いて、サービスに対する人間行動観測・情報収集とサービス現場に対する観測結果の分析を繰り返して得られた最適な結果をサービスの設計、サービス現場の改良、実際のサービス現場への適用に利用することである。

本稿ではこれら二つの着目点に基づいてサービス現場の事前評価のために開発したサービスフィールド

シミュレータ (SFS) について述べる。また、実環境とその仮想環境での行動比較に関する SFS のフィージビリティスタディについて述べる。(注: 本稿で明記されている SFS は[3]、[15]で明記されている WTS から名称変更されたものである。)

## 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[15]。そこで、実際サービス現場を仮想化する際に、ユーザに臨場感を与えるための没入型環境を考えなければならない。没入型環境を提供するために HMD、CAVE[4]、Garnet Vision[5]、Ensphered Vision[6]、blue-c[7]、Cyber Dome[8]、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ので、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。

仮想空間で実際の歩行によるナビゲーションについては Walking-Pad[9]、ODT(Omni-Directional Treadmill)[10]などのナビゲーションデバイスが開発されている。Walking-Pad は圧力センサを用いて足の位置と動きを検出するが、その範囲に制限がある。ODT はトレッドミルを用いて歩き動作と同期化した仮想空間を見せることが可能である。しかし、他の安全装置が必要であるに加えて、方向転換ができないという問題点がある。

本稿ではこれらの問題点を考慮してサービス現場の事前評価のために開発した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 (SFS) について述べる。

## 3. サービスフィールドシミュレータ

サービス現場に対する事前評価のために開発しているサービスフィールドシミュレータ(SFS)(図 1)は、4 台のプロジェクタを用いて仮想サービス現場を 4 枚のスクリーンに均等配分して表示する。1 台のサーバでシミュレータの制御や足踏み動作と体の回転を検出するセンサデータの処理、仮想空間に写実的アバタ[3]のスーパインポーズ作業を行う。

また、2 台の小型 PC カメラを用いてアバタ役をする人(サービス提供者)の輪郭抽出と SFS 内でのユーザ(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。

さらに、ユーザは足踏み動作と体の回転によって仮想空間での自由な移動が可能となり、比較的単純な作業を行うことも可能である。

サービス現場で起こる簡単な作業とは次に明示されている三つの範疇に分けられる。

- ・**観察**: ウィンドーショッピング、紙による情報獲得(地図、カタログ、メニュー、サイン、チラシなど)、小型機器による情報確認、商品配列確認、等
- ・**対話**: 注文、道聞き、案内、質問、応答、等
- ・**行動**: 商品選択、扉の開閉、ボタン押し、チラシ配り、回遊、等

SFS は PDR センサモジュール[1]、[2]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。一方、PDR センサモジュールは実環境で歩行者の位置と方向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されたセンサであるが[1]、[2]、SFS ではユーザの行動、特に足踏み動作と体の回転を測定するために導入された。

図 2 は SFS の開発目的を表している。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、実環境とその仮想環境との違いに起因するノイズ混入を抑制しながら状況を再現する必要がある。そのため、まず、ワイヤレス PDR センサモジュールを用いた足踏み動作と体の回転による操作体系を開発した。また、このようなセンサモジュールを用いることによりハンズフリーとなるので、手持ちデバイスによる情報共有と作業支援が再現できる。さらに、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[3]による他ユーザとの対話機能を提供している。この技術によって、情報共有の調査研究のための重要な要素である他のサービス提供者・受容者との対話が可能となる。

加えて、SFS では、社会実装性を向上させるため、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。事前評価実験時の最大のコストの一つは、被験者(特にサービス提供者)の拘束時間である。そのため、サービス現場近くでの実験を可能とするために可搬性が重要になってくることが考えられたからである。

次の節でサービス現場の事前評価のために開発した SFS のフィージビリティスタディに関して述べる。

## 4. 実環境とその仮想環境での行動比較実験

サービス現場の事前評価における SFS の有効性評価のために実環境とその仮想環境でユーザの行動を比較しながらフィージビリティスタディを行った。実験は三つのセッションで構成され、実環境と SFS で再現される仮想環境において同一の状況とタスクを設定して行った。SFS の開発目的である「歩行による移動と比較的に簡単な作業の繰り返し」と「サービス利用者の意識・無意識的行動選択の理解に基づいたサービス現場の事前評価」の可能性について検討ことを目的とした。即ち、この実験の主目的は SFS を用いて仮想化されたサービス現場での事前評価に関する可能性を検討することである。フィージビリティスタディを通じてこの目的を検証するために SFS の開発目的に従って次の 2 つの観点から評価を行った。

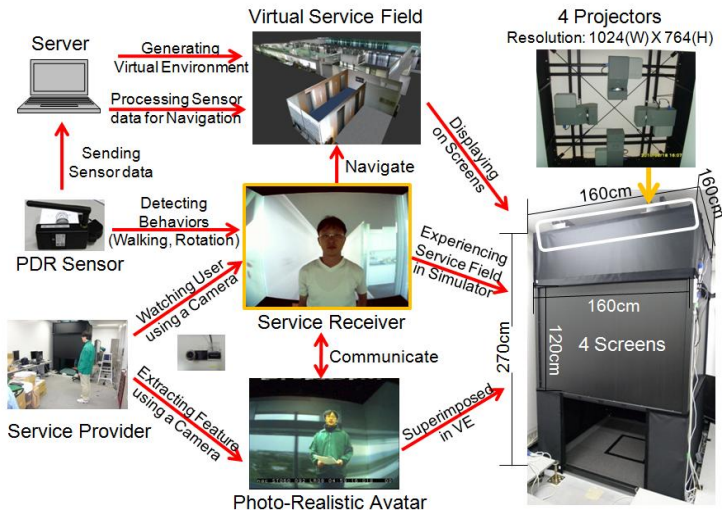


図 1. サービスフィールドシミュレータ (SFS)の構成

- 1) SFS で提供する仮想環境の再現性
- 2) 被験者の行動の再現性
  - i) 仮想環境での移動
  - ii) 情報獲得

1) SFS で提供する仮想環境の再現性については、対象サービス現場の正確な評価のためには被験者に現実感を与える必要がある。従って、SFS 内でより現実に近い仮想サービス現場を再現するために必要な条件を明らかにするために仮想環境自体の評価をおこなう。

2) 被験者の行動の再現性については、仮想空間を移動する時と情報獲得する時の行動に関して評価を行う。

i) 仮想空間での移動については、サービス現場を移動する時、通常は歩行によって移動が行われる。よって、仮想環境における移動時の装置による違和感、行動の不自然さ、身体動きの自由度を実環境でのそれと比較して調査した。

ii) 情報獲得については、人間行動の理解に基づいた事前評価の可能性を検討するために、写実的アバターや紙媒体による情報共有などの簡単なタスクを課して実環境と仮想環境における行動の違いを比較調査した。

被験者の行動データは PDR センサから足踏み動作と体の回転に対するデータと視線計測装置の映像を用いて比較を行った。また、被験者の主観データは、IPQ (Igroup Presence Questionnaire) [13]と NASA-TLX (Task Load Index) [12]、事後アンケートを用いて行った。

#### 4.1. 実験環境

**被験者** 5名 (男性: 2名、女性: 3名)、年齢は 20代~50代であった。被験者は全員、仮想環境で行動することについて未経験であった。また、仮想現実技術に関係するデバイスの使用経験もなかった。さらに、3名は実験場所について未知であった。

**装置** 2種類のデバイスを被験者の体に装着した。1つは視線計測装置 (EMR-9: Eye Mark Recorder, NAC 社製) は瞳孔の動きを計測する 2台のカメラと視線の方向を計測する 1台のカメラで構成されていた。もう1つは、足踏み動作と体の回転を計測する行動計測装置である PDR センサモジュールであった (図 3)。

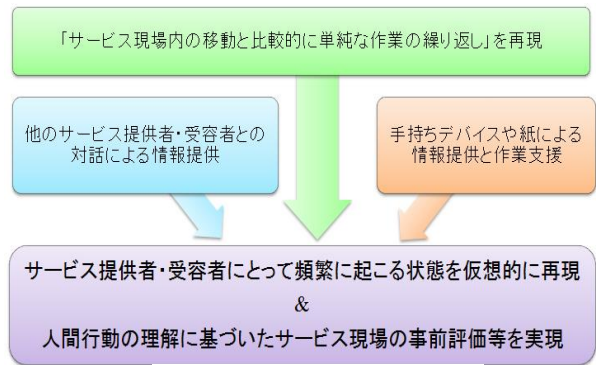


図 2. SFS の開発目的

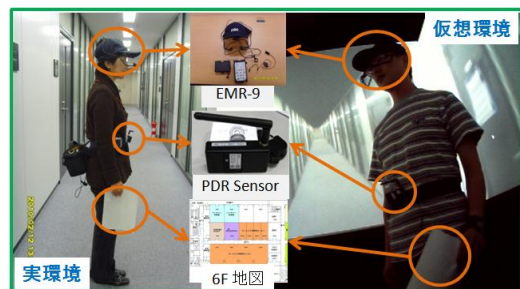


図 3. 実験装置と地図

**材料** 紙媒体による情報共有を評価するために、実験場所が表示された地図及びタスク遂行のための指示が書かれている貼り紙が用いられた。さらに、対話による情報共有を評価するために、実環境では実際の指示者が、仮想環境では指示者役の写実的アバターが被験者に情報を提供した。

**実験環境** 3D インドアモデラ [11]を用いて数枚の写真から実環境と類似した仮想環境を構築した。被験者は実環境と同じく仮想環境でも同一の環境と装備で各タスクを遂行した。

**手続き** 図 4 は各セッションの手順を表している。被験者は表示の経路を移動しながら各タスクを遂行した。被験者には経路が表示されていない地図が渡された。セッション 3 の点線は被験者らが自由に選択できる自由経路を意味する。

実験は 3つのセッションから構成された。被験者は実環境と仮想環境で同一のタスクを遂行した。表 1 に各セッションとタスクの詳細を表す。

表 1. SFS のフィジビリティスタディに関する詳細

実験	詳細
Session 1	• 単純な歩行動作における両環境の差を確認
	Task 1 歩行による左右周回を実施
Session 2	• 情報探索並びに情報取得プロセスの差確認
	• コミュニケーション機能を評価
	Task 1 タスク提示紙探索とタスク内容視認 Task 2 指示者の指示に基づく行動の実施
Session 3	• 空間把握及び歩行経路についての動線比較
	Task 1 最長可読距離測定
	Task 2 目的地方位の指差しによる絶対方位感覚の差を確認
	Task 3 自由選択経路の比較

被験者は 3つのセッションに関する 6つのタスク



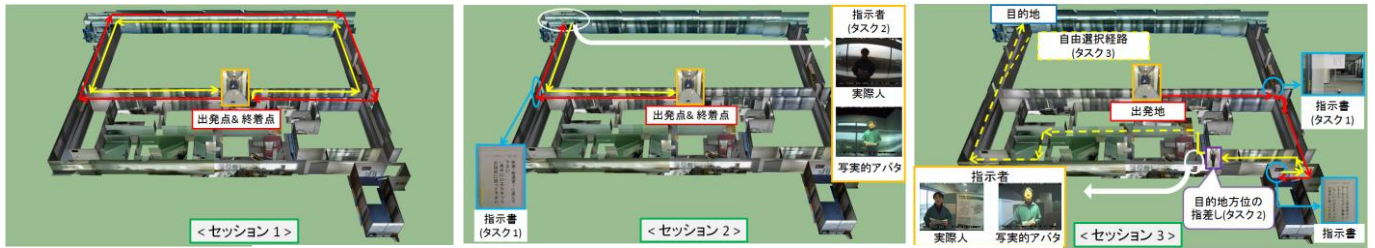


図 4. 各セッション別実験環境

を遂行した。各セッションには移動と観察・情報獲得等の単純な作業が含まれている。各実験結果は PDR センサから足組み動作と体の回転に対するデータと視線計測装置の映像を用いて被験者の行動を分析した。作業負荷評価のための NASA-TLX は各セッションが終わった後実施し、仮想環境に対する IPQ と事後アンケートは全ての実験が終了してから実施した。

## 4.2. 実験結果

### 4.2.1. SFS で提供する仮想環境の再現性

仮想環境に関する評価の結果、全被験者は SFS 内で経験した仮想環境に対して総合的に臨場感を感じたことが分かった。図 5 で示しているように被験者は再現した仮想環境に対して“3D CG イメージだと思った”などと評価し、現実感の評価は低かったが、“仮想空間に含まれているような感覚を持った”などと評価し、実在感と没入感は評価が高かった。また、高実在感と高没入感を持った被験者が他の被験者よりいい結果を出していたことが明らかになった。

表 2. 事後アンケートの結果

項目	平均 (SD)	説明
集中できたか	4.4 (0.89)	0: 全くできなかった 6: とてもできた
方向定位が難しいことがあった	4.6 (1.52)	0: その通りではない 6: 全くその通り
アバタの違和感	2.0 (1.22)	0: 全く違和感がない 6: とても違和感がある
センサ装着の意識	1.6 (0.89)	0: 全く意識しなかった 6: 極度に意識した
身体自由度(拘束感)	2.8 (1.30)	0: 全く自由でない 6: とても自由である
VR 酔い	1.4 (1.67)	0: 全く感じなかった 6: 極度に感じた

図 6 は各セッションに対する作業負荷の全結果を表す。全体的に SFS 内の仮想環境のほうが実環境よりも作業負荷が大きいと評価された。特に、身体的要求と

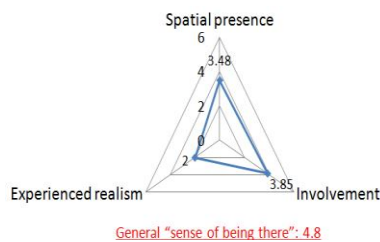


図 5. IPQ の結果

(最小値: 0, 最大値: 6)

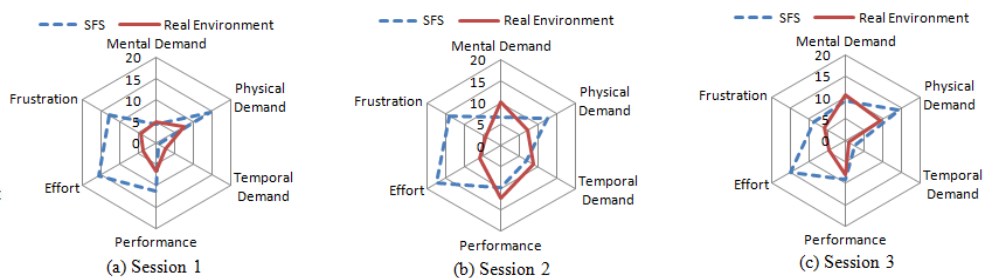


図 6. NASA-TLX の結果 (最小値: 0, 最大値: 100)

努力、フラストレーションの項目で仮想環境の方がより作業負荷が大きいことが分かった。

表 2 は仮想環境での実験に対する事後アンケートの結果を表す。被験者は仮想環境で高い集中力を見せた。また、実験装置を装着しているにも拘わらず実環境での行動と比べて不自然さは感じられなかった。さらに、実環境より映像の解像度が低く、作業負荷が大きいにも拘わらず VR 酔いを感じた人はほとんどいなかった。



(a) 実環境



(b) SFS 内の仮想環境

図 7. 最長可読距離測定結果映像

図 7 は実環境と仮想環境での最長可読距離を測定した実験結果を表す。このタスクは実環境と仮想環境での視覚差を調べるために行った。被験者らの内 3 名の視力は 1.5 であり、残り 2 名の視力は各 0.9 と 0.2 であった。実環境では被験者それぞれの視力に応じて可読距離が異なっていたが、仮想環境では違う視力にも拘わらず可読距離はほぼ同じであった。人の目の最小分解能は視力 1.0 の場合、視角にして約 1 分(1/60 度)であるので、SFS 内の中心(80cm)に立ってスクリーンを見る場合、5400 x 4050 の解像度を持つ映像で実環境の視力 1.0 と同じになる。従って、SFS 内で表示した映像の解像度では実環境の約 0.19 倍の分解能となり、実際の視力が 1.0 の人は SFS 内では視力が 0.19 に落ちたのと同様の状態になって最長可読距離が短くなったと解釈できる。

#### 4.2.2. 被験者の行動の再現性

##### 仮想環境での移動

事後アンケートの結果から評価されていたようにセンサ装着の意識、身体自由度(拘束感)の評価平均は視線計測装置と PDR センサを装着していたことを考慮すると、行動を抑制するような違和感はなかったことを示している。ただ、方向定位が難しかったとの評価と NASA-TLX での身体的要求と努力が高く評価されたことから、実際の歩行より足踏み動作による移動は難しいことが明らかになった。このような問題点の原因としては PDR センサのデータ処理遅延が考えられた。

本実験で被験者が両環境を移動する際に実環境より仮想環境での移動時間は長くかかっていた。しかし、SFS 内歩行に習熟するにつれてその差は縮まっていた。

実環境、SFS 共に、ある程度実験環境(実環境、仮想環境)を歩き回った後で、指定された方位を指すタスクでは、躊躇や戸惑いは見られなかった(図 8)。普段、何回も訪問したことがある場所や見覚えがある場所では特定の場所に対するおおよその位置は推定できるので、結果として被験者は正しい方位を指示し、両環境において絶対方位感覚の維持ができることが分かった。



図 8. 目的地方位の指差しタスクの結果映像

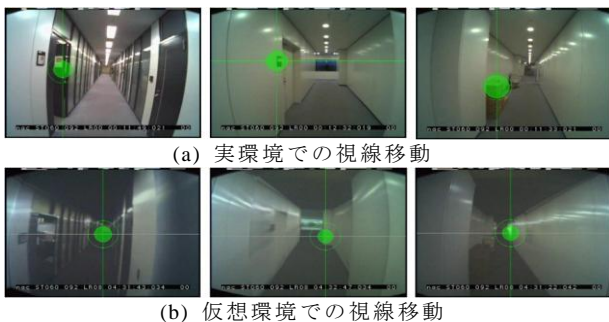


図 9. 実環境と仮想環境での視線移動の差を比較

周囲環境に対する注目点と視線移動について、実環境と仮想環境での行動を比較した。その結果、実環境では周辺の様々な対象物に目を配っており頻りに視線移動が起ったが、SFS 内では直進の際に視線移動が少ない様子が観察された。これは、実環境ではドア、人の飛び出しなどの突発的な状況に備えて注意を払う必要があるが、仮想環境ではそのような突発的な状況を想定されてないためであることが理由として考えられる(図 9)。

##### 情報獲得

指示者の指示に基づく行動の実施タスクでは、被験者の行動に異同が観察された。共通する行動としては、実環境でも仮想環境でも被験者側は指示者の顔を注目し、アイコンタクトを取ろうとする行動が観察された。

異なる行動については、実環境では指示者が場所を手で示したり、その方向を見たりする行動に反応して、被験者もその方向を見るような行動が観察されたが、仮想環境ではそのような行動は観察されなかった。一方、事後アンケートから写実的アバタの違和感はなかったことが確認された。(図 10)。

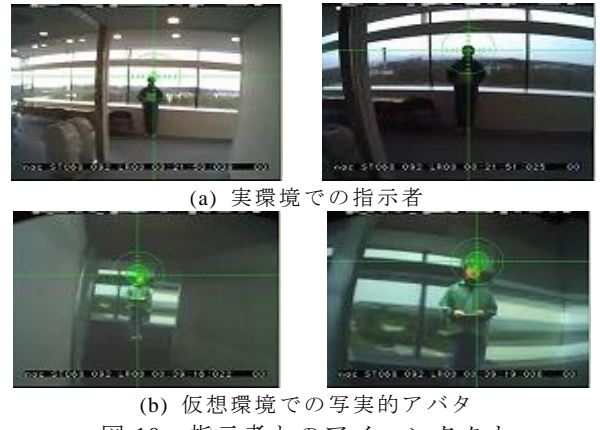


図 10. 指示者とのアイコンタクト

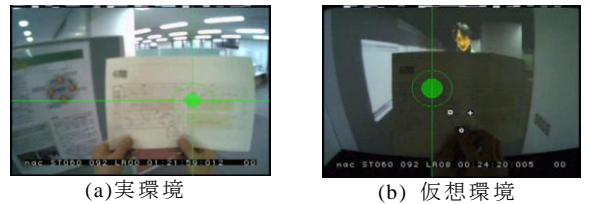


図 11. 地図による経路情報確認

図 11 は地図を見ながら現在の位置と目的地の位置、経路を確認している状況を表す。全セッションでの経路確認とセッション 3 の自由経路選択タスクでは、被験者が地図を用いて経路情報を獲得する様子が観察された。これは、実環境と同じく SFS でも紙媒体を利用した情報獲得がおこなわれることを示している。

#### 5. 考察

この節では、SFS 内で再現した仮想サービス現場を用いて実際のサービス現場の事前評価を実施する可能性と限界を設定した評価の観点を中心に考察する。

仮想環境内で実環境のような類似感覚を持つことは重要である。それは、実際サービス現場に対して仮想化されたサービス現場を用いて事前評価実験を行う時、正確なデータを用いた分析・評価から正しい結果を得られるためである。それで、仮想環境内でユーザーに実在感と没入感、現実感を与えることによって実世界にいるような臨場感を感じさせる必要がある。また、実験装置、視覚効果、外的要素による違和感、不自然さなどのノイズ混入を抑制しなければならない。

本稿の実験で SFS を用いて再現した仮想環境と足踏み動作による移動に関する評価として、被験者は低現実感にも拘わらず高い実在感と高い没入感を感じていたことが明らかになった。また、作業負荷評価では身



体的要求と努力が大きいことが示された。現状の SFS は解像度と PDR センサのデータ処理遅延を解決する必要性が確認された。

全体的な結果として被験者は高い臨場感を感じたことが分かった。SFS は没入型表示システムであり、体の回転と一致した映像を提供している。また、軽量でワイヤレス PDR センサモジュールを用いた足踏み検出と回転計測を行うことにより、ハンズフリーとなり、より自由な状態で仮想空間内を移動可能であることを確認した。実環境では人の動きに従って視覚情報が変動することを考えると、SFS の仮想空間内で足踏みと体の回転動作と一致した映像を提示することは、より現実に近い仮想空間を構築する上で必須不可欠な要素であるといえる。さらに、日常生活で歩く時と同様に、両手が自由な状態で手持ちデバイスや紙媒体を利用して情報の確認を行う行動を再現することができた。また、土地勘のある場所について方位感覚を維持することが確認できた。

被験者からのアンケート結果からは、装置による違和感は少なく、VR 酔いも感じなかったことが確認された。

道聞きをする時、人々は地図を見たりサインを確認したりしながら現在位置と目的の位置を把握し、時には他の人や案内者に行き方を尋ねたりする。本実験で被験者は仮想環境であっても現実環境と同様に地図を見ながら目的地を探したり、貼り紙を見て次のタスクを遂行したりすることが確認された。さらに、写実的アバタの導入によって被験者に実環境で人と対話する時と同様の行動や期待感をもって意思の疎通をおこなうことが確認された。写実的アバタはリアルタイムで言語的・非言語的情報伝達が可能であり、臨機応変な状況に対して応ずることも可能であるが、3D CG アバタと2D イメージアバタはリアルタイムで非言語的情報伝達と追加的情報を提供することは困難である。

以上の結果から、不備点を解決し、よりデータ処理の速度と解像度等の問題を向上させることによって、SFS を用いたサービス現場の事前評価が可能であると考えられる。

## 6. むすび

サービス現場の事前評価を目的としてサービスフィールドシミュレータ(SFS)を開発した。SFS のフィージビリティスタディを通じて、SFS で再現した仮想環境に対して被験者は高い臨場感と没入感を感じたことを確認した。また、PDR センサを用いた足踏み動作検出と体の回転計測を行うことによってハンズフリーとなり、全方位ディスプレイで没入型環境において自由な状態で行動ができ、絶対方位感覚の維持もできることを確認した。さらに、紙媒体の情報利用行動や写実的アバタを用いた対話による情報獲得行動も観察可能であった。

今後の課題としては、PDR センサのデータ処理遅延及び低解像度を改善する必要がある。

また、突発状況や運動視差による差を比較するための追加実験も今後の課題である。さらに、実際のサービス現場に対して仮想化し、SFS での評価実験をおこなうことも必要である。その際に、SFS を用いた事前評価がサービス現場に対する評価・検証に資することを望んでいる。

## 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)、JSPS の支援を受け行われた。

## 文 献

- [1] M. Kourogi, N. Sakata, T. Okuma, T. Kurata: Indoor/Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS/Rfid/Self-contained Sensor System, In Proc. ICAT2006, pp. 1310-1321, 2006.
- [2] M. Kourogi, T. Kurata: Personal Positioning Based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera, In Proc. ISMAR2003, pp. 103-112, 2003.
- [3] A. Park, K. Jung, T. Kurata: Codebook-based Background Subtraction to Generate Photorealistic Avatars in a Walkthrough Simulator, In Proc. of Advanced in Visual Computing, Part I, LNCS 5875, pp. 500-510, 2009.
- [4] C. Cruz-Neira, D.J. Sandin, T.A. DeFanti: 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, pp. 135-142, 1993.
- [5] H. Iwata: Rear-projection-based Full Solid Angle Display, In Proc. ICAT'96, pp. 59-64, 1996.
- [6] W. Hashimoto, H. Iwata: Ensphered Vision: Spherical Immersive Display using Convex Mirror, Trans. of the Virtual Reality Society of Japan, Vol.4, No.3, pp. 479-486, 1999.
- [7] M. Gross, S. Wurmlin, M. Naef, and 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, pp. 819-827, 2003
- [8] CyberDome  
<http://denko.panasonic.biz/Ebox/nashop/cyberdome/>
- [9] L. Bouguila, F. Evequoz, M. Courant, B. Hirsbrunner: Walking-Pad: a Step-in-place Locomotion Interface for Virtual Environments, ICMI'04, pp. 77-81, 2004.
- [10] R. P. Darken, W. R. Cockayne, D. Carmein: The Omni-Directional Treadmill: A Locomotion Device for Virtual Worlds, UIST 97, pp. 213-221, 1997.
- [11] T. Ishikawa, K. Thangamani, M. Kourogi, A. P. Gee, W. Mayol, K. Jung, T. Kurata: In-Situ 3D Indoor Modeler with a Camera and Self-Contained Sensors, In Proc. HCI2009, LNCS 5622, pp. 454-464, 2009.
- [12] NASA-Task Load Index  
<http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/>
- [13] Igroup Presence Questionnaire  
<http://www.igroup.org/projects/ipq/>
- [14] M. Kitajima: Cognitive Chrono-Ethnography: A Method for Understanding People's Conscious and Unconscious Behavioral Selections while Receiving Services, In Proc. KOSSES 2010, pp. 27-33, 2010.
- [15] T. Kurata, M. Kourogi, T. Ishikawa, J. Hyun, A. Park: Service Cooperation and Co-creative Intelligence Cycles Based on Mixed-Reality Technology, In Proc. INDIN 2010, pp. 967-972, 2010.