

下水道施設における 四足歩行型ロボット活用検討について

横浜市 ○後藤 賢亮 武石 由佑紀

1 はじめに

本市下水道事業では、令和5年度に「デジタルの恩恵を横浜下水道へ行きわたらせ 誰もが創造力を発揮して新たな可能性を切り拓くことで 魅力あふれる下水道サービスの提供を実現します」というビジョンを掲げ、横浜下水道DX戦略(以下、DX戦略)を策定した。DX戦略のアクションプランのなかに「ドローン活用による災害状況把握」が明記されている。本稿では当該プランの新たなアクションの創出を見据えて、四足歩行型ロボット(以下、ロボット)の実証実験結果を紹介するとともに、普及展開に向けた課題の整理及び解決方策の検討結果について報告する。

2 実証実験

(1) 機種選定

本市では過年度にドローンやロボットなどに関する技術について、文献調査およびヒアリングなどを実施し、下水道施設における将来的な調査手法の確立に向けた基礎資料を作成している。本実験は、当該資料に基づき、ドローン活用における課題である運転者技術に依存することや天候条件に左右されることなどを解決できるロボットの要求性能を定めたうえで、機種選定を行った。(右表)なお、使用機種はJueying X30 Pro(以下、X30)及びANYmalの2機種を使用し、原則としてコントローラによる手動走行・操作した。検証項目によっては自律走行やアームティーチングを実施している。

表 ロボットの要求性能

ア	20cm以上の段差を乗り越えることができる。
イ	幅100cm以内の狭所を歩行することができる。
ウ	防塵防水性能がIP66以上の保護等級であること。
エ	非GPS環境下で自律制御することができる。
オ	アナログ計器を読み取ることができる。
カ	サーマルカメラで、電気設備等の熱異常兆候を検出できる。
キ	ポンプ軸等の加速度・速度・変位を測定することができる。
ク	グレーティングや濡れた床等の床面条件でも歩行することができる。
ケ	フル充電及び標準速度化での歩行時間が約2時間以上は可能であること。
コ	軽量多関節ロボットアームを搭載し、鉄製扉を開放することができる。
サ	護岸の側部を護岸上部から撮影することができる。

(2) 走行ルートの設定

はじめに、維持管理者が実施する日常点検箇所や災害時点検箇所について整理した。つぎに、整理した点検箇所から、ロボット活用による作業効率化が期待できる維持管理者のニーズを抽出した。さいごに、本市が定めたロボットの要求性能を満たすことが証明できる検証項目を整理し、抽出したニーズと合わせて走行ルートを設定した。

(3) 実証実験結果

ア 場内にある階段等の段差および狭所走行

20cm以上の段差は、許容勾配(X30 上限 35°、ANYmal 上限 45°)以内であれば昇降が可能であった。

また、狭所走行は同じく許容幅(X30 下限 80cm、ANYmal 下限 60cm)以上あれば通り抜けることができた。

イ 非GPS環境下での自律制御

電気室内で3次元点群マップ等を生成し、走行中に得られるリアルタイムの3D LiDARセンサーからのデータを生成済の点群マップ等と照らし合わせて、ローカライゼーション(SLAM)アルゴリズムを使用して自己位置推定した。また、周辺環境データを解析し、高精度で障害物等を検出しロボットの停止動作等を制御した。ナビゲーション機能として、点群マップ等上のウェイポイントに沿って目的地に移動するプランニングを行い、走行中に自己位置推定しながらプランに従って電気盤周辺を自律走行することができた。

ウ 熱異常兆候の検出

サーマルカメラ画像のカラー分布による色(温度)の違いから、稼働している電気盤と休止中の電気盤の見分けや、給水ポンプから漏水が発生していることを確認することができた。(写真1)

可視画像	サーマルカメラ画像
	

写真1 給水ポンプからの漏水 (※黄色線:漏水部)

エ 扉の開閉

実証実験した施設内のほとんどの扉を手動操作による開閉することができた。一方で、負圧が生じている扉やドアクローザーが設置してある扉等は、開閉することができなかつた。また、引き戸扉(縦型取手部)をアームティーチングにより自動開閉することができた。(写真2)

開閉状況	開閉後
	

写真2 アームティーチングによる開閉状況 (Jueying X30 Pro)

3 普及展開に向けた課題の整理

(1) 場内にある階段等の段差および狭所走行

アーム等の追加によりペイロード(積載物)を搭載することでロボットの重心が上部に移動し、ロボット自体のバランス取りづらく転倒の恐れがある。特に、階段の昇降性能へ影響がある。また、今回使用したロボット自体の走行時幅が最小 530mm(ANYmal)のため、狭所走行には課題がある。

(2) 非 GPS 環境下での自律制御

特徴の無い廊下を移動した際に自己位置推定が走行中にずれる現象を確認した。原因としては、作成したマップの精度が低いこと及び位置制御しているソフトウェア自体のバグなどが考えられる。

(3) 熱異常兆候の検出

サーマルカメラによる撮影時に蛍光灯や調査員の熱が反射し、映り込む現象が確認された。サーマル

カメラは対象物から放射される赤外線の強度から対象物の温度を測定する仕組みである。赤外線は、可視光と同様に物体の表面で反射する性質を持つため、このような映り込み現象が生じる。(写真3)

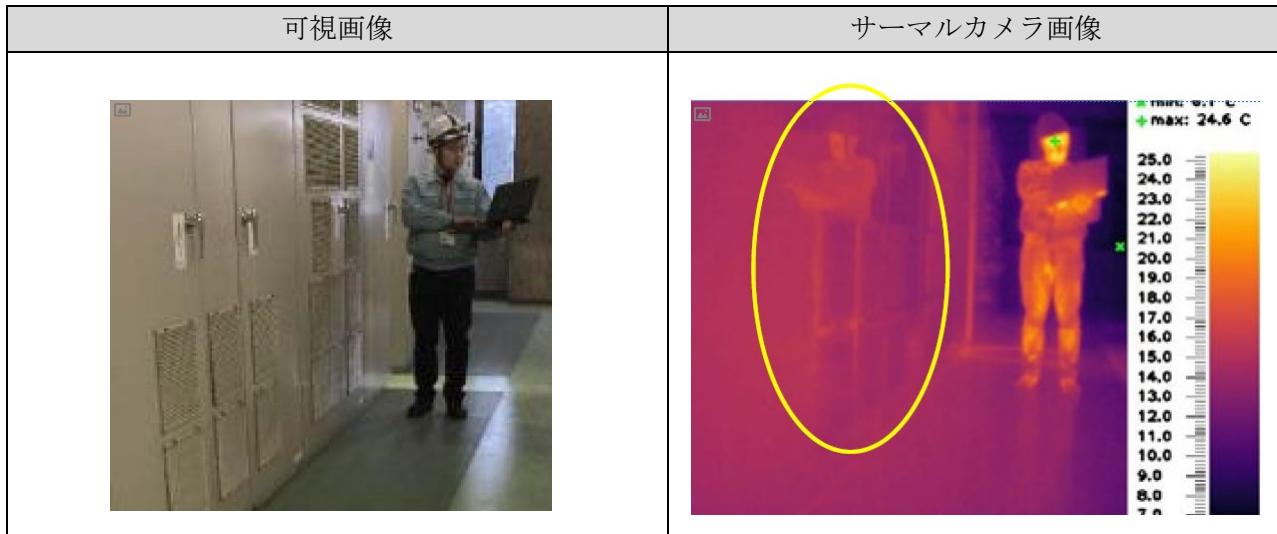


写真3 热の反射がカメラに映り込む現象 (※黄色線：热の反射現象)

(4) 扇の開閉

負圧が生じている扉やドアクローザーが設置してある扉など開放したい方向と反対方向に一定程度の力(以下、反力)がかかっていると開閉することができなかった。当該扉は、下水道施設に多く設置しているため、開閉できないことは課題である。また、扉の自動開閉をプログラミング制御するためには、多額の開発費を必要とする。

4 解決方策の検討

普及展開に向けた課題に対する解決方策について、技術革新・コスト・安全管理の3つの視点でまとめる。技術革新については、昇降性能を向上させるためにペイロードの軽量化が必要である。また、ソフトウェア開発によるアクチュエータを含む各種制御の精度向上や位置制御の向上を必要とする。その他、扉の開閉精度を向上させるためにロボットハンドの改良(グリップ力増強)や、熱の反射がカメラに映り込む現象を解消するために読み取り距離や角度の最適化やAI画像診断による補正を必要とする。コストについては、導入費用をはじめ維持管理費、ハード面・ソフト面共に保守メンテナンス費用など多くの費用が掛かる。このため、ロボットを昼夜問わず稼働させることで、維持管理者の作業効率が向上し優先すべき作業への転換効果を指標化するなど、定量的に評価する新たな手法を今後検討する必要がある。安全管理については、管理用通路の安全性を向上させるためにロボットにパトランプの搭載や、階段走行時の転落等を想定したKY活動など維持管理者への適切な教育訓練を必要とする。解決方策の総括として、今回の実証実験結果をロボットメーカーにフィードバックし、本市下水道事業としてのロボットに関するニーズを的確に伝え、製品の改良を促していきたい。

5 おわりに

本実験は、DX戦略のアクションプラン(ドローン活用)の新たなアクションの創出を見据えて実施した。これは、DX戦略内の「展開により試行と修正を繰り返す」という一文に基づいている。そこで、ドローン活用の課題に対し、単なる修正ではなく更なる技術革新を目的にロボットの活用を検討した。ロボット活用は、実用化まで多くの課題があるが、このようなチャレンジを繰り返すことで下水道事業を取り巻く環境やデジタル技術の普及といった社会・経済情勢の変化に対応する準備をしていきたい。

問合せ先：横浜市下水道河川局マネジメント推進課〒231-0005 横浜市中区本町6丁目50番地の10

TEL：045-671-3967 E-mail：gk-management@city.yokohama.lg.jp