

AI 誘導ロボットによる消雪パイプ点検業務の効率化

木村浩和*1 桑原賢二*2

1. はじめに

雪国における道路の消雪パイプ点検作業は、作業員と交通誘導員の安全確保が重要な課題である。今回、点検作業の安全性と効率性向上を目指し、カメラ映像をAIで解析して消雪パイプノズルを検出するモデルを構築し、自律走行する台車を開発した。

本論文では、この開発の経緯と今後のノズル点検および清掃作業の自動化の可能性について報告する。

2. 消雪パイプの重要性と点検の現状

2.1 雪国における交通確保の重要性

雪国では積雪が日常生活に深刻な影響を及ぼす可能性があり、交通の確保が地域の経済活動や安全を支える重要な課題である。特に大雪や路面凍結によって通勤・通学が困難になり、物流の停滞や救急搬送の妨げ、災害発生時の緊急避難にも支障が出る。

そのため、道路の融雪を通じて安定した交通を確保することは、交通事故リスクの低減に直結するだけでなく、地域社会の日常維持や、経済活動の円滑化においても重要である。

特に豪雪地帯においては、道路を確実に利用可能な状態に保つために、消雪パイプによる融雪が欠かせない対策となっており、設備の適切な維持管理がなければ地域の暮らしと経済の両面で大きな影響が生じることから、点検作業は冬の最重要課題として取り組まれている。

2.2 点検作業の課題

前述のように、雪国において、消雪パイプは冬期の交通の安全と確保に不可欠なインフラ設備である。そのため、本格的な降雪期の到来前に消雪パイプが適切に作動することを確認し、メンテナンスを行うことが必要となる。具体的には、消雪パイプを構成するコンクリートに巻きたてられた散水管の清掃を行い、個々の散水ノズルの出水量を確認する。ノズルが砂や泥で詰まっている場合は、専用の工具を用いて手作業で詰まりを取り除くことが求められる。

通常のノズル点検作業は、写真1のように数名の作業員が隊列を組んで道路に沿って実施される。この作業は通行車両の流れを妨げないよう慎重に行われるが、作業員の前後には交通誘導員が配置され、車両に対する注意喚起を行いつつ作業員の安全を確保している。

しかしながら、交通誘導員は常に通行車両との接触など危険な状況に置かれており、作業環境における安全確保は依然として大きな課題である。



写真1 消雪パイプノズルの点検状況

一方、降雪期前は道路工事や他のインフラ整備が集中する繁忙期と重なるため、交通誘導員の人手不足が深刻な問題となっている。今後消雪パイプの運用や維持管理において、こうした問題を解決するため技術導入による効率化と安全性向上が求められている。

3. 自律走行型誘導ロボットの開発

3.1 ロボットの概要

今回開発した台車型の自律走行型誘導ロボットは、車いす用の24V-DCモーターによる駆動システムを採用し、図1のように、作業員を挟むように前後に2台配置することで交通誘導員に代わって安全空間を提供する構成(特許第7154639号)とした。

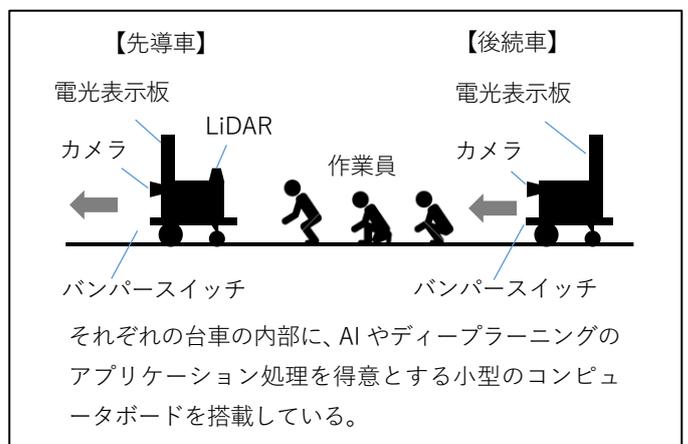


図1 台車型自律走行誘導ロボットの構成

先導車(写真2)は、搭載されたカメラを用いて周囲の状況を映像として取得し、その映像データを後述するAI物体検出モデルによってリアルタイムで解析することで、消雪パイプノズルの位置を正確に検出しながら、移動方向や車輪の回転数をモーターに伝達し、これによって先導車は自律的に走行する。

従来の人によるノズル点検作業と異なり、先導車が自動で移動しながらノズルの位置を検知・確認することで、作業の効率化と安全性の向上が図られている。



写真2 自律走行台車(先導車)

一方、後続車(写真3)は、特定の作業員だけが装着しているARマーカーを認識し、そのマーカーを追尾しながら走行する仕組みである。この技術により、後続車は作業員の動きに合わせて自動的に移動し、作業の補助を行う。

また、前後の台車には道路を通行する車両に対して注意喚起を促すための装備として、視認性の高いLEDの電光掲示板や矢印板が設置されており、これにより作業エリアの安全性を確保している。



写真3 自律走行台車(後続車)

さらに安全面の強化を目的として、台車には万が一の衝

撃に備えるための強靱な筐体が採用されているだけでなく、物理的な接触が生じた場合には台車を即座に停止させるバンパースイッチも搭載されている。これによりロボットの強制停止が可能となる。

また、作業員や周囲の障害物との一定の距離を常に保つため、台車にはLiDARセンサーが装備されており、周囲の状況を瞬時に把握しながら安全性を高めている。

さらに、軽トラックやワゴン車に搭載できるサイズとし、可搬性を考慮した設計となっている。(写真4)



写真4 可搬性を考慮したサイズ

3.2 機械学習

今回の消雪パイプノズルの物体検出には、「YOLO」と呼ばれる高性能な検出モデルを採用した。YOLOは「You Only Look Once」の略称で、「一度見ただけでその物体を判別する」という名称が示すように、リアルタイムで物体を検出することができるディープラーニングモデルである。

YOLOの特徴は画像を細かなグリッドに分割し、各グリッドに物体を含んでいるかどうかを予測する仕組みであり、この手法により画像全体を高速で処理でき、リアルタイムでの応答が求められるアプリケーションやビデオ解析などに特に適している点が大きなメリットである。(図2)

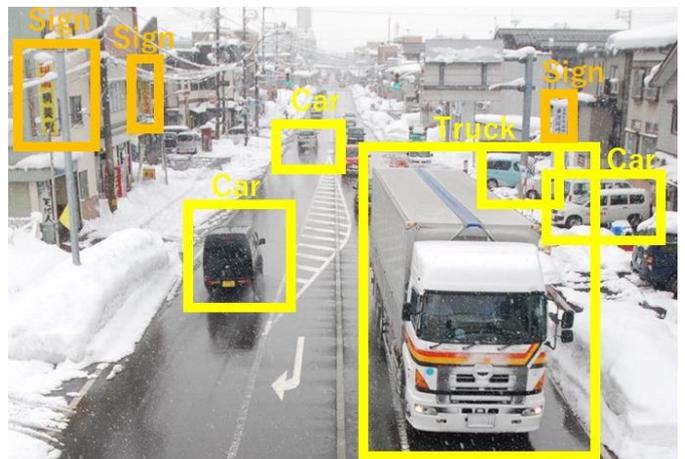


図2 物体検出のイメージ

このYOLOモデルを機能させるためには事前に大量のデータを用いて学習させる必要がある。学習に際しては、画像データの検出対象となる領域に対してラベル付けを行う「アノテーション作業」が不可欠である。

具体的には、図3のように、画像に写っている消雪パイプノズルや関連するブロックの位置を矩形領域で囲み、それぞれに対応するラベルを付与する。このアノテーション作業を約2,000枚の画像に対して実施し、豊富な学習データを整えた。

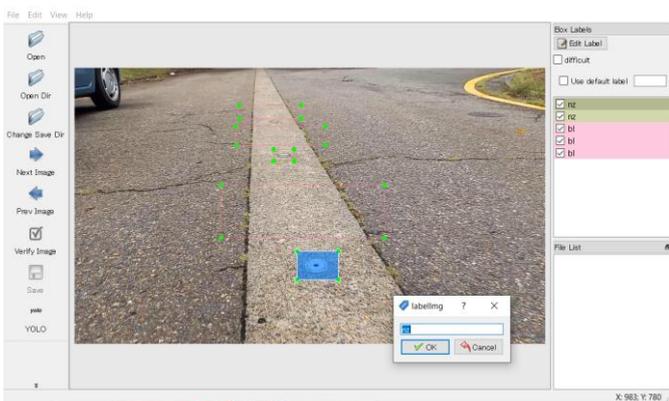


図3 アノテーション作業

学習に用いた画像は、写真5のように消雪パイプノズルが乾燥している状態や湿潤状態、散水している状態など、異なる状況下のもの、さらにノズルが単体で写っているものや複数で写っているものなど、様々な配置や形状で撮影された多様なパターンの画像を選択することで、検出精度の向上を図った。



写真5 アノテーションした画像(例)

アノテーション作業を完了した後、これらのデータを用いてYOLOモデルの学習プロセスを進めると、モデルは新たに提供された画像に対して迅速に物体検出を行えるようになる。その学習済みの物体検出モデルを小型のコンピュータボードに格納し台車に搭載することで、カメラから得ら

れるリアルタイム映像を解析しながら、ノズルの位置を瞬時に検出し、必要に応じて台車の移動指示を左右のモーターに伝達し、自律的な走行を実現できる。(図4)

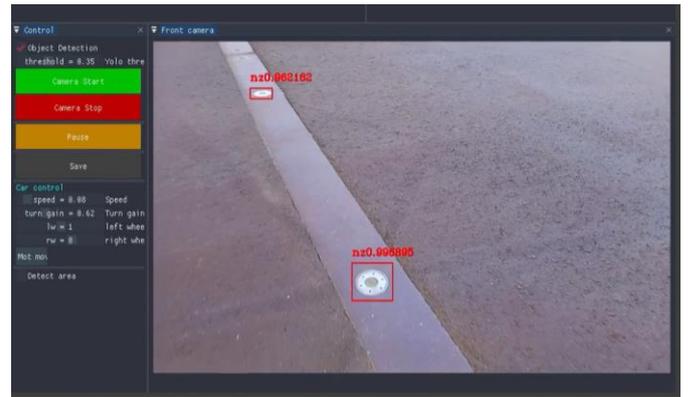


図4 AIによるノズル検出中の状況

4. 走行試験

実際の環境における性能確認のため、消雪パイプが敷設された弊社の営業所内の駐車場および長岡技術科学大学構内を利用し、先導車と後続車および実際の消雪パイプノズルの点検作業員を配置して走行試験を実施した。

(写真6、写真7)

降雪地域に設置されている消雪パイプの形状や道路線形は多種多様であり、各現場に特有の条件が存在するが、今回開発した自律走行型誘導ロボットは数千枚にわたる多様な画像を学習させたことで、特定の現場にとどまらず、さまざまな積雪地域において汎用的に稼働できる設計となっている。

試験においては、実際に試験場所に設置されている消雪パイプとは異なる環境で撮影された画像を使用して学習させた物体検出モデルを利用したが、それでも問題なくノズルを認識し自律走行でき、精度高く自律走行が行えることが確認された。



写真6 走行試験の状況(長岡技術科学大学構内)



写真7 走行試験の状況(長岡技術科学大学構内)

今後は、さらにロボットの走行速度や追従の精度を向上させるとともに、作業員との適切な距離を安定的に維持するための機能を強化していく。また、これらの改良を加えた上で試験走行を重ねることで、全体的な安全性の向上を図る計画である。最終的には、これらの技術を実際の公道での点検作業現場に導入し、より効率的で安全な作業環境を実現することを目指している。

5. 自律走行型誘導ロボットの可能性

5.1 多様な現場への適用

今回開発したAIによる物体検出技術は、主に消雪パイプの点検を目的としているが、AIによる画像解析の適用範囲はこれにとどまらず、道路の維持管理やメンテナンス作業など、多様な分野への応用も可能である。

たとえば、道路のひび割れや劣化箇所の自動検出、さらには交通インフラの定期点検といった用途での利用が期待される。(図5)



図5 定期点検等への活用事例

これにより、建設業界全体の作業効率が一層向上し、業務の省力化が図られると同時に、インフラ管理にかかるコストの削減が実現する。

5.2 ロボットの多機能化

今回の開発は、交通誘導員の人手不足の解消と作業員の安全性確保を目的とした自律走行型ロボットの開発であったが、将来的な展望としては、これに消雪パイプノズルの調整や清掃ができる機能を持たせることで、文字通りの自律走行型ロボットとして点検作業全体の自動化と効率化を進めていく計画である。(図6)

この機能を実装することにより、作業員の人員を削減したり、作業の負担を大幅に軽減したりすることが期待され、現行のメンテナンス作業をより効率的かつ安全に実施できるようになる。

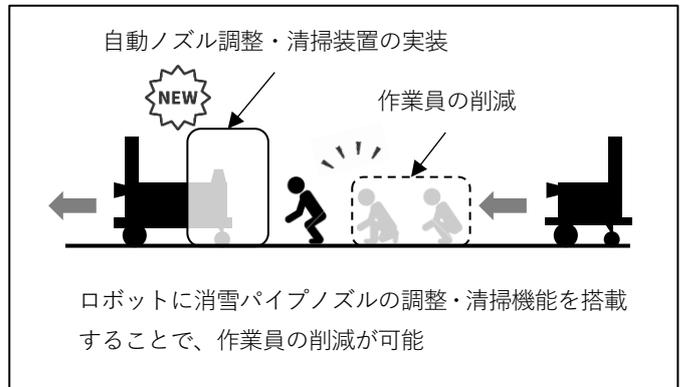


図6 完全自律走行型ノズル調整ロボットの活用事例

このようなAI技術の発展は、単に現場の効率化にとどまらず、未来の社会インフラが直面する多くの課題解決に向けた重要な一歩となりえる。今後もこの技術は進化し続けると見込まれており、さらなる活用の幅が広がっていく可能性を秘めている。

これにより、インフラ整備の分野における自動化技術の導入が加速し、より持続可能で安全な社会の実現に貢献することが期待される。

謝辞

本研究を遂行するにあたり技術指導を頂いた長岡技術科学大学機械系教授 上村靖司氏、同大学助教 杉原幸信氏、及び走行試験にご協力頂いた長岡技術科学大学 大学戦略課 企画・広報室の皆様には感謝いたします。