

農道離着陸場での飛行試験に基づくドローンによる空港施設調査・点検の検討

日本工営 (株) 正会員 ○村上 陸
 日本工営 (株) 井上靖志 吉田武弘
 (株) トラジェクトリー 新原桃子 小関賢次

1. はじめに

日本国内では空港周辺におけるドローンの飛行は航空法で原則禁止されているが、ドローンは自動飛行・遠隔操作により空中から広範囲のデータを取得でき、施設規模が大きい空港の調査・点検を効率的かつ安全に実施できる可能性がある。本研究では農道離着陸場にてドローンに搭載した可視光のカメラで画像データを取得し、空港施設の調査・点検でのドローンの活用方法を検討した。

2. 関係する理論

2.1 ジョンソン基準

「ジョンソン基準」はデジタル画像において表1の5段階の識別レベルと必要な画素数を定義する¹⁾。ドローンが鉛直下を撮影する場合の撮影対象の識別レベルを推定するため、はじめに地上画素寸法 Δ を計算する。カメラのイメージセンサの寸法を a 、焦点距離を f 、画素数を n 、撮影基準面からの高度を h とすると式(1)が成立する。

$$\Delta = \frac{a}{nf} \cdot h \quad (1)$$

ここで Δ 、 a および n には縦と横が存在する。

次に、ある識別レベルに必要な画素数を k としたとき、その識別レベルを満たす撮影対象の大きさ x は式(2)で表される。

$$x = k \cdot \frac{a}{nf} \cdot h \quad (2)$$

2.2 斜め下前方の撮影 (チルト角の設定)

カメラを斜め下前方に向けて撮影する場合の撮影基準面での撮影範囲および撮影位置を推定する。これには図1の撮影基準面での①上端の撮影幅 D_t 、②下端の撮影幅 D_b 、③撮影面の水平距離 l および④ドローン飛行位置から撮影範囲下端までの水平距離 l_0 が必要である。イメージセンサの長辺を α 、短辺を β 、焦点距離を f 、撮影基準面からの高度を h 、チルト角を φ (水平を 0° とし、上方を正、下方を負) とすると以下の式で計算できる。

$$D_t = -\frac{ah}{\sqrt{f^2 + (\beta/2)^2}} \cdot \sin(\varphi + \theta_\beta) \quad (3)$$

$$D_b = -\frac{ah}{\sqrt{f^2 + (\beta/2)^2}} \cdot \sin(\varphi - \theta_\beta) \quad (4)$$

$$l = -\{1/\tan(\varphi + \theta_\beta) - 1/\tan(\varphi - \theta_\beta)\} \cdot h \quad (5)$$

$$l_0 = -h/\tan(\varphi - \theta_\beta) \quad (6)$$

ここで、 $\theta_\beta = \tan^{-1}(\beta/2f)$ とする。また、 $-90^\circ \leq \varphi < -\theta_\beta$ を対象とする。

3. 飛行試験概要

800m×25mの滑走路を持つ農道離着陸場で飛行試験を行った。試験日の天候は晴天であった。使用したドローンは小型の ANAFI (Parrot 社) で、カメラの仕様を表2に示す。撮影対象は表3の空港で想定される FOD (Foreign Object Debris) と舗装の実変状で、飛行ケースは表4の8ケースとした。取得した静止画は 12.1 型 FHD, 27 型 FHD

表1 ジョンソン基準による識別レベル

識別レベル	必要な画素
①検知不可(物体を発見することができない)	-
②検知(物体が存在していることが分かる)	2画素±0.5画素
③向き(物体の向きが分かる)	2.8画素±0.7画素
④認識(物体が何であるか分かる)	8.0画素±1.6画素
⑤識別(物体の個々を区別できる)	12.8画素±3.0画素

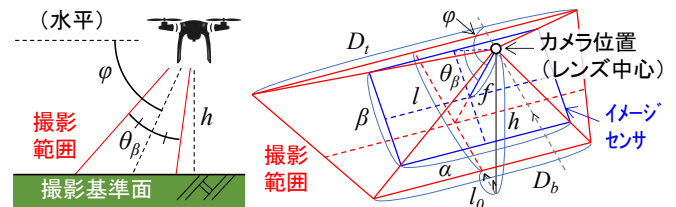


図1 斜め下前方の撮影範囲

表2 ドローンに搭載したカメラの仕様

	静止画	動画
焦点距離	23mm ※35mm換算	26mm ※35mm換算
画素数	4,608 × 3,456	3,840 × 2,160 (4K) / 1,920 × 1,080 (FHD)

表3 撮影対象物

模擬 FOD	ペットボトル(202×61×61), 手袋(230×80×10), 模擬タイヤ片(185×106×3), カメラ(108×67×28), 大ホルト(60×20×20), 小ホルト(35×12×12), ナット(13×13×6) (mm)
実変状	ひび割れ(幅3, 4, 6, 8, 10, 15, 20mm)

表4 飛行ケース

ケース	撮影高度	地上画素寸法 または動画規格	チルト角	備考	
静止画	A-1	60m	20mm	-90°	-
	A-2	26m	8.8mm	-	-
	A-3	60m	20mm	一定でない	UAV写真点群測量
動画	B-1	58m	FHD	-90°	-
	B-2		4K	-45°	-
	B-3			-22.5°	-
	B-4			-45°	-
	B-5			30m	-45°

キーワード ドローン, 空港, 点検, UAV 測量, オルソ画像, 3次元点群

連絡先 〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4 日本工営(株) 航空部 TEL03-5276-7767

および55型4Kモニターで閲覧し、表示時の拡大率も変化させた。動画の閲覧は55型4Kモニターでのみ行った。

4. 試験結果および考察

4.1 静止画および動画における撮影対象識別

取得した画像を図2に、55型4Kモニターで拡大せず閲覧したときの撮影対象識別レベルを表5に示す。特徴として色が薄いペットボトル、手袋は晴天のため画像に明るく写り、識別レベルが低くなる傾向があった。

A-1およびA-2について、ジョンソン基準を対象に実験での識別レベル（実験値）と式(2)による理論値の差異を整理した。図3よりA-1でのひび割れの実験値は理論値と比較して一致するか高めで、A-2でも同様であった。FODについてA-1では特に12.1型および27型FHDモニターで、拡大して表示した場合に理論値と実験値がよく一致した。一方、地上画素寸法が小さいA-2ではモニターと拡大の有無によらず、実験値は理論値よりも低めであった。これは撮影した静止画では寸法の小さな対象は検知が難しかったことが原因である。以上より、ひび割れおよび地上画素寸法が大きい場合のFODについては理論値を参考にして撮影方法を検討でき、地上画素寸法が小さい場合のFODについては予備試験を行うなど慎重な計画立案が必要だと考えられる。

4.2 オルソ画像・3次元点群データ(UAV写真点群測量)

図4に示すオルソ画像では、滑走路や着陸帯等を含む施設をスクロールしながら連続的に閲覧でき、効率的であった。識別レベルについては、オルソ画像生成時に地上画素寸法は22.3mmと解析されており、A-1の場合とおおむね同等のレベルで撮影対象を確認できた。

3次元点群では周辺のビニールハウス等の建築が立体的に表示され、滑走路の縦断・横断勾配が明らかな標高コンターも作成できた。今回の成果の格子点間隔は0.13mで公共測量の「作業規程の準則」²⁾の航空レーザ測量を参考にすると地図情報レベル500となる。空港分野では実施設計に用いる図化縮尺の標準は1/500または1/1,000とされ³⁾、ドローンを用いて空港設計のための測量ができる可能性が示唆された。点検では、平常時と災害時の3次元点群の差分により被災状況を推定する方法も有効だと考えられる。

4.3 動画における斜め下方向の撮影

B-3およびB-4ではB-1と比較して識別レベルは低下したが、撮影範囲は広くなり、撮影対象を立体的に把握できた。斜め下前方を撮影した動画は被災直後の鳥瞰的な状況確認等に活用できると考えられる。

検証可能であった式(3)から式(5)による理論値と、実験値の差異は2.4%~11.2%であった。空港中の標高差は他のインフラと比較して小さいため、斜め下前方の撮影計画も理論に基づいて簡便に実施できる可能性がある。

B-5では擬木柵および周辺の状態を確認できる動画を撮影できた。空港においても同様に撮影することで場周柵や法面、護岸などの立体的な施設の倒壊、崩壊等の被災状況が確認可能だと推察される。

5. 成果および今後の展望

ドローンによる空港での測量やFOD・変状の検知、被災状況確認は技術的には可能であることが明らかになり、理論も含めた効率的なデータの収集、活用方法も検討できた。今後は広大な空港敷地内におけるドローン制御のための通信確保についても研究が必要だと考えている。

参考文献

- 1) 内山庄一郎：新版 必携 ドローン活用ガイド ー災害対応実践編ー，東京法令出版，2020
- 2) 国土交通省：作業規程の準則，2020.3（一部改正）
- 3) 運輸省航空局：空港気象・測量・土質調査マニュアル，1995

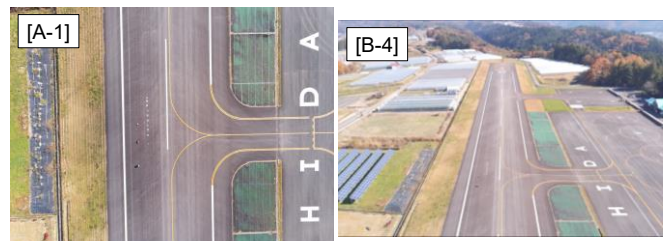


図2 取得した静止画・動画（キャプチャ）の例

表5 各ケースでの撮影対象の識別レベル

ケース	撮影対象の識別レベル(55型4Kモニターで閲覧)
A-1	【検知不可】大ボルト、小ボルト、ナット、5mm以下のひび割れ【検知】カメラ【向き】ペットボトル、手袋、模擬タイヤ片【認識】ひび割れ6mm以上
A-2	【検知不可】小ボルト、ナット、4mm以下のひび割れ【向き】ペットボトル、カメラ、ボルト、5mmのひび割れ【認識】手袋、模擬タイヤ片、ひび割れ6mm以上
B-1	【検知以上】カメラより大きいFOD、10mm以上のひび割れ
B-2	【検知以上】大ボルトより大きいFOD、6mm以上のひび割れ
B-3	【検知以上】カメラより大きいFOD、10mm以上のひび割れ
B-4	【検知以上】カメラより大きいFOD、15mm以上のひび割れ

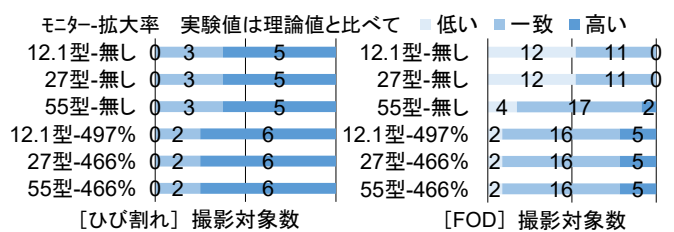


図3 A-1における識別レベル実験値と理論値の差異



図4 農道離着陸場のオルソ画像