

## 自律飛行ドローンによる通信用マンホール点検技術の開発

NTT アクセスサービスシステム研究所 正会員 ○内堀 大輔

NTT アクセスサービスシステム研究所 非会員 中川 雅史, 柳 秀一

### 1. はじめに

アクセスサービスシステム研究所は通信用マンホール (MH) の点検作業を安全かつ効率的にするため、MH の未入孔点検技術を開発した<sup>1)</sup>。本技術は路上の MH 孔に装置を設置すると、可動式アームが内部に伸び撮影と劣化判定を自動的に行うため、作業者の入孔が不要となり転落事故等のリスク軽減や排水作業の省略が可能となる。しかし、本装置の設置や操作は路上作業となるため車両飛び込まれ事故がリスクとして残る。人身事故撲滅を目指したより安全な点検を実現するため、路上作業が最小限となる技術が求められている。

そこで、自律飛行ドローンによる MH 点検技術の開発に着手した。本技術は、自律制御のドローンが MH 孔から自動的に入孔し、内部を撮影して劣化の判定を行うことを目指す。作業者は MH の鉄蓋を開けた後は、安全な歩道等に避難することが可能となるため、路上作業の最小化による安全性の向上を実現できる。本稿では、MH 空間を自律飛行するために必要な飛行位置情報の取得方法の検討と模擬 MH を用いた自律飛行の原理検証を行ったので、その結果を報告する。

### 2. 通信用 MH の構造とドローンに必要な機能

通信用 MH は箱型の構造であり、躯体部の内法寸法は、数が多いもので長さ 2.3m、幅 1.3m、高さ 1.5m である。地上から地下の躯体部までは、首部と呼ばれる直径が約 60cm の円柱型コンクリートで連結している。このような狭い空間であることから、ドローンには小型かつ高精度に自律飛行するものが求められる。

現在、自律飛行機能を有したインフラ設備の点検用ドローンは数多く開発されているが、通信用 MH 環境下での飛行に適したものはない。高精度な自律制御には主として GPS 制御が用いられており、GPS 通信により空間中の飛行位置情報を把握し飛行を行うが、MH は地下空間であるため地上からの電波は届かない。GPS を用いない方法としてカメラ映像を利用した Visual SLAM 技術が提案されているが、通信用 MH の躯体内

部は狭く SLAM を用いるための十分な移動空間が無いため、適用が難しいと考えられる<sup>2)</sup>。

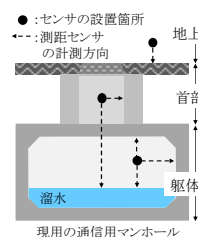
これらのことから、通信用 MH で自律飛行を実現するためには GPS や SLAM 以外の方法で、正確な飛行位置情報を取得する方法とその位置情報のフィードバックによる自律制御方法の 2 点が必要となる。

### 3. 飛行位置情報の取得方法

飛行位置情報を取得する方法として、測距センサによる対象物からの距離計測とカメラセンサによる目標物の認識を行うこととした。通信用 MH は規格品のため、躯体部や首部での飛行は壁面からの距離が正確に計測できれば飛行位置が把握できる。また、地上部は周囲に壁面が存在しないが、MH 孔をカメラセンサで捉え認識すれば MH 孔を目標物とした飛行位置を把握できると考えた。この測距センサとカメラセンサの組み合わせにより、地上・首部・躯体部の飛行環境において位置情報が把握できると想定した。

### 4. 飛行位置情報の取得検証

測距センサとカメラセンサによる飛行位置情報の取得検証を行った。図-1 に実験環境と検証内容を示す。実験環境は、現地 MH を用いて地上部・首部・躯体部の 3 パターンに分け、前項の通り地上部では測距センサとカメラセンサ、首部と躯体部では測距センサでの検証を行った。図-1 に示す箇所にセンサを設置し、地上部では測距センサでは鉛直下向き方向の距離計測、カメラセンサは MH 孔の撮影と認識を検証した。首部は測距センサにより鉛直下向き方向と水平方向の距離計測、躯体部では鉛直方向と水平方向の距離を計測した。環境条件として、地上部と首部の一部では日光がある状



| 環境  | センサ種類  | 実験方法                      | 環境条件             |
|-----|--------|---------------------------|------------------|
| 地上部 | 測距センサ  | 鉛直下向き方向の距離計測              | 照明 (日光) あり       |
|     | カメラセンサ | 鉛直下向き方向の撮影によるMH孔の認識       | —                |
| 首部  | 測距センサ  | 鉛直下向き方向の距離計測<br>水平方向の距離計測 | 一部照明あり<br>一部照明あり |
| 躯体部 | 測距センサ  | 鉛直方向の距離計測<br>水平方向の距離計測    | 床面に溜水あり<br>暗所    |

図-1 環境別によるセンサの実験概要

キーワード：通信用マンホール、ドローン、自律飛行、点検

〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 日本電信電話株式会社アクセスサービスシステム研究所 Tel:029-868-6250

態、躯体部は太陽光がほぼ入らず暗所の状態であった。また、躯体部は溜水がある状態であった。現用 MH は全体の半数以上に水が溜まっており、溜水上でも測距センサにより正確に計測ができるか確認を行った。測距センサは、超音波とレーザの2種類を用意した。

表-1 に検証結果を示す。地上部では日光の影響により、レーザは計測不可で、超音波が有効であった。MH 孔はカメラによる認識が可能であった。首部は、超音波では乱反射が発生し、レーザでは日光や溜水の影響を受けてどちらも安定した距離を計測できなかった。躯体部の水平方向はレーザが有効であり、鉛直下向きは溜水の影響により超音波のみが有効であった。これらの結果から、測距センサを用いて飛行位置情報を取得するためには鉛直下方向の距離計測は超音波、水平方向はレーザ、鉛直上向きはレーザもしくは超音波を用いることが最良であり、MH 孔の認識はカメラセンサで可能となることがわかった。

5. ドローンの自律飛行検証

測距センサとカメラセンサを用いて取得した情報により自律飛行可能かの原理検証を行った。図-2 に試作ドローンの概要を示す。水平方向の前後左右にレーザセンサ、鉛直方向の上下にレーザセンサとカメラセンサを設置した。本試作は原理検証機として、センサにより取得した距離データや画像データの処理に Raspberry Pi を用いており、ペイロード確保のため実物 MH に入孔できるサイズより大きく設計した。そこで、検証環境として地上に模擬 MH を作製した。模擬 MH には溜水がないため、試作機の測距センサはレーザに統一した。図-3 に模擬 MH の概要と検証する飛行ルートを示す。模擬 MH は試作機の大きさに合わせて実物よりも大きく設計しており首部は躯体部より狭く飛行難易度が高いため次回課題とした。飛行ルートは入孔から内部移動までを検証し、出孔動作は入孔動作と類似するため省略した。ドローンの自律制御方法には PID 制御を用いており、制御の目標値となる偏差はレーザセンサでは対象物との計測距離とし、カメラセンサはカメラで撮影した画像の中心点（ドローン機体の中心）と認識した MH 孔中心点との距離を設定した。検証の一連動作は、MH 躯体部上（地上部）から離陸後、検証1としてカメラセンサにより取得した映像から自動的に MH 孔を認識し、躯体部へ入孔する。入孔後は、検証2と検証3としてレーザセンサにより躯体部の壁面との計測距

離を用いて、躯体内部で前進・後進の動作を行い、MH 孔直下で着陸する。一連の検証の結果、ドローンは自動的に MH 孔を認識し入孔後、躯体内部を移動することができ、測距センサとカメラセンサを用いて自律制御を行えることが確認できた。今後の課題として出孔動作であり、ドローンの上部につけたカメラにより MH 孔を捉えて出孔できるか検証を行う。

6. まとめ

本稿では、通信用 MH を自律飛行する際の飛行位置情報の取得方法と模擬 MH を用いた自律飛行検証を行った。飛行位置情報の取得方法として、測距センサとカメラセンサを組み合わせることによって空間位置を把握できること確認し、自律飛行検証では測距センサとカメラセンサにより模擬 MH 内への入孔と躯体部での移動を実現することができた。今後は、模擬 MH からの出孔と首部での移動検証、ドローンのダウンサイズによる実物 MH での検証、内部の撮影方法および撮影画像の劣化検知方法を検討する。

表-1 環境別によるセンサの実験結果

○：可能、△：一部の条件で可能、×：不可

| 環境  | センサ種類  | 垂直方向                         | 水平方向              |
|-----|--------|------------------------------|-------------------|
| 地上部 | 超音波センサ | ○：路面距離計測可能                   | —                 |
|     | レーザセンサ | ×：日光により計測不可                  | —                 |
|     | カメラセンサ | —                            | ○：MH孔の認識          |
| 首部  | 超音波センサ | ×：乱反射により計測不可                 | ×：乱反射により計測不可      |
|     | レーザセンサ | ×：溜水により計測不可                  | △：日光により明るい壁面は計測不可 |
| 躯体部 | 超音波センサ | ○：鉛直上、下ともに計測可能               | ×：乱反射により計測不可      |
|     | レーザセンサ | △：鉛直上向きは計測可能、鉛直下向きは溜水により計測不可 | ○：水平方向の計測可能       |

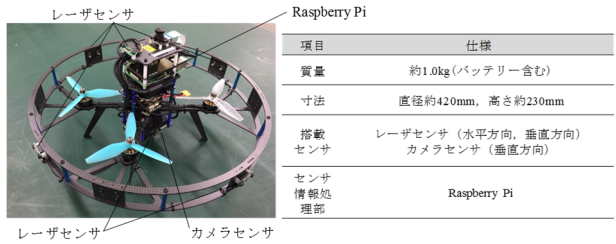


図-2 試作ドローンの概要図

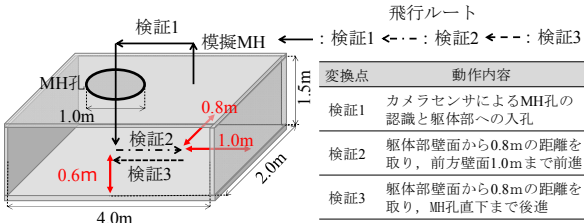


図-3 模擬 MH の概要図と検証内容

参考文献

1) 古川貴之：マンホール未入孔点検技術 1ー上床版自動撮影装，平成 29 年度土木学会全国大会，2017。  
2) 谷戸善彦，稲垣裕亮：下水道管路等閉鎖性空間に対応可能なドローンの開発，第 29 回非開削技術研究発表会論文集，pp. 25-32，2018。