

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11952

研究課題名（和文）複合災害を想定した分散人工知能防災システム

研究課題名（英文）Distributed Artificial Intelligence Disaster Management System for Complex Disasters

研究代表者

打矢 隆弘（Uchiya, Takahiro）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：10375157

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地震・火災等の複合災害を想定した分散人工知能防災システムの設計・開発を行い、2次災害を考慮した安全な避難誘導や避難時混雑解消などの避難支援技術の課題に取り組んだ。特に、大学キャンパスの建物内で火災が発生した状況を想定し、火災/煙の影響による被害を最小限に抑えるためのロボットベース避難誘導方法を考案した。これにより、ロボットを用いない避難誘導と比べて、火災による影響と階段の混雑状況など避難者の移動に伴う影響の双方を考慮した安全な避難誘導を実現し、災害による人的被害軽減を達成できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、地震・火災等の複合災害を想定した分散人工知能防災システムの設計・開発を行い、自律移動型ロボットを用いたロボットベース避難誘導手法を提案し、2次災害を考慮した安全な避難誘導や避難時混雑解消などの避難支援技術を確認した。

分散エージェント/ロボット群を用いた防災システムに関する知見は、本学キャンパスにおける防災能力の向上に大いに貢献するとともに、他大学・公共施設・商業施設での活用も期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we designed and developed a distributed artificial intelligence disaster prevention system for complex disasters such as earthquakes and fires, and addressed the issues of evacuation support technology, such as safe evacuation guidance considering secondary disasters and eliminating congestion during evacuation. In particular, a robot-based evacuation guidance system was devised to reduce the damage caused by fire/smoke to a minimum, assuming a fire in a building on a university campus. Compared with non-robot-based evacuation guidance, this method achieved safe evacuation guidance that takes into account both the effects of fire and the effects of the movement of evacuees, such as the congestion of stairways, and thus reduced the human casualties caused by disasters.

研究分野：分散人工知能

キーワード：防災システム マルチエージェント UGV UAV ロボット 避難誘導

1. 研究開始当初の背景

昨今の度重なる大震災の発生や、地震研究の専門家による東南海地域を震源とする大地震の到来予測など、災害に対する防衛策の策定が喫緊の重要な課題となっている。東日本大震災後、防災科学技術研究所や東北大学を中心として、地震予知・避難誘導・災害レスキューを行う防災研究も活発化しており、防災研究の重要性が極めて高くなっている。特に、避難誘導に焦点を当てた研究は、地域安全学会・日本災害情報学会・土木学会・情報処理学会・電子情報通信学会・人工知能学会・マルチエージェントシステム研究会等で多数発表されている。

研究代表者は、先行研究“悪条件下での震災避難行動を支援する研究(基盤 C 17K00304)”にて、防災システムに求められる機能要件を整理し、分散協調処理に基づくマルチエージェント型防災システムのモデル(図 1)を提案した。当該研究では、“マルチエージェント分散バックアップシステム”など“データを守る技術”と、“避難誘導ロボット”など、“人を守る技術”の二つが研究開発された。ここで、後者の人を守る技術に着目する。災害時に人が避難誘導を行う場合、2次災害の被害を受ける可能性があるため、人の代わりにロボット・センサ群が避難誘導を行う防災システム(図 2)は非常に有効である。

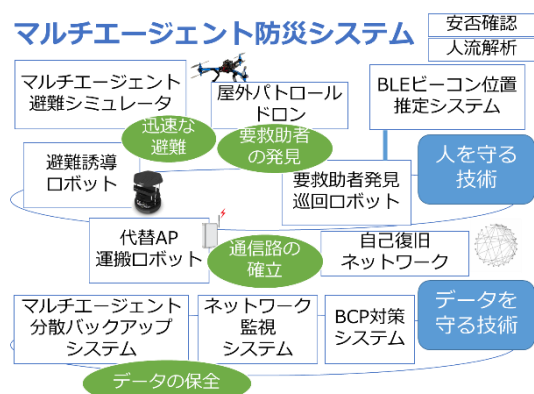


図 1. 防災システムの全体像

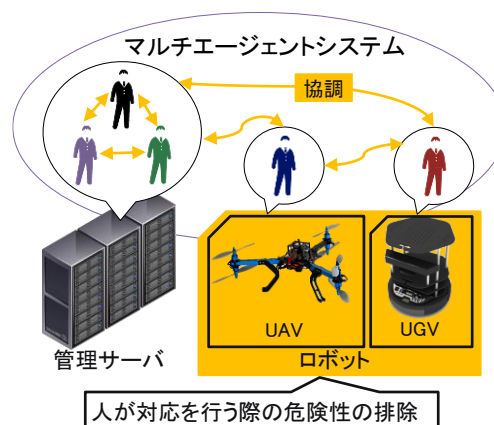


図 2. ロボットベース避難誘導システム

避難誘導ロボットの開発にあたり、“シミュレーション”と“実機”の双方で、ロボットベース避難誘導の有効性を検証した。特に、地震災害を想定した検証実験により、安全な誘導を実現可能なシステムの有効性を示した。研究代表者がこれまで開発してきた防災システムは、“地震”を災害対象とし、“地震災害”に特化したシステムとなっている。また、避難誘導に関する既存研究においても、ほとんどが“地震災害”に特化している。しかし、現実には地震後の火災発生、実験室内の危険物の爆発、建物損壊による通行止め、停電等様々な災害が連鎖的に発生しうる。よって、人的被害を最小限に抑えるためには、地震後の火災や爆発を想定した避難誘導方式を導入することが極めて重要である。

2. 研究の目的

複数の災害を想定したシステムを開発するためには、多様な研究分野に関する知識と、システム開発能力が必要となる。本研究では、知的エージェント技術、自律ロボット制御技術、ロボット位置推定技術、を組み合わせ、複合災害(地震後の火災、爆発、悪路発生、器物倒壊)を想定した防災システムを開発し、災害時の安全な避難及び避難効率向上を実現する。

3. 研究の方法

本研究は、複合災害が発生する環境での安全な避難誘導の実現を目指し、従来のマルチエージェント防災システムを拡張するものであり、以下の順で研究開発を進めた。

- I. 火災・爆発・悪路の発生を想定した避難誘導シミュレーションの実施
- II. センサ/ロボット連携による避難時の混雑緩和手法の導入
- III. ロボットの異常検知手法の導入
- IV. 評価実験による提案手法の有効性の検証

4. 研究成果

1年目の研究成果：2020年度は、主に「I. 火災・爆発・悪路の発生を想定した避難誘導シミュレーションの実施」に取り組んだ。

- ・大学キャンパスの建物内の部屋を対象として、火災や爆発の可能性を調査し、危険性の高いエリアを精査した。
- ・リスクの高いエリアを通過する避難者人数を減少させる避難誘導方式を考案した。
- ・シミュレーションによる新避難誘導方式の有効性検証に取り組んだ。

2年目の研究成果：2021年度は、主に「センサ/ロボット連携による避難時の混雑緩和手法の導入」に取り組んだ。

- ・大学キャンパスの建物内で火災が発生した状況を想定し、火災／煙の影響による被害を最小限に抑えるための避難誘導方式を検討した。
- ・主に階段で避難者の混雑が発生するため、階段の混雑状況を把握する機構を導入した。
- ・建物内の全階段の混雑状況を考慮して、混雑状況を考慮しながら迅速な避難が可能なロボットベース避難誘導方式を確立した。本方式の概要について述べる。

[提案方式の概要]

我々の過去の研究では、マルチエージェントシミュレータ Artisoc を用いてロボットや環境の要因を変更させ、どんな要素がロボットを用いた避難誘導の安全性や時間に影響を与えるかの検証を行った。その結果、階段での混雑を避ける誘導が効果的であることがわかった。この結果を用い、階段の混雑を避ける避難誘導を考える際に、「階段の混雑状況が常に変動する」「混雑状況をどう誘導に用いるか未確立」という問題が存在する。そこで、これらを解決するために階段混雑度を考慮した誘導ロボットによる避難誘導方法を提案した。本研究では、階段が複数存在する大型の建物内での火災を想定する。建物内にはロボットが巡回しており、火災が発生すると避難者が避難を開始し、誘導ロボットが避難誘導を行う。ここで、誘導ロボットが各階段の混雑状況を定期的に取得し、避難に最適な階段をアルゴリズムを用い導出する。導出された階段へ避難者を誘導することで、階段の混雑を解消し円滑な避難誘導を実現する。

アルゴリズム最適な階段を選択するアルゴリズムに、以下の3つを考案した。

- ①一番空いている階段を選択／②上階で混んでいる階段を避ける選択／③下階で混んでいる階段を避ける選択

評価実験ではシミュレータ Artisoc を使用し、名古屋工業大学 2 号館の研究室で火災が発生した場面を想定する。2～11 階にそれぞれ 50 人から 100 人の避難者が滞在しており、火災が発生すると避難を開始し、誘導ロボットが適切な階段へ誘導を行う。シミュレーションは火災が発生する階を変更し、繰り返し行う。また、災害時に階段をスムーズに通過できると限らないことを想定し、階段に障害物を設置した状態での実験も行う。

提案アルゴリズムを用いることで、図 3 のように先行研究に比べ、避難完了時間や混雑度などの評価指標を改善することができた。また、危険度に関してもベースの誘導から結果が改善され、混雑の回避により安全性が高まることが示された。障害物を設置した実験においても提案手法が混雑を抑制した誘導をしており、提案手法の中で“一番空いている階段を選択するアルゴリズム”を用いた誘導が最良の誘導結果となった。

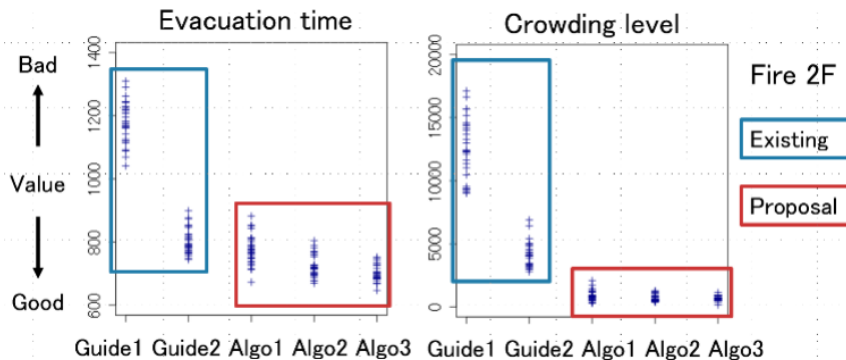


図 3：名古屋工業大学 2 号館 2 階で火災発生時の避難完了時間と混雑度

3年目の研究成果：2022年度は、主に「ロボットの異常検知手法の導入」と「評価実験による提案手法の有効性の検証」に取り組んだ。

- ・大学キャンパスの建物内で火災が発生した状況を想定し、火災／煙の影響による被害を最小限に抑えるためのロボットベース避難誘導方式の改善・拡張を実施した。
- ・1台のロボットの故障を想定し、故障状態をロボット群で共有する手法を検討した。
- ・故障ロボットの作業を別ロボットが代替するロボット連携手法を考案した。
- ・煙の広がりなど火災による影響と、階段の混雑状況など避難者の移動に伴う影響の双方を考慮した避難誘導について、シミュレーションと実機での検証を行い、提案手法の有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11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 Takahiro Uchiya, Kazuki Akita	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of Disaster Prevention Training System Using Mixed Reality Space	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of BWCCA2022	6. 最初と最後の頁 385-394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-20029-8_38	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 -
1. 著者名 Yang Kun, Takahiro Uchiya	4. 巻 -
2. 論文標題 Examination of Robot System Detecting Smoke Condition in the Event of a Fire	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of CISIS2022	6. 最初と最後の頁 83-93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-08812-4_9	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 -
1. 著者名 Zongming Zhang, Takahiro Uchiya	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of Rescue Drone for Locating Indoor Survivors in the Event of Disaster	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of NBIS2022	6. 最初と最後の頁 309-318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-14314-4_31	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 -
1. 著者名 Masafumi Hombe, Takahiro Uchiya	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of Robot-Guided Evacuation Method Considering Congestion at Stairs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of GCCE2022	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE56475.2022.10014415	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 -

1. 著者名 Yafei Zhou, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 P2P File System-Based Deployment Scheme for Inter-Host Container Image Distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of GCCE2021	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE53005.2021.9621791	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 -

1. 著者名 Zongming Zhang, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Speed of Autonomous Drones in Locating Survivors After a Disaster	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of GCCE2021	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE53005.2021.9621953	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 -

1. 著者名 Takahiro Uchiya, Yudai Furuta, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of Indoor Navigation System Using Mixed Reality Technology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of BWCCA2021	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-90072-4_36	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 -

1. 著者名 Takahiro Uchiya, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of Indoor Evacuation Training System using VR HMD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of NBIS2020	6. 最初と最後の頁 528-537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-57811-4_53	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 -

1. 著者名 Yafei Zhou, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-Agent Based Container Microservices for Remote File Storage System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE GCCE2020	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE50665.2020.9292000	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 -

1. 著者名 Yafei Zhou, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of Container Management Mechanism on Multi-agent Framework	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of NBIS2020	6. 最初と最後の頁 518-527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-57811-4_52	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 -

1. 著者名 Takahiro Uchiya, Kodai Shimano, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of Education Tool for Reinforcement-Learning Agent Developers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of BWCCA2020	6. 最初と最後の頁 454-462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-61108-8_45	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3件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Takahiro Uchiya
2. 発表標題 Producing a Diversity of Agent Using Repository-based Multi-Agent Framework
3. 学会等名 The 6th IEEE International Conference on Agents (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田大雅, 打矢隆弘
2. 発表標題 発災時の施設内要救助者発見のための物体検出モデルの作成
3. 学会等名 WiNF2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yang Kun, 打矢隆弘
2. 発表標題 ロボットを用いた火災発生時屋内避難経路の安全性把握手法の検討
3. 学会等名 WiNF2021
4. 発表年 2021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
---------	---------