

パーソナルコンピュータによる家屋内を対象とした3次元避難行動シミュレータの開発

瀧本浩一¹・三浦房紀²・原 誠³

¹正会員 工修 山口大学助手 工学部知能情報システム工学科 (〒755 山口県宇部市常盤台2557)

²正会員 工博 山口大学教授 工学部知能情報システム工学科 (〒755 山口県宇部市常盤台2557)

³非会員 工修 出雲グリーン株式会社 (〒693 島根県出雲市矢野町810)

本研究では、パーソナルコンピュータを用いて家屋内を詳細に再現し、避難を体験できるシミュレータを開発した。さらに、これを用いて居住者として高齢者・要介護者を対象に建てられた住宅に適用して車椅子介助による仮想避難行動実験を行った。そして、実際に行った避難行動実験と比較を行うことによって開発したシミュレータの妥当性について検討を行った。その結果、避難の際の車椅子による挙動は再現できたが、シミュレータの誤操作により避難完了時間に差が生じること等がわかった。

Key Words : evacuation, simulator, wheelchair, personal computer, 3D computer graphics

1. はじめに

地下構造物、高層建築物に共通する性質として空間の閉鎖性が挙げられる。ひとたび地震等の災害が起きると、この空間の閉鎖性から避難に手間取り大惨事となることが考えられる。このような状況下で、総合的な防災体制を構築するには、構造物自体の耐震化や不燃化などのハード面と、避難計画などのソフト面の両面からの対策が必要である。そして、後者については近年、コンピュータにより避難を擬似的に体験できる避難行動シミュレータの開発¹⁾が行われ、それを用いた避難行動の再現や行動パターンの分析等が行われている。

そこで、本研究では、避難行動を解析するための行動特徴を抽出するだけでなく、将来的に防災計画や教育用のツールとして広く普及できるようにパーソナルコンピュータ上で動作する簡易な3次元避難行動シミュレータを開発した。そして、開発したシミュレータを大規模な空間を対象とする前にまず小規模な室内空間であるウフェルフェアテクノハウス宇部（以下WTHと呼ぶ）に適用してシミュレータの妥当性の検証を試みた。具体的には、実際にWTHで行った車椅子を用いた避難行動実験と本シミュレータにより得られた結果を比較検討した。ここに、WTHとは高齢者・要介護者にやさしい居住環境と医療環境を提供しようとする住宅である。

2. シミュレータ開発の概要

(1) ハードウェアの構成

3次元避難行動シミュレータは、IBM PC/AT 互換機に装着するゲームアクセラレータボード PC-FXGA (NEC 社製) 上で動作するアプリケーションとして開発した。PC-FXGA はパーソナルコンピュータに接続するボードという形態をとっているが、ボード上に CPU、メモリ等を有し、ゲーム機 PC-FX (NEC 社製) と同等な演算処理、3次元グラフィック表示が可能である。PC-FXGA ボードを用いる利点としては、コントロールパッドやマウスといった入力装置が利用でき、コンピュータに不慣れな者も容易に操作ができる点、さらに、3次元ポリゴン表示をハードウェアでサポートしており、高速な描画が出きる点、開発セットが一般ユーザ向けに発売されており C 言語でソフトウェアの開発ができる点などが挙げられる。なお、PC-FXGA ボードは実行画面を NTSC ビデオ信号として出力するため、PC 用のモニタとは別に表示用の TV モニタが必要となる。シミュレータを実行するための必要機器構成を表1に、システムの構成を図1にそれぞれ示す。

(2) 仮想避難者のモデル化

表 1 必要機器構成

ボード	ゲームアクセラレータボード PC-FXGA DOS/V
コンピュータ	IBM PC/AT 互換機でフルサイズの ISA バススロットを持つ機種 i486SX (33MHz) 以上の CPU を搭載 したもの
対応 OS	Windows3.1 (MS-DOS6.2/V, PC DOS J6.3/V), Windows95
メモリ	640KB 以上
ハードディスク	4MB 以上
TV モニタ	ビデオ入力端子, または S ビデ オ入力端子付き

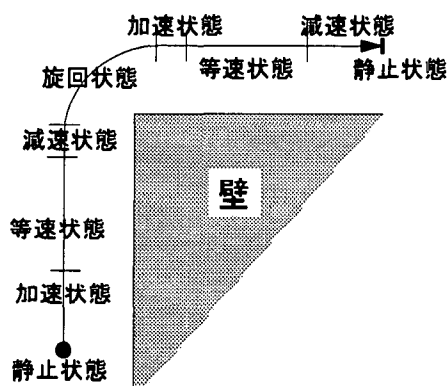


図 2 速度の遷移

表 2 シミュレータに用いたパラメータ

パラメータ	数値
等速状態の移動速度	1.68m/s
加速状態の加速度	0.84m/s ²
加速状態の加速期間	2 秒
減速状態の加速度	-1.68m/s ²
減速状態の減速期間	1 秒
旋回状態と移動状態の速度比	0.54
旋回状態の 1 秒あたりの回転角	44deg./s

実際の人間の行動は複雑であるが、移動を始めて停止するプロセスは大略、発進後一定の時間加速し、その後等速運動を行い、一定時間減速して停止する。さらに、カーブなどで曲がる場合は一端、減速を行い、カーブの終了する付近から再び加速するというものである。そこで、本シミュレータでは、仮想避難者（シミュレータ内の仮想的な避難者）の移動速度の変化を簡単にモデル化して図 2 に示すように静止状態、加速状態、減速状態、等速状態、旋回状態の 5 つの状態に分けて制御することとした。具体的には、仮想避難者が移動を開始すると静止状態から

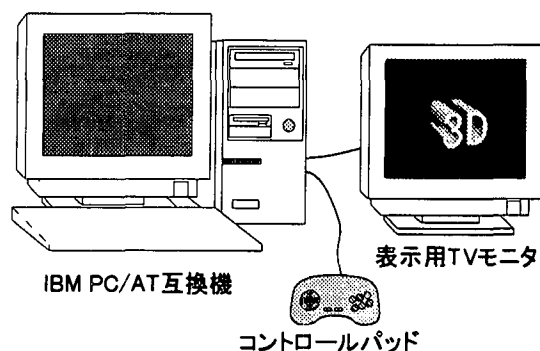


図 1 システムの構成

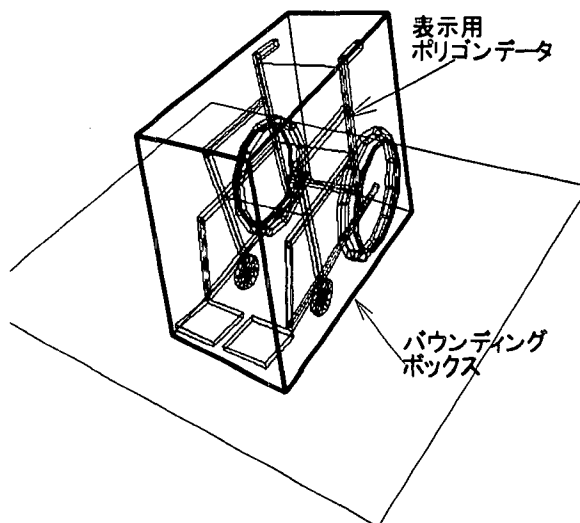


図 3 接触判定の方法

加速状態に移し、加速を始める。この間、仮想避難者は等加速度運動をする。加速開始後一定時間で等速状態に移し、等速状態では等速直線運動を行う。曲がり角の前では減速を行い、曲り角を曲がりはじめた瞬間から旋回状態に移し、旋回が終了すると、再び加速状態を経て等速状態に移す。そして、最後に停止するために減速状態を経て、静止状態へ移行する。

これら速度、加速度等は別途行った歩行実験²⁾により表 2 の通り決定した。

(3) 構造物のモデル化

シミュレータでは家具や什器等の 3 次元物体を表現するためにポリゴンデータを用いる。ポリゴンデータの作成には実際の物体の寸法を計測しデジタル化を行う。これによって、構造物のより詳細な再現が可能となったが、仮想避難者がこれら家具や什器類に接触したか否かの判定に関しては計算コストが増大する結果となった。そこで、この問題を解消するために、図 3 に示すように画面表示に用いる詳細なポリゴンデータを囲むように簡略化したポリ

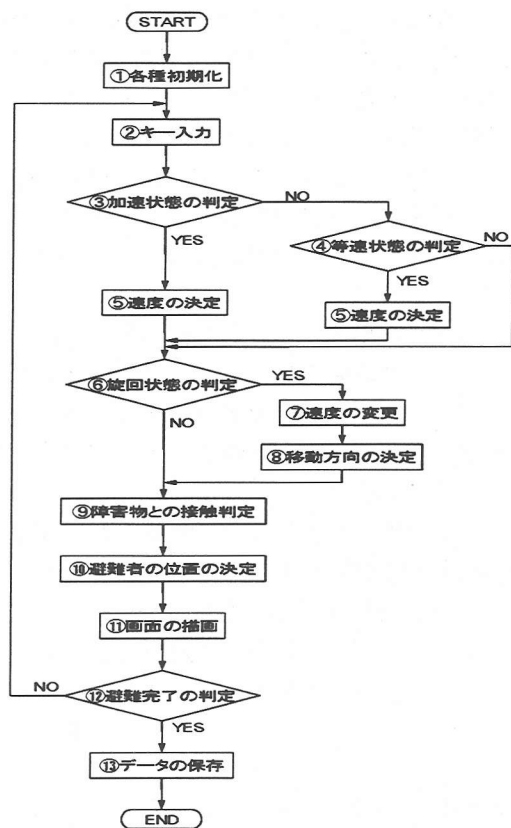


図4 シミュレータ動作の流れ

ゴン（バウンディングボックス）を作成し、これを用いて接触判定を行うことにした。

（４）シミュレータの処理の流れ

本シミュレータの動作の流れを以下に示し、そのフローチャートを図4に示す。

- ・ソフトウェアを動作させるために各種プロセッサの初期化，設定，さらに各種変数の初期化を行う。
- ・画面上には仮想避難者から見える空間を画面上に表示し，被験者の操作するゲームパッドの入力（旋回の有無等）に応じて移動した地点から見える視点をリアルタイムに計算し描画，表示する。
- ・キー入力の回数の入力時間を保存する。

このようにキー入力と描画，表示を高速に繰り返すことであたかも被験者がシミュレータ上に構築された仮想の屋内空間を移動しているように見せることができる。

3. ウェルフェアテクノハウス宇部における仮想避難行動実験

開発した避難行動シミュレータを用いてWTHの

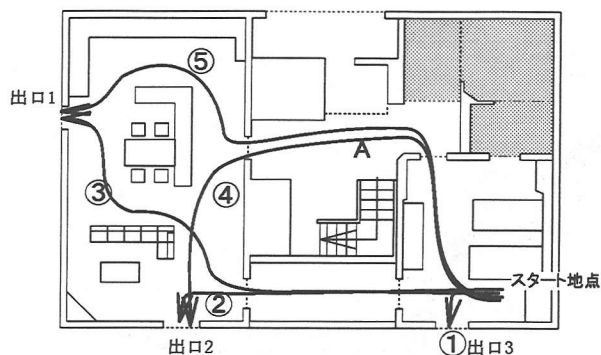


図5 避難経路

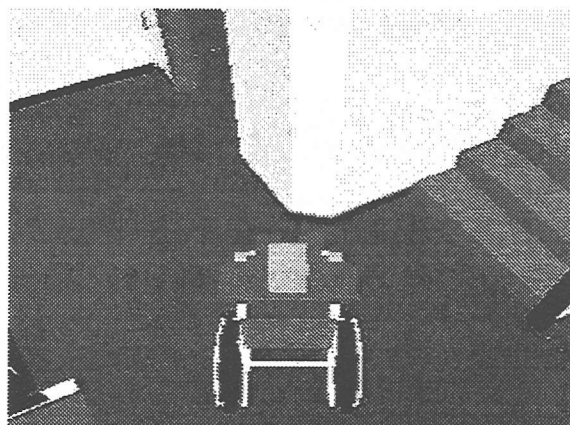


図6 シミュレータの画面の一例

屋内空間をシミュレータ上に構築して避難行動実験（以下仮想避難実験とよぶ）を行った。また，WTHで行った実際の避難行動実験結果³⁾（以下実避難行動実験とよぶ）とシミュレータより得られた結果との比較検討を行った。

（１）実験の条件と方法

実験開始前に被験者にWTHの一階の平面図を提示して実験について説明を行い，被験者にシミュレータの操作に慣れてもらった後，実験を開始した。被験者には高齢者を乗せた車椅子を介助して避難行動を開始してもらった。避難経路は図5に示すようにスタート地点から3カ所の出口へ向かう5通りの経路を通ってもらい，出口から出た時点で避難が完了したものとして実験を終了した。被験者は山口大学工学部の21歳から24歳までの男女それぞれ2名ずつの計4名とした。図6に実験中のシミュレータの画面を示す。これは図5中のA点より階段の方向をみている画面である。

（２）実験結果と考察

被験者から得られた軌跡の一例を図7に示す。これ

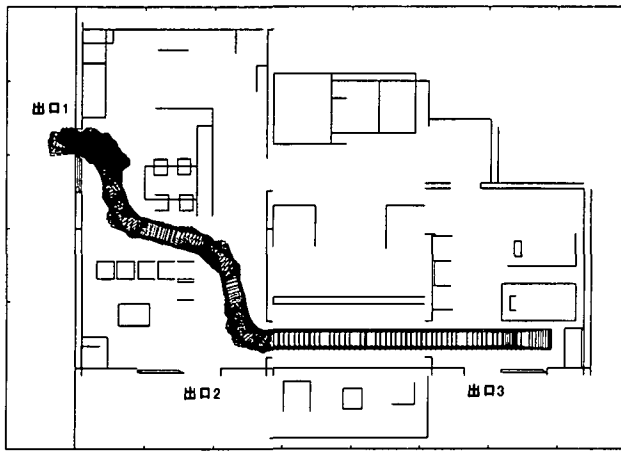


図7 仮想避難実験より得られた軌跡の一例

表3 総移動距離 (単位: m)

	仮想避難行動実験				実避難行動実験			
	平均	標準偏差	最大値	最小値	平均	標準偏差	最大値	最小値
経路1	2.46	0.24	2.97	2.11	1.93	0.11	2.09	1.82
経路2	10.53	0.08	10.66	10.40	10.34	0.09	10.47	10.24
経路3	17.93	1.08	20.18	16.68	16.76	0.27	16.16	15.42
経路4	16.99	5.38	19.24	0.00	17.65	0.16	17.81	17.43
経路5	20.81	0.60	22.37	19.97	19.25	0.25	19.66	19.02

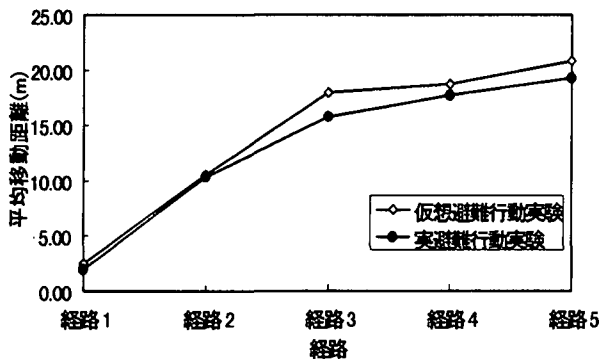


図8 総移動距離

表4 避難完了時間 (単位: 秒)

	仮想避難行動実験				実避難行動実験			
	平均	標準偏差	最大値	最小値	平均	標準偏差	最大値	最小値
経路1	4.84	1.32	7.50	2.97	3.63	0.41	4.00	3.00
経路2	9.52	1.57	12.58	7.58	11.00	0.94	12.50	10.00
経路3	24.23	4.06	31.47	18.29	18.00	2.37	21.50	15.00
経路4	23.00	8.54	31.77	0.00	19.50	1.06	21.00	18.50
経路5	32.95	6.03	43.60	24.74	23.38	1.88	25.50	20.50

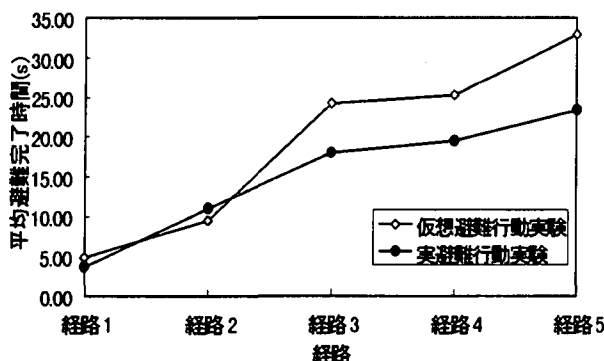


図9 避難完了時間

より仮想避難者は出口1で車椅子が壁にぶつかり、出口を通過できなかったため、後退して改めて出口1に向かい、避難を完了している。ここで仮想避難者が避難に手間取った出口1は幅が70cmとすべての出口の中でもっとも狭く、実避難行動実験においても通行が困難な出口である。この例のように移動の困難さも本シミュレータにより再現できているといえる。

次に、仮想避難者および実避難行動実験の総移動距離の平均と標準偏差の結果を表3、図8にそれぞれ示す。これより、仮想避難行動実験の平均値と実避難行動実験のそれとを比較すると、ほぼ同じ値であることがわかる。

次に仮想避難者および実避難行動実験の避難完了時間の平均と標準偏差を表4、図9にそれぞれ示す。これらの実験結果を見ると経路2を除くすべての経路において、仮想避難行動実験の方が避難に時間がかかっていることがわかる。この避難完了時間に差異が生じる原因としては、以下の理由が考えられる。

- ・仮想避難者が障害物との接触が頻繁に発生し、移動速度が低下している。
 - ・シミュレータの操作ミスあるいは進行方向の微調整を行うために誤って旋回してしまう。
- 以上の点は今後の検討課題となるものと考える。

4. まとめ

本研究は家屋内を対象とした3次元避難行動シミュレータを開発し、それを用いた仮想避難行動実験と、実際に行った避難行動実験結果とを比較検討したものである。その結果、本シミュレータによって構造物の物理的な要因によって移動が困難な個所を再現可能であることがわかった。しかし、実験結果から操作性の問題点も明らかになり、仮想避難者モデル、ソフトウェアの改良が必要であることがわかった。

参考文献

- 1) 目黒公郎, 芳賀保則, 山崎文雄, 片山恒雄: 実迷路とVR迷路を用いた実験による避難行動特性の比較, 地域安全学会論文報告集, No.5, pp.466-469, 1995.
- 2) 原 誠: パーソナルコンピュータを用いた避難行動シミュレータの開発, pp.43, 平成8年度山口大学修士論文.
- 3) 松枝美紀: 家屋内における人および車椅子利用者の避難行動特性, 平成8年度山口大学卒業論文.