

特別研究報告書

屋内公共空間のための位置依存型誘導システム
の開発

指導教員 石田 亨 教授

京都大学工学部情報学科

渡辺 亮

平成18年2月10日

屋内公共空間のための位置依存型誘導システムの開発

渡辺 亮

内容梗概

我々の生活空間は住居や職場，そしてそれらを繋ぐ公共空間に大別できる．現在，コンピュータやネットワークをそのような生活空間に溶け込ませ，意識することなく利用するユビキタス・コンピューティングへの取り組みが盛んである．

住居や職場のような比較的小規模な生活空間への研究は数多く行われている．ところが，公共空間のような大規模な生活空間への研究は，それに比べるとあまり見られない．公共空間のためのシステム開発という観点から考えると，以下のような理由が挙げられる．

汎用性の要求

我々の生活は様々な点で効率化されている．生活を支援するシステムは，よりいっそうの効率化が要求される．つまり，生活を支援するシステムには高い実用性や有用性を備えていることが前提条件となる．公共空間のためのシステムの場合は汎用性も必要となる．例えば住居であれば，その利用者は主に住人に特定される．ところが，公共空間では利用者の特定は困難である．公共空間は誰でも利用する可能性があるからである．それゆえに，公共空間のためのシステムには実用性や有用性と共に汎用性も求められるのである．それが開発への取り組みを困難にしているのではないか．

評価の困難性

システムを開発したら，効果の検証やシステムの評価を行わなくてはならない．空間を対象とするシステムの評価には，その空間を用意する必要がある．ところが，駅や空港のように公共性の高い空間が対象であると，評価のために施設を借りることは非常に困難である．また，このような大規模な施設を，別の場所に複製することも不可能に近い．システムを開発しても，それを検証するための環境を用意することもまた困難といえる．

公共空間を利用する目的の一つに，他の生活空間への移動が挙げられる．GPSが移動の支援するシステムとしては一般的である．しかし，GPSは屋内空間では利用できない．そこで本研究では，屋内空間のための誘導システムを扱う．

まず，仮想空間を介するコミュニケーションシステムを利用して，屋内公共空間のための誘導システムの開発を行った．そして実際に公共施設内で誘導実

験を行い、システムを検証した。一連の過程において、前述の問題に対しては以下のようなアプローチを行った。

仮想空間を用いた位置依存型誘導システム

まず、システム対象下にいる歩行者をセンサによって仮想空間内のエージェントとして再現する。位置や周辺状況に適した誘導内容を作成して送信するシナリオを、そのエージェントそれぞれに割り当てる。歩行者は端末さえ持っていれば、自動的に誘導案内が提供される。端末に一般的な携帯電話を採用することで、誰にでも利用できる誘導システムを開発できる。また、エージェントに状況を先読みして誘導内容を決定させることで、システム処理の時間を体感させなくした。その結果、緊急避難時にも対応できる速やかな誘導が可能となり、有用性も高い誘導システムの開発に成功した。

エージェントとアバタを用いた評価実験

今回、常に多くの人々が利用する京都駅構内で実験を行った。高い公共性を持つ大規模な施設なので、施設の占有や複製の用意は不可能であった。そこで、仮想空間内でエージェントによる避難シミュレーションを行い、それを現実空間内の実験に重畳する手法をとった。これにより、施設内の被験者は少数ですむ。被験者は仮想空間内にアバタとして存在する。アバタが仮想避難者の状況を誘導案内と同時に伝えることで、被験者は避難実験に参加できるようになる。この手法によって、公共空間における評価実験を実現した。

評価には二種類の誘導を体験させ、その結果を比較した。一つは被験者の位置に依存した内容で、もう一つは位置に依存しない内容である。また、仮想避難者の状況は簡略化された情報でしか伝わらないので、システムが十分に評価されない可能性もある。そこで、三次元CGを見ながらアバタを直接操作する被験者も配置することで、より詳しい評価を試みた。

二種類の実験を同時に行った結果、位置依存型誘導の方が信頼感や説得力が増すという評価を得た。今回開発した誘導システムの有効性が実証された。

Development of a Location-Based Guidance System for Indoor Public Spaces

Ryo WATANABE

Abstract

Our life spaces can be categorized by living, working, and public spaces linked them. It is very active to study the Ubiquitous Computing. In the ubiquitous research community, computers and networks are always in our life spaces, even if we are aware of using them.

We have many studies of small-scale spaces like houses or offices. But there are few studies about large-scale spaces like public spaces because the following problems in system development for public spaces have not been achieved.

Requirement of Generality

Our lives have become efficient. The systems to support our lives are required efficient. Therefore, such systems should have high utility and usability. Generality is also needed in order to develop systems for public spaces. For example, the main users in living space are inhabitants, but it is very hard to identify users in public spaces. Various users may exist in public spaces. So, utility, usability, and generality are needed. This is why the system development is difficult.

Difficulty of Evaluation

When we develop a system, we must evaluate it. It is essential to the evaluation that we prepare as much spaces as target spaces. But if the target spaces are highly public like stations and airports, it is very difficult to rent the facilities for evaluation experiments. And, it is also difficult to make replicas of the facilities. Therefore, it is difficult to evaluate a system even if we develop it for public spaces.

We use public spaces when we move to other life spaces. Global Positioning System (GPS) is well known to support our transfer. But, we cannot use GPS in doors. In this research, we use a guidance system for indoor public spaces.

This paper propose the guidance system for indoor public spaces, using the communication system with virtual spaces. Then evacuation experiment in a real public facility is performed for the evaluation of our system. Following

approaches is proposed in this paper.

Location-based Guidance System using virtual space

Pedestrians in a target domain are replicated as agents in virtual space using sensor system. Each agent has a scenario that makes guidance message from his position and local circumstance and sends to a corresponding pedestrian. Each pedestrian can receive guidance messages automatically if he only have a device for our system. In this research, we use a mobile phone as a device for our system, so everyone can use our proposed system. In addition, users need not to be aware of delay caused by processing because this paper proposes a method for looking ahead a few seconds using agents. As a result, it can send messages speedy for emergency evacuations, and the development of the guidance system with high utility is achieved.

Evaluation Experiment by Agents and Avatars

The evaluation experiment is performed at the Kyoto Station where have is very crowded with many passengers. Since it is highly public and very large occupation of the facility or preparation of the replica is impossible. Then, an experiment in real space is overlapped with agent simulation in virtual space. As a consequence, the experiment can be achieved by only a few subjects. Subjects are replicated as avatars in virtual spaces. Avatars tell their subjects the virtual situation, and subjects can take part in the experiment. Then the evaluation experiment for large-scale public spaces is achieved.

Two different kinds of guidance messages are used in this evaluation experiment and this paper compares two results. One kind of guidance message is dependent on the position of each subject. The other is independent of the position of each subject. We must take account of the failure of system evaluation because the information of virtual evacuees is very simplified. We solved the problem by subjects that manipulate corresponding avatars directly looking at the 3D simulation. This approach enables us to evaluate in more detail.

In the result, location-based guidance is higher rating in degree of confidence, understandability, and cogency. Therefore, it is proved that this guidance system is effective.

屋内公共空間のための位置依存型誘導システムの開発

目次

第1章	はじめに	1
第2章	位置依存型誘導システムとその評価手法	2
2.1	位置依存型誘導の実現	2
2.1.1	現実空間から仮想空間への位置情報の反映	4
2.1.2	仮想空間から現実空間への誘導情報の提供	7
2.2	誘導システムの効率化	8
2.2.1	位置依存型誘導に生じる遅延	9
2.2.2	誘導に対する遅延の影響	11
2.2.3	先読みによる同期性の実現	12
2.3	屋内公共空間における評価実験の実現	12
2.3.1	実験環境の構成	12
2.3.2	被験者の実験参加	14
第3章	誘導システムの評価実験	17
3.1	評価実験の概要	17
3.2	位置依存型誘導システムの考察	19
3.2.1	位置依存型誘導	20
3.2.2	誘導システム	23
3.3	評価手法の考察	24
第4章	おわりに	25
	謝辞	26
	参考文献	26
	付録：	A-1
A.1	AR アバタの誘導シナリオ	A-1

第1章 はじめに

コンピュータやネットワークの存在は、最早我々の生活になくてはならない。そしてその存在は生活環境の中に溶け込み、特別存在を意識することなく利用できるようになりつつある。いわば、ユビキタス・コンピューティングの時代への変化を遂げようとしている。

これに関する研究は現在も多く行われており、その例にスマート環境の構築がある。スマート環境とは、情報支援を提供した機能が埋め込まれた生活空間のことである [1]。

生活空間は居住空間や公共空間などから成り立つ。生活空間をスマート化する研究は、主に住居や職場などの比較的小規模な空間を対象に行われることが多い。それに比べると、公共空間が対象になることは非常に少ない。

駅や空港などの公共施設に代表されるように、空間そのものが大規模であることが多い。また、居住空間のように特定の目的を持った人を対象とした空間と比べると、公共空間はその利用者も非常に多いのが一般的である。スマート化する環境やその対象者があまりに大きいため、研究の焦点が絞りにくいことが、理由の一つとして考えられる。

他にも、利用者の絶対数が非常に多く、その全体を対象にすることは一般性や汎用性の面から開発や研究が困難になりやすい。また、その空間内で実験を行おうとしても、その利用者の多さが障害となって、実験を行う環境を準備しにくい。別の場所に施設と同じ環境を複製しようとしても、大規模な空間を複製することは容易ではない。以上のような点からも、公共空間が研究の対象となりにくい理由が伺える。

公共空間をスマート化することで、ユーザに与えられる情報支援の一つに地理情報がある。公共空間が繋いでいる生活空間の数だけ、ユーザの目的地は存在するといっても過言ではない。空間の規模が大きくなったり、内部構造が複雑化したりするにつれて、その需要も大きくなる。現在地から目的地までの誘導情報をユーザに提供できれば、状況に応じてユーザの行動を支援することができる。このような位置依存型誘導による支援の事例に GPS (Global Positioning System) がある。

GPS は衛星を用いており、その対象範囲全てがスマート環境となっていると言える。しかし、その反面、衛星の影響を受けない屋内や測位できないほどの詳

細な案内は，GPS では対応できない．そして，そのような対象外の環境への取り組みはあまり存在しない．GPS 以外の手段で誘導の精度を向上させることができれば，屋内や詳細な案内を実現できる．そうなれば，平常時の誘導案内の使用に限らず，緊急災害時などの避難誘導にも利用できるのではないだろうか．

緊急時の群集の行動などに関しては様々なアプローチが行われている [2][3]．しかし，実際の緊急時に群集へ働きかける手段を考察しているものは多くない．施設内の係員による直接の誘導指示や放送設備を用いたアナウンスなど，その手段は大きく変わらない．屋内施設での位置依存型誘導システムが実現できれば，このような場合にも対応できるのではないか．

今回，屋内公共空間としては非常に大規模な空間である京都駅構内において，位置依存型誘導システムの開発を行った．そして，そのシステムを用いた評価実験も実際に行った．

本論文の第 2 章において，開発した位置依存型誘導システムと大規模公共空間における評価実験の手法について，それぞれの説明を記述する．第 3 章では，実際に京都駅で行った評価実験の概要の説明と，その結果に基づいた考察を行う．最後に第 4 章で今後の課題や問題点を述べて結論とする．

第 2 章 位置依存型誘導システムとその評価手法

2.1 位置依存型誘導の実現

位置依存型誘導システムの開発には，既に京都駅構内に設置されていた超越型コミュニケーションシステムのプロトタイプを基盤技術としている．超越型コミュニケーションとは，既存の対面型コミュニケーションとは異なる階層型のコミュニケーションを表している [4]．対象となる空間やその中にいる人を仮想空間内に再現し，管理者となるユーザが再現された環境を通じて俯瞰視点から把握する．そして，仮想空間上から対象となる人物やその領域を選定することで，コミュニケーションを実現する．

今回の位置依存型誘導システム，ならびに基盤となる超越型コミュニケーションシステムは以下のような技術を用いている．まず，対象空間内の人間の位置情報を取得する手段には視覚センサ [5] を用いている．また，仮想空間と其中で再現された人，言わばエージェントの行動の管理には，FreeWalk/Q [6] を用いている．FreeWalk/Q とは，VRML を用いた 3 次元仮想都市シミュレータ

FreeWalk[7] と、Scheme を基にしたシナリオ記述言語Q[8] の組み合わせである。Q 言語は FreeWalk 上で再現されるエージェントの行動を記述する。エージェントの行動はこのQシナリオで一意に決定される。

ユーザはエージェントによってアバタ (Avatar) として仮想空間内に再現される。ユーザに送信される誘導内容は、アバタに割り当てられたシナリオによって決定される。誘導はそれぞれのユーザが所持する携帯端末に送信される。端末には第二世代携帯電話を採用した。また、誘導は電子メール形式で提供される。

今回携帯電話を採用した理由は、通信機能を搭載した最も代表的な携帯端末だからである。操作方法に習熟したユーザが多く、多機能でありながらも汎用性が高いことが挙げられる。

また、電子メールの採用には、前述のように扱いが容易なことが挙げられるが、それ以外に環境的な要因による部分もある。誘導情報を提供する手段として、JAVA などを用いてリアルタイムで地図やメッセージを表示、更新する方法が考えられた。このようなソフトウェアを携帯電話上で動作させるには、第三代と呼ばれる携帯電話が必要である。ところが京都駅では、この第三代携帯電話による通信環境が整備されていなかった。そのために今回はこの方法を断念することになった。そこで、通信機能などの面では劣る第二世代携帯電話を使用することにした。処理時間や通信時間に不要な時間をかけないようにするためにも、誘導は最も簡素な電子メールを用いることにした。送受信にはメールアドレスなどの個人情報が必要である。将来的には、RFID などのセンサを用いて施設内の入退場時に自動登録する方法を想定している。しかしながら、今回は全て手作業による登録を行った。

今回、位置依存型誘導システムの開発には、様々な面から技術協力を頂いた。超越型コミュニケーションシステムを基盤とし、仮想空間に反映されたエージェントによって誘導を実現できるように改良・開発を行った。また、センサによって取得された個人情報をサーバマシンで処理するが、そこも改良することで誘導効率を上昇させた。また、評価実験への対応を目的とした改良も行った。

本節では、上記に基づいて、位置依存型誘導システムの基本的な処理過程について記述する。

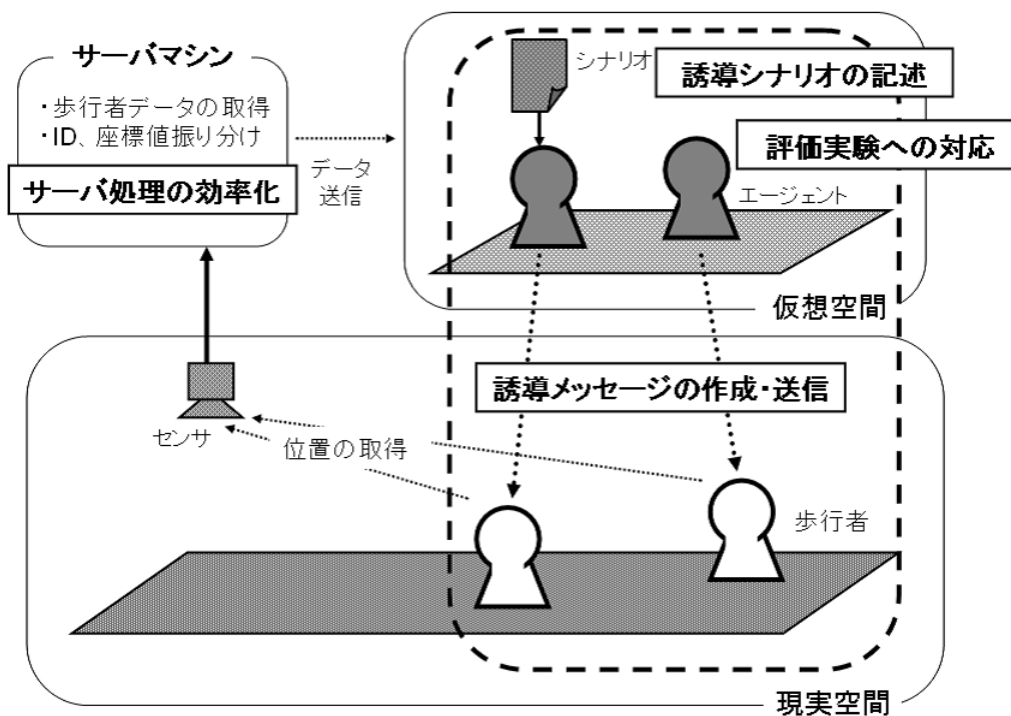


図 1: 誘導システム開発における担当範囲

2.1.1 現実空間から仮想空間への位置情報の反映

視覚センサによって取得されたそれぞれのユーザの位置情報は、まずサーバマシンによって処理される。ここで、ユーザを区別するために ID を割り当てる。ID とそれに対応した座標データは一定間隔で更新される。

取得した位置座標と ID からなる歩行者データは、駅施設から遠隔にある研究室内のマシンに送信される。シミュレーションを行う FreeWalk が、サーバに対して 100 ミリ秒間隔でデータを取得する。前述の超越型コミュニケーションシステムでは、FreeWalk が送信要求を表す文字列をサーバに対して送信し、サーバが送信要求を確認したら歩行者データを送信する。このような一連の過程で処理を行っていた。しかし、この方法ではデータのやり取りに余分な時間を費やし、情報の反映が遅れてしまう。そこで、予めサーバマシンと研究室内にあるシミュレーションマシンとの通信を確立しておいて、上記の過程を時間短縮のために省略した。

シミュレーションマシンが受信した文字列データから、歩行者データを取り出すために ID と座標データを切り出す。シミュレーションマシンが受け取った座標データはサーバマシン内における座標系であって、仮想空間内の座標系で

はない．そこで，まず受信した座標データを仮想都市空間システム FreeWalk 内で合うように適切な座標系に変換を行う．そして，取り出された ID と同一の ID を持つエージェントが仮想空間内に存在するかどうかを調べる．同一の ID を持つエージェントが見つければ，その ID のエージェントの目的地を示す座標データを受信した座標データに更新する．同一の ID を持つエージェントが仮想空間内に存在しない場合は，仮想空間で重畳した空間内に新たに歩行者が進入したものと見なし，その ID に対して新規のエージェントを割り当て，取得した座標位置に配置する．ただし，本実験では被験者の数が一定であるため，受信した ID を持つエージェントが仮想空間内に存在しないのは，実験開始時のみとなる．本実験において，実験開始時以外に新規の ID がシミュレーションマシンに送られてくることはない．

このようにして，それぞれのエージェントが受信した ID に基づいた目的地を示す座標データを取得することが出来る．取得した時点での座標位置と取得した座標位置が異なる場合，そのエージェントは取得した座標を暫時的な目的地として歩行する．エージェントは現在位置と目的地を結ぶ直線上に次の一步を踏み出す座標を算出する．そしてその座標位置に一步を踏み出すために必要となる，現在位置からの距離とその時点での進行方向に対する目的地への角度を計算する．これらの計算結果に基づいて，エージェントは次の一步を踏み出すために必要な方向へと身体の向きを変更し，一步を踏み出す．一步の移動が完了したら，目的地を表す座標データが更新されていないかどうかを確認し，その内容に応じて次の一步を再度計算し，移動を行う．この動作を繰り返すことで，エージェントは実空間内にいるユーザの行動を再現することが出来る．

今回，位置情報の取得に視覚センサを採用したが，そのために同一のユーザが位置の変化に関わらず同一人物であると認識することが出来ない．そこで，以下のような手法を採用し，同一人物であることの判断を行った．

ユーザの ID や位置データの更新は一定間隔ごとに行われる．データの更新が行われた際に，直前に予め定められた近傍内にあるユーザを示す ID がいた場合に，それを同一人物と見なすことにした．近傍内に複数の ID が認識された場合は，最も近い位置にあるものを同一人物として選択する．近傍内にユーザを示すデータが存在しなかった場合は，仮想空間で再現されている対象の現実空間内に新たなユーザが侵入したものと見なして，新規の ID を割り当てる．また，位置除法の取得が行われた後に，位置データが更新されなかった ID が残ってい

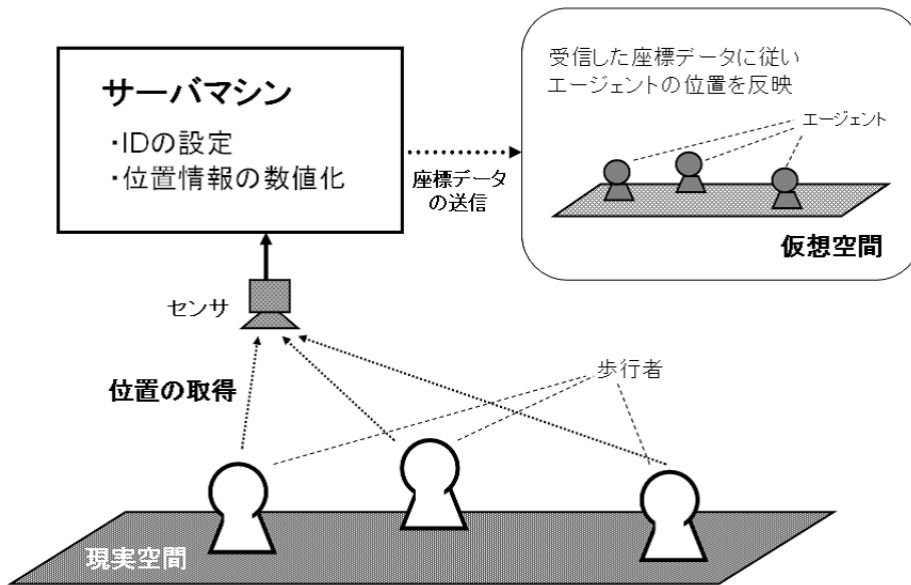


図 2: 現実空間から仮想空間への位置情報の反映

た場合には、対象となる現実空間内からユーザが退出したものとみなし、IDの消去を行う。

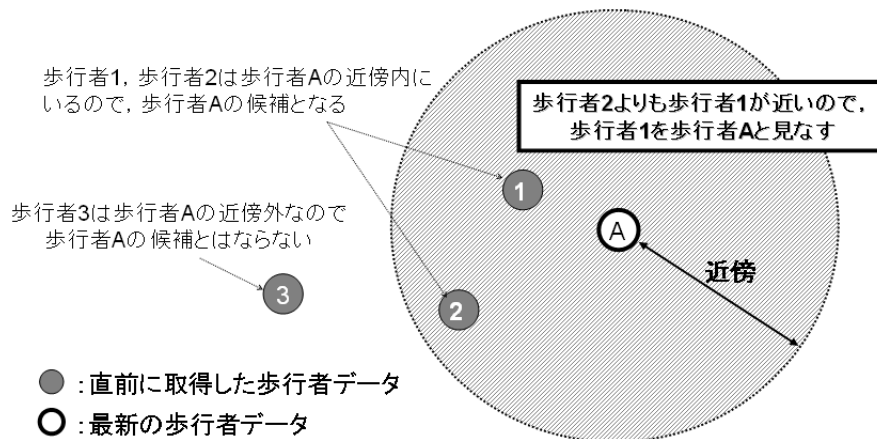


図 3: 歩行者データの更新

後述する今回行った実験では、ユーザは一定数の被験者のみに限定される。そのため、一旦実験開始時に ID を割り当てると、それが途中で消失したり、また増加したりすることはない。そこでユーザの更新判定を行う近傍の距離の上限

をはずし、また ID を新規に発生させないようにした。

実験でこのような措置をとったことには以下のような理由がある、視覚センサを用いた画像処理による位置検出では、電車や他の利用客などのノイズによって位置が正しく検出できないタイミングが発生することがあるためである。ノイズをユーザとして取得してしまうと、直前の ID が破棄されてしまったり、新規に割り当てられたりしてしまうためである。しかし、それに対して実験で採用した方法であれば、ID をその位置に停滞させることで、次の時点で取得された歩行者に継続して ID を割り当てることが出来る。実験をにあたっては、接近による ID の入れ替わりを防ぐために、被験者同士が互いに近付き過ぎないように注意を喚起した。

2.1.2 仮想空間から現実空間への誘導情報の提供

現実空間内にいるユーザが、仮想空間内にエージェントという形のアバタとして再現された。これにより、ユーザは現実空間内にいる他の施設利用者や看板や壁などの物理的な障害に影響されることなく、対象空間内の情報をアバタを通じて得ることが可能となる。

その過程はエージェントに割り当てたシナリオで決定される。シナリオで予め指定した条件に一致すると、その条件にふさわしい出力を行う。条件には、指定した領域内に特定のエージェントや一定数以上のエージェントが入ることや、あるエージェントからあるエージェントまでの相対的な位置関係が指定した条件に一致することなど、様々な条件をおくことが出来る。

ある条件に一致した時に、その状況にふさわしい内容のメッセージを作成する。そのメッセージをユーザに送信することで、仮想空間から現実空間への情報の提供が実現できる。

今回行った実験では、位置依存型誘導システムの検証が目的である。そこで、指定した領域内にアバタであるエージェントが入ると、対応したメッセージがそのアバタ自身であるユーザに対して送信されるように記述した。メッセージは、ユーザが所持する携帯電話に電子メールで送信される。受信したメッセージをユーザが確認することで、誘導情報が提供されたことと見なす。

シナリオにはそれと共にエージェントから特定の距離に、一定数を越えたエージェントの群れがいた場合にも発火する条件も記述している。誘導案内の内容には直接関係はしないが、評価実験への対応に関係している。詳しくは 2.3 節で説明を行う。

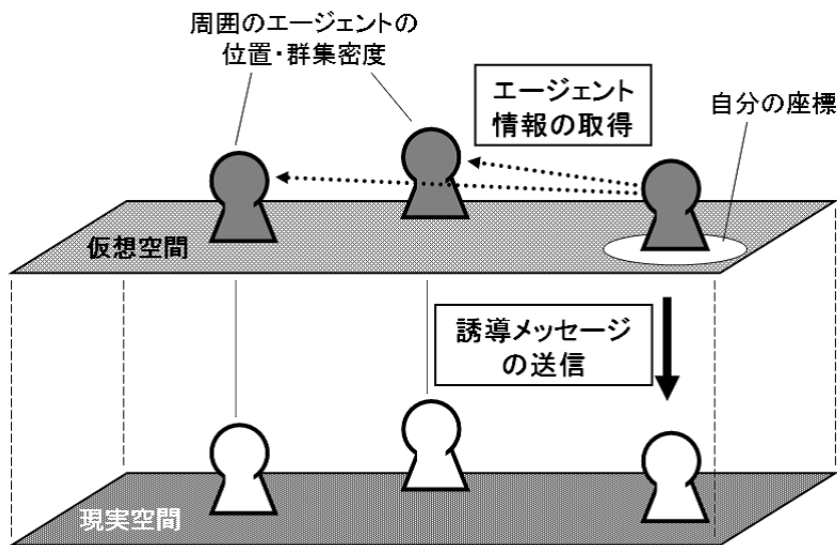


図 4: 仮想空間から現実空間への誘導情報の提供

2.2 誘導システムの効率化

歩行者の位置情報を反映することで、現実空間内の状況を仮想空間内に再現することが可能となる。また、エージェントを用いることで、現実空間だけでは提供することが出来ないような誘導情報を歩行者に提供することが出来る。前節で述べた以上の工程を繰り返すことによって、屋内施設における位置依存型誘導システムの体系を作り出すことが出来た。

しかし、この誘導システムをどのような用途で用いるかによっては、更に考慮しなくてはならない問題が発生する。平常時の誘導案内に用いるだけであればそれほど問題になることは少ない。しかし、今回の実験で想定するような緊急時の避難誘導に用いるのであれば、前節の一連の処理に費やされる時間が大きな問題となる。

緊急性の高い状況を考えると、誘導情報の提供が数秒遅れるだけでも致命的であることは明白である。例えば、階段のような足場が不安定な箇所に群集が押し寄せると、それだけで転倒事故の危険性が高まる。更に押しかけようとする群衆を別の箇所へと誘導することが出来れば、群集事故の発生率増加を抑えられる。ところが、その情報提供が数秒遅れるだけで、その分群集は押し寄せてしまい、それに伴い危険性も増加してしまう。

勿論、緊急時ほど即時性が重要視されることはないが、平常時の利用でもなるべく情報が早く提供された方が良い。つまり、送られてくる誘導情報がユー

ザの状況に極力一致させるために、数秒単位の誤差もなるべくなくす必要がある。誘導情報の正確性と共に同時性も要求されるということである。

そこで、今回実装した誘導システムの一連の処理に要する時間とその要因を調べ、行った対策などを本節では述べる。

2.2.1 位置依存型誘導に生じる遅延

まず、歩行者の位置を取得してからそれに合った誘導情報が提供されるまでの時間、つまり一連の処理に要する遅延時間を求める。

2.1 節で述べた過程にはそれぞれ処理の時間が要する。中でも、仮想空間 FreeWalk が位置データを受信してからエージェントの行動に反映するまでの時間と、歩行者が誘導情報を受け取って確認するまでの時間の2つが最も大きい。それ以外の処理と比べると、この2つは共に秒単位の時間を要し、極めて大きい。そこで、この2つを遅延の主な要因として考える。

一つ目の要因である、仮想空間への反映に関して述べる。この部分の処理は2.1.1 節で述べた通りである。サーバマシンからシミュレーションマシンへのデータ送信は、実験開始前にマシン間に通信が確立している中で行われるので、それほど時間を必要としない。それに対して、シミュレーションマシンが受信した座標を、それぞれのエージェントが反映するのに要する時間が大きい。

アバタにはそれぞれシナリオが割り当てられている。シナリオには、状況に応じて歩行者に送信する誘導メッセージを決定する記述が行われている。それと同時に、サーバマシンから送られてくる座標位置に向かって歩行するように記述されている。

仮想空間シミュレータ FreeWalk 側で歩行に対応するのではなく、Qシナリオによって対応することで、視覚的にも自然な歩行を再現できる。しかし、Qは並行してシナリオを記述することが出来ないという問題がある。そのため、一つの仮想空間内に複数のエージェントが同時に動作している場合、それらのシナリオを一つ一つ順番に読んでいかななくてはならない。

現行のシステムを単独の計算機で動かそうとした場合、計算機にかかる負荷は非常に大きい。例えば、単独の計算機でエージェントを100体同時に動かそうとすると、シミュレーションに費やす負荷があまりに大きく、正常な動作が出来なかった。その対策として、複数の計算機を併用して計算処理の負荷を分散させた。しかし、複数の計算機を用いて負荷を分散させても、それぞれの計算機間で同期を図らなくてはならない。そのため、シナリオまで分散させられ

ない．並列動作する計算機の中の一台中の一台をホストマシンとし，シナリオを一括に管理しなくてはならない．エージェントが歩行するためには，複数体のエージェントのシナリオ全てを絶えず読み続けなくてはならない．

そのために，アバタを表すエージェントが目的地となる座標を受け取っても，行動として実行するにはシナリオを読む順番が回ってくるのを待たなくてはならない．これによる待ち時間は，計算機の台数や処理能力，同時に動作させるエージェント数などにより異なる．今回の実験の場合，平均しておよそ2秒程度の待ち時間を要した．

次に，誘導情報の伝達に費やされる時間が2つ目の要因となる．2.1節で述べたように，実験の舞台である京都駅では第三代携帯電話による通信環境が確立されていない．そこで第二代携帯電話を用いたために，誘導メッセージの受信により多くの時間を費やす結果となった．今回の実験の場合，シミュレータ側でメッセージを送信してから，歩行者が受信して内容を確認するまでに2秒強の時間を要した．

以上より遅延時間の総計はおよそ4秒となる．そして，この時間内にユーザが実空間内を歩行した距離が，遅延時間内に生じた位置誤差となる．エージェントは仮想空間内における実際の位置ではなく，誤差となる距離を移動した後の位置を予測しておく必要がある．

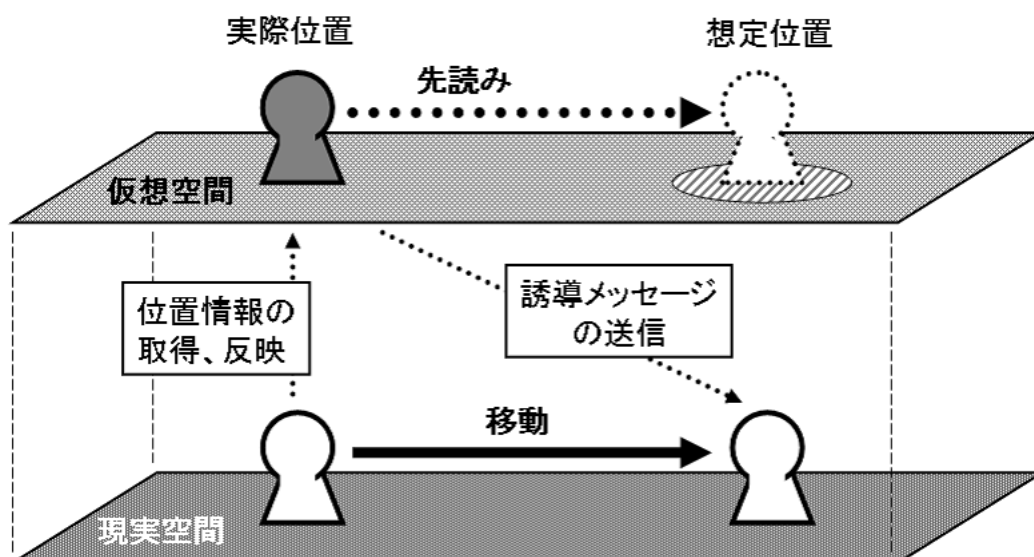


図 5: 遅延時間における位置誤差

2.2.2 誘導に対する遅延の影響

遅延時間を考慮して誘導を行うにはどのようにすればよいのか．歩行者に送信される誘導メッセージの内容は，仮想空間内のアバタに予め割り当てられたシナリオによって決定される．誘導内容を決定する時点における仮想空間内の状況をそのまま伝えるのではなく，メッセージが歩行者に伝わった時の実空間の状況を予測しなくてはならない．

本来数秒後の状況を予測するには，自分自身の数秒後の位置を予想するだけでは不十分である．誘導の内容は他者の状況にも左右されるので，自分以外の歩行者がどこへ移動しているかも予想しなくてはならない．日常の環境で100名以上の人間が数秒後にどこにいるのかを，瞬時にかつ正確に予測することは非常に困難であることは明白である．

しかし，避難という特別な環境であれば，その場にいる人間の大半が避難者になる．避難者の目的は速やかにその場から避難することである．避難者にとって避難口が明白であれば，特別な指示がない限り，その避難口から避難しようとすることは十分に予測できる行動である．被験者が最寄の避難口へと向かおうとする限り，周囲の避難者もほぼ同じ速さで同じ方向に向かって移動しているはずである．したがって，同じように移動している他の避難者に対しては，ある時点での二者間の距離が一定時間後に大きく変わっていることはあまりないと考えられる．

どこへ避難していいかわからない避難者に対しては，避難経路を提示するだけで誘導となる．しかし，避難経路が明らかである避難者に対しては，最短距離の避難経路を提示しても誘導としての意味は極めて少ない．この場合，最短時間で避難できるような行動を避難者に対して促すことによって誘導となる．最短距離の避難経路が最短時間で避難できる経路と一致しない時とは，その避難経路に群集が押し寄せて停滞してしまっている時が考えられる．このような状況下では，別の避難経路を選択した方がいいのか，それともこのままその経路を選択した方がいいのかどうかの判断が必要となる．つまり，停滞している群集が誘導の判断基準となる．混雑して停滞している群集は，数秒程度では混雑が解消されずにその場所にそのまま残っていることが多い．つまり，混雑している群集を判断基準にする場合は，遅延時間による対象の移動を考慮する必要はあまりないと言える．すなわち，自分自身の移動分だけを考慮すれば良い．

また，停滞している群集に接近すると，避難者の歩行もその群集と同様に停

滞する。つまり、ある避難者もその周囲の群衆も同じように停滞していることから、この場合の遅延による影響を考慮する必要はない。

2.2.3 先読みによる同期性の実現

誘導の対象となる歩行者と、その判定の対象が共に移動したり停滞するなどして相対的に距離がほとんど変わらない場合は、遅延による影響を考慮する必要はない。遅延を考慮しなくてはならない時は、相対的な位置関係が変わる時のみでよい。

今回は、誘導案内の判断基準として位置座標を用いた。実験では避難を想定しており、誘導案内の基準は群集が混雑しやすい箇所となる。被験者は実験開始と共に混雑している箇所に向かっていくことを想定している。そこで、混雑が発生する領域に被験者が立ち入った時に、誘導が行うように決定した。結果的には、停滞している群集に接近することで誘導が行われるのと同様である。

また、2.3節で述べる評価実験に基づく判断基準として、停滞している群集も用いた。どちらの基準も原則移動しない対象物であり、それに対して歩行者は常に移動している。そのために時間によって距離が変わるので、その移動分だけ遅延を考慮しなくてはならない。

一般的な成人の歩行速度は秒速1.2メートル程度とされる。緊急避難時のような状況下では、この速度は更に大きくなるのが容易に予想される。しかし同時に、周囲に多数の群集がいる状況では、他者との衝突を回避するために歩行速度が遅くなることもある。状況に応じて歩行速度が変化することもあり、実験では秒速1.2メートルで統一して採用することにした。

停滞している群集を考慮した誘導を行うためには、実際に被験者に対して誘導を伝えたい箇所に被験者が来た時点で、誘導メッセージが届くようにしなくてはならない。例えばAR被験者の場合ならば遅延時間が約4秒であることから、距離にしておよそ5メートル程度の距離誤差が発生する。すなわち、実際に伝えたい箇所から5メートル手前の箇所で送信するようにすればよい。このようにして、被験者へと伝える誘導メッセージのタイミングを設定した。

2.3 屋内公共空間における評価実験の実現

2.3.1 実験環境の構成

多数の利用者がいることが多い公共施設を、実験のために占有することは困難である。今回の実験の舞台である京都駅でも、駅構内にシステム環境を設置

することはできたが、占有することは出来なかった。つまり、実験で想定している状況を駅構内に完全に再現することが出来なかったのである。

システムの対象が個人、ないしは少数の集団であれば実験は可能である [9]。仮に被験者以外の人間で混雑していたとしても、システムの対象が小規模なので、小さなスペースでも実験が可能となるからである。つまり、施設そのものを占有する必要がないからである。

しかし、今回は多数の群集をシステムの対象としている。このような場合は、システムの実験を行うには大きな空間を占有することが必要不可欠となる。しかし今回のような公共施設では実空間が占有すること自体が困難である。そこで、その解決法として、実空間の代替として仮想空間を用いる方法がある。マルチエージェントシミュレーションによって、実空間で本来行われる被験者の行動を仮想空間内に重畳する。これによって、実空間を占有せずに大規模な実験を行う環境を構築できる [10]。このような環境構成で行う実験を、拡張実験 (Augmented Experiments) と呼んでいる。

避難者の大半をエージェントとして再現することで、公共施設を占有することなく実験を行うことが可能となる。仮想空間内を見れば、実空間内にいる被験者もエージェントとして重ねて表されるので、避難の様子を視覚的に理解することが出来る。ところが、現実空間に目をやった場合、被験者以外の避難者は存在しない。これでは被験者が避難実験に参加している意識を与えることは難しい。透過型 HMD を用いるなどして仮想空間内の様子を現実空間と重ねて表示すれば、避難実験に参加している意識を強く与えることが出来るだろう。しかし、今回は実験とは関係ない一般の利用客も周囲に存在するため、透過型 HMD をつけて駅構内を動き回するには接触の恐れなど危険度が高い。

そこで、誘導情報を伝える手段として用いている携帯電話に着眼した。携帯電話を操作しながら街中を歩いている人がいることから、周囲に気を配りながら操作することが可能である。また、誘導情報と重ねて表示すれば、同時に仮想空間内の状況を確認することが出来る。

ところが、携帯電話の小さな画面で伝えられる情報量は決して多くない。透過型 HMD のように、AR (Augmented Reality) として用いるには不十分である。わずかな文章や画像から得られる情報より、視覚を通じて周囲の光景から得られる情報の方が、圧倒的に情報量が多いのは明らかである。たとえ実空間内の位置に依存した情報が送られてきても、シミュレーションの状況と現実空

間の状況は大きく異なるので、どれだけ誘導内容を正しく被験者が評価できるかという点には疑問が残る。

システム自体の評価ではなく、位置依存型誘導の評価を行うのであれば、やはり誘導の内容にふさわしい状況が周囲にある方がよいだろう。実験の状況を携帯電話の小さな画面内にある情報に委ねるよりは、ディスプレイを通して3次元CGとして見る方が良いのは明らかであろう。

そこで、現実空間内で行動する被験者とは別に、シミュレーションの様子を直接見ながらアバタを操作する被験者も配置した。この被験者は実験の舞台とは離れた研究室内におり、京都駅構内の様子を直接見ることはない。彼らは研究室内に置かれたディスプレイに表示された、シミュレーションの様子だけを見る。ディスプレイには彼らが操作するアバタの視点が表示されており、被験者はコントローラを使って仮想空間内を移動する..

実験は京都駅にいる被験者達と同時に行われ、研究室内の被験者は京都駅の被験者の姿をエージェントの一人としてのみ確認することが出来る。京都駅にいる被験者が携帯電話を通じて実験に参加するのに対して、研究室内の被験者はディスプレイを通じて参加する。いわば、VR (Virtual Reality) として実験に参加するのである。つまり、参加型シミュレーション (Participatory Simulations) が行われるのである [11]。

つまり、この実験では拡張実験と参加型シミュレーションが並行して行われることになる。ARとして参加する被験者も、VRとして参加する被験者も仮想空間内では一体のエージェント、つまりアバタとして存在する。そこで区別のためにARを通じて参加するアバタをARアバタ (Augmented Reality Avatar)、VRを通じて参加するアバタをVRアバタ (Virtual Reality Avatar) と定義する。また、それぞれに対応する被験者をAR被験者、VR被験者と呼ぶことにする。

2.3.2 被験者の実験参加

被験者をAR被験者とVR被験者に分けることで、実装した位置依存型誘導システムをシステムと誘導の両面から評価するようにしたのは2.3.1節で述べた通りである。それでも、AR被験者に実験への参加を促すために、最低限仮想空間内の情報を伝える必要はある。アプリケーションや画像を用いて情報を伝達することが難しいのは、今まで述べた通りである。そこで、携帯電話の誘導メッセージに仮想空間内の情報を併記することで、被験者の情報収集に要する

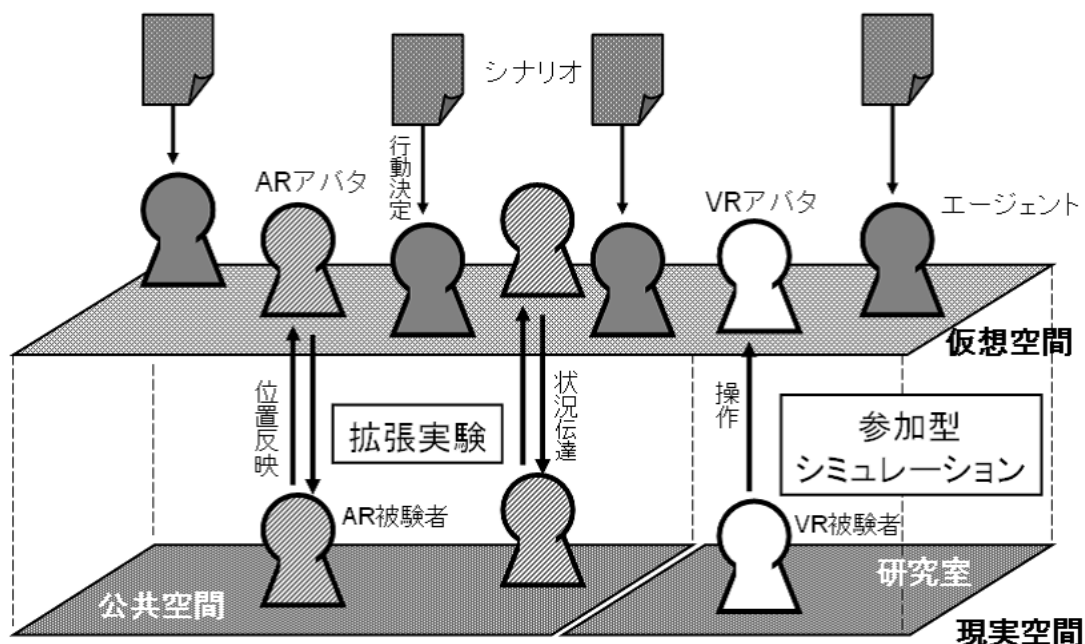


図 6: 評価実験の構成

負担を軽減する。

あまり冗長な文章によって実験の状況を説明すると、被験者にとっては確認による多くの手間を費やすことになる。また、実験全体の主目的は携帯端末を用いた誘導の評価であり、主目的ではないテキストを長く書くことによって、誘導そのものに対する評価が下がってしまうことも避けるべきである。そして、テキストだけで視覚的に得られる情報に匹敵するような情報を伝えること自体が困難であろう。そこで、状況を伝達する方法は、実験を遂行する上で最低限必要となる情報だけを記号的に明示することにした。

実験を遂行する上で最低限必要となる情報とはどのようなものか。実験の状況を被験者に伝達する理由は、被験者が仮想空間内で行われているシミュレーションを無視して行動させないためである。シミュレーションを無視する行動とは、仮想空間内のみ存在する仮想避難者を認識しない行動、すなわち ARアバタと他のエージェントとの接触である。すると、ARアバタが他のエージェントに接触しようとした際に、接触を避けるように被験者に伝えれば、最低限の情報を伝えたと言える。実験における避難経路は原則として一方向的であり、かつ直線的である。また、接触しそうな対象が単独または少数の場合、その対象が非常に近接していたりまたは対向したりしていない限り、回避に際して特

別に回避したり歩調を緩めたりすることは少ない。従って、AR アバタの進行方向上に進行の妨げとなるような壁となる群集があるかどうかによって情報を伝えればよい。

記号はその仮想群集との距離によって、どの程度進めるかを4段階に分けた。直ちに立ち止まらなくてはならない距離に仮想群集がいた時は「×」、群集との距離が近く1~2m程度進める時は「○」、3~4m程度進める時は「△」、自由に歩ける時は「◇」を表示するように設定した。実験開始前に避難者にはこの記号の説明を行い、仮想群集との接触を避けるように促した。この記号による情報は約5秒程度で更新され、この間隔で電子メールが連続で送信されるように設定している。

実験中は誘導メッセージの判定と同時に、この判定も行われる。AR アバタの処理の流れをフローチャートにして、図6に示す。

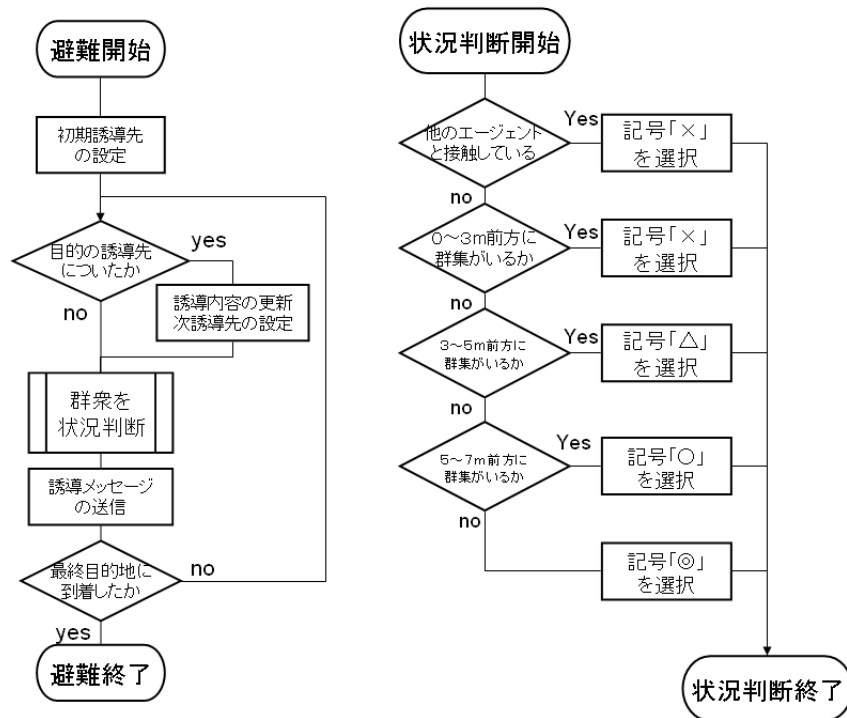


図7: AR アバタのフローチャート (左: 誘導全体, 右: 状況判断)

VR アバタの場合は、状況の判断は不要となる。そこで、図6の誘導全体を示すフローチャートから、状況判断を示すサブルーチンを省いている。VR 被験

者に伝える情報は誘導案内だけでよい。そこで、AR アバタのように定期的にメッセージを送り続ける必要はない。そこで、誘導メッセージの送信は、上記フローチャートで誘導内容の更新を示す部分で共に行う。

さて、被験者に伝達する群集とはどのようなものを指すのか。この群集の定義には、視覚的に混雑していると判断され、また単独でその群集流動へ進入することが困難とされる密度、単位平方メートルあたり 1.2 人を基準として採用した [2]。群集を判断する領域として、進行方向と垂直にそれぞれ 1m ずつの幅をとった正方形の面積に近似する扇形の領域をとった。

駅構内におけるラッシュ時の群集密度は、この基準値より遥かに高く、場合によっては単位平方メートルあたり 8~10 人程度まで達することもある。しかし、シミュレーションの様子を視覚的に確認した場合、基準値を超えた群集密度にまで達した場合でも十分に混雑しているような印象を与える。また、仮想空間の再現に用いた FreeWalk ではエージェント間に反発力を作用させることが可能であり、基準値に達した群衆に対しては反発力の影響で群集の間を通り抜けることが不可能となってしまうこともあり、この基準値を採用した。

また、群集の判断する場合も、2.2 節のような遅延時間の問題が生じる。この部分に関しても、誘導と同様の判断基準に従って対策を行った。

遠方の混雑している群集を被験者に伝達する場合、混雑している群集が自由に動いている被験者と同じ速度で移動しているとは考えにくい。そこで遠方の群集を被験者に伝える場合は遅延時間による距離の考慮を加味する。それに対して近傍の群集の場合は、被験者が群集とほぼ接触しているとみなすことができる。つまり、被験者は対象の群集の一部となっていると考えることが出来る。被験者と群集の速度はほぼ等しい状態であると考え、遅延時間による距離の考慮を加味する必要はなくなる。

本論文の付録に、実験で用いた AR アバタのシナリオを添付する。

第3章 誘導システムの評価実験

3.1 評価実験の概要

評価実験は、誘導インターフェースを用いた避難誘導実験として行われた。実験の目的は、仮想空間と携帯電話を用いて、個別に誘導を行うことの実効性の検証である。またそれと同時に、携帯電話を用いた誘導システムに対する一般

的な意識調査の目的でのアンケートも行われた。

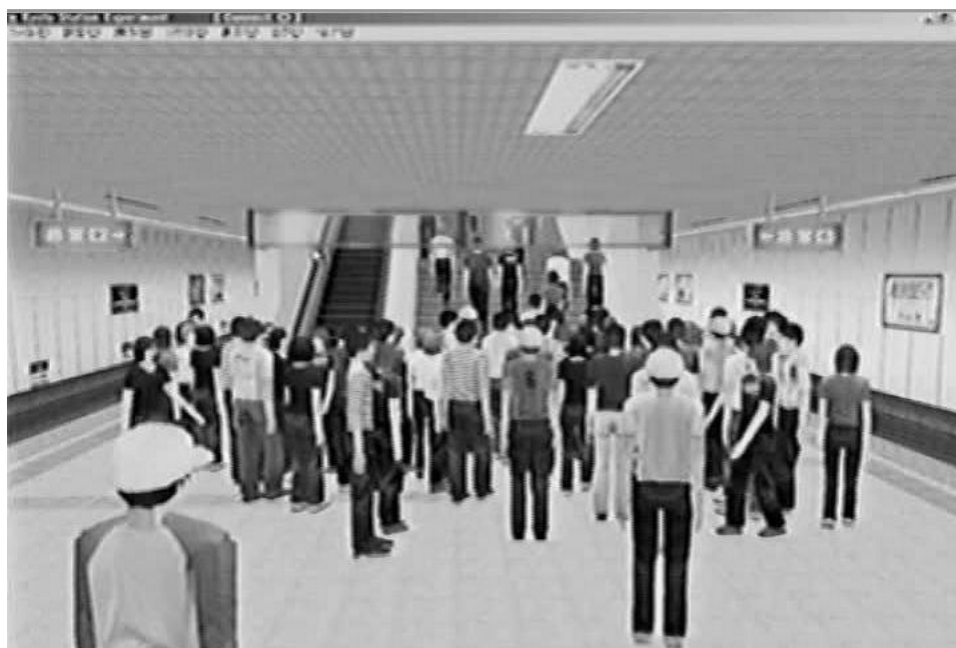


図 8: FreeWalk によって再現された仮想京都駅での避難シミュレーション

被験者は全員で 17 名集められた。被験者 17 名はそれぞれ最大 6 名からなる 3 つのロットに分けて、実験を 3 回行った。各々のロットは更に高々 3 名からなる 2 つの小さいグループに分類した。一方は拡張型実験として参加する AR 被験者のグループ、もう一方は参加型実験として参加する VR 被験者のグループとなる。それぞれのグループは一つの実験環境下で同時に実験を行うが、それぞれのグループが互いに顔を合わせることはない。

避難者の初期位置は予め決められており、実験開始の合図と共に最寄の階段を通過して改札まで無事辿り着くことで避難完了とみなす。同時に参加している被験者全てが避難完了するまでは、誘導メッセージの送信は継続される。全員が避難完了した段階でメッセージの送信を終了し、被験者に実験終了の合図を送る。

実験は 1 つのロット毎に 2 度避難を行う。2 回の避難実験では被験者に送信される誘導の内容が異なる。一方は被験者の位置に応じて誘導内容が被験者ごとに異なり、もう一方は被験者全員に同一の誘導が行われる。誘導の内容が異なることから前者を「個別誘導」と呼び、後者を「全体誘導」と呼ぶことにす

る．誘導の種類以外，2回の実験の内容は同一である．また，2回の実験で行われる個別誘導と全体誘導の順番に関しては，個別誘導から全体誘導になる被験者と全体誘導から個別誘導になる被験者との数がほぼ同数になるように振り分けた．

誘導メッセージは個別誘導，全体誘導ともに5種類存在する．アバタが避難経路上の特定の領域にはいることで，それぞれの領域に割り当てられたメッセージが対応する被験者の携帯電話に送信される．個別誘導では被験者の位置や周囲の状況に依存した内容のメッセージが作成され，全体誘導では落ち着くように促すなど位置情報によらないメッセージが作成される．

実験を開始するにあたって，被験者には実験と同じ状況で収録した避難シミュレーションの映像を見せて，この避難者の中の一名として避難実験に参加するという説明を行った．この時に，誘導を受け取る端末として携帯電話を渡している．誘導の受信は一般的な電子メール機能によって行われ，電子メールを閲覧するための手順は説明している．AR被験者にはセンサによる位置取得に用いるハロゲンランプ付帽子と，実空間の状況を伝える記号の説明も同時に行った．それとは違い，VR被験者にはアバタを操作するので，コントローラの操作方法の説明を行った．しかし，2回の実験でどのような違いがあるのかどうかは何も説明をしない．

1回の避難実験が終了するたびに，9段階のリカート尺度からなる24問のアンケート（アンケートAとする）を行った．アンケートAでは，実験中の心理状態を尋ねる質問や実験で用いたシステムに対する信頼度や有用性をたずねる質問，実験意図の察知を防ぐためのダミーの質問も入れてある．これを2回繰り返した後，実験で用いたシステムが運用された場合などの受容性を問うアンケート（アンケートBとする）を行った．その後，被験者に簡単なインタビューを行い，実験終了とした．

3.2 位置依存型誘導システムの考察

AR被験者もVR被験者も全員同じアンケートに答えている．しかし，それぞれの被験者は避難実験への参加方法が異なる．AR被験者は携帯端末を用いて実空間内を実際に移動しながら避難行動を行っている．だが，他のエージェントは実際に目視することが出来ずに，携帯電話の小さなディスプレイから得られるわずかな情報しか持たない．それに対して，VR被験者は仮想空間内の



図 9: 実験中の被験者の様子 (左: AR 被験者, 右: VR 被験者)

様子をその中を移動するアバタの視点として、大きなディスプレイで見ながら避難行動をとる。ただし、VR 被験者は室内の椅子に座ってコントローラを操作するのみで、実際に歩き回ったりはしない。それぞれが実験に対して異なる影響を及ぼすことが考えられるので、より正確な評価を行うために AR 被験者のデータと VR 被験者のデータは別々に評価することにした。

また、システムのトラブルにより個別誘導と全体誘導の 2 種類の誘導を受けることができなかった被験者がいた。片方の誘導しか受けられなかった AR 被験者 3 名と VR 被験者 1 名においては、2 種類の誘導を比較評価するアンケート A に関して、分析の対象からは取り除いた。それに対して、アンケート B はシステムの社会的受容性を問う質問であり、片方の誘導しか体験していなくても評価の対象としては有効であるとみなし、被験者 17 名全ての結果を評価対象とした。

3.2.1 位置依存型誘導

アンケート A の質問項目から得られた評価値に対して、2 種類の誘導の回答結果の分散に有意な差が認められるかどうかを、F-検定 (有意水準 5%) を用いて確認した。2 種類の誘導間における分散が等質であると確認された場合は t-検定を、等質でないと確認された場合は Welch の検定を用いて、回答結果に有意な差が認められるかどうかを調べた。

VR 被験者のデータを有意水準 1% で検定した結果、誘導に対する信頼性を問う項目とメッセージの分かりやすさを問う項目の二つから有意差が認められた。有意水準を 5% にして確認した場合、更に誘導に対して説得力を感じたかどうかを問う項目でも有意差が認められた。有意差が認められたこれらの 3 つ

の項目に対して、全体誘導時の評価値と個別誘導時の評価値とを平均値で比較した。すると、3つ全ての項目において、全体誘導よりも個別誘導の方が評価が高いという結果が得られた。信頼性で2.6ポイント、分かりやすさで1.9ポイント、説得力で1.8ポイントの上昇が確認された。

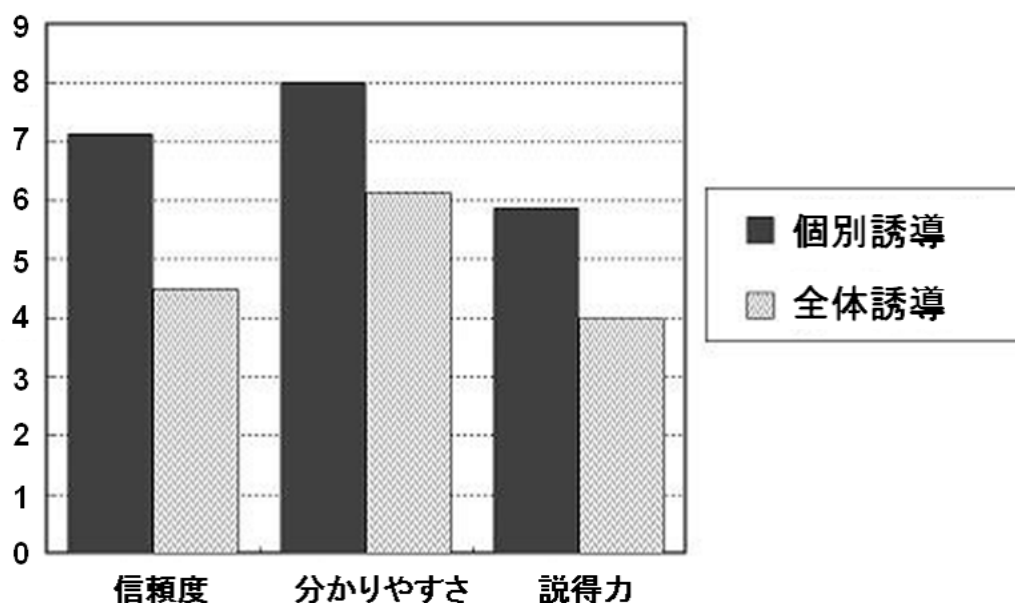


図 10: 誘導の違いにおける評価値の変化

ところが、AR 被験者のデータに対して同様の検定を行っても、全ての項目に関して有意差を確認することが出来なかった。この違いはどのような点によるのか。

AR 被験者と VR 被験者とで異なる点を考えた場合、最も特徴的な点は実験への参加方法である。VR 被験者はシミュレーションの様子をディスプレイで見ながら、実験に参加している。それに対して、AR 被験者は実際に駅構内を行動しながら、実験に参加している。このことから、VR 被験者は視覚を通して得られる情報が AR 被験者より多く、AR 被験者は身体的インタラクションを通じて得られる情報が VR 被験者より多いと考えられる。

VR 被験者の方が視覚的情報が多いのは、他の避難者の様子をどのように得ているのかを考えればよい。三次元 CG で再現されたシミュレーションの様子と記号化された情報とを比較すれば、どちらが情報を多く得られるかは明白である。

AR 被験者が身体的インタラクションを通じて多くの情報を得ているのは、実験中のそれぞれの被験者の様子から伺える。AR 被験者は携帯電話を持って、実際に駅構内を行動している。AR 被験者が実際に行っている身体的動作を AR アバタが仮想空間内でほぼ再現していると言える。

それに対して、VR 被験者はコントローラを使って VR アバタを操作していた。実験中に VR アバタが群集と接触しても、VR 被験者は前進操作を継続して行っていた。現実空間において他人と接触した際に、進路を変更することなく歩行を継続する人間は稀である。このような点から、VR 被験者の行動に現実感が薄く、身体的インタラクションを多く得ているのは AR 被験者であると言える。

また、被験者の実験中の現実感という観点からも、同様のことが言える。アンケート B で行われた個人情報に対する問題意識を尋ねる質問に、その傾向が見える。回答項目を 5 段階の得点で比較すると、VR 被験者よりも AR 被験者の方が 1 ポイント近く高い結果が得られた。

表 1: 個人情報に対する被験者の回答

得点	プライバシー侵害の危険性が気になるか	VR 被験者	AR 被験者
1	全く気にしない	0	0
2	気にしない	3	0
3	どちらとも言えない	0	0
4	気になる	5	5
5	非常に気になる	1	3
	平均値	3.44	4.38

このような問題意識の差からも、AR 被験者の方が実際の運用時の状態を想定していることが分かる。

日常生活において屋内における位置は、経度や緯度のような絶対的な座標によって現在位置を確認することはなく、周辺の様子などから相対的に位置関係を判断するのが一般的である。周辺の情報は視覚を通じて得るのが普通である。すると、位置に依存した誘導を評価するのであれば、視覚情報が実験で想定している方が近い VR 被験者の結果を採用するのが適当である。

全体誘導では誘導対象が特定できないので、誘導が抽象的な内容となってしまう。それに対して、位置情報に依存した個別誘導であれば、被誘導者の状況に応じた具体的な内容となる。情報が具体的になるので理解しやすく、その結果、信頼感や説得力が増したと考えられる。

3.2.2 誘導システム

今回の実験で用いた誘導システムが実際にあった場合、利用したいかどうかを尋ねた。その結果、17名中11名が加入に積極的な回答を示した。

表 2: サービス化に対する被験者の回答

今回の誘導サービスが実際にあれば利用したいか	回答数
ぜひとも加入したい	2
まあまあ加入したい	9
どちらとも言えない	4
なんとなく加入したくない	2
絶対に加入したくない	0

加入に積極的になる理由を尋ねたところ、「命にかかわることだから」や「避難の役に立つから」といった避難時の保険として考えている傾向が見られた。

ところがその反面、「あまり役に立たなさそう」「システムによる誘導を信頼できない」などの消極的な意見も多く挙げられた。その理由を尋ねたところ、誘導メッセージの内容やシステムの安定性に関する意見が主であった。

前者は、誘導メッセージの内容をより詳しく出来ないか、という意見からなる。実験で用いた避難経路は直線状と極めて単純なものであったので、判定条件も極めて単純なものとなった。それ故に、判定条件をより細かく分類するなどすれば、結果的にメッセージの内容も詳しくすることが出来る。内容の詳細な効果については、災害や避難などその道の専門家に意見を求める必要がある。

後者は、実験中システムが停止してしまったことによる意見と考えられる。プロトタイプとは言えども、平常時に停止したことが緊急時に正常に機能するかどうかをより疑問視させる結果となったのだろう。システムの停止に関しては、大量のエージェントを同時に動かすことによる計算機の負荷増大によるものであった。この点は、ソフトウェアとハードウェアの両面から解決しなくてはな

らない課題である。

緊急時の利用という点に関しては、誘導の対象となる空間と誘導を行う空間を分割することが可能である。両者はそれぞれネットワークを介して繋がっているため、ネットワークそのものが寸断されない限り、利用環境を維持できる。

3.3 評価手法の考察

実験は参加型シミュレーションと拡張実験を併用して行った。拡張実験の被験者ともいえる AR 被験者はシミュレーションの様子を直接みることが出来ない。実験の舞台が駅という公共施設なので、実験とは関係ない一般の利用客が存在する。そこで、透過型 HMD など AR を与えるのに十分な装置を用いることが出来なかったこともあり、記号化した情報で簡潔にした。

つまり、AR 被験者が実験に参加するには、絶えず送られてくる記号化された情報を確認し続けなくてはならない。しかも現実の駅施設内を移動するので、一般の利用客も同時に考慮しなくてはならない！「仮想空間内は群集で混雑していることが携帯電話に送られてくる情報から分かるが、どうしても（疎らに利用客がいる）現実空間の状況が見えるので、意識がそちらに移ってしまう」という AR 被験者の意見が出たが、このことから AR 被験者が携帯端末に送られてくる記号化された情報だけでは没入感を得られていないかが分かる。中には「（仮想群集の状況を伝える）記号は変化するが（避難誘導を示す）メッセージはあまり変化しなかったため、メッセージの方はあまり見なかった」という AR 被験者もいた。このことから、本来の目的である誘導ではなく、実験に参加することに AR 被験者の注意が向けられていたかが伺える。

今回の京都駅のように実験のために施設を占有することが難しい公共施設などの環境では、拡張実験を採用する必要がある。しかし、実験で再現される状況と実空間内の状況が異なると、透過型 HMD のように仮想空間から与える情報量を大きくすることも容易ではない。視覚を通じて得られる情報を評価する場合は、今回のように参加型実験を並行して行うことが望ましいだろう。

第4章 おわりに

本研究では、屋内公共空間のための位置依存型誘導システムを取り扱った。現在、カーナビゲーションシステムに代表されるように、GPSを用いるのが誘導システムとしては一般的である。しかしながら、GPSは衛星を用いるので屋内での利用は出来ない。また、測位誤差が大きいために細かい範囲での誘導には適さない。

係員が直接誘導したり、放送設備を用いて誘導を行ったりするの今回のシステムとが異なる部分は、第三者に依存せずにシステムのみで個別に誘導を行う点にある。案内を行う第三者を必要としないので、誘導対象の上限を飛躍的に増やすことが出来る。また、個人の端末に直接情報が届くので、個々にあった詳細な情報を確実に提供することも出来る。

実験では、このようなシステムによる位置依存型誘導の検証を目的の一つとして行った。避難実験としては非常に単純な内容であったが、信頼性や説得力の面で高い結果が得られた。このことから、第三者によらない誘導システムの可能性が広がったと言える。

汎用性の面から誘導を提供する端末に携帯電話を採用した。現在の携帯電話の機能だけでは、今回のような誘導を提供することは出来ない。しかし、RFIDを使ったセンサシステムのように、個人情報を携帯端末からシステムに容易に登録できるようになれば、必要な時にいつでも誘導を受けられるシステムが構築できるだろう。

単純な誘導案内の用途に限らず、処理に要する時間を先読みさせることで、緊急避難時のように即時性が求められる状況での使用にも対応できるようにした。今回の実験では避難経路が直線だったので、先読みは容易に行うことが出来た。しかし、実際に避難誘導が必要となるような場所は、今回のような単純な経路であることは稀である。分岐点や合流点では群集流動に応じて群集密度が急激に変化しやすい。そのような箇所を事前に把握し、そこから先読みを行うために必要な数値を導出することも必要だろう。ただ、これには専門家の知識などを求めることもまた必要だろう。このような判断と共に、処理時間や通信時間の短縮化を図ることも欠かせないだろう。

公共空間での評価実験は容易ではない。今回は、仮想空間内のシミュレーションを現実空間に重畳した。さらに仮想避難者の状況を記号化し、誘導情報を併

記して提供することで，AR 被験者を実験に参加させた．AR 被験者には本来見えていないはずの仮想避難者群集が目前に近づくと，AR アバタがきちんと歩調を緩めたことも，実験中の様子から確認された．このことから，AR 被験者の参加が実現されたことが分かる．

その一方で，AR 被験者を実験に参加させるために避難の状況を伝えたが，それが誘導システムへの評価を曖昧にさせる要因になってしまった．記号化された情報に集中するあまり，肝心の誘導内容に対する意識が薄れてしまった被験者が複数いたことから伺える．そこで今回は，参加型シミュレーションを併用することで，互いの評価が得られにくい部分を補完した．

今後の課題となる問題点が開発から評価実験を通じて得られたが，それと同時に今回のシステムに対する期待の声も得られた．このような課題が得られたことを成果と考えて，今後も研究の継続が必要となるだろう．

謝辞

本研究を行う機会と環境を与えて下さり，明晰なご指導を賜りました石田亨教授に深く感謝の意を申し上げます．また，京都駅における実験の指示を始めとする連日熱心なご指導を下さいました中西英之助手に深謝致します．実験システムの開発や運営を共に行い，ご協力頂きました小泉智史氏，板倉豊和氏，Armando Rubio Torroella 氏，小西信次氏，谷塚俊輔氏，大石隆俊氏，そして，日頃より有益なご助言を頂きました石田研究室，デジタルシティ研究センターの皆様にも心より感謝致します．

参考文献

- [1] Essa, I. A.: Ubiquitous Sensing for Smart and Aware Environments, *IEEE Personal Communications*, pp. 47–49 (2000).
- [2] 高柳英明, 佐野友紀, 渡辺仁史: 群集交差流動における歩行者領域の確保に関する研究, 計画系論文集, Vol. 549, p. 185 (2001).
- [3] 岡崎甚幸, 松下聡: 避難計算のための群集歩行シミュレーションモデルの研究とそれによる避難安全性の評価, 日本建築学会論文報告集, Vol. 436, pp. 49–58 (1992).
- [4] 伊藤英明, 中西英之, 小泉智史, 石田亨: 超越型コミュニケーション: 大規模

- 公共空間のための位置依存型誘導法, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 2 (2006).
- [5] Nakamura, T. and Ishiguro, H.: Automatic 2D Map Construction using a Special Catadioptric Sensor, *2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2002)*, pp. 196–201 (2002).
 - [6] Nakanishi, H. and Ishida, T.: FreeWalk/Q: Social Interaction Platform in Virtual Space, *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2004)*, pp. 97–104 (2004).
 - [7] Nakanishi, H.: FreeWalk: A Social Interaction Platform for Group Behavior in a Virtual Space, *International Journal of Human Computer Studies (IJHCS)*, Vol. 60, No. 4, pp. 421–454 (2004).
 - [8] Ishida, T.: Q: A Scenario Description Language for Interactive Agents, *IEEE Computer*, Vol. 35, No. 11, pp. 54–59 (2002).
 - [9] Abowd, G. D., Atkeson, C. G., Hong, J. I., Long, S., Kooper, R. and Pinkerton, M.: Cyberguide: A Mobile Context-aware Tour Guide, *Wireless Network*, Vol. 3, No. 5, pp. 421–433 (1997).
 - [10] Ishida, T.: Society-Centered Design for Socially Embedded Multiagent Systems, *8th International Workshop on Cooperative Information Agents (CIA2004)*, pp. 16–29 (2004).
 - [11] Guyot, P., Drogoul, A. and Lemaitre, C.: Using Emergence in Participatory Simulations to Design Multiagent Systems, *4th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS2004)*, pp. 199–203 (2005).

付録：

A.1 AR アバタの誘導シナリオ

```
;;
;; AR アバタ用シナリオ (位置依存型誘導)
;;

(defscenario scenario-skyoto-keitai2
  ($area $scenario-type $emailaddress)
  (let
    (($route (list (list(list 0.0 0.0)) $area $area))
     ($agents '())($tagent '())
     ($tmpf 0)($tmps 0)($tmpd 0)($tmpi 0)
     ($mes "")($imes "")($lf "
")
     ($tmp 0)($do-guide (return-list *do-guide*))
     ($experiment-cond (car (return-list *experiment-cond*)))
     ($last-guide-time (current-seconds)))
    ;;
    ;; エージェントのパラメータ初期化
    ;;
    (scene_init
     (#t
      (display '(,self ready))(newline)
      (!!walk :route '((374.0 -41.0))
       :angle_velocity 300
       :angle_acceleration 360)
      (go scene_walk)))

    ;;
    ;; エージェントの歩行開始
    ;; 「!!walk」をすることで AR 被験者の歩行を追従する
    ;;
    (scene_walk
     ((?receive :from_s $agents :word "experiment-start")
      (display '(,self start))(newline)
      (set! $experiment-cond 2);(car (return-list *experiment-cond*)))
      (display '(,self mode , $experiment-cond))(newline)
      (!!walk
       :route '((375.5 -40.0)(374.2 -58.0)(372.0 -62.0)(363.0 -62.0)(362.0 -75.0))
       :angle_velocity 300
       :angle_acceleration 360)
      (set! $agents '())(set! $tagent '())(set! $tmpf 0)(set! $tmps 0)(set! $tmpd 0)
      (go scene_makemessage) ; 携帯誘導メッセージつき
      ;(go scene_judgement) ; 携帯誘導メッセージつき
      ;(go scene_evac) ; 携帯誘導なし
      ))

    (scene_evac
     ((?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
      (set! $agents '()))
```

```

(go scene_end)))

;;
;; 群集判断
;; エージェントの周囲にいる他のエージェントの状況を判断
;;
(scene_judgement
 (
 (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
 (go scene_end))
 (otherwise
 (display '(,self judgement))(newline)
 (set! $agents '())(set! $tagent '())(set! $tmpf 0)(set! $tmps 0)(set! $tmpd 0)
 (go scene_0-3f)))

;;
;; 0~3m 前方
;;
(scene_0-3f
 ; 避難が完了している
 (
 (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
 (go scene_end))
 ; 指定領域内にエージェントがいる
 (
 (?position :from self :name_s $agents :distance_range '(0.0 3.0)
 :angle_range '(-38.2 38.2))
 (if (< 6 (length (return-list $agents)))
 (begin
 (set! $tmpf (+ $tmpf 1))(set! $agents '())
 (display '(,self check 0-3f ok))(newline))
 (begin
 (set! $tmpf (+ $tmpf 0))(set! $agents '())
 (display '(,self check 0-3f no))(newline)))
 (go scene_3-5f))
 ; 指定領域内にエージェントがいない
 (otherwise
 (set! $tmpf (+ $tmpf 0))(set! $agents '())
 (display '(,self check 0-3f 0))(newline)
 (go scene_3-5f)))

;;
;; 3~5m 前方
;;
(scene_3-5f
 (
 (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
 (go scene_end))
 (
 (?position :from self :name_s $agents :distance_range '(3.0 5.0)
 :angle_range '(-14.0 14.0))
 (if (< 4 (length (if (list? $agents) $agents (list $agents))))
 (begin

```

```

(set! $tmpf (+ $tmpf 2))(set! $agents '())
(display '(,self check 3-5f ok))(newline)
(begin
  (set! $tmpf (+ $tmpf 0))(set! $agents '())
  (display '(,self check 3-5f no))(newline)))
(go scene_5-7f)
  (otherwise
(set! $tmpf (+ $tmpf 0))(set! $agents '())
(display '(,self check 3-5f 0))(newline)
(go scene_5-7f)))

;;
;; 5~7m 前方
;;
(scene_5-7f
 (
  (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
  (go scene_end))
 (
  (?position :from self :name_s $agents :distance_range '(5.0 7.0)
:angle_range '(-9.46 9.46))
  (if (< 4 (length (if (list? $agents) $agents (list $agents)))))
  (begin
    (set! $tmpf (+ $tmpf 4))(set! $agents '())
    (display '(,self check 5-7f ok))(newline))
    (begin
      (set! $tmpf (+ $tmpf 0))(set! $agents '())
      (display '(,self check 5-7f no))(newline)))
    (go scene_0-1f))
    (otherwise
      (set! $tmpf (+ $tmpf 0))(set! $agents '())
      (display '(,self check 5-7f 0))(newline)
      (go scene_0-1f)))

;;
;; 0~1m 前方
;; エージェントの目前に他のエージェントがいると進行できないので
;; 目前に誰かがいることを告げるための判定
;;
(scene_0-1f
 (
  (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
  (go scene_end))
 (
  (?position :from self :name_s $agents :distance_range '(0.0 1.2)
:angle_range '(-25.0 25.0))
  (if (< 0 (length (if (list? $agents) $agents (list $agents)))))
  (begin
    (set! $tmpf 1)(set! $agents '())
    (display '(,self check 0-1f ok))(newline))
    (begin
      (set! $tmpf (+ $tmpf 0))(set! $agents '())
      (display '(,self check 0-1f no))(newline)))

```

```

(go scene_makemessage))
  (otherwise
  (set! $tmpf (+ $tmpf 0))(set! $agents '())
  (display '(,self check 0-1f 0))(newline)
  (go scene_makemessage)))

;;
;; 0~3m 周边
;;
(scene_0-3s
 (
 (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
 (go scene_end))
 (
 (?position :from self :name_s $agents :distance_range '(0.0 3.0)
 :angle_range '(-90.0 90.0))
 (if (< 14 (length (if (list? $agents) $agents (list $agents))))
 (begin
  (set! $tmps 1)(set! $agents '())
  (display '(,self check 0-3s ok))(newline))
 (begin
  (set! $tmps 0)(set! $agents '())
  (display '(,self check 0-3s no))(newline)))
 (go scene_makemessage))
  (otherwise
  (set! $tmps 0)(set! $agents '())
  (display '(,self check 0-3s ng))(newline)
  (go makemessage)))

;;
;; 3~5m 周边
;;
(scene_3-5s
 (
 (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
 (go scene_end))
 (
 (?position :name_s $agents :distance_range '(3.0 5.0)
 :angle_range '(-26.6 26.6))
 (if (< 8 (length (if (list? $agents) $agents (list $agents))))
 (begin
  (set! $tmps 1)(set! $agents '())
  (display '(,self check 3-5s ok))(newline))
 (begin
  (set! $tmps 0)(set! $agents '())
  (display '(,self check 3-5s ng))(newline)))
 (go scene_makemessage))
  (otherwise
  (set! $tmps 0)(set! $agents '())
  (display '(,self check 3-5s ng))(newline)
  (go makemessage)))

;;

```

```

;; 5~7m 周辺
;;
(scene_5-7s
 (
 (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
 (go scene_end))
 (
 (?position :name_s $agents :distance_range '(5.0 7.0)
 :angle_range '(-18.5 18.5))
 (if (< 8 (length (if (list? $agents) $agents (list $agents))))
 (begin
 (set! $tmps 1)(set! $agents '())
 (display '(,self check 5-7s ok))(newline))
 (begin
 (set! $tmps 0)(set! $agents '())
 (display '(,self check 5-7s ng))(newline)))
 (otherwise
 (set! $tmps 0)(set! $agents '())
 (display '(,self check 5-7s ng))(newline)
 (go makemessage)))

;;
;; デッドロック判定
;; エージェント同士が重なってしまった場合
;;
(scene_dead
 (
 (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
 (go scene_end))
 (
 (?position :name_s $agents :distance_range '(0.0 0.3))
 (display '(,self check deadlock))(newline)
 (if (<= 1 (length (if (list? $agents) $agents (list $agents))))
 (begin
 (wait-time-for 1)
 (guard
 (;front deadlock
 (?position :name_s $tagent :distance_range '(0.0 0.3)
 :angle_range '(-90.0 90.0))
 (if (equal? $tagent $agents)
 (begin
 (set! $tmpd (+ $tmpd 1))(set! $tagent '())(set! $agents '())
 (display '(,self check df ok))(newline)
 (go scene_makemessage))
 (begin
 (set! $tagent '())(set! $agents '())
 (go scene_judgement))))
 (;back deadlock
 (?position :name_s $tagent :distance_range '(0.0 0.3)
 :angle_range '(90.0 270.0))
 (if (equal? $tagent $agents)
 (begin
 (set! $tmpd (+ $tmpd 2))(set! $tagent '())(set! $agents '())

```

```

(display '(,self check db ok))(newline)
(go scene_makemessage)
  (begin
(set! $tagent '())(set! $agents '())
(go scene_judgement)))
(otherwise
  (set! $agents '())(go scene_makemessage)))
(begin
  (set! $agents '())(go scene_makemessage)))
  (otherwise
    (go scene_makemessage)))

;;
;; 誘導メッセージの作成 ( 1 )
;; 誘導状況とアバタの位置に応じて次に送信されるメッセージが決定される .
;;
(scene_makemessage
(#t
(cond
  ((= $tmpi 0)
(begin
  (set! $tmpi 1)(display '(,self 1st Navigation Mail))(newline)
  (if (member $experiment-cond '(2 3))
    (begin
      (set! $mes "前方の階段から避難してください")
      (set! $imes (string-append "【前方の階段から避難してください】" $1f "----" $1f )))
    (begin
      (set! $mes "近くの階段から避難してください")
      (set! $imes (string-append "【近くの階段から避難してください】" $1f "----" $1f ))))))
    ((= $tmpi 1)
(guard
  ((?position :name_s self :from_coordinate '(0.0 0.0 0.0 0.0)
    :rectangle '((371.0 -43.0)(379.0 -28.0)) :height '(-13.0 -10.5))
(set! $tmpi 2)(display '(,self 2nd Navigation Mail))(newline)
(if (member $experiment-cond '(2 3))
  (begin
    (set! $mes "このまま階段へ避難してください")
    (set! $imes (string-append "【このまま階段へ避難してください】" $1f "----" $1f)))
  (begin
    (set! $mes "慌てずに避難してください")
    (set! $imes (string-append "【慌てずに避難してください】" $1f "----" $1f))))
    (otherwise)))
    ((= $tmpi 2)
(guard
  ((?position :name_s self :from_coordinate '(0.0 0.0 0.0 0.0)
    :rectangle '((371.0 -43.0)(379.0 -32.0)) :height '(-13.0 -10.5))
(set! $tmpi 3)(display '(,self 3rd Navigation Mail))(newline)
(if (member $experiment-cond '(2 3))
  (begin
    (set! $mes "混雑していますがこの階段を使ってください")
    (set! $imes (string-append "【混雑していますがこの階段を使ってください】" $1f "----" $1f)))
  (begin
    (set! $mes "最寄りの階段を使ってください")

```

```

    (set! $imes (string-append "【最寄りの階段を使ってください】" $1f "----" $1f))))
  (otherwise)))
  ((= $tmpi 3)
  (guard
  ((?position :name_s self :from_coordinate '(0.0 0.0 0.0 0.0)
  :rectangle '((372.5 -45.0)(377.5 -37.0)) :height '(-13.0 -10.0))
  (set! $tmpi 4)(display '(,self 4th Navigation Mail))(newline)
  (if (member $experiment-cond '(2 3))
  (begin
  (set! $mes "もうすぐ混雑を抜けますので慌てないでください")
  (set! $imes (string-append "【もうすぐ混雑を抜けますので慌てないでください】" $1f "----" $1f)))
  (begin
  (set! $mes "落ち着いて避難してください")
  (set! $imes (string-append "【落ち着いて避難してください】" $1f "----" $1f))))
  (otherwise)))
  ((= $tmpi 4)
  (guard
  ((?position :name_s self :from_coordinate '(0.0 0.0 0.0 0.0)
  :rectangle '((372.5 -60.0)(377.5 -42.0)) :height '(-13.0 -9.0))
  (set! $tmpi 5)(display '(,self 5th Navigation Mail))(newline)
  (if (member $experiment-cond '(2 3))
  (begin
  (set! $mes "落ち着いて階段を上ってください")
  (set! $imes (string-append "【落ち着いて階段を上ってください】" $1f "----" $1f)))
  (begin
  (set! $mes "そばにある階段を利用してください")
  (set! $imes (string-append "【そばにある階段を利用してください】" $1f "----" $1f))))
  (otherwise)))
  (else
  (set! $agents '()))
  (go scene_makemessage-sub))) ;; 誘導メッセージの作成(2)へ

;;
;; 誘導メッセージの作成(2)
;; (1)で設定した過程を経ずに目的地前の階段についてしまった場合
;;
(scene_makemessage-sub
  ((?position :name_s self :from_coordinate '(0.0 0.0 0.0 0.0)
  :rectangle '((372.5 -60.0)(377.5 -42.0)) :height '(-11.91 -7.0))
  (if (not (= $tmpi 5))
  (begin
  (set! $tmpi 5)(display '(,self 5th Navigation Mail))(newline)
  (if (member $experiment-cond '(2 3))
  (begin
  (set! $mes "落ち着いて階段を上ってください")
  (set! $imes (string-append "【落ち着いて階段を上ってください】" $1f "----" $1f)))
  (begin
  (set! $mes "そばにある階段を利用してください")
  (set! $imes (string-append "【そばにある階段を利用してください】" $1f "----" $1f)))))))
  (go scene_makemessage-main))) ;; 誘導メッセージの作成(3)へ
  (otherwise ;; 階段に到着していなければ
  (go scene_makemessage-main))) ;; 誘導メッセージの作成(3)へ

```

```

;;
;; 誘導メッセージの作成 ( 3 )
;; 前方にいるエージェントの混雑状況を示す記号を追加
;;
(scene_makemessage-main
 (
  (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
  (go scene_end))
  (otherwise
   (display '(make-message ,self (tmpi tmpf tmpd) -> (,$tmpi ,$tmpf ,$tmpd))(newline)
    (set! $mes ""))
   (cond
    ((= $tmpf 0)
     (set! $mes (string-append $imes "前方: ")))
    ((= $tmpf 1)
     (set! $mes (string-append $imes "前方: x"))))

   ; 周辺の混雑状況に応じて、群集の規模を記述 ( 実験では未使用 )
   ;
   ;(if(= $tmps 1)
    ; (begin
    ; (set! $mes (string-append $imes "前方: x" $1f "範囲: 大"))
    ; (set! $tmps 0)(go scene_guide))
    ; (begin
    ; (set! $mes (string-append $imes "前方: x" $1f "範囲: 小"))
    ; (go scene_guide))))

   ((= $tmpf 2)
    (set! $mes (string-append $imes "前方: ")))

   ;(if(= $tmps 1)
    ; (begin
    ; (set! $mes (string-append $imes "前方: 目前" $1f "範囲: 大"))
    ; (set! $tmps 0)(go scene_guide))
    ; (begin
    ; (set! $mes (string-append $imes "前方: 目前" $1f "範囲: 小"))
    ; (go scene_guide))))

   ((= $tmpf 3)
    (set! $mes (string-append $imes "前方: x")))
   ((= $tmpf 4)
    (set! $mes (string-append $imes "前方: ")))

   ;(if(= $tmps 1)
    ; (begin
    ; (set! $mes (string-append $imes "前方: 2~3m 先" $1f "範囲: 大"))
    ; (set! $tmps 0)(go scene_guide))
    ; (begin
    ; (set! $mes (string-append $imes "前方: 2~3m 先" $1f "範囲: 小"))
    ; (go scene_guide))))

   ((= $tmpf 5)
    (set! $mes (string-append $imes "前方: x")))

```

```

((= $tmpf 6)
(set! $mes (string-append $imes "前方: "))
((= $tmpf 7)
(set! $mes (string-append $imes "前方: x")))
(else
(set! $mes (string-append $imes "前方: x"))))
(go scene_guide)))

;;
;; 誘導メッセージの送信
;; 作成したメッセージを対応する被験者に送信
;;
(scene_guide
 (
 (?receive :from_s $agents :word "evacuate-finish")
 (go scene_end))
 (otherwise
 (do ((cs $last-guide-time cs))(> (current-seconds) cs)))
 (if (member self $do-guide)
 (begin
 (display '(,self guide))(newline)
 (!guide :type "email" :recipient $emailaddress :message $mes))
 (begin
 (display '(,self notguide))(newline)))
 (set! $last-guide-time (+ (current-seconds) 5))
 (go scene_judgement)))

;;
;; 誘導の終了
;;
(scene_end
(#t
; (!guide :type "email" :recipient $emailaddress :message "あなたの避難完了をこちらで確認しました。")
 (display '(,self end))(newline))))

```