

## エージェント型 IoT デバイスの連携による 避難行動支援機能

片山 健太<sup>†,§</sup> 横山 真悟<sup>‡,§</sup> 加藤 匠<sup>‡,§</sup> 高橋 秀幸<sup>‡,§</sup>  
横田 信英<sup>§</sup> 杉安 和也<sup>¶</sup> 木下 哲男<sup>‡,§</sup>

大地震による津波、集中豪雨などの未曾有の天災に備えることが喫緊の課題となっている。自然災害発生時には、平時の屋内外の状況が一変するため、突発的に発生する予測困難な災害に対する避難行動支援が難しい。本研究では、ロボット、家電、センサ、携帯端末などの IoT(Internet of Things)機器が協調・連携を行いながら状況を把握することで自律的に避難行動プランを決定し、迅速な避難誘導を支援するエージェント型避難行動支援システムについて述べる。本稿では、エージェント型 IoT (AIoT) に基づく避難行動支援システムの概要、状況把握機能、避難行動プラン生成機能、試作システムについて述べる。

### Function of Evacuation Guidance Support by Cooperation among Agent-based IoT Device

Kenta Katayama<sup>†,§</sup>, Shingo Yokoyama<sup>‡,§</sup>, Takumi Kato<sup>‡,§</sup>,  
Hideyuki Takahashi<sup>‡,§</sup>, Nobuhide Yokota<sup>§</sup>,  
Kazuya Sugiyasu<sup>¶</sup>, Tetsuo Kinoshita<sup>‡,§</sup>

Recently, it is an urgent problem to prepare for natural disasters. When natural disasters occur, it changes greatly indoor and outdoor situations. Therefore, it is difficult to support evacuation guidance during sudden and unexpected disasters. We propose an agent-based evacuation guidance support system which autonomously determines the evacuation guidance plans based on the recognized situations by the cooperating among the IoT devices, in order to support evacuation guidance. This paper describes the evacuation guidance support function based on agent-based IoT, which includes the situation recognition and evacuation path planning. We implemented a prototype system to investigate the proposed function in physical and simulation environment.

### 1. はじめに

世界中で様々な自然災害が頻繁に発生しており、特に大地震、津波の襲来、集中豪雨、台風、噴火などの巨大災害は甚大な被害をもたらすため、巨大災害の被害軽減に向けた対策・解決策が必要とされている。既存の避難行動支援の取り組みとして、避難誘導用標識や電光表示板[1]が設置されているが、広いエリアに多数設置すると莫大な費用がかかるという問題に加えて、災害時に倒壊してしまう恐れがあり、避難情報を適切に避難者に伝達できない可能性がある。そこで近年、情報通信技術(ICT)を活用した災害対策支援システムが期待されている。本研究では、ロボット、家電、センサ、携帯端末などの IoT(Internet of Things)機器が協調・連携を行いながら状況を把握することで避難行動支援を行うシステムの実現を目的とする。本稿では、エージェント型 IoT(AIoT)に基づく避難行動支援システムの概要、状況把握機能、避難行動プラン生成機能、試作システムについて述べる。

### 2. 関連研究と技術的課題

#### 2.1 関連研究

ロボットを用いて効果的に災害対策支援を行うための研究が行われている。例えば、マルチエージェントに基づく Unmanned Aerial Vehicle (UAV)の効率的なタスクスケジューリングの研究[2]では、災害時に UAV が状況視察を行う際に、バッテリー残量を考慮して経路スケジューリングを即時的に行う。また、Micro Aerial Vehicle (MAV)による災害時の屋内ナビゲーションシステムの研究[3]では、MAV は、自身の持つセンサを利用して生成する屋内環境の 3D マップを基に、与えられた複数の目的地(災害現場)を通る経路を計画して自律飛行を行う。しかし、状況を把握するために視察すべき地点は人手で指定する必要がある。災害時に即応的に状況を把握するための機能は不足している。また、ロボットを用いて避難行動支援を行う研究が行われている。例えば、ガス漏れ時の避難行動シミュレーションの研究[4]では、ガス検知センサを設置した UAV を飛行させ、広範囲のガス漏れを検知・通知した際の避難行動シミュレーションを行っている。さらに、屋内のマルチロボットによる避難誘導シミュレーションの研究[5]では、複数のロボットが連携を行いながら、効率的に最短かつ通過可能な出口へ

<sup>†</sup> 東北大学工学部電気情報物理工学科  
Department of Electrical, Information and Physics Engineering, Tohoku University  
<sup>‡</sup> 東北大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University  
<sup>§</sup> 東北大学電気通信研究所  
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University  
<sup>¶</sup> 東北大学災害科学国際研究所  
International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

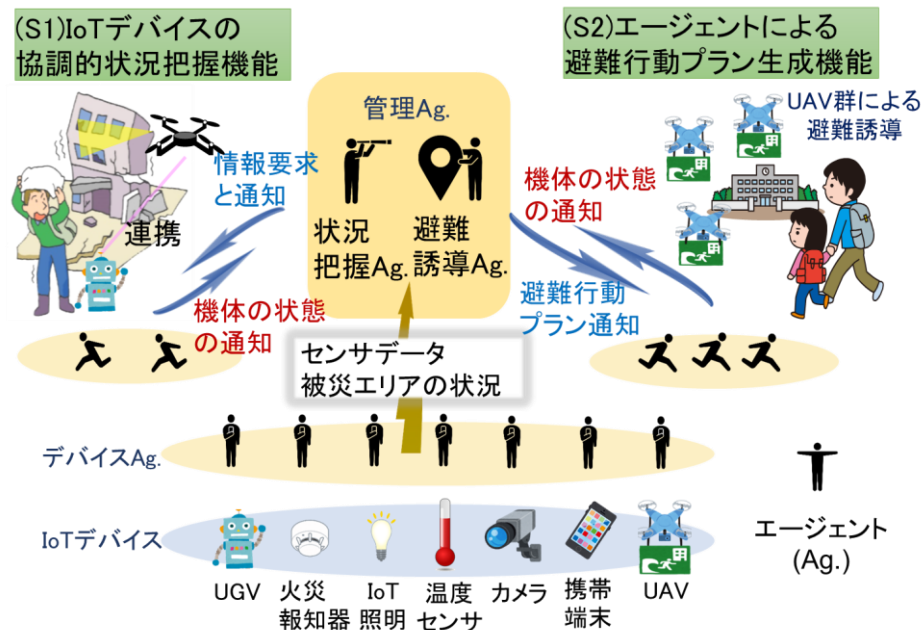


図1 AIoT型避難行動支援システム

避難者の誘導を行う。しかし、これらの研究においては、被災状況の変化を考慮しつつ、避難者の誘導を行うことができない。

## 2.2 技術的課題

既存研究では、災害時の状況、及び、2次災害の状況、地域の特性など、刻々と変化する被災地の状況に合わせて被災者の効果的な避難支援を行うためには、以下の2つの技術が不足しているため避難支援が困難である。

**(P1) 平時から状況が大きく変化する場合や突発的に発生する予測困難な災害の状況を把握する機能が不足しているため、柔軟な状況把握が難しい**

例えば、平時の状況から予測できない建物の倒壊、火災による被災地の状況変化や、予測困難な余震などの新たな災害や2次災害の状況を把握し続けるのが難しい。

**(P2) 災害の状況や2次災害、地域の特性に応じて、刻々と対応の変化が求められる避難支援を行うための枠組みが不十分であり、状況に応じた避難行動支援が難しい**

例えば、家屋の道路上への倒壊や地震による地割れといった急な環境の変化に柔軟に対応した安全な避難行動支援を提供し続けるのが難しい。

本稿では、AIoTに基づく避難行動支援システムを実現するためのIoTデバイスによる協調的状況把握機能とエージェントによる避難行動プラン生成機能を提案する。

## 3. AIoT型避難支援システム

### 3.1 AIoT型避難支援システムの概要

図1にAIoT型避難行動支援システムの概要を示す。本システムは、各IoTデバイスに対して、エージェント技術を適用したIoTデバイスの知能化を行うことで実現される。AIoT型デバイスを構成要素とし、それらが相互に協調・連携することで、被災状況に応じた自律的な避難行動支援を行う。具体的には、UAV, Unmanned Ground Vehicle (UGV), 様々なセンサ、カメラを含むIoTデバイス群、それらを制御するエージェント、及び、管理エージェントなどから構成されるエージェント群によって、避難行動支援機能の提供を行う。図1のIoTデバイス群は、それぞれデバイスエージェントによって管理される。デバイスエージェントは、センサデータ、被災エリアの状況を、UAV, UGV等のアクチュエータの行動経路プランを生成する管理エージェントへ送信する。管理エージェントは、送信された情報とアクチュエータの状態の情報を利用し、アクチュエータの行動経路プラン生成・通知を行う。アクチュエータを管理するエージェントは、通知された経路プランに従って避難行動支援を行う。本システムでは、避難行動支援として要救助者、被災状況の把握とUAV群による自律的な避難誘導を行う。本稿では、AIoTに基づいて提供される(S1)IoTデバイスの協調的状況把握機能と(S2)エージェントによる避難行動プラン生成機能について、焦点を当てそれぞれ述べる。

### 3.2 IoTデバイスによる協調的状況把握機能

本機能では、エージェントが制御を行うセンサ群による災害現場の特定と、センサ群とUAV, UGVなどの様々なデバイスが協調動作を行うことで被災状況の把握を行う。各デバイスエージェントは、そのデバイスの位置情報とその位置の危険度を保持する。危険度とは、平時にデバイスが取得するセンサ値と、災害時のセンサ値や情報から各エージェントが算出する危険に関する度合いである。デバイスエージェントは、被災状況が変化した場合に、これらの情報を管理するエージェント、すなわち、(i)状況把握エージェントと、(ii)避難誘導エージェントによって管理される。例えば、大火災により火災センサが異常を検知した際、火災センサを制御するエージェントは、自分の位置と危険度、つまり火災の規模の情報を(i), (ii)のエージェントに送信し、(i), (ii)は受信したそれらの情報を管理する。状況把握エージェントは、センサ群から送信される情報とUAV, UGV群の状態(稼働できるUAV, UGVの数、バッテリー残量、現在の位置、移動速度など)を参照し、状況把握のために必要なセンサとセンサデータの把握・収集を行う。具体的には、被災状況の把握のために使役するUAV, UGV等のアクチュ

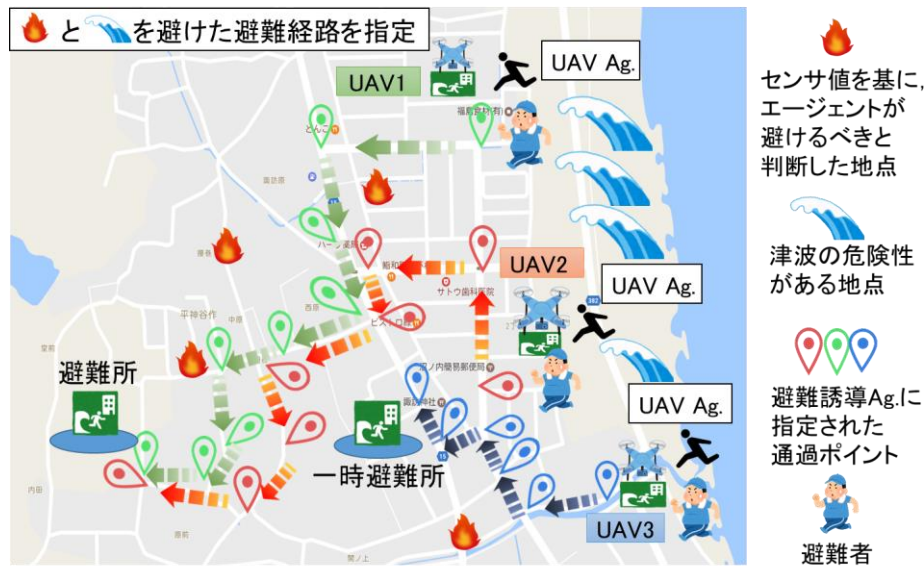


図2 AIoT型 UAV 群による避難誘導の例

エージェントの選定を行い、状況把握に必要なセンサ(位置を含む)を各 UAV, UGV エージェントに通知する。通知を受けた UAV, UGV エージェントは、通知されたセンサの情報に基づき状況把握を行う。災害現場が多数の場合は、危険度の高い地点を優先して状況把握を行う。このように、異なる機能を持つ IoT デバイス群が状況に応じて協調・連携することで平時から状況が変化する場合でも被災環境の把握を行うことを目指す。

### 3.3 エージェントによる避難行動プラン生成機能

本機能では、管理エージェントの一つである避難誘導エージェントが、各 AIoT 型デバイスから送られるデバイスの位置、危険度の情報、UAV, UGV 群の状態に加え、IoT デバイスの協調的状況把握機能で取得した災害現場の状況を利用して、どの UAV や UGV がどのような経路で避難誘導を行うかという避難行動プランを生成し、避難誘導が可能な UAV, UGV などのエージェントに通知する。自然災害の状況や2次災害、地域の特性に柔軟に対応した避難行動支援を行うため、避難行動プランは、デバイスエージェントから随時送信されるデータや IoT デバイスの協調的状況把握機能で取得した災害現場の状況に応じて変更される。例えば、最初に生成した避難行動プランで指定した避難経路上のある地点で2次災害が発生した場合、その地点を通らず、新たな避難経路を指定する避難行動プランを再生成する。避難経路は、危険度が高い地点

を通過しない最短経路を、最短経路問題を解くことで導出する。生成された避難行動プランの通知を受けた UAV, UGV エージェントは、避難行動プランに基づき、避難誘導を行う。

生成された避難行動プランに基づく AIoT 型 UAV による避難誘導の例を図2に示す。避難経路は、スタート地点から避難所、一時避難所までの経路上の複数の通過ポイントを避難誘導エージェントが導出することで決定する。避難誘導エージェントは、UAV の飛行経路を複数の通過ポイントとして指定することで避難経路を決定する。避難場所幟を設置した AIoT 型 UAV は、指定された通過ポイントへ順番に自律飛行していくことで避難誘導を行う。また、避難誘導エージェントは、安全な避難誘導のため、センサ値を基に、エージェントが避けるべきと判断した地点や、津波の危険性がある地点といった、危険な地点を通過しない避難経路を指定する。

## 4. 実装と実験

### 4.1 協調的状況把握機能の試作

UGV と UAV の連携による協調的状況把握機能の試作を行った。具体的には、UAV による UGV の探索、UGV への追従、UGV と UAV の協調による追従動作、状況把握完了後の UGV への着地に関する動作検証を行った。

図3に、本実験で利用した UAV, UGV とカメラ認識用タグを示す。本実験では、UAV として AR.Drone2.0 (Parrot)を使用した。UAV には、フロントカメラと底部カメラが備わっており、両方から映像を取得できる。UAV は、2つのカメラでタグを認識し、タグの位置や距離などに応じて、UAV の進む速さや方向、行動(離陸・着陸)を指定することで動作制御を行う。フロントカメラでは、図3のタグ1を認識し、底部カメラではタグ2を認識する。また、UAV を誘導する、マップ情報を管理する UGV として TurtleBot2を用いた。UAV と UGV の制御には、Robot Operating System (ROS)を用いた。

図4に、動作実験のスナップショットを示す。まず、離陸した UAV は旋回、上昇・下降しながら、UGV 上のタグ1を探索する(図4(a))。発見後、タグ1がフロントカメラの中央に映るように調節を行い、タグ1に向かって飛翔する(図4(b))。UAV とタグ1との距離が一定より近くなると、図4(c)のように上昇を始め、底部カメラでタグ2をつけた UGV を発見するために、UGV のいる前方へと飛翔する(図4(d))。底部カメラでタグ2を発見後、UAV は、タグ2が底部カメラの中央に映るように UGV を追従し(図4(e))、タグ2がカメラの中央に映ると、UAV は UGV の天板に着地を行う(図4(f))。被災状況の把握を行うため、位置情報を管理する UGV と高い飛翔・撮影能力を有する UAV それぞれの特性を活かし、UAV が UGV を発見、追従し物理的に接地する機能を実現したことで、(S1)協調的状況把握においてエージェントに必要な機能の一部の動作の確認をした。

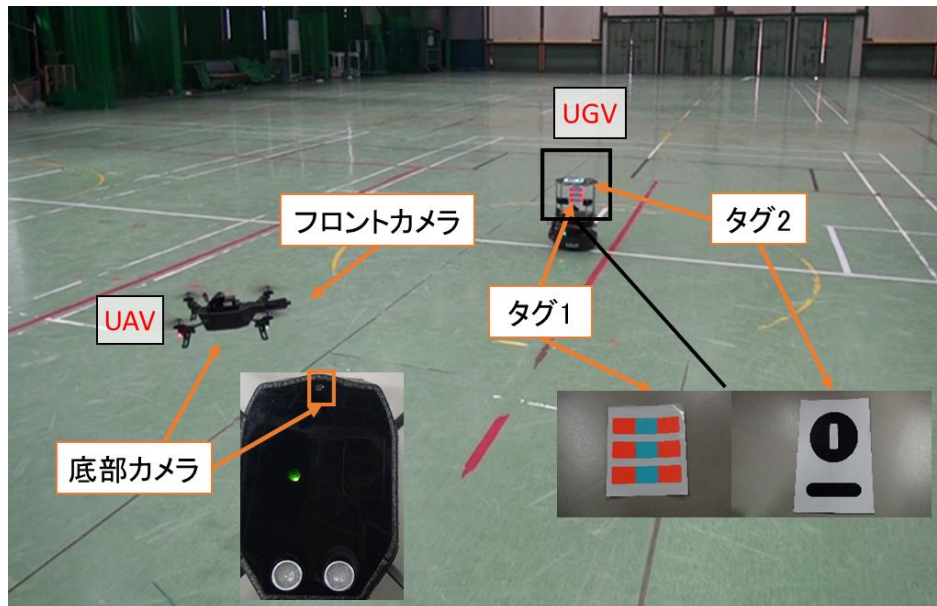


図3 実験で用いた UAV, UGV とカメラ認識用タグ

#### 4.2 AIoT 型 UAV による避難誘導の試作

AIoT 型 UAV による避難誘導の試作を行った。具体的には、避難誘導エージェントに指定された避難経路上の複数の通過ポイントへ順番に飛行し、目的地まで避難誘導を行う UAV の動作シミュレーションを行った。

本実験では、避難誘導を行う UAV として Phantom 4(DJI)を使用した。UAV の動作制御には、DJI 社が提供している DJI Mobile SDK を利用し、Android OS 上で動作するシミュレーション実験環境を開発した。動作シミュレーションの実行環境には、DJI Assistant 2[6]を用いた。また、各エージェントの開発には、エージェントプログラミング環境 DASH[7]の統合開発環境である IDEA[8]を用いた。避難誘導エージェントは IDEA 上で避難経路を指定し、UAV エージェントは指定された避難経路をアプリ側へ送信する。

図 5 にシミュレーション実験の様子を示す。図 5(a)に DJI Assistant 2 上で動作する UAV の動作シミュレーションの様子、図 5(b)に開発したアプリケーションの動作例を示す。避難誘導のスタート地点として東北大学片平キャンパス、目的地として仙台駅を想定し、実験を行った。図 5(b)の locate ボタンを押すと、google map 内に赤い飛行

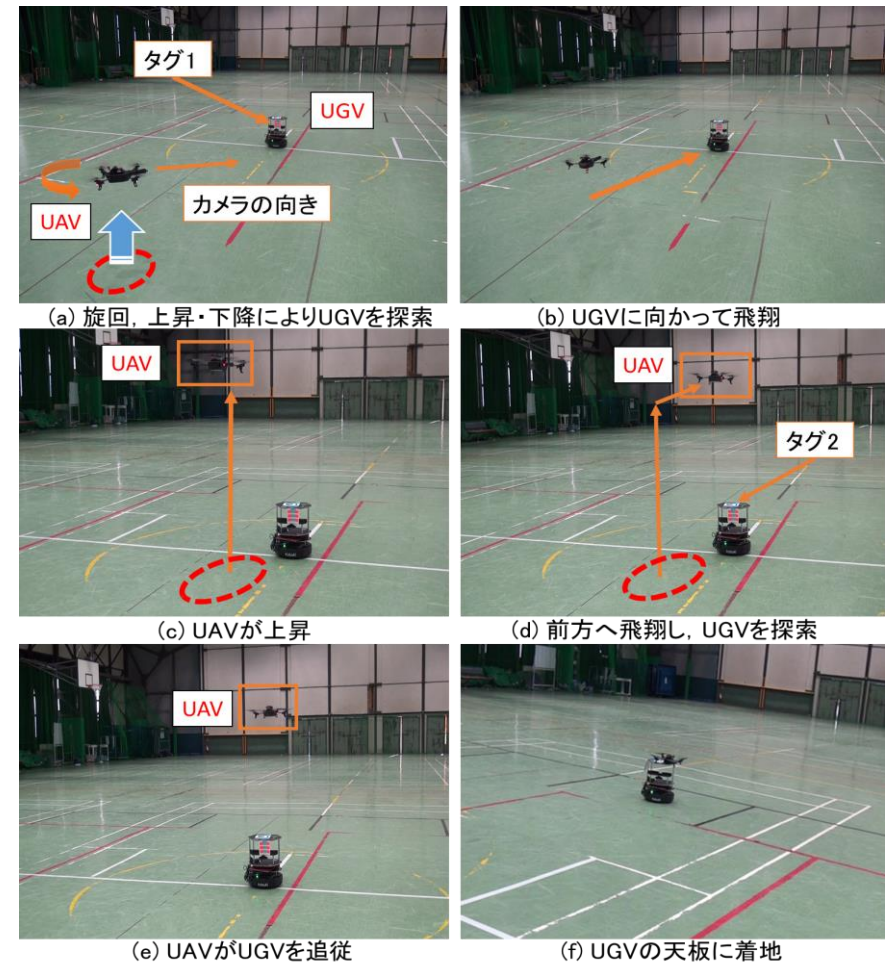


図4 UGV と UAV による状況把握機能の動作例

機アイコンが現在地として表示され、それと同時に、避難経路の指定要求が避難誘導エージェントへ送信される。要求を受けた避難誘導エージェントは、一番優先度の高い(危険度が低い)避難経路を指定し、避難経路を構成する通過ポイントを順次 UAV エージェントへ送信する。アプリへ送信された通過ポイントは、図 5(b)のように google

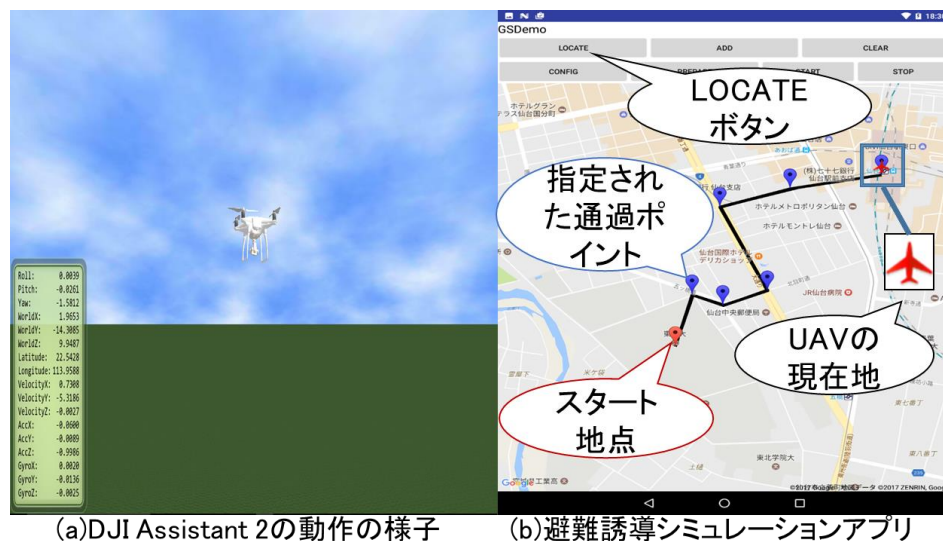


図5 AIoT型 UAVによる避難誘導シミュレーション

map上に青いアイコンとして追加され、通過ポイントの送信が終わると、UAVは指定された順番に飛行する(図5(a)). 図5(b)の黒線は避難誘導の軌跡を示している. 以上の結果から、シミュレーション上で、避難誘導エージェントに指定された通過ポイントへUAVが順番に飛行する機能を実現したことで、(S2)避難行動プラン生成機能において必要な機能の一部を実現することができた.

## 5. おわりに

本稿では、災害時の様々な状況に応じて、自律的に避難行動支援を行うAIoTに基づく避難行動支援システムについて述べた. また、協調的状況把握機能の一部としてUGVによるUAV誘導機能の試作、動作確認を行った. さらに、避難行動プラン生成機能の一部として、避難誘導エージェントに指定された避難経路によりUAVが避難誘導を行う機能の試作、動作確認を行った. 今後は、デバイスエージェントと管理エージェントの連携機能の設計、UAVによる避難誘導の実環境実験を行う.

**謝辞** 本研究の一部は、JSPS 科研費 16K00118, 15J06341, 16K00292 の助成を受けたものである.

## 参考文献

- 1) 積水樹脂株式会社 防災・減災関連製品 「避難路の安全対策製品」  
<http://www.sekisuijushi.co.jp/products/eqproduct/hinanro/> (accessed 2017-02-06)
- 2) D. Budaev, K. Amelin, G. Voschuk, P. Skobelev, N. Amelina, “Real-time task scheduling for multi-agent control system of UAV’s group based on network-centric technology,” Proc. of the 2016 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pp.378-381, Apr. 2016.
- 3) M. Nieuwenhuisen, D. Droeshel, M. Beul, S. Behnke, “Autonomous MAV Navigation in complex GNSS-denied 3D Environments,” Proc. of the 2015 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), Oct. 2015.
- 4) M. Xiong, D. Zeng, H. Yao, Y. Li, “A Crowd Simulation based UAV Control Architecture for Industrial Disaster Evacuation,” Proc. Of the 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference, May 2016.
- 5) S. Zhang, Y. Guo, “Distributed Multi-Robot Evacuation Incorporating Human Behavior,” Proc. of the 2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), pp.864-869, June 2016.
- 6) DJI DEVELOPER “Testing, Profiling&Debugging”  
<https://developer.dji.com/mobile-sdk/documentation/application-development-workflow/workflow-testing.html> (accessed 2017-02-06)
- 7) K. Sugawara, H. Hara, T. Kinoshita, and T. Uchiya, “Flexible Distributed Agent System programmed by a Rule-based Language”, Proc. of the Sixth IASTED International Conference of Artificial Intelligence and Soft Computing, pp. 7-12, 2002.
- 8) T. Uchiya, T. Maemura, H. Hara, K. Sugawara, and T. Kinoshita, “Interactive Design Method of Agent System for Symbiotic Computing,” International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence, Vol. 3, No. 1, pp. 57-74, 2008.