

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00304

研究課題名(和文) 悪条件下での震災避難行動を支援するマルチエージェント防災システム

研究課題名(英文) Multiagent based disaster mitigation system supporting earthquake's evacuation behavior under adverse conditions

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、災害時の悪条件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、ロボットを用いた通信路の復旧、避難誘導、要救助者の発見等の課題に取り組んだ。特に、ロボットベース避難誘導では、SLAM技術による自律移動が可能な走行ロボットTurtleBot2を用いた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、迅速な避難と火災等の2次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、特に、機器故障・視界不良や悪路などの悪条件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、各種の避難支援を実現した。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)：The purpose of this research is to design and develop a distributed artificial intelligence disaster mitigation system that assumes adverse conditions during a disaster.

We tackled issues such as restoration of communication channels using robots, evacuation guidance, and discovery of people requiring rescue.

In particular, for robot-based evacuation guidance, we devised an evacuation guidance method that uses the TurtleBot2 traveling robot that is capable of autonomous movement using SLAM technology. As a result, compared to evacuation guidance that does not use robots, quick evacuation and reduction of human damage due to secondary disasters such as fires could be achieved.

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

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 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。

これらの研究において、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のモデルが提案されつつある。建物の倒壊、火災/爆発などの2次災害を回避する手段として、これら無人型の防災システムは非常に有効である。例えば、小檜山ら(慶応大,2014)は、避難シミュレーションの解析結果に基づく屋内避難誘導ロボットの検討を行い、ロボットが“避難方向に移動しながら音声誘導を行うこと”と“避難方向の矢印を点灯させながら音声誘導を行う”ことの有効性を示している。また、田中ら(日本大,2015)は小型無人航空機を用いた避難誘導システムの検討を行い、航空機の投入・避難誘導により津波発生時の避難成功率を15%向上可能なことをシミュレーションにより示している。さらに、安藤ら(法政大,2013)はマルチロボットを用いた避難誘導のモデルを提案し、複数ロボット連携機構の設計指針を与えている。

以上のように、無人型の避難誘導システムがいくつか提案されているが、これらに共通して、良条件(通信インフラが正常利用できる、避難経路が視認できる等)を前提としたシステムであるため、悪条件でのシステムの正常動作が保証できないという課題が存在する。

## 2. 研究の目的

悪条件を想定したシステムを開発するためには、複数の異なる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。これまでの研究開発の経験を活かし、知的エージェント技術、音声対話技術、利用者の位置推定技術、自律ロボット技術を組み合わせ、悪条件(通信断絶、悪路・視界不良、器物倒壊)を想定した防災システムを開発し、災害時の避難成功率の向上と要救助者の早期発見を実現する。

## 3. 研究の方法

悪条件(通信断絶、悪路・視界不良、器物倒壊)を想定した防災システムを開発し、大学キャンパスにおける災害時の防災能力を向上する。以下の順で研究開発を進めた。

- I. 通信断絶を想定したロボットによる無線通信経路確立手法の策定
- II. 悪路・視界不良を想定したロボット/センサによる避難誘導機能の導入
- III. 器物倒壊を想定した要救助者の発見と救出補助機能の導入
- 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:平成29年度は災害におけるネットワーク機器の被害が発生した状況で、通信路を早急に復旧する機構の設計と導入・評価を行った。

### 1. 通信断絶を想定したロボットによる無線通信経路確立手法の策定

被災による無線APの故障により通信不可なエリアが発生した際、通信断絶を早期に検知し、無線中継機により、隣接するAPから新たな無線通信路を確立する手法を導入した。本研究では、ロボットとマルチエージェント技術を組み合わせることにより、ロボットによる無線中継機の運搬と、人の手を介することの無い迅速な無線通信路の確立を実現した。提案システムは、無線中継機を運搬するためのロボット、AP監視処理を受け持つ管理サーバ、ロボットと管理サーバ上で稼動するエージェントシステム(AS)から構成される。飛行ロボット UAV(Unmanned Aerial Vehicle)はGPSを用い、フライトプランに基づく自律飛行を行う。

UGV(Unmanned Ground Vehicle)は屋内マップを用い、自己位置推定に基づく自律移動を行う。また外界センサにより壁・障害物を避けて移動する。TurtleBot2をUGVとして用いた評価実験を

実施し、迅速な無線通信経路の確立が可能なことを実証した。

2年目の研究成果：平成30年度は下記2つの研究内容に取り組んだ。

### II. 悪路・視界不良を想定したロボット/センサによる避難誘導機能の導入

地上走行ロボット Turtlebots2 が屋内廊下を移動し、ロボットに搭載されたカメラを用いて被災による影響の把握と管理者への情報提供を行う仕組みを構築した。これにより、被災による通行不可能エリア発見が可能となった(図1)。また、火災発生を想定したマルチエージェント避難誘導シミュレーション(図2)により、ロボットの音声アナウンスによる避難誘導と危険エリアの通行止めが有効であることが示された(図3)。



図1：自律移動ロボットによる被災状況の自動収集



図2：マルチエージェントシミュレーションによるロボットベース避難誘導効果の検証

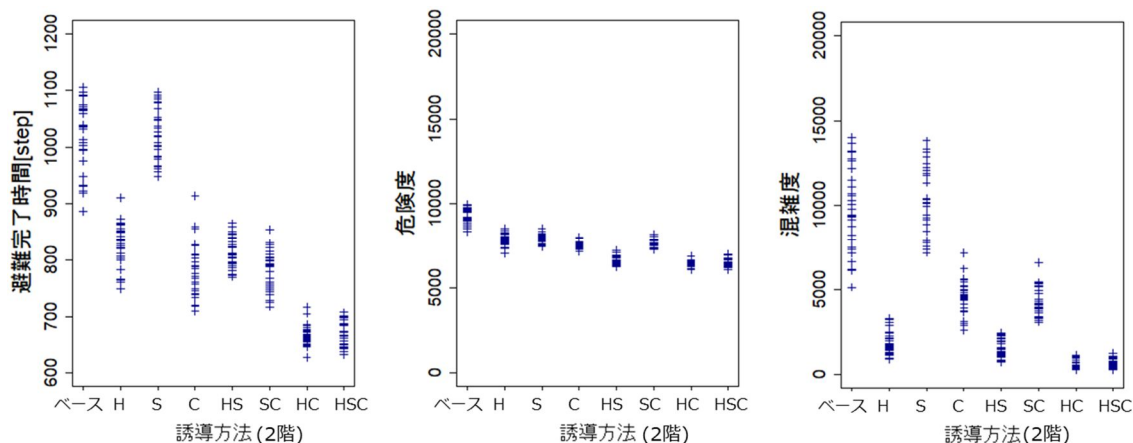


図3：8種類の避難誘導手法の比較・検証

### III. 器物倒壊を想定した要救助者の発見と救出補助機能の検討

BLE ビーコンの電波強度分布を活用した屋外及び屋内の避難者位置推定精度向上に関する検討とプロトタイプを試作・評価を実施し、従来手法より高精度な位置推定手法を考案した。

3年目の研究成果：令和元年度は IV. 評価実験による提案手法の有効性の検証に取り組む、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下記の知見を得た。

- ・飛行ロボット UAV を用いた無線中継器運搬システムは、無線通信経路の早期復旧・確立に貢献する。
- ・SLAM 技術による自律移動が可能な走行ロボット TurtleBot2 を用いた避難誘導は、ロボットを用いない避難誘導と比べて、迅速な避難と火災等の2次災害による人的被害軽減を達成できる。また、ロボットにカメラを搭載することで、ロボットを災害時の避難誘導と被害状況把握の双方

で使用できる。

- ・マルチエージェントシミュレーションにより、建物の構造に合わせた、ロボットの台数や巡回手法、避難誘導手法の最適化を実施することが重要である。

- ・BLE ビーコンの電波強度分布を活用した屋外 / 屋内の避難者位置推定は有効ではあるものの、他手法も併用したさらなる位置推定の精度向上が必要である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takahiro Uchiya, Ryuta Sugie, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of Evacuation Guidance by Robots Using Multi-Agent Simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics	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/GCCE46687.2019.9015493	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, Somayya Madakam	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of Wide Area Distributed Backup System by Using Agent Framework DASH	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 IEEE International Conference on Agents (ICA)	6. 最初と最後の頁 91-94
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/AGENTS.2019.8929158	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 該当する
1. 著者名 Ryuta Sugie, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Validation of Evacuation Guidance by Robot for Improving Safety in Case of Disaster	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics	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） なし	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, Kota Hayashi, Ryuta Sugie, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of Disaster Information Collection Method by Robot	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics	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） なし	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, Kiyotaka Sato, Shinsuke Kajioka	4. 巻 -
2. 論文標題 BLE Beacon Based Indoor Position Estimation Method for Navigation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of NBiS2018	6. 最初と最後の頁 691-699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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, Ryuta Sugie, Kota Hayashi, Tetsuo Kinoshita	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of Disaster Mitigation Method using Multiple Robots	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of BWCCA2018	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) なし	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 Ryuta Sugie, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Investigation Using Multi-Agent Simulation Environment for Evacuation Guidance with?Robots	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the 12th International Conference on Broad-Band Wireless Computing, Communication and Applications	6. 最初と最後の頁 834 ~ 843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-69811-3_75">https://doi.org/10.1007/978-3-319-69811-3_75</a>	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 Kento Watanabe, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita	4. 巻 -
2. 論文標題 Development Support Mechanism for Deep Learning Agent on DASH Agent Framework	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the 11th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems	6. 最初と最後の頁 526-534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_48">https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_48</a>	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 Ryuta Sugie, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Verification Using Multi-agent Simulation for Evacuation Guidance with Robots	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of the 11th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems	6. 最初と最後の頁 516-525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_47">https://doi.org/10.1007/978-3-319-61566-0_47</a>	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4件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 杉江竜太, 打矢隆弘, 内匠逸
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ロボットによる避難誘導の評価
3. 学会等名 JAWS2019
4. 発表年 2019年~2020年

1. 発表者名 春日井暁久, 毛利元昭, 船瀬新王, 内匠 逸, 打矢隆弘
2. 発表標題 屋外位置推定のための内積を用いたBLE電波強度テンプレートマッチング手法の検討
3. 学会等名 DPSワークショップ2019
4. 発表年 2019年~2020年

1. 発表者名 杉江 竜太, 打矢 隆弘, 内匠 逸
2. 発表標題 災害時における安全性向上のための施設常備型ロボットによる避難誘導手法の検証
3. 学会等名 JAWS2018
4. 発表年 2018年~2019年

1. 発表者名 杉江 竜太, 打矢 隆弘, 内匠 逸
2. 発表標題 自動巡回ロボットによる避難誘導実現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 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02017)シンポジウム
4. 発表年 2017年~2018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
--	---------------------------	-----------------------	----