

# 下水道圧送管路点検用ロボットおよび配管経路作図システムの開発



立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 准教授 加古川 篤

## 1 はじめに

近年、上下水道設備の老朽化が深刻化し、破裂や漏洩事故が起き始めている。上水管が破裂すると、高圧の生活用浄水が噴出し、断水を招くため、ライフラインが経たれてしまう。一方、下水管破裂では、低圧であることが多いため、上水管破裂のときのように噴出せず、少しずつ土壌を侵食する。その結果、最終的に地面の陥没事故を引き起こす恐れがある。また、下水道の汚水には硫化水素が含まれるため、陥没のみならず健康被害のリスクも高まり、より深刻である。

2021年度末時点で日本全国の下水管は約49万kmにもなり、耐用年数である50年を経過したものはすでに約3万kmも存在する（約6%）。これが20年後には約20万km（約40%）まで増加する見込みである。この状況を鑑みて、2015年には下水道法に基づく維持修繕基準が国土交通省により創設され、硫化水素による腐食の恐れの大きい下水道管については、5年に1回以上の点検が義務化された。

一般的に生活排水はヒューム管と呼ばれるコンクリートでできた内径200mm以上の管に集めら

れ、自然流下によって下水処理施設まで運ばれる。ヒューム管は、市販の手押し式の管内カメラや自走機能を持った検査装置により点検されてきた。しかし、起伏の激しい場所や河川を横断しなければならぬような場所では、一度低所へ落とした汚水をポンプで再度高所に押し上げる必要がある。このようなポンプ汲み上げ式の下水管は「圧送管」と呼ばれ、全国に設置されたものをすべてつなぎ合わせると約1万kmにもなる。圧送管は自然流下用の下水管とは異なり、上水管のように高水圧になるため、一度破裂すると汚水が激しく噴出することが多く、最悪の場合、大事故にもつながる。

このような圧送管は大別すると2つに分類される。1つ目は都道府県が管理する大口径かつ大規模なもので、内径は300mm以上になることが多い。市町村を跨いで布設されていることが多く、数kmにもわたる。2つ目は市町村単位で管理される小口径のもので、内径は100mm以下であることが多い。筆者らが活動する滋賀県南部の自治体では50mm、75mm、100mmの3種類が最も多かった。

いずれの圧送管に対しても点検ニーズは高まっている。前者においてはすでに検査機器が開発されており、一部点検が達成されている。しか

し、内径100mm以下のものについては、十分な点検装置が存在しないため、ほとんど放置されているケースが少なくない。そこで、本取組みでは、後者の小規模かつ小口径の圧送管の点検に焦点を絞って活動を開始した。このような圧送管は、ヒューム管に比べると短い経路範囲で曲がりや垂直部が多く含まれるため、従来の管内カメラでは点検が難しかった。本稿では、これらの課題を解決すべく筆者らが開発してきた電動式連結車輪型管内検査ロボット「AIRo-7.1」や自治体とのヒアリングを経て新たに開発したロボット「Xbot」、および、どちらの機体にも応用可能な配管経路作図システムを紹介し、その実証試験について報告する。

## 2 下水道圧送管点検ロボット

### (1) 連結車輪型

連結車輪型管内検査ロボットは車軸と関節軸を共通化できるため、管径に対する車輪径を大きくして障害物適応性を高めたり、内径の適応範囲を大きくしたりできる利点がある。また、T字管などの分岐管に対応可能であることも大きな特徴の1つである。

写真-1に下水道圧送管に特化して開発したロボット「AIRo-7.1」の実物写真を示す。7.1という数字は7号機にあたり、1度マイナーチェンジ

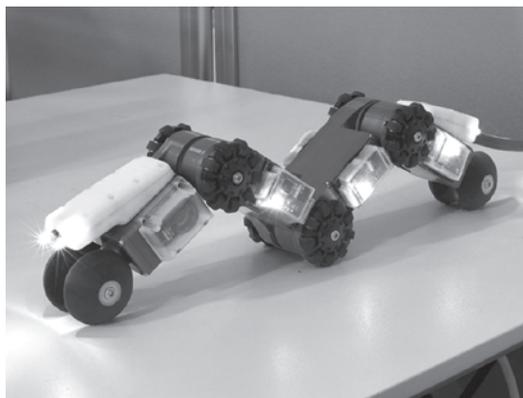


写真-1 連結車輪型管内検査ロボット「AIRo-7.1」

を施したために7.1となっている。AIRo-7.1は、3つの関節と4つのリンク（体）で構成される。ジグザグ型のM字の体形をしており、そのそれぞれの頂点に前後移動のための1対の駆動輪が取り付けられている。ロボットの前端後端の1対の半球車輪は機体を配管軸回りに捻じる動作のために用いられる。3つの関節のうち、両端2つはバネによって屈曲し、中央はモータによって屈伸する。75mm管に対応するように設計されているが、この中央関節の能動的な曲げ伸ばしによって同じ機体で100mm内径にまで対応する。また、滑りやすい配管内で車輪の押付力を増やすことによって滑り抑制が可能である。

### (2) 並列弾性原点復帰機構

連結車輪型は走破性が高いという利点を有している反面、緊急時の回収性が著しく低いという致命的な欠点を抱えていた。地中に埋められた下水道管の場合、万が一ロボットが機能不全に陥ってしまっても配管を切断することが難しく、最悪の場合地面を斫らなければならなくなる。そこで筆者は、電源を完全に失ったとしても機構的に外径が伸縮することにより、命綱を引っ張れば容易に回収できる「Xbot」を新たに開発した（写真-2）。

Xbotの車輪突っ張りには名前の由来にもなったハサミのようなX状のパンタグラフ機構が用い



写真-2 並列弾性原点復帰機構を有する緊急時回収可能なロボット「Xbot-1.1」