

小型ドローンを用いた 屋内自動巡回システムの設計と試作

谷田言[†] 高橋秀幸^{††}

ビルや商業施設などの建物では、昼夜ともに警備員が巡回業務を行っている。特に、建物が高層であるほど、階層間の移動が多くなり、巡回業務にかかる時間と負担が増加する。災害発生など有事の際には、屋内から人々が避難した後、屋内に逃げ遅れた人がいないかどうかの確認、および屋内の被害状況の把握が必要となる。しかし、避難後の屋内の搜索や調査は、消防隊などの到着を待つ必要があるため、発災後、屋内の状況把握は困難と言える。これらの課題を解決するために、ロボットや情報通信技術の研究開発の発展によって、自走するロボットなどが検討されているが、エレベータや階段を使用して上下階に移動が必要な建物の場合には、自走ロボットなどを各階のフロアに配置するなどの対応が必要となる。加えて、近年のビルや商業施設、大学などには、吹き抜けの空間を有する建物が多い。

Design and Implementation of an Indoor Autonomous Patrol System using Small Drones

Koto Tanita[†] and Hideyuki Takahashi^{††}

In buildings such as offices and commercial facilities, security personnel conduct patrol duties day and night. Particularly in tall buildings, the movement between floors increases, leading to an increase in the time and burden associated with patrol duties. In the event of a disaster, after people have evacuated from indoors, it is essential to confirm whether anyone has been left inside and to assess the extent of damage indoors. However, searching and investigating indoors after evacuation typically require waiting for the arrival of emergency response teams such as the fire department. Therefore, post-disaster assessment of indoor conditions becomes challenging. In this research, the aim is to reduce the workload of security guards in their patrol duties and realize rapid information gathering after a disaster by using automatic indoor drone flight to perform indoor patrol duties in place of security guards in normal times, and to check whether there are any people left inside and assess the damage in an emergency. In this paper, the automatic take-off function, autonomous flight function, human detection function, human tracking function, and prototype system are described.

1. はじめに

ビルや商業施設などの建物では、昼夜ともに警備員が巡回業務を行っている。特に、建物が高層であるほど、階層間の移動が多くなり、巡回業務にかかる時間と負担が増加する。災害発生時には、屋内から人々が避難した後、屋内に取り残された人がいないかどうかの確認、および屋内の被害状況の把握が必要となる。しかし、避難後の屋内への搜索や調査は、消防隊などの到着を待つ必要があるため、発災後、屋内の状況把握は困難と言える。これらの課題を解決するために、ロボットや情報通信技術の研究開発の発展によって、自走するロボットなどが検討されているが、エレベータや階段を使用して上下階に移動が必要な建物の場合には、自走ロボットなどを各階のフロアに配置するなどの対応が必要となる。加えて、近年のビルや商業施設、大学などには、吹き抜けの空間を有する建物が多い。

一方、自走ロボットなどに加えて、ドローンの様々な活用が検討されている。屋外向けのドローンは、GPSを搭載することで位置を把握しながら飛行することが可能である。屋内向けのドローンの多くは、小型でGPSなどを搭載していないためGPS以外での自己位置推定や飛行可能距離、バッテリーの制約などの課題があるが、小型であるため屋内の巡回や狭い場所の調査などへの応用が期待されている。本研究では、屋内向けの小型ドローンに着目し、屋内を自動飛行することで巡回可能なシステムの実現を目指す。具体的には、小型ドローンとして、トイドローンを活用し、ドローンの離陸と屋内の巡回を自動化し、平時には、警備員に代わって屋内の巡回業務を行い、有事の際には、屋内に取り残された人がいないかの確認や被害状況の把握が可能なシステムの実現を目指す。これにより、警備員の巡回業務の負担軽減と災害発生後の迅速な情報収集の実現を目指す。なお、本研究では、ドローンの操縦は、人手で行わず、ドローンが自律飛行を行うことで巡回等を行う。また、対象とする建物として、建物内に吹き抜けがあり、トイドローンが吹き抜けを利用することで上下階を移動しながら屋内巡回や被害状況の確認などを行うことを想定する。

本稿では、トイドローンが屋内を自動で巡回するためのシステムの概要、本提案システムを構成する基本機能として、災害発生を検知するとドローンが自動で離陸する機能、ドローン離陸後に自律的に巡回および調査・確認のために飛行する機能、飛行中に人を発見した場合、人を発見したことを知らせるための通知機能、巡回中に発見した人を追尾する機能の設計について述べる。また、基本機能を用いた試作および試作した機能を用いた予備実験結果について述べる。

[†] 東北学院大学教養学部情報科学科
Department of Information Science, Faculty of Liberal Arts, Tohoku Gakuin University

^{††} 東北学院大学情報学部データサイエンス学科
Department of Data Science, Faculty of Informatics, Tohoku Gakuin University

2. 関連研究と技術課題

2.1 関連研究

屋内環境において、小型ドローンを活用するための様々な研究開発が行われている。例えば、操縦者がドローンを安全で迅速に飛行できる操縦性に着目した研究[1]やドローンの自律飛行に関する様々な研究がある[2-6]。例えば、トイドローンの単眼カメラ画像から深度を推定し、障害物回避を目指した研究[2]や AR マーカを用いてドローンの制御を目指した研究[3,4], GPS を取得しやすい屋外と GPS を取得することが難しい屋内という異なる環境間をドローンが自動巡回する研究がある[5]。この研究では、ドローンの飛行ルートを予め設定し、飛行中は、ドローンに搭載した上下 6 つの魚眼レンズが捉えた情報を AI が解析することで、目印などを設置することなく、約 150 cm の狭所な階段の昇降や、柱などの障害物を自動で回避しながらドローンが屋内外を往復飛行することが可能である。また、建設現場におけるドローンの屋内飛行を自動化する研究もある[6]。この研究では、Visual SLAM と飛行させる屋内の BIM や 3D モデルから作成したマップを組み合わせた手法を用いている。なお、Visual SLAM とは、ドローンが未知の環境下で、機体に搭載されているカメラやセンサからの情報をもとに、自己位置を推定し、同時に移動しながらその環境の地図を作成する技術である。この技術と 3D マップをルート設計に活用することで、頻繁に飛行環境が変化する建設現場における自動巡回と立体的な飛行ルートの可視化を可能にしている。

2.2 技術的課題

既存研究では、屋内における小型ドローンの操縦性の向上や障害物回避などの技術開発に加えて、ドローンによる平時の巡回警備や屋内の点検など比較的運用方法が決定している研究である。そのため、災害発生などの有事の場合や平時といった様々な状況に応じた活用を想定したものではない。よって、平時の巡回警備などは可能であるが、有事の際の異なる対応が困難であるといえる。

また、既存研究におけるドローンの自動巡回を実現するための手法は、AI による解析や Visual SLAM などの高度な技術を用いているため、高性能な専用ドローンやドローンの制御端末が必要となるなど、システム導入のためのコストが高くなるといった問題や事前に飛行のための地図生成を行う必要があるが、有事の際には、防火扉（防火戸）などが閉まる場合があるため事前の地図生成が利用できない可能性がある。

以上の課題を解決するため、本研究では、吹き抜けなどがある建物（ビルや商業施設、大学、病院など）を想定し、ドローンの自律飛行には、AR マーカを用いることで、屋内におけるドローンの自動巡回を可能とし、トイドローンの性能でも処理可能な巡回支援を基本とすることで、システムの導入コストを抑えつつ、また、平時の巡回警備だけでなく、災害が発生した有事にも対応したドローンの自動巡回システムを

提案する。

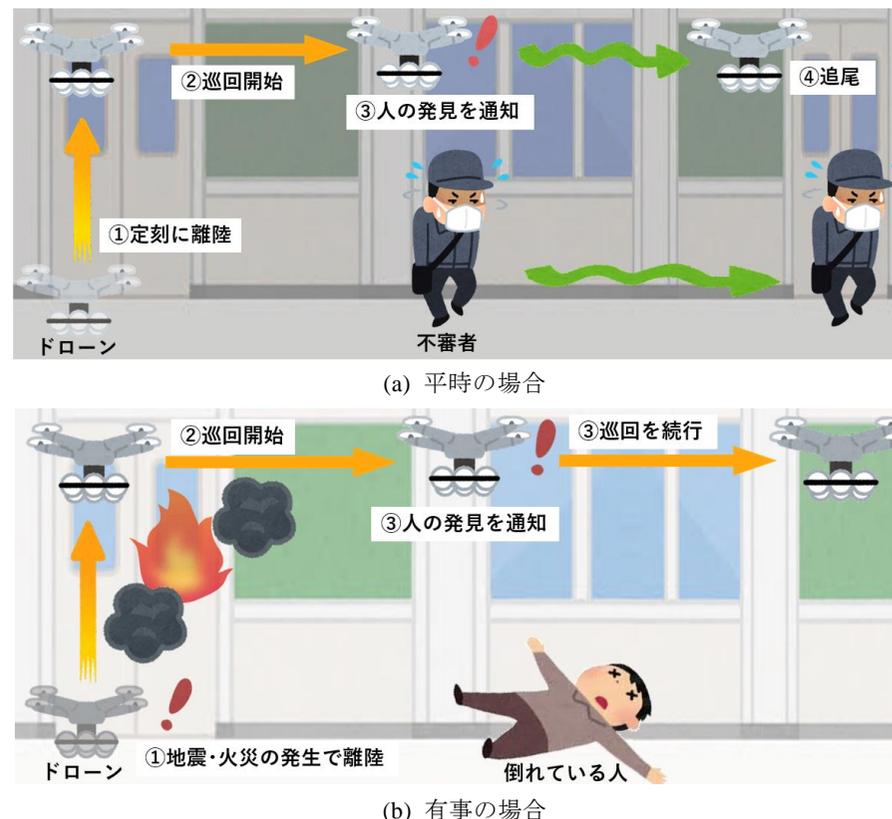


図 1 小型ドローンの屋内自動巡回システムの概要

3. 小型ドローンの屋内自動巡回システム

3.1 提案システムの概要

図 1 に小型ドローンの屋内自動巡回システムの概要を示す。本提案システムは、平時と有事でドローンの動作が異なる。平時（図 1(a)）は、定刻になるとドローンが離陸し、屋内の巡回を開始する。屋内に警備員のみが駐在する夜間の巡回中に、人を発見した場合は、システムは発見した人を不審者と判断し、管理者へ通知、およびその

人を追尾する。有事の際（図 1(b)）には、地震または火災が発生した場合にドローンが離陸する。巡回中に人を発見した場合は、取り残された人がいることを管理者に通知し、通知後は巡回を続行し、他にも取り残された人や逃げ遅れた人がいないかどうかを探索する。本提案システムを構成する主な機能としては、ドローンが状況に応じて自動で離陸する自動離陸機能、指定した飛行ルートを実行する自律飛行機能、人の発見を通知する人検知機能、発見した人を追尾する追尾機能である。

3.2 提案システムを構成する基本機能

本提案システムを構成する4つの基本機能、すなわち(1)自動離陸機能、(2)自律飛行機能、(3)人検知機能、(4)追尾機能について、以下に述べる。

(1) 自動離陸機能

自動離陸機能は、人の手を介さずにドローンが自動で離陸する機能である(図 2)。平時は、予め設定した時間にドローンが自動で離陸する。一方、有事の際、例えば、地震が発生した場合や火災が発生した場合には、緊急地震速報やIoT(Internet of Things)機器として各種センサなどによって、異常などを検知したことを管理者の端末に通知が届き、地震や火災の発生が自動離陸のトリガとなり、ドローンが自動で離陸する。なお、本機能は、ドローン管理者のスマートフォン(スマホ)に、災害発生の通知に加えて、ドローンが離陸したことを通知する機能を有する。

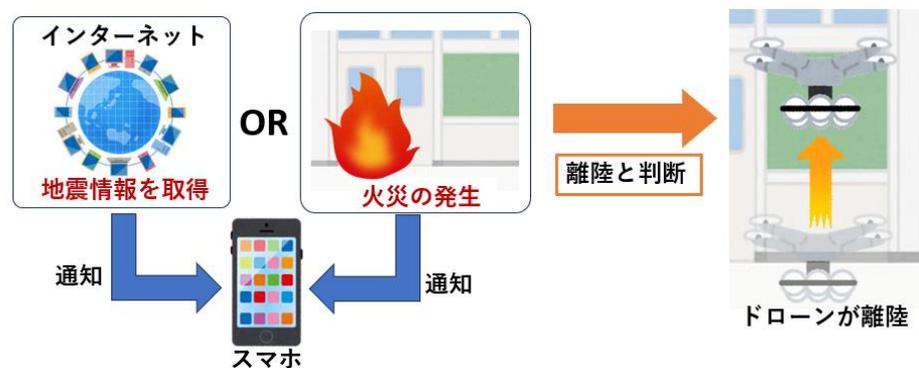


図2 自動離陸機能

(2) 自律飛行機能

自律飛行機能は、ドローンが自動で屋内を飛行するための機能である。本提案では、ドローンの自律飛行の基本的な制御には、AR マーカを利用する。具体的には、基本的な飛行制御コマンドごとに AR マーカを用意し、その AR マーカを任意の箇所に設

置することで建物の屋内環境に応じた自律飛行制御のカスタマイズが可能である。図3に、自律飛行機能の動作イメージを示す。ドローンが飛行中にAR マーカを読み取ると(図3(a))、ドローンは、読み取ったAR マーカに登録されている制御コマンド(例えば、前進を続ける、旋回する、上昇するなど)に基づき飛行を継続する(図3(b))。

(3) 人検知機能

人検知機能は、ドローンの飛行中、ドローンのカメラ映像に人が写り込んだ場合、管理者へ通知を送る機能である(図4)。例えば、平時の夜間の屋内巡回飛行中に人を検知した場合は、その人を不審者と判断し、管理者等のスマホへ通知する。一方、有事の際の巡回飛行中に人を検知した場合は、対象者を逃げ遅れた人や要救助者として判断し、管理者等のスマホに通知する。

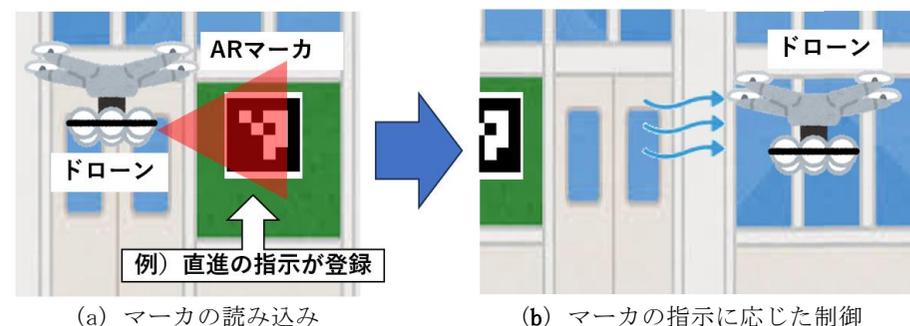


図3 自律飛行機能の例

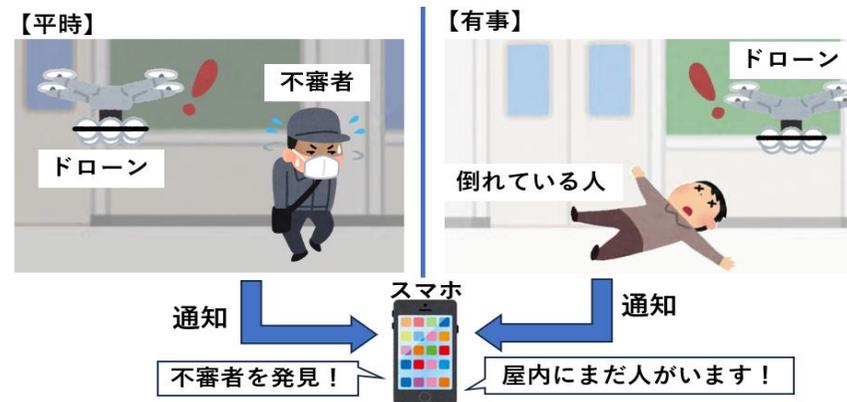


図4 人検知機能

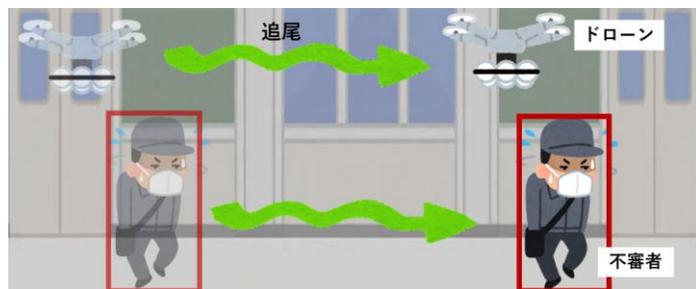


図 5 追尾機能

(4) 追尾機能

追尾機能は、平時における警備員のみが駐在する夜間の巡回において、発見した人を不審者と判断した際に、その人を追尾する機能である(図 5)。ドローンが不審者を検知した際には、ドローンは、不審者と一定の距離を取りながら飛行することが可能である。なお、ドローンのカメラ映像に複数の不審者が写り込んだ場合は、ドローンに近い人を追尾する。

4. 試作システムの設計と実装

4.1 設計

試作システムの設計について述べる。試作システムで利用する機器と構成を図 6 に示す。試作システムでは、有事の際の例として、火災検知や地震発生を想定する。今回は、ドローンの制御管理端末として、Raspberry Pi を用いた。また、Raspberry Pi に煙センサを接続することで、火災の発生の検知を行う。地震の発生検知は、インターネットから災害情報を取得することで検知する。Raspberry Pi とドローンは、ソケット通信で接続し、ドローンの制御管理端末である Raspberry Pi からドローンへ離陸コマンドを送信する。その際、Raspberry Pi から管理者のスマホには、ドローンが離陸し、巡回飛行を開始することを通知する。また、人を発見した際にも通知を行うことが可能である。

4.2 実装

4.2.1 自動離陸機能のための災害情報の取得

まず、試作システムの開発言語には、Python を用いた。次に、災害情報の取得には、Websocket API を利用し、日本気象協会サイトの地震情報が記載されるページから地震の震源地、地震の発生時刻、マグニチュード、最大震度を取得する。災害情報の取得

プログラムは、5 秒おきに Web サイトを閲覧し、閲覧した内容が前回閲覧した時の内容と異なっていた場合のみ、各情報を再度スクレイピングする。地震が発生した場合には、スクレイピングした震源地と最大震度の数値によってドローンを離陸させるかどうかを判断する。

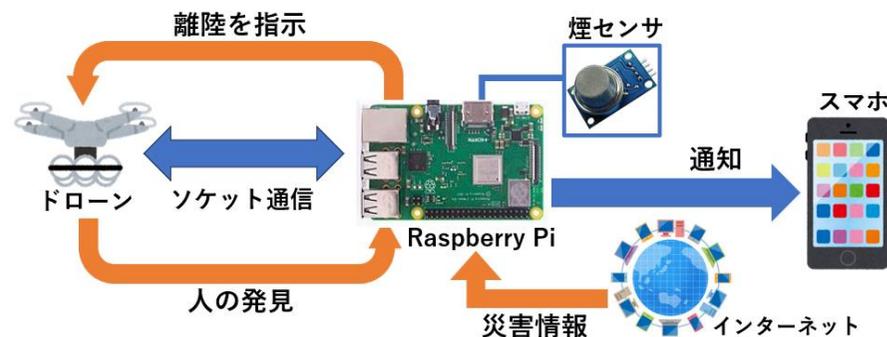


図 6 試作システムの構成

4.2.2 AR マーカによる自律飛行

自律飛行機能には、ArUco という AR マーカを用いた。マーカのサイズは 200 とし、建物の管理者などが壁などに設定する飛行ルートの AR マーカを設置する。実際のドローンの飛行は、rc コマンドを用いて制御する。ドローンのカメラ映像から検出した AR マーカの座標と面積から rc コマンドに代入する数値を決定する。ドローンが飛行中、AR マーカを発見できない場合や AR マーカを認識できなかった場合は、ドローンが、AR マーカを探索する動作を実行する。具体的には、360° の旋回と上下に上昇・下降を行うことで AR マーカの探索を行う。

4.2.3 人の検出・追尾

ドローンに搭載しているカメラのフレーム画像から人を検出する制御は、YOLOv8 を利用した。プログラム上で信頼度が 0.6 以上の「人」のみを検出できるように閾値を設定し、誤認識を防止している。また、ドローンに搭載しているカメラのフレーム画像から複数の人が検出できた場合は、その人数をカウントすることが可能である。

4.2.4 通知の送信

ドローンが離陸した際や人を発見した際に行われる管理者への通知は、LINE Notify API を用いることで、管理者の LINE アカウントに通知する。人を発見した場合は、人を発見したこと、発見した人の人数を通知する。有事の際、例えば、火災が発生した場合は、火災が発生したこと、ドローンの離陸コマンドを送信したことを通知し、地震が発生した場合は、ドローンに離陸コマンドを送信したことに加え、地震が発生

したこと、発生時刻、震源地、マグニチュード、最大震度を通知する。

5. 予備実験

5.1 自動離陸機能の予備実験

まず、予備実験で使用するドローンとして、DJI の小型ドローン Tello を使用した。予備実験として、地震が発生した場合を想定し、自動離陸機能の実験を行った。地震発生 の情報を取得し、ドローンに離陸コマンドを送信した際の管理者のスマホへの通知画面を図7に示す。図7では、地震の発生時刻、震源地、マグニチュード、最大震度を管理者のスマホに通知し、地震の発生 の情報を取得した直後にドローンが離陸したことを知らせる通知を受信できることを確認した。今回の予備実験では、震源地、最大震度にこだわらず、地震発生 の情報を取得すれば通知が送られ、ドローンが離陸するように設定しているが、震源地や最大震度を予め設定することも可能である。例えば、震源地を「宮城県」、最大震度が「6以上」の場合のみ、ドローンを離陸させるというように設定することが可能である。

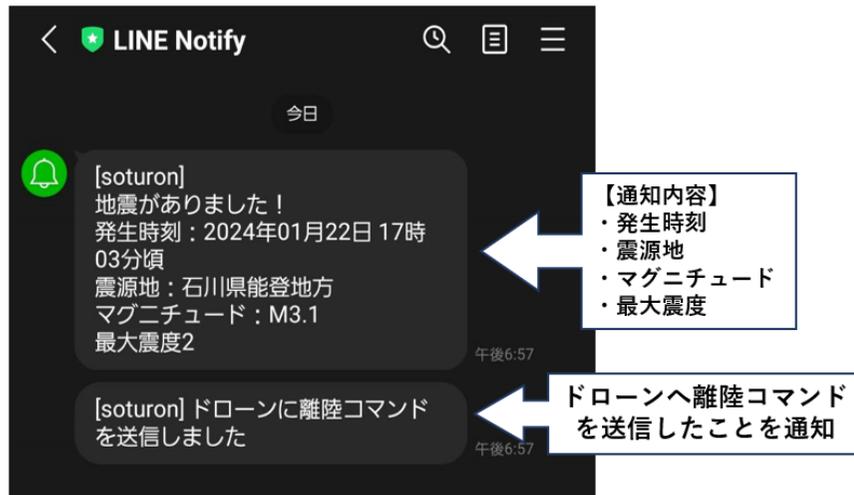


図7 ドローンが離陸する時のLINEの通知画面

5.2 自律飛行機能の予備実験

図8に予備実験におけるARマーカの配置とドローンの設置場所を示す。部屋の壁に4枚のARマーカを設置し、ID0にはドローンが着陸するコマンド、ID1にはドローンが左に90°回転するコマンドを設定している。今回の予備実験における飛行ルート

を図9に示す。ID1が設置されている壁から5m以上の距離をとった位置からドローンを離陸させる。その後、マーカを読み取りながら部屋を一周し、最後はID0を読み取り、着陸する予定である。実験結果として、ドローンは、ARマーカとの距離が5m程度になるとARマーカを検出し、ARマーカの制御に従って、予定したルートを飛行することができた。なお、ドローンの飛行ルートに関しては、長い廊下などのある建物の場合は、直線に飛行する距離が長くなるが、その際には、直線に飛行しつつ、定期的にARマーカを探索するといった仕組みを導入することで、ARマーカを見失っているかどうかを判別しながら巡回することが可能であると思われる。



図8 ARマーカの配置図



図9 ドローンの飛行ルート

5.3 人の検知と追尾機能の予備実験

ドローンに搭載しているカメラのフレーム画像を取得し、その画像から YOLOv8 を用いて人のみを検出する。フレーム画像から人を検知した場合、管理者へ人を発見したことを通知、および発見した人をドローンが追尾できるかどうかに関する予備実験を行った。結果として、フレーム画像から人を検出し、管理者へ通知を送ることが可能であった。図 10 に人を検出した際の LINE の通知画面を示す。通知内容は、人を発見したこと、検出した人の人数である。この機能によって、有事の際に、逃げ遅れている人の数などを数えながら巡回することなどが可能である。追尾機能に関しても、発見した人の動きに合わせて、ドローンがその人と一定の距離を取りながら追尾を行うことを確認できた。

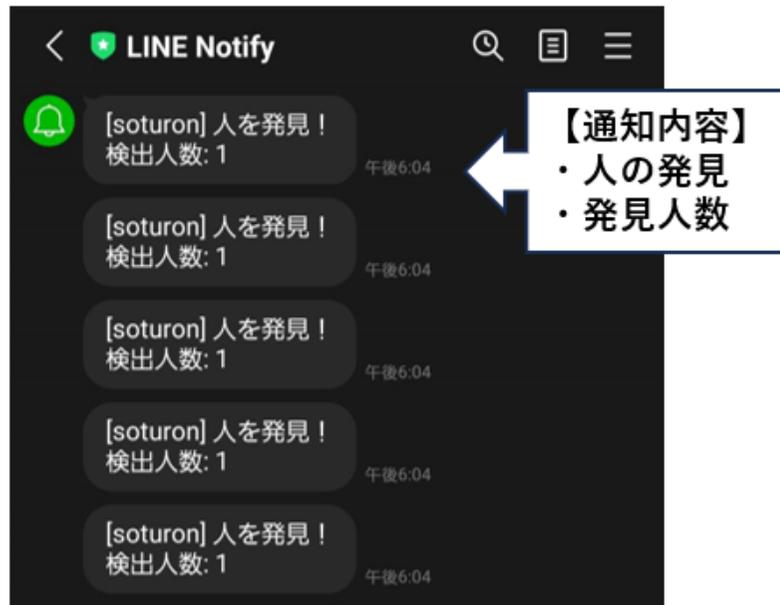


図 10 人を発見した時の LINE の通知画面

6. おわりに

本稿では、平時と有事に対応した小型ドローン用いた屋内自動巡回システムについて述べた。予備実験では、各機能が正常に動作することが確認できた。このことから、各機能を統合することで、平時の自動巡回だけでなく、発災直後にも対応可能なシス

テムを実現することが可能といえる。

今後は、各機能の統合、および自律飛行の予備実験で計画した飛行ルートよりも長い距離の飛行や、建物の吹き抜けなどを利用した自動巡回の実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 竹内一真, 藤睿, 佐藤健哉, “狭小空間監視のためのドローンを利用した AR 可視化方式の実装と評価,” 情報処理学会論文誌, No. 64, Vol. 2, pp. 614-625, Feb. 2023.
- 2) 東内元気, 西川広記, 孔祥博, 富山宏之, “単眼深度推定モデル MiDaS を用いたトイドローン Tello の障害物回避,” 情報処理学会研究報告, No.2023-EMB-64, Vol.6, pp.1-2, Nov. 2023.
- 3) 菊池慶仁, 加島正爽, “AR マーカーに基づくドローンの自律飛行,” 工学研究:北海学園大学大学院工学研究科紀要, Vol.18, pp.33-37, 2018.
- 4) 菊池慶仁, 阿部太智, “AR マーカーに基づくドローンの自律飛行 (第 2 報),” 工学研究:北海学園大学大学院工学研究科紀要, Vol.19, pp.17-22, 2018.
- 5) PR Wire: <https://kyodonewsprwire.jp/release/202104193816> (Accessed 2024/1/19)
- 6) SENSYN: <https://www.sensyn-robotics.com/news/takenaka-komuten> (Accessed 2024/1/19)