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
－実寸大マンホールにおける自律飛行検証－

NTT アクセスサービスシステム研究所　正会員　○内堀　大輔，渡邉　一旭
NTT アクセスサービスシステム研究所　非会員　中川　雅史，荒武　淳

１．はじめに

NTT 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実施するために，自律飛行ドローンを用いた MH の点検技術の開発に取り組んでいる．本技術は自動制御のドローンが MH へ自動的に入孔し内部を撮影して，撮影画像から劣化の判定を行うことを目指している．作業者の入孔点検が不要となることから地下作業に伴う酸欠事故や入出孔時の転落事故の防止，また鉄蓋を開けた後に作業者は安全な歩道等への避難が可能となることから車両による飛び込まれ事故防止，といった安全性の向上が見込める．さらに，作業者の入孔時の換気，排水作業の省略による効率性の向上が可能となる．

本技術の研究開発にあたり，筆者らは地下空間においてドローンの自律制御に必要な飛行位置情報を取得するための最適なセンサ種類の提案を行った．また，提案センサの一部をドローンに搭載し，取得した位置情報に基づきドローンの自律飛行が可能かの基礎検証を行い，実現可能性を提示した [1]．そこで，本稿では離陸から着陸までの一連の自律飛行を実現するために，飛行中の位置情報を漏れなく取得するためのドローンの飛行動作に合わせた搭載センサ種類の切り替え方法の提案と，取得位置情報を用いた一連の自律飛行を実寸大 MH で行った結果を提示する．

２．既往研究の到達点とＭＨの自律飛行への課題

MH は地中に設置されているうえ通信用の MH は躯体部に十分な移動空間がないことから，ドローンの自律飛行の主流な方法である GPS 信号や Visual SLAM による制御が適用困難となる．

そこで，筆者らは既往研究にて測距センサとカメラでの画像処理を組み合わせることよる MH における空間中の位置情報の把握方法を提案した [1]．さらに，提案したセンサを搭載したドローンを試作し，MH を簡易に模擬した環境において自律飛行の一部の動作の検証を行った．既往研究において提案した位置情報把握方法を**図-1** にまとめる．また，既往研究では，提案したセンサのうちレーザとカメラを搭載したドローンを試作し，躯体部のみを再現した天井に孔の開いた直方体の模擬 MH を用意し自律飛行の検証を行った．直方体の上部から離陸し躯体部へ進入，移動と着陸といったセンサで取得した情報による自律飛行を行い，実現性を示した．

環境	位置情報取得に用いるセンサ	
	水平方向	垂直方向
地上部	下向きカメラ※	超音波
MH首部	レーザ	（今後の検討課題）
MH 躯体部	レーザ	超音波

※：MH鉄蓋の開口部の認識

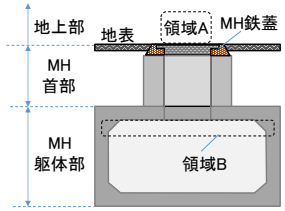

図-1　位置情報を取得するためのセンサ種類の組み合わせ

しかし，実物 MH における自律飛行の実現にはいくつかの課題がある．一つ目は，残課題とした首部および首部直上の**図-1** の領域 A における垂直方向の位置情報の取得方法である．二つ目は**図-1** の領域 B における水平方向の位置情報の取得方法である．MH は躯体部の天井付近の壁面が斜めの構造となっている．ドローンは飛行中に 10 度程度水平方向から傾くので，領域 B を飛行する際に取得するレーザの値が一定値に安定しない．領域 B は躯体部から狭い首部に進入する際に通過する領域のため，安定した位置情報が必要となる．三つ目は，センサの切り替え方法である．ドローンの飛行位置において位置情報の取得可能なセンサ種類が刻々と変わるため，離陸から着陸まで一連の飛行動作に合わせたスムーズなセンサ切り替えフローが必要となる．四つ目は，実寸 MH における飛行検証である．既往研究では，試作機のサイズが大きくそれに合わせて模擬 MH を大きくかつ首部を省略して作製した．本検討では，小型機の製作と実寸大 MH における自律飛行を目標とする．

３．飛行動作に対応したセンサの動作フロー

実物 MH における自律飛行を実現するために，はじ

キーワード：ドローン，自律飛行，通信用マンホール，位置情報取得，点検
〒305-0805　茨城県つくば市花畑 1-7-1　NTT アクセスサービスシステム研究所　Tel:029-868-6250

© Japan Society of Civil Engineers

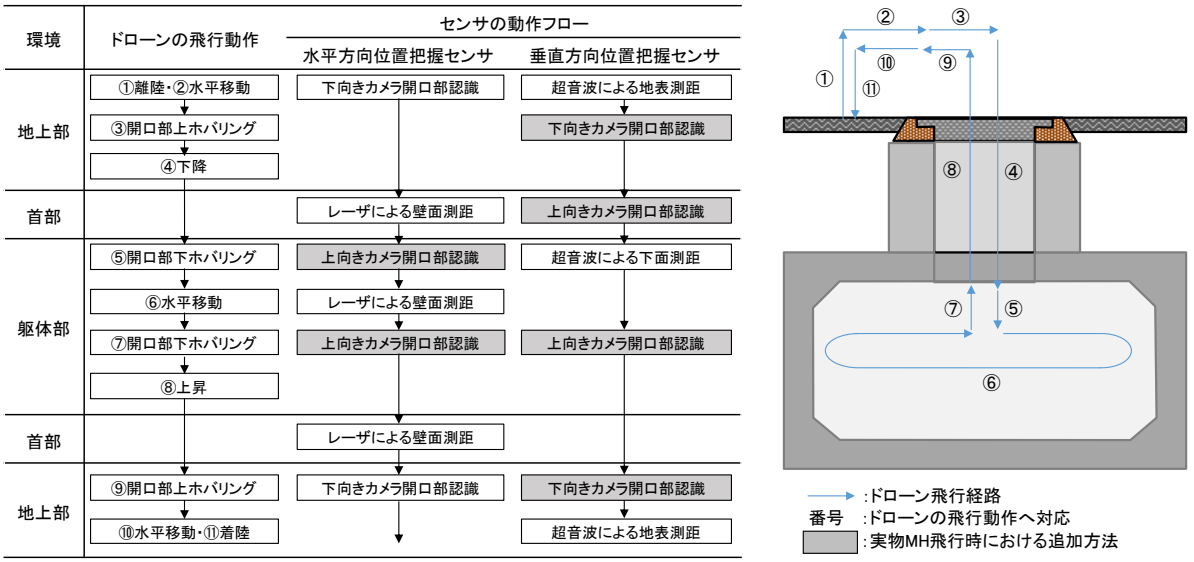

図-2　ドローンの飛行動作に対応するセンサ切り替えフロー

めに首部および首部直上の地上部における垂直方向の位置情報取得方法の検討を行った．前述の領域では，鉛直下方向のレーザは躯体部に溜まった水により適用できなく，超音波は一定の指向角を持つため開口部や首部の壁面等に乱反射し計測値が安定しない．そこで，カメラによる撮影映像から MH 孔の開口部の検出を用いることとした．地上部の水平方向の移動は，開口部を検出し開口部の中心座標の位置情報を制御に用いるが，検出した開口部の面積から開口部からの垂直距離情報を推定する方法を選択した．地上部から首部へ入孔する直前まで高さ情報を検出できるように，ドローンに搭載するカメラは画角 180 度以上の魚眼レンズを選択した．また，首部内にドローンが入孔した際にはドローンに上向きに設置したカメラにより開口部の認識を行い，位置情報を推定することとした．次に，領域 B における水平方向のレーザの計測値は安定せず，ドローンを精度よく制御することができなかった．そのため，上向きカメラにより開口部の認識を行い，孔の中心座標を水平方向の制御に用いることとした．

これらの位置情報の取得方法を追加して構築したドローンの飛行動作に対応するセンサ切り替えフローを**図-2** に示す．**図-2** における網掛けのブロックが実物 MH を飛行するために追加した位置情報の取得方法となる．

4．試作ドローンと実寸大ＭＨを用いた検証

各種センサを搭載したドローン試作機の概要を**図-3** に示す．寸法は開口部の直径が約 700 mm であるため，半分の 350 mm 以下になるように設計，センサの配置は**図-2** に示すセンサ切り替えを実施するために，側面に

項目	仕様
質量	約760g(バッテリー含む)
飛行時間	約5分
寸法	直径約280mm，高さ約180mm
搭載センサ	レーザ(側面4方向)・カメラ(上下方向)・超音波(下方向)

図-3　試作ドローンの概要

レーザ，上下にカメラ，下に超音波を設置した．

本試作機を用いた実寸大 MH における飛行検証を実施した．作製した MH は，通信用の MH における最大規格をベースとし，躯体は長手方向に 6.2 m，短手方向に 2.6 m，高さ 1.5 m，首部は直径 0.7 m，高さ 0.8 m とした．検証は試行回数 6 回で実施し，6 回とも離陸から躯体部移動、着陸まで一連の自律飛行を実現できた．飛行時間は平均で約 2 分であった．

5．まとめ

本稿では，MH において一連の自律飛行を実現するためのセンサの切り替えフローの提案と実寸大 MH を用いた自律飛行検証結果を示した．実物 MH において飛行動作中に漏れなく位置情報を取得するため，測距センサが使えない飛行領域ではカメラによる画像処理方法を用いた．ドローンを試作し，実物と同様の寸法で設計した MH にて検証し，一連の飛行動作を確認した．今後の課題として，自律飛行中の躯体部の点検用画像の撮影方法と撮影画像の劣化検出方法の構築がある．

参考文献

1)　内堀大輔ら：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，令和元年度土木学会全国大会，2019.

© Japan Society of Civil Engineers