

令和3年4月5日

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
株式会社アミューズワンセルフ

世界初！ ハイブリッドドローンに搭載したグリーンレーザースキャナによる 長時間の海底地形計測に成功 ～効率的に高精細地形を計測可能に～

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所（以下、港空研）は、株式会社アミューズワンセルフが新たに開発したハイブリッドドローン(*1)に搭載したグリーンレーザースキャナ(*2)を用いることで、効率的に高精細な海底地形を計測できることを実証しました。本実証実験は沖縄県竹富町西表島で行われ、陸上から水深約17m付近までの全長約2.6km、幅1kmの範囲を約4時間で計測し、陸上から浅海域の連続的な地形やサンゴ礁の複雑な地形を取得しました。計測データ（水面と海底の両方を含む）は、平均で約12cm間隔の高密度かつ高さの平均誤差±2cmの高精度な結果となりました。

これまでバッテリー容量の制限からドローンのフライト時間は20分程度と短時間なものでしたが、今回の実証試験では小川精機株式会社が開発したドローン搭載型発電機（レンジエクステンダー*3）による給電を行うことで、グリーンレーザースキャナを搭載した状態でも1回2時間以上の長時間フライトを実現しています。今回、ハイブリッドドローンを用いることで、グリーンレーザースキャナによる高精度な地形計測の効率性が格段に向上し、沿岸域の詳細な地形情報を広範囲に取得可能であることが実証されました。ハイブリッドドローンに搭載したグリーンレーザースキャナでの長時間の海底地形計測は世界初の試みです。ドローン搭載型のグリーンレーザースキャナによって、これまで船でのアプローチが難しく計測ができなかった砕波帯(*4)下の地形やサンゴ礁に特徴的な地形である縁脚縁溝系(*5)などが明らかとなり、沿岸地形に関する科学的な発展が大きく期待され、沿岸域の波浪や地形変化予測の精度向上につながることも期待されます。

*1 ハイブリッドドローン：ガソリンを燃料とした発電機による給電を行うシステムを有したドローン。一般的なドローンはバッテリーのみにより給電する。

*2 グリーンレーザースキャナ：水中透過性の高い532nmの波長のレーザーを使用したLiDARスキャナ。光により3次元の地形情報を取得する。

*3 レンジエクステンダー：発電機によりバッテリーに給電することで電力を補給し、長時

間の航行を可能にするシステム。エンジンは駆動のためには用いられない。

- *4 砕波帯：波浪が海底の影響を受け、変形することで、乱れを伴って崩れる領域。水深が浅くなる場所で砕波は生じやすくなる。
- *5 縁脚縁溝系：サンゴ礁に特徴的に見られる海岸線に直行方向に伸びる溝と嶺状の地形。水深20m前後までに見られ、波浪の変形にも影響を与える。

【内容の問い合わせ先】

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所

主任研究官 伴野 雅之（ばんの まさゆき）

TEL: 046-844-5045 FAX: 046-844-1274

<https://www.pari.go.jp/>

Email: banno-m@p.mpat.go.jp

株式会社アミューズワンセルフ

技術開発担当 富井 隆春（とみい たかはる）

TEL: 06-6210-3345 FAX: 06-6210-2788

<https://amuse-oneself.com/>

Email: t@amuse-oneself.com

【報道対応】

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 管理調整・防災部 企画調整・防災課

TEL: 046-844-5040 FAX: 046-844-5072

Email: kikaku@p.mpat.go.jp

株式会社アミューズワンセルフ

代表取締役社長 佐野 ひかる（さの ひかる）

TEL: 06-6210-3345 FAX: 06-6210-2788

Email: s@amuse-oneself.com

【背景】

海底地形の計測において、近年、水中透過性の高いグリーンレーザー（波長532nm）によるLiDARが注目を集めています。レーザーの発射部とセンサーである受光部からなるグリーンレーザーキャナはこれまで大型のものであり、大型の飛行体（例えばヘリコプター）に搭載していました。浅海域の海底地形計測においては、砕波によって生じた気泡がレーザーの海底への到達を妨げることから、複数回のフライトや高いオーバーラップ率による大量

の計測点によって碎波の切れ間から瞬時的に海底を捉えることが必要となりますが、大型の飛行体での計測では、機動力が悪く、コストの面からもそのようなフライトプランを実施することは難しいのが現状でした。

2018年、株式会社アミューズワンセルフは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」のもとで小型かつ軽量のドローン搭載型グリーンレーザースキャナ「TDOT GREEN」を開発し、ドローンの高い機動力で高精細な地形データを取得するシステムを提案しました。その後、河川のみならず、海域での実証へと発展し、港空研とアミューズワンセルフは、碎波帯下の海底地形計測における有用性の検証を連携して進めてきました。

大量の海底地形の点群データを取得できるグリーンレーザースキャナとドローンの有する高い機動力により碎波帯を含めた沿岸域の地形を詳細に取得することができるようになってきた一方、ドローンの飛行時間はバッテリーにより制約を受け、バッテリー交換のために複数回の離発着を繰り返す必要がありました。また、沖に広がるサンゴ礁や遠浅の地形での計測では、計測箇所に飛行するまでにバッテリーを消費してしまうという難点がありました。そこで今回の実証では、広範囲の海底地形を高精細かつこれまでの数倍以上の効率で計測することを目標とし、新たに開発したハイブリッドドローン（写真1）を使用することで、グリーンレーザースキャナを搭載した状態で2時間以上の飛行を可能にし、実海域での地形計測を実施しました。なお、本実証で用いたハイブリッドドローンは、ガソリンを燃料とした発電機によってバッテリーに給電するレンジエクステンダーを採用することで、長時間のフライトが可能であり、バッテリーシステムもしくは発電機の片方が万が一故障した際にも飛行を継続できる冗長性も有しています。



写真1 実証に用いたハイブリッドドローンとグリーンレーザースキャナ

【成果の内容】

実証試験は沖縄県竹富町西表島北部の海域を対象に3月1日に実施しました。対象域には、グロブ林、砂浜、海草帯、サンゴ礁が含まれております。約1時間の計測を6回実施し、計測に要した時間は合計6時間21分です。燃料消費量から想定される本システムにおける1回の最大飛行可能時間は2時間以上となります。結果として、対象域中央部においては全長約2.6km、幅1kmの範囲を計測し、東西両端部においては、それぞれ全長約1km、幅約550mと幅約350mの範囲を計測しました（図1）。計測後、PPK-GNSS（*6）とIMU（*7）による最適軌跡解析を行うことで、スキャナの位置と姿勢を高精度に処理しており、高さ精度±2cm以内の高精度な点群データが得られました。

サイドラップ率が不十分な箇所があったものの、計測されている範囲では非常に高密度で地形が計測されています。水面も含めた全ての計測点の平均間隔は約12cmであり、陸上から浅海域にかけての連続的な地形（図2）やサンゴ礁の複雑な地形（図3、図4）なども詳細に把握が可能です。なお、今回の計測によって得られた最大水深は約20mです。

*6 PPK-GNSS：後処理キネマティック法による衛星測位システム。既知点である固定局において衛星信号を同時に受信し、補正情報を作成することで、移動局の誤差を小さくする手法の一つ。後処理により補正情報を利用する。

*7 IMU：慣性計測装置。加速度センサーや回転角加速度センサーなどを統合したユニットで、GNSSによる測位とIMU観測データ合わせて解析を行うことで、高精度な位置姿勢情報を得る。

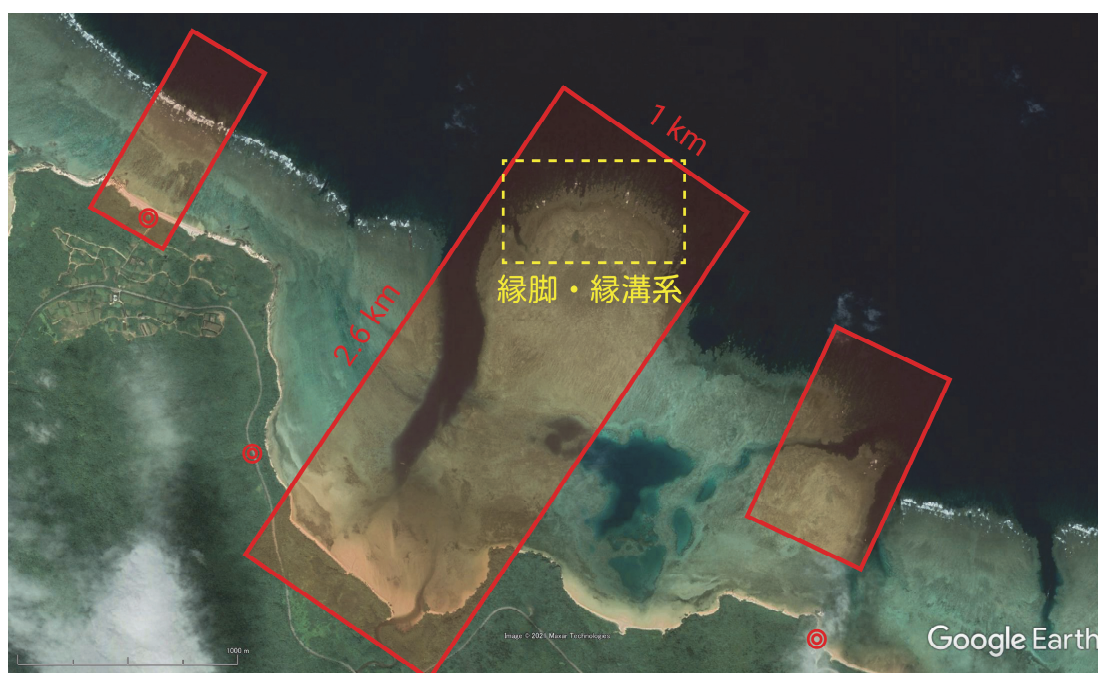


図1 計測範囲（赤枠）、離発着地点（◎）、縁脚・縁溝系（黄枠）

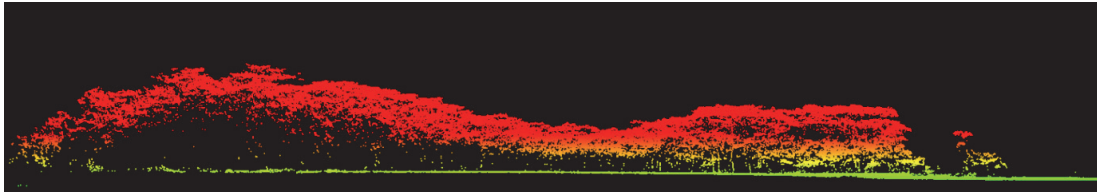


図2 得られた地形断面図の一例（マングローブ林～海岸）

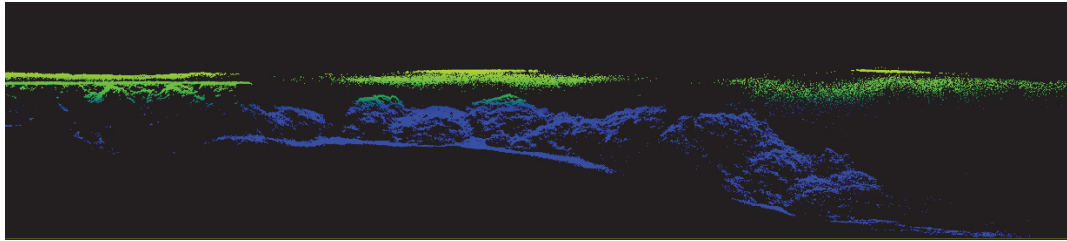


図3 得られた地形断面図の一例（サンゴ礁）

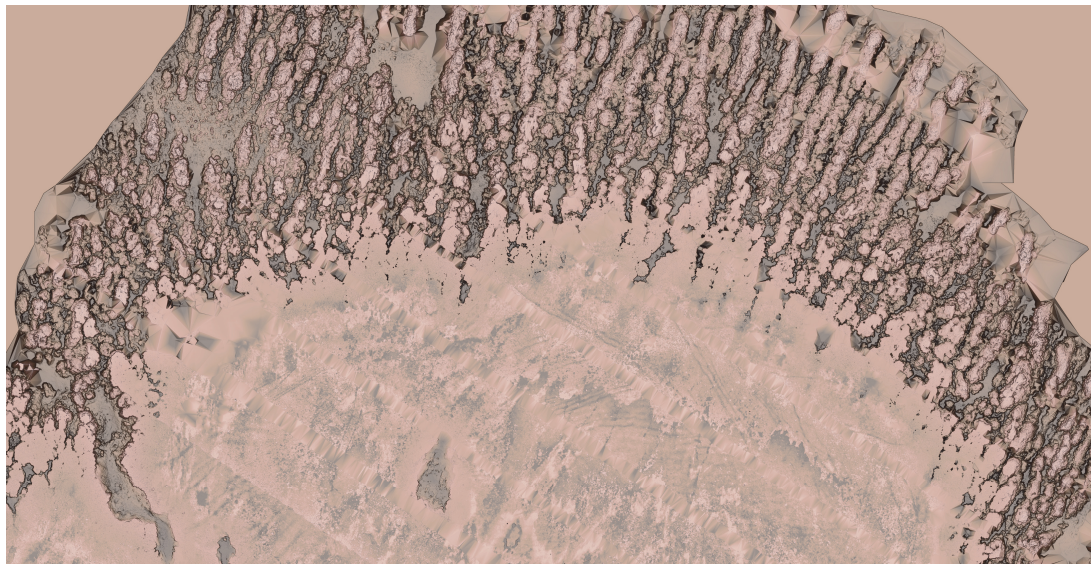


図4 サンゴ礁の地形 一縁脚・縁溝系一（微地形解析図）（図1黄枠部）

【成果の意義】

これまでの海底地形計測は船舶での音響測深が主流であり、海象条件によっては実施が難しく、特に砕波帯での海底地形計測は危険で困難なものでした。一方で、砕波帯は波浪エネルギーが大きく減衰するとともに、そのエネルギーによって地形が大きく変化する場所であり、その地形情報は沿岸域防災や海岸管理の上で非常に重要なものです。ハイブリッドドローンに搭載されたグリーンレーザースキャナによって、沿岸域の詳細な地形が明らかになれば、より精緻な波浪予測や地形変化予測に寄与し、沿岸域の防災計画や適切な港湾開発の策定が可能となると考えられます。また、島国である我が国固有の領土・領海を定期的に調査・管理する技術としての利用も考えられます。

【今後について】

今回、詳細な海底地形が効率的に得られることが実証されたことで、幅広い科学分野や産業における利活用が期待できます。これまで海象条件やバッテリーの時間的限界によって計測ができなかった場所の海底地形が得られるようになったこと、長時間の飛行によって沿岸域における種々の観測手法にも応用される可能性があることは、沿岸・海洋分野における様々な課題のブレイクスルーになりうるものです。一方で、対象とする海域の透明度や海底性状に合わせた最適な地形計測条件については、今後さらに検討を重ねる必要があると考えています。また、長時間の計測に伴ってこれまで以上に大量の点群データが得られることから、それらを効率的に処理する手法についても検討が必要です。今後、港空研、アマムーズワンセルフの連携によって、海底地形の計測技術とその利活用方法のさらなる進展を進めていきます。

【技術協力】

小川精機株式会社 https://www.os-engines.co.jp/index_j.htm



【データ処理協力】

有限会社アペオ技研 <http://www.apeo.jp/>



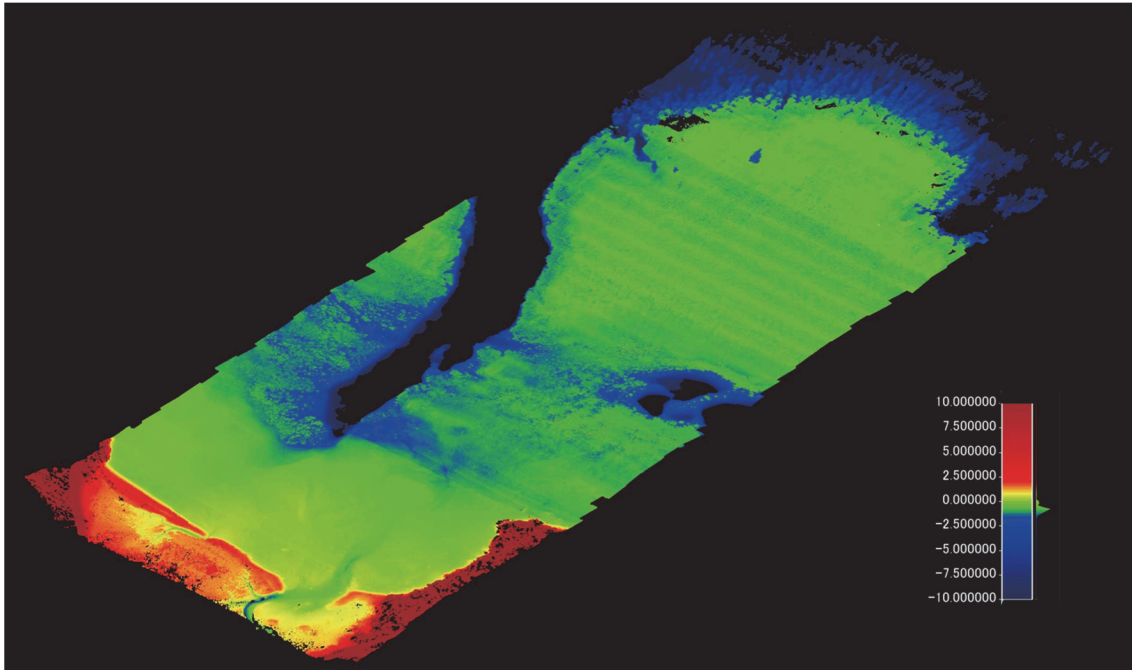
【関連資料】



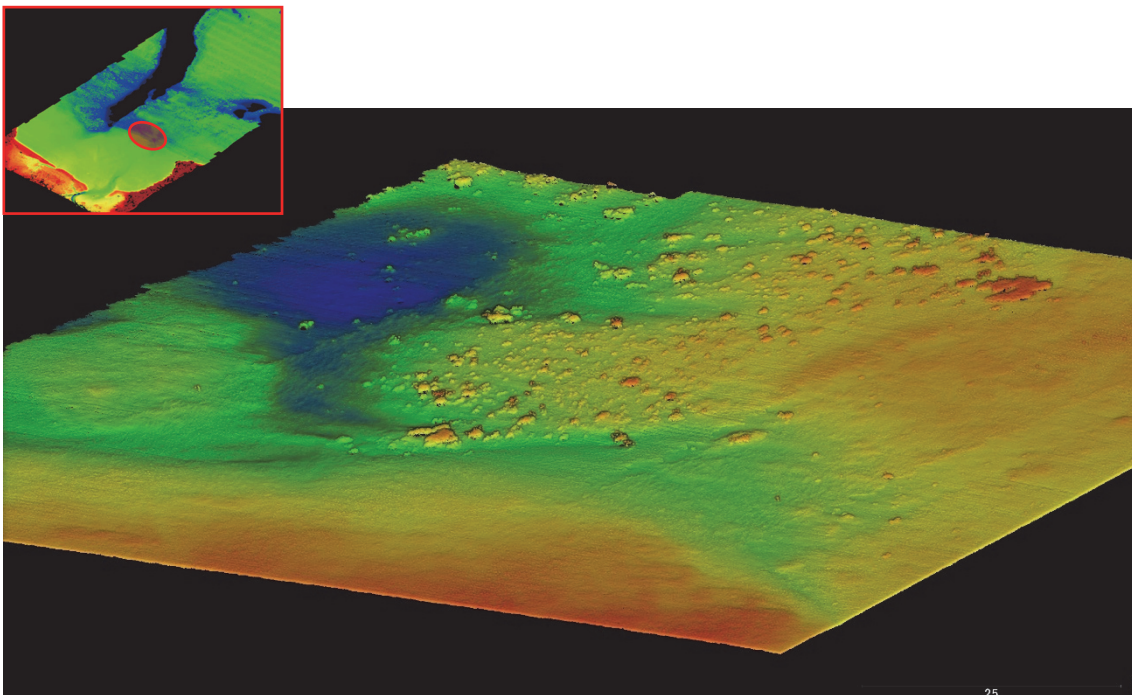
現場空中写真（北西側領域のサンゴ礁；水深が浅くなった場所で碎波が見られる）



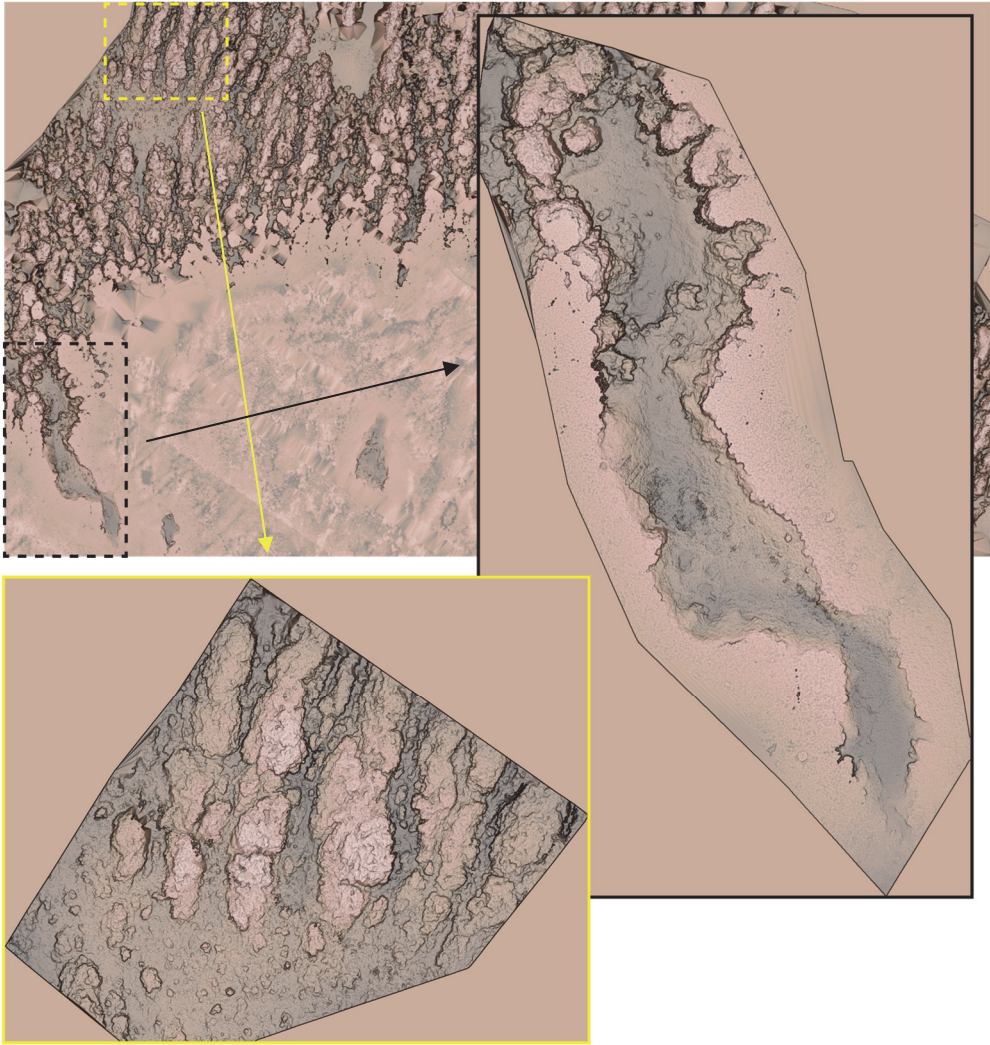
フライトの状況



水面フィルタリング処理後の地形図（中央部全体）



拡大図面（赤丸部；高さの表示色は上図とは異なる）



拡大図面（図4の一部）

ハイブリッドドローン機器仕様

| | |
|----------|------------------------------|
| 燃料 | 混合ガソリン |
| ローター数 | 4 |
| 機器重量 | 概ね6 kg |
| 最大飛行可能時間 | 6時間（パイロード無し）／2時間（パイロード3 kg） |
| 最大操作可能範囲 | プロポによる（自動飛行範囲は無制限） |
| 最大速度 | 54km/h（適正運用） |
| パイロード | 3 kg |
| カメラ機能 | FPV用カメラあり |
| 測位システム | GPS/Galileo/GLOSNASS/ BeiDou |
| RTK機能 | オプション |

※本仕様は開発中のものです。



グリーンレーザースキャナ「TDOT GREEN」

「TDOT GREEN」 機器仕様

| | |
|-----------|----------------------------|
| 本体サイズ (約) | W280×D210×H140mm |
| 本体重量 (約) | 2.6kg (本体のみ/アンテナ除く) |
| 最長測定距離 | ≧10% 158m / ≧60% 300m over |
| 測距精度 (1σ) | ≧10% ±15mm / ≧60% ±5mm |
| 発射レート | 60,000Hz/秒 (90°) |
| 視野角 | 90° (±45°) |
| エコー切り替え | 1st&Last / 4echo |
| スキャン速度 | 30走査/秒 |
| レーザー波長 | 532±1nm (グリーン) |
| ビーム拡がり角 | 1.0mrad |
| レーザークラス | クラス3R |
| 作動温度範囲 | 0 ~ +40℃ |

以上