

## 共生型 3次元仮想空間における共生感提供機能の設計

野口 博司<sup>†1,†2</sup> 高橋 秀幸<sup>†1</sup>  
菅沼 拓夫<sup>†1,†2</sup> 白鳥 則郎<sup>†1,†2</sup>

人間と IT 環境の調和を目指した「共生コンピューティング」の研究開発を進めている。本稿では、共生コンピューティングの要素技術の一つとして、現実空間と仮想空間を感覚的に融合させる「共生型 3次元仮想空間」における「共生感提供機能」の設計について述べる。共生感提供機能は、共生型 3次元仮想空間において一方の空間の存在を他方の空間のユーザに感じさせるための機能である。本稿では特に、共生感提供機能の一つとして開発中の「シンビオミラー」の設計・実装について述べる。またシンビオミラーを用いた共生型 3次元仮想空間の公開実験について紹介する。

### Design of Symbiosis Provision Functions in Symbiotic 3D Virtual Space

HIROSHI NOGUCHI<sup>†1,†2</sup> HIDEYUKI TAKAHASHI<sup>†1</sup>  
TAKUO SUGANUMA<sup>†1,†2</sup> and NORIO SHIRATORI<sup>†1,†2</sup>

We have been investigating the “Symbiotic Computing” which realizes co-existence between human and IT environment. In this paper, we describe the design of “Symbiosis Provision Functions” which integrate real space and virtual space sensuously. This functions make users to feel existence of another space. We also describe the design and implementation of “SymbioMirror” which is one of the Symbiosis Provision Functions. In addition, we show the results of an open experiment.

#### 1. はじめに

近年、3次元仮想空間技術が再注目されており、インターネット上で大規模な仮想空間が

稼働している<sup>1),2)</sup>。しかしながら、現在の3次元仮想空間が提供する空間はあくまで仮想のものであり、現実空間とのギャップから、現実空間に存在する利用者が直接的に得られるサービスが限定的である点が課題となっている。

そこで我々は、3次元仮想空間による、現実空間の人々の生活を高度に支援するシステムの実現を目指し、現実空間と仮想空間の融合に基づく生活支援システムの研究開発を進めている。具体的には、現実空間での利用者の挙動や環境情報などを3次元仮想空間に導入することで現実空間と仮想空間の融合を実現する「共生型 3次元仮想空間」を提案している。

現実空間と仮想空間を融合する際には、互いの空間に存在する利用者/アバタやモノの存在感を、いかにして他方の空間の利用者に感じさせるかが重要な課題となる。本研究ではこの課題を解決する Symbiotic Reality(SR) 技術の実現を目指している。

本稿では、共生コンピューティング<sup>3)</sup>の要素技術の一つとして、現実空間と仮想空間を感覚的に融合させる「共生型 3次元仮想空間」における「共生感提供機能」の設計について述べる。共生感提供機能は、共生型 3次元仮想空間において一方の空間の存在を他方の空間のユーザに感じさせるための機能である。本稿では特に、共生感提供機能の一つとして開発中の「シンビオミラー」の設計・実装について述べる。またシンビオミラーを用いた共生型 3次元仮想空間の公開実験について紹介する。

#### 2. 関連研究

##### 2.1 共生コンピューティング

我々は人間と IT 環境の調和を目指した「共生コンピューティング」の研究開発を進めている。共生コンピューティングとは、現実世界の人間の振舞いや社会性を理解することによって、デジタル空間が人や社会の活動を能動的に支援する新しい情報環境を構築するための情報処理基盤技術である<sup>3)</sup>。共生コンピューティングは、ネットワークウェア、パーセプチャルウェア、ソーシャルウェアの3つの技術を中核とするコンピューティングである。これらにより現実空間 (RS: Real Space) とデジタル空間 (DS: Digital Space) との間のギャップを解消する。ここで「ネットワークウェア」は、RS と DS の間のコミュニケーションを支援・強化する機能である。また「パーセプチャルウェア」は、DS が提供するサービスを直感的に理解するための感覚的現実感を実現する機能である。さらに「ソーシャルウェア」は、DS が提供する社会活動を支えるサービスの社会的現実感や安心感を実現する機能である。

<sup>†1</sup>東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

<sup>†2</sup>東北大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

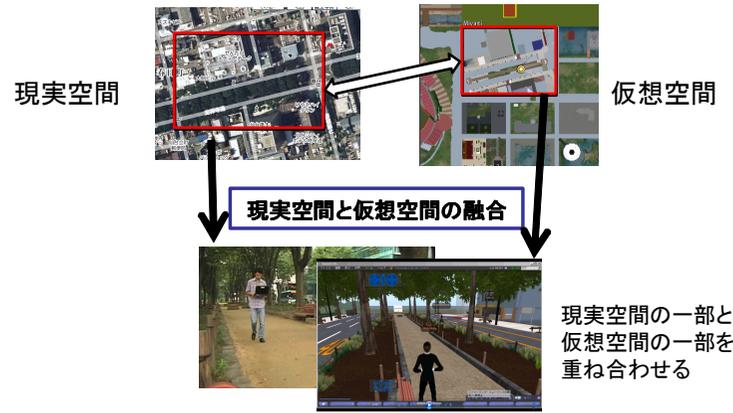


図1 共生型3次元仮想空間

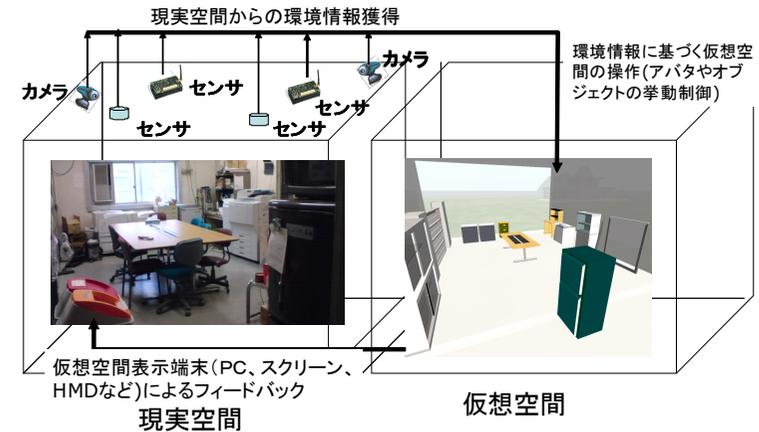


図2 Symbiotic Reality 技術の概要

## 2.2 共生型3次元仮想空間

近年、全世界から数万人規模の利用者がアクセスしオブジェクトの売買などの経済活動を行う新たなサイバー社会の基盤を与える技術として、3次元仮想空間(メタバース)技術が再注目されつつある<sup>1),2)</sup>。しかしながら、現状の3次元仮想空間内のサービスは、支援の対象を主に仮想空間内の活動に置いているため、現実空間に存在する利用者が直接的に得られるサービスは限定的である。このため、3次元仮想空間は現実空間の人々の実生活に浸透し直接的に生活を支援するまでには至っていない。

この課題を解決するために、前節で述べた共生コンピューティングの概念に基づき、現実空間の人々の生活空間に浸透して高度に日常生活を支援する新しい3次元仮想空間システムの実現を目指している。具体的には、共生コンピューティングにおけるパーセプチュアルウェアの一機能として、現実空間の環境情報センシング技術と3次元仮想空間表示技術を効果的に連携して現実空間と仮想空間を重ね合わせ、両空間の利用者が感じる「感覚的現実感」を強化する「共生型3次元仮想空間」を提案している(図1)。

## 2.3 Augmented Reality/Augmented Virtuality 技術

現実と仮想を融合する技術として、Augmented Reality(AR)技術や Augmented Virtuality(AV)技術がある。ARは現実空間上に仮想のオブジェクト・アバタを重ねる技術であり、またAVは仮想空間上に現実の人・モノを重ねる技術である。これらの技術は、どちらかの空間をベースとし、そこに他方の空間の一部を配置する形態となっている。例えばARにおいては

仮想の時空間自体は単体では存在しない。

## 2.4 Symbiotic Reality 技術

共生型3次元仮想空間を実現する技術として Symbiotic Reality(SR)技術を提案している。図2にSR技術に基づく共生型3次元仮想空間のイメージを示す。図の左側の空間が現実空間の室内の様子を表しており、右側の空間が現実空間をモデル化して再現した仮想空間での室内の様子を表している。SR技術とは、現実空間と同一の空間サイズ、オブジェクト配置で構成される仮想空間を構築し、現実空間内に配備された各種センサを用いて現実空間の環境状況や人・物の動きを検知して仮想空間内のオブジェクトやアバタの挙動に同期させることで、現実空間と仮想空間を重ね合わせる技術である。

図中の矢印は情報の流れを示している。現実空間にはカメラや各種センサが設置され、室内の温度や湿度などの環境情報や、利用者の位置や加速度などの利用者情報を取得することが可能となっている。取得した情報は仮想空間サービスに送信され、現実空間の状況に合わせて仮想空間の表現方法を変化させたり、アバタやオブジェクトの状態を変化させることが可能である。

SR技術を用いることで、アバタに現実空間の人間と同じ動作をさせることが可能となる。このように現実空間と仮想空間で同期して動作するアバタをシンビオント(Symbiont)と呼ぶ。シンビオントを介することで両空間に存在する利用者同士がインタラクションすること

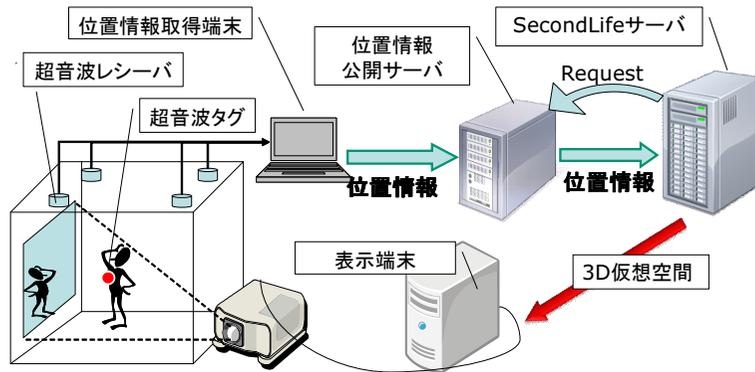


図3 シンビオミラーの構成: 利用者とアバタの同期システム

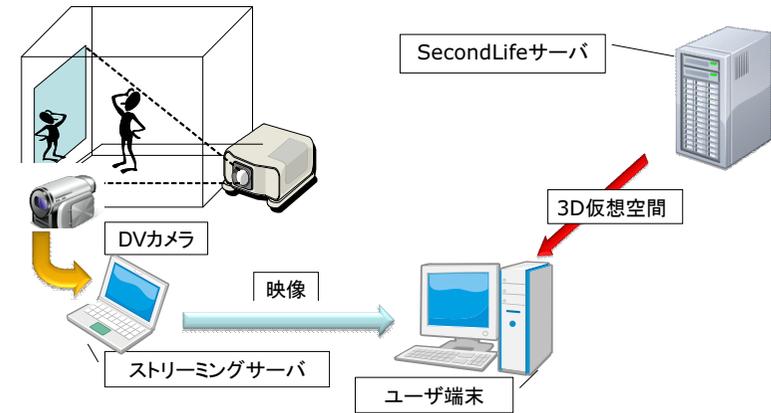


図4 シンビオミラーの構成: 映像配信システム

が可能となる。また、様々な形式の表示端末(小型携帯端末, スクリーン, HMD など)を通じて仮想空間内の様子を現実空間から見ることににより, 仮想空間から現実空間へのフィードバックを得ることができる。

SR 技術では, 現実と仮想のそれぞれの空間が独自に存在しており両空間で時間を共有しているという点と, 人とアバタ, モノとオブジェクトの挙動が同期している点が AR/AV とは異なる大きな特徴である。

### 3. 共生感提供機能

#### 3.1 共生感提供機能の概要

共生型 3 次元仮想空間において, 現実空間および仮想空間に存在する利用者に対し, 対向する空間自体やその中の利用者の存在をいかにして感じさせるかが, 感覚的現実感を与えるために重要である。我々は Symbiotic Reality(SR) 技術の一要素として, 感覚的な融合を実現するための各種ツール群である「共生感提供機能」の開発を進めている。本稿では特に屋内環境向けの共生感提供機能の一つである「シンビオミラー」について詳細に述べる。

#### 3.2 シンビオミラー

シンビオミラーは現実空間と仮想空間を接続するインターフェースであり「鏡」のメタファで表現している。現実の世界では, 我々が鏡を覗くとき, そこには自分自身が属している空間が映し出される。本システムにおいてもこれは同様であるが, 現実空間から覗く鏡には現実空間の様子が仮想空間の表現で映し出され, 仮想空間から覗く鏡には現実空間の表現(ビ

デオ映像)で映し出されるという点が異なっている。

本システムにおいては, 利用者は, 現実空間または仮想空間のどちらか一方のみに存在するという形ではなく, 両方の空間に同時に存在する利用者として参加することが可能である。このような利用者をシンビオントと呼び, これ以外の参加者と区別している。シンビオントは現実空間の利用者と, システムによって制御される仮想空間内のアバタから構成されており, 現実空間の利用者の挙動とアバタが同期して動作する。

### 4. 設計・実装

#### 4.1 設計概要

ここでは, シンビオミラーの設計概要について述べる。

シンビオミラーのプロトタイプシステムは, 3 次元仮想空間システムとして Second Life<sup>1)</sup>を用いている。本システムは Second Life 上のオープンな空間の一部を利用して開発されているため, 全世界の誰もがどこからでもその空間に参加することが可能である。

まず, 現実空間の室内を再現する部屋を仮想空間内に構築し, 双方の空間の同じ壁面に鏡となるオブジェクトを設置する。仮想空間においては現実空間の映像をリアルタイムでストリーミング表示するオブジェクトを設置する。また, 現実空間においては仮想空間の表示を投影するスクリーンとプロジェクタを設置する。

現実空間の室内には超音波による位置計測システム, および地磁気センサのレシーバを設

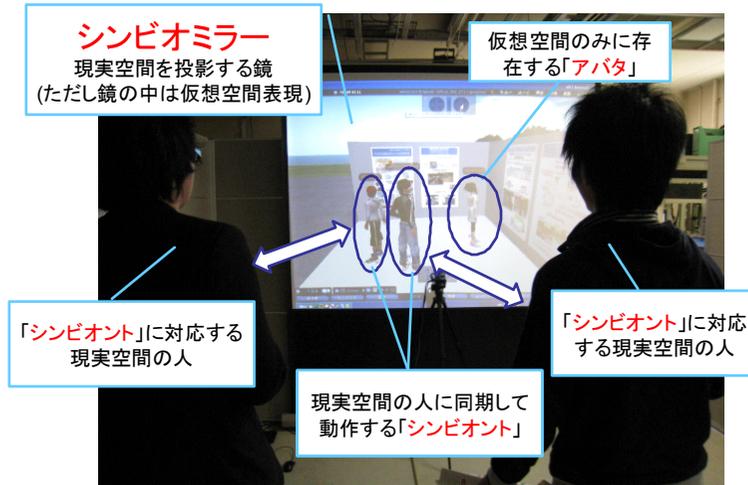


図 5 公開実験の様子 (現実空間側)

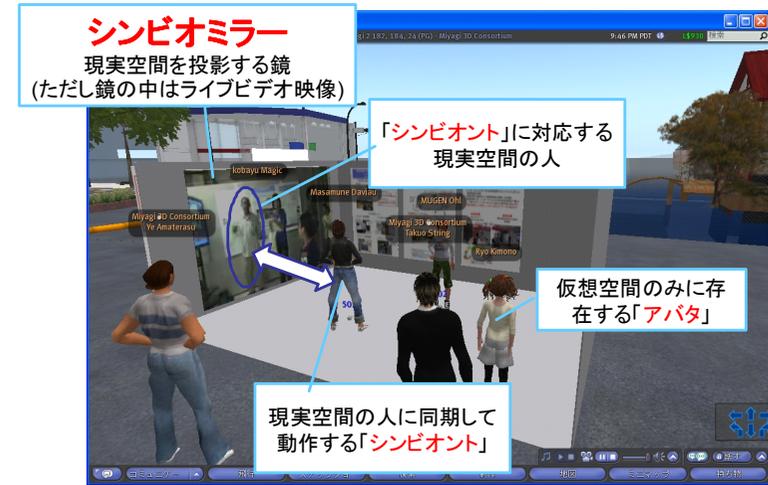


図 6 公開実験の様子 (仮想空間側)

置し、超音波タグと地磁気センサを持った利用者の位置と向いている方向を取得する。これらのセンサで取得した情報を仮想空間内のアバタに反映させることにより、鏡に映っているように現実の利用者と同期して動くアバタを実現する。

本システムは「利用者とアバタの同期システム」と「映像配信システム」の2つのシステムを組み合わせる。

#### 4.2 利用者とアバタの同期システム

図3に利用者とアバタの同期システムの構成を示す。室内の利用者の位置情報を獲得するセンサとしては、超音波位置センサ ZPS<sup>5)</sup> を用いている。ZPS は超音波の発信器であるタグと超音波を受信するレーザから構成され、タグから発信された超音波をレーザが受信するまでに要する時間を測定することでタグとレーザ間の距離を求めている。複数のレーザを用いることで、3点測定の要領でタグの3次元座標を高精度に求めることができる。本システムでは天井に12個のレーザを格子状に設置している。

利用者の位置をアバタの位置に反映させる処理は、以下の手順を繰り返すことにより実現する。

- (1) 位置情報取得端末が各超音波レーザから距離情報を取得し、利用者の位置を導出
- (2) 位置情報を位置情報公開サーバに送信

- (3) 仮想空間に設定したスクリプトから位置情報公開サーバに位置情報を問い合わせを行い、取得した位置情報をアバタの位置に反映

なお、一般のアバタが容易にシンビオントとして動作できるように、仮想空間内に仮想的な超音波タグを表示し、アバタはそれを身に付けることで、そのタグに対応する現実空間のタグを身に付けた利用者と、動作が同期するようにしている。

#### 4.3 映像配信システム

図4に映像配信システムの構成を示す。室内のミラーの前にビデオカメラを設置し、その映像を仮想空間内のミラーのオブジェクトに投影している。映像は仮想空間の中に表示されるが、映像の配信は3次元仮想空間サーバとは別のサーバから配信される。

現在の実装では、一般的なDVカメラを設置し、QuickTime Streaming Server を用いて QuickTime 形式の映像を配信している。

### 5. 実験と考察

#### 5.1 実験概要

本システムのプロトタイプを用い実験を行った。実験環境としては、現実空間として本研究所内の一室を用い、仮想空間として Second Life 上の Second Miyagi SIM 内に構築した部

屋を用いた。実験に用いた仮想空間は外部に公開されているため、インターネットを通じて誰もが仮想空間側の利用者として実験に参加できる。

### 5.2 実験結果

実験では最大で3人が同時にシンピオントとして参加したが、参加人数の増大による性能の大幅な低下はみられなかった。しかし、シンピオントの動作に常に1~2秒程度の遅延があり、現実空間の利用者とシンピオントが同期して動いている感覚が得られない現象が生じた。また、タグとレシーバの位置関係から位置情報が正確に獲得できず、まれにシンピオントが部屋の外など不適切な場所に移動してしまう現象が発生した。これらの現象が共生感を低下させる要因となった。

### 5.3 公開実験

2009年10月10~11日に行われた本研究所の一般公開において公開実験を行った。この公開実験では、共生型3次元仮想空間とシンピオミラーを利用して現実空間での一般来場者と仮想空間での来場者に対して同時に研究展示を実施した。

図5および図6に公開実験におけるシンピオミラーの様子を示す。図5は現実空間から見たときの実験風景であり、図6は仮想空間側から見たときの様子である。来場者は超音波タグを身に付けることにより本研究所の一室から現実空間側の利用者としてシステムに参加する。仮想空間内では対応するアバタが現実空間の来場者と同期して動き、シンピオントとなる。期間中に延べ200人程度の来場者が現実空間の利用者として実験に参加したが、この間システムは安定して動作し、本システムが連続的な運用に耐えうるものであることが確認できた。

### 5.4 考察

実験結果からアバタの動作時に発生する遅延はシンピオント数に関わらず発生することが分かっており、本研究所と米国のSecond Lifeサーバの間のRTT、またはサーバ側での処理時間が要因となっていると推定される。この問題は研究室LANに設置したSecondLifeサーバ互換のOpenSIMサーバを利用して実験を行うことで低減できるが、インターネット経由で誰でも参加できるという本システムの特徴を損なってしまうため、より良い解決策を検討している。またアバタが不適切な場所に移動する現象は、超音波の受信レベルが低い時、位置を正確に導出できないため発生していた。この問題は位置導出口ジックを改良することで低減できると考えられる。

また、本システムでは利用者は現実・仮想空間のどちらからでも参加できるが、現状では双方の利用者がインタラクションすることが困難であった。両空間で双方向の音声チャット

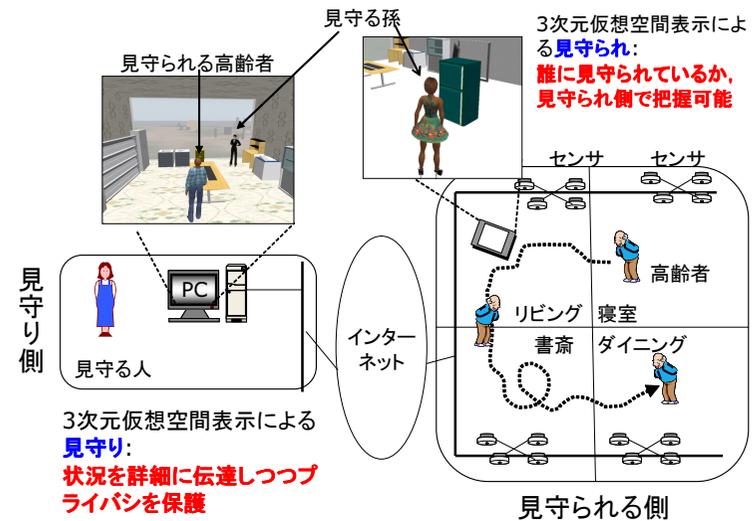


図7 高齢者の見守り支援システムのイメージ

などのコミュニケーション手段を導入することにより利用者の間にインタラクションが生まれ、より高い共生感を提供できると考えられる。

## 6. 共生感提供機能の応用

### 6.1 屋内環境における応用:高齢者の見守り支援システム

本稿で述べたシンピオミラーを含む共生感提供機能の応用について述べる。図7に屋内環境における応用例として、高齢者の見守り支援システムのイメージを示す。本システムは高齢者に位置センサ等を保持させ、仮想空間上で見守りを行うシステムである。3D仮想空間表現を用いて見守るため、ビデオカメラによるライブ映像での見守りと比較し、見守られる側のプライバシーが保護されるというメリットがある。また、見守られる側の状況と、見守る人と見守られる人の人間関係の緊密さなどに応じて表現形式を制御し、プライバシーの保護レベルを柔軟に設定できる点も利点である。さらに、見守られる側にも仮想空間を表示するインターフェースを提供することで、現在誰に見守られているかが把握可能となり、見守られる側の心理的圧迫感を低減する効果も期待できる。将来的には心拍や体温を測定する生体センサを併用することにより、健康支援を兼ねた高度な見守りを実現することができ



図8 シンビオスコープのイメージ

ると考えられる。

## 6.2 屋外環境における応用

屋外環境では、これまでに述べた屋内環境とは異なり、環境にデバイスを設置することが困難である。そこで、このような条件下でも提案技術が利用可能であることを検証するための実験を行っている。具体的には、利用者に GPS レシーバと無線通信カードを接続したモバイル PC を持たせ、利用者と同期して移動するアパタが実現可能であることを実証した。また、シンビオミラーのような固定式の共生感提供機能は屋外環境での使用には適さないため、シンビオスコープという持ち運びのできる共生感提供機能の実装を進めている(図8)。現実空間でのシンビオスコープはモバイル端末のディスプレイで実現され、覗き窓のような感覚で覗き込むと仮想空間側の様子を見ることが可能である。シンビオスコープ自体に GPS センサと地磁気センサを搭載することで、覗き込む位置・向きに合わせた表示が実現できる。

屋外環境での応用例として、通学時の子供見守り支援システムへの適用などを検討している。

## 7. おわりに

本稿では、SR 技術に基づき現実空間と仮想空間を融合する「共生型 3 次元仮想空間」において、利用者に共生感を提供する「共生感提供機能」の一つであるシンビオミラーの実装について述べた。また、一般利用者を対象に行った公開実験について報告した。今後は、本稿で述べた屋内を対象とした融合に加え、屋外を対象とした空間の融合についても設計・実装を進めてゆく。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(19200005)の援助を受けて実施した。

## 参考文献

- 1) Second Life.  
<http://www.secondlife.com/>.
- 2) S. Kumar et. al, "Second Life and the New Generation of Virtual Worlds," IEEE Computer, Vol.41, No.9, pp.46-53, 2008.
- 3) 白鳥則郎, 他, "Symbiotic Computing ~ポスト・ユビキタス情報環境へ向けて~, " 情報処理学会誌, Vol.47, No.8, pp.811-816, 2006.
- 4) OpenSIM.  
<http://opensimulator.org/>.
- 5) ZPS(Zone Positioning System),  
[http://www.furukawakk.jp/products/ZPS\\_1.html](http://www.furukawakk.jp/products/ZPS_1.html).