

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、遠隔操縦型調査点検ロボットシステムを利活用することにより、インフラ構造物やプラント内の日常点検による災害／事故に対する予防保全や災害現場において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。消防隊員の消防防災ロボットの研究開発動向は、文献^{1) 2) 3)}にて紹介されている。また、防災ロボットに関する中長期的な課題については文献⁴⁾にて、インフラ構造物や産業設備（プラント）の点検など平時利用との連続性について述べられている。消防ロボットの実践配備事例の一つとして、石油コンビナート火災・爆発対応を目的とした消防ロボットシステムの紹介や活用方法、技術などについて文献^{5) 6)}に示されている。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^{7) 8)}。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、2022年11月16日に豊田市内雨水排水用配管で実施したカルバート管内部点検に関するフィールド実験結果および2023年2月15日（水）に豊田市平和町地内（旧安永川第4トンネル）にて実施された豊田市消防本部中消防署と豊田市内建設会社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. カルバート管内点検検証実験

2022年11月16日に愛知県豊田市内の雨水排水用配管（全長約 30m（継ぎ目 1 区間約 2.5m）、管径φ0.9m）にて、点検ロボットによるカルバート管内簡易損傷位置情報図生成及びその位置精度評価を目的とし、フィールド実験を行った。精度評価区間として、入口から約10m（5番目の区間）継ぎ目 1 区間を選定した。実験は、図1に示すGoProMAXを搭載した調査ロボット（WiFi通信）を用いて行った。評価区間に、精度評価用メジャー（図2）を設置し、配管内部の映像を取得した。移動速度は微速（約0.5km/h）とし、8回試行した。後日、取得映像を用いて澤野らの手法⁹⁾を用いて簡易損傷位置情報図を生成した（図3）。

評価項目は以下の2点とした。

- (1) 移動方向におけるピクセル数のばらつきの確認
- (2) 物理値（メジャー）と論理値*の精度
（*区間全体の距離から計算した各地点における距離）

1区間あたりの簡易損傷位置情報図の最大誤差は「2.86」cmとなり、距離に対する誤差は要求精度である「つなぎ目毎に±5%以内」（±12.2cm）以内であることを確認することができた。



図1 検証用点検ロボット外観（上）、カルバート投入時の様子（下）



図2 評価区間に設置したメジャー



図3 取得した映像から生成された簡易損傷位置情報図

今後の課題として、点検時間短縮のため移動速度増加が求められている。そのため、移動速度が与える画像処理への影響を考察し対策を検討する必要がある。同時に、点検ロボットの速度変化（ストップ アンド ゴー、停止や発進）への対応も必要である。また、カルバート管内には障害物が存在する可能性があることから、点検ロボットが障害物走破や回避した場合に生じるロボットの姿勢変化(カメラの画角変化)への対応も必要となる。一方、付加価値としてクラック自動検知機能の検討を行う予定である。

3. 豊田市消防合同訓練

2023年2月15日（水）に豊田市平和町地内の旧安永川第4トンネルにて実施された豊田市消防本部中消防署と豊田市内建設会社とによる工事中のトンネル内で対応を想定した合同訓練が行われた。訓練シナリオは、トンネル工事中の建設会社からトンネル内で異臭が確認され、確認に入った作業員と連絡が取れなくなったと通報があったため、消防隊員により遠隔操縦されたロボットをトンネル内に先行投入し、トンネル内状況調査及び要救助者の捜索及び報告、その後、救助隊による救助活動を行うこととした。ロボットをタブレット端末により遠隔操縦し、パンチルト高精細カメラを搭載し、トンネル内の状況をタブレット端末経由で現地指揮官に逐次報告するとともに、要救助者の発見、救助隊の活動の様子を中継した。今回の訓練において最も重要な点は、調査ロボットの準備及び操縦を消防隊員が行ったことである。訓練は、想定通り実施することができた。当日の訓練お様子を図4に示す。



図4 訓練の様子（2023.2.15）：豊田市平和町地内旧安永川第4トンネル

訓練後、参加した消防隊員から、ロボットを先行して現場に投入することにより、隊員の安全を確保しながら、現場の状況把握や要救助者の発見が可能となることへの理解を示していただいた。一方で、操作性については、改良の必要性があるとの指摘を受けた。

4. まとめと今後の展望

カルバート管内点検及び豊田市消防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。カルバート管内点検については、引き続き、ロボットの姿勢や移動速度変化への対応や精度の向上を目指していくつもりである。豊田市消防との合同訓練に関しては、大きな問題もなく、消防隊員のみで調査ロボットの運用を行うことができた点は、実用化に向けた大きな一歩であった。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) 天野久徳, 消防防災ロボット／災害対策ロボット, 消防科学と情報, No.82, pp.50-55, 2005.
- 2) 天野久徳, 消防防災ロボットの現状と展望, 映像情報メディア学会誌, Vol.62, No.9, pp.1391-1395, 2008.
- 3) 田中英夫, 消防用ロボットの実用事例, 消防科学と情報, No.83, pp.56-61, 2006.
- 4) 田所論, 防災ロボットについて我が国が取り組むべき中長期的課題, 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.2, pp.154-161, 2014.
- 5) 天野久徳, 石油化学コンビナート火災・爆発対応のための消防ロボットシステムの研究開発, 日本ロボット学会誌, Vol.38, No.3, pp.220-225, 2020.
- 6) 田村佳宏, 消防隊員が対応できない活動のための消防ロボットシステム, 計測と制御, Vol.60, No.4, pp.271-275, 2021.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 佐々木亮輔, 星野心, 奥川雅之, 澤野弘明, 全方位映像を用いた道路横断管内部の展開画像作成手法の提案, 情報処理学会第85回全国大会講演論文集, 5Q-04, 2023.