

### 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 — 無線通信および耐熱性評価 —

奥川雅之・倉橋奨・落合鋭充

#### 1. はじめに

本研究プロジェクトでは、災害現場における消防隊員の安全確保を主な目的とした遠隔操縦型調査点検ロボットシステムによる消火活動支援の実現を目指している。消防防災ロボットの研究開発動向は、文献<sup>1)</sup>にて紹介されている。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<sup>2)</sup>に示されている。筆者らは、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、愛工大と豊田市消防との連携を通じて検討し消防ロボットの研究開発を進めている<sup>3)</sup>。2022年からは、サンリツオートメイション（株）と豊田市消防本部および愛知工業大学による取り組みが、豊田市ものづくり創造補助金事業に採択され、消防署へのロボット配備を目的とした実用化に向け研究開発を行なっている。本報告では、2023年11月4日（土）に豊田市内大規模倉庫にて実施された合同訓練にて顕在化した通信に関する課題と2024年1月26日（金）に実施されたロボットの耐熱検証実験結果について述べる。

#### 2. 工場／倉庫火災への活用

本研究プロジェクトでは、工場や倉庫のような低層大空間建屋での火災を想定し、火災発生初期段階における状況調査をロボットの主な役割として設定している。火災発生直後の大空間建屋内は、空気や煙の流れが急激に変化することや防火扉など開ける際、バックドラフトやフラッシュオーバーが発生し、その結果、爆発の誘発や、火災エリアの拡大につながることから、初動時の建屋内への進入はとても危険である。消防隊員が行っている熱画像カメラによる建屋内の温度計測やガス検知器による有害ガス測定を遠隔操縦型ロボットに代替させ、消防隊員の安全性を確保するとともに、火点や有害ガスなど危険物資の発見、建屋内における煙の状態、温度分布概略の把握（熱成層の把握）、要救助者の発見を行う。火災発生後は、300℃から500℃になる高温環境であるが、低層であれば、60℃から100℃程度であり煙も薄いので、我々は、全高の低い地上移動ロボットが有効であると考えている。実用化に向けて、（1）容易な操縦性、オペレータの育成：消防隊員による運用、（2）耐熱／遮熱対策：60℃から80℃程度を想定、（3）煙中での空間／表面（天井・壁面）温度の測定の技術課題が挙げられる。

#### 3. フィールド実験による検証

##### 3.1 豊田市内大規模倉庫

通信環境の検証を目的とし、2023年11月4日（土）に豊田市内大規模倉庫にて合同訓練を実施した。火災が発生している（火災発生直前含）建屋に進入する際、進入エリア周辺の安全が確認されるまで、進入口の扉を閉めて調査を行う。ロボットを投入する際も同様であるため、進入口扉を閉めた状態で、建屋内のロボットと建屋外のオペレータ用PCは、通信を行う必要がある。そのため、進入口付近に中継用のアクセスポイントを設置することとし、その設置場所の検討を行った。また、大規模倉庫の場合、倉庫内保管物やエリアを区分するための防

火扉や壁の存在が電波干渉や劣化の要因となる。さらに、暗所空間であることも想定する必要がある。

検証実験を通じて、中継用アクセスポイントを仲介することにより、オペレータPCとロボット間の通信状態の把握ができなかったことや金属製の扉越しに無線通信を行う場合、電波強度の劣化が激しいことなどの問題が顕在化した。

### 3.2 断熱検証実験



図1 検証用ロボット外観

2024年1月26日（金）に、ロボット筐体の耐熱性を評価するための検証実験を行なった。防火帽（ヘルメット）や消防ロボット筐体の耐熱に関して多くの場合、断熱材を筐体表面に覆うもしくは筐体内部に断熱層を設けることにより耐熱性を高めている<sup>4)5)6)</sup>。検証に用いたロボットの外観を図1に示す。燃焼室内にて、奥行4.6m×幅7.8m×高2.3mの空間内に置かれた火点台（幅1m×長さ1.8m×高さ0.7m）上で木材を燃やした。

検証実験1として、ロボットを火点から6.6m離れた場所に静態させ、点火から25分間にわたりロボット内部及び外部の温度を測定した。その結果、ロボット内部は9℃から14℃、外部は3℃から33℃であった。外部から携行用熱画像カメラでロボット表面の温度を測定した結果は最大47℃であった。その際、外気温は約10℃、施設に常設されている温度計の数値は、床上2.16m：350℃、床上1.5m：261℃、床上1.2m：179℃であった。図2に検証実験1の概要を示す。

検証実験2として、ロボットを火点に近づき戻る巡回移動を2周行った。その際のロボット内部及び外部の温度を測定した結果、ロボット内部は12℃から15℃、外部は10℃から67℃であった。外部から携行用熱画像カメラでロボット表面の温度を測定した結果は70℃から184℃であった。その際、外気温は約10℃、施設に常設されている温度計の数値は、床上2.16m：405℃、床上1.5m：313℃、床上1.2m：273℃であった。図3に検証実験2の概要を示す。加温付近に近づいた際、通信が途絶しロボットの操作が不能となり実験を終了した。

検証実験後、ロボットの損傷状況を確認した。ロボット内部の制御機器類やロボット後方のボタン類およびコネクタ類、内部搭載機器の損傷は見られなかった。ロボット外側に搭載した機器類の樹脂製ケースに関しては溶損が見られたが、実験後、ロボットの動作を確認したところ正常動作が確認された。検証実験結果より、ロボットの断熱性能としては、ロボット筐体の断熱構造（特許申請前のため詳細は非公開）の効果が確認され、実用に耐えうるものと判断した。しかし、検証実験2の際、火点にかなり近接したため、輻射熱の影響により、暴露している無線LAN用アンテナ、LiDAR、カメラ、照明などのプラスチック外装が溶損した。また、火元接近により70℃以上となったため、通信途絶が生じた。使用している無線機器の動作温度範囲が-30℃から70℃であることが要因である。また、輻射熱に対しては暴露時間の影響が大きいことも確認した。クローラベルトに関して





図4 断熱検証実験後のロボット損傷状況

#### 4. まとめ

本報告では、大規模空間での火災初動時を想定した消防ロボットの検証評価結果について述べた。豊田市消防との合同訓練に関しては、無線通信に関する技術課題が顕在化した。無線電波の中継方法について、検討を進めていく予定である。また、ロボット筐体の耐熱性能評価実験に関しては、概ね良好な結果を得ることができた。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つつ、次年度は、オペレータの育成に関する課題に取り組み、消防ロボットの社会実装に向けた基盤の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) 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.
- 3) 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.
- 4) 清田龍太郎, 他5名, 消火活動時の受熱状況を考慮した防火帽の耐熱性評価と新たな断熱手法の検討, Journal of Textile Engineering, Vol.63, No.6, pp.181-185, 2017.
- 5) 赤松知哲, 他3名, 耐熱断熱材を用いた走行ロボットの耐火性能の評価, 第63回自動制御連合講演会講演論文集, 2E3-4, pp.1047-1050, 2020.
- 6) J. Fujita, et al., Novel exterior cover design for radiant heat resistance of firefighting robots in large-scale petrochemical complex fires, Robomech Journal, Vol.9, Article No.13, 2022.