

### 3. フィールド実験による調査点検ロボットシステムの検証評価

奥川雅之・倉橋奨・落合鋭充・三浦洋靖・渡邊彩夏

#### 1. はじめに

本研究プロジェクトでは、災害現場においてロボット技術を活用することにより、消防隊員のリスク低減（安全確保）を目的とした消防隊員の活動支援実現を目指している。その中で、平成27年（2015年）から豊田市消防と連携し遠隔操縦型調査点検ロボットを活用した合同訓練を行っている。合同訓練を通じて、消防機関が災害時（火災、地震、水難など）にロボットに必要とする能力の把握、他の災害対応ロボットとの差別化について、愛工大と豊田消防との連携を通じて検討しロボット（Scott）の研究開発を進めている。さらに、本研究プロジェクトで研究開発を進めている調査点検ロボットScottをベースとする災害時の各種調査に利活用できる調査点検ロボットシステムの社会実装（製品化、事業化）に向けた基盤確立を目指している。本報告では、2021年9月3日（金）に豊田市旧藤岡交流館にて実施された豊田市北消防署との合同訓練をもとに、本調査点検ロボットシステムの検証評価結果について述べる。

#### 2. 合同訓練概要

2021年9月3日（金）に豊田市旧藤岡交流館において、ロボットとレスキュー隊員との連携による大規模地震災害への対応を想定し、レスキュー隊員によるブリーチングによって開けられた開口部からロボットを先行投入し、捜索対象空間の被災状況（有害ガスの漏洩、倒壊程度、空間把握：2D環境地図作成）調査および要救助者の捜索発見を試みた。搭載したセンサ類は、マルチガスセンサ（GX-2009、理研）、熱画像カメラ（AX8、FLIR）、測域センサ（UST-20LX、北陽電機）とした。また、現場のレスキュー隊員とのコミュニケーション用途として、iPadとWi-Fiネットワークカメラ（Tapo C100、tp-link）を導入した。

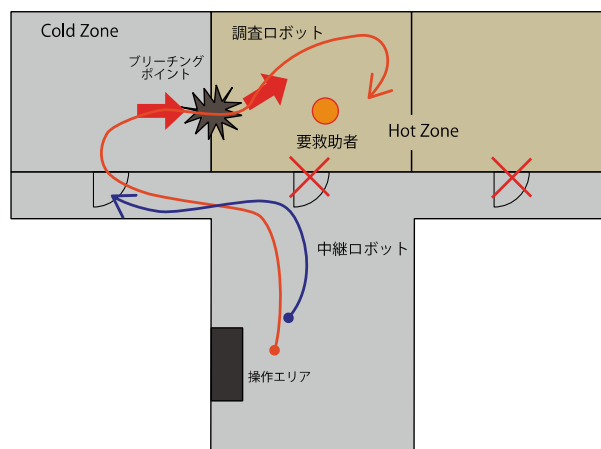


図1 訓練対象エリア間取図とロボット移動経路

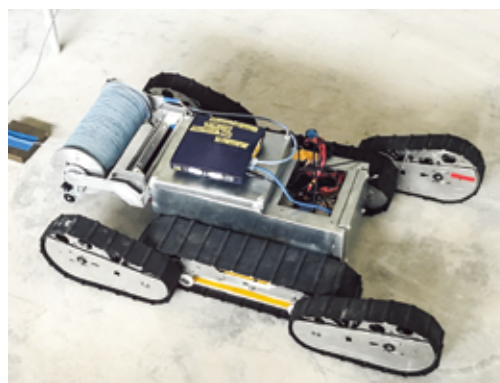


図2 訓練で使用したロボット：左 調査ロボット、右 中継（ケーブル敷設）ロボット

### 3. 技術課題と成果

#### (1) ケーブル敷設ロボットによる通信環境構築

調査対象エリアが、コンクリート建物内であることから、無線通信品質の劣化あるいは通信途絶の可能性があった。そこで、調査ロボットと有線通信ケーブルを敷設可能(今回は約15mのメタルケーブル)な中継ロボットを用意し、無線アクセスポイントを開口部手前に設置できるようにした。中継ロボットに巻取/送出制御を実現したオートリール装置を搭載し、通信ケーブルのたるみや極度な突っ張りのないケーブル敷設を実現することができた。



図3 中継ロボットによる通信ケーブル敷設の様子

#### (2) ブリーチング開口部からのロボット投入方法

当初は、人手(愛工大学生)でロボットをブリーチング開口部から投入する予定であった。しかし、当日、調査ロボットが自走し開口部を通過し、調査対象エリアに進入することとなった。我々としては、三角形(一辺60cmの正三角形)上の開口部を遠隔操縦にて通過することが初めての試みであった。レスキュー隊員の補助を受けながら、往復ともに通過することに成功した。



図4 左 ブリーチング開口部、中央 ロボット進入時の様子、右 ロボット帰還時の様子

全体を通じて、当初予定していたロボットの役割(被災状況調査および要救助者の発見)は達成することができた。



図5 被災状況調査および要救助者の発見

## 4. 訓練を通じて顕在化した問題点及び対策

### 4.1 連携に関して

これまでの合同訓練では、レスキュー隊本部とロボット操縦場所が近くにあり、随時、隊員への調査結果の報告やロボットへの指示を受けることができた。今回は、ロボット操縦エリアとレスキュー隊員の活動エリアが離れていた。訓練開始当初に報告すべき隊員の方が明確ではなく、ロボット操縦エリア付近に待機することができなかつたため、開口部通過時のコミュニケーションが取れなかつた。その後、担当者を割り当てていただき、被災状況の報告を行うことができた。しかし、被災状況報告後、隊員の方がいなくなり、要救助者とのコミュニケーションを筆者が行った。事前に、ロボット隊と情報共有や指示する担当者の確認が必要であった。

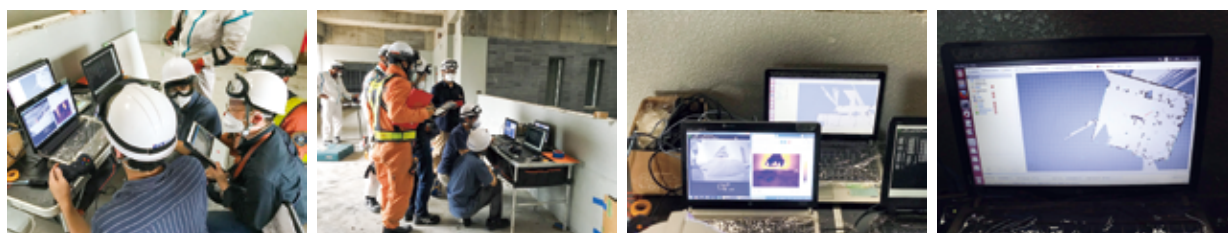


図6 操縦エリアの様子

今回の訓練では、消防隊員が大学側に連絡（確認）することなく、ロボットに触れる場面が多く見受けられた。事前に大学側から、消防隊員の方々に、ロボットに触れても良い箇所を伝えておくことで、今回の開口部通過時のようなロボットの動作に問題があった場合、トラブルなく対応できるものとする。一方で、どこを触っても故障やトラブルを生じないロボットにすべきである。

今回、消防隊員にタブレットを渡して、現場の観察や会話を可能にした。しかし、音量設定が適切であったかどうかについて確認することができなかった。今回はロボット操縦システムとコミュニケーションシステムを別システムにしたため、消防隊本部にタブレット端末を常設することが可能であった。次回は、タブレット端末をレスキュー隊員に使ってもらう予定である。

ブリーチング作業の開始からロボット投入までの時間が長かつたため、各コンピュータの待機電源確保、ロボットの電源投入タイミングなどの問題が顕在化した。電源投入後すぐに運用できるシステムにすること、各プログラムの連携に関して信頼性を確保しておくことが必要である。

### 4.2 調査ロボットに関して

今回、開口部を自走し通過するために、緩い傾斜角度のスロープを部屋の内外に設置した。開口部を通過する際、両スロープの間に水平部分がなく頂点となつていたため、開口部に対してロボットの姿勢が上向きとなり、ロボットが開口部縁に干渉するとともに、ロボットに搭載した操縦用カメラ映像（画角固定）のみでは画角内の情報が不足し、通過するのに苦労した。今回のケースでは、中継ロボットが撮影した俯瞰映像を調査ロボットのオペレータに提示すれば対応可能であった。ブリーチング開口部に対して、正面（水平）からアプローチできるスロープ（ステップ）を設置することも有用である。ロボット幅には問題がなかつたが、ロボット上部に搭載した機材が、開口部を通過する際、壁面と接触し通過が滞ることがあった。このため、ロボットの全高を小さくすること、および左右中央部に搭載機器を集約し搭載することが、ブリーチング開口部からのロボット投入には有効である。一方で、現場の状況に応じて、搭載センサの脱着を可能にすることで、機能低下することなくロボットの小型化が可能になる。今回は自力でスロープを登り現場への投入を目指したが、消防隊員からのアシストが必要な場面が目立った。コールドゾーンでは、自力での投入することを前提とするのか、消防隊員たちの投

入アシストがあることを前提とするのか考えて投入方法の仕様を決める必要がある。

ガスセンサのLCD表示内容を確認するカメラ映像が表面の反射光や画面の明るさによって十分に見えないことがあった。赤外通信で数値をマイコンに取り込めるようにする。反射防止フィルムをLCD部に貼ることで対応する。また、通話機能に関しては、救助活動中（ブリーチング中）は恐らく聞こえないと思われる。ロボットからの音声出力を大きく、音声入力に関してはブリーチングの音をフィルタする等の対策が必要である。

#### 4.3 中継ロボット（ケーブル敷設）に関して

ロボット搭載マイコンの不具合（映像入力関係）があり、操縦用カメラの映像が使用できなかった。そのため、中継ロボットは、目視でのみの遠隔操縦となり、予定していた開口部付近までの移動ができなかった。また、ケーブル張力制御系のゲイン調整が不十分であったため、その移動速度は非常に低速度（感覚的には0.3~0.5m/sec）であった。

その他の問題として、ロボットが旋回する時に計測レバーからケーブルが外れてしまうこと、整列巻き機構を実装することができなかったことなどが挙げられる。旋回時に計測レバーからケーブルが外れてしまう問題に対しては、計測レバー先端シャフトにケーブルを通すリングを追加し、ケーブル外れを防止する改良が必要である。敷設するケーブルは、ロボット左右中央に送出されることが理想であるが、現在は巻かれていた位置によってケーブル送出位置が左右に変化してしまうため、ロボット走行軌跡とケーブル敷設位置が異なる場合があった。ケーブル送出位置が常にロボット左右中央になるようなガイドを追加する改良が必要である。

中継ロボットの移動中、通路の曲がり角を通過する際、壁のエッジ部にかなり小さい曲率半径（ほぼ直角）でケーブルが接触してしまう。そのため、ケーブルの破損が心配された。実際の災害現場では、ケーブルの張力によって壁面が崩れる、木材のささくれや割れたコンクリート断面などにケーブルが接触し、断線する危険もある。コールドゾーン内であれば、人手で、壁のエッジ部に保護材を置いて対策できるが、現実的な方法ではない。今後、対応を検討する必要がある。

## 5. まとめと今後の展望

豊田市旧藤岡交流館にて実施された豊田市北消防署との合同訓練をもとに、本調査点検ロボットシステムの検証評価結果について述べた。今後、現場でロボットを活用していく上で、クリアすべき課題として、レスキュー隊員が操縦できるようなロボットの開発および提供体制の確立が不可欠である。そのためには、隊員の方々から信頼して使用してもらえるようなロボットでなければならない。そのため（1）容易な操縦性、（2）必要十分な可到達性（悪路走破性）、（3）搭載センサ種類の充実と選択交換の実現を目指す必要がある。

今回の訓練で得られた知見をもとに、さらなるロボットの改善を行い、現場で有効に活用できるロボットシステムを実現するとともに、調査ロボットシステムの社会実装に向けた基盤確立を目指していくつもりである。

#### 参考文献

- 1) 渡邊, 他 3名 火災救助活動におけるロボット技術活用を想定したシナリオ検証, 日本ロボット学会誌, Vol.38, No.7, pp.651-656, 2020.
- 2) A. Watanabe, et al., Verification of Scenario for Robot-Assisted Fire-Fighting and Rescue Operations, Proceedings of the 2019 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR2019), pp.106-107, 2019.