

チームNo. 1



December.2018

GREEN LIDAR SYSTEM FOR DRONE

Development report

国土交通省 革新的河川管理プロジェクト「陸上・水中レーザードローン」
グリーンレーザースキャナシステム開発レポート

© Copyright amuse oneself Inc. All rights reserved.

INTRODUCTION イントロダクション

国土交通省ピッチイベント「陸上・水中レーザードローン 革新的河川管理プロジェクト(第一弾)」への参加

株式会社アミューズワンセルフと株式会社バスコは、国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室が実施する「革新的河川管理プロジェクト」の「陸上・水中レーザードローン」の開発チームとして陸上および水中を高精度に計測する低価格のレーザードローンの研究開発を共同で進めてきました。

河川管理用ドローン要求仕様

目的

水域を含む河川管理区域内の地形・地物を平面的に3次元計測出来るドローン搭載型レーザー機器の開発と実装を行うこと

背景

- 沖積平野の利用が進み、安全な河川管理を目的に堤防が設置され、河道が固定された
- 本来、自然河川は沖積平野を形成する過程で、河道は蛇行を繰り返してきた
- 河道の固定により旧河道・氾濫原に堤防の一部が築かれ、地盤条件の悪い部分が内在する
- 河川整備で堤防の安全度は向上したが、気候変動で降雨強度が増している
- 限られた予算の中で、河川の完全性を高める効率的な河川管理が求められている

仕様

- 乗用車で運搬し、短時間に組立・解体し、半径数m程度以内の敷地で離発着できる機器
- 河川沿いに高度30m～120mから連続的に3次元計測できる機器
- 河川沿いに自由にルート設定が可能で、設定ルートを精度±5m以内で自動飛行できる機器
- 地上風速5m/秒程度までの気象条件で、設定した同一ルートを通って再度計測できる機器
- 河川沿いに水深15m程度までの河床形状が3次元計測できる機器
- 位置精度は水平・鉛直ともに±5cm以内が可能な機器

今後の課題

- 計測対象の経時変化・可視化画像などが、関係者間で迅速に共有可能なシステム構築
- 河川内の深掘れ、堤防天端の沈下など異常箇所可視化が設定表示可能なシステム構築
- 堤防表面の温度変化から湧水箇所の抽出などが可能なシステム構築
- 特定箇所における出水中の堤防断面の時間変化に伴う動態挙動観測が可能なシステム構築

基本コンセプト

- 航空レーザー測量システムをドローン搭載用に大幅に小型化すること
- 植生下の地表を平面的に測量できること
- 濡れた部分や水面下の地形を平面的に測量できること
- 繰り返し同一ルートを測量できること

主な技術仕様

- ドローンはマルチコプター型とし、機体は「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」(平成27年11月17日 航空局長)の「4-1 無人航空機の機能及び性能」の要件を満たすこと。
- 高度30～50mでLP測量を実施、3次元点群データを取得(レート 数万点/秒以上、走査数20回/秒以上、視野角90°以上、測距精度±10～20mm@50m以下)
- ファストパルス及びラストパルスが取得できること
- GNSS(2周波で搬送波位相観測、取得間隔1秒以下)
- レーザースキャナーに取り付けるIMUの精度(Roll/Pitch±0.025°以下、Yaw±0.1°以下、取得間隔0.005秒以下)
- 対空標識なしに世界測地系の地図を作成
- 裸地における水平精度、高さ精度ともに±5cm以内
- グリーンレーザーを搭載し、水面下も測量可能
- レーザーの安全基準として、近赤色波長の場合はJIS C 6802のクラス1、緑色波長の場合はクラス2以下を満たすこと
- レーザースキャナーの計測データはLAS形式で収納できること
- IMU/GNSSにより自動自律航行を実現(他の方法でもよい)
- 河川縦断方向に長距離の測量が可能(1回1時間以上飛行を目標)
- カメラを搭載
- 軽量(一式5kg以下※バッテリーを除く)
- 持ち運び可能(アーム、羽、本体を分解又は折りたたみ可能)
- 価格は1,000万円台を目標

航空写真とレーザー計測による3次元モデルの違い

航空写真

- 航空写真測量の技術及びSfM (Structure from Motion) 技術の活用により3次元モデルの作成が可能
- 3次元モデルは建物、樹木などの地物を含んだ数値表面モデル (DSM: Digital Surface Model) を取得
- 3次元モデルの精度は調整用基準点の配置数に依存

レーザー計測

- 高密度のレーザー照射により対象地物の形状を直接計測して3次元モデルを作成
- 3次元モデルは建物、樹木などの地物を含んだ数値表面モデル (DSM: Digital Surface Model) と、これらの地物を除去した数値標高モデル (DEM: Digital Elevation Model) を取得
- 3次元地形モデルの精度は調整用基準点の配置数には依存しない

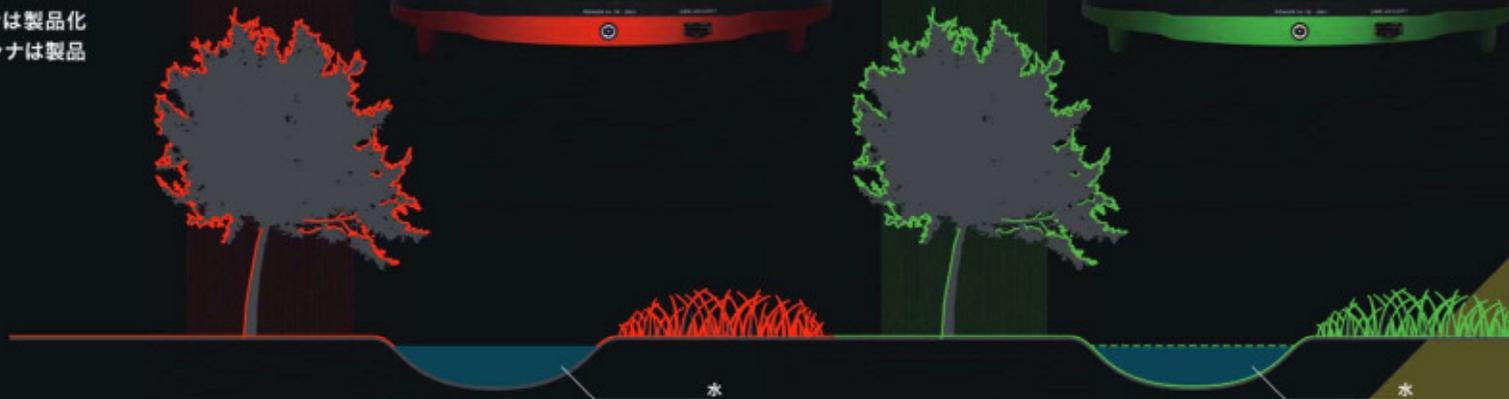
レーザー計測の特徴

- 高密度のレーザー計測で取得される数値地形モデルは、高水敷や河道内に繁茂する樹木下部の堤防形状を把握することが可能
- 使用するレーザー波長の違いにより反射特性が異なり、近赤外線レーザーは濡れた地面などの黒っぽい色調、水面はデータの取得ができないがグリーンレーザーは色調による反射強度の低下がなく、水部も透過可能なのでデータ取得可能領域が広い
- ドローンに搭載可能な小型軽量のレーザーキャナは、近赤外線レーザーキャナは製品化されているが、グリーンレーザーキャナは製品化されていない

近赤外線レーザーキャナ



グリーンレーザーキャナ



Development of Drone LIDAR ドローン搭載型近赤外線レーザースキャナ開発

ドローン搭載型近赤外線レーザースキャナ「TDOT PLUS」完成

2013年世界初となるドローン搭載型近赤外線レーザースキャナを開発。
以後、アップデートを重ね、国土交通省ピッチイベントの要求仕様をクリアするパッケージが完成しました。

国土交通省ピッチイベント確定要求仕様

革新的河川管理プロジェクト(第一弾)

小型・軽量
5kg程度
(バッテリー除く)

約30分の
飛行時間

価格帯
1,000万円台

距離精度
10mm程度

DRONE LIDAR SYSTEM

TDOT PLUS

重量	1.8kg
飛行時間	DJI Matrice600Pro搭載で約27分

LASER SCANNER

発射レート	6万パルス/秒(マルチエコー)
距離	受光強度 $\geq 30\%$ ~200m over
視野角	90°
測距精度	$\pm 4\text{mm}@50\text{m}$, $\pm 20\text{mm}@150\text{m}$ (1 σ)

INS*

水平精度	$\pm 10\text{mm}$
高さ精度	$\pm 20\text{mm}$
姿勢精度	Yaw(Heading) $\pm 0.02^\circ$ Pitch/Roll $\pm 0.01^\circ$

※ クラウド処理によるポストプロセッシング後の精度。

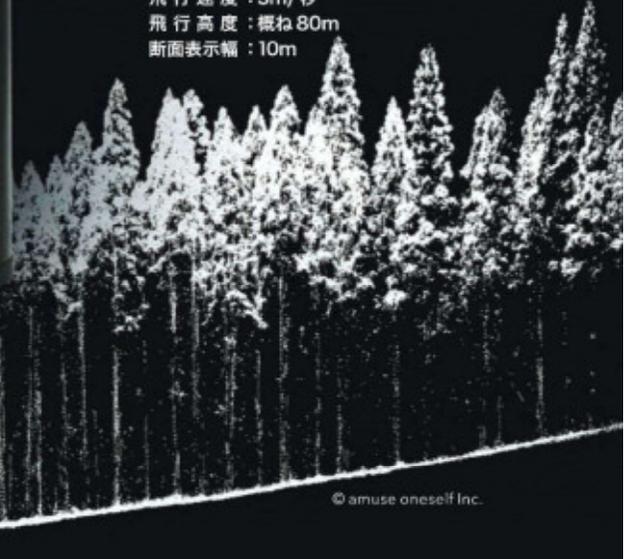
レーザースキャナシステム
「TDOT PLUS」



TDOT PLUS + DJI Matrice 600 Pro

TDOT PLUS 取得データの断面図

飛行速度 : 3m/秒
飛行高度 : 概ね 80m
断面表示幅 : 10m



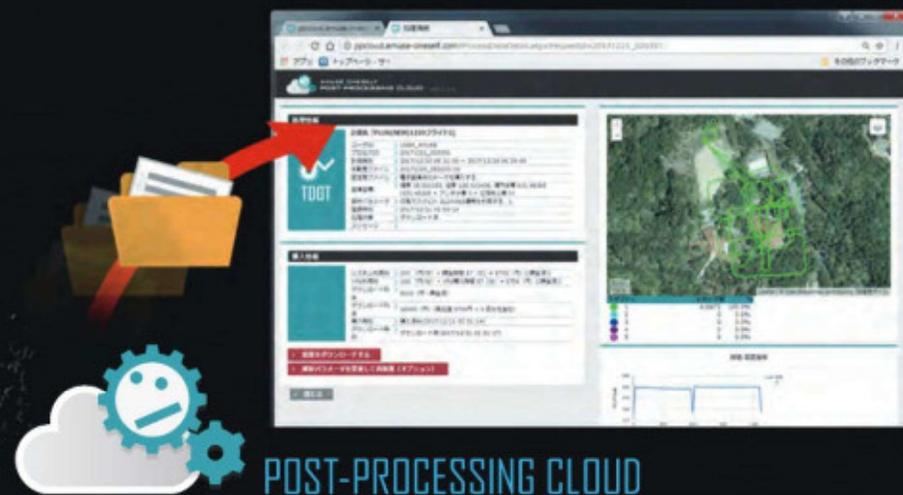
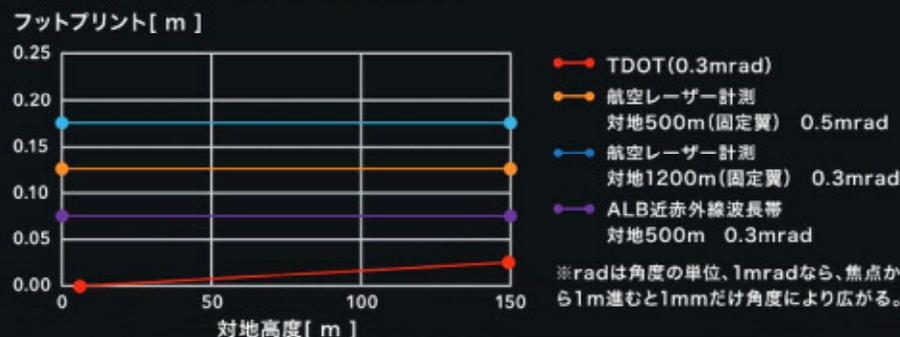
TDOT PLUS の特徴

- 革新的河川管理プロジェクトのレーザースカナについてのリクワイアメント【要求仕様】を達成
- ドローンの機種を選ばないドローン搭載用レーザースカナとして、スカナ、GNSS、IMUをパッケージ化
- 革新的河川管理プロジェクトのリクワイアメント【要求仕様】を満足し、3kg以上のペイロード有する全てのドローンに搭載可能
- 低高度の飛行によるより小さいレーザー照射径(フットプリント)の実現による樹木等阻害物の影響低減(150m以下の飛行の場合おおむね半径3cm以下)

専用解析アプリケーション開発

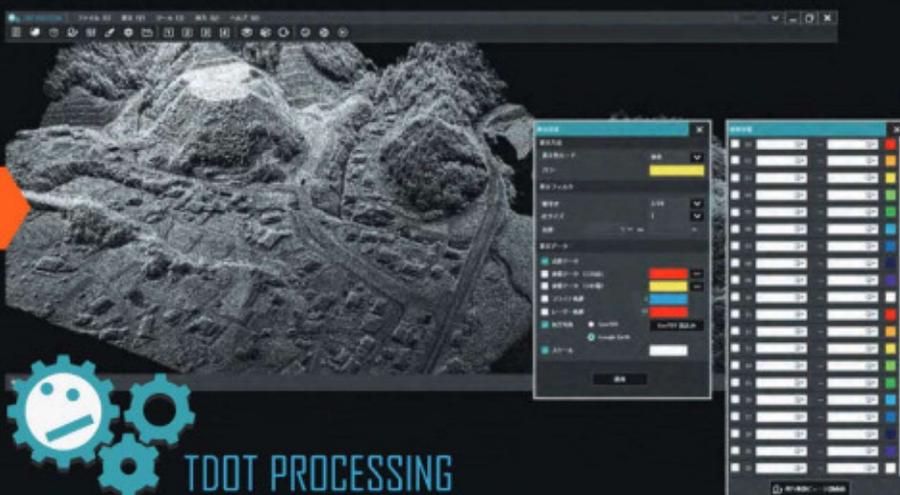
取得データのキネマティック解析には専門知識と特別なソフトウェアが必要でした。クラウドにデータをアップロードするだけで電子基準点や固定局を利用した最適基線解析ができる専用アプリケーションを開発。これにより、解析業務にかかる時間を大幅に短縮することが可能となりました。

機種別フットプリント径 (半径)



高精度な位置姿勢情報を得るには、複合的な最適基線解析(Tightly Coupled方式)が必要です。これに必要な専用のアプリケーションは高価な上、多くのノウハウを必要としていました。新たに開発し提供しているオンラインプロセッシングサービスでは、固定局としての電子基準点データのダウンロードから解析処理まで、一連の流れを全て自動化しています。

※固定局には電子基準点データの他、保有されているGNSS受信のデータも利用可能となっています。



簡単な操作で高速かつ高精度に点群出力ができるアプリケーションです。ストレスなく処理を行う為のさまざまな工夫を取り入れています。処理の開始直後から点群が描画されていくなど、機動性の高いアプリケーションとなっています。

主な機能

3D点群解析/座標オフセット/姿勢情報の微調整/実測データの表示(点・線)/オルソ画像を利用した点群への着色/クオリティ情報の点群への着色/さまざまな座標系の対応(UTMなど)/精度管理表の出力/各種フォーマットでの3D点群出力 など

Development of Drone LIDAR ドローン搭載型近赤外線レーザーสキャナ開発

ドローン搭載型レーザーสキャナ取得データの精度管理(キャリブレーション)

キャリブレーションツールの開発

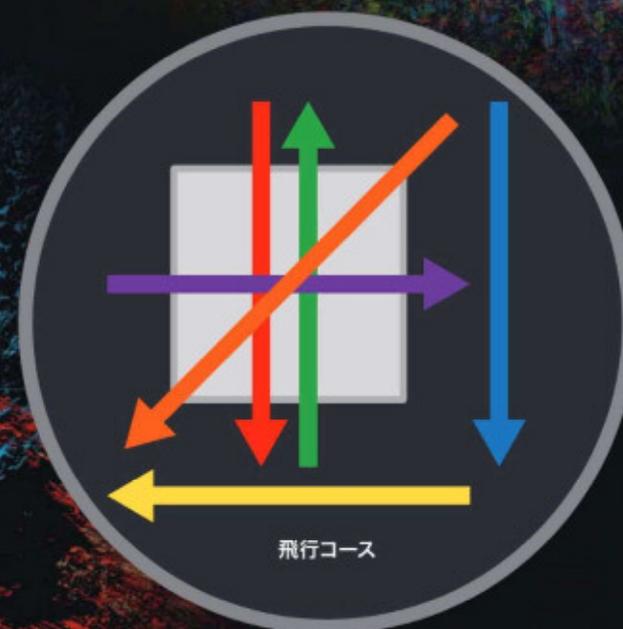
レーザードローンは、GNSS(Global Navigation Satellite Systems)・IMU(Inertial Measurement Unit:慣性計測装置)、及びレーザーสキャナなどの複数の計測機器で構成された計測システムです。この計測システムで取得・生成されるデータは、3次元座標データの集合で、点群と呼ばれています。点群の品質は、機器性能、計測時のGNSSやIMUの観測状況だけではなく、キャリブレーションの影響を受けます。そのため、品質を確保するうえで、キャリブレーションは重要な作業となります。

ドローンレーザー計測のキャリブレーションは、複数の計測機器を一つの計測システムとして調整する作業を指します。具体的には、座標管理の基準機器であるIMUとレーザーสキャナの取り付け角度(ロール、ピッチ、ヘディング方向の角度)等を算出します。こうした角度の調整作業は、①角度調整→②点群の生成→③断面表示による角度の確認作業を繰り返す必要があり、時間を要することが多いのが現状です。そのため、効率的でかつ高精度に精度管理できるキャリブレーションツールを開発しました。

キャリブレーションツールの概要

複数方向からの飛行コースによるレーザードローン計測を行い、その成果をキャリブレーションツールに適用します。このツールでは、飛行コースごとに色を変えた点群を表示することができ、横断方向・飛行方向の断面表示、上空からの平面表示、鳥瞰表示など複数画面での表示が可能です。さらに、ロール、ピッチ、ヘディング方向の角度を変更した点群の形状をリアルタイムに反映し、複数画面上で確認することができます。複数画面による表示で、視覚的にわかりやすく、かつ確実に角度調整ができ、調整した角度をリアルタイムに点群の形状に反映することで、作業効率の高いキャリブレーション作業が可能となりました。

飛行コースごとに色分けした点群の平面表示



あらゆる方向からスキャンし、誤差を検証

Development of Drone LIDAR ドローン搭載型近赤外線レーザーสキャナ開発

2017-04-25 2017-09-04

TDOT PLUSの実証実験

「革新的河川管理プロジェクト」の「陸上・水中レーザードローン」において、中間検証としてドローン搭載型近赤外線レーザーสキャナについて株式会社バスコと実証実験を行い、実用化に向けた有効性を確認しました。

検証結果

ドローン搭載型近赤外線レーザーสキャナによる精度検証は、トータルステーションによる検証点の測量成果とドローン搭載型近赤外線レーザーสキャナによる測量成果の比較により実施しました。この結果、標高値の平均二乗誤差24mm、最大較差46mmといずれも±50mm以内の精度で測量できることが確認でき、革新的河川管理プロジェクトの陸上レーザーについての要求仕様と共に ICT 土工のための基準の一つ「空中写真測量(無人飛行機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)」(平成29年3月 国土交通省)で示された精度確認基準値を満足するものとなりました。

国土交通省
ピッチイベント・
ICT土工の精度基準

±5cm
達成[※]

標高値の
平均二乗誤差 24mm
最大較差 46mm

検証機器

レーザーสキャナ > TDOT PLUS
ドローン > DJI Matrice600Pro

精度検証の結果

検証点	> 12 点	最大較差	> -0.046 m
計測緒元	> 高度:50m、速度 2.0m/s	標準偏差	> 0.022 m
平均値	> 0.010 m	平均二乗誤差	> 0.024 m

※ピッチイベントでの結果であり精度を保証するものではありません。



A
任意断面の3次元点群

B

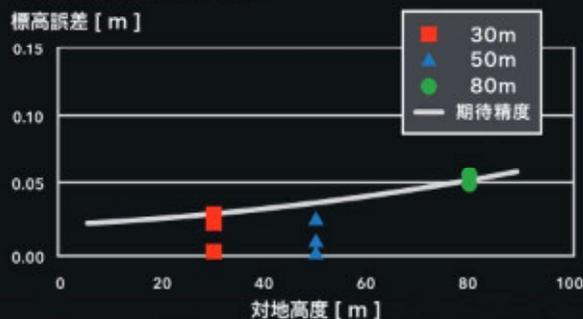
A 拡大図

B 拡大図

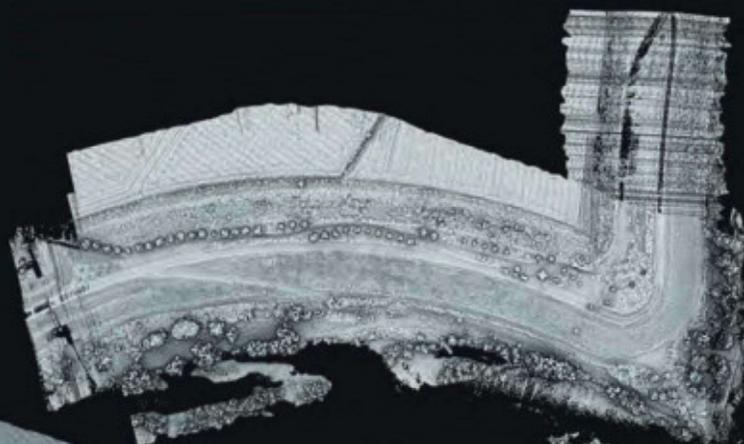
標高誤差と対地高度の関係把握

対地高度80m以下の計測において標高精度は機器性能を踏まえた期待精度以下であり、かつ0.05m以下を達成。

標高誤差と対地高度の関係



京都由良川
平面図



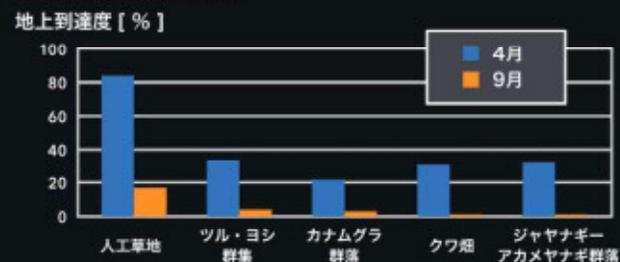
鳥瞰図



植生下部へのレーザー到達度の評価

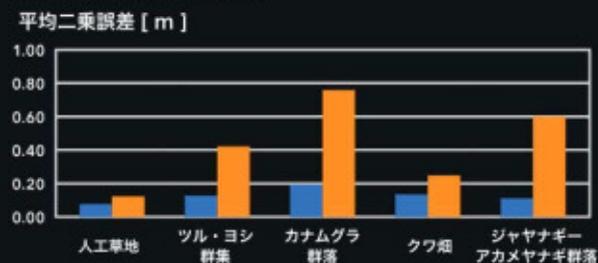
河川で一般的に見られる堤防法面(人工草地)、ツル・ヨシ、カナムグラ、ヤナギ類、試験フィールドで特徴的なクワについて4月、9月の2時期のレーザー到達度を確認。

時期別植生別地上到達度



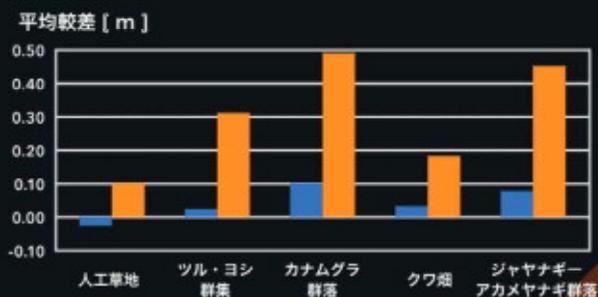
植生の種別、季節により樹木下へのレーザー到達度は異なるが、萌芽期前の状態では主要な河川水際植生について20%以上のレーザー地上到達を確認。

時期別植生別平均二乗誤差



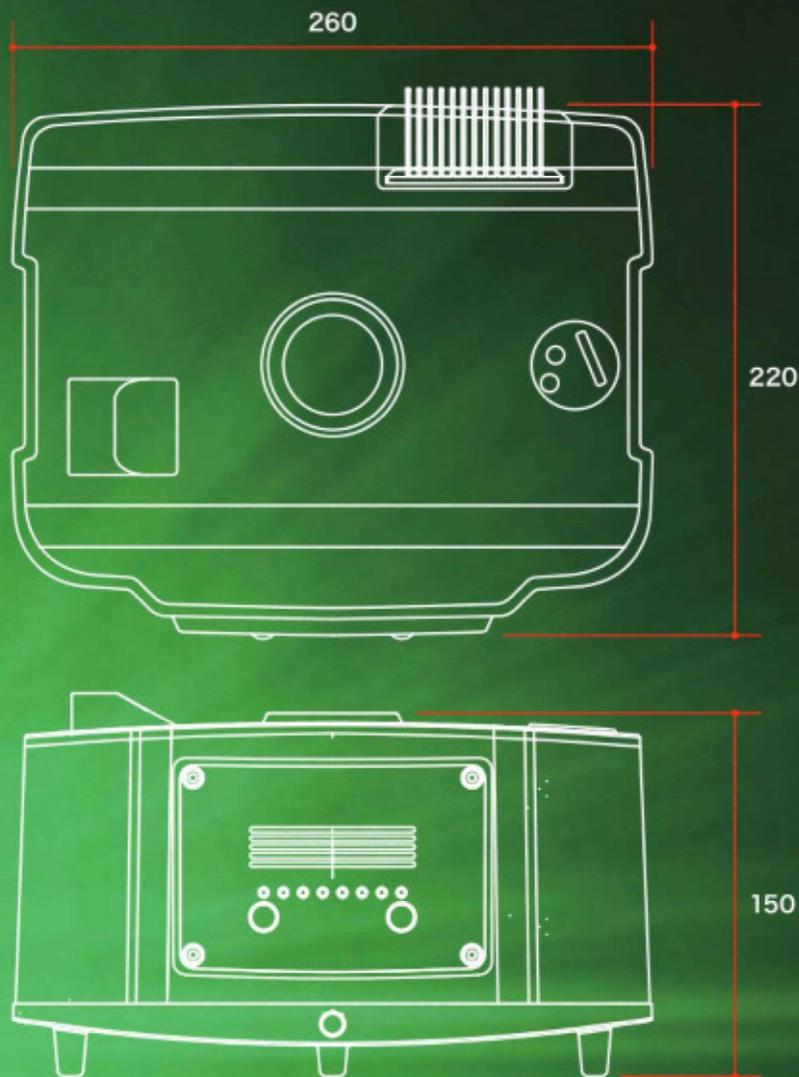
地盤到達データの標高精度は植生の種別により異なるが、萌芽期前(4月)の計測により平均二乗誤差0.2m以下で地盤標高を取得。繁茂期(9月)は地盤への到達が悪く、草面の広い樹種では標高値の平均二乗誤差は0.5m程度。

時期別植生別平均較差



Development of Drone GREEN LIDAR ドローン搭載型グリーンレーザースキャナ開発

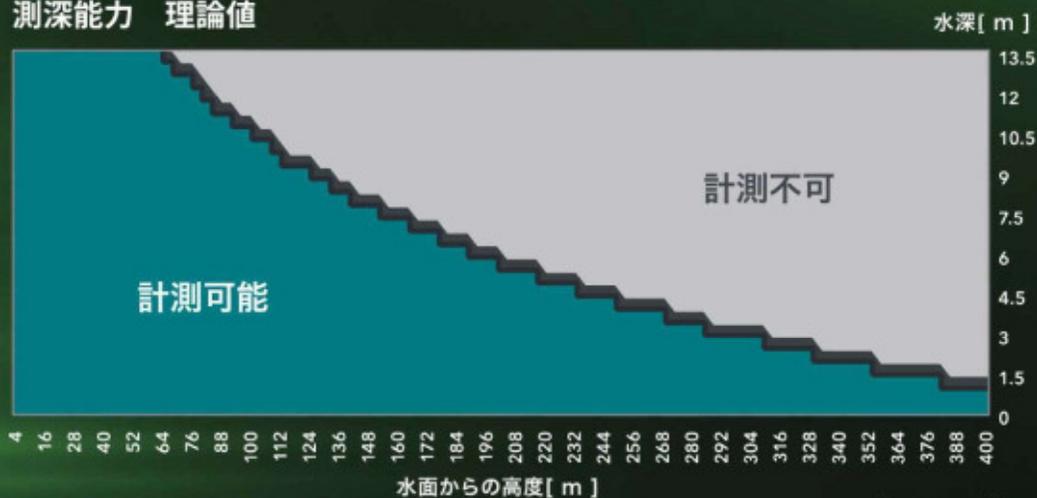
ドローン搭載型グリーンレーザースキャナ仕様



仕様

最長測定距離	> $\geq 10\%$ 158m	$\geq 60\%$ 300m over
精度	> $\geq 10\%$ $\pm 15\text{mm}$	$\geq 60\%$ $\pm 5\text{mm}$
レーザーパルスレート	> 60,000Hz/秒	
エコー切り替え	> 1st / Last / 1st&Last / 4echo	
スキャン速度	> 30走査/秒	
レーザー波長	> $532\pm 1\text{nm}$	
ビーム拡がり角	> 0.3mrad	
レーザークラス	> 右頁「アイセーフ機能」参照	
作動温度範囲	> $0\sim +40^{\circ}\text{C}$	
寿命	> 10,000時間	
重量	> 2.8kg(本体のみ/アンテナ除く)	

測深能力 理論値



アイセーフ機能

対地高度でレーザーの出力を制限するアイセーフ機能を有します。
レーザークラス1Mに準拠します。

レーザークラス

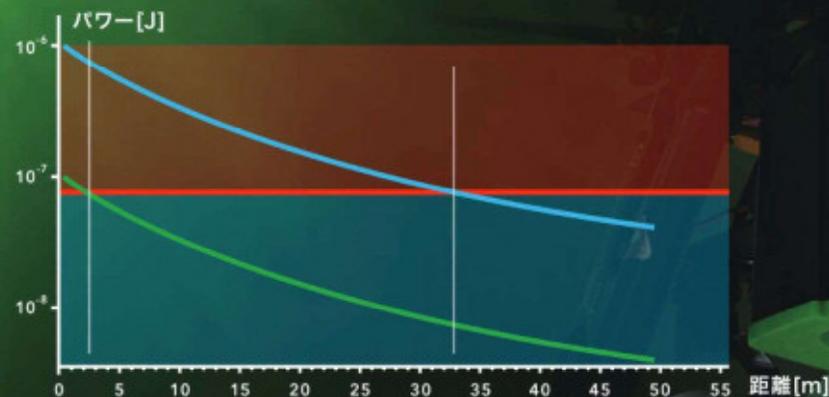
対地高度 < 40m : クラス1

対地高度 > 40m : クラス3R (NOHD[®]: < 40m)

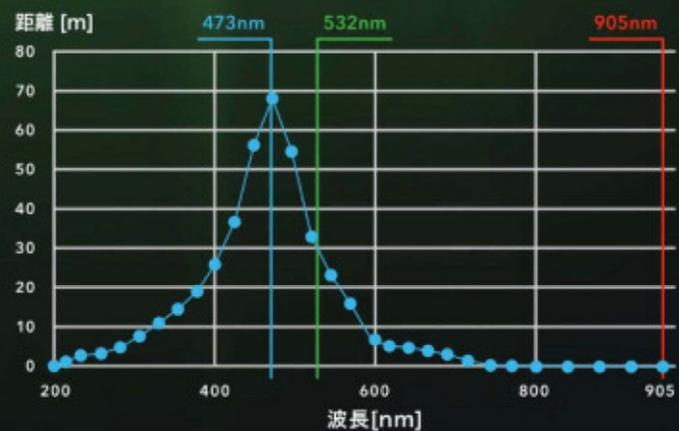
※ 公称眼障害距離

[NOHD: Nominal Ocular Hazard Distance]

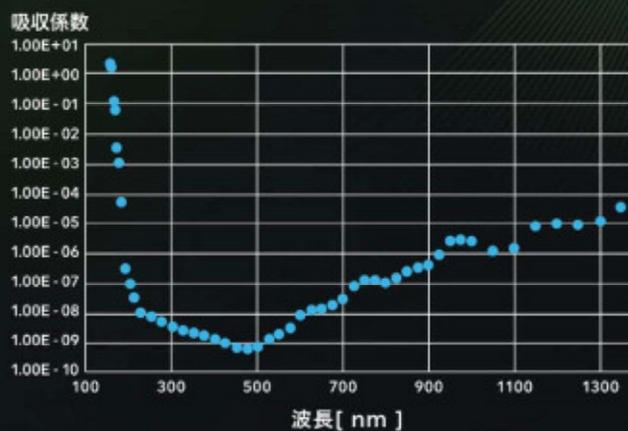
露出や照度が該当する暴露限度以下に落ちるレーザーからの軸ビーム距離。



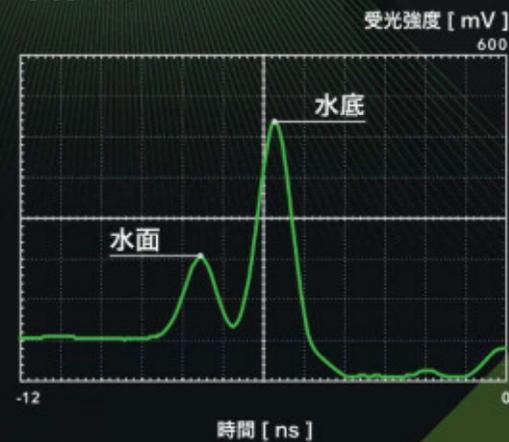
波長による測深の差



水への吸収率



取得エコー



2018-10-10 2018-10-15

海での検証 | 面的スキャン検証

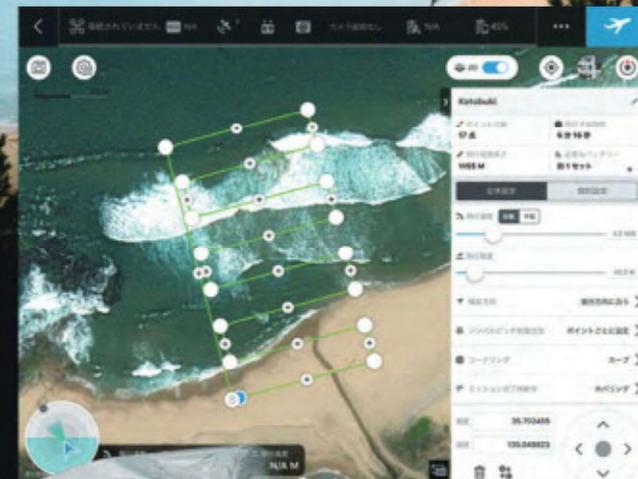
検証内容

- 後浜から前浜、汀線の地形形状
汀線に平行に発達した砂州
(Sand bar)の形状を取得

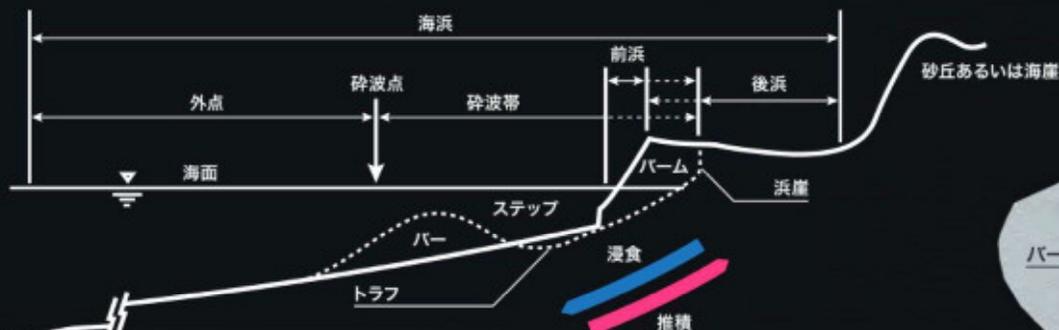
検証結果

- 海面の波が乱れた範囲の海底地形を確認(砂州の存在)
- 海域: 最深部の水深約6m、海中部の暗礁、湾曲したバーの3次元的な形状が可視化されている。
- 陸域: 河口閉塞し蛇行する河川、河床、汀線及び汀線付近のステップ地形が可視化されている。

対象の現況



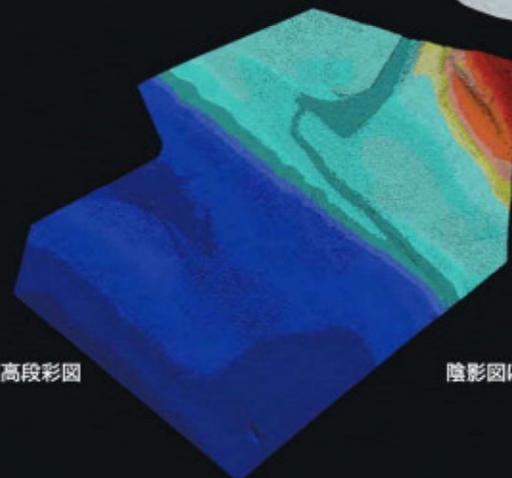
フライトプラン



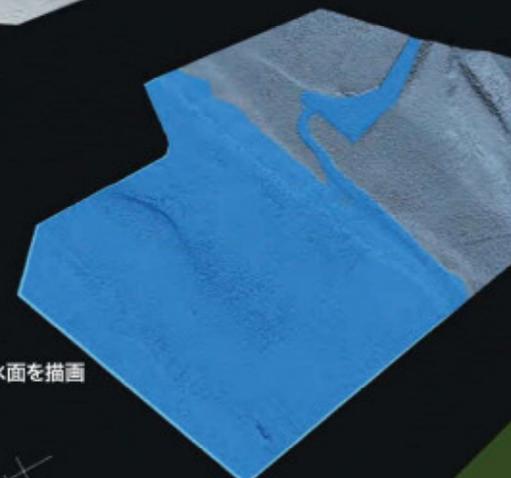
一般的な海辺プロファイル、その区分と代表的な地形(砂村1999)



流入河川、河床、汀線付近の地形



標高段彩図



陰影図に水面を描画

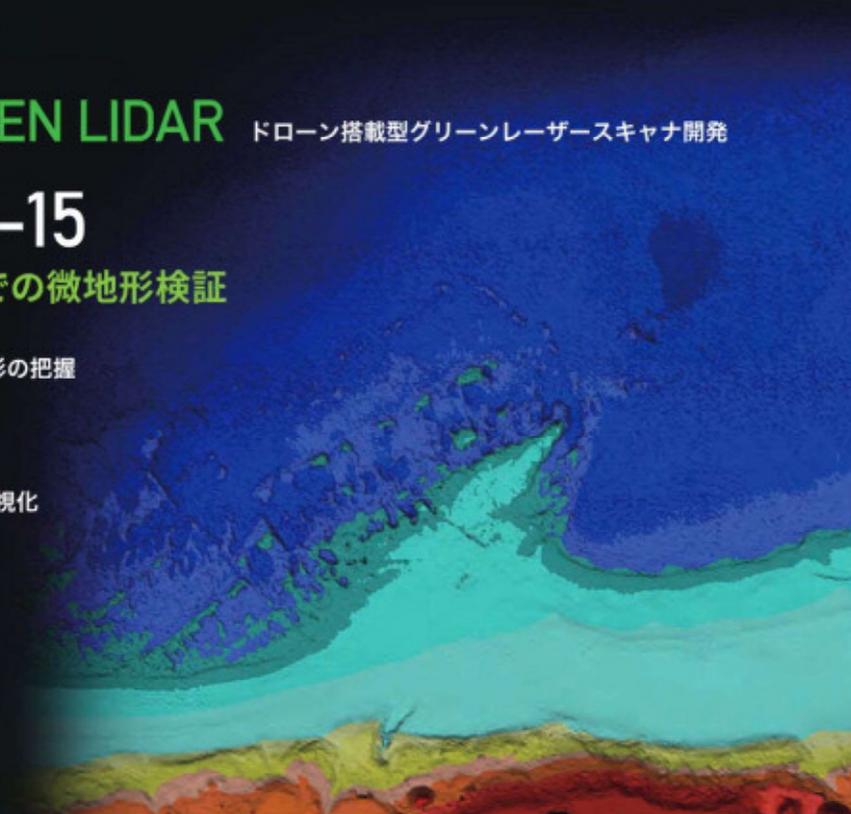
Development of Drone GREEN LIDAR ドローン搭載型グリーンレーザースキャナ開発

2018-10-10 2018-10-15

海での検証 | 岩礁・舌状砂州(トンボロ)での微地形検証

検証結果

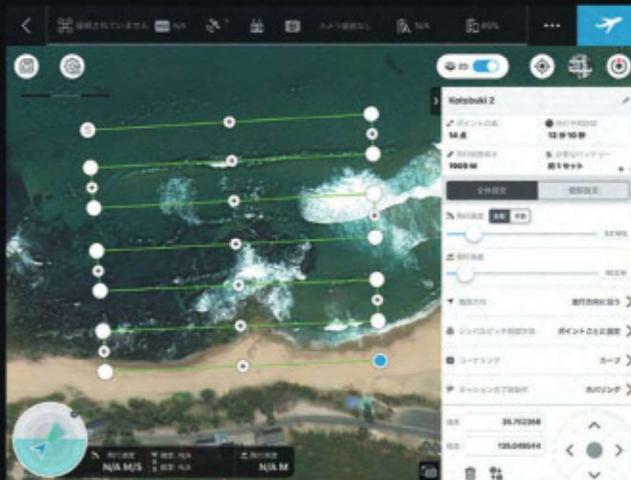
- 変形したトンボロが発達した海域の海底地形の把握
- 沖合150mにトンボロを形成
- 岩礁が発達した海域の海底地形の把握
- 船舶での計測が困難な、水深が浅く地形が複雑な岩礁の微地形を可視化



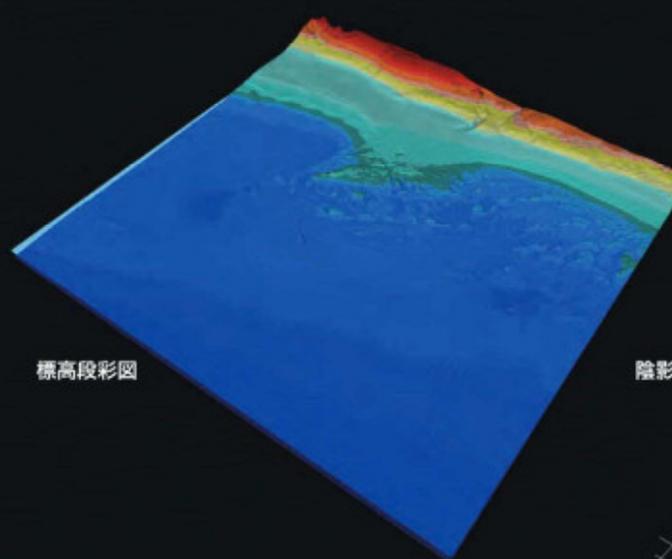
変形したトンボロが発達した海域の海底地形の把握



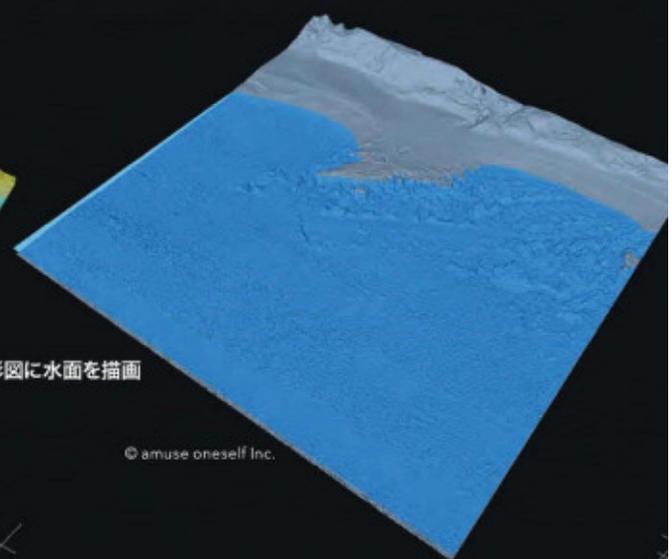
対象の現況



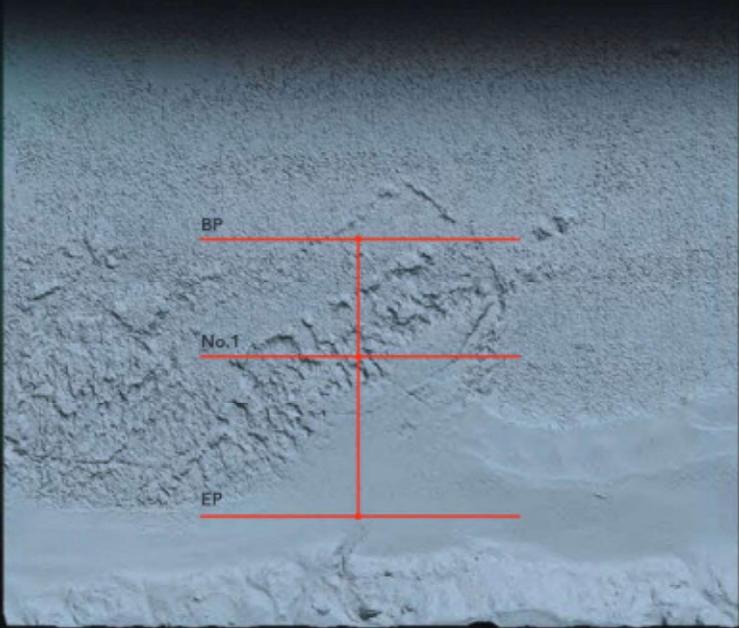
フライトプラン



標高段彩図



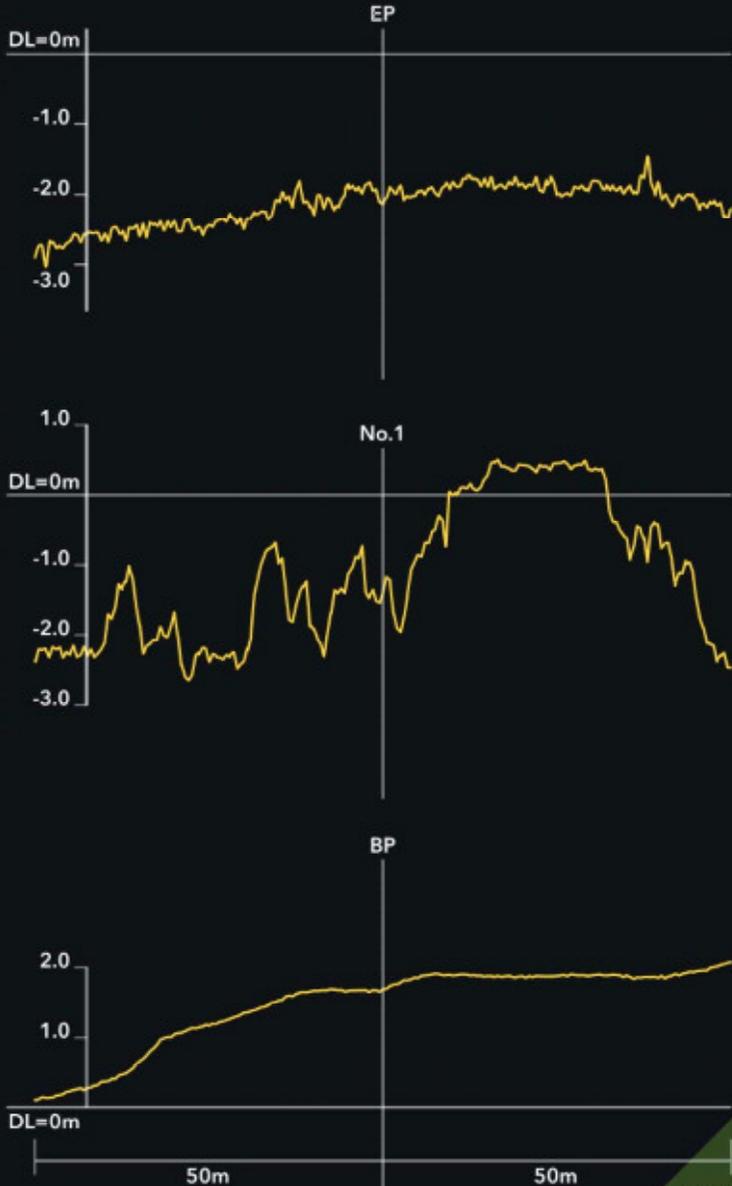
陰影図に水面を描画



岩礁が発達した海域の海底地形の把握



地盤高 [m]	1.684	-1.396	-2.141
追加距離 [m]	0.000	50.000	86.944
測点名	BP	No.1	EP



横断面

© amuse oneself Inc.

Development of Drone GREEN LIDAR ドローン搭載型グリーンレーザースキャナ開発

2018-11-17

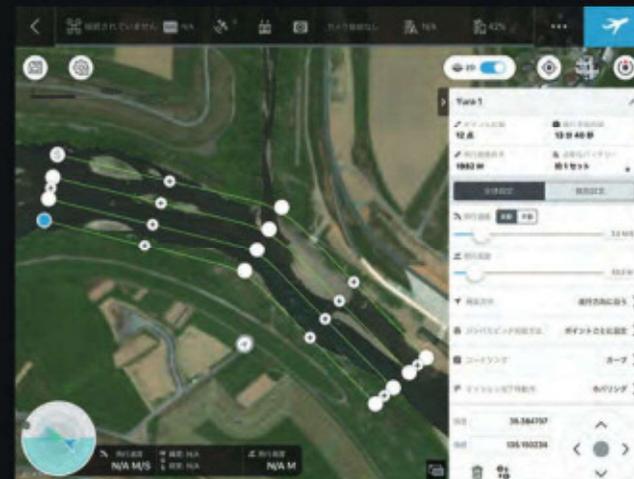
河川での検証

検証内容

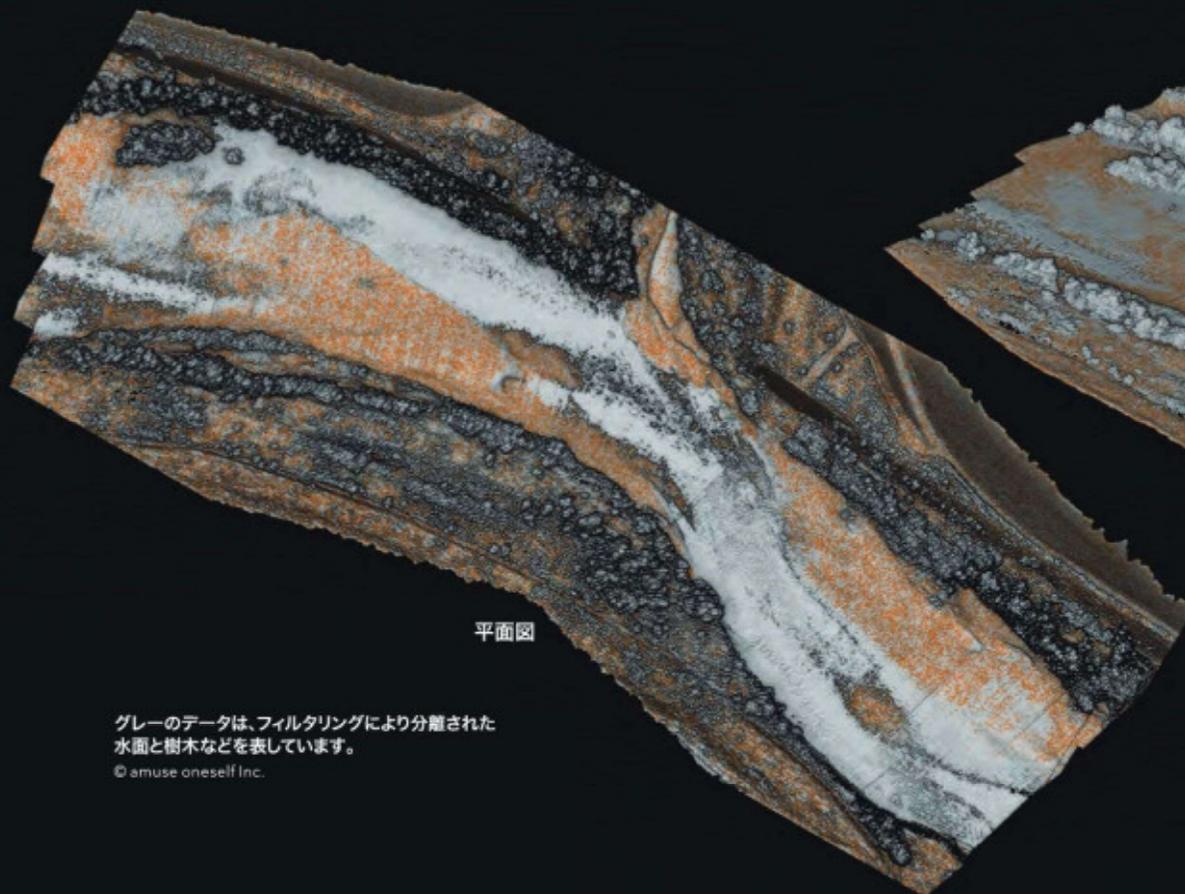
- 河川域での河道地形の把握
- 滞筋河床の地形再現性、堤防形状の再現性

検証結果

- 近赤外線レーザ (TDOT PLUS) と全く遜色ない陸部の地形再現性
- 既往航空レーザ測深 (ALB) より詳細な水部の地形再現性



フライトプラン



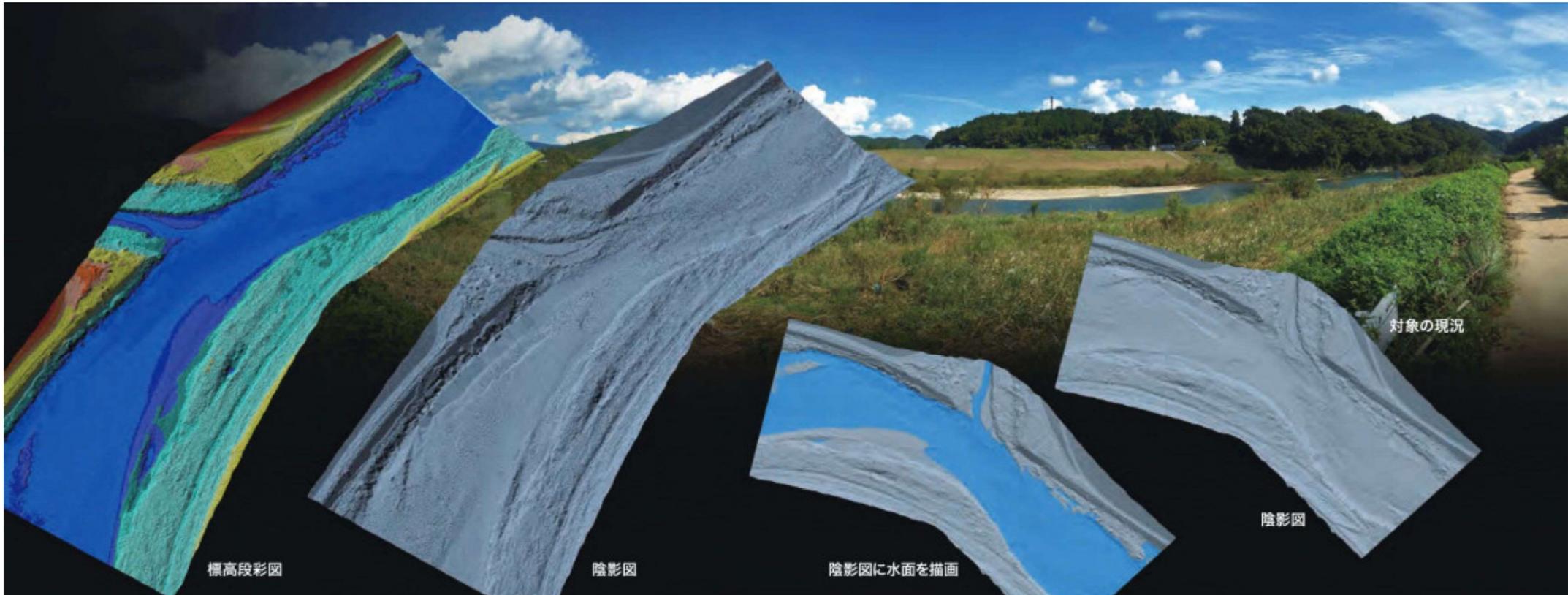
平面図



鳥瞰図

グレーのデータは、フィルタリングにより分離された水面と樹木などを表しています。

© amuse oneself Inc.



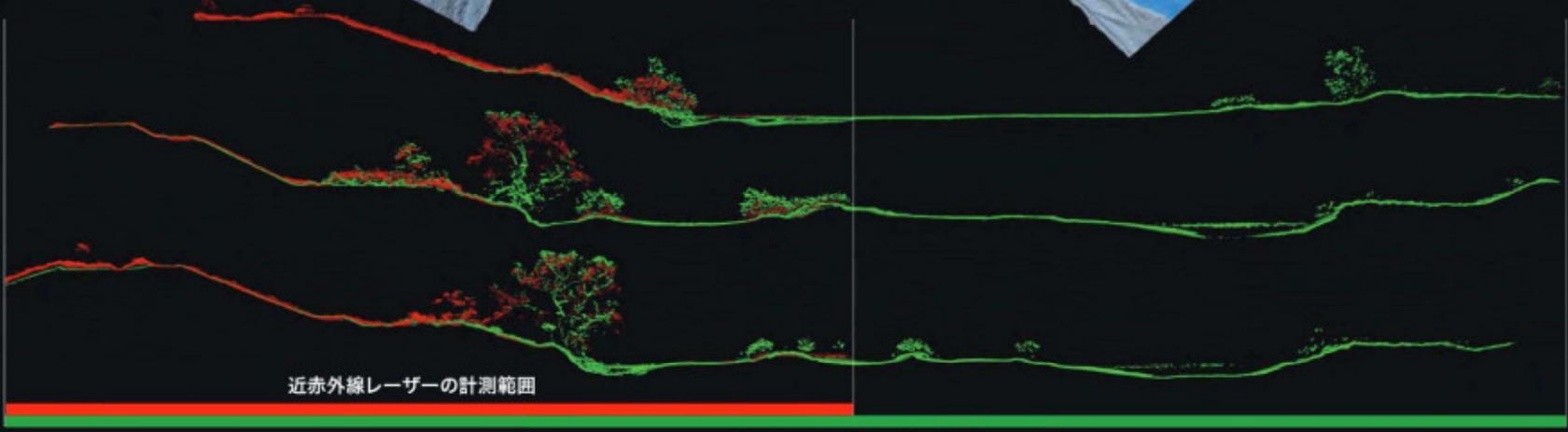
標高段彩図

陰影図

陰影図に水面を描画

陰影図

対象の現況



近赤外線レーザーの計測範囲

グリーンレーザーの計測範囲

近赤外線レーザー (TDOT PLUS) と全く遜色ない陸部の地形再現性

— 近赤外線レーザー — グリーンレーザー

65m

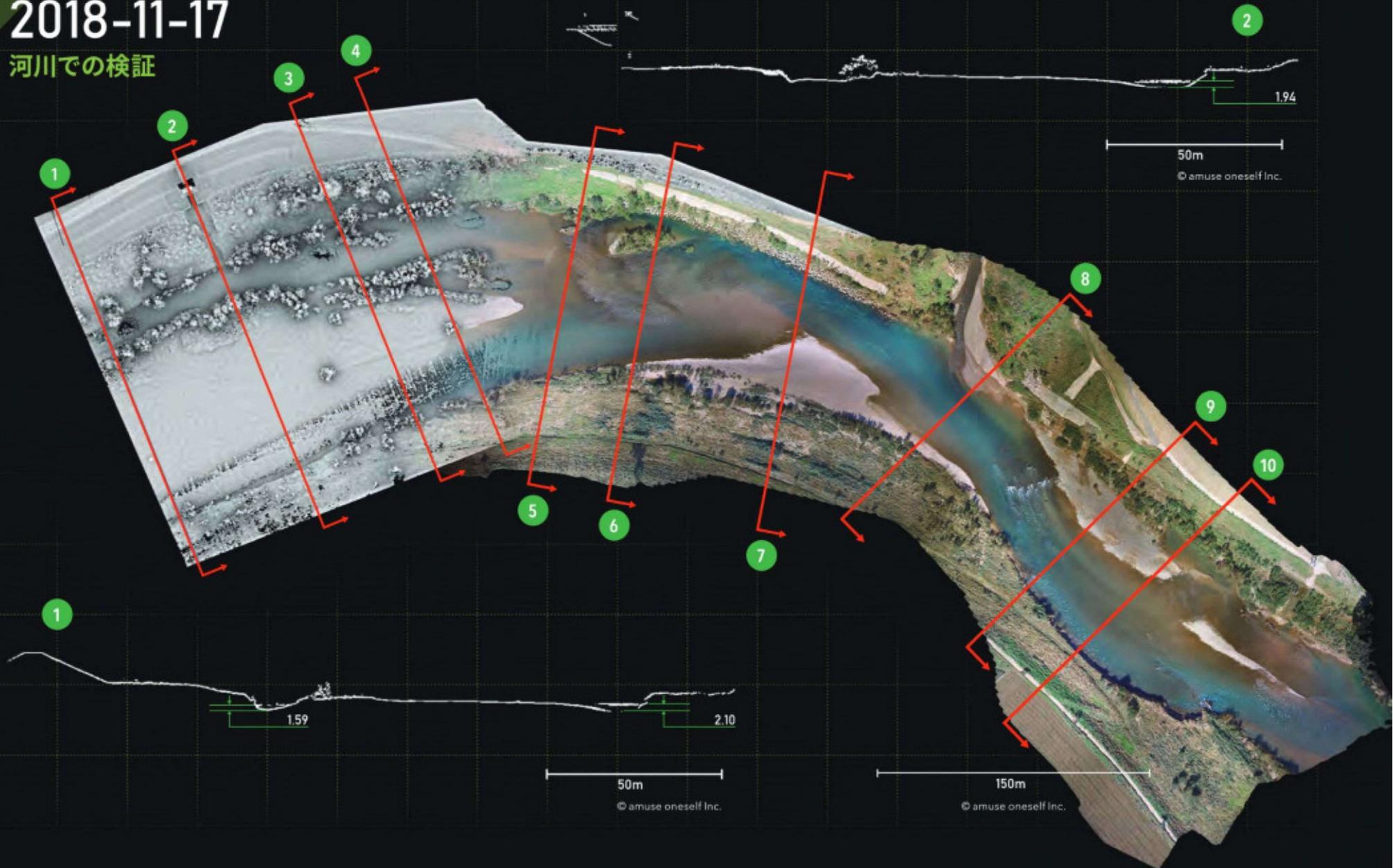
© amuse oneself Inc.

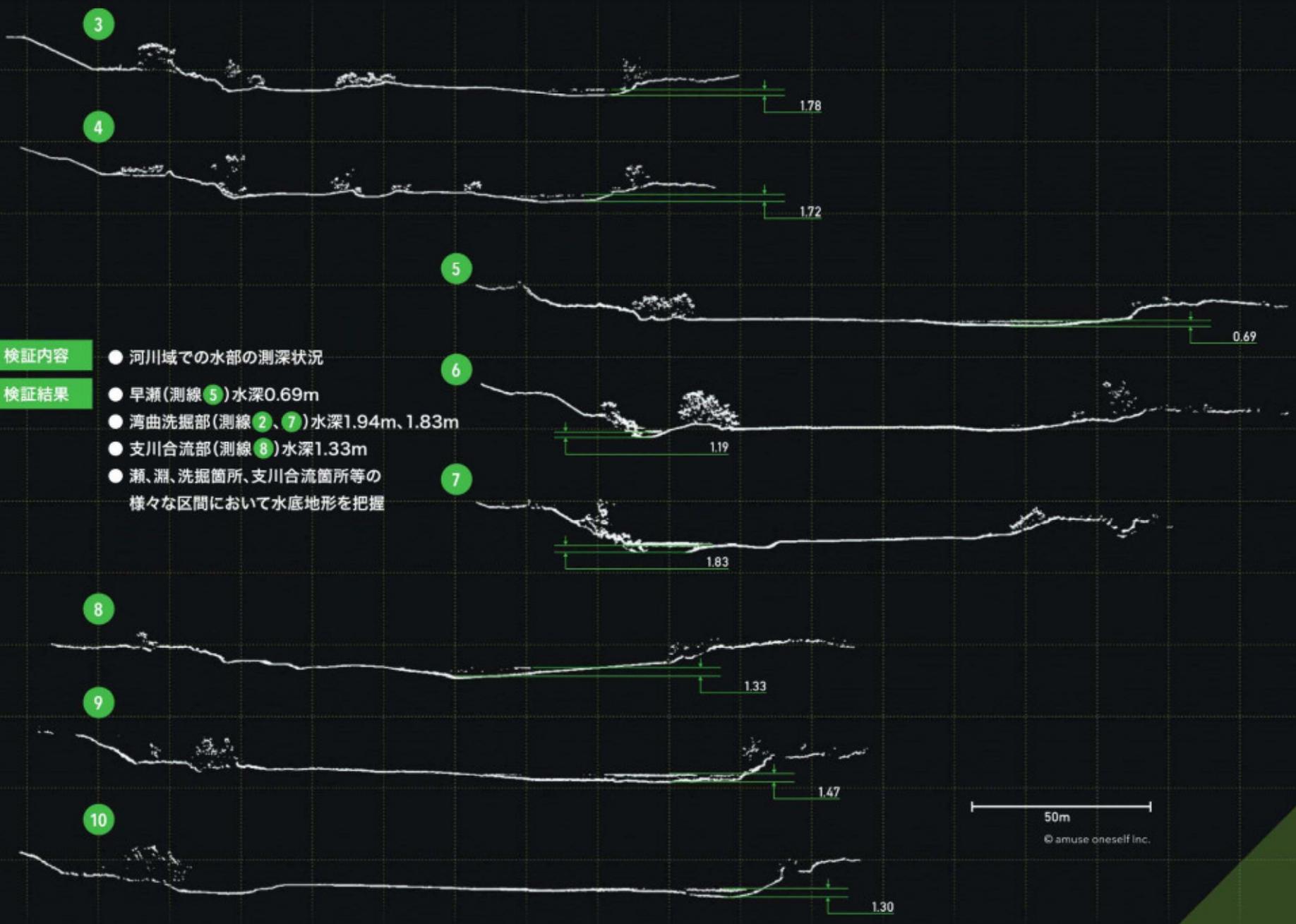
Development of Drone GREEN LIDAR

ドローン搭載型グリーンレーザースキャナ開発

2018-11-17

河川での検証





検証内容

● 河川域での水部の測深状況

検証結果

- 早瀬(測線 5)水深0.69m
- 湾曲洗掘部(測線 2、7)水深1.94m、1.83m
- 支川合流部(測線 8)水深1.33m
- 瀬、淵、洗掘箇所、支川合流箇所等の様々な区間において水底地形を把握

50m
© amuse oneself inc.

Development of Drone GREEN LIDAR ドローン搭載型グリーンレーザースキャナ開発

2018-12-09

堰での検証

検証内容

- 静穏な水域環境下での高度別データ取得状況

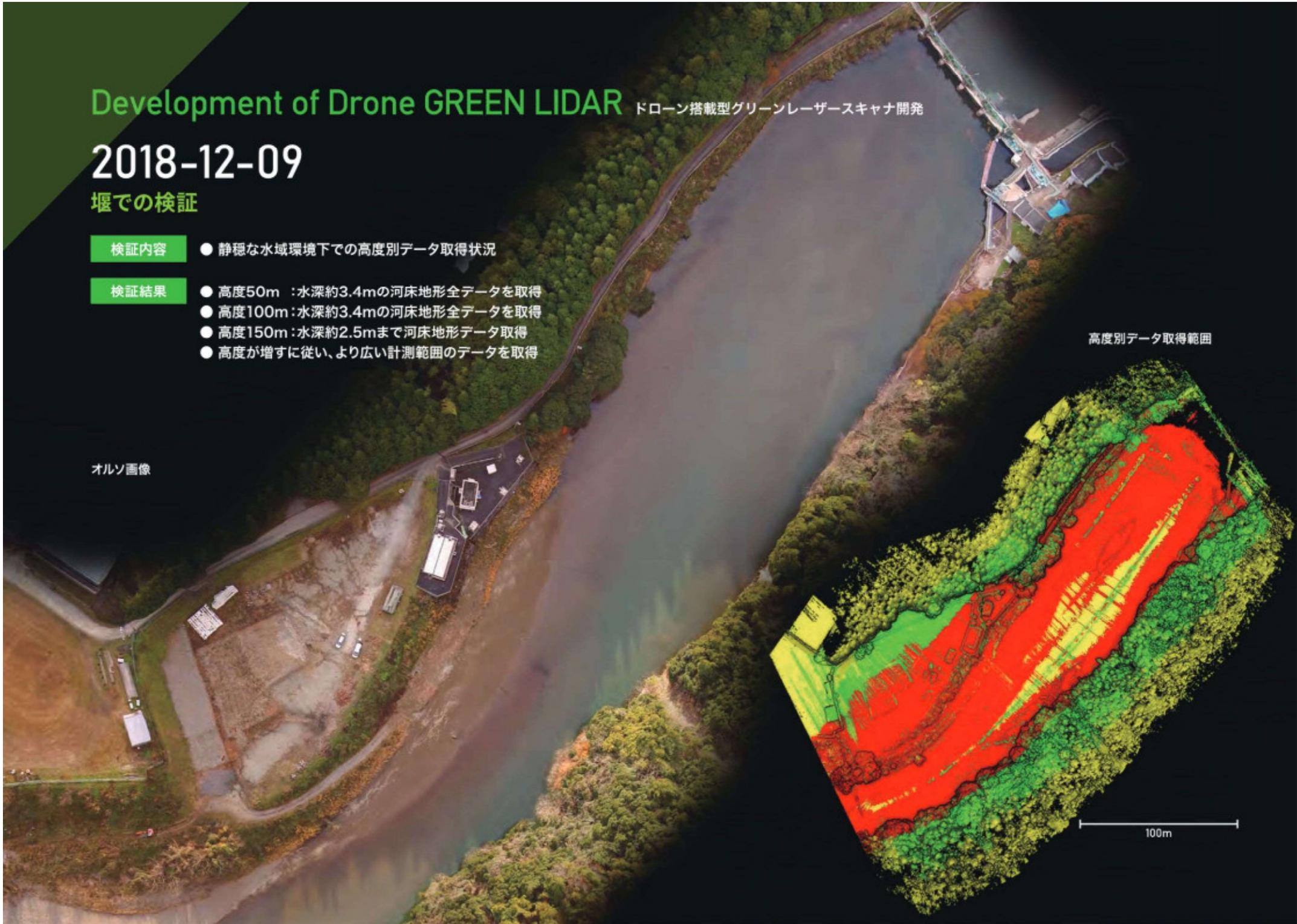
検証結果

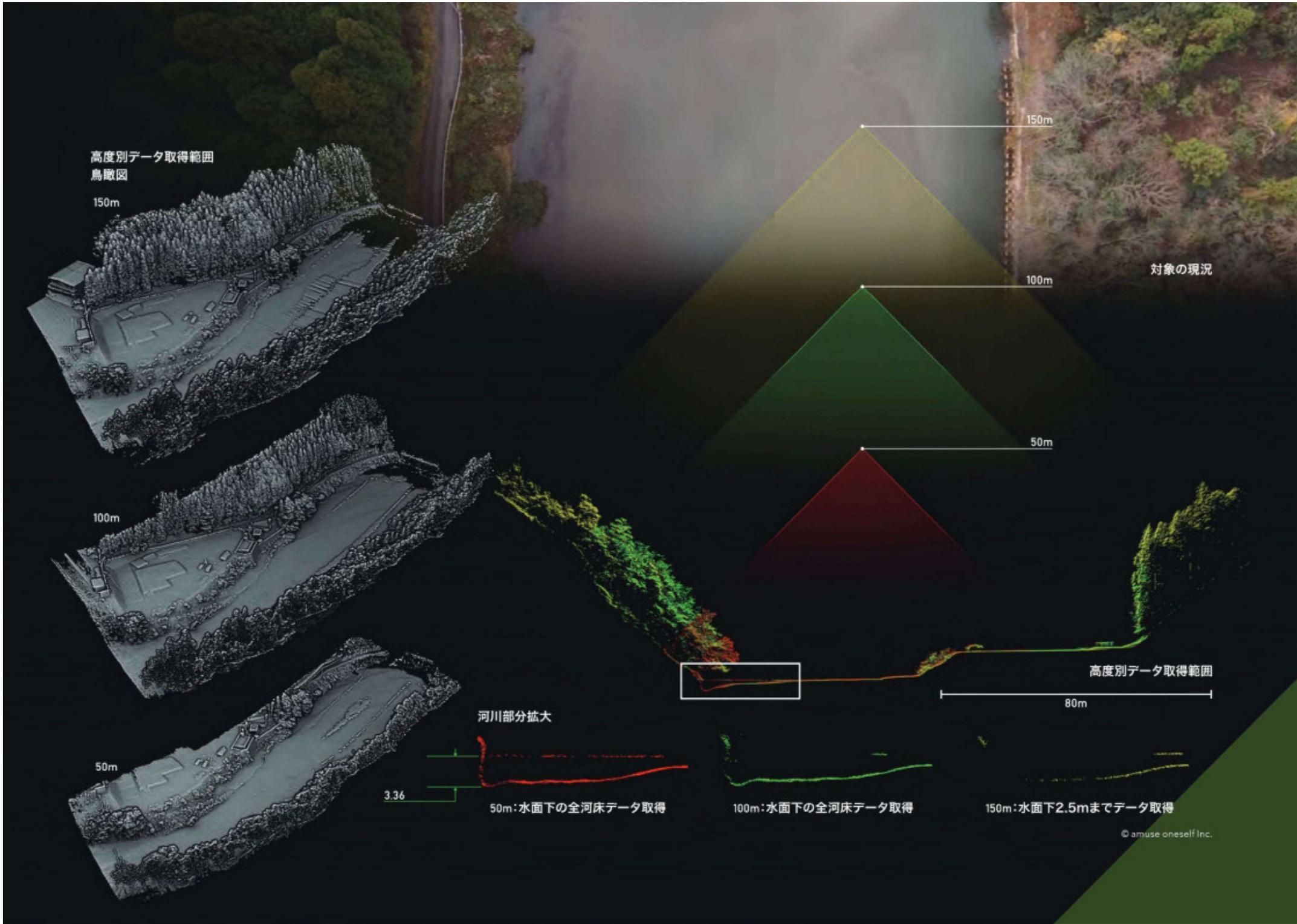
- 高度50m : 水深約3.4mの河床地形全データを取得
- 高度100m : 水深約3.4mの河床地形全データを取得
- 高度150m : 水深約2.5mまで河床地形データ取得
- 高度が増すに従い、より広い計測範囲のデータを取得

オルソ画像

高度別データ取得範囲

100m





高度別データ取得範囲
鳥瞰図

150m

100m

50m

河川部分拡大

3.36

50m: 水面下の全河床データ取得

100m: 水面下の全河床データ取得

150m: 水面下2.5mまでデータ取得

150m

100m

50m

対象の現況

高度別データ取得範囲

80m

© amuse oneseff Inc.

Development of Drone GREEN LIDAR ドローン搭載型グリーンレーザースキャナ開発

製品時の目標

ハードウェア

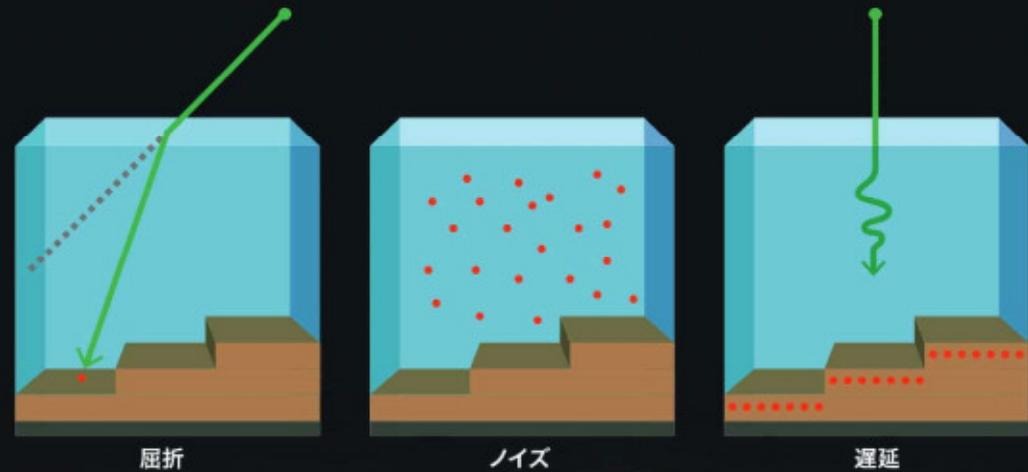
グリーン波長に合わせた最適化(材質変更やコーティング)を図り40%の能力向上

ソフトウェア

解析アプリケーションに屈折、水中ノイズ、遅延に対するアルゴリズムを加える(右図)

その他

各パーツの軽量化を図り400g程度の軽量化を実施



Software overview 河川管理用点群編集アプリケーション

コンセプト

国交省職員が、簡単な操作により、
計測～点群処理～成果の見える化・活用までが可能なシステムの開発

基本機能

- 点群の生成:「TDOT PROCESSING」(TDOTのパッケージソフト)
- フィルタリング処理、堤防・河床形状モデルの作成:「Point Cloud APP」
- 計測成果の見える化・河川管理での活用:「PASCO Terra Viewer」

ワークフロー

1 レーザードローン計測

2 3次元点群の生成

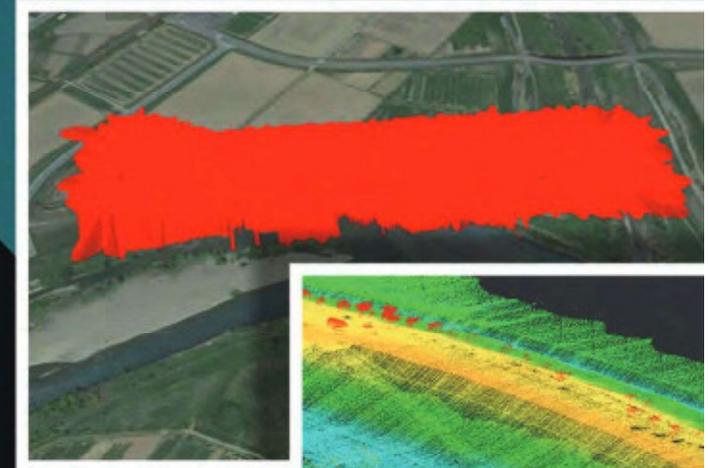
3 フィルタリング処理

4 堤防形状モデルの作成

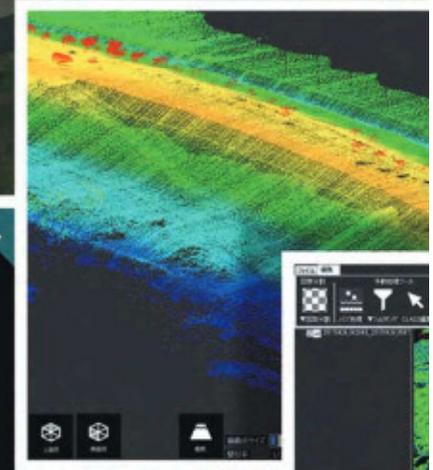
5 計測成果の見える化・活用

Point Cloud APP
(点群の編集)

PASCO Terra Viewer



レーザードローン計測のソフト

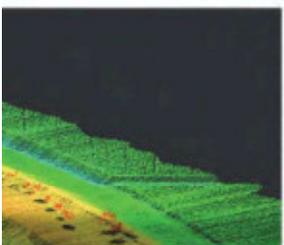


3次元点群の生成ソフト



レーザードローン計測の様子





Point Cloud APP

ユーザフレンドリー
インターフェース
処理の流れに沿った
ボタン構成



PASCO Terra Viewer



DJI社製Matrice600Proへの取付状況

Point Cloud APP

点群の編集

レーザードローン取得データから、河川の維持管理に必要な基礎情報を抽出するまでに必要な処理機能を実装。処理の流れに沿ったボタン構成により、わかりやすく作業できる点群編集アプリケーションを開発

主な機能

処理単位図郭への切りだし機能

- 飛行コース単位で計測・生成される点群データの指定図郭への切りだし機能
- 図郭単位のデータ整理により他の空間情報との重ね合せや既往計測データとの重ね合せがより簡単に

ノイズ除去機能

- 塵芥等の空中浮遊物により発生する各種ノイズの除去機能
- 自動除去とマニュアル除去の2方法により目的、用途に応じて使い分けが可能

フィルタリング処理機能

- 地盤データを取得する上で不要となる樹木、建物、車両等のフィルタリング処理機能
- 処理は自動フィルタリングとマニュアルフィルタリングの2方法により、目的、用途に応じて使い分けが可能
- 自動フィルタリングは最下点法、平均地盤法を実装

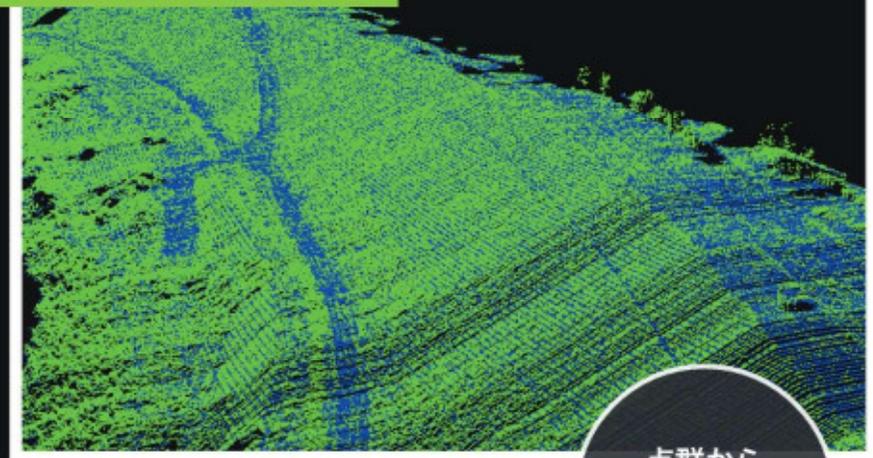
堤防形状モデル作成機能

- ノイズ除去、フィルタリング処理により生成された点群から内挿補間法によりDEMデータを生成

処理の流れ

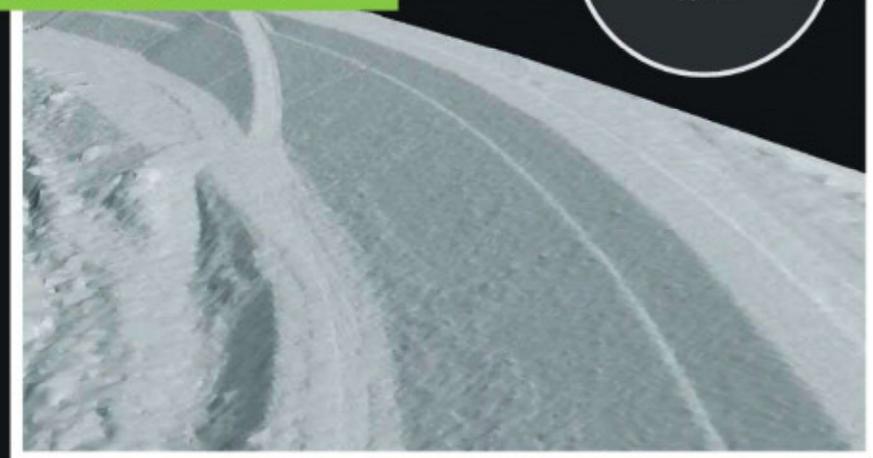


フィルタリング処理



点群から
DEM・陰影図の
作成

堤防形状モデルの作成



PASCO Terra Viewer

計測成果の見える化・活用

河川管理における三次元データ活用で、良く利用される機能を実装した活用アプリケーションを開発

主な機能

地形モデル、航空写真地図画像、点群の3次元表示機能

- 地形形状等の3次元での見える化

3次元地形モデルを用いた等高線作成機能

- 等高線の歪みや等高線感覚の広狭により地形変状や勾配の緩急の見える化

3次元地形モデルを用いた傾斜区分機能

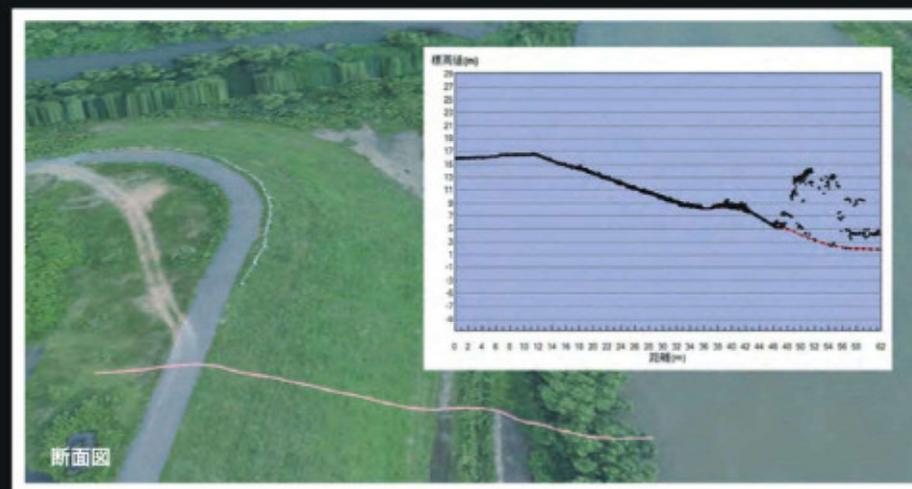
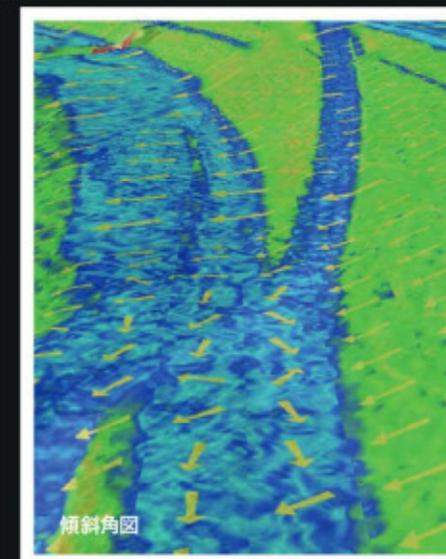
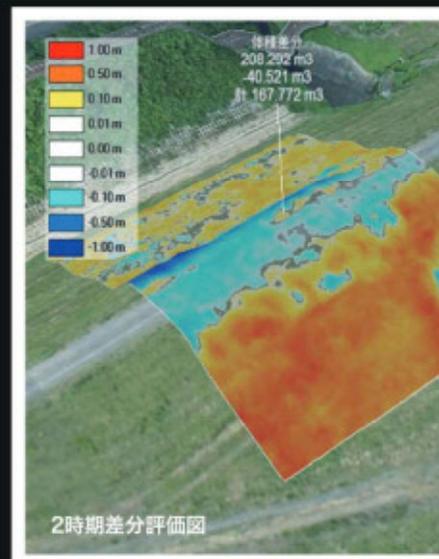
- メッシュ単位の落水方向を図示することにより地形の傾きや集水地形の見える化

3次元地形モデルを用いた断面図作成機能

- 任意地点における横断形状や、時期やモデルが異なる複数横断データの重ね合わせによる断面形状の見える化

複数時期の3次元地形モデルの重ね合わせによる差分解析機能

- 任意範囲の3次元地形モデルの重ね合わせ差分解析による標高変化範囲、体積変化量の見える化





< 研究開発 >
経営戦略本部
< お問い合わせ >
カスタマーセンター / 0120-494-800
www.pasco.co.jp



AMUSE ONESELF INC.

< お問い合わせ >
営業 / TEL: 06-6210-3345
amuse-oneself.com



PROMOTION

このレポートは製品販売前のプロモーション用であり
最終的な製品の販売時期、スペック、仕様、デザイン、色合い、につきましては、予告なく変更される場合がございます。

チームNo. 2

ドローン搭載グリーンレーザー測量機器（水中ドローン）の 利活用に向けて

チームFALCON4社（一般財団法人河川情報センター、朝日航洋株式会社、アジア航測株式会社、ルーチェサーチ株式会社）は、国土交通省が公募した「革新的河川管理プロジェクト」に応募し、平成29年12月、埼玉県加須地先の利根川において、我が国で初めて大型ドローンにグリーンレーザー測量機器を搭載して川底の地形を測量しました。

新たに開発したドローンは、大型のSPIDER-LX8（ルーチェサーチ社製）、搭載したグリーンレーザー測量機器は従来のALB搭載のものよりもはるかに軽量のBDF-1（Riegl社製）です。今回、大河川の現場でグリーンレーザー測量を行ったことで、ドローンによる水中測量の長所を明らかにすることができました。

今後、今回の試行の成果を踏まえ、より多くの場面でドローンによる水中測量が行われることが期待されます。



水中ドローン(SPIDER-LX8、BDF-1)

1. ドローンによる水中測量の特性

新たに開発した大型ドローン及び搭載したグリーンレーザー機器による現地計測の特徴と仕様を以下に示します。

今回の試みで、ドローン測量の最大の特徴である「どこでも測りたい場所を簡単に測量できる」機動性が確認されました。また、ドローンは悪天候に弱いと言われていたますが、今回の試行では約15m/sの強風下や小雨の降る中でも安定して飛行し、所期の測量成果を得ることができました。

機動性に富んだ運用ができる

- ・ 試行のために開発したドローン（SPIDER-LX8）は外形1200×1100×700mm
- ・ 分解や折りたたむことなく普通乗用車で搬送可能
- ・ 大人一人で抱えて持ち運び可能（機体重量10.6kg）
- ・ 5m四方程度の平地スペースがあれば発着可能
- ・ 一般車の通行がない状態であれば堤防天端で発着可能

人が近づくことが困難な場所を計測できる

- ・ SPIDER-LX8はGNSSによる自律航行が可能

浅い箇所からある程度水深のある川底まで計測することができる

- ・ 試行では水深約2mの最深部の川底まで計測した（試行時の川の水の濁度は0.85m）
- ・ 川底だけでなく陸部、水面の高さも計測することが可能
- ・ 試行に用いたレーザー機器（BDF-1）は透明度の1.5倍まで測深可能（飛行高度 水面より15m時）

ある程度条件の悪い天候でも計測することができる

- ・ 試行では約15m/sの強風の中でも飛行して計測ができた
- ・ 試行では小雨の中でも計測を実施することができた

川底を一定の精度で測ることができる

- ・ 水中ドローンによる川底の計測結果は4日後に実施したALB計測とほぼ一致した

項目	仕様
ロータ数	8枚（上下4枚）
機体重量 （バッテリー除く）	10.6kg
最大離陸重量	80kg
外形寸法	1200×1100×700mm
対角サイズ	1634mm
プロペラ	30inch
飛行時間（※1）	18分

※1 気温20度、風速0m/s、速度4m/s、適正重量積載時

SPIDER-LX8の主な仕様

項目	仕様	
レーザー測距機能	最大パルスレート	4kHz
	最高測定飛行高度	50m
	ビーム広がり角	20mm@20m
	レーザー安全クラス	クラス2M
	外形	140×179×448mm
	重量	約5.3kg
慣性機能	ローリング/ピッチング	0.025deg
	ヘディング	0.080deg
	速度	0.015m/s
	出力レート	200Hz

レーザー測量機器の主な仕様

2. 従来の測量手法との比較

下表は、ドローンによる水中測量と従来の測量手法の長所、短所を比較したものです。ドローンを用いることで、人が近づきにくい場所を機動的に測量することが可能となりますが、ドローン搭載レーザーは小型で出力が限られ、水深の深い場所までの計測には限界があります。また、水が濁っている場所では能力が著しく損なわれます。さらに、今回の試行のように、多少の風や雨の中で飛行することはできますが、災害時のような豪雨の中で安定的に飛行することは困難です。

こうした短所もありますが、ドローンによる水中測量が「どこでも測りたい場所を簡単に測量できる」特性を有していることは、下の表からも明らかです。

比較項目	水中ドローン	従来手法	備考
計測条件			
機動的な運用	○	▲	※1
人が近づくことが困難な箇所の計測	○	▲	※2
流速の速い箇所の計測	○	×	※2
強風下での計測	▲	▲	※3
降雨時の計測	▲	▲	※3
濁っている水中の計測	×	○	※4
精度			
計測したい箇所を正確に計測	▲	○	※5
精度の良い計測	▲	○	※5
浅い川底の計測（水深2m未満）	○	○	
深い川底の計測（水深2m以深）	×	○	
価格			
機器の価格	▲	○	※6

※1 ドローンは必要な箇所について機動的に計測することが可能です。

※2 流速の速い箇所、人の立ち入りが危険/困難な箇所等では、安全かつ効率的に作業できます。

※3 厳しい気象条件の下では運用が難しい場合があります。

※4 測深性能は水の濁りの影響を受け、測深できない場合もあります。

※5 プロファイルタイプのため面的な情報取得はできません。

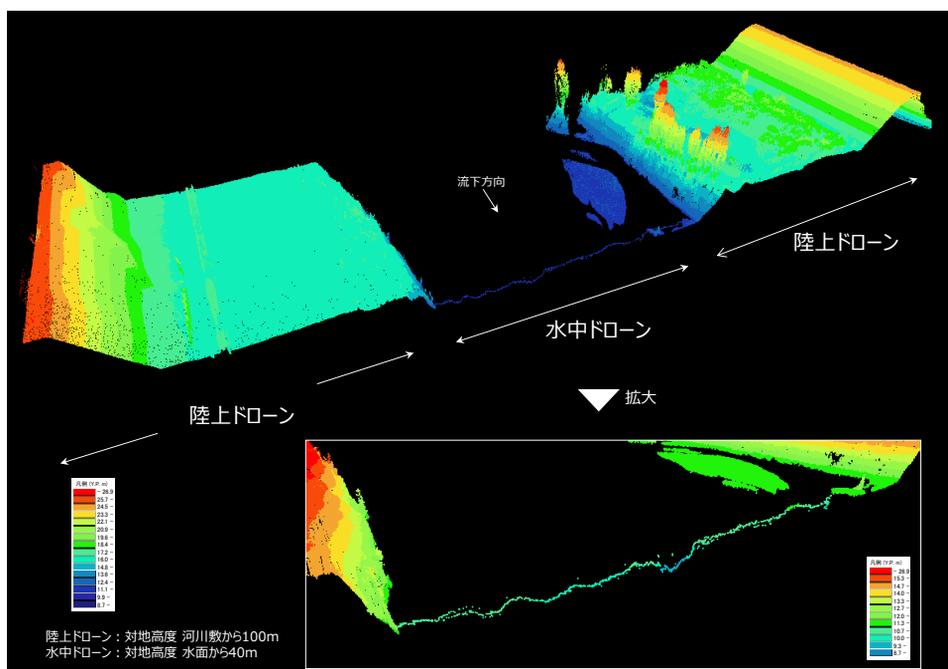
※6 現時点では機器はかなり高価です。（今後、一定の価格低下が期待されます）

3. 計測イメージ

水中ドローンと陸上ドローンの測量成果を一つの画面に合成したものを以下に示します。陸上部では面的に測量することが可能ですが、水中では線状の測量になることから、両者を合成した図はこのような形状となります。平常時、洪水時及び災害復旧時など、それぞれ多岐にわたる河川管理を適切かつ効率的に遂行していくには、現場を計測する多種多様な技術の特性を踏まえ、上手に組みあわせていくことが必要となります。

今回、新たに開発されたドローンによる水中測量は、他の手法にない特徴を持つ計測技術として、河川管理の現場に大きく貢献するものと期待されます。

なお、図では川底の線を一本しか描いていませんが、小規模な河川であればドローンを何度も往復させて、川底の状況のある程度面的に把握することができます。また、被災箇所など限られたエリアでは、さらに高密度の測量も可能です。



陸上/水中ドローンによる計測結果(鳥瞰図)

4. 水中ドローンの利活用場面の想定

ドローンによる水中測量の長所が発揮される場面として、例えば、中小河川の縦横断測量が考えられます。

① 河川定期縦横断測量 (例) 中小河川の縦横断測量



【出典】四万十川中流域、Riegl VQ-820-Gにより2013年5月17日計測
(C)アジア航測株式会社

この他にも、以下のような様々な活用が考えられます。

河川管理を適切かつ効率的に遂行していくには、多種多様な測量技術をうまく組みあわせることが不可欠であり、測量エリアがどの程度の範囲か、測量に緊急を要する案件かなど求められる条件がドローンの特徴に合致している場合、ドローンを用いた測量が効果的な選択肢となります。

今後、ドローンによる測量の実績が蓄積されていくことで、ドローンの活躍する場はさらに広がっていくものと期待されます。

②河道内工事における出来形管理 (i-Construction)

(例) 工事施工箇所 (施工前、施工中、施工後) の形状計測

③災害対応

(例) 出水によって局所的な変状が認められる (または発生していると考えられる) 箇所の計測

④河道モニタリング

(例) 河口部における砂洲の発達状況の把握

⑤ダム堆砂測量の補足

(例) ダム貯水池末端部の堆砂形状の変化

⑥その他

(例) 新たに危機管理水位計を設置する箇所の横断測量

(例) スワス測深による川底測量の補完 (浅い部分)

(例) 海岸部の砕波帯の深淺測量

TEAM FALCON

 一般財団法人
河川情報センター

河川情報研究所 研究第3部
TEL : 03-3239-3221 FAX : 03-3239-8174
E-mail : frics@river.or.jp
<http://www.river.or.jp>

 朝日航洋株式会社

空間情報事業本部 営業企画部
TEL : 049-244-4817 FAX : 049-246-7299
E-mail : <https://www.aeroasahi.co.jp/contact/spatial/>
<https://www.aeroasahi.co.jp/>

 アジア航測株式会社
ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.

経営本部 経営企画部 (広報)
TEL : 044-969-7290 FAX : 044-965-2596
E-mail : service@ajiko.co.jp
<http://www.ajiko.co.jp>

 ルーチェサーチ株式会社

TEL : 082-209-0230
E-mail : info@luce-s.jp
<https://luce-s.net/>