

無人航空機(ドローン)による構造物への補修材吹付けにおける 機体と対象構造物の距離の可視化技術の適用検証

西武建設株式会社 正会員 ○二村憲太郎, 井上靖雄
芝浦工業大学 正会員 伊代田岳史
芝浦工業大学 長谷川忠大, 油田信一, 桑名宏鷹

1. はじめに

既往の研究によりドローンに吹付け機能を搭載することで補修材等塗布の可能性があることが判明した¹⁾。この研究を発展させた場合、高所作業の削減による安全性向上や仮設足場削減によるコストダウン効果に繋がる。しかしながら非 GNSS 環境下での機体の操縦性や対象構造物との距離の確認が困難な点などの改善点も併せて判明した。そこで今回、補修材吹付ドローン(以下、吹付ドローン)の非 GNSS 環境下での飛行性能の向上を図るため、測域センサを搭載し対象構造物と機体の距離および向きを LED 点灯の色パターンでパイロットに識別させた飛行状態を把握する。これによりセンサが視覚情報の補助機能を果たすのかを検証する。

2. 機体および周辺機器類概要

2.1 実験機体

実験機は既往の研究で使用した機体をベースに改造したものを使用した。機体の外観を写真 1 および 2 に示す。また、機体の諸元を表 1 に示す。

2.2 測域センサ

測域センサは 2D Laser Range Finder(smart-URG mini UST-20LX: 北陽電機社製)を採用し、小型コンピュータ Raspberry Pi 3 により制御をする。取り付けは機体重量バランスを考慮し、機体中央部よりステイによる吊り下げ式とした。重量はステイと合わせて 566g である。取り付けた状態を写真 3 に示す。センサの設定は最適吹付け距離をノズル先端から 1.5m とし、その前後 0.75m を許容レンジとした。また、機体水平角度の許容レンジは左右に 5°とした。これらの状態の表示に LED を使用する。LED は IC 内蔵タイプとし、その状況に応じた点灯方法を設定できる。点灯パターンを写真 4 に示す。



写真 1. 実験機外観（前視）

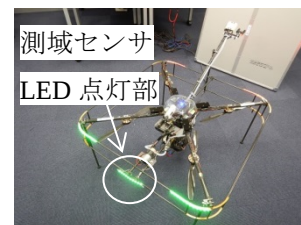


写真 2. 実験機外観（後視）

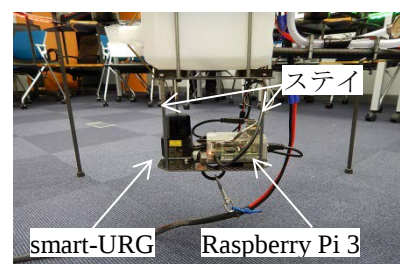
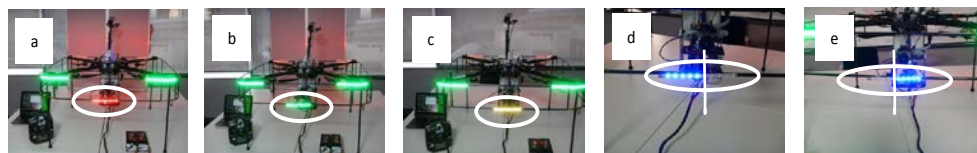


写真 3. 測域センサ



- a. <0.75m(赤)
b. 吹付適正範囲(緑)
c. >2.25m(黄)
※ 数値はノズルから対象の距離
d. 左に 5°以上旋回(左側に青)
e. 右に 5°以上旋回(右側に青)

写真 4. 測域センサ点灯パターン

表 1. 機体諸元

【機体】 ●機種：クアッドタイプ ●ベース機体：ZionPG700 ●メーカー：enRoute 社 ●全装備重量：最大 7.5kg ●搭載量：4kg(機体重量 3.5kg) ●機体サイズ：987.85mm×987.85mm×高さ 500mm ●ローター径：φ457.2mm ●飛行時間：30 分(最大 45 分) ●姿勢安定制御：高さは気圧検知式 ●給電方式：有線給電(地上バッテリー型) 350W×2 台 【ポンプユニット】 ●機体搭載型 ●DC24V 仕様 ●ノズル部：●吐出量：1.6ℓ/min(4 ノズル時), 1.2ℓ/min(2 ノズル時) ●重量：約 1kg ●搭載タンク容量：2kg ●ノズルと機体(ガードフレーム)との離隔 300~350mm、機体頂部との高さの差 0~400mm 【ノズル部】 ノズル先端を回すことでミスト~水流まで調整可能、1~4 ノズルまで選択可能 ●機体前後方向への傾きに自動追従するチルト機能、●ノズル上下操作機能 【その他】 ●機器類防滴シールド、●機載カメラ(小型デジタルビデオカメラ)、映像伝送装置およびモニタ

キーワード ドローン, 測域センサ, 補修材, 視覚情報, 可視化技術, LED

連絡先 〒359-8550 埼玉県所沢市くすのき台 1-11-2 西武建設株式会社 土木事業部 エンジニアリング部

Tel:04-2926-3421 E-mail:k-nimura@seibu-const.co.jp

3. 測域センサの効果の実証

3.1 実証実績

測域センサの効果福島県南相馬市県道 49 号赤根トンネル(延長 94m, 幅員 8.3m, 高さ 6.0m, S.53 年竣工)において検証した(写真 5)。覆工コンクリート内側の高さ 2.2m 位置より、幅 3m×高さ 1m に吹付け範囲を設定し、フェルトで作成した吸水材(20mm×20mm)を図 1 に示すように貼り付け、ターゲットとした。同形状のエリアを 6 箇所使用し、使用材料は 2 液混合型ケイ酸塩系コンクリート表面含浸材を使用した。図 1 に示す②から矢印方向へターゲットに吹付けながら移動し、①まで飛行した後、ターゲットを剥がし付着量の計測をした。1 回の飛行での噴射量は約 2kg である。エリアとセンサの使用、不使用およびトンネル内の風速を表 2 に示す。センサは吹付き最適位置(緑)および接近時(赤)では最大噴射状態とし、それ以外(黄および青)では噴射なし、もしくは噴射量を半分に削減するスイッチ操作をした。なお、図 1 に示す赤ラインは目安であり、現在の非 GNSS 環境下でのドローンの性能ではこのラインのように安定的に操縦することは技術的に困難である。

3.1.1 実施結果および考察

各ターゲットの重量分布を図 2 および 3 に示す。センサ使用時の最低塗布量は 0.2g 以上を確保したが、センサ不使用時の最低塗布量は 0.2g 未満が見られた。このことからセンサ使用により飛行性能が向上しターゲットへの吹付け性能の向上が確認される。なお、エリア 4 は風速が最大 4m/s を超過したため除外した。

3.2 操作性

操作性を確認するため、パイロットへのヒアリングを実施した。吹付ドローンを飛行した経験の無いベテランパイロット(飛行経験 3 年)へセンサの使用、不使用の状態で行かせ事後にアンケートを取った。高度な飛行技能を要するため被験者は 1 名となった。実験はパイロットにセンサ不使用状態で 3 回、30 分間の休憩を挟み、センサ使用状態で 3 回飛行させた。

3.2.1 実施結果および考察

アンケート結果からセンサ使用時のほうが疲労感は軽く、操作に慣れるに従い LED 表示による視覚情報は反射的に操作に反映できるため機体が安定し、結果的に、余裕が生じた分吹付け部への注視が増えたという回答を得た。

4. 結語

測域センサの活用により、吹付ドローンの性能の向上が確認された。具体的にはパイロットは LED からの視覚情報を容易かつ瞬時に取得できるようになることで操縦性が向上し、ターゲットへの命中性が向上した。これにより吹き残しや懸案であった過剰に要した使用塗布材料の低減が期待できる。また、パイロットへの負担を軽減する効果も期待できる。今後は非 GNSS 環境下での自律性など機体の性能向上等を図ることで、将来、安全かつ省力化につながるドローンによる吹き付けのシステムの構築に寄与する所存である。

参考文献 1) 二村憲太郎, 井上靖雄, 伊代田岳史: 無人航空機(ドローン)による構造物への補修材等吹付けの適用可能性の検証, 土木建設技術発表会 2016, №245

謝辞 赤根トンネルのフィールドを提供いただいた福島県ロボット産業推進室の皆様に感謝します。



写真 5. トンネル吹付状況

表 2. 吹付時データ

エリアNo.	6	5	4	3	2	1
時間	11:38	13:12	13:32	13:56	14:14	14:31
測域 セン サー	不使用	-	○	-	○	○
	使用	○	-	○	-	-
トンネル内 風速 (m/s)	最大	1.9	3.3	4.1	2.1	2.1
	平均	0.8	0.4	2.8	0.8	0.6

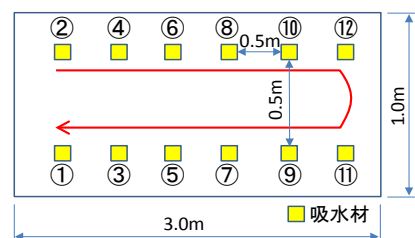


図 1. 吹付範囲と吸水材配置

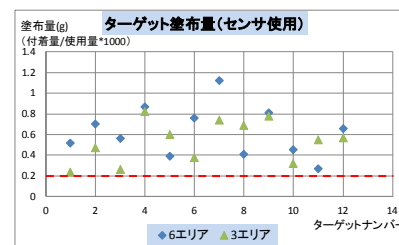


図 2. 塗布量(センサ使用時)

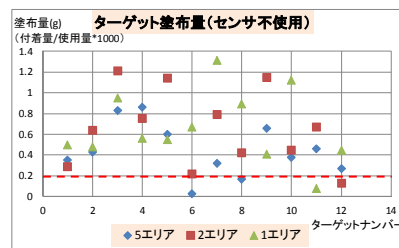


図 3. 塗布量(センサ不使用時)