

5. 社会インフラ／プラント点検および災害調査を想定したロボットシステム

奥川雅之・三浦洋靖・倉橋奨・落合鋭充

1. はじめに

社会インフラや各種プラントでは、老朽化や人的ミスによる事故が懸念され、構造物や設備の維持管理が大きな課題でありリスクアセスメントが求められている^{1) 2) 3)}。製造・製油・製鉄プラントでは、災害予防の観点から、海上プラント等作業員派遣が困難な場所や危険な場所（環境）にある設備・構造物に対する日常点検・健全性評価診断作業の無人自動化が期待されている。また、人的要因による異常発生、設備の老朽化による設備の破損、それらを要因とする機能不全、事故（爆発、ガス漏れ、火災、有毒ガス発生、有害物質流出）などについて、ロボットの導入により定期点検頻度向上につながり、未然に防ぐことが可能になる。さらに、高温環境下や危険でリスクが高い設備の点検・検査作業は該当設備を停止しなければ実施できない場合がある。ロボットの導入は、稼働中でも点検調査作業を可能にすることから、このような環境の設備の稼働率向上が期待される⁴⁾。一方、自然災害により配管が破損した場合、可燃性ガス漏洩によって爆発および火災が誘発される可能性がある。災害発生後、速やかに燃料配管のバルブを閉じるとともに、可燃性ガスが充満している雰囲気中の設備装置付近にある消火設備のバルブを開くことができれば、迅速な初期消火対応が可能となる。さらには、これらに要求されるロボットの能力は、災害対応ロボットへの転用が十分可能であると考えられる⁵⁾。特に、狭隘閉所空間に対する探査ロボットによるモニタリング技術は、社会インフラやプラントにおける狭隘・閉所箇所の点検・メンテナンス、危険箇所の内部調査に要求されるものであり、それらは、災害時の崩落箇所や可燃性・有毒ガス雰囲気中等の調査への転用が期待される。使用頻度の高い社会インフラやプラント用メンテナンスロボットの技術を災害対応ロボットに転用することにより、災害対応ロボットの社会実装の実現につながるものと考えられる。しかし、実環境での評価や検証実験を行うことは困難であるため、競技形式による研究開発の促進が有効であると言われている^{6) 7)}。解決すべき課題を競技ルールとして標準化（ベンチマーク問題）し、当該ロボット技術開発の向上やシステムインテグレーション手法を確立する手法である。DARPA Robotics Challenge (2015)⁸⁾、ELROB/euRathlon (2015)⁹⁾、ARGOS Challenge (2016)¹⁰⁾、DARPA Subterranean Challenge (2021開催予定)¹¹⁾などが挙げられる。

一方、本研究プロジェクトでは、災害現場におけるロボット技術を活用した消防隊員の活動支援の実現を目指している。具体的には、ロボットとの協働による消防隊員のリスク低減を目的としている。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点検調査ロボットScottをベースとする災害時の各種調査に活用できる調査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。

本稿では、調査ロボットシステムの応用事例として、WRSプレ大会におけるプラント災害予防チャレンジ参加報告と昨年度に引き続き実施された豊田市消防との連携訓練について述べる。

2. 活動報告

2.1 World Robot Summit プレ大会への参加

経済産業省の諮問会議が公表したロボット新戦略の中でWorld Robot Summit (WRS) が2020年に開催されることとなった¹²⁾。WRSは4カテゴリーに分かれており、そのひとつとしてインフラ・災害対応分野が設けられ

ている。具体的には、トンネル事故災害対応・復旧、プラント災害予防、災害対応標準性能評価に関する競技が実施される。プレ大会が2018年10月に東京ビッグサイトで開催され、チーム「AiSaFu」（愛知工業大学、サンリツオートメイション、フカデン）として本研究プロジェクトで開発している調査ロボットシステムにてプラント災害予防チャレンジに参加した。プラント災害予防チャレンジでは、稼働中プラントにおける日常点検・検査および異常発生時の緊急対応を競技テーマとし、様々なプラントに対応できるような競技ミッションおよびタスクを設定されていた¹³⁾。点検対象設備は、配管群、ポンプ、小型タンク、ボイラ、大型タンクであった。プラント点検ロボットの性能を評価するために、5つの競技ミッション（P 1 日常点検／設備調整、P 2 異常検知、P 3 設備診断、P 4 初期消火、P 5 総合競技（人命捜索））が用意され、各ミッションはその内容に応じた競技タスク（点検調査・作業）で構成されていた。代表的な競技タスクは、圧力計などの計器メモリの読み取り、バルブハンドルの操作、ポンプの異常振動検知、タンク内酸素濃度測定、クラックやサビの検知などであった。競技会で使用したロボットの外観を図に示す。クローラ型移動ロボットScottと飛行ロボット（DJI製MAVIC AIR）の移動形態が異なるロボット2台で連携し、各競技タスクに対して、それぞれの特徴を活かした対策をとることとした。

競技結果は、参加チーム9チーム中3位であった。また、異種ロボットの連携を評価され計測自動制御学会賞を受賞した。競技の様子を図に示すとともに主な結果について述べる。計器の数値やクラックやサビなどの視認に関しては、飛行ロボットを活用することで迅速に行うことができた。使用した飛行ロボットは、検査対象に正



図1：WRS参加ロボット（左：Scott, 右：MAVIC AIR）

対する自律制御機能を有しており、迅速な調査点検が可能であった。しかし、狭隘部では、飛行ロボット自身のロータ風圧で気流が乱れ、飛行が不安定になることがあった。また、タンク内の酸素濃度測定も実行することができた。地上移動ロボットでの計器数値視認やバルブハンドル操作は、マニピュレータによる先端部（カメラやハンド）の位置合わせに時間を要した。しかし、飛行ロボットを俯瞰カメラとして利用することで、地上移動ロボットの作業状況（ロボット姿勢、マニピュレータ姿勢など）をリアルタイムに確認することができた。飛行ロボットの課題は、調査時間（競技時間20分の間にバッテリー交換が必要であった）である。

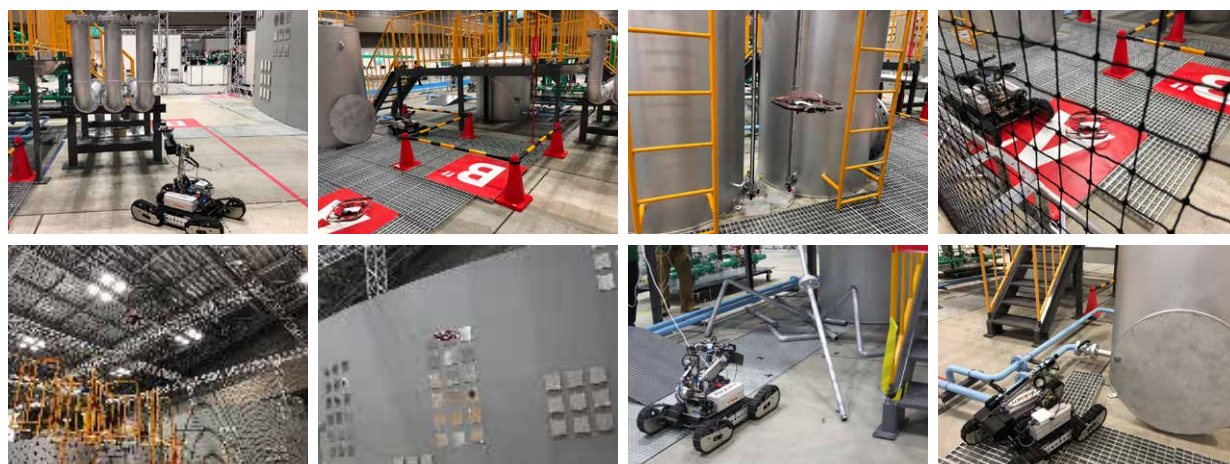


図2：WRS2018プラント災害予防チャレンジの様子

3.2 豊田市消防連携訓練

今年度は、第6回合同訓練として平成31年（2019年）3月10日に豊田消防本部中消防訓練棟にて実施した。耐火建造物機械室内電気設備からの出火による火災を想定（2階2部屋、1名の安否不明者）し、独自に作成したロボット活用によるレスキュー活動ガイドラインに従い訓練を実施した。（i）ロボットで環境／空間測定、要救助者の有無（熱画像）、場所の特定、（ii）指揮本部での活動プランニングに対する情報提供、（iii）有線通信による遠隔操作（階段走破、ドアコントロール、活動モニタ）が、主な訓練内容であった。



図3：左 Scott Ver.2 及びVer.5, 中央 建物内階段, 右 調査対象空間

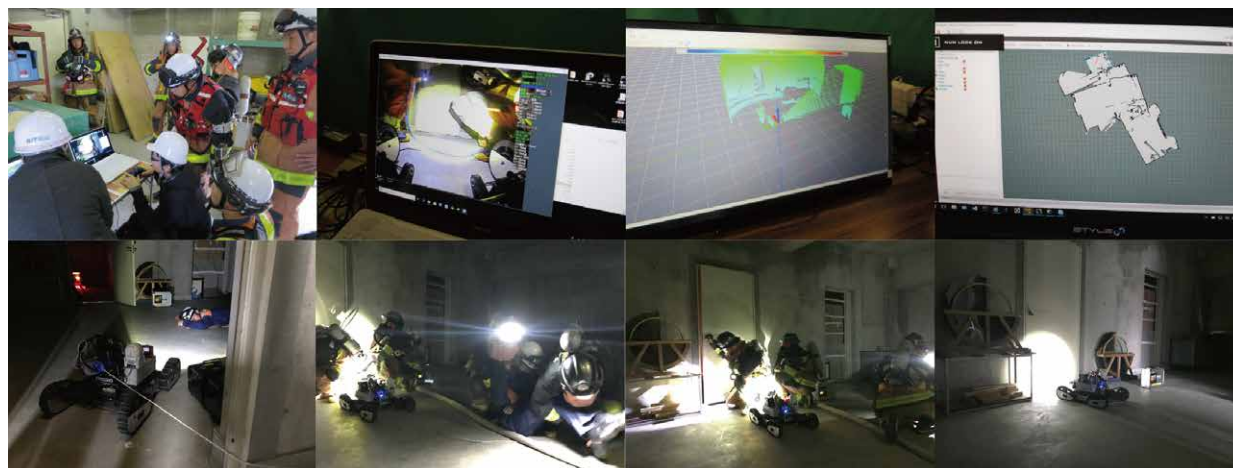


図4：第6回豊田消防連携訓練の様子（2019年3月10日に豊田消防本部中消防訓練棟）

予定していた調査や人命探索、環境情報測定、ドアコントロールなど概ね良好に行うことができた。以下にシナリオの検証事項に関する結果と考察を述べる。

今回、レスキュー隊員にロボットからの映像や各種センサーデータを随時確認してもらうためにモニタを用意した。その結果、レスキュー隊員が直接情報を得ることにより、現在、得られている情報が何か、他にどんな情報が必要かを共有することが可能になり、情報伝達がスムーズに行えたとともに状況確認に適していると評価された。一方、ロボットに搭載されたセンサを用いてガス濃度の計測と現場周辺の温度の計測を行い、レスキュー隊員の装備のプランニングに役立てることができた。また、要救助者に対する声がけの試みた結果、要救助者の状態を確認するのに有効であると評価された。しかし、レスキュー隊員が常にモニタの前にいることは現実的に困難であるという意見もあった。今回、階段踏破を試みた結果、階段のエッジ部分が滑りやすく、ロボットが階段を踏破する際、断続的にスリップを生じた。そのため、階段を登りきるまでにかなりの時間を要してしまい、要救助者の発見の遅れにつながった。延焼を防ぐため、調査ロボットは火元の場所を特定したのち、火元のある部屋の扉を締めることに成功した。その後、レスキュー隊員が現場に到着し、要救助者を救助後、部屋B内に要救助者の有無を確認した。ドアコントロールは消火活動での鉄則であり、延焼ならびに煙の流入を防ぐことで安全の確保ができ、レスキュー隊員による救助活動をスムーズに行うことができるため、ロボットによるドアコント

ロールは重要なポイントであるという意見をいただいた。将来的には、フラッシュオーバーやバックドラフトの危険があるため、ロボットによりドアを開くことができればレスキュー隊員の安全性をかなり高めることに寄与することができる。その他にもレスキュー隊員から様々な有用な意見があった。日本国内では、ロボットを提供する大学や企業と消防や警察などとの合同訓練の事例は少ない。今後も連携訓練を通じて災害現場での課題やロボットの性能や機能をそれぞれの立場で理解共有することが重要であることを認識するとともに、より実用化に向けた災害対応ロボットの改良や連携のあり方について検討していきたいと考えている。

4. まとめ

本報告では、本研究プロジェクトで研究開発を進めている点検調査ロボットScottの応用事例として、World Robot Summit 2018参加および豊田市消防連携訓練実施について述べた。今後は、引き続き、豊田消防との連携訓練を実施するとともに、World Robot Summit 2020インフラ災害対応カテゴリートライアルへの参加、フィールド実験の実施やユーザの意見を取り入れ、ロボットシステムのさらなる改良に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 宇都正哲, 人口減少とインフラの課題から環境リスクを考える, 保健医療科学, Vol.67, No.3, pp.306/312, 2018.
- 2) 国交省, 平成25年度国土交通白書, 2014.
- 3) 中村昌允, 岐路にきた化学プラントの安全管理 —現場力の低下にどう対応するか—, 安全工学, Vol.56, No.1, pp.8-17, 2017.
- 4) 新田恭士, 国土交通省におけるICT, 次世代社会インフラ用ロボットの導入推進の取組について, 計測と制御, 2016, Vol.55, No.6, pp.470-476, 2016.
- 5) 田所諭, 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.
- 6) 木村哲也, ロボットコンテストによる災害対応ロボット実用化の加速, 計測自動制御学会SI部門講演会論文集, pp.1783-1785, 2015.
- 7) A. Jacoff, et al., Using Competitions to Advance the Development of Standard Test Methods for Response Robots, Proc. of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems, 2012, pp.182-189, 2012.
- 8) E. Krotkov, et al., The DARPA Robotics Challenge Finals: Results and Perspectives, Journal of Field Robotics, Vol.34, Issue 2, pp.229-240, 2017.
- 9) F. E. Schneider, D. Wildermuth and H-L. Wolf, ELROB and EURATHLON: Improving search & rescue robotics through real-world robot competitions, Proc. of the 10th International Workshop on Robot Motion and Control (RoMoCo) , pp.118-123, 2015. doi:10.1109/RoMoCo.2015.7219722
- 10) K. Kydd, S. Macrez and P. Pourcel, Autonomous Robot for Gas and Oil Sites, SPE Offshore Europe Conference and Exhibition, 2015. doi:10.2118/175471-MS
- 11) DARPA Subterranean Challenge, <https://www.subtchallenge.com/> (04/29/2019アクセス)
- 12) World Robot Summit公式サイト, <http://worldrobotsummit.org/> (04/29/2019アクセス)
- 13) WRS2018 プラント災害予防チャレンジ競技ルールhttp://worldrobotsummit.org/download/rulebook-en/rulebook-Plant_Disaster_Prevention_Challenge.pdf (2/20/2019アクセス)
- 14) 田所諭, 木村哲也, 奥川雅之, 他12名, WRSインフラ・災害対応カテゴリーの概要と成果, 日本ロボット学会誌, Vol.37, No.3, pp.224-234, 2019.