

# 1. 基本事項

技術番号	BR010050-V0124			
技術名	自律飛行型UAVを用いた橋梁の3D点検技術			
技術バージョン	-	作成:	2024年3月	
開発者	KDDIスマートドローン株式会社			
連絡先等	TEL: 03-4485-1606	E-mail: ys-yamazaki@kddi.com	KDDIスマートドローン ソリューション推進1部 山崎 靖博	
現有台数・基地	Skydio 2+ 100台 Skydio X10 1台	基地	本社:東京都港区虎ノ門1丁目16番16号 虎ノ門1丁目MGビル 6F KDDIスマートドローンアカデミー事業部:千葉県君津市広岡1000	
技術概要	橋長に関わらず、橋梁点検に際して、自律飛行型UAVを使用して画像(静止画および動画)を取得することにより現橋を3Dモデル化し、3Dデータ上で点検支援を行う技術である。また、Skydio X10は、降雨時の飛行が可能なIP55等級仕様となっている。更にオプションのナイトセンスにより夜間・暗闇での飛行が可能となっている。 Dock(ドローン基地)を利用することにより、自律飛行(予め飛行ルートを設定)により、橋梁および橋梁周辺を撮影しながら、現況を確認することができる。			
技術区分	橋種	コンクリート橋		
	対象部位	上部構造(主桁,主桁ゲルバー部,横桁,縦桁,床版,対傾構,横構,主構トラス,アーチ,ラーメン,斜張橋,外ケーブル,PC定着部) 下部構造(橋脚,橋台,基礎) 支承部(支承本体,アンカーボルト,落橋防止システム,沓座モルタル,台座コンクリート) 路上(高欄,防護柵,地覆,中央分離帯,伸縮装置,遮音施設,照明施設,標識施設,縁石,舗装) 点検施設 添架物 袖擁壁 溝橋(ボックスカルバート)(頂版,側壁・底版・隔壁・その他,翼壁,周辺地盤,その他(路上)) H形鋼桁橋(上部構造(主桁),床版,支承部(支承本体)) RC床版橋(上部構造(主桁),支承部(支承本体))		
	損傷の種類	鋼	①腐食 ②亀裂 ③ゆるみ・脱落 ④破断 ⑤防食機能の劣化	
		コンクリート	⑥ひびわれ ⑦剥離・鉄筋露出 ⑧漏水・遊離石灰 ⑨抜け落ち ⑩床版ひびわれ ⑪うき	
		その他	⑬遊間の異常 ⑭路面の凹凸 ⑮舗装の異常 ⑯支承部の機能障害	
共通	⑩補修・補強材の損傷 ⑰定着部の異常 ⑱変色・劣化 ⑲漏水・滞水 ⑳異常なたわみ ㉑変形・欠損 ㉒土砂詰まり ㉓沈下・移動・傾斜 ㉔洗掘			
検出原理	画像(静止画/動画)			

## 2. 基本諸元

計測機器の構成		<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動装置: 自律飛行型UAV</li> <li>・計測装置: デジタルカメラ(装置前面: 静止画撮影用、動画撮影用、赤外線カメラ)</li> <li>・データ収集・通信: SDカードおよびWifiあるいはVPNインターネットを利用した撮影データの転送</li> <li>・プロポ、および専用コントローラなど</li> <li>・タブレット端末、および専用コントローラ、専用操作アプリケーション(撮影画像確認用)</li> <li>・確認用モニター(移動装置付属のカメラ映像用)</li> </ul>	
移動装置	機体名称	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Skydio2+</li> <li>・Skydio X10 および VT-300Z(カメラ)</li> </ul>	
	移動原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>【飛行型】</li> <li>・UAV機体上下にある計6個のレンズによる「Visual SLAM」技術を搭載しており、機体の中で3D処理を行って機体周囲の状況把握し、AIにより障害物を回避する。橋梁の床版下面のような非GPS下においても飛行が可能である。</li> </ul>	
	運動制御機構	通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>【Skydio 2+】</li> <li>無線通信: 周波数2.4GHz、出力10mW/MHz</li> <li>【Skydio X10】</li> <li>無線通信: 周波数2.4GHz、出力 EIRP 34.3dBmi (2.69W相当)</li> </ul>
		測位	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GPS</li> <li>・GLONASS</li> <li>・Visual SLAM</li> </ul>
		自律機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自律機能有。</li> <li>・Visual SLAMによる制御機構は、6点の魚眼カメラによる飛行時の障害物衝突回避機能を有する。</li> </ul>
		衝突回避機能(飛行型のみ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Visual SLAMによる障害物衝突回避機能のモード切替により、10cmまでの近接が可能。</li> </ul>
	外形寸法・重量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一体構造 移動装置+計測装置</li> <li>【Skidio 2+】</li> <li>・最大外形寸法 L22.9cm×W27.4cm×H12.6cm</li> <li>・飛行時重量 800g</li> <li>【Skidio X10】</li> <li>・最大外形寸法 L78.9cm×W65.0cm×H14.4cm</li> <li>・飛行時重量 2.11Kg</li> </ul>	
	搭載可能容量(分離構造の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>【Skidio 2+】</li> <li>搭載不可</li> <li>【Skidio X10】</li> <li>搭載可能容量:400g</li> </ul>	
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動力源: 電気式</li> <li>・電源供給: 移動装置のバッテリーより供給</li> <li>【Skidio 2+】</li> <li>・定格容量: 11.4V 5410mAh</li> <li>【Skidio X10】</li> <li>・定格容量: 18.55 V 8419 mAh</li> </ul>	
	連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>【Skidio 2+】</li> <li>・1フライト最大27分</li> <li>【Skidio X10】</li> <li>・1フライト最大40分</li> </ul>	
計測装置	設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動装置と一体的な構造</li> </ul>	
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-	
	センシングデバイス	カメラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>【Skidio 2+】</li> <li>SONY製 IMX577</li> <li>センサーサイズ 1/2.3インチ</li> <li>ピクセル数 4056×3040</li> <li>焦点距離 20mm ※35mm版換算</li> <li>【Skidio X10】</li> <li>・ナローカメラ SONY製 IMX686</li> <li>センサーサイズ 1/1.7インチ 64MP</li> <li>ピクセル数 9248 x 6944</li> <li>焦点距離 46mm ※35mm版換算</li> </ul>
		パン・チルト機構	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉛直-110°~90°</li> </ul>
		角度記録・制御機構機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・角度記録あり、ジンバルにて鉛直方向の制御あり。</li> </ul>
		測位機構	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GPS、GLONASS、Visual-SLAM、IMU、移動制限装置と併用</li> </ul>
	耐久性	-	
	動力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動装置のバッテリーより共有</li> </ul>	
連続稼働時間(バッテリー給電の場合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>【Skidio 2+】</li> <li>・4時間 外気温20℃、1回20分の測定</li> <li>・本体が過熱した場合は冷却が必要となる。</li> <li>【Skidio X10】</li> <li>・5時間 外気温20℃、1回30分の測定</li> </ul>		
設置方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動装置と一体的な構造</li> </ul>		

データ収集・通信装置		・移送装置のmicroSDスロットにSDカードを挿入する。
	外形寸法・重量(分離構造の場合)	-
	データ収集・記録機能	・記録メディア(microSDカード)に保存 ・計測機器のデータ収集・通信装置から計測したデータを有線接続された送信機経由でタブレット端末あるいは、専用コントローラに伝送し、内部ストレージに保存、もしくはmicroSDカードを取り出し、パソコンなどの内部ストレージにコピーする。
	通信規格(データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ(データを伝送し保存する場合)	-
	動力	・移動装置のバッテリーより供給
	データ収集・通信可能時間(データを伝送し保存する場合)	-

### 3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	有	
	性能値	未検証	風速5m/s以下での運用を推奨
	標準試験値	標準試験方法 地上・自然風(2019) 【Skydio2+】 実施年 2023年 ・変化量:0cm  【Skydio X10】 実施年 2024年 ・変化量:0cm  標準試験方法 室内・人工風(2023) 【Skydio2+】 実施年 2023年 ・風速:3.0m/s 正面(側面) 水平方向 最大移動量:4cm (9cm) 鉛直方向 最大移動量:26cm(11cm) ・風速:5.0m/s 正面(側面) 水平方向 最大移動量:32cm(16cm) 鉛直方向 最大移動量:31cm(9cm) ・風速:8.0m/s 水平方向 最大移動量:27cm(22cm) 鉛直方向 最大移動量:33cm(15cm)  【Skydio X10】 実施年 2024年 ・風速:3.0m/s 正面(側面) 水平方向 最大移動量:7cm (10cm) 鉛直方向 最大移動量:2cm(2cm) ・風速:5.0m/s 正面(側面) 水平方向 最大移動量:14cm(16cm) 鉛直方向 最大移動量:2cm(4cm) ・風速:8.0m/s 水平方向 最大移動量:25cm(30cm) 鉛直方向 最大移動量:6cm(6cm)	【Skydio2+】 ・風速:6.2m/s(自然風)  【Skydio X10】 ・風速:3.3m/s(自然風)
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	有	
	性能値	【Skydio 2+】 最小所要空間寸法1.0m以上	【Skydio 2+】 障害物回避モードを「近接」とした場合
	標準試験値	標準試験方法 進入可能性能 桁間に進入する場合(2022) 【Skydio 2+】 実施年2023年 ・空間:3.7m×2.8m×2.4m ・空間:5.6m×3.7m×3.7m  桁間に進入しない場合 【Skydio X10】 実施年2024年 桁下空間:高さ5.0m進入可能	【Skydio 2+】 ・風速:6.2m/s(自然風)  【Skydio X10】 ・風速:4.6m/s(自然風)
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	有	
	性能値	未検証	操作場所から機体までの電波遮蔽物が無く、電波干渉となる要因が無いこと。操縦者から機体が直接目視できる位置にあること。
	標準試験値	標準試験方法 飛行体(ドローン)(2022) 【Skydio2+】 実施年2023年 ・50m  【SkydioX10】 実施年2024年 ・50m	【Skydio2+】 ・風速:6.2m/s  【SkydioX10】 ・風速:4.6m/s
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件	
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 地上(2019) 【Skydio 2+】 実施年2023年 ・0.007m <sup>2</sup> /sec 【Skydio X10】 実施年2024年 ・0.017m <sup>2</sup> /sec 撮影面積: 16.5平方メートル 撮影時間: P1 5分59秒=982秒	【Skydio2+】 ・風速: 0.0~2.7 m/s  【SkydioX10】 ・風速: 0.0~2.7 m/s	
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 ひびわれ 地上(2019) 【Skydio 2+】 実施年 2023年 最小ひびわれ幅:0.1mm ・ひびわれ幅 0.05mm : 計測精度 0.05mm ・ひびわれ幅 0.1mm : 計測精度 0.00mm ・ひびわれ幅 0.2mm : 計測精度 0.06mm ・ひびわれ幅 0.3mm : 計測精度 0.08mm ・ひびわれ幅 1.0mm : 計測精度 0.06mm 【Skydio X10】 実施年 2024年 最小ひびわれ幅:0.1mm ・ひびわれ幅 0.05mm : 計測精度 0.05mm ・ひびわれ幅 0.1mm : 計測精度 0.00mm ・ひびわれ幅 0.2mm : 計測精度 0.06mm ・ひびわれ幅 0.3mm : 計測精度 0.08mm ・ひびわれ幅 1.0mm : 計測精度 0.08mm	【Skydio 2+】 ・被写体距離: 1.0~1.5 m ・照度: 10.8~66.9kLux 【Skydio X10】 ・被写体距離: 2.5~3 m ・照度: 6.0~63.1kLux	
	4-3 オルソ画像精度	長さ計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
			性能値	未検証	-
		標準試験値	標準試験方法 (2019) 【Skydio 2+】 実施年 2023年 ・相対誤差:0.05% 【Skydio X10】 実施年 2024年 ・相対誤差:0.02%	【Skydio 2+】 ・真値:3.891m ・測定値:3.889m ・被写体距離: 1.0~1.5 m 【Skydio X10】 ・真値:3.828m ・測定値:3.820m ・被写体距離:3.5~4 m	
	位置精度	性能確認シートの有無 ※	有		
		性能値	未検証	-	
		標準試験値	標準試験方法 (2019) 【Skydio 2+】 実施年 2023年 ・絶対誤差(Δx, Δy)=(0.003, 0.000) (m) 【Skydio X10】 実施年 2024年 ・絶対誤差(Δx, Δy)=(0.003, 0.000) (m)	【Skydio 2+】 ・真値(x, y)=(-3.601, -1.474)m ・測定値(x, y)=(-3.598, -1.474)m ・被写体距離: 1.0~1.5 m 【Skydio X10】 ・真値(x, y)=(-3.551, -1.431)m ・測定値(x, y)=(-3.546, -1.417)m ・被写体距離: 3.5~4 m	
	性能確認シートの有無 ※	有			
	性能値	未検証	-		

<p>4-4 色識別性能</p>	<p>標準試験値</p>	<p>標準試験方法 (2019)                  【Skydio 2+】                  実施年 2023年                  ・フルカラーチャート識別可能                  【Skydio X10】                  実施年 2024年                  ・フルカラーチャート識別可能</p>	<p>【Skydio2+】                  ・照度:7.48~77.1kLux                  【Skydio X10】                  ・照度:7.87~66.2kLux</p>
------------------	--------------	---	---

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

## 5. 画像処理・調書作成支援

変状検出手順		1. 橋梁を動画または静止画撮影する。(手動) 2. 下記②ソフトを使用して、SfM処理によるテクスチャ付きの高精細な3Dモデルを作成する。(手動) 3. 2. で作成した3Dモデルを下記③ソフトに取り込み、3Dモデル上で技術者が点検、記録を行う。(手動) 4. 下記③ソフトを使用して、状況動画やVRデータを出力する。(手動)		
ソフトウェア情報	ソフトウェア名	①コンクリート構造物劣化調査支援ソフト:「Crack Imager」(自社開発ソフト:販売品) ②SfMソフト:米国Bentley Systems製「iTwins Capture」(市販ソフト) ③3D汎用ソフト:英国Veesus製「Arena4D DataStudio-J」(機能部分開発:販売品)		
	検出可能な変状	・ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、床版ひびわれ		
	損傷検出の原理・アルゴリズム	ひび割れ	・ひびわれの検出は、技術者が3Dデータ上で有無を判定する。	
		ひび割れ幅および長さの計測方法	・ひびわれ幅の計測は、上記①ソフトを使用して、計測したいひびわれ幅を画像上で指定することで自動的に表示する。 ・上記①ソフトを使用して、ひびわれの長さを計測する。	
		ひび割れ以外	・上記①ソフトを使用して、変状の大きさ(長さ×高さ)、位置を計測する。	
		画像処理の精度(学習結果に対する性能評価)	-	
		変状の描画方法	・ひびわれ:ポリライン ・ひびわれ以外:ポリゴン	
	取り扱い可能な画像データ	ファイル形式	・自社開発ソフト:JPEG、BMP、TIFF ・SfMソフト:JPEG、mp4など ・3D汎用ソフト:2D画像データ各種(JPEGなど)、3Dモデルデータ各種(OBJ、LASなど) 注:ひびわれの幅を測定するためにGeoTiffなどのデータが必要となる場合がある	
		ファイル容量	-	
		カラー／白黒画像	カラー	
画素分解能		・ひびわれ幅0.2mmを検出するためには1.0mm/Pixel以下であることが必要。 ただし、現場での撮影条件等を考慮し、安全率を適用して撮影対象との離隔を決定する。		
その他留意事項		・ひびわれにチョークが重なっている場合は検出が困難な場合がある。		
出力ファイル形式	・2Dデータ:JPEG、DXF(自社開発ソフト) ・3Dデータ:テクスチャ付きOBJなど(SfMソフト) ・オルソ画像:JPEG、GeoTiff(SfMソフト) ・動画データ:mp4(3D汎用ソフト) ・VRデータ:pkg(3D汎用ソフト)			
調書作成支援の手順	-			
調書作成支援の適用条件	-			
調書作成支援に活用する 機器・ソフトウェア名	-			

6. 留意事項(その1)

項目		適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)
点検時 現場条件	道路幅員条件	-	-
	桁下条件	【Skydio 2+】 ・桁下進入時は、高さ1m以上必要。	・飛行範囲に植生があり、問題となる場合は伐採を行う。
	周辺条件	【Skydio 2+】 ・細いワイヤーや小枝等が飛行範囲に無いこと。 ・夜間や暗所で飛行しないこと。 【Skydio X10】 ・細いワイヤーや小枝等が飛行範囲に無いこと。 ・夜間や暗所を飛行する場合は、オプションのNightSenseを装備すること。	-
	安全面への配慮	・飛行中は、操縦者とは別に安全管理員を立てることで、第三者への配慮や構造物への接近に問題がないか監視を行う。	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	・必要に応じ通行規制を行う。	-
	その他	・UAVの飛行が可能な地域や場所であること。 ・撮影対象はコンクリート面であること。	・風速5m/s以下(メーカー仕様の11m/s以下に対し、操作性や安全性を考慮) ・動作温度:-5℃~40℃ ・夜間計測不可 ・雨天計測不可 ・照度100lux以下は離陸不可 ・撮影対象が鋼材面や光沢のある塗装面の場合は不可



6. 留意事項(その2)

項目	適用可否/適用条件	特記事項(適用条件)	
作業条件・運用条件	調査技術者の技量	・UAVの安全飛行について知識が必要であり、業務を実施するために必要な操縦技量の習得者	・国土交通省の定める「無人航空機飛行マニュアル」に準ずる。
	必要構成人員数	・現場責任者(安全管理員)1人、操縦者1人、補助員1人を基本とする。	・状況に応じ、補助員は操縦者を兼任する。
	操作に必要な資格等の有無、フライト時間	・「無人航空機の飛行に係る許可・承認書」の「無人航空機を飛行させる者」の登録者 ・当社の講習を修了していること。	・国土交通省の定める「無人航空機飛行マニュアル」に準ずる。
	作業ヤード・操作場所	・離着陸やバッテリーの交換、充電作業等を行うため、約2~3m四方の平坦な場所があること。	・離着陸ポイントの周辺3mに構造物が無いこと。 ・離陸地点から高度10m以上で飛行する場合は、GPSの補足が必要。
	点検費用	【橋梁条件:参考】 橋種:コンクリート橋 橋長:10m 部位・部材:上部工、下部工 範囲:100m <sup>2</sup> 以内(上部工側面積、下部工面積含む)  【作成データ】 ・SfMデータ ・状況動画  【費用】:委託 ・400,000円より (標準条件での直接費用:現場1日の場合)  【費用】:販売 ドローン機体 Skydio2+:1,400,000円 Skydio X10 : 2,630,000円 * 円ドル為替レートにより価格が変わります。 ソフトウェア ・Crack Imager:450,000円 ・Arena4D DataStudio-J:1,400,000円 ・Bentley iTwins Capture:1,780,000円	・橋梁規模や構造に応じ、別途見積もりが必要。 ・照明や治具など、現場に特有な条件に対し必要な機材の準備について、別途見積もりが必要。 ・2D、3Dデータの作成要求事項によっては、別途見積もりが必要。 ・交通規制、カードマンの費用は含まない。 ・販売価格は基本セットとし、オプション類、保守費、サポート費、技術指導費は含まない。また為替の影響等により価格は変動することがある。
	保険の有無、保障範囲、費用	対人・対物・対施設 損害賠償保険	-
	自動制御の有無	自律制御有	-
	利用形態:リース等の入手性	委託または販売  UAV販売 ・Skydio 2+ ・Skydio X10 ソフト販売 ・コンクリート構造物劣化調査支援ソフト:Crack Imager ・3D画像処理ソフト Bentley Systems iTwins Capture ・3D汎用ソフト: Arena4D DataStudio-J	【お問い合わせ先】 KDDIスマートドローン株式会社 担当:山崎、福井 お問い合わせは、下記のWEBページから <a href="https://kddi.smartdrone.co.jp/contact-list/contact/">https://kddi.smartdrone.co.jp/contact-list/contact/</a>
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	有り	-
	センシングデバイスの点検	飛行前にメインカメラ、センサーカメラ(6個)に汚れがあれば、付属のクリーニングクロスで清掃を行うこと。	-
その他	UAV飛行前に、必ずフライトチェックを実施する。	-	

7. 図面

