

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2018～2020

課題番号：18KT0011

研究課題名(和文) 天災に適応し地域防災力を強化する避難行動支援システムに向けた実証的研究

研究課題名(英文) Empirical Research for Evacuation Guidance Support System to Strengthen Regional Disaster Prevention Adapting to Natural Disasters

研究代表者

高橋 秀幸 (TAKAHASHI, Hideyuki)

東北学院大学・教養学部・准教授

研究者番号：40509072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：自然災害の発生時には、建物内の損壊、家屋の道路上への倒壊、火災などによって平時の屋内外の状況が一変する場合があります。本研究では、突発的に発生する予測困難な災害に備えた避難行動支援について研究開発を行った。具体的には、地震発生後の津波からの避難行動支援を対象とし、沿岸部地域において、Unmanned Aerial Vehicle (UAV)、センサ、携帯端末などのIoT機器が状況に応じて協調・連携し、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の開発、実証実験フィールドである福島県いわき市薄磯区において住民参加型の避難訓練を通じた実証実験と評価を行うことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、平時の状況から環境が大きく変化した場合でもIoT機器の自律的な連携によって、適応的に現状で最も適切な避難行動支援を提供し、要避難支援者を安全かつ迅速に避難支援を行うための包括的な避難行動支援技術の研究開発を行うことができた。また、災害・防災の専門家と情報通信システムの専門家による様々な知見を有機的に連携することで、分野横断的な避難行動支援システムの開発を行うことができた。また、試作システムの一部は、実際の地域住民参加型の防災訓練に導入し、地元消防団、警察官、地域住民の方々にも確認いただき議論する機会や新しい科学技術に興味や関心を持っていただくための試みなども行うことができた。

研究成果の概要(英文)：Recently, natural disasters including earthquakes, tsunami and floods occur frequently. We need to determine and take a suitable shelter for enabling evacuation from tsunami waves when great earthquake occurs. We developed an evacuation guide supporting system using Internet of Things (IoT) Devices. Specifically, we proposed an agent-based evacuation guide supporting system. Our proposed system autonomously provides evacuation guidance according to the disaster situations by cooperating IoT devices. IoT devices are controlled by software agents. For example, we implemented the function provides efficient evacuation guidance by UAVs. The function provides searching evacuation guidance routes and cooperating other UAVs according to circumstances. We performed some experiments to evaluate our proposal and carried out disaster drill in Iwaki city, Fukushima Prefecture, Japan. We challenged to patrol around coastal area using UAVs in cooperation with fireman and fire engine.

研究分野：マルチエージェントシステム

キーワード：防災・減災 避難行動支援 情報通信システム 分散処理 マルチエージェント

1. 研究開始当初の背景

近年 地震や記録的な豪雨などの大きな自然災害が世界各地で発生している。日本においては、東日本大震災以降、今後の大地震による巨大津波の襲来、集中豪雨、台風、噴火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。現在、情報通信技術(ICT)を活用した様々な災害活動・避難行動支援、SNS (Social Networking Service) やハザードマップを含む情報共有支援システムなどが開発されている。避難行動(避難誘導)支援システムに関しては、過去の被害状況、あるいは、平時のデータ・情報を反映した避難誘導を行うことが多い。しかし、自然災害発生時には、建物内の損壊、避難経路となる道路上に家屋などの倒壊、火災、土砂崩れ、液状化現象などによって平時の屋内外の状況が一変する。そして、津波や土砂災害、二次災害による火災などによって、予定していた避難場所が危険な状態となり新たな避難場所などを自力で探すことが必要になる場合もある。そのため、現状の避難行動支援システムでは、平時から大きく状況が変化する場合や突発的に発生する予測困難な災害が発生する場合の避難行動支援が難しい。また、自然災害の状況や二次災害、沿岸・山間部や都市部の地域の特性に応じて、刻々と対応の変化を求められる避難行動支援が困難である。そこで、自然災害、二次災害の状況と地域の特性に適応し、迅速かつ柔軟な避難行動を支援する避難行動支援システムを実現するための新たな強化支援技術が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、ロボット、ドローン(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)、センサ、携帯端末などの通信機能を備えた人工物をIoT(Internet of Things)機器とし、そのIoT機器、SNS、過去の災害アーカイブを活用し、IoT機器同士が自律的に連携しながら、災害および避難行動要支援者の状況を把握し、適応的に避難誘導を実現するための避難行動支援システム構築基盤技術の確立と実証実験の実施を目的とする。

具体的には、ロボット、ドローン、センサ、携帯端末などの通信機能を備えた人工物をIoT機器とし、そのIoT機器同士が自律的に連携しながら災害の状況および避難行動要支援者の状況を把握し、適応的に避難誘導を実現するためのエージェント指向の避難行動支援システム構築基盤技術の確立と実証実験フィールドとした実験の実施である。

なお、東日本大震災の甚大な被害を受けた地域(主に福島県いわき市)を実証実験フィールドとして研究開発を推進する。地震・津波によって一変した被災地区は、震災復興土地区画整理事業によって日々刻々と復旧・復興整備による変化が発生している。また、社会インフラそのものが日々開発・整備され地区全体の環境が変化している状況である。そこで、日々の社会インフラの環境変動、さらには住環境・人口の変化が発生する実環境下で実験を行うため、毎年1回実施される地域住民参加型の避難訓練時に試作システムや機能を導入する形で実証実験を行う。

3. 研究の方法

本研究では、IoT機器(災害観測用のセンサ、ロボット、携帯端末、照明など)が連携しながら状況を把握するIoT機器の連携技術の開発、災害状況(二次災害の危険性、通行止めの箇所、火災など)の情報に基づき自律的に避難行動支援プランを決定する避難行動プラン生成機能、屋内・屋外及び日中・夜間に応じたロボット、家電、照明、サイネージ機器等による迅速な避難誘導支援機能、また、通信断絶時の可視光を用いた携帯端末への避難経路などの情報提供機能、携帯端末のLED光源などから要救助者発見機能を有する包括的な避難行動支援システムを実現するための理論的な枠組みとシステム構築基盤技術の開発、実証実験による提案システムの効果の検証を行う。また、実証実験フィールドの地域の自治体関係者、消防団などと連携し、地域住民向けの避難訓練において、本研究に基づき試作した機能や試作システムの導入を行う。さらに、避難訓練で得られた結果から、防災教育の一環として実証実験フィールドの地域住民へフィードバックや今後の防災計画に関する整理を行う。具体的には、以下の開発項目(1)~(5)について開発を行った。

(1) 既存関連技術の調査・分析

解決すべき技術的課題の明確化とフィールド調査を行った。

(2) 避難行動支援プラットフォームの開発

上記(1)の調査・分析結果を整理し、本研究の核となる自律適応型の避難行動システムの提供機能およびアーキテクチャの設計を行った。

(3) 屋内・屋外の避難誘導支援機能の開発

スマートフォンなどの可視光デバイスを利用した非常時の要救助者発見機能の開発を行った。また、視認性の高い津波避難場所の標識を搭載した複数台のドローンが連携し、要避難対象者を避難所まで誘導を行う機能の開発を行った。さらに、避難行動プラン生成機能の開発として、状況に応じた避難行動プランを導出し、プランに応じて各避難誘導機能が支援を行うなど、役割に基づくドローンの避難誘導支援方式を検討した。

(4) IoT機器の連携技術の開発

IoT 機器群がエージェントとして動作するための動作・制御知識の形式化を行い、自走(飛行)ロボットと環境センサ向けの協調・連携方式を開発した。

(5) 試作システムの実装と評価

避難行動支援向けの試作システムの設計および実装を行い、定性的および定量的な観点から本研究に関する評価を行った。また、実証実験フィールドにおいて、住民参加型の避難訓練時において、試作システムを活用した実験を行った。

4. 研究成果

研究方法に基づき研究開発を行った結果、以下の主な研究成果を得ることができた。なお、2019 年度後半からの新型コロナウイルス感染拡大の影響により、最終年度の実証実験においては、コロナ禍における新しい生活様式を考慮した形で地域住民参加型の避難訓練を実施し、本研究に関する実証実験を行った。

(1) 避難行動支援プラットフォームの開発

エージェント技術を適用することで、IoT デバイスの智能化を行ったエージェント型 IoT (AIoT) デバイスを構成要素とし、その AIoT デバイスが相互に協調・連携することで、被災状況に応じた避難行動の支援を行うためのプラットフォーム開発を行うことができた。

(2) 屋内・屋外の避難誘導支援機能の開発

可視光通信(光 ID)を用いた屋内避難誘導支援機能の開発を行った。スマートフォンのアプリケーションを想定し、僅かな光 ID の情報から詳細な情報に変換し、要救助者の位置情報などを取得する機能である。基礎的研究として、ドローンに搭載したカメラと LED ライトを用いて、LED から送信される擬似ランダム信号を光 ID として受信する検証実験を行った。試作段階であるが、光 ID のエラーフリー受信に成功することができた(図 1(1),(2))。また、ドローンによる可視光を利用した要救助者検出機能の試作を行い、夜間、要救助者が携帯端末の可視光(光)をドローンに向けて振りかざすことで、ドローンが周辺を探索しながら人などによって動いている光か、照明等の動かない光かを判別しながら、人の可能性が高い場合には、光に近づき映像を転送する、そして、照明等の動かないモノの可能性が高い場合には、他の光を探しながら探索する機能を開発することができた(図 1(3))。

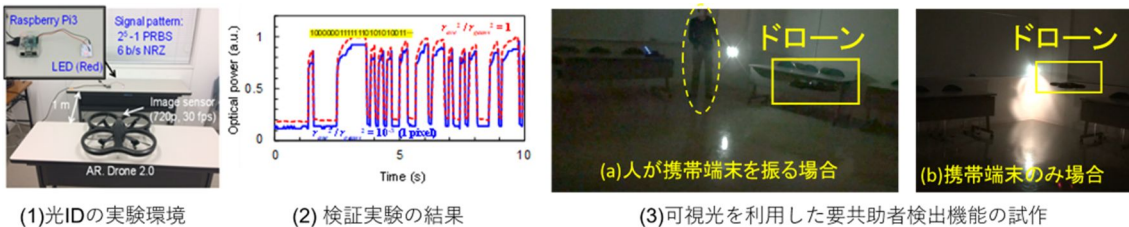


図 1. 屋内の避難誘導支援機能に関する実験および結果

また、屋外の避難誘導支援機能として、沿岸部地域の津波からの避難の際に、視認性の高い避難場所案内看板(幟)を取り付けた複数台のドローンが連携し、地元住民や土地勘のない観光客を二次災害(火災や家屋倒壊など)や津波の危険性のある箇所を避けながら避難場所まで誘導する、または、要救助者の把握へ切り替えるといった、複数台のドローンの連携による避難誘導支援のための避難誘導プラン生成と経路選択、複数のドローンの協調による避難誘導機能を開発した。シミュレーション実験(図 2(1))および実環境上での実機を用いた実験により有用性を確認することができた(図 2(3))。

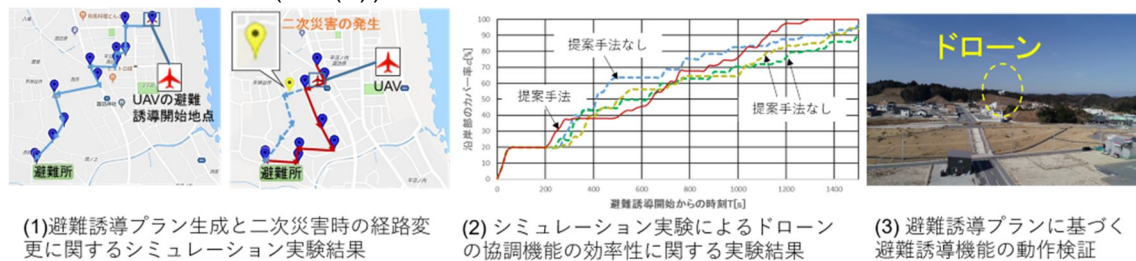


図 2. 屋外の避難誘導支援機能に関する実験および結果

(2) IoT 機器の連携技術の開発

IoT 機器群がエージェントとして動作するための動作・制御知識の形式化の検討と基本設計、自走(飛行)ロボットと環境センサ向けの協調・連携方式を提案することができた。IoT 機器が有する機能を入出力機能ごとに細分化し、再利用可能なエージェントとして管理・制御を行う方針とした。具体的には、被災状況が変化した場合に、センサデータ、デバイス情報、被災エリアの状況を管理する状況把握エージェントと避難誘導エージェントが連携を行う。例えば、火災により火災センサが異常を検知した場合は、火災センサを制御するエージェントが、自分の位置と危険度、つまり火災の規模の情報を状況把握エージェントと避難誘導エージェントに送信する。状況

把握エージェントと避難誘導エージェントは、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各 IoT 機器群の状態(稼働可能な自走ロボットやドローンの数、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。また、被災状況の把握を実際に行う自走ロボットやドローンなどの選定を行い、状況把握に必要なセンサ(位置を含む)を各エージェントに通知する。各エージェントは、通知されたセンサの情報を基に状況把握を行う。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。本手法により異なる機能を持つ IoT 機器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が可能となった。また、自走ロボットおよびセンサなどを利用した実環境上での実験を通して、本提案方式の有用性を確認することができた。

(3) 実証実験フィールド(いわき市)における住民参加型の津波避難訓練の実施と実証実験

2018年10月21日と2019年10月26日に福島県いわき市薄磯地区が実施する住民参加型の津波避難訓練時に、本研究で開発した機能の一部を活用し、消防団と合同で実験を行った。2018年10月21日の避難訓練時には、ドローンによる避難誘導の有効性の検証の一つとして、避難場所に関する標識を装着したドローンが避難者にとって有効であるかどうか、そして、その標識の視認性などを確認した。また、海で溺れている要救助者の救助を想定し、アタッチメントと浮き輪を搭載したドローンが浮き輪を届けるデモンストレーションを行うことができた(図3(1))。2019年10月26日の避難訓練時には、消防団員および消防車との連携支援として、ドローンのカメラ映像を活用した見回り活動を実施した。消防団員がドローンの見回り映像を確認しながら避難の際に逃げ遅れた要救助者を発見し(図3(2))、消防車に場所と救助指示を行うといった一連の救助活動をドローンと消防団員が連携することが可能であることを確認できた(図3(3))。



図3. ドローンを活用した津波避難訓練の実証実験の様子

(4) コロナ禍における避難訓練を通じた実証実験

2020年11月29日に福島県いわき市薄磯地区の実証実験フィールドにおいて、薄磯地区の自治体関係者、薄磯復興協議委員会、消防団等とコロナ禍での避難訓練および実証実験を実施した(図4)。コロナ禍において三密を避けながら避難所までの避難および避難所での待機に関する避難所運営管理、地震発生直後時に消防自動車での広報活動および見回り後、津波襲来の恐れがある状況下で消防自動車の代わりに2台のドローンを活用して逃げ遅れた人がいないかどうかに関する搜索活動および広報活動、電気自動車に蓄えられた電力を活用した炊き出し訓練など、本研究で開発した各種支援機能も活用しながらコロナ禍での避難訓練を実施することができた。実証実験フィールドにおいて、コロナ禍で自然災害が発生することを想定した避難訓練は初めての試みであったが、多くの地域住民の方に参加いただき、危機意識を共有しながら防災教育を実施することができた。また、新しい生活様式を考慮した避難行動支援に関する課題の整理に加えて、緊急時のドローンを活用した見回り支援に関する新たな知見を得ることができた。



図4. コロナ禍における住民参加型の避難訓練実施の様子

(5) その他

本研究に関する研究協力者と2018年度から2020年度にかけて、国際会議 GCCE(Global Conference on Consumer Electronics)における防災・減災に関する企画セッション(OS-DRR: Practical Issues, Systems & Applications for Disaster Risk Reduction)、国際会議 BigComp2019(IEEE International Conference on BigData and Smart Computing)において国

際ワークショップ The First International Workshop on Practical Issues, Systems & Applications for Disaster Risk Reduction in Smart Computing (DRRSC 2019)を企画し、開催を行った。本研究課題に関わる防災・減災をテーマとした分野横断的な議論の場として、専門分野の異なる国内外の様々な研究者が参加し、本研究課題に関する活発な議論を行うことができた。さらに、本研究課題について、産学官金連携フェア 2019 みやぎ、みやぎ地域連携マッチング・デイ 2020 に出展を行い、研究者だけでなく、産業界や官公庁の関係者と本研究課題に関する今後の共同研究や新たな応用分野などについて議論することができた。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件）

1 . 発表者名 Hideyuki Takahashi, Kenta Katayama, Nobuhide Yokota, Kazuya Sugiyasu
2 . 発表標題 Evacuation Guide Supporting System using UAV for Coastal Area
3 . 学会等名 Proc. of the 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2021), pp.239-240, Mar. 2021. (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Nobuhide Yokota, Hiroshi Yasaka, Kazuya Sugiyasu, Hideyuki Takahashi
2 . 発表標題 Motion-Tolerant Method for Extracting Spatially Distributed Visible Light IDs
3 . 学会等名 Proc. of the 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2020), pp.267-268, Oct. 2020. (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kazuya Sugiyasu, Hideyuki Takahashi, Nobuhide Yokota, Kenichi Sugiyama, Kiyomi Onodera
2 . 発表標題 Method of Decreasing Dead Angle Zone Under the Tsunami Evacuation Patrol Used by UAVs
3 . 学会等名 Proc. of the 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019), pp.1060-1061, Oct. 2019. (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nobuhide Yokota, Hiroshi Yasaka, Kazuya Sugiyasu, Hideyuki Takahashi
2 . 発表標題 Spatial Distribution Extraction of Visible Light IDs for Supporting Robotic Rescue Efforts
3 . 学会等名 Proc. of the 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019), pp.7-8, Oct. 2019. (Excellent Paper Award (Silver Prize)を受賞) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Kobayashi, Tatsuya Yamazaki
2. 発表標題 A Narrow-Area Specific Messaging System for Tsunami Evacuation
3. 学会等名 Proc. of the 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019), pp.1032-1033, Oct. 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Tsuchida, Hideyuki Takahashi, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita
2. 発表標題 Design of Shopper Support Function by Cooperation of Agent-based IoT Devices
3. 学会等名 Proc. of the 2019 IEEE 1st Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2019), pp.175-176, Mar. 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Katayama, Hideyuki Takahashi, Nobuhide Yokota, Kazuya Sugiyasu, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita
2. 発表標題 An Effective Multi-UAVs-based Evacuation Guidance Support for Disaster Risk Reduction
3. 学会等名 Proc. of the 6th IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp 2019), Feb. 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuhide Yokota, Hiroshi Yasaka, Kazuya Sugiyasu, Hideyuki Takahashi
2. 発表標題 Motion Tolerance for Dynamic Object Recognition Using Visible Light IDs
3. 学会等名 Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp. 702-703, Oct. 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuya Sugiyasu, Shunsuke Sasaki, Naoki Araya, Hideyuki Takahashi, Nobuhide Yokota, Kenta Katayama, Michimasa Matsumoto
2. 発表標題 Assessment Method of Tsunami Evacuating Behavior Used by GPS and GIS
3. 学会等名 Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp. 223-224, Oct. 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenta Katayama, Hideyuki Takahashi, Nobuhide Yokota, Kazuya Sugiyasu, Tetsuo Kinoshita
2. 発表標題 Cooperation Scheme of Multi-UAVs for Evacuation Guidance Support
3. 学会等名 Proc. of 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), pp. 221-222, Oct. 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋秀幸, 片山健太, 横田信英, 杉安和也
2. 発表標題 沿岸部地域向け避難行動支援システムの試作と実験 - 福島県いわき市薄磯地区を事例として -
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会講演論文集, 5F-07, pp.4-431-4-432, Mar. 2021.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角田脩, 高橋秀幸
2. 発表標題 ライフログと感情に基づく過去の出来事に関する手がかり提示支援機能の設計
3. 学会等名 2020年度 情報処理学会東北支部研究会, Jan. 2021.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉安和也, 高橋秀幸, 横田信英, 橘一光, 松本行真
2. 発表標題 ドローンによる残存者探索を組み込んだ津波避難訓練の取り組み-2019 年福島県いわき市薄磯区の事例-
3. 学会等名 令和元年度東北地域災害科学研究集会, Dec. 2019.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋秀幸, 杉安和也, 横田信英, 寅屋敷哲也, 佐藤翔輔, 井元智子, 田中利和
2. 発表標題 環境調和型防災・減災システムに関する取り組み
3. 学会等名 第24回先進的情報通信工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋秀幸, 杉安和也, 横田信英, 寅屋敷哲也, 佐藤翔輔, 井元智子, 田中利和
2. 発表標題 IoT機器を活用した人と環境調和型の防災・減災機能とジオデザインに関する共同研究
3. 学会等名 第4回東北大学若手研究者アンサンブル研究会, Jan. 2019.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉安和也, 高橋秀幸, 横田信英, 片山健太, Garcia Fry Martin, 橘一光, 小野寺清美, 菊地弘幸
2. 発表標題 東日本大震災被災地における復興事業完了後の津波避難訓練の取り組み-2018年福島県いわき市薄磯区の事例-
3. 学会等名 平成30年度東北地域災害科学研究集会予稿集, Dec. 2018.
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

高橋秀幸, "公開講座 大人の教養倶楽部モノのインターネット (IoT) による多様な地域課題への取り組み," 人間情報学研究, 第26巻, p.89, 2021.
高橋秀幸, 杉安和也, 横田信英, "沿岸部地域向け避難誘導ドローンの開発," アンサンブル Grant 研究成果インタビュー, 東北大学附置研究所・センター連携体, Oct. 2020.
高橋秀幸, "IoT機器を活用した沿岸部地域向け避難支援システムの研究開発と地域実証," 一般社団法人 日本私立大学連盟の提言・事例集『私立大学理工系分野の研究基盤の強化と向上 - 科学技術イノベーションの推進に向けて - 』, P.74, May 2020 .
高橋秀幸, "ドローンを活用した防災・減災への取組と応用サービスの紹介," 公益財団法人みやぎ産業振興機構「みやぎ地域連携マッチング・デイ2020」, Jan. 2020.
高橋秀幸, 杉安和也, 横田信英, 杉山健一, 小野里清美, "沿岸部地域向け避難誘導ドローンの開発," 産学官金連携フェア2019みやぎ, Jan. 2019.

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
研究協力者	横田 信英 (YOKOTA Nobuhide)		
研究協力者	杉安 和也 (SUGIYASU Kazuya)		
研究協力者	山崎 達也 (YAMAZAKI Tatsuya)		
研究協力者	鶴川 義弘 (UGAWA Yoshihiro)		
研究協力者	寅屋敷 哲也 (TORAYASHIKI Tetsuya)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	佐藤 翔輔 (SATO Shosuke)		

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