

マルチユーザマルチエージェント仮想都市空間 FreeWalk

FreeWalk: Multi-user Multi-agent Virtual City Space

中西 英之 京都大学情報学研究科社会情報学専攻/科学技術振興事業団 CREST デジタルシティ
プロジェクト
Hideyuki Nakanishi Department of Social Informatics, Kyoto University / JST CREST Digital City Project.
石田 亨 (同上)
Toru Ishida

keywords: multi-agent simulation, multi-user environment, virtual city space, emergency escape.

Summary

Virtual experience of crowded behavior is effective in education and training of disaster prevention. Two typical types of simulations, VR simulations and multi-agent simulations should be merged together to create such kind of experience. Toward the end, we developed a virtual city space *FreeWalk*. This is a 3D virtual space that can be connected with multi-agent simulators. In this system, each simulated human can be freely defined as either an *agent* that is controlled by a program or an *avatar* that is operated by a user. The three design principles of *FreeWalk* are: 1) the internal state of each simulated human is governed by an outside program or a user; 2) programs and users share the same interface to control simulated humans; and 3) a distributed architecture serves multiple users who participate in a simulation simultaneously. We tested *FreeWalk* as an educational tool for learning emergency escape behavior of crowds. First, we designed escape behavior as a pure multi-agent simulation by using a simulating tool. Next, this multi-agent simulator is connected with *FreeWalk* to include human participants in a simulation. Finally, we confirmed that *FreeWalk* could make it possible to convert a multi-agent simulation into a multi-user training environment.

1. はじめに

マルチエージェントシステムを用いたシミュレーションが、これまで数多く開発されてきており、人間社会で起こる様々な現象を再現することができる [Helbing 00]。仮想現実感 (VR) によるシミュレーションも、同じく盛んに開発されてきており、経路学習 [Wilson 97] や軍事演習 [Bell 99] などに用いられている。これら 2 つのシミュレーション技術は互いに目的が異なるため、これまで接点は少なかった。しかしながら、最近研究開発が盛んである災害体験シミュレーション [CAD center] [NRIFD] の質の向上には、それらの融合が求められる。避難のような集団行動におけるグループダイナミクスの再現には、マルチエージェントシミュレーション技術が重要な役割を果たす。一方、ユーザが集団の一員となってシミュレーションに参加するインタフェースとして、VR シミュレーシ

ョン技術は必須である。

そこで我々は、これまで開発してきたコミュニケーション支援のための 3 次元仮想空間 *FreeWalk* [Nakanishi 99] に都市空間表示機能とマルチエージェントシミュレーション機能を追加したマルチユーザマルチエージェント仮想都市空間を開発した。この機能追加によって、マルチエージェントシミュレーション中のエージェントにユーザが扮し、シミュレーションに参加できる環境が実現した。開発上の課題は、人間同士のインタラクション支援が目的のマルチユーザ環境と、計算モデルでインタラクションを再現することが目的のマルチエージェントシミュレーションを上手く融合させることである。本論文では、この融合を可能にする設計手法と、それによってマルチエージェントシミュレーションにユーザが参加できるようになることを確認した実験について述べる。

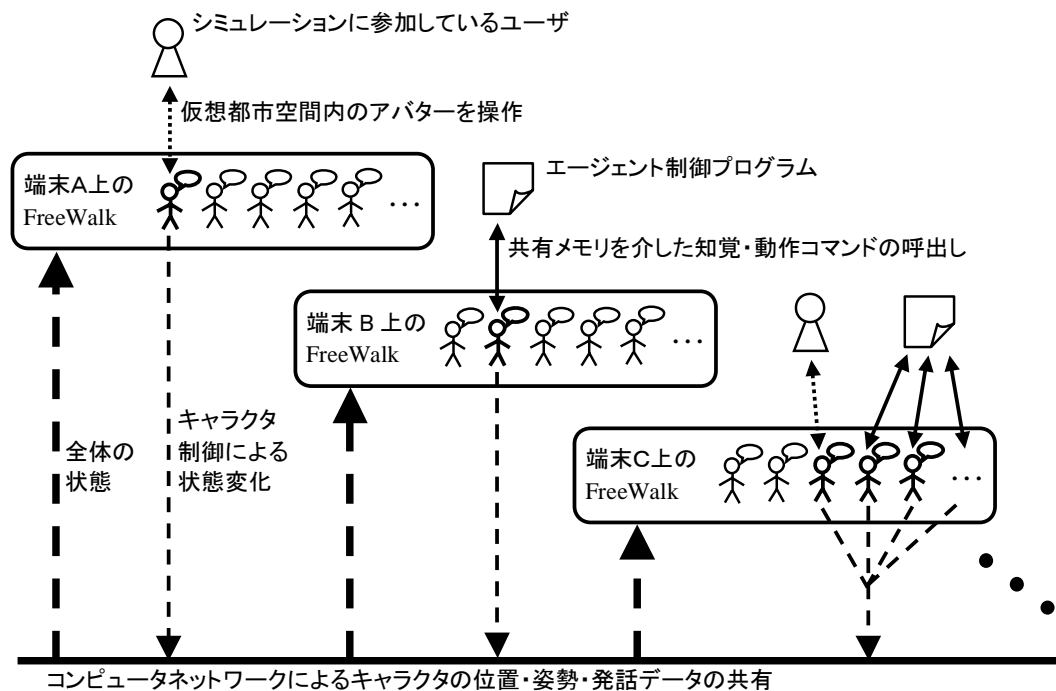


図1. マルチユーザ・マルチエージェント・アーキテクチャ

2. 関連研究

これまで、ネットワークを介して大勢の人々が集まることのできる仮想環境 [Benford 01, Singhal 99] が研究されてきた。我々の目的は、このような仮想環境を、避難群集のようなグループダイナミクスのシミュレーションに発展させることである。避難シミュレーションの構築には、緊急事態が発生した物理的環境の再現と同等かそれ以上に、その緊急事態の中で振舞う群集の再現が重要となる。FreeWalk はプログラムで制御可能な群集を備えている。これは自律的に行動するエージェントであり、ユーザが操作する群集と言語的及び非言語的に対話する能力 [Cassell 00] を持つ。

同様の技術を用いて訓練が目的の仮想環境を構築した研究 [Swartout 01] があるが、登場人物やストーリーの綿密な設定に焦点があるため、少人数のシミュレーションが対象となっている。そのため、ユーザが演じる人物はあらかじめ決められている。FreeWalk における避難シミュレーションでは多人数の集団行動を扱うため、参加するユーザの人数が変化し、また役柄の選択肢が多くなる。

よって、ある登場人物をユーザが演じるのか、エージェントが演じるのか、柔軟に変更できなければならない。

3. シミュレータの設計

3.1 制御主体の分離

多様なマルチエージェントシミュレーションの中で、本論文では人間の集団行動のシミュレーションを取り扱う。これ以後の記述では、シミュレーション中の登場人物でプログラムが制御するものだけをエージェントと称し、人間のユーザが操作するものはアバターと称する。また、エージェントとアバターを総称してキャラクターと呼ぶことにする。

FreeWalk では、シミュレーション中の任意のエージェントを、ユーザが操作するアバターと容易に置き換えることができる。これは、キャラクターの行動を、プログラムからもユーザからも同様に制御できるようにすることで可能となった。プログラムは、システムが提供するコマンドを呼び出してエージェントの行動を制御する。一方ユーザ

は、仮想都市空間として表されたシミュレーション空間の中にある自分のアバターを操作する。FreeWalk, ユーザ, プログラムの3者の関係を図1に示す。

各キャラクターの状態のうち、他のキャラクターから観察可能なものを外部状態、そのキャラクター自身のみが知ることのできるものを内部状態と、本論文では呼ぶことにする。視覚的に確認できる位置や姿勢、聴覚的に確認できる発話などは外部状態である。一方、外部状態の変化を生み出す原因となる、意図、信念、知識、感情、性格などは内部状態である。単にキャラクターの状態と書く場合は、外部状態を指す。そして、全キャラクターの状態を合わせたものをシミュレーションの状態とする。

各キャラクターの内部状態は、FreeWalkではなくエージェントを制御するプログラムか、アバターを操作するユーザによって管理される。FreeWalkは行動制御の依頼をプログラムやユーザから受け付け、それに従ってシミュレーションの状態を更新するだけである。どのキャラクターをプログラムが制御するのかがあらかじめ決まっているシミュレーション[Swartout 01]では、プランニング機構などの内部状態を管理する仕組みをシミュレータに組み込む設計も可能である。だが、内部状態を自分の頭の中で管理する人間のユーザとプログラムを同等に扱うFreeWalkでは、管理対象を外部状態のみに限定している。シングルユーザ・シングルエージェントではあるが、同様の設計手法で仮想環境を拡張した例[Laird 01]があり、エージェント制御インタフェースの組み込みに成功している。図1に、この状態管理の仕組みを示す。

3.2 マルチユーザ・アーキテクチャ

通常、マルチエージェントシミュレーションは、負荷分散が必要な場合を除いて1台のコンピュータ上で実行される。これと異なりFreeWalkのアーキテクチャは、遠隔地からの多数のユーザの参加を許すために、アバターに対応する各端末がネットワークを介して相互に接続される分散型になっている。これに合わせて、マルチエージェントシミュレーションの管理も分散型になっている。

各端末は自分が担当するキャラクターの状態のみを更新し、その差分を送受信し合って全端末間においてシミュレーションの状態を共有する。エージェントを制御するプログラムは、シミュレシ

ョンの状態を把握するためにFreeWalkが提供する知覚コマンドを呼び出す。アバターを操作しているユーザは、画面やスピーカが提供する視聴覚情報を通じてシミュレーションの中で何が起きているのかを把握する。

図1に示すこの管理方式では、各エージェントはどこの端末で制御されようとかまわない。エージェント群は、一台の端末でまとめて制御することも複数台の端末に分割して制御することもできる。同じ1台の端末に一体のアバターと複数体のエージェントを割り当てることができ、ユーザ数だけ端末があればシミュレーションが可能である。

3.3 エージェント制御とアバター操作の共通化

キャラクター間のインタラクションは、歩行、ジェスチャー、発話を通して起こる。エージェントの動作は、プログラムがシステムの動作コマンドを呼び出すことで制御する。一方アバターの動作は、ユーザが入力デバイス进行操作することで制御する。例えばキャラクターを歩かせたい場合、プログラムは歩行コマンドを呼び出し、ユーザはカーソルキーやジョイスティックなどの方向指示デバイスを操作する。このとき、エージェントとアバターの動作制御の仕組みが乖離していると、エージェントをアバターに入れ替えて同じシミュレーションを実行することが困難になる。

そこで、動作制御の仕様をプログラムにとってもユーザにとってもできるだけ平等にするため、キャラクターを歩行させる時は移動経路だけを制御するようにした。プログラムは移動先の座標を引数に指定した歩行コマンドを呼び出す。ユーザは移動先の方角を方向指示デバイスで指定する。微細な制御が要求される衝突回避行動は自動化した[Okazaki 93]。また、歩行アニメーションは自動的に生成するようにした[Tsutsuguchi 00]。このように制御の依頼方式を単純化して、状態更新の計算方式を共通化することで、プログラムとユーザによる制御の間に差が生じにくいようにした。他の多くの仮想環境でも同様の制御手法が用いられているが、その目的は操作を簡単にしたりスクリプトを単純にしたりするためである。我々はこれをエージェントとアバターの均一化に用いた。さらに共通化を進めるため、出入口の前で列に並ぶ、輪になって話す[Kendon 90]、などの社会的習性に従って歩行制御を支援する機能を開発した。歩行動作が実行される流れを図2に示す。

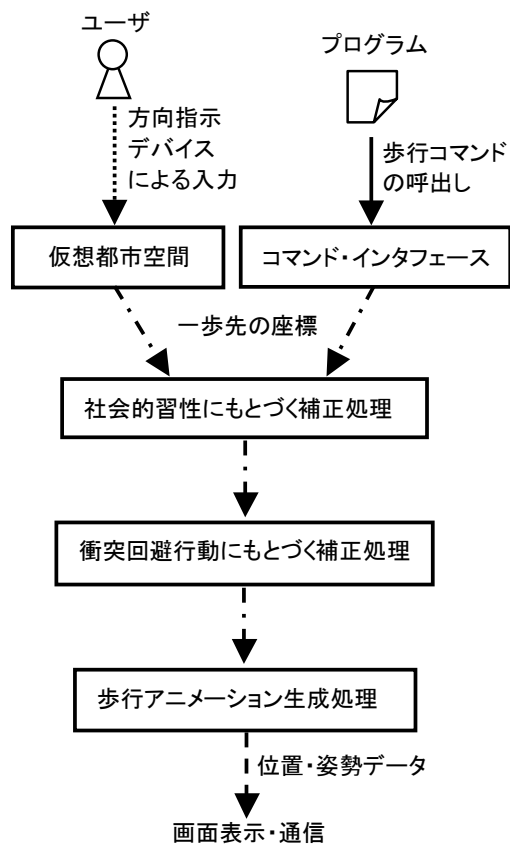


図2. 歩行動作の制御機構

ジェスチャーを単純化する一般的な手法というものはないが、仮想環境の用途によって種類を限定することは可能である。我々は、避難等の集団行動で重要な直示的ジェスチャーに限定した。視線と指差しの2種類の角度を、プログラムからもユーザからも自由に制御できるようにした。プログラムは、角度の引数を入れて視線コマンドや指差しコマンドを呼び出し、直示的ジェスチャーを制御する。ユーザは、ボタンと方向指示デバイスの組み合わせでこれらを制御する。

3.4 エージェント・アバター間対話

FreeWalk では、エージェント間、アバター間、エージェント・アバター間の3通りの対話が同時に起こりうるので、それらを効率的に処理する必要がある。エージェント間対話はテキストの、アバター間対話は音声の送受信で可能となる。それらとエージェント・アバター間の対話を効率良く混在させたい場合、エージェント・アバター間対

話を単独で扱う処理 [Cassell 00] をより細かく分解し、互いの共通部分を統合する必要性が生じる。

そこで我々は、エージェントの発話もアバターの発話も、全てテキストで一定時間分蓄積するよう設計した。アバターの発話は音声認識エンジンでテキストに変換された後、エージェントが稼働する全端末に配送され蓄積される。プログラムは発話を聞き取るための知覚コマンドを呼び出して、過去一定時間分の発話を解析することができる。この蓄積処理と並行して、アバターの稼働する端末のスピーカからは、他のアバターの音声と音声合成されたエージェントの発話が仮想都市空間内の3次元音場に従って再生される。この処理方式を図3に示す。

4. シミュレータの実装

FreeWalk は、キャラクタ制御のためのコマンド・インタフェース、仮想都市空間、制御の結果を端末間で共有するための通信機構、の3部から構成される。

4.1 コマンド・インタフェース

エージェントの行動制御に必要な動作や知覚のコマンドが提供されている。プログラムはいつでもそれらのコマンドを呼び出すことができる。実装されている主だったコマンドを以下に示す。

- **walk:** 指定された座標に向かって歩く。
- **face:** 指定された方向に視線を向ける。
- **point:** 指定された方向を指差す。
- **speak:** 指定された文を話す。
- **see:** 指定されたキャラクタが視界に入っていることを知覚する。
- **hear:** 指定された文面を聞き取ったことを知覚する。

FreeWalk とエージェントを制御するプログラムは別プロセスなので、その間をつなぐ共有メモリに呼び出されたコマンドのリストが格納される。システムはキャラクタの状態を更新する計算と仮想都市空間の描画を交互に繰り返しており、状態更新計算を開始する直前に共有メモリにあるコマンドリストを取り出して実行を開始する。動作コマンドは完了までに一定時間を要し、状態更新計算ごとに更新に要する時間間隔に従った差分だけ

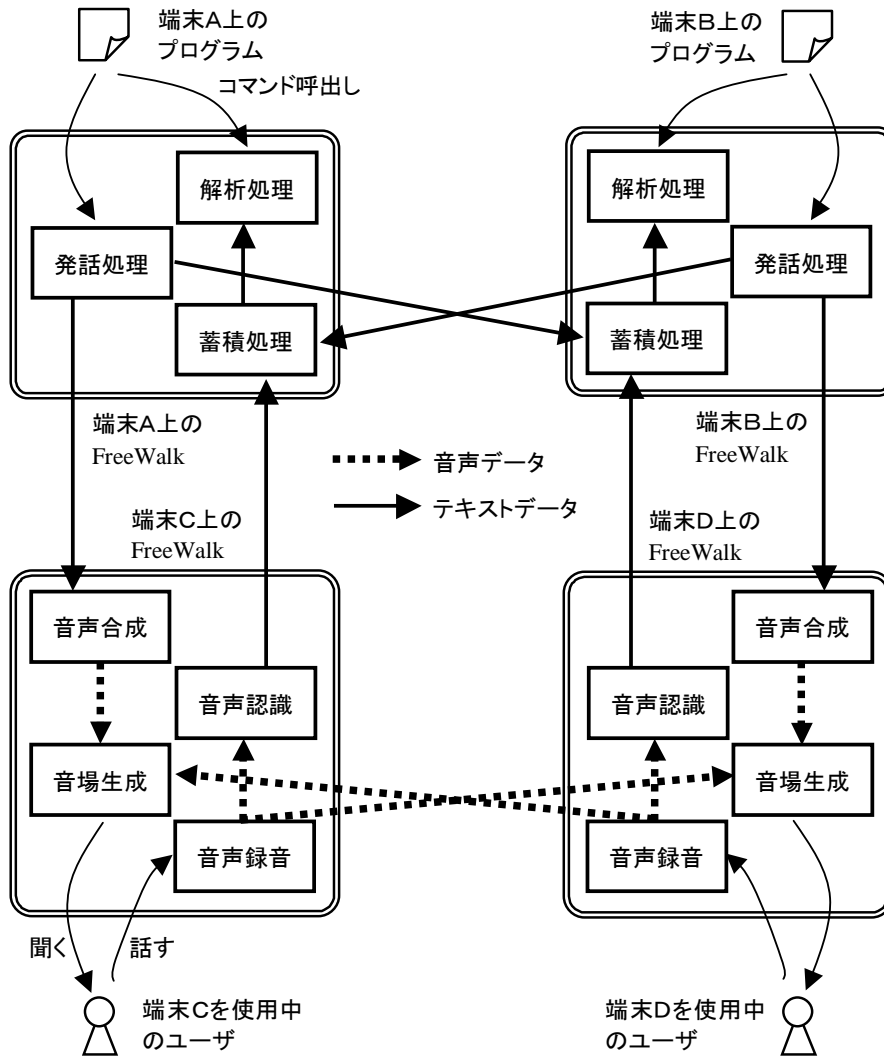


図3. 音声コミュニケーション処理の設計

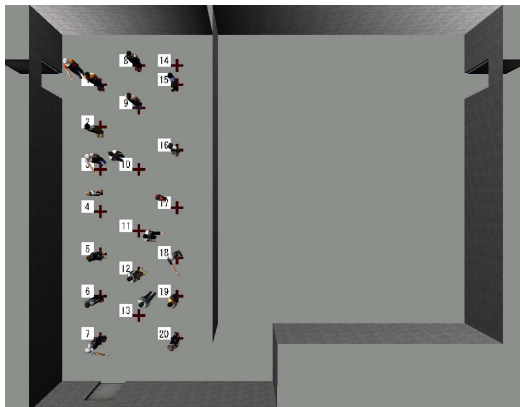
実行される。例えば歩行コマンドを一度呼び出せば、目的座標に到達するまで状態更新計算ごとに少しずつ前進する。その間仮想都市空間には、更新間隔に従った距離だけ歩行したキャラクターがそのつど描かれ続ける。

このような、実行完了に時間のかかるコマンドの扱いを便利にするため、ブロッキングモードとノンブロッキングモードの2つの実行モードが用意されている。ブロッキングモードでは、同じエージェントの次のコマンドの実行は前のコマンドが完了した時点で開始される。ノンブロッキングモードでは、次のコマンドが直ちに開始され前のコマンドの完了を待たない。このモードでは、コ

マンドの完了は別途システムに問い合わせることができる。エージェントを制御するプログラムは、これらのモードを使い分けることができる。

4.2 仮想都市空間と通信

画面にはアバターの視点から見た仮想都市空間内の風景が描かれ、他のキャラクターの行動を観察できる。またスピーカからは、他のキャラクターの発話が仮想都市空間内の音場に従って合成され再生される。このときエージェントの発話は音声合成エンジンによって音声に変換される。これら映像・音声出力に必要なキャラクターの状態である位置・姿勢・発話のデータは全端末間で共有される。



上から見た避難シミュレーション



ユーザから見た避難シミュレーション



実験の様子

図4. 避難シミュレーション実験

通信の遅延を少なくするためピアツーピア方式を用いている。位置のデータは 3 次元座標値であり、同期は取らずに移動した結果を伝えあう。発話のデータはテキスト及び音声であり、音声データは ADPCM 方式で圧縮している。姿勢のアニメーションデータは間接角度パラメータの集合である。事前に用意されたアニメーションを再生する場合、どのアニメーションの何コマ目かだけ伝えれば良いが、FreeWalk の場合はアニメーションが動的に生成されるため、その手法は用いなかった。以上の実装上の工夫により、LAN 環境では数十人が参加するシミュレーションが可能である。

仮想都市空間やキャラクターの 3 次元モデルのフォーマットとして VRML を用いている。空間の 3

次元モデルは描画データとしてだけでなく、そのまま幾何学構造データとしても用いている。空間とキャラクターの衝突判定は、キャラクターの体から進行方向に向かって伸ばしたベクトルと空間のポリゴンとの交差判定で行われる。この交差判定の計算負荷の分散と移動操作時の遅延の減少を目的として、移動計算はそのキャラクターを担当する各端末で行うようにした。

5. 避難シミュレーション実験

過去の避難訓練実験にもとづいて [Sugiman 88], 20 人の人間が地下室から脱出する避難シミュレーションを FreeWalk 上に構築した(図 4 参照)。これ

は4人の誘導者が16人の避難者を正しい出口から脱出させるシミュレーションであり、誘導者と避難者間の社会的インタラクションをシミュレートすることが目標である。エージェントを制御するプログラムとしてシナリオ記述言語 *Q* を用いた [Ishida 02]。これは、シミュレーションにおけるエージェントの行動ルールをエージェント間の社会的インタラクションのシナリオとして記述できる言語である。この言語の処理系を **FreeWalk** と接続した。また、20体のエージェントによるシミュレーションの結果が過去の実験の結果と一致するようにシナリオを記述した [Murakami 03]。このシナリオ中のエージェントをアバターに置き換えるだけで避難訓練が可能になるかどうかを確認する実験を我々は実施した。

この実験は、16人の避難者のうち6人がアバターで、残り10人がエージェントという構成である。アバターが6人であるので6台の端末を使用した。何十回という避難訓練がそれぞれ別々の被験者によって行われ、その中でアバターが自分の前方を逃げる他の避難者に追従する行動が良く観察された。このときアバターを操作している被験者が、その避難者がエージェントなのかアバターなのかを意識している様子は無かった。ここで観察された、他の避難者に追従するというインタラクションは、エージェントのシナリオに組み込んでいた行動と同じである。この実験は、1)人間同士のインタラクションの分析、2)それにもとづくマルチエージェントシミュレーションの設計、3)その一部のエージェントを人間に置き換えて再現、の3段階のうち、最後の3ステップ目に相当する。実験の結果、このような訓練環境の構築手法が **FreeWalk** を用いて可能であることが分かった。

6. おわりに

我々はマルチユーザ仮想環境とマルチエージェントシミュレータを融合し、マルチユーザマルチエージェント仮想都市空間 **FreeWalk** を開発した。シミュレーション中のあるキャラクタを、エージェントにするのかユーザが演じるアバターにするのか柔軟に変更できるように設計した。**FreeWalk** には自律的な制御機構を含めず、エージェントの内部状態の管理を外部のプログラムもしくはユーザに委ねるようにした。負荷分散ではなくマルチユーザ対応を目的に、分散型のアーキテクチャを用

いた。プログラムもユーザも平等にシミュレーションに参加できるように、キャラクタ制御の仕組みを共通化した。**FreeWalk** 上に構築した避難シミュレーションを用いて避難訓練を実施し、エージェント間、アバター間、エージェント・アバター間で同様のインタラクションの発生を確認した。

さらに大規模で複雑なマルチユーザマルチエージェントシミュレーションの実現には、1)アバター操作インタフェースの改善、2)キャラクタ制御機構の高度化、3)エージェント制御コマンドの追加、が必要であり、今後の課題である。

謝 辞

人体歩行の開発における京都大学工学研究科の岡崎甚幸教授(現在は武庫川女子大学)、NTTサイバーソリューション研究所の筒口拳氏の協力に感謝致します。また、避難シミュレーション構築における京都大学総合人間学部の杉万俊夫教授の助言に感謝致します。そして、コマンド・インタフェースの開発における伊藤英明、板倉豊和の各氏、避難シミュレーション実験実施における河添智幸、菱山玲子の各氏、**FreeWalk** 全体の開発を担当して頂いた(株)CRCソリューションズに感謝します。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Bell 99] Bell, H. H. The Effectiveness of Distributed Mission Training. *Communications of the ACM*, Vol. 42, No. 9, 1999.
- [Benford 01] S. Benford, C. Greenhalgh, T. Rodden and J. Pycok. Collaborative Virtual Environments. *Communications of the ACM*, Vol. 44, No. 7, pp. 79-85, 2001.
- [CAD center] CAD center. Virtual Reality Simulation Program for Architectural Performances (VR-SPAP). http://www.cadcenter.co.jp/en/webgallery/webgallery_vr5.html
- [Cassell 00] J. Cassell, J. Sullivan, S. Prevost and E. Churchill Ed. *Embodied Conversational Agents*. MIT Press, 2000.
- [Helbing 00] D. Helbing, I.J. Farkas and T. Vicsek. Simulating Dynamical Features of Escape Panic. *Nature*, Vol. 407, No. 6803, pp. 487-490 2000.
- [Ishida 02] T. Ishida. *Q: A Scenario Description Language for Interactive Agents*. *IEEE Computer*, Vol. 35, No. 11, pp. 54-59, 2002.
- [Kendon 90] A. Kendon. Spatial Organization in Social Encounters: the F-formation System. A. Kendon, Ed.,

Conducting Interaction: Patterns of Behavior in Focused Encounters, Cambridge University Press, pp. 209-237, 1990.

- [Laird 01] J.E. Laird. It Knows What You're Going To Do: Adding Anticipation to a Quakebot. *International Conference on Autonomous Agents*, pp. 385-392, 2001.
- [Murakami 03] Y. Murakami, T. Ishida, T. Kawasoe and R. Hishiyama. Scenario Description for Multi-Agent Simulation. *International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS2003)*, 2003.
- [Nakanishi 99] H. Nakanishi, C. Yoshida, T. Nishimura and T. Ishida. FreeWalk: A 3D Virtual Space for Casual Meetings. *IEEE Multimedia*, Vol.6, No.2, pp.20-28, 1999.
- [NRIFD] 消防研究所, フジタ. 火災擬似体験システム『fire cube』を開発.
[http://www.fujita.co.jp/release/R2003/2003_0414efc\(WEB\).pdf](http://www.fujita.co.jp/release/R2003/2003_0414efc(WEB).pdf)
- [Okazaki 93] S. Okazaki and S. Matsushita. A Study of Simulation Model for Pedestrian Movement with Evacuation and Queuing. *International Conference on Engineering for Crowd Safety*, pp. 271-280, 1993.
- [Singhal 99] S. Singhal and M. Zyda. *Networked Virtual Environments: Design and Implementation*, Addison-Wesley, 1999.
- [Sugiman 88] T. Sugiman and J. Misumi. Development of a New Evacuation Method for Emergencies: Control of Collective Behavior by Emergent Small Groups. *Journal of Applied Psychology*, Vol. 73, No. 1, pp. 3-10, 1988.
- [Swartout 01] W. Swartout, R. Hill, J. Gratch, W.L. Johnson, C. Kyriakakis, K. Labore, R. Lindheim, S. Marsella, D. Miraglia, B. Moore, J. Morie, J. Rickel, M. Thieboux, L. Tuch, R. Whitney and J. Douglas. Toward the Holodeck: Integrating Graphics, Sound, Character and Story. *International Conference on Autonomous Agents*, pp. 409-416, 2001.
- [Tsutsuguchi 00] K. Tsutsuguchi, S. Shimada, Y. Suenaga, N. Sonehara and S. Ohtsuka. Human Walking Animation based on Foot Reaction Force in the Three-dimensional Virtual World. *Journal of Visualization and Computer Animation*, Vol. 11, No. 1, pp. 3-16, 2000.
- [Wilson 97] P. N. Wilson. Use of Virtual Reality Computing in Spatial Learning Research. N. Foreman and R. Gillett Ed., *A Handbook of Spatial Research Paradigms and Methodologies*, Psychology Press, pp. 181-206, 1997.