

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：53203

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13973

研究課題名（和文）不安定な施設状況から多様な群集を避難させるためのIoTによる誘導システムの提案

研究課題名（英文）Proposal of IoT instruction system to evacuate diverse crowds from indoor facility in unstable situation

研究代表者

伊藤 尚（Ito, Nao）

富山高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：30635214

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、パーソナルスペースを考慮した新たな群集歩行モデルを提案した。これにより、被験者実験における障害物設置特性を再現した。このモデルを用いて、商業施設を模した避難空間においてIoT屋内避難誘導システムの有効性を検証した。その結果、IoT屋内避難誘導システムを運用する場合の誘導指示間隔や人混みを避ける優先度に動的最適解が存在することが示唆された。さらに、IoT屋内避難誘導システムを試作し有効に動作していることを確認した。以上のことから、提案したIoT屋内避難誘導システムの有効性と実現可能性を示すことができたと言える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、パーソナルスペースを考慮した群集歩行モデルを提案し被験者実験において観察される障害物設置特性を再現したこと、IoT屋内避難誘導システムの運用方法における動的最適解の存在を示唆したことの2点である。により、障害物を複数個設置した場合の最適設置位置や商業施設における店内レイアウトの最適化への応用が期待できる。について、これまでに類似のシステムは既にいくつか提案されていたものの最短経路による誘導や静的なパラメータでの運用が主流だった。これに対し、常に変化する避難状況に応じて内部パラメータを動的に変化させ、より安全で迅速な避難が可能であることを示唆した本研究の意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, we suggested a new crowd walking model in consideration of personal space. In this model, we reproduced the obstacle setting characteristic of pedestrian flow in the real experiment. By using this model, in virtual space which imitates a commercial facility, we evaluated the effectiveness of IoT indoor evacuation instruction system which we proposed. As a result, it is suggested that there are dynamic optimal solutions in operation policy of the system such as the instruction interval or the priority to avoid crowds. Furthermore, we performed trail experiments for the proposed system and confirmed that it worked effectively. From the above, we can say that we show the effectiveness and feasibility of our proposed system.

研究分野：マルチエージェント

キーワード：マルチエージェント Social Force IoT 避難誘導 屋内避難 障害物

1．研究開始当初の背景

本研究者は2008年に車椅子利用者を考慮したマルチエージェントシミュレーションモデルを提案した。排除体積効果から車椅子利用者を模したエージェントの占有面積を他のエージェントより広くとり、移動速度にも違いを持たせた。これにより、施設内の人数とそれに対する車椅子利用者の割合が避難完了人数に及ぼす影響を明らかにした。一方で、2011年に東日本大震災が発生し、その教訓から被災により施設状況が変化の中で車椅子利用者を含む群集の避難誘導法の確立の重要性が示唆された。2014年に本研究者はマルチエージェントシミュレーション（Multi-Agent Simulation：以下MAS）を用いて、避難者の移動を制限することによる避難完了時間への影響を明らかにした。避難者が互いに「譲る」行動をとる確率の最適値をモデルおよび理論的考察から明らかにした。また障害物の設置により避難完了時間が早くなることを明らかにした。2015年から2017年にかけて本研究者は避難シミュレーションにおけるエージェントのパラメータを設計した。これにより、フィールド実験から得られた結果とシミュレーション結果が近づくように品質工学的手法を応用して、最適なパラメータを取得するに至った。

2．研究の目的

先述した従来のモデルを発展・融合させ、被災状況が変化する施設におけるIoTソリューションを用いた避難誘導システムの有効性と実現可能性を示すことが本研究の目的である。具体的には、(1)MASを用いた群集避難誘導の定量化、(2)MASを用いたIoTソリューションによる避難誘導システムの有効性の検証、(3)実機による提案システムの実証を行う。

3．研究の方法

(1)MASを用いた群集避難誘導の定量化

既存の群集歩行モデル（Social Force モデル）では障害物の設置に対して実実験に近い結果が得られないことが分かっている。そのため、パーソナルスペースを導入した新たなモデルを提案した。パーソナルスペースについて図1左に示す。パーソナルエリアにはいくつか種類が存在する。避難時や人ごみ等の混雑時には図1左における接触距離（intimate space）まで人口密度が高くなるといわれている。接触距離や人間のサイズは図1左から読み取れるように、楕円のような形となっている。しかし、モデル上では簡単化のために、楕円ではなく円としてエージェントを扱う。エージェントの基本的なサイズは接触距離の長径と短径の平均をとった半径0.265mの円として表現する。また、エージェントは確率的にパーソナルエリアが縮小し、エージェントのサイズは人体を俯瞰し楕円とみなした場合の長径と短径の平均から半径0.12mとなることとする。エージェントの概要図を図1右に示す。エージェントにおいて外側の円で示されているものが接触距離をもとにしたパーソナルスペースのサイズであり、内側の円で示されているものがエージェント本体のサイズである。

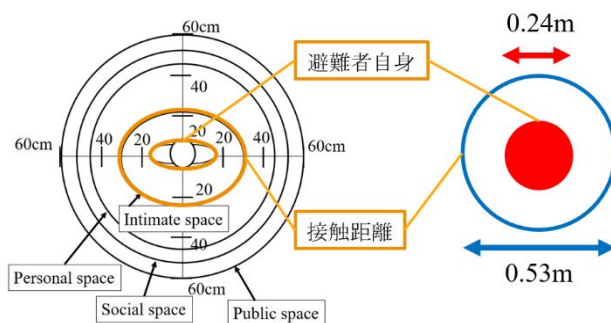


図1 パーソナルスペースとエージェントの概要図

(2)MASを用いたIoTソリューションによる避難誘導システムの有効性の検証

IoT 屋内避難誘導システムから避難者に時間 T の経過ごとに後述するユニットが施設の状況を把握し、エージェントに最適となる経路を送信することとした。また、施設に存在しているエージェント全てに誘導指示を送信すると特定の出口で混雑が生じる可能性があるため、指示を出すエリアを限定し、そのエリアに存在するエージェントのみに指示を出すこととした。このとき、目の前に出口があるのに指示を送信してもあまり効果がないため、誘導システムによって指示を受けるエージェントは図2の空間モデルの横中央通路に存在する出口の見えていないエージェントに限定した。

シミュレーション中のエージェントの行動をまとめたフローチャートを図3に示す。初めに、指定したエージェントの数を避難空間のランダムな場所に配置する。誘導指示を受けないエージェントは出口が見えているか否かを判定する。出口が見えている場合はそのまま出口へ避難を行う。また、複数の出口が見えている場合は近い方の出口を選択する。出口が見えていない場合は、サブゴールの中で1番近いサブゴールを仮の目的地として移動を行う。目的としたサブゴールの半径5m以内に入るとことでエージェントは移動を達成したと判定し、次の新たなサブゴールもしくは出口への移動を繰り返し行うことで避難を完了する。誘導システムありの場合、

シミュレーションの開始と同時に指示を受けたエージェントは必ず指示に従うように行動するため、指示された目的地を目指して移動を行う。また、設定した時間が経過すると更新された最適な経路を再び送信し、エージェントはその指示に従い行動する。

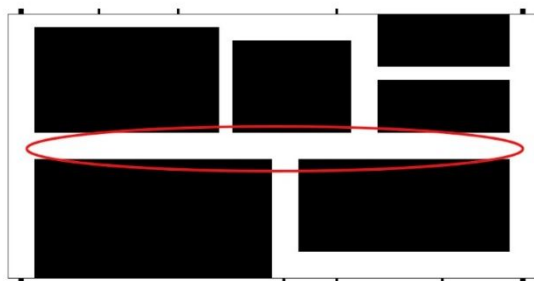


図2 指示を受けるエリア

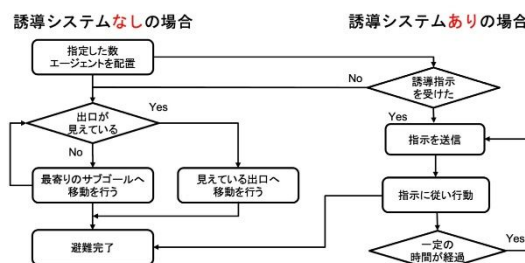


図3 シミュレーションの流れ

(3)実機による提案システムの実証

IoT 屋内避難誘導システムとは、Raspberry Pi (以下、ラズパイ) に火災報知器、Web カメラを組み込んだ装置(以下、ユニット)から屋内にいる避難者のスマートフォンに避難誘導指示を送信し、避難完了時間の改善を試みるシステムのことである。提案システムではローカルネットワークを作成し、LAN エリア内で完結するような自律分散協調による避難誘導システムの構築を検討している。図4にシステム構成の概略図を示す。このユニットを数m間隔で設置する。ユニット間における施設状況の共有方法としては非同期かつ通信量が少ないといった利点があるMQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 通信を採用する。非同期通信は同時に複数の処理ができるのでIoT 屋内避難誘導システムに適切である。施設状況に異常が発生した場合、ユニットから通信範囲内にある任意のユニットに情報を送信し、情報を受信したユニットはその情報をプログラム処理し、また他のユニットへ送信するという処理を繰り返して次々とパケットリレー式で情報を伝搬していく。施設状況をセンシングするためのセンサ情報には火災発生情報と人混み情報がある。ラズパイには予め館内見取り図が入力されており、施設状況に応じてダイクストラ法で適切な避難経路を算出し、各ラズパイがそれぞれ立てているFTP (File Transfer Protocol) サーバー内に保存する。避難者のスマートフォン側では無線LANが届く範囲程度の精度で大まかな位置情報を推定し位置情報に基づいた避難経路を接続先のFTPサーバーに要求する。

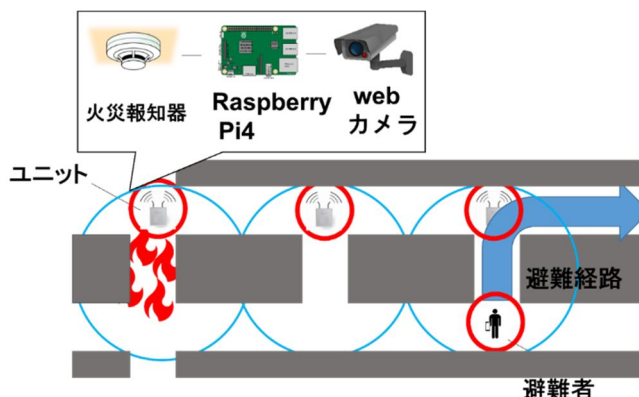


図4 提案システムの構成図

4. 研究成果

(1)MASを用いた群集避難誘導の定量化

提案したモデルを構築し、実実験の結果に近づくようにパラメータ設計を行った。得られたパラメータを用いて100回シミュレーションを行い、その平均流動係数を求めた結果を図5に示す。図5において縦軸が流動係数を、エラーバーはシミュレーションにおける標準偏差を示したものである。左2列が障害物を設置しない場合、右2列が障害物を設置した場合の実実験とシミュレーションの結果を比較したものである。図5から障害物の有無にかかわらず実実験に近い結果が得られていることがわかる。

実実験では障害物を設置することによって人の流れがスムーズになる場合があることが分かっている。提案したモデルにおいて、その現象が再現できていることがわかる。これは、エージェントのパーソナルスペースが障害物付近で縮小しやすいためであると考えら

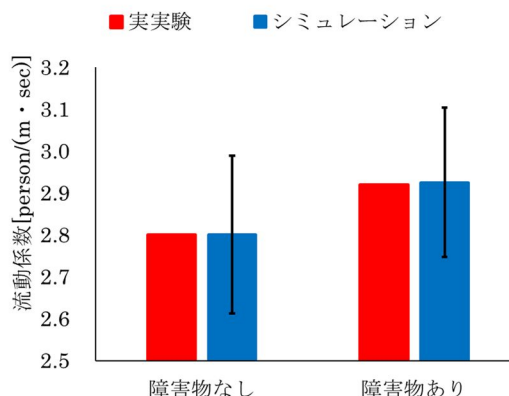


図5 実実験とシミュレーションの平均流動係数の比較

れる。エージェントはパーソナルスペースが縮小すると周囲の移動可能な空間が広がる。現実における障害物を避ける動きの再現のためには障害物周辺で移動できる空間が広いことが必要であると考えられる。

(2) MAS を用いた IoT ソリューションによる避難誘導システムの有効性の検証

先に得られたモデルを用いて、IoT 屋内避難誘導システムの有効性を検証した。避難誘導指示間隔を 20 秒、25 秒、30 秒とした場合と誘導指示なしの場合の避難完了時間を比較した。結果を図 6、図 7 に示す。両図において、横軸は人混みを避ける重み係数 w を、縦軸は避難完了時間を示している。青線は指示なし、オレンジは避難誘導指示間隔が 20 秒、灰色は 25 秒、黄色は 30 秒としたときの結果を示して。図 6 はエージェント数 1000 人、図 7 はエージェント数 1500 人の結果である。

IoT 屋内避難誘導システムを用いることで避難時間が短くなる場合がある一方で、誘導指示間隔や重み係数によってはかえって長くなる場合があることが分かった。特に、誘導指示間隔が 20 秒の場合でその傾向が顕著に見られた。これは、短い時間間隔で誘導指示を出すことでエージェントの目的地が変更され、エージェントが右往左往することで避難時間が長くなったためであると考えられる。このことから、IoT 屋内避難誘導システムを運用する場合の誘導指示間隔や人混みを避ける優先度に動的最適解が存在することが示唆された。

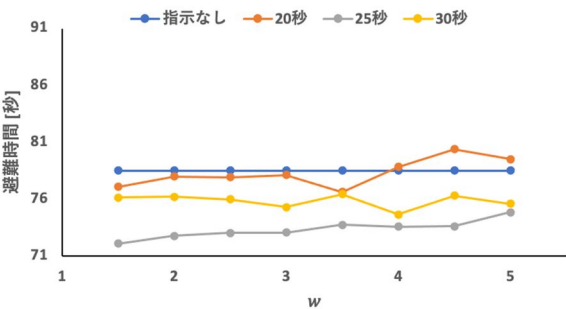


図 6 エージェント数 1000 の場合の避難時間の推移

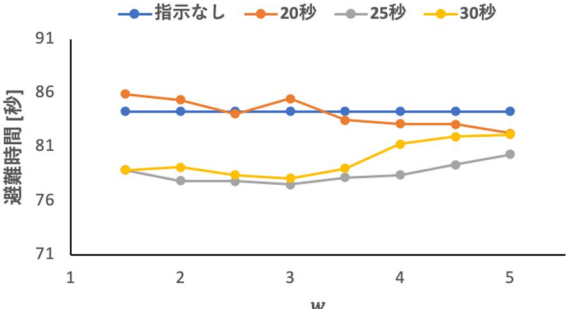


図 6 エージェント数 1500 の場合の避難時間の推移

(3) 実機による提案システムの実証

本研究で作成したユニットを図 7 に示す。また、使用した機材を表 1 に示す。火災発生情報は火災報知器の接点が開いている場合に火災発生と判断する。人混み情報は Web カメラによって入力画像を取得し、取得した画像データを AI によって解析し人混みを判断する。Web カメラ画像における人物検出は、頭部検出ライブラリ (head-detection-using-yolo-master) を使用した。

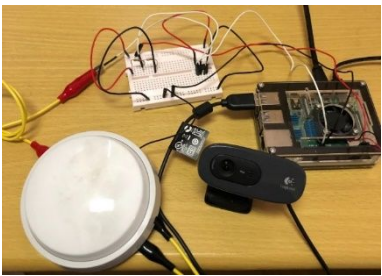


図 7 ユニット試作機

表 1 使用機材

マイコン	Raspberry Pi 4 Computer Model B RAM 32GB
マイコン OS	Raspbian Buster 20200213
火災報知器	Panasonic BV42208K
Web カメラ	Logicoool HD Webcam C270

作成したユニットを複数台用いて評価実験を行った。建物館内にユニットを配置し、火災が発生していない場合と仮想的に火災が発生させた場合で、スマートフォン (Galaxy A30) に適切な避難経路が送信されるかを確認した。火災は建物右側の階段付近で発生するものとした。生成された避難経路画像を図 8、図 9 に示す。図 8 は火災が発生していない場合、図 9 は仮想的に火災が発生させた場合である。図 8、図 9 において緑色の丸が現在地を、黄色の丸が出口を、青色の線が避難経路を示している。図 8 では建物右側の階段を経由して最短経路で避難誘導しているのに対し、図 9 では火災が発生している右側階段を避けて避難誘導している。このことから、火災を避けて適切な避難経路を提示できたと言える。この他に、人混み検知部分の機能評価実験を行い、有効に動作していることを確認した。

以上のことから、提案した IoT 屋内避難誘導システムの有効性と実現可能性を示すことができたと言える。

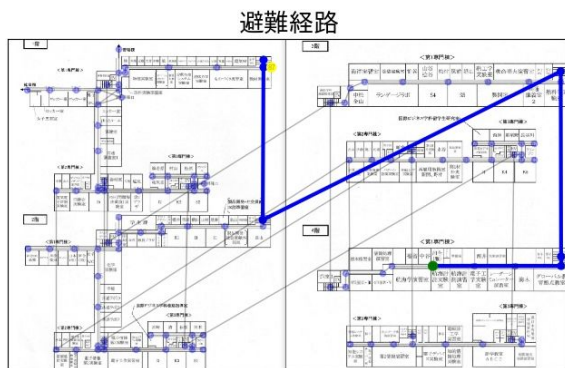


図 8 避難経路図（火災発生なし）

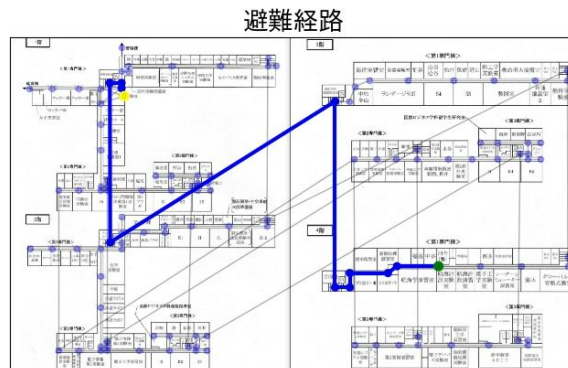


図 9 避難経路図（火災発生）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Asuka Hashimoto, Kyo Takata, Nao Ito, Ryuichi Matoba, Kentaro Tani and Yoshinobu Maeda	4. 巻 なし
2. 論文標題 Study of the Influence of an Obstacle on the Evacuation Behavior Using Multi-Agent Simulation where the Intimate Space around each Agent is Considered	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ICCMS 2019 Proceedings of the 11th International Conference on Computer Modeling and Simulation	6. 最初と最後の頁 225, 229
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3307363.3307369	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中村紀香, 大代浩一朗, 石坂空大, 伊藤尚
2. 発表標題 Social Forceモデルによる避難シミュレーションへのパーソナルスペース縮小の導入
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報, CAS2021-26, pp.51-56, 2021.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大代浩一朗, 中村紀香, 石坂空大, 伊藤尚
2. 発表標題 IoT屋内避難誘導システム評価のためのマルチエージェントシミュレーション
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報, CAS2021-27, pp.57-61, 2021.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村上彰洋, 伊藤尚
2. 発表標題 マルチエージェントシミュレーションを用いた地域間所得格差に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報, CAS2021-72, pp.84-88, 2022.
4. 発表年 2022年

1．発表者名 高木詩麻，伊藤尚
2．発表標題 公共財ゲームにおけるメタ規範の導入と戦略進化シミュレーション
3．学会等名 電子情報通信学会 ICD/CAS研究会，P1-2，2021．
4．発表年 2021年

1．発表者名 中島健，伊藤尚，運上和也
2．発表標題 ローカルネットワークにおけるIoT屋内避難誘導システムの開発
3．学会等名 電子情報通信学会 ICD/CAS研究会，P1-7，2021．
4．発表年 2021年

1．発表者名 按田郁巳，伊藤尚
2．発表標題 要請遵守意識を考慮したCOVID-19感染シミュレーションモデルの構築
3．学会等名 電子情報通信学会 信学技報，CAS2021-86，pp.65-70，2022．
4．発表年 2022年

1．発表者名 石坂空大，大代浩一朗，中村紀香，伊藤尚
2．発表標題 ネットワークモデルを用いた屋内避難シミュレーションの高速化と粒子モデルとの比較
3．学会等名 電子情報通信学会 信学技報，CAS2021-87，pp.71-74，2022．
4．発表年 2022年

1．発表者名 高田響，大代浩一朗，中村紀香，運上和也，伊藤尚
2．発表標題 IoTソリューションによる屋内避難誘導システムの検討
3．学会等名 電子情報通信学会，回路とシステム研究会
4．発表年 2020年

1．発表者名 大代浩一朗，高田響，中村紀香，伊藤尚
2．発表標題 大型商業施設における避難行動シミュレーション
3．学会等名 電子情報通信学会，回路とシステム研究会
4．発表年 2020年

1．発表者名 伊藤尚，高田響
2．発表標題 屋内避難行動における障害物設置効果検証に関するマルチエージェントシミュレーション
3．学会等名 第63回システム制御情報学会
4．発表年 2019年

1．発表者名 Asuka Hashimoto, Kyo Takata, Nao Ito, Ryuichi Matoba, Kentaro Tani and Yoshinobu Maeda
2．発表標題 Study of the Influence of an Obstacle on the Evacuation Behavior Using Multi-Agent Simulation where the Intimate Space around each Agent is Considered
3．学会等名 The 11th International Conference on Computer Modeling and Simulation (国際学会)
4．発表年 2019年

1．発表者名 高田響，橋本愛守可，伊藤尚，前田義信
2．発表標題 マルチエージェントシミュレーションを用いた誘導者特性が避難行動に及ぼす影響の評価
3．学会等名 電子情報通信学会 回路とシステム研究会（CAS）
4．発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織			
	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------