

超小型モバイルレーザ計測装置の UAV への適用

高橋 弘・高野 正範・宮山 智樹・若松 孝平・瀬口 栄作（中日本航空株式会社）

1. はじめに

近年の無人航空機（以下、「UAV」という）の発展は目覚ましく、その利活用も飛躍的に拡大しており、個人的利用だけでなく、テレビ映像の撮影での普及や物資運搬等の商業的利用への検討がされている。国土交通行政においてもインフラの長寿命化対策（施設点検）や、災害対策への利活用で UAV による調査の期待は高まっている。また写真を使用した三次元モデルの作成技術も飛躍的に向上しており、特に測量的な知識が無くても、UAV で重複した写真を撮影する事により、三次元地形モデルの作成が手軽に行えるようになってきた。これらの技術は、災害時の地形把握などにも利活用される場面が増えてきている。

一方、これらの空中写真からの三次元地形モデル作成においては、撮影された写真を用いて作成するため、写真では隠ぺい部となる草木下の三次元地形モデル作成が困難であった。従前のレーザ計測技術では、地上レーザや航

空レーザといった手法で、樹木下の計測にも対応していたが、システムが大型であり UAV への搭載が課題であった。これらを改善すべく、超小型モバイルレーザ計測装置と、ペイロード（最大積載重量）の大きい UAV を組合せ、国内で初となる UAV による高密度レーザ計測を実施した。本稿では計測システムの構成や、精度検証結果、小規模計測への適用事例などについて紹介する。

2. システム構成

2.1 超小型モバイルレーザスキャナ

本計測に使用したレーザスキャナは VUX-1（Riegl 社製）である。VUX-1 の外観を図1に、諸元を表1に示すほか、主な特徴は以下のとおりである。

- ・オンライン波形解析による複数ターゲット処理
- ・コンパクト及び軽量（3.6kg）
- ・電力消費が少なく、単一電源で作動

なお、位置計測システムには POSAV510（applanix 製）を使用した。POSAV510 は、

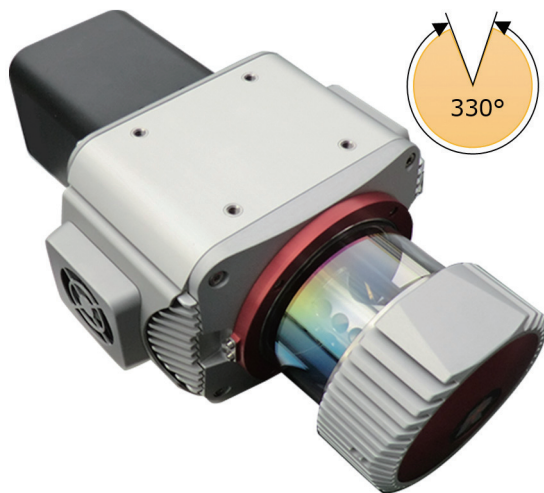


図1 レーザスキャナ(VUX-1)

表1 レーザスキャナ (VUX-1) の諸元

項目	性能
最大測定距離 (ターゲット反射率 60%)	920m
最大測定距離 (ターゲット反射率 20%)	550m
測定精度	10mm
最短距離	3m
アイセーフクラス	レーザークラス 1
有効測定レート	500,000 回 / 秒
視野角 (FOV)	330°
最大作動飛行高度 AGL	350m/1,150ft

表2 POSAV510の諸元

項目	性能
水平精度	0.1m
標高距離	0.2m
ロールピッチ精度	0.005 (deg)
ヘディング精度	0.008 (deg)

一般的な航空レーザ測量でも使用されている実績の高い位置姿勢計測システムであり、高精度な位置姿勢計測を実現する事が可能である。POSAV510の計測精度は表2のとおりである。

2.2 車両搭載での実証実験

UAV への搭載にあたり、車載での実証実験を行った。結果は図2のとおり、街灯やマンホール、路肩の微小な段差も確認でき、想定以上に高精なレーザデータが取得され、レーザスキャナと位置姿勢測定方法に大きな問題が無



図2 車両搭載実験の結果（反射率で表示）

い事を確認した。但し、単コースによる市街地での実証実験であったため、UAV 搭載時には以下について検証を実施する事とした。

- ・水平精度の検証
- ・標高精度の検証
- ・小物体の識別検証
- ・樹木下の地形データの検証

2.3 産業用無人ヘリコプター

UAV は H26 年当時、最大級のペイロード（約

表3 産業用無人ヘリコプターの諸元

項目	性能
型式	R-MAX L18 (ヤマハ製)
全長×全幅×全高	3.63m × 0.72m × 1.08m
重量	67kg
平均時速	20km /h
連続航続時間	20 分 / 回
積載重量	約 10kg

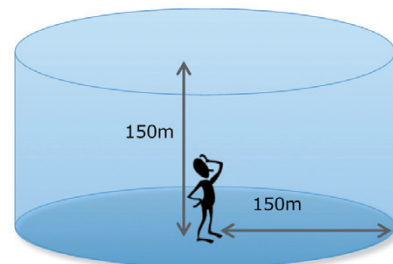


図3 運用範囲の概念

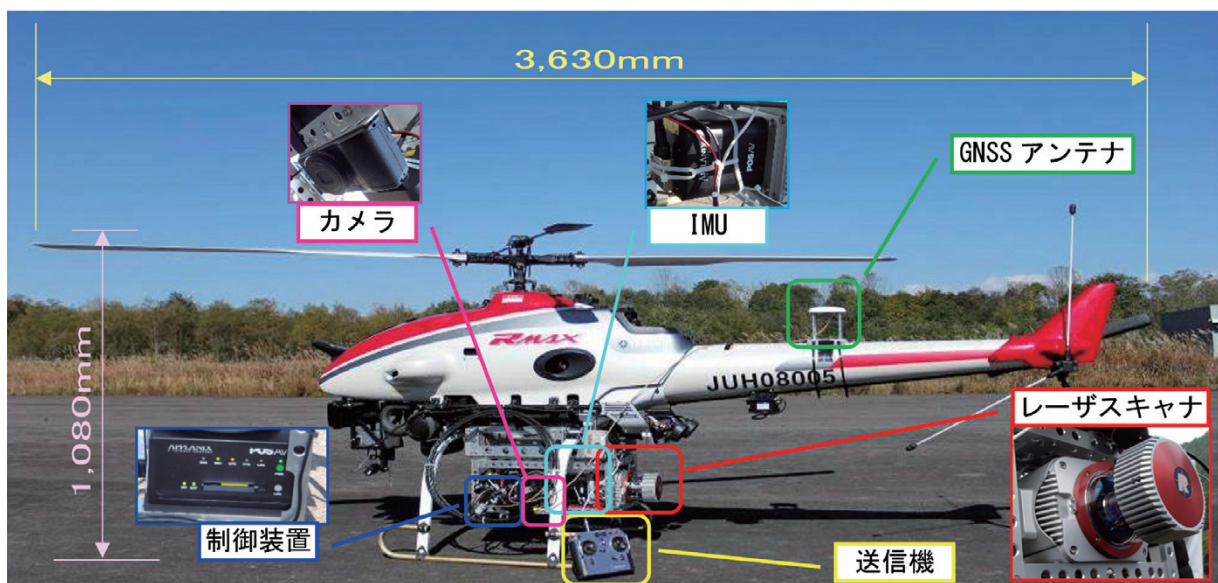


図4 産業用無人ヘリコプター (R-MAX L18) と機器搭載状況

10kg) を確保する事のできた産業用無人ヘリコプター R-MAX L18 (ヤマハ製) を採用した(諸元は表3参照)。運用にあたっては、産業用無人ヘリコプター(以下、「UAV」に語句統一)を保有している『株式会社コハタ』に協力依頼し、日本産業用無人航空機協会(JUAV)において規定されている『産業用無人航空機安全基準(回転翼機)』に則り、安全に運航した。特に運用範囲は対地高度 150m 以下、水平はオペレーターを中心として半径 150m 以下と決められているため、飛行範囲については注意を要した(図3参照)。

UAV に、レーザスキャナ、GNSS アンテナ、IMU、カメラ等を搭載し(図4)、試験飛行で安全を確認後、実地検証(精度確認飛行)を行った。

2.4 低高度計測の利点

航空機にレーザ計測装置を搭載した『航空レーザ測量』は、国土交通省公共測量作業規程(以下、『規程』という)において精度等が定められ、取得目的や実施方針によって固定翼か回転翼を選択するのが一般的である。

航空レーザ測量は光を用いた計測であり、光エネルギーは距離の二乗で減衰する。そのため図5のとおり、同じレーザ出力の場合、高高度



図5 対地高度による樹木下の検知力

より低高度の方が理論上のエネルギー損失が少ない。よって UAV による超低高度計測では、高密度データの取得のほか、樹木の隙間をレーザ光が通り抜ける確率が高いと考え、植生下における地表面検知力の向上を期待して実証検証を行った。

3. 実地検証

3.1 検証フィールド

検証フィールドは北海道の『胆振(いぶり)地方』の2箇所とした(図6)。

- ・検証フィールド①：白老滑空場⇒広域な平坦地を活かし、水平精度・標高精度の検証等
- ・検証フィールド②：錦多峰川の2号遊砂地周辺⇒樹木下の地形精度の検証等



図6 実地検証箇所

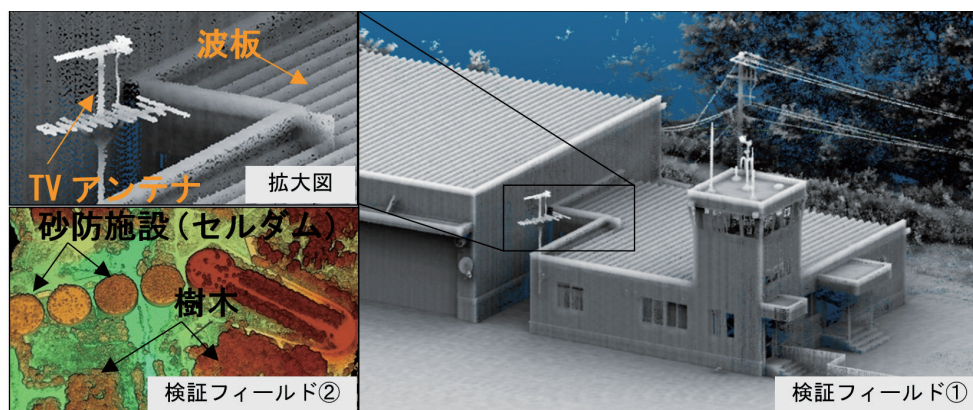


図7 データ取得状況

3.2 データ取得状況

データ取得状況を図7に示す。検証フィールド①では構造物の形状がよく取得されており、屋根の波板や TV アンテナの形状まで確認できる。検証フィールド②においても砂防施設や樹木の取得状況が良好である事が確認できる。

3.3 調整用基準点による標高精度の点検

3.3.1 調整用基準点による点検方法

取得した三次元データの標高値について、『規程』を参考に調整用基準点を用いた較差点検を以下の手法で実施した。

- ①調整用基準点4点は現地測量を実施(図8)。
- ②調整用基準点を中心とした 25cm 四方内のレーザ点と現地測量結果を比較した。
- ③比較対地高度は 150m, 100m, 50m とした。

3.3.2 調整基準点による点検結果

点検結果は表4に示すように、以下のとおりである。

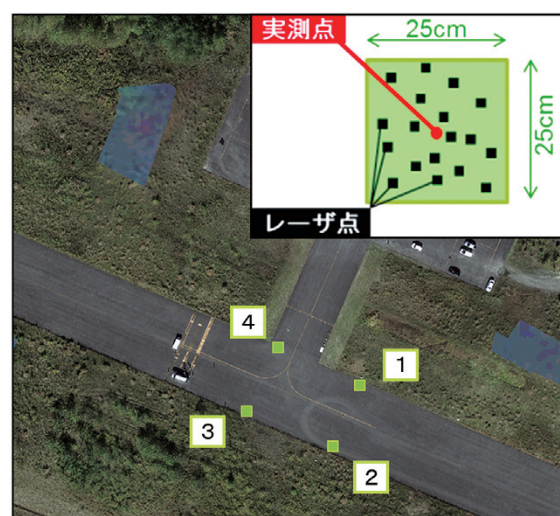


図8 調整用基準点での標高点検

- ①いずれの対地高度でも標準偏差は概ね 1cm 以下であった。
- ②高高度計測の方が、較差が大きかった。
- ③対地 100m と 50m の較差は近似していた。(同一フライト計測が要因と考えられる)

上記結果から高度別で較差があるものの、標準偏差値が非常に良好であったため、『規程』

表4 調整用基準点標高点検結果

単位: m

点名	実測 標高	対地高度 150m					対地高度 100m					対地高度 50m				
		点数	レーザ 平均標高	実測との 較差	RMS 誤差	標準 偏差	点数	レーザ 平均標高	実測との 較差	RMS 誤差	標準 偏差	点数	レーザ 平均標高	実測との 較差	RMS 誤差	標準 偏差
1	12.337	14	12.240	-0.097	0.097	0.008	8	12.291	-0.046	0.046	0.004	24	12.277	-0.060	0.060	0.003
2	12.347	13	12.246	-0.101	0.102	0.012	5	12.301	-0.046	0.047	0.004	58	12.286	-0.061	0.061	0.005
3	12.798	11	12.692	-0.106	0.106	0.007	14	12.740	-0.058	0.059	0.004	33	12.741	-0.057	0.058	0.009
4	12.795	9	12.693	-0.102	0.102	0.008	4	12.742	-0.053	0.053	0.004	42	12.736	-0.059	0.060	0.007
平均		-	-	調整計算値 -0.101	0.102	0.009	-	-	調整計算値 -0.051	0.051	0.004	-	-	調整計算値 -0.059	0.060	0.006

※ RMS 誤差: $[\sum (x - x_i)^2 / n]^{(1/2)}$ 標準偏差: $\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 / (n-1)}$

第 292 条を参考とし、対地高度別に標高値を一律シフトする調整計算を行った。

3.4 対地高度別の標高精度検証

3.4.1 標高精度の検証方法

調整用基準点調査の点検結果より、高度毎に標高値を調整したのち、滑走路上の実測点との標高値の検証を以下の手法により実施した。

- ①検証用のレーザデータは、滑走路を横断する計測コース（図9の赤線）を飛行して取得
- ②検証用の実測データは「コロコロポール」※

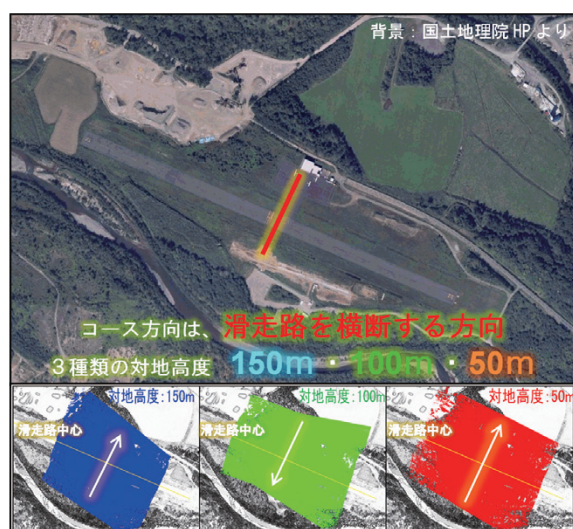


図 9 対地高度別検証用計測データ

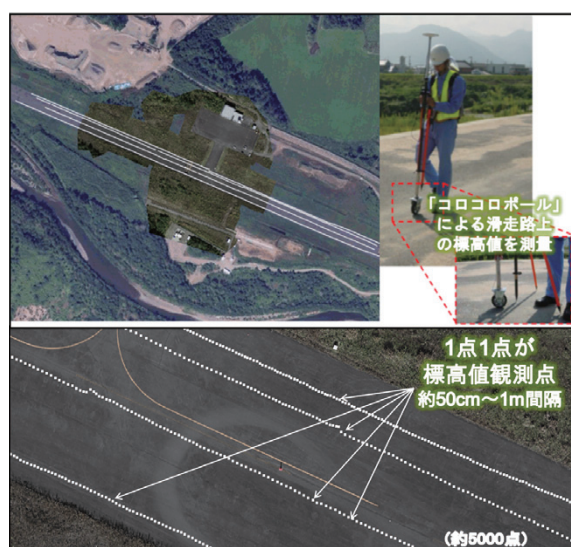


図 10 標高検証点（コロコロポール）

により、滑走路縦断方向に4測線、約 5000 点の標高点を取得した（図 10）。

- ③対地高度別のレーザデータから発生させた TIN モデルと、実測データとを比較評価した。

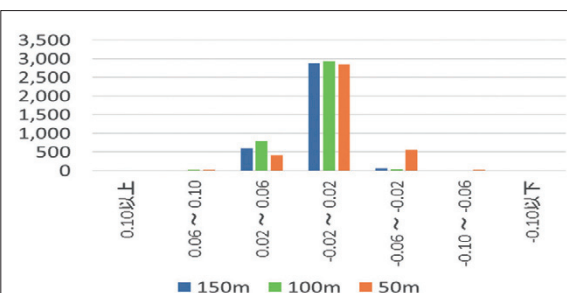
3.4.2 標高精度の検証結果

検証結果は表5に示すように、以下のとおりである。

- ①検証は、実測データに一致するレーザデータ（TIN モデル）を抽出して実施し、各高度の検証点数は約 4000 点程度であった。
- ②較差平均は対地高度 150m、100m 計測で 1 cm前後、50m 計測でも 0.1cmと、非常に高精度な結果が得られた。
- ③標準偏差はいずれの高度も 1cm台と良好な結果であったが、較差平均と逆転し、対地高

表 5 高度別標高検証結果 単位：m

対地高度	150m	100m	50m
較差平均	0.010	0.012	0.001
標準偏差	0.012	0.012	0.018
検証点数	3,542	3,760	3,835



較差	150m		100m		50m	
	点数	割合	点数	割合	点数	割合
0.10 以上	0	0%	0	0%	0	0%
0.06 ~ 0.10	0	0%	2	0%	2	0%
0.02 ~ 0.06	594	17%	797	21%	417	11%
-0.02 ~ 0.02	2,884	81%	2,929	78%	2,855	74%
-0.06 ~ -0.02	64	2%	32	1%	553	14%
-0.10 ~ -0.06	0	0%	0	0%	8	0%
-0.10 以下	0	0%	0	0%	0	0%
計	3,542	100%	3,760	100%	3,835	100%

図 11 高度別標高較差のヒストグラム

※「コロコロポール」 線のな計測データを取得するため、測量ボールに車輪を取付け、データを連続的に取得する手法で標高値の観測精度は 1cm（標準偏差）程度（※参考文献 2）

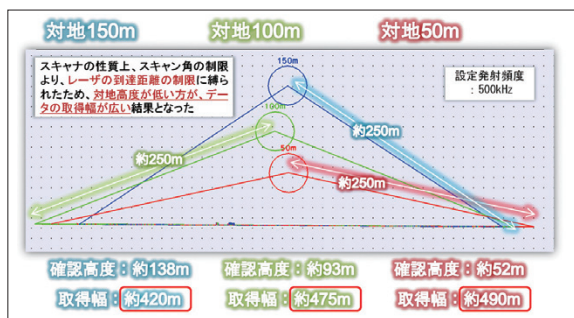


図 12 対地高度別データ取得幅の違い

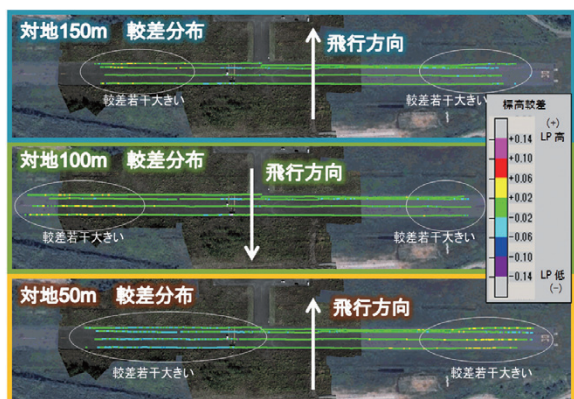


図 13 標高較差分布

度 50m の結果が最も大きい数値であった。

- ④ 集計結果のヒストグラムは図 11 のとおり、較差が ± 2 cm 以内の割合がいずれの高度も 70% を超えており、対地高度の高いデータの方がバラツキの少ない傾向を示した。
- ⑤ 平面的な較差分布は図 13 のとおり、各高度とも、全体的に較差 ± 2 cm 以内を示す緑色となっていたが、コースの端部では較差 6 cm 以内を示す黄色・水色の点が若干確認された。
- ⑥ コース直下に比べ、端部のデータの精度がやや劣化する傾向を示した。これはレーザスキャナが非常に広角 (FOV : 330°) である結果、レーザの照射角が極端に浅くなるため、以下の問題点が発生すると考えられる。

- ・ 位置情報を取得する IMU の角度性能、及びスキャナの測距性能が限界値に近くなる
- ・ フットプリントが大 $\Rightarrow$ 測距精度が劣化する

- ⑦ 本計測では測定レートを最大 (50 万回 / 秒) に設定したため、最大測距が 250m 程度だった (測定レート $\Leftrightarrow$ 最大測距 : 一般に反比例の

関係)。よって平坦地計測では、図 13 に示すように高高度計測の方が、最大測距の影響によりデータの取得幅が狭い結果となった。またコース端部では、入射角の関係から高高度データの方がフットプリントが小さく、精度が高かったと考える。

3.5 水平精度の検証

『規程』(航空レーザ測量) では、水平位置の精度点検手法は定められていないが、本システムで取得されるデータが高密度であることと、今後の利活用を検討する際、水平位置精度についての評価も必要と考え、次のとおり実施した。

3.5.1 検証フィールド①の点検方法

実測点 16 点について、以下の手法で実施した。

- ① 対地高度は 150m 及び 50m とした。
- ② 対空標識を 4 基設置 (図 14) した。
- ③ 実測により対空標識の四角座標を観測した。
- ④ 対標の上面を捉えたレーザ点より対標の四隅の座標を読み取り、実測座標と比較 (図 15) した。



図 14 水平精度検証用対空標識

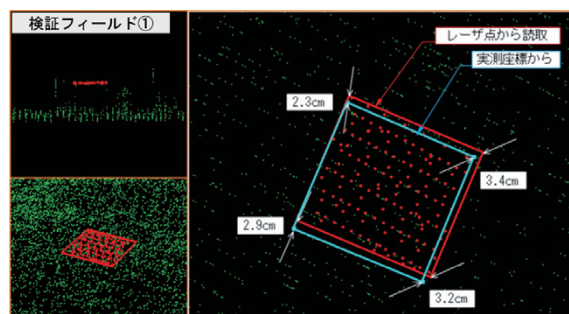


図 15 レーザデータから座標読取例

3.5.2 検証フィールド①の点検結果

点検結果は表6に示すように、以下のとおりであった。

- ①最大較差（対地高度 150m：5.8cm・50m：4.3cm）。
- ②平均較差は2～3cm程度と水平精度は高かった。
- ③水平較差の分布状況に傾向は無かった（図16）。

3.5.3 検証フィールド②の点検方法

実測 33 点について、以下の手法で実施した。

- ①対地高度は 80m とした。
- ②各構造物の角（図 17）等の座標を実測した。
- ③実測はノンプリズム TS 方式により計測した。
- ④レーザデータから構造物エッジの座標を読み取り座標較差で評価した。

3.5.4 検証フィールド②の点検結果

点検結果は表7に示すように、以下のとおりであった。

- ①較差 16.8cmの点が1点あったが、その他は概ね 10cm以内に収まった。
- ②平均較差 4.9cm、標準偏差 3.1cmと良好な精度結果が得られた。

表 6 水平精度検証結果

検証フィールド①								
対地高度 150m	Δ E 東-西	Δ N 南-北	Δ 水平誤差	対地高度 50m	Δ E 東-西	Δ N 南-北	Δ 水平誤差	
最大	0.039	0.050	0.058	最大	0.038	0.009	0.043	
最小	-0.053	-0.043	-	最小	-0.040	-0.028	-	
平均	-0.002	0.003	0.033	平均	0.005	-0.015	0.024	

単位：m

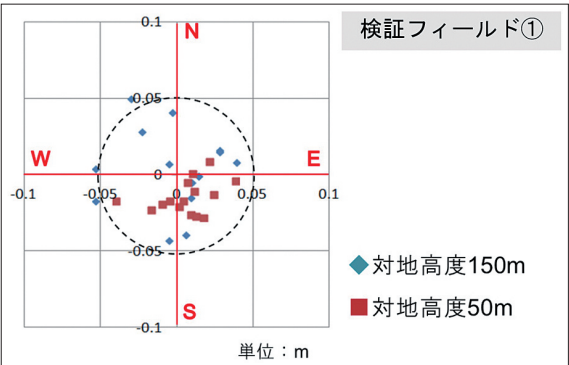


図 16 水平較差分布

- ③検証フィールド①と比較すると、若干数値が大きいが、実測がノンプリズム TS 方式のため、測定誤差があったものと考えられる。

3.6 小物体の識別検証

小物体の識別状況を確認するため、対地高度 50m 以下の低高度で舗装面に小物体を並べてレーザ計測を実施した。結果は、図 17 に示すとおり、高密度かつ高精度な三次元地形データを取得した結果、各小物体を識別する事が可能であった。

次に、段差のある小物体（発泡スチロール製）を製作し、詳細な取得状況を確認した。結果は図 18 に示すとおり 1cm の段差も確認する事ができ、本レーザ計測が非常に高精度で、小

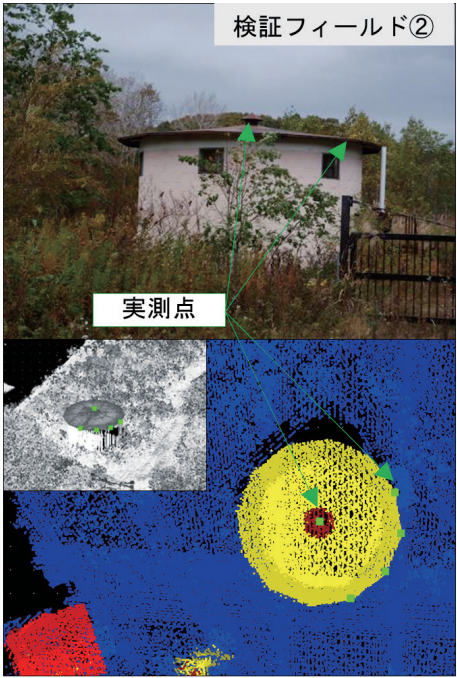


図 17 水平精度検証箇所

表 7 水平精度検証結果

項目	較差		
	Δ x (東西方向)	Δ y (東西方向)	Δ (水平距離)
平均	-0.011	0.002	0.049
標準偏差	0.041	0.041	0.031
最大	0.122	0.081	0.168
最小	-0.058	-0.115	0.012

検証フィールド② 単位：m

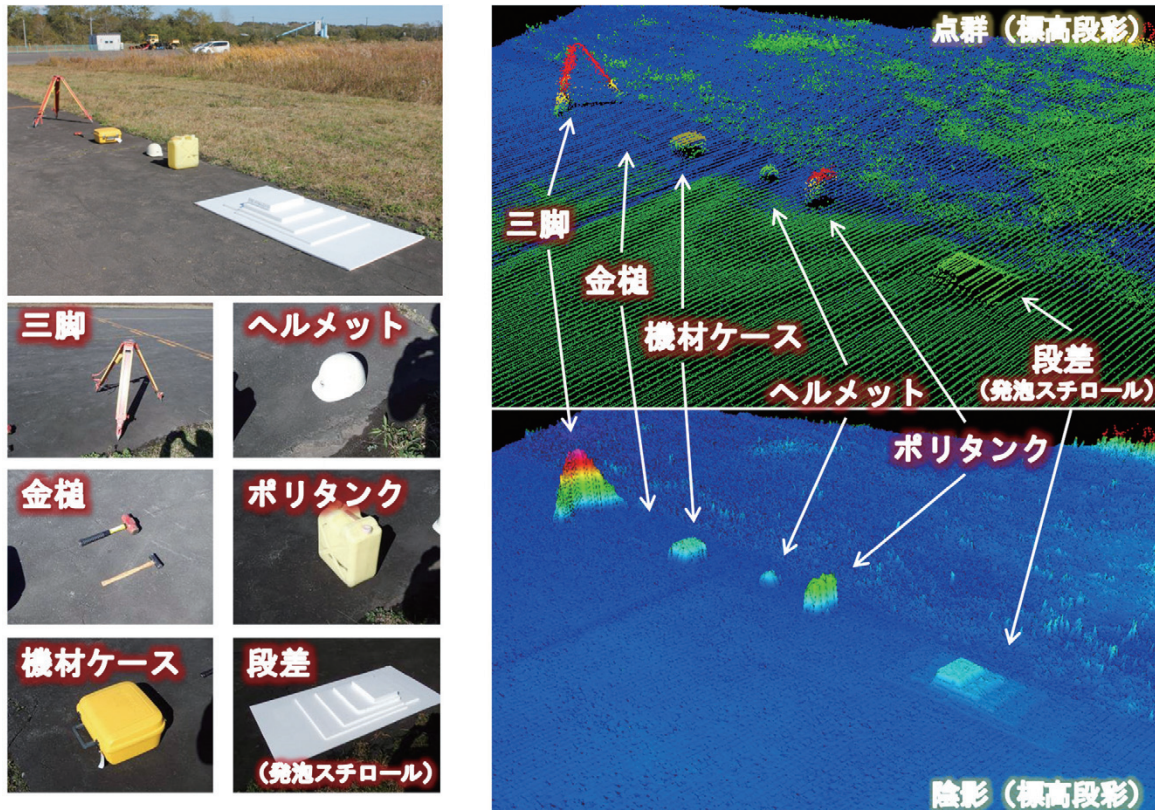


図 18 小物体の識別状況

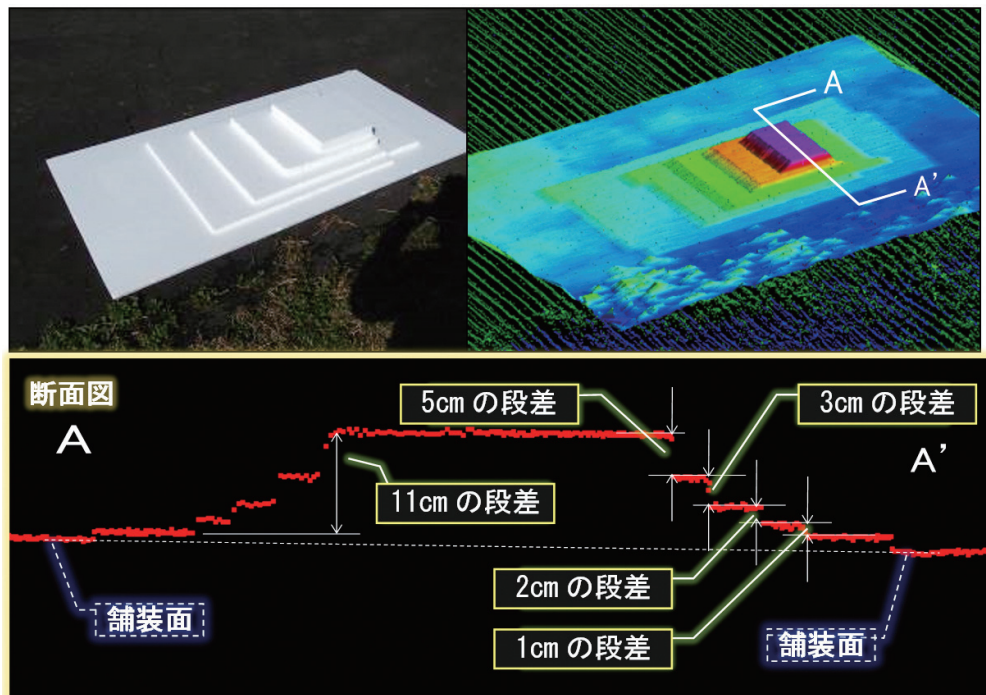


図 19 段差のある小物体の識別状況

物体の検知能力も高い事が確認された。

3.7 樹木下の地形データの検証

次に植生下の地面標高の精度について、検証

を実施した。通常の航空レーザ測量では評価項目の無い検証作業であるが、植生下の地面標高精度が重要視される事も多いため、検証を試みた。検証箇所は、①下層植生無しの区

域（上層植生のみ）、②下層植生ありの区域とした（図 20）。検証方法は、TS による実測を行い（図 19）、実測標高値と UAV レーザ計測



図 20 樹木下の実測状況

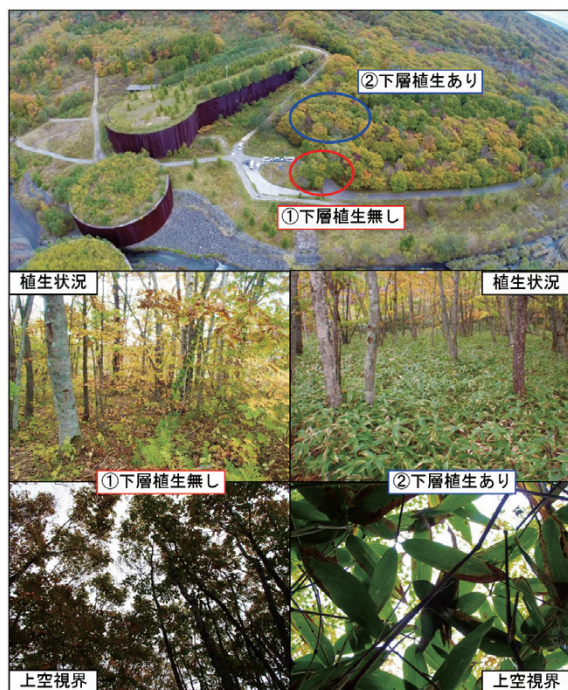


図 21 樹木下検証箇所

の取得標高値との較差から比較検証を行った。

樹木下標高値の比較検証結果を図 21、表 8 に示すように、以下のとおりであった。

- ①全体的に実測よりレーザ計測が高めの傾向。
- ②下層植生の影響については、下層植生の無い区域の方が精度の良い結果となった。
- ③下層植生は一般の航空レーザでは取得が困難な筈であったが、最大較差で 10cm であった。
- ④断面図における地形取得状況(図 22) からも、レーザ計測としては非常に良好な地面点（地

表 8 標高較差の一覧

区分	検証 点数	標高較差（レーザ計測－実測）				
		最大	最小	平均	RMS	標準偏差
①下層植生無し	22	0.056	-0.034	0.022	0.033	0.024
②下層植生あり	37	0.100	0.031	0.070	0.072	0.016

単位：m

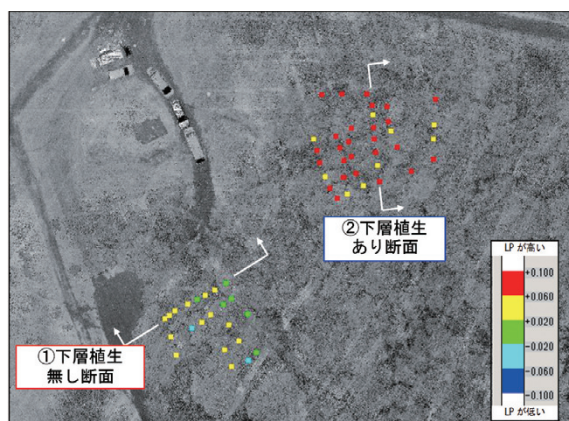


図 22 樹木下標高値の比較検証結果

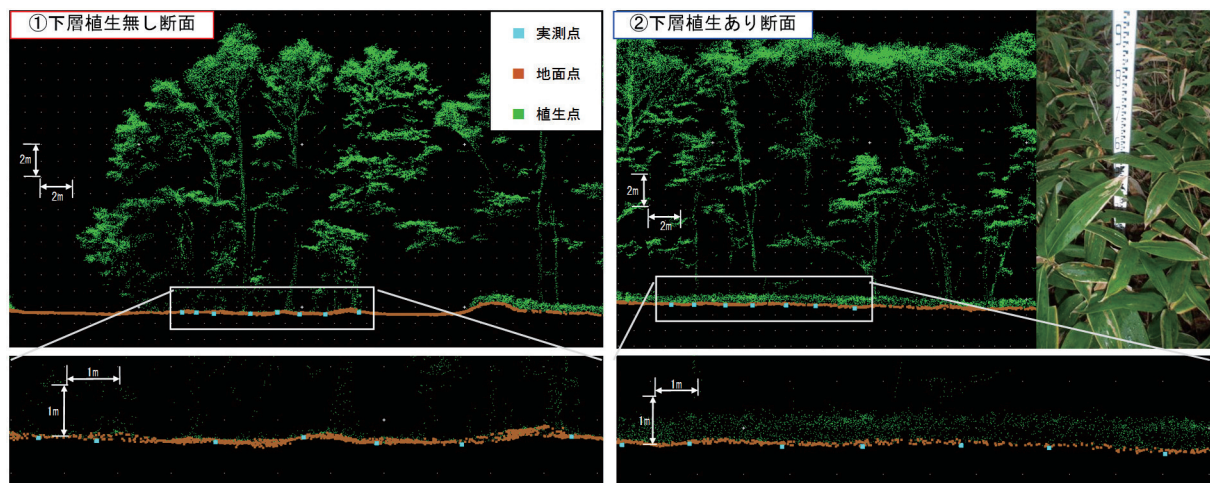


図 23 植生下の地形データ取得状況（断面図）

面モデル) が取得され、植生下の地面計測に適していると言える。

4. 小規模崩壊地における計測事例

4.1 計測概要

各種精度検証の結果が良好である事を踏まえ、小規模崩壊地の計測を岐阜県の『おりがわ湖』(図 23) で平成 26 年 10 月 30 日に実施した。小規模崩壊地の計測では、「地上型レーザ測量」・「TS による地形測量」・「実機を用いた航空レーザ測量」などが挙げられるが以下の事項が課題であった。

- ・作業効率の向上：基準点設置、機材運搬が困難
- ・安全面の確保：崩壊地への立入りが危険
- ・コストの縮減：航空レーザ測量では費用が増大

上記課題を解決する方法として、UAV によるレーザ計測を実施した(図 24)。その結果、1 フライト 20 分程度の短時間で計測を完了し、作業効率、安全確保に寄与した。またコスト面においても実機を用いた航空レーザ測量と比較すると縮減する事ができた。

4.2 計測結果

計測結果を図 25 に示す。右図が UAV による計測データで左図が同時期に計測した有人機(回転翼)の計測データである。上段図をみると、UAV 計測の方が、岩の形状や滑落崖が鮮明であることが確認できる。また断面図から、UAV 計測のデータが超高密度のため、樹木下の地表面も数多くの点が取得されており、一点一点の点データであるものの、連続的に表現されて線データのように見える。またオーバーハングの地形もよく表現されている事が確認できた。

次に、計測密度の点検結果を図 26 に示す。回転翼の計測密度も、航空レーザ計測としては非常に高く 100 点 / m² 以上の密度が確認された

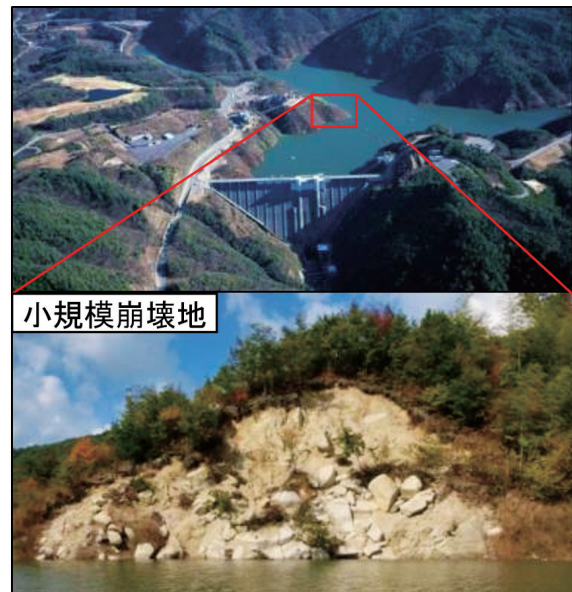


図 24 小規模崩壊地(おりがわ湖)



図 25 計測状況

が、UAV の計測密度は 1000 点 / m² 以上であり、従来の航空レーザ測量と比較すると、超高密度である事が確認された。

次に過去の崩壊前地形データとの比較を行った。崩壊前地形データは、平成 23 年度に航空レーザ測量により計測されているため、約 3 年前のデータである。図 27 に示すとおり、崩壊地では土砂の流出状況がよく把握できる。また拡大図に示すとおり地形変化の無い箇所は、崩壊前地形データとよく一致し、標高精度が良好である事が確認できる。なお小規模な段差のエッジ表現等は UAV 計測の方が地形を詳細に表現できている事も確認できた。

上記結果から小規模崩壊地における UAV 計

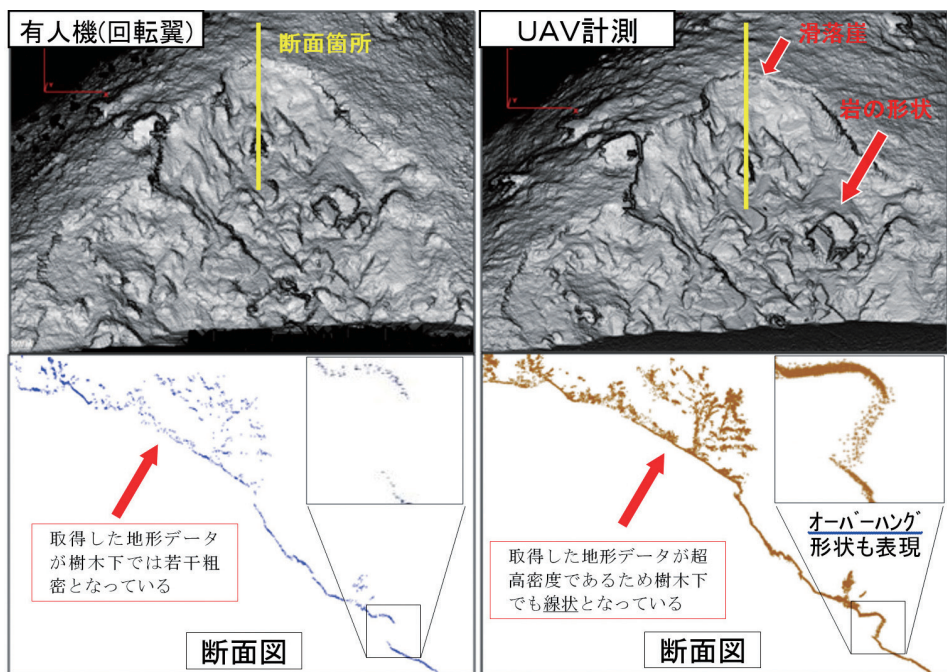


図 26 崩壊地の計測結果

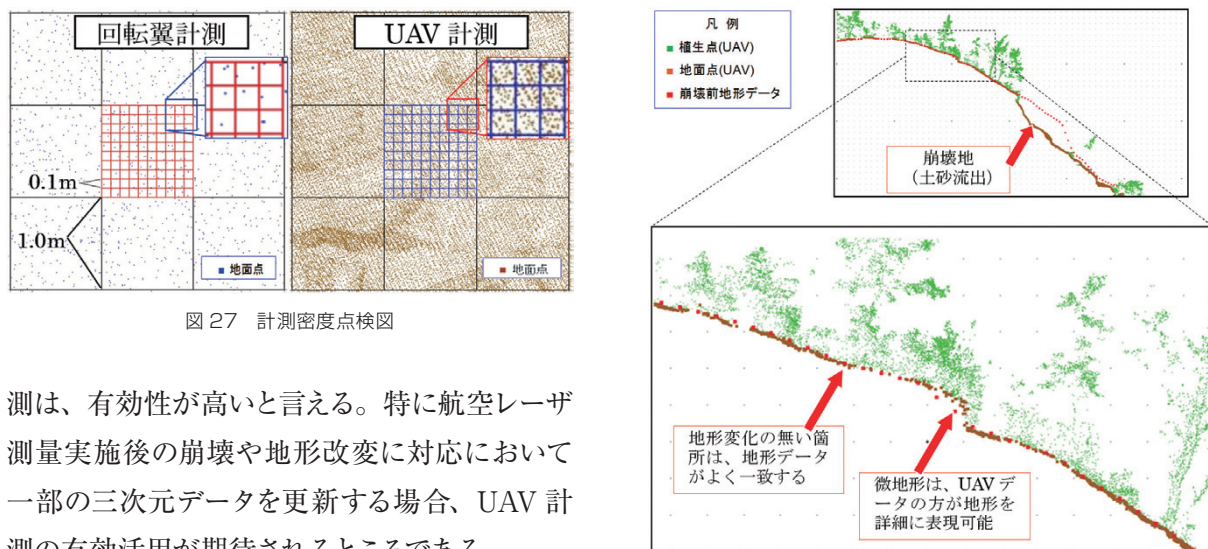


図 27 計測密度点検図

図 28 過去の航空レーザデータとの比較点検

測は、有効性が高いと言える。特に航空レーザ測量実施後の崩壊や地形改変に対応において一部の三次元データを更新する場合、UAV 計測の有効活用が期待されるところである。

5. まとめ

5.1 精度検証結果

表 9 に UAV による本実証実験結果と、『規程』における航空レーザ測量の精度とを比較する。なお表中には参考として一般的な航空レーザ測量の精度(実績値)も記載した。

結果は全ての項目において、『規程』の基準値を満たしており、UAV によるレーザ計測は、地図情報レベル 500 の航空レーザ測量としても品質的には問題無い事が確認された。さらに

実精度である水平精度と標高精度は、回転翼の航空レーザ測量実績と同等の数値が得られ、航空レーザ成果との合成・補間も容易に行え、双方のデータの高精度化に対応できる。また、UAV によるレーザ計測は、点群密度においても地図情報レベル 500 を大幅に上回るデータが取得されているほか、小物体の識別検証でも 1 cm の段差も検知していることから、微地形や構造物形状等、細かな形状においても再現性の

表 9 国土交通省公共測量作業規程と本検証結果の比較値

測量方法	条件 (上段：対地高度) (下段：速度)	水平精度 (標準偏差)	標高精度 ^{※1} (標準偏差)	点群密度 (1m × 1m)
参考：航空レーザ測量 (固定翼：海岸対象案件)	2000m 260km/h	計測密度が薄いため 評価実績無し	0.054m	1 点 (レベル 1000 対応)
参考：航空レーザ測量 (回転翼：河川砂防対象案件)	450m 100km/h	0.026m	0.018m	16 点
UAV によるレーザ計測 (対地高度 50m)	80m 15km/h	0.024m	0.006m	1000 点 (小規模崩壊地の計測結果)
国土交通省公共測量作業規程 (地図情報レベル 500)	—	0.250m (参考値 ^{※2})	0.250m	レベル 500：4 点 ^{※3} レベル 1000：1 点

※注 1 標高精度は、調整用基準点との調整後の値

※注 2 参考精度：数値地形図データ精度 (地図情報レベル 500) における水平位置の標準偏差

※注 3 レベル 500 の点群密度は、1 点 / 0.5m × 0.5m を 1m 格子に換算した値

高い三次元データを構築する事が可能である。

上記結果から UAV によるレーザ計測は、低高度の計測メリットを最大限活かし、高精度かつ高密度なデータ取得が可能である事が確認された。一方で、対地高度によっては精度が変化する可能性もあるため、今後実績を積み上げて検証する必要がある。

5.2 UAV 計測によるメリットとデメリット

一般的な航空レーザ測量に対比し、UAV によるレーザ計測のメリットとデメリットを表 10 に示す。航空レーザ測量と UAV 計測のそれぞれのデメリットは、相対する方法のメリットであり、それぞれを補間して、即時性や地形状況、取得対象物による使い分けを行う必要がある。

5.3 UAV 計測の課題と今後の利活用

現状の UAV レーザ計測実運用に向けた課

題は以下のとおりであり、今後はこれら課題を解決し、運用していく必要がある。

- ・ UAV の運搬 (遠方地における距離及び日数)
- ・ 車両到達位置と計測予定箇所の関係 (原則、車両到達位置でオペレートできることが前提)
- ・ 1フライトの最大計測範囲が狭い (計測範囲は原則、オペレーターから 150m 以内)
- ・ 1フライトの最大計測時間 (燃料やバッテリーの容量)

なお UAV における懸念事項としては、繁華街における夜間飛行時の墜落や、首相官邸での墜落事件等、安全性確保に対する懸念が広がっている。一方で、UAV (ドローン) の飛行ルールを定める改正航空法が H27 年 9 月 4 日で成立されたほか、『測量調査に供する小型無人機を安全に運行するための手引き』 (H27 年 5 月 25 日：一般社団法人日本写真測量学会) が発行されるなど、UAV を安全に運航するため

表 10 航空レーザ測量と UAV レーザ計測のメリットとデメリット

項目	メリット	デメリット
航空レーザ測量	・ 高高度からの計測が可能 ⇒ 広範囲の計測が可能 ・ 実績が多く、信頼度が高い ・ 公共測量 (測量法) として使用可能 ・ 広大範囲の場合、コスト小 (対 UAV 比)	・ 対地高度 300m 以下での飛行が不可能 (低空申請を除く) ⇒ 超高密度計測が困難 ・ 計測実施が天候等の条件により影響をうける ・ 飛行までの手続きに時間を要する ・ 狭小範囲の場合、コスト大
UAV レーザ計測	・ 対地高度 150m 未満の低高度計測が可能 ⇒ 高密度・高精度データの取得 ・ 有人機より天候等の影響を受けにくく計測実施の可能性が高い ・ 広角データの取得 (計測範囲 330°) ・ 狭小範囲の場合、コスト小	・ 150m 以上からの計測が不可能 (航空法) ⇒ 広範囲での計測に不向きで時間を要する ・ 公共測量成果として使用する場合は、手続き (17 条申請) が必要 ・ 目視内かつ 150m 範囲内でしか飛行できない (現行機種) ・ 広大範囲の場合、コスト大

の基準が整いつつある。我々 UAV を利活用する側は、法令遵守・各種ガイドラインの収集を行い、倫理観を持って運航する事が求められている。特に土木関連を含む建設分野では、様々な用途で UAV の利用が他分野に先駆けて普及が進んでおり、その運用には他業界の模範となることが必要であろう。

今後、UAV レーザ計測は様々な方面での利活用が期待される。UAV による空中写真撮影や三次元地形モデルの作成は一般的に行わるようになってきたが、植生繁茂地区では正確な地形が取得できないため、その利用は限定されてきた。これに対して植生を透過して地形を計測する事のできる UAV レーザ計測では、自然地形の計測、施設点検、道路防災のほか、災害緊急計測など、そのポテンシャルは高いと言える。また、本検証結果で得られた結果から、非常に高精度な計測が可能のため、通常の測量以外の分野でも利活用が可能であり、UAV レーザ計測の普及は今後の建設分野で大いに貢献できるものと考えられる。

6. 謝辞

本論文作成にあたっては、共同研究として株式会社コハタ、リーグルジャパン株式会社に多大なる協力を頂いた。また、国土交通省（北海道開発局・中部地方整備局）からは、フィールドのご提供等、作業へのご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

■参考文献

- 1) 公社) 日本測量協会：－公共測量－作業規程の準則、2013
- 2) 鶴飼尚弘・柴田拓・大内山弘美・外山康彦・中田洋史(中日本航空(株))、岡崎慎一・早川潤(国土交通省豊岡河川国道事務所)：GPS 測量を応用した円山川堤防高計測、公社) 日本測量協会、平成 19 年度応用測量論文集、2007
- 3) 都竹正志・瀬口栄作(中日本航空(株))、長井伸正(株)コハタ)：UAV による高精細レーザ計測の試み－Riegl LMS VUX-1 の試験報告－、一社) 日本写真測量学会、平成 27 年度学術講演会論文集、2015

■執筆者

高橋 弘(たかはし ひろむ)

中日本航空株式会社

調査測量事業本部

E-mail : h_takahashi@nnk.co.jp



(共著者) 所属は筆頭著者に同じ

高野 正範(たかの まさのり)

宮山 智樹(みややま とむき)

若松 孝平(わかまつ こうへい)

瀬口 栄作(せぐち えいさく)