

自己紹介

- 株式会社ニコン・トリンブル 昆野 敦
- 特販営業部に所属
- 担当: Teledyne Optech、Trimble製品
- 専門: 航空測量用製品全般



NIKON-TRIMBLE CO., LTD.

本話題提供につきまして

- 現在の航空レーザスキャナ
- 海外での航空レーザスキャナの高密度化
(High-density LiDAR)
- 高密度LIDARの事例紹介

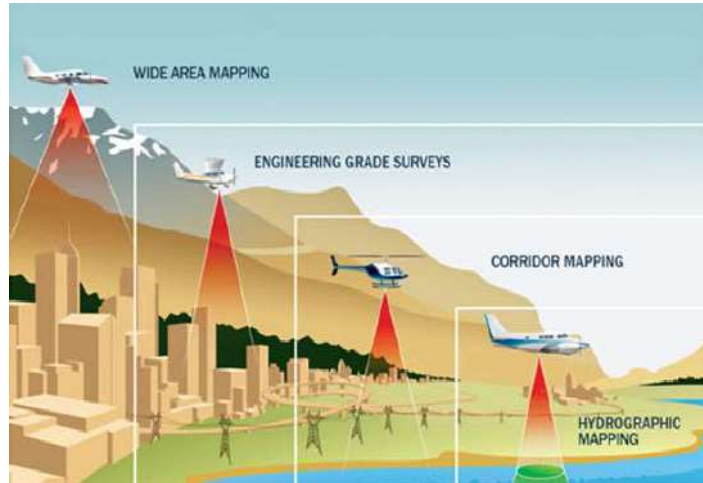


NIKON-TRIMBLE CO., LTD.

現在の航空レーザスキャナ

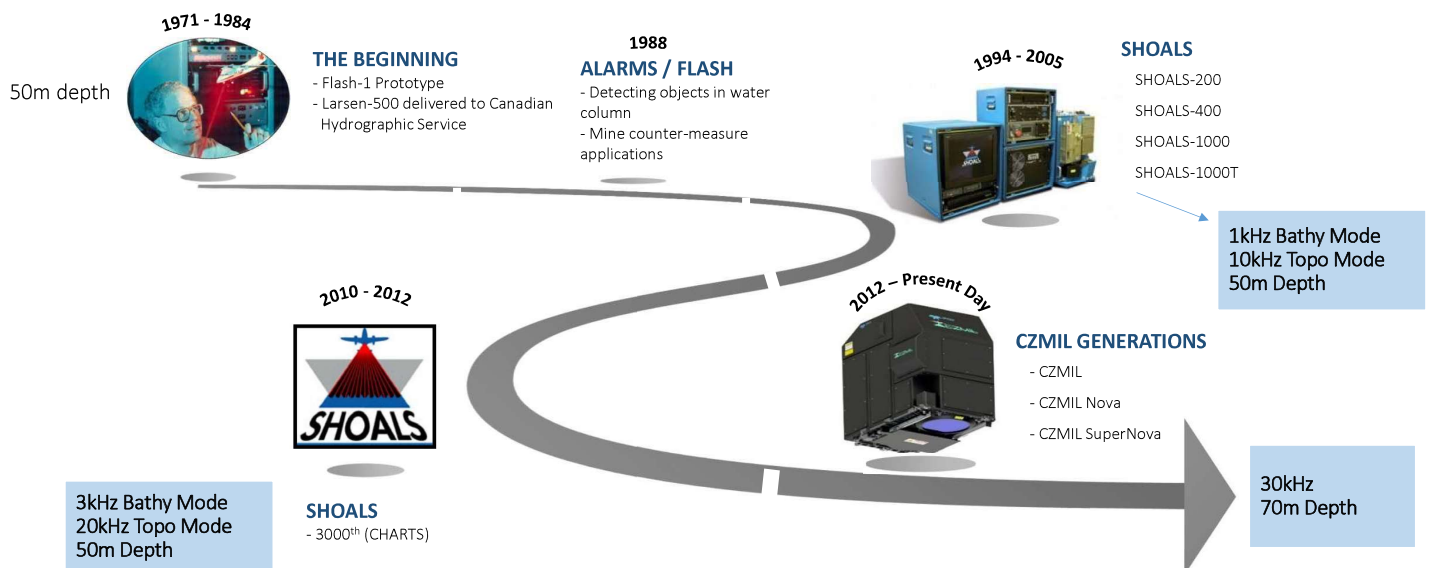


- Geiger Mode LiDAR (VeriDaaS)
<https://veridaas.com/geiger-mode-lidar/>
- Single Photon LiDAR (Leica SPL100)
- Linear LiDAR
近赤、グリーンレーザ(ALB)



NIKON-TRIMBLE CO., LTD.

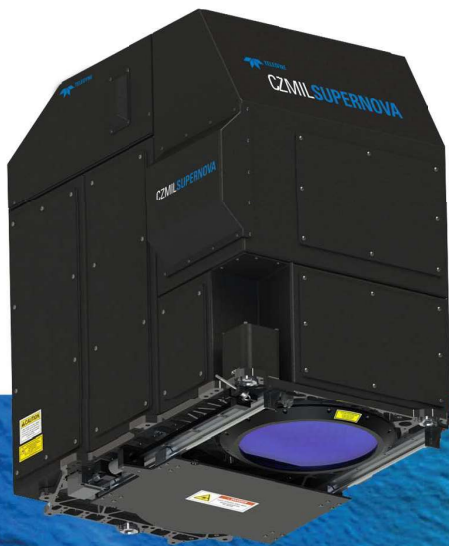
航空レーザ測深(ALB)の最新機材の紹介 Optechの歴史



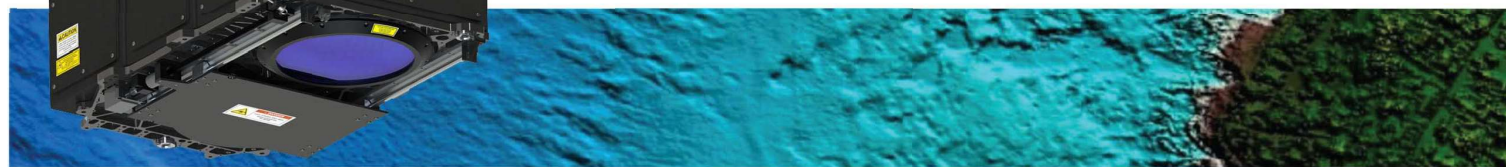
航空レーザ測深(ALB)の最新機材の紹介

CZMIL SUPERNOVA

Next Generation Topo-Bathy Lidar



機材の名称	測深能力		点群取得能力 (点/秒)			備考
	secchi depth	$K_d \cdot D_{max}$	shallow	deep	topo	
CZMIL Nova	3.0 ($\rho > 15\%$)	4.3 ($\rho > 15\%$)	70,000	10,000	80,000	海上保安庁
CZMIL Supernova	3.0 ($\rho > 15\%$)	4.4 ($\rho > 15\%$)	210,000	30,000	240,000	2021年運用開始



最新機材の測深能力 (CZMIL SuperNova)

Water Type	K_d 532 nm (m^{-1})	$K_d \times D_{max} = 2.9$ (Shallow Channels)	$K_d \times D_{max} = 4.4$ (Deep Channel)
Extremely clean	0.06	48 m	73.0 m
Very clean	0.07	41 m	62.8 m
Clean	0.10	29 m	44 m
Typical	0.13	22 m	33.8 m
Typical	0.16	18 m	27.5 m
Dirty	0.30	9.5 m	14.6
Very dirty	0.50	5.8 m	8.8
Turbid	0.80	3.6 m	5.5

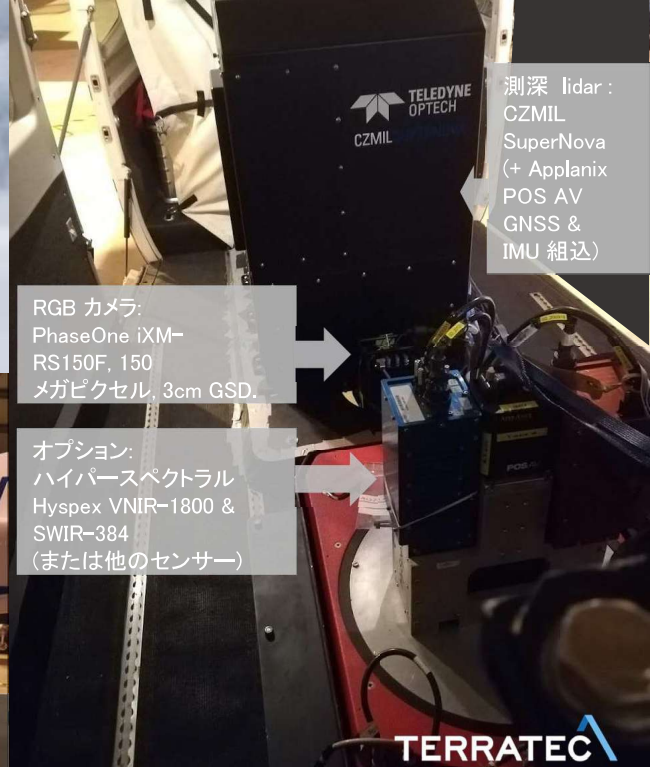
← Lake Ontario
Fort Lauderdale

Rule of thumb:
2 to 3x deeper than
Secchi depth

Terratec社の事例 航空レーザ測深機搭載例



セスナ 208b グランドキャラバン. 2 ハッチ
ALB 飛行速度: 120-140 knots (220-260km/h). ALB 飛行高度: 400-600m.



測深 lidar :
CZMIL
SuperNova
(+ Applanix
POS AV
GNSS &
IMU 組込)

RGB カメラ:
PhaseOne iXM-
RS150F, 150
メガピクセル, 3cm GSD.

オプション:
ハイパースペクトラル
Hypex VNIR-1800 &
SWIR-384
(または他のセンサー)

TERRATEC

Terratec社 航空レーザ測深機の活用例

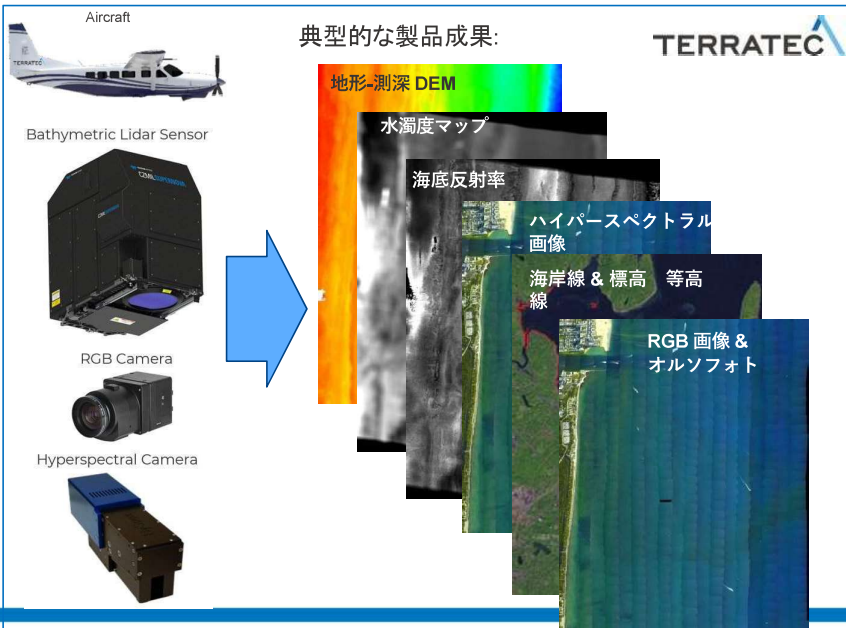
データ収集

データ処理

成果の作成

情報

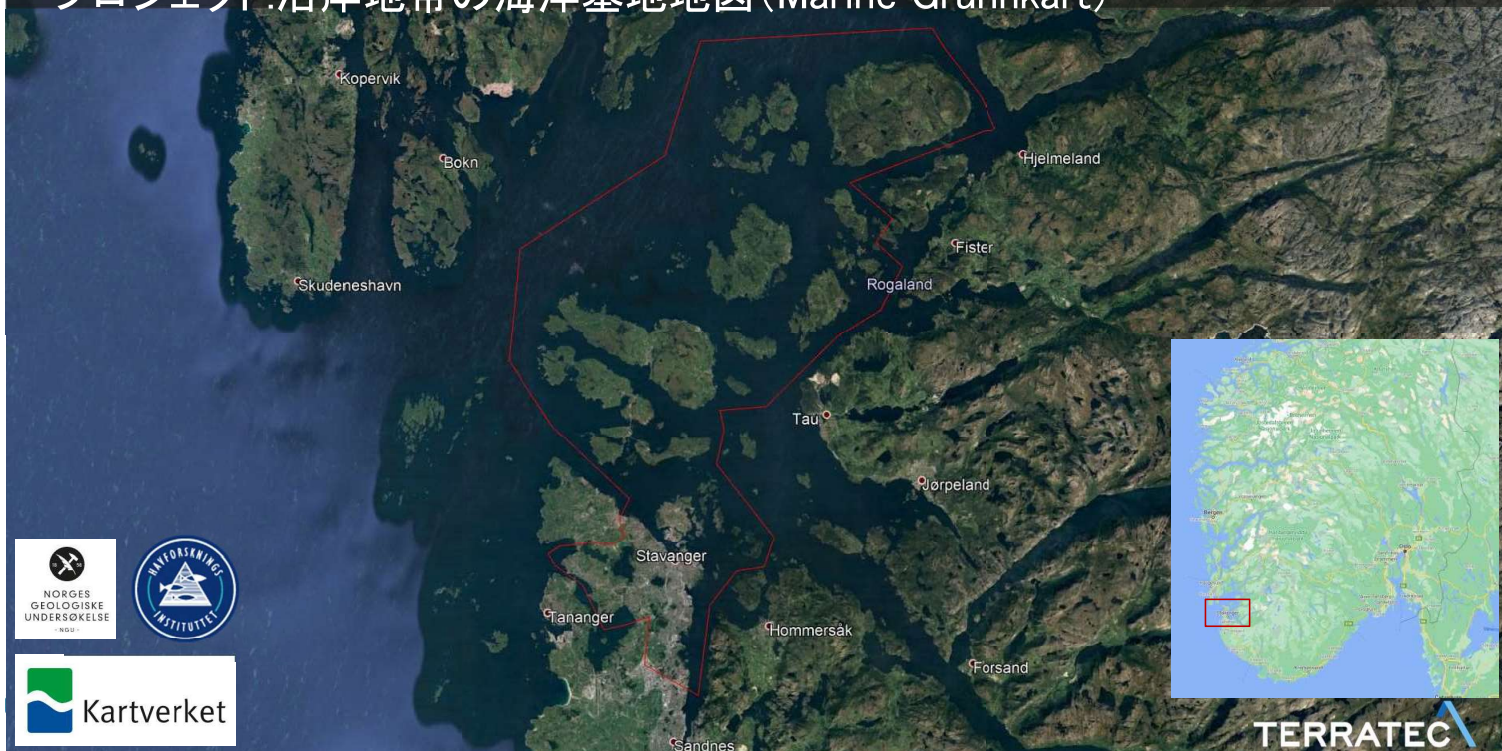
ナレッジ



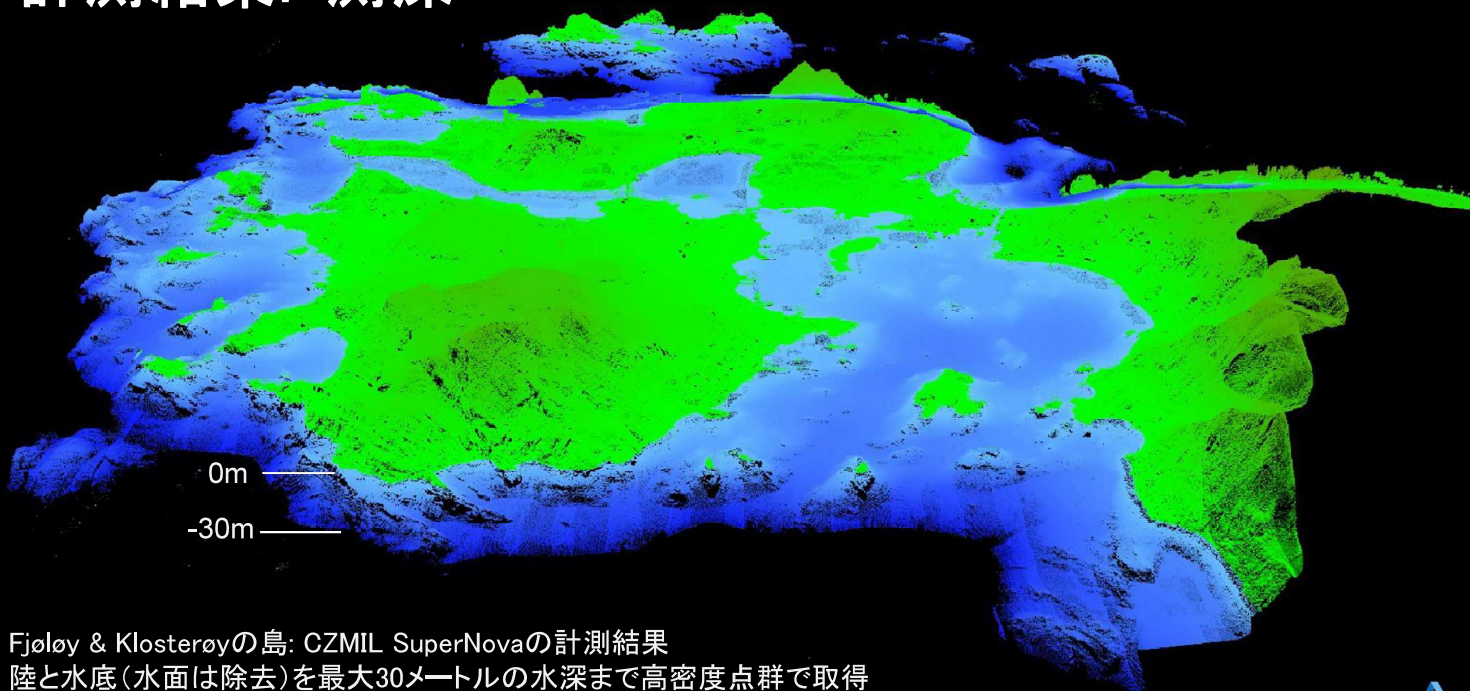
多くの適用例:

- ・ 水路学 & 海図
- ・ 沿岸地帯の資産管理 & 計画
- ・ 海洋産業 & 建設
- ・ 洪水地図 & 沿岸の嵐のモデリング
- ・ 海洋廃棄物/汚染のマッピング
- ・ 海洋生物学 (例: 植生と生息地のマッピング)
- ・ 海洋地質学 (例: 海底堆積物マッピング)
- ・ その他...

Terratec社 適用例: Stavanger, Norway周辺の調査 プロジェクト:沿岸地帯の海洋基地地図(Marine Grunnkart)



計測結果: 測深



AIベースのノイズ処理 TeledyneCARIS

CARIS Mira AI



Water surface

Noise

Seafloor



TELEDYNE IMAGING | Geospatial
Everywhere you look

最新のCZMIL SuperNova 民間企業への導入例

The screenshot shows a web browser window displaying a news article from Teledyne Geospatial. The article is titled "Dewberry first to purchase advanced CZMIL SuperNova lidar bathymeter in North America". The text describes the acquisition of the CZMIL SuperNova lidar bathymeter by Dewberry, highlighting its advanced capabilities in delivering Quality Level 1 (QL1) data from altitudes greater than 1,200 feet and its Secchi depth penetration range (down to 70 meters in optimal conditions). The article also mentions the use of advanced artificial intelligence and machine learning (AI/ML) techniques for automated land/water discrimination and noise classification. A small image shows a river winding through a forested area, with a caption: "A recent CZMIL SuperNova topobathy collect over the Potomac River in Maryland. Image courtesy of Dewberry". Below the article, there are sections for "JOIN OUR MAILING LIST" with a "Subscribe to email announcements" button, and "OUR LATEST TWEETS" featuring a tweet from Teledyne Optech (@TeledyneOptech) announcing a move and encouraging followers to follow them on Twitter.

<https://lidarmag.com/2021/12/15/dewberry-hires-geospatial-technology-manager-andrew-ericson>



TELEDYNE IMAGING | Geospatial
Everywhere you look

航空レーザ(地形)の最新機材の紹介



- PULSE REPETITION RATE (PRF)は2MHz
- 2MHz以上はデュアルチャンネル
- スキャンタイプがメーカーによって違う

oscillating mirror

Teledyne Optech Galaxy

polygonal mirror

RIEGL VQ 1560 II-S

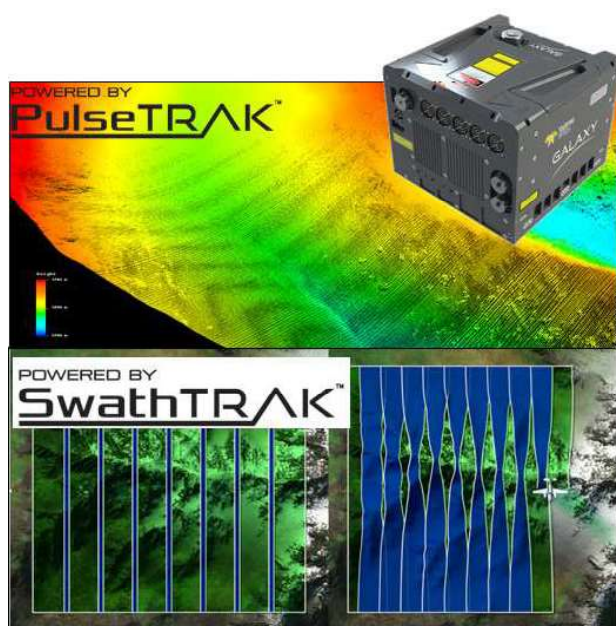
rotating wedge prism

Leica Geosystems TerrainMapper-2



NIKON-TRIMBLE CO., LTD.

Teledyne Optech GALAXYの紹介



生産性

- 最大点密度のための2 MHzのグランドサンプルレート(有効な PRR)
- 高検出感度からリターンエネルギーが弱いターゲットも取得
- PulseTRAK (マルチパルス遷移ゾーン間でデータや密度の損失がない)
- SwathTRAK (起伏地形でも一定のスワ幅とレーザー点密度の維持)
- FOV選択を可能にし、より小さいスキャンFOVで点密度を大幅に向上

柔軟性

- ヘリ搭載に最適なコンパクトな設計(R44,セスナ206搭載実績)
- 多数の搭載方法 (ポッド, 固定, ジャイロマウント, G²)

データの信頼性

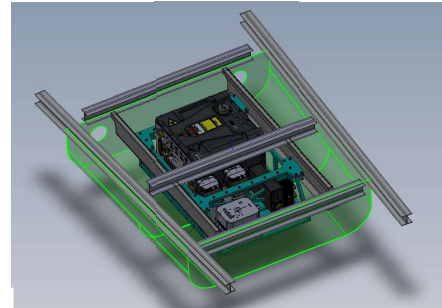
- エネルギー密度を高める最小のビーム径(0.23mrad 1/e²)により、優れたターゲット解像度と植生浸透の改善が可能
- 滑らかな地表面の優れた再現性
- 8つの強度測定値を持つディスクリートリターン

Galaxy シリーズ T2000, CM2000



NEW

Class 3B
2,000,000 shots/second



Galaxy CM2000 Corridor Mapper

Low flying sensor that captures
corridors and context with the
highest single-pass point density
The new CM2000 is designed to drive maximum efficiency in



小型のヘリコプターにも搭載可能

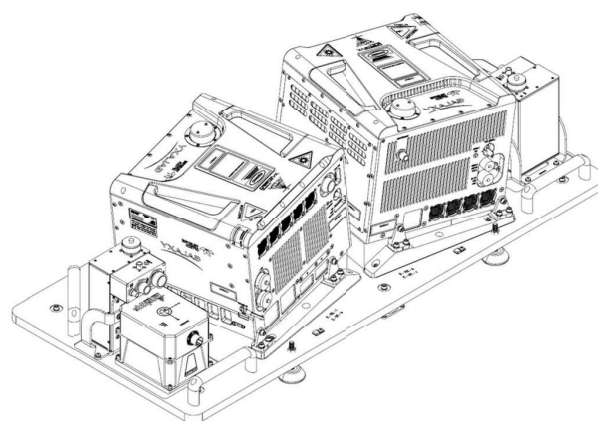
NIKON-TRIMBLE CO., LTD.

G2 センサーシステム (Galaxy 2台搭載)

1. G2 platform
2. Galaxy x2
3. IMU x2
4. POS box x2
5. iXM Camera x2
6. GNSS Splitter x1
7. Ethernet switch x1
8. uPDU x2
9. Laptop x2

Note: single laptop operations still not released

<https://www.youtube.com/watch?v=ngcdJK6yVJA>



Universal Power Distribution Unit (uPDU)



IMU



POSBox



Antenna splitter



Ethernet switch

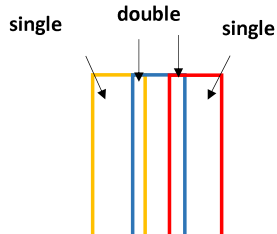


G2のマルチルックアングル

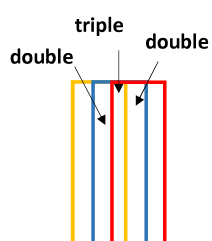
前方/後方視の角度

2.5度または7度の変更可能なピッチ

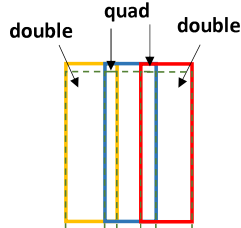
Single sensor, 20% sidelap



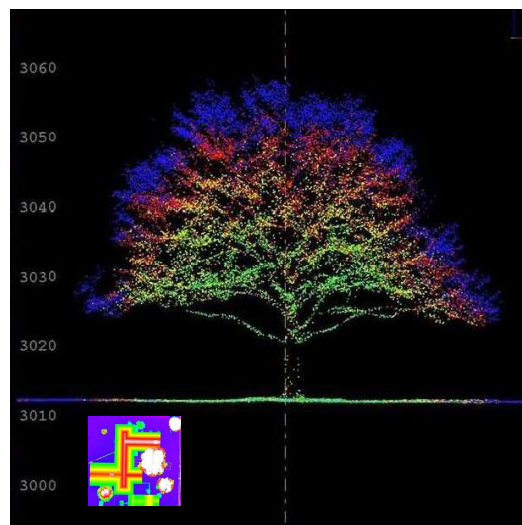
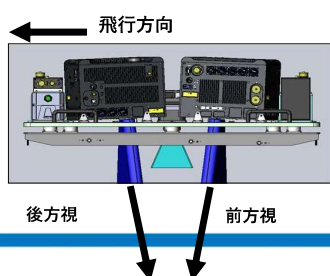
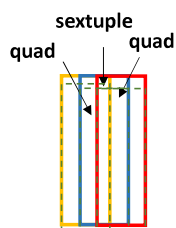
Single sensor, 55% sidelap



G2 20%



G2 55%



G2 2台搭載のメリット

最高の生産性

- 同じ高度, 2倍の密度
- 2倍の高度/FOV、密度の維持
- プログラム可能なFOVのメリット

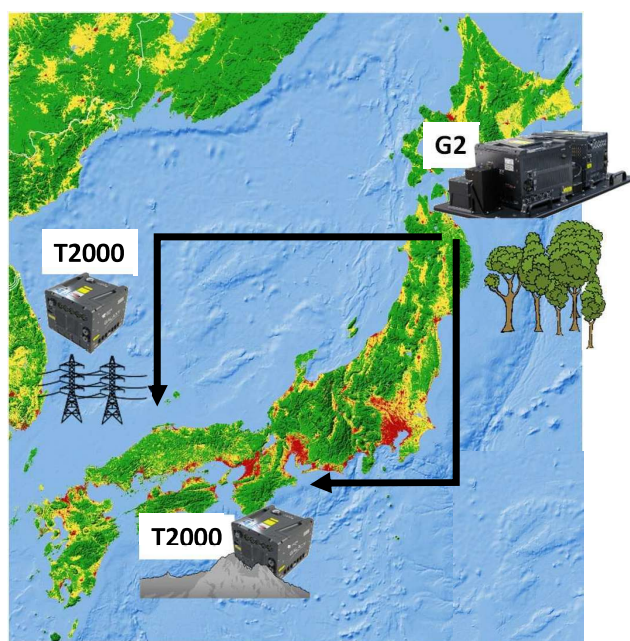
独自の汎用性:

デュアルまたは2つのシングルセンサー

- 1つのプロジェクトでセンサーを1つとして使用するか、容量を増やすために個別に使用
- 単一のセンサー所有者とのパートナーシップの確立

単一の航空機、単一のワークフロー

- 標準の航空機にインストール
- 同じ/単一の計画、運用、及び処理のワークフロー



コリドーマッピングに最適なソリューション

オシレーティングガルボミラーのプログラム可能なFOVから、単コースで最高の点密度を生成

低高度で高いPRF

→2 MHz、クラス3B

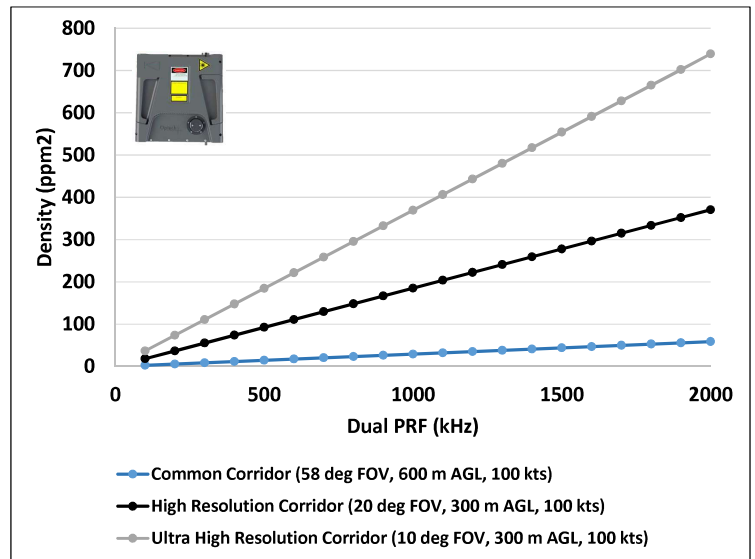
FOVを狭めて100%効率の高密度スキャン

→固定翼航空機でも100ポイント/ m²以上を生産的に提供できるセンサー

→ FOVをコリドーの正確な幅に狭めることができるセンサー

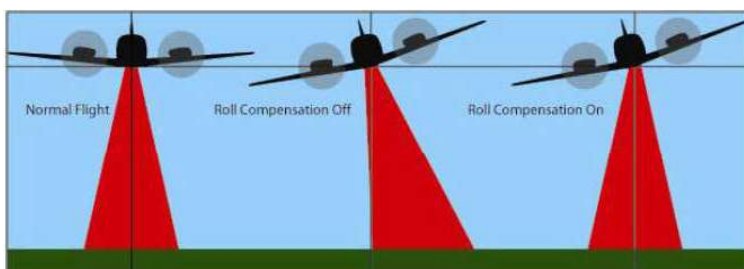
→複数のフライトパスを介して密度の構築は不必要

- 右のグラフは、超高解像度のシナリオ、コース幅50mから665m(それぞれ10度と58度)までの点密度例



コリドーマッピングに最適なソリューション

ロール補正



ガルボミラータイプは、動的でリアルタイムのスワス補正が組み込まれているため、飛行コースの迅速な変更が必要なコリドーマッピングに最適

航空機がロールすると、スキャナーカウンターが機能し、FOVを計画された場所に戻す

位置補正



航空機が計画された場所(xyおよびz)から外れている場合、FOVを計画された場所に戻す

コリドーマッピングにおける優位性

レーザー精度

→道路や高速道路での優れた滑らかな表面再現性

FOV

→ 任意のコリドー幅に合わせてFOVを設定可能:

低高度可能なシステム

→クラス3B、レーザーパワーの変更

スキャン速度

→より高速なスキャナーによる進行方向の点間隔の改善

内蔵のスワス補正

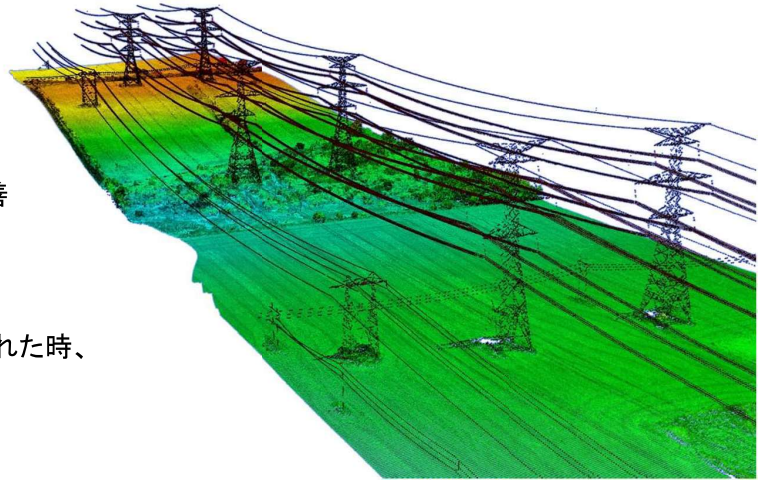
→ 起伏のある地形での道路/鉄道建設のために、
固定されたスワス幅を維持

→ 位置補正:航空機の急旋回/上昇/降下で計画から外れた時、
FOVを計画線に向ける技術

コンパクトなシステム

→様々なヘリコプターに搭載可能

AS, Bell, and Robinson



航空レーザスキャナの高密度化 (High-density LiDAR)

For commercial utility work (powerlines), most contracts require 25 – 30 pts/sqm

<https://www.dewberry.com/projects/northeastern-transmission-line-mapping>

For commercial highway work (roads), most contracts require 20 – 25 pts/sqm

Most Canadian forest companies are asking for > 16 ppsm

VeriDaaS 30 ppm baseline data Geiger-Mode LiDAR

Departments of Transportation (DOTs) アメリカ合衆国運輸省 Surdexの資料 10 ppsm lidar acquisition

U.S. Geological Survey (USGS) アメリカ地質調査所 3D Elevation Program

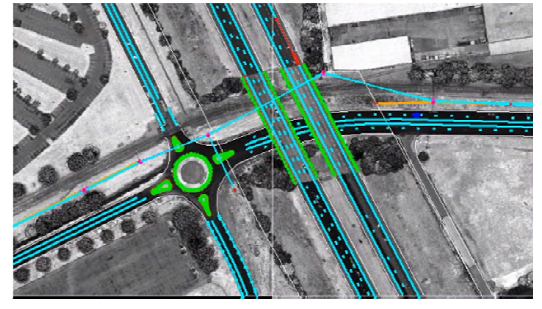
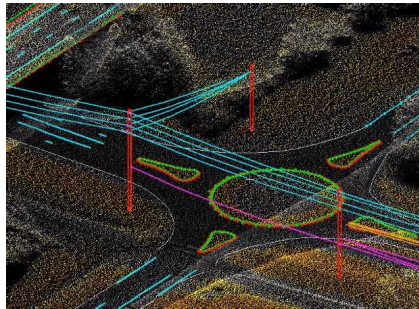
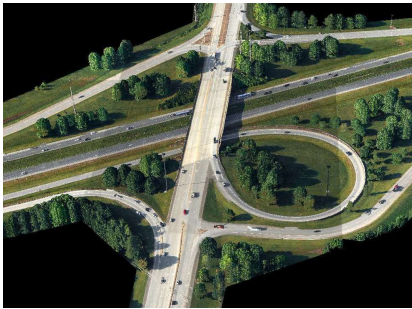
QL2で米国の大部分を取得、QL1に移行

Quality Level	Data Source	Vertical Accuracy RMSEz (cm)	Nominal Pulse Spacing (NPS) meters	Nominal Pulse Density (NPD) points per square meter	Digital Elevation Model (DEM) cell size (meters)
QL0	Lidar	5 cm	≤ 0.35 m	≥ 8 pts/square meter	0.5 m
QL1	Lidar	10 cm	≤ 0.35 m	≥ 8 pts/square meter	0.5 m
QL2	Lidar	10 cm	≤ 0.35 m	≥ 2 pts/square meter	1 m
QL3	Lidar	20 cm	≤ 0.35 m	≥ 0.5 pts/square meter	2 m
QL4	Imagery	139 cm	N/A	N/A	5 m
QL5	IfSAR	185 cm	N/A	N/A	5 m

Atlantic社, 高密度LIDARの事例



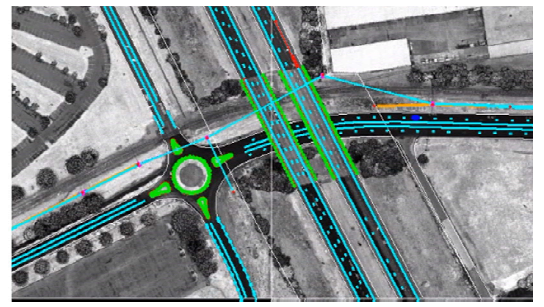
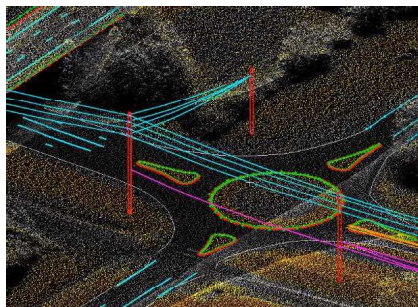
- 高解像度、高精度のエンジニアリンググレードの測量
- lidarから直接、特徴抽出
- DOTはモバイルからエアボーンへ転換



Atlantic社, 高密度LIDARの事例



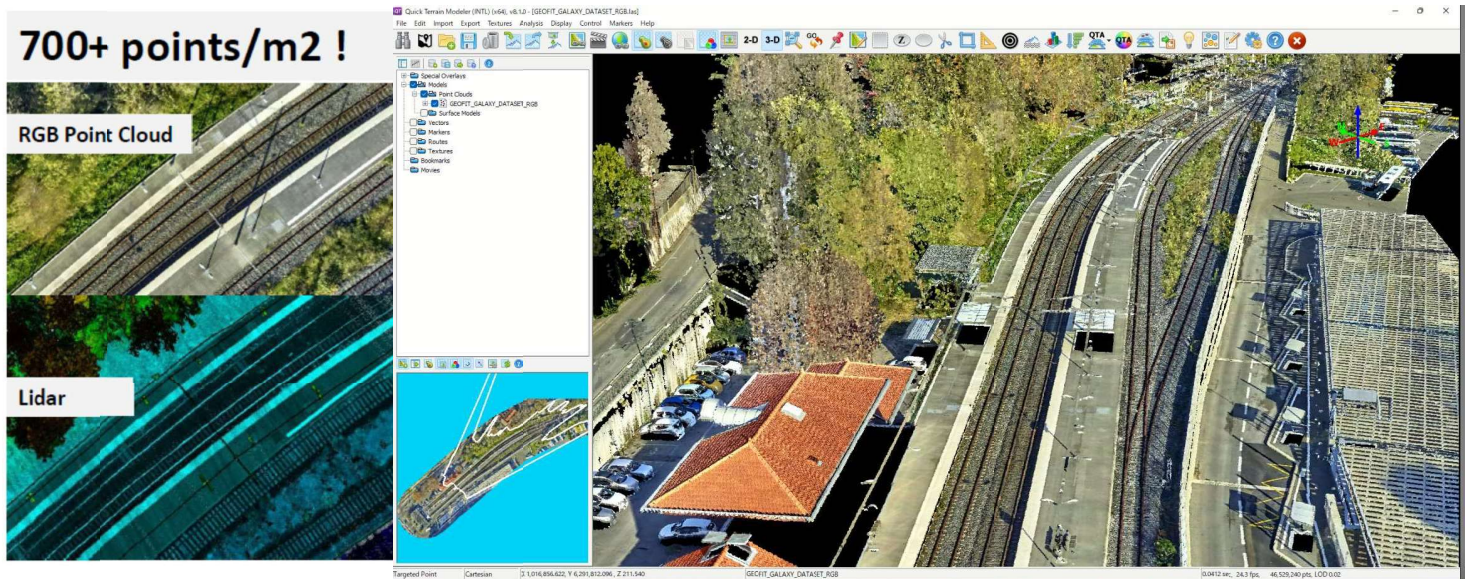
- <https://storymaps.arcgis.com/stories/5f71e0ea635f488babea400076fb0bc4?header%22>
- Atlantic is regularly bidding & doing 100ppms projects



GEOFIT EXPERT社 鉄道の事例

線路、架線、電気ボックスなどの自動分類

<https://www.youtube.com/watch?v=TWMLzWIVbJA>



Merrick社 配電施設管理の事例

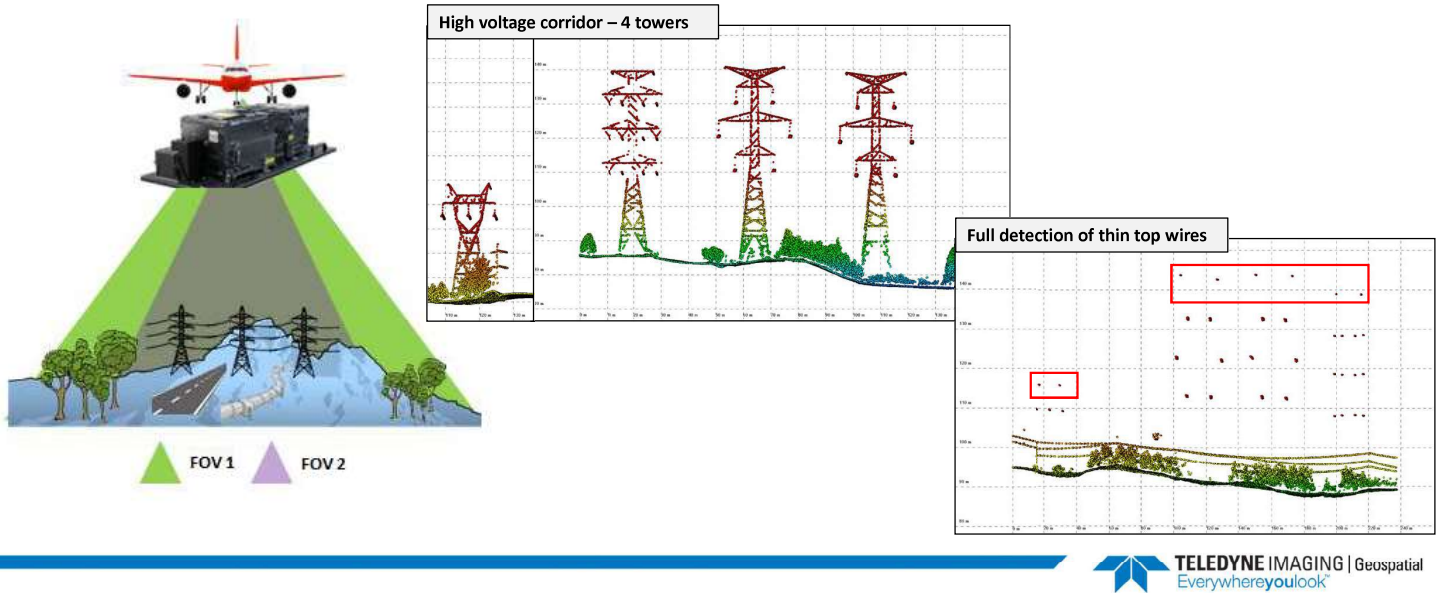
- 30 points/m2 dual point density
- Wide swath of 602m (~2000ft)
- 650m AGL, 1800 kHz dual, 50 deg Fov, 150 kts



<https://www.youtube.com/watch?v=PmG-EvLwMKY>

Merrick, Aerial Surveys International, Atlantic 社での事例 異なるFOVの設定で同時計測

<https://storymaps.arcgis.com/stories/5f71e0ea635f488babea400076fb0bc4?header%22>



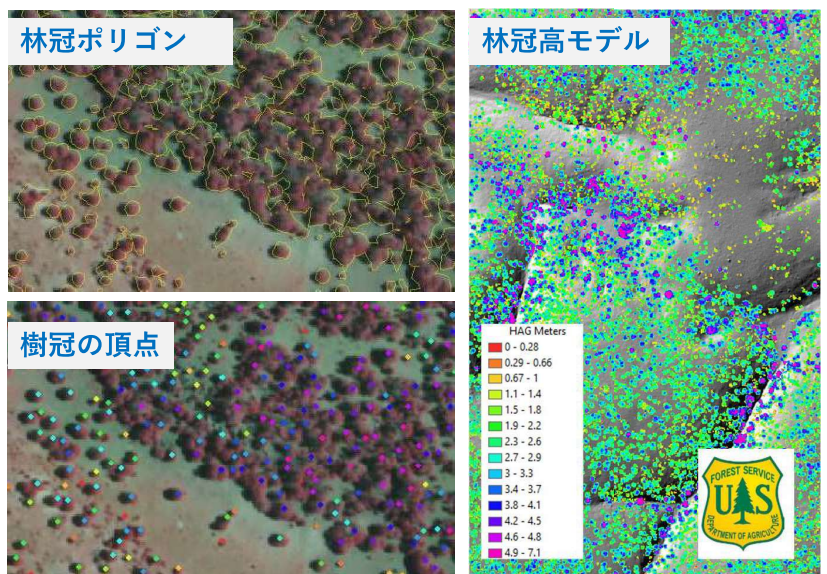
TELEDYNE IMAGING | Geospatial
Everywhereyoulook

Merrick-Surdex JV, USGS 3DEPの事例

MERRICK SURDEX
JOINT VENTURE

- 地盤密度: 12点/m²
- 樹木下の地盤密度:
6 点/m²
- 植生密度: 20 点/m²

合計5000平方マイルのほとんどが丘陵の砂漠に
植生がある地域、調査要件はUSGS QL1データ、
8ppsmの比較的タイトな植生下のポイント密度
が必要



<https://lidarmag.com/2021/11/15/tough-requirements-call-for-new-solutions/>

TELEDYNE IMAGING | Geospatial
Everywhereyoulook

プロジェクトの背景

Merrick-Surdex JV プロジェクト

- 場所: 4 AOIs in アリゾナ
- 要件: USGS QL1
- 成果物: lidarをもとにした森林バイオマス指標

MERRICK SURDEX
JOINT VENTURE

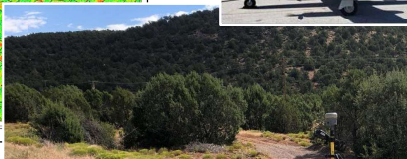
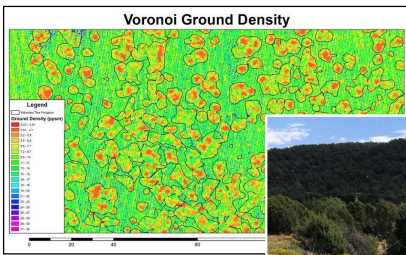


Table 1. Aggregate nominal pulse spacing and density.

Quality level	Aggregate nominal pulse spacing (m)	Aggregate nominal pulse density (pls/m²)
QL0	≤0.35	≥8.0
QL1	≤0.35	≥8.0
QL2	≤0.71	≥2.0
QL3	≤1.41	≥0.5

Table 2. Relative vertical accuracy for light detection and ranging swath data.

Quality level	Smooth surface repeatability, RMSD, (m)	Swath overlap difference, RMSD _o , (m)
QL0	≤0.03	≤0.04
QL1	≤0.06	≤0.08
QL2	≤0.06	≤0.08
QL3	≤0.12	≤0.16

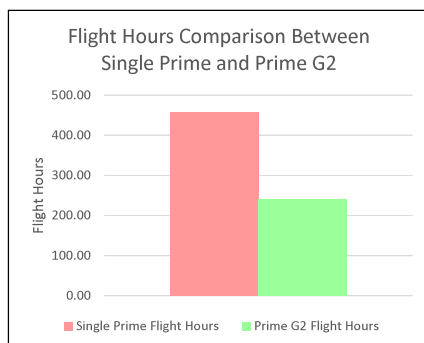
Table 4. Absolute vertical accuracy for light detection and ranging data and digital elevation models.

Quality level	RMSEz (nonvegetated) (m)	NVA at the 95-percent confidence level (m)	VVA at the 95th percentile (m)
QL0	≤0.050	≤0.098	≤0.15
QL1	≤0.100	≤0.196	≤0.30
QL2	≤0.100	≤0.196	≤0.30
QL3	≤0.200	≤0.392	≤0.60

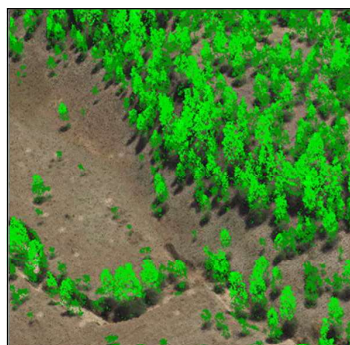
TELEDYNE IMAGING | Geospatial
Everywhere you look

困難な地形、密集した植生、制限された空域の 厳しい要件ゆえ、新しいソリューションが必要

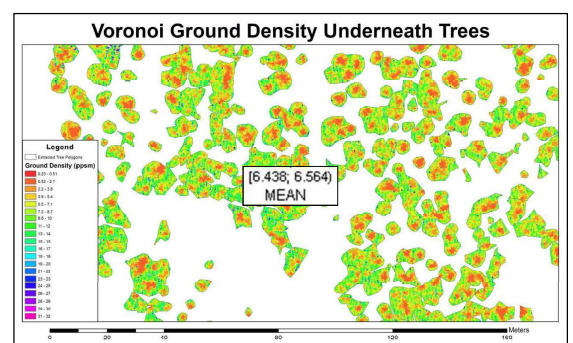
取得効率



垂直方向の特徴を 忠実に再現



葉の浸透



MERRICK SURDEX
JOINT VENTURE

<https://lidarmag.com/2021/11/15/tough-requirements-call-for-new-solutions/>

TELEDYNE IMAGING | Geospatial
Everywhere you look

2社のセンサーを統合 (G2 in Cessna 414A)

7度ピッチ、一方のセンサーが各垂直面の前面をスキャンし、
もう一方のセンサーが背面を調査することで、垂直方向の忠実度と林冠の浸透が向上



プロジェクトの計測諸元

- AGL: 2,259 m
- Groundspeed: 170 knots
- PRF: 400 kHz per each Galaxy Prime (800 kHz total)
- Sidelap: 55%
- Field of View: 38°
- Planned Dual Point Density at nadir: 10 ppsm
- SwathTRAK: On
- Roll Compensation: On
- Boost Mode: On

必要な成果物

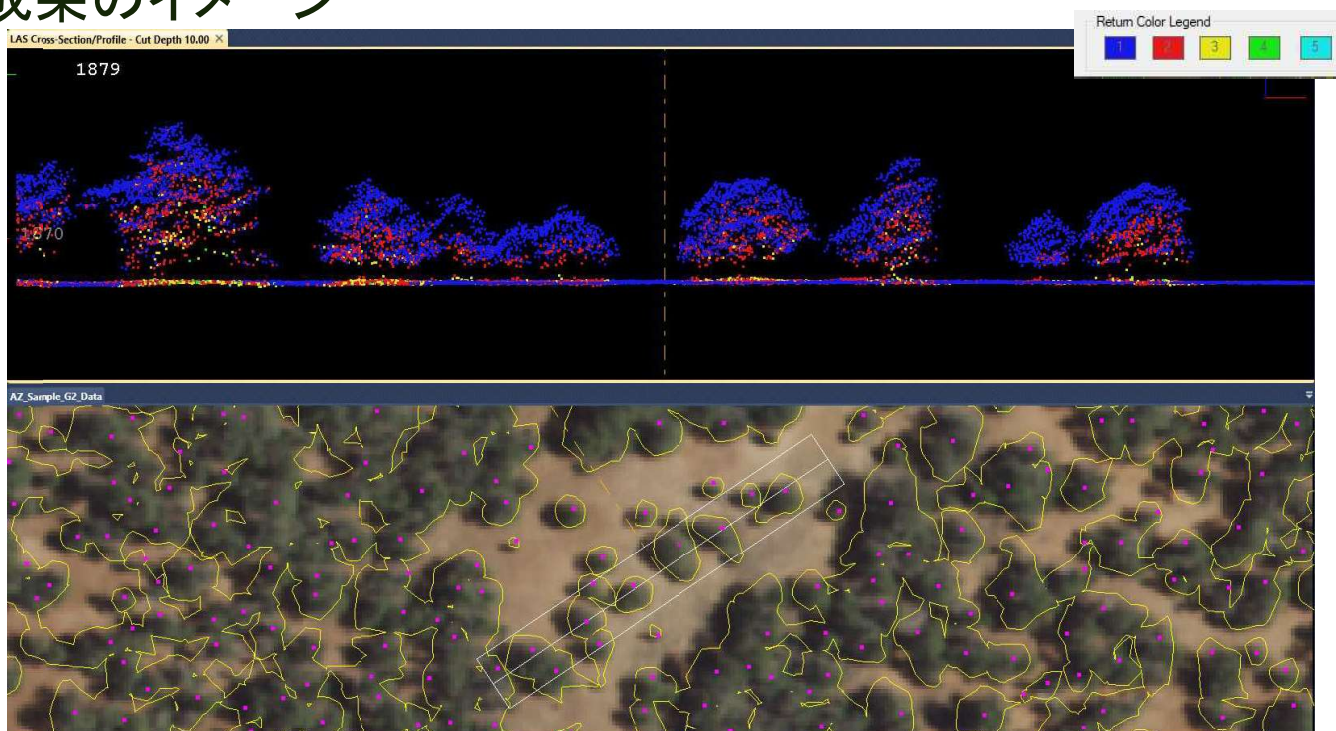
- 分類された点群
 - 地盤
 - 低植生
 - 中植生
 - 高植生
- 数値標高モデル(DEM) 地盤に分類された点群に基づく
- 林冠のポリゴン
- 樹冠の点

その他の成果物

- 林冠高モデルデータ (CHM)
- 以下に基づく密度ラスターと分布図:
 - ラストリターン
 - すべての地盤
 - 林冠ポリゴン内の地盤
 - 植生のみ

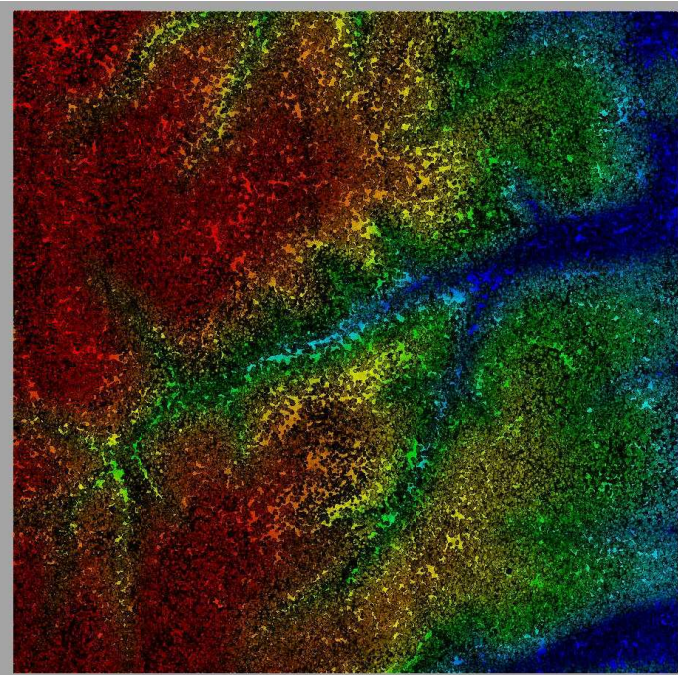


成果のイメージ

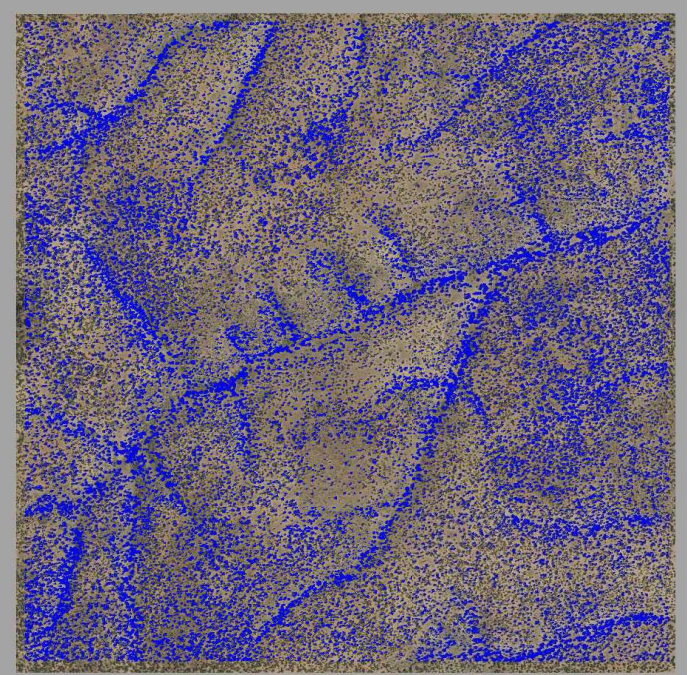


成果のイメージ

All lidar points

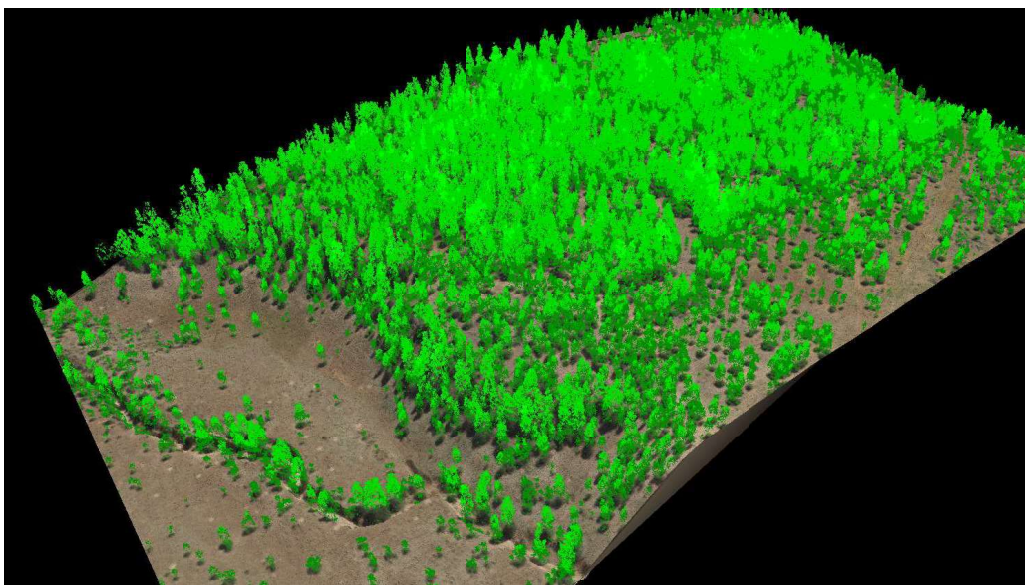


High Vegetation (overlaid on an image)



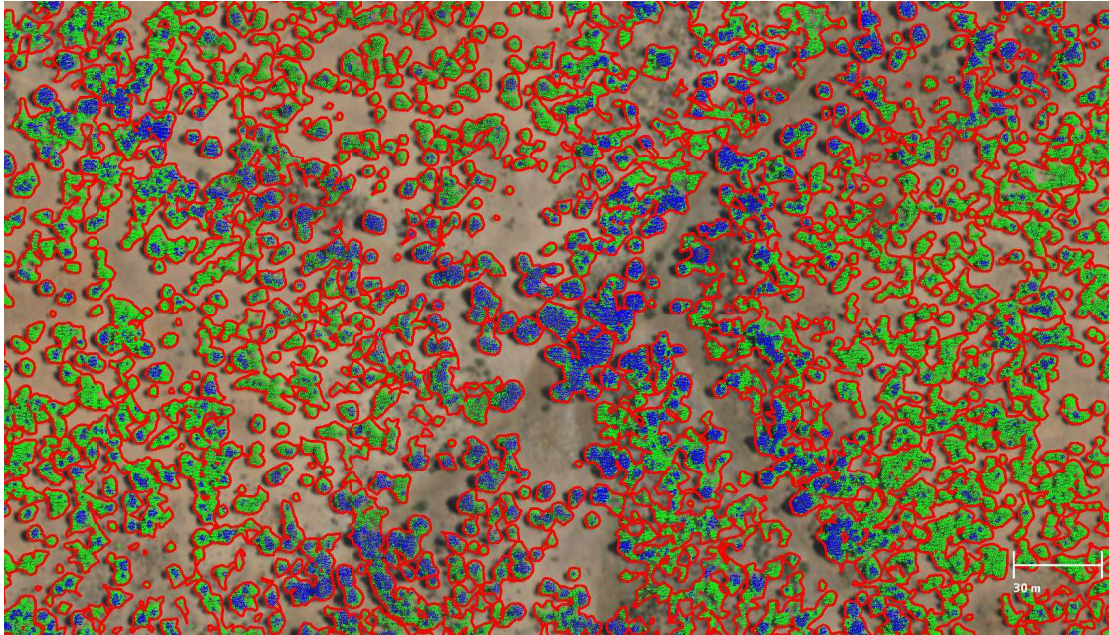
成果のイメージ

3D forest returns on NAIP imagery

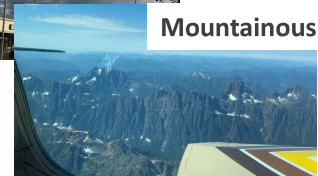


成果のイメージ

Classified G2 trees over imagery + tree polygons

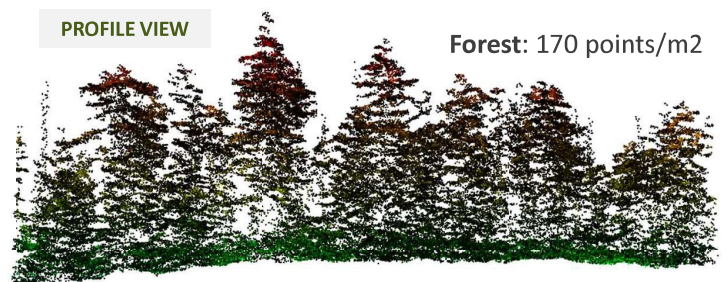


カナダ ブリティッシュコロンビアでの事例



PROFILE VIEW

Forest: 170 points/m²



BOTTOM VIEW

Ground: 20 points/m²

