

### 新たに導入した航空レーザー測深機「CZMIL Nova」の紹介<sup>†</sup>

濱崎翔五\*, 小林伸乃介\*, 福山公平\*, 高橋日登美\*

Overview of the new LiDAR “CZMIL Nova”<sup>†</sup>

Shogo HAMASAKI\*, Shin-nosuke KOBAYASHI\*, Kohei FUKUYAMA\*,  
and Hitomi TAKAHASHI\*

#### Abstract

Airborne Laser Bathymetry (ALB) enables us to sound wide areas such as shallow waters and coastal areas in a short time. The Japan Hydrographic and Oceanographic Department (JHOD) has performed the ALB by a Light Detection and Ranging (LiDAR) system “Scanning Hydrographic Operational Airborne Laser Survey (SHOALS)” since 2003. Then, from June 2014, the operation of the second LiDAR system “Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar (CZMIL)” was started. In June 2021, the JHOD introduced the third LiDAR system “Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar Nova (CZMIL Nova)” and has been conducting surveys. This paper describes an overview of the new LiDAR system and its comparison with the previous LiDAR system.

#### 1 はじめに

航空レーザー測量は、測量船で調査を行うことが困難な岩礁やサンゴ礁地帯などの浅海域を短時間で調査することができる特徴を持っており、海上保安庁では 2003 年から航空レーザー測深機 Scanning Hydrographic Operational Airborne Laser Survey (SHOALS) による調査を行ってきた (戸澤・他, 2004)。そして、2014 年 6 月からは 2 代目となる航空レーザー測深機 Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar (CZMIL) (河合, 2015) の運用を開始した。

2021 年 6 月、海上保安庁として 3 代目となる航空レーザー測深機 Coastal Zone Mapping and

Imaging Lidar Nova (CZMIL Nova) を導入し、調査を実施している。本稿では CZMIL Nova の特徴、先代の航空レーザー測深機との比較について報告を行う。

#### 2 航空レーザー測深機「CZMIL Nova」

CZMIL Nova は陸部から海底までシームレスなデータ取得が可能であり、レーザー発射部及び受光部等が設置されたセンサーヘッド、冷却水の供給などを行う温度管理システム、レーザー電源及び GPS 及び慣性計測装置等が組み込まれたコントロールラック、オペレーター PC、データストレージ、波形処理装置及びサーバー類が組み込ま

<sup>†</sup> Received August 19, 2022; Accepted October 7, 2022

\* 第二管区海上保安本部 海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, 2nd Regional Coast Guard Headquarters

れたオペレーターラックの3つのコンポーネントで構成されており、これらは光ケーブル等の各種ケーブルにより連結されている

CZMIL Nova のスキャンパターンは円周となっており、レーザー発振レートは毎秒1万発のパルスレーザーを発射する。計測する信号の種類としては、陸上部から極浅海域の測深に用いる Shallow チャンネル、浅海域以深の測深に用いる Deep チャンネル、陸部のデータ取得や陸部と海部の判別に用いる IR (infrared: 赤外線) チャンネルの3種類がある。測点密度は高度400 m の場合でそれぞれ、Shallow チャンネルは0.7 m × 0.7 m (陸部及び水面での視野の直径)、Deep チャンネルは2 m × 2 m (水面での視野の直径)、IR

チャンネルが2 m × 2 m (陸部での視野の直径) となっている。

レーザー測深データと同時に取得できる画像データの解像度は約1億画素であり、レーザー照射対象や海岸線等の種別の判別が容易となっている。Table 1 に CZMIL 及び CZMIL Nova の比較を示す。

これらの特徴のいくつかについて以下に詳しく述べる。

### 3 CZMIL Nova の特徴

#### 3.1 高出力を維持しつつも小型化・省電力化

CZMIL と比較し、コンポーネントが5つから3つになっており、総重量も389 kg から290 kg

Table 1. Performance comparison between CZMIL and CZMIL Nova.

表1. CZMIL と CZMIL Nova の比較.

	CZMIL	CZMIL Nova
Total Weight	389kg	290kg
Component	5	3
Power consumption	100A Max @ 28Vdc	85A Max @ 28Vdc
System Boot	15-20 minute start boot 10 minute reboot	5 minute start boot 3 minute reboot
Aircraft	Bombardier DHC-8-Q300	Beechcraft King Air 350
Operating altitude	400 m (nominal)	400 m (nominal), up to 600 m
Measurement rate	Shallow channel : 70,000Hz Deep channel : 10,000Hz IR channel : 10,000Hz	Shallow channel : 70,000Hz Deep channel : 10,000Hz IR channel : 10,000Hz
Scan Pattern	circular pattern	circular pattern
Scan Angle	20°	20°
Density of Topo	Shallow channel : 0.7 m × 0.7 m IR channel : 2 m × 2 m	Shallow channel : 0.7 m × 0.7 m IR channel : 2 m × 2 m
Density of Sounding (Field of view on the water surface)	Shallow channel : 0.7 m × 0.7 m Deep channel : 2 m × 2 m	Shallow channel : 0.7 m × 0.7 m Deep channel : 2 m × 2 m
Digital camera	T-4800 16Mpixel	Phase One iXM-RS-100F 100Mpixel



Photo 1. The left side is CZMIL. The right side is CZMIL Nova.

写真1. 左側が CZMIL. 右側が CZMIL Nova.

と小型化している。また、消費電力も15%ほど省電力化されている。小型化・省電力化されながらも、高出力のレーザーを発射可能で、測量中の飛行高度は400 mを基準としているが、飛行高度600 mでの測深も可能である。これにより、標高の低い海岸線とほぼ同じように、急峻な崖付近の測量も実施することができる。さらに、システムの電源投入からレーザー発射準備完了までの時間も短縮化されている。これらにより非常に効率的な測量業務が可能となっている。

### 3.2 スキャンパターン

CAMIL から引き続き、CZMIL Nova は円周のスキャンパターンが用いられている。円周のスキャンパターンの利点としては、1 測線で同じ場所を2回スキャンすることとなるため、初代航空レーザー測深機である SHOALS で採用されていた円弧スキャンやマルチビーム測深機の同時並行発振では検出が難しい細長い異状物等の見逃しが少なくなる特徴を持つ。また、急峻な崖などの場所でも、同じ場所にレーザーが前後に逆方向から照射されることとなるため、1 測線でデータの取得が可能となっている。各スキャンパターンの模式図について、Fig. 1 に示す。

円周のスキャンパターンは、レーザー光線の発射・受光部分にフレネルレンズを有した円盤を設置し、発射及び受光レーザーを20°屈折させるとともに、この円盤を回転させることで実現している。Photo 2 にスキャナー底面に設置されたフレ

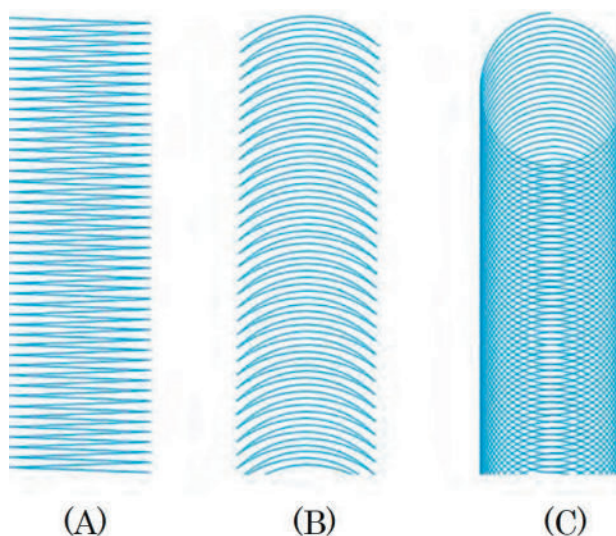


Fig. 1. Schematic view of scan patterns. (A) Line. (B) Circular Arc. (C) Circle.

図1. スキャンパターン模式図。(A) 直線。(B) 円弧。(C) 円周。

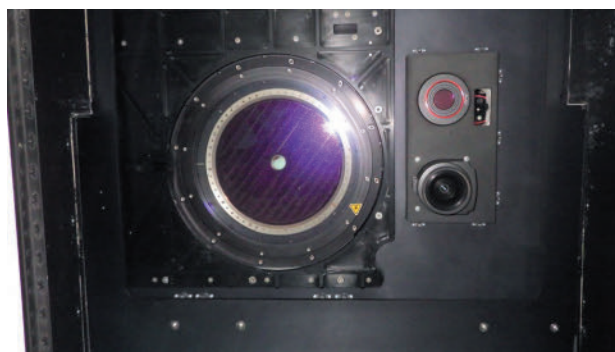


Photo 2. A fresnel lens installed in the base of the scanner.

写真2. スキャナー底部に設置されたフレネルレンズ。



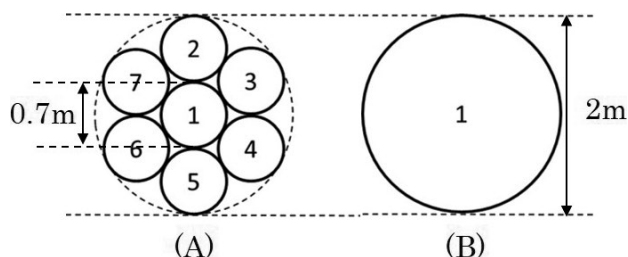


Fig. 2. Field view of CZMIL Nova at 400 m altitude. (A) Field view of Shallow channel. (B) Field view of Deep & IR channels.

図2. CZMIL Nova の高度 400 m における視野. (A) Shallow チャンネルの視野. (B) Deep チャンネル及び IR チャンネルの視野.

ネルレンズの画像を示す. 回転数は 1 秒間に 27 回転, レーザー発射レートは 10,000 Hz であるため, 直径約 300 m の円周上に 370 点の測定を行うこととなる.

### 3.3 測点密度

CZMIL Nova は CZMIL 同様に, 陸部から極浅海域の測深に用いる Shallow チャンネル 7 個, 浅海域以深の測深に用いる Deep チャンネル, 陸部のデータ取得や陸部と海部の判別に用いる IR チャンネルの合計 9 チャンネル分の信号が記録される.

高度 400 m におけるそれぞれのチャンネルの密度は, Shallow チャンネルの陸部及び水面での視野の直径は  $0.7\text{ m} \times 0.7\text{ m}$ , Deep チャンネルの水面の視野の直径は  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ , IR チャンネルの陸部の視野の直径は  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  である. 特に陸部から極浅海域については測点密度が高いため, 非常に精細な情報を得ることができる. Fig. 2 に Shallow チャンネル, Deep チャンネル及び IR チャンネルの視野の広さ及び位置関係を示す.

### 3.4 デジタルカメラ

CZMIL Nova に搭載されている Phase One iXM-RS-100F (Photo 3) は 100 M ピクセル ( $11608\text{ px} \times 8708\text{ px}$ ) のデジタルカメラであり, 最速で 0.7 秒毎の写真撮影が可能である.

通常の調査時には 3 秒に 1 回の撮影を行う. 撮



Photo 3. The digital camera mounted on CZMIL Nova. "Phase One iXM-RS-100F".

写真3. CZMIL Nova に搭載されているデジタルカメラ, 「Phase One iXM-RS-100F」.

影されたデータは同時に収録して位置・飛行高度の情報が付与されており, 自動処理ソフトを用いることで簡易なモザイク画像及びオルソ画像を作成できる. Photo 4 は Phase One iXM-RS-100F により撮影された画像の例である. CZMIL Nova による航空レーザー測定の通常の飛行高度が 400 m であることから, 地上画素寸法が約 4 cm と非常に解像度の高い画像であるため, 岸線形状, 構造物の種別等を詳細に把握することができる. これに, レーザー測量にて得られた点群データを重ね合わせるにより, 詳細な岸線, 低潮線の描画が可能となる.

## 4 航空機への搭載

CZMIL Nova は仙台航空基地所属のビーチ 350 型中型飛行機 MA871, 愛称「あおばずく」(Photo 5) に搭載し運用する. MA871「あおばずく」は, 海上保安庁初となる海洋情報業務に従事する測量機として 2021 年 2 月に仙台航空基地に就役した.

MA871「あおばずく」に CZMIL Nova を搭載する際は, 後部の貨物扉を開放し, 各コンポーネントを人力で搭載することとなるが, センサーヘッドは重量が 175 kg あるため, 専用のクレーンを用いて搭載する (Photo 6).

CZMIL Nova のスキャナーは, 機体中央下部にある開口部の上部に設置され, その前方に, コン

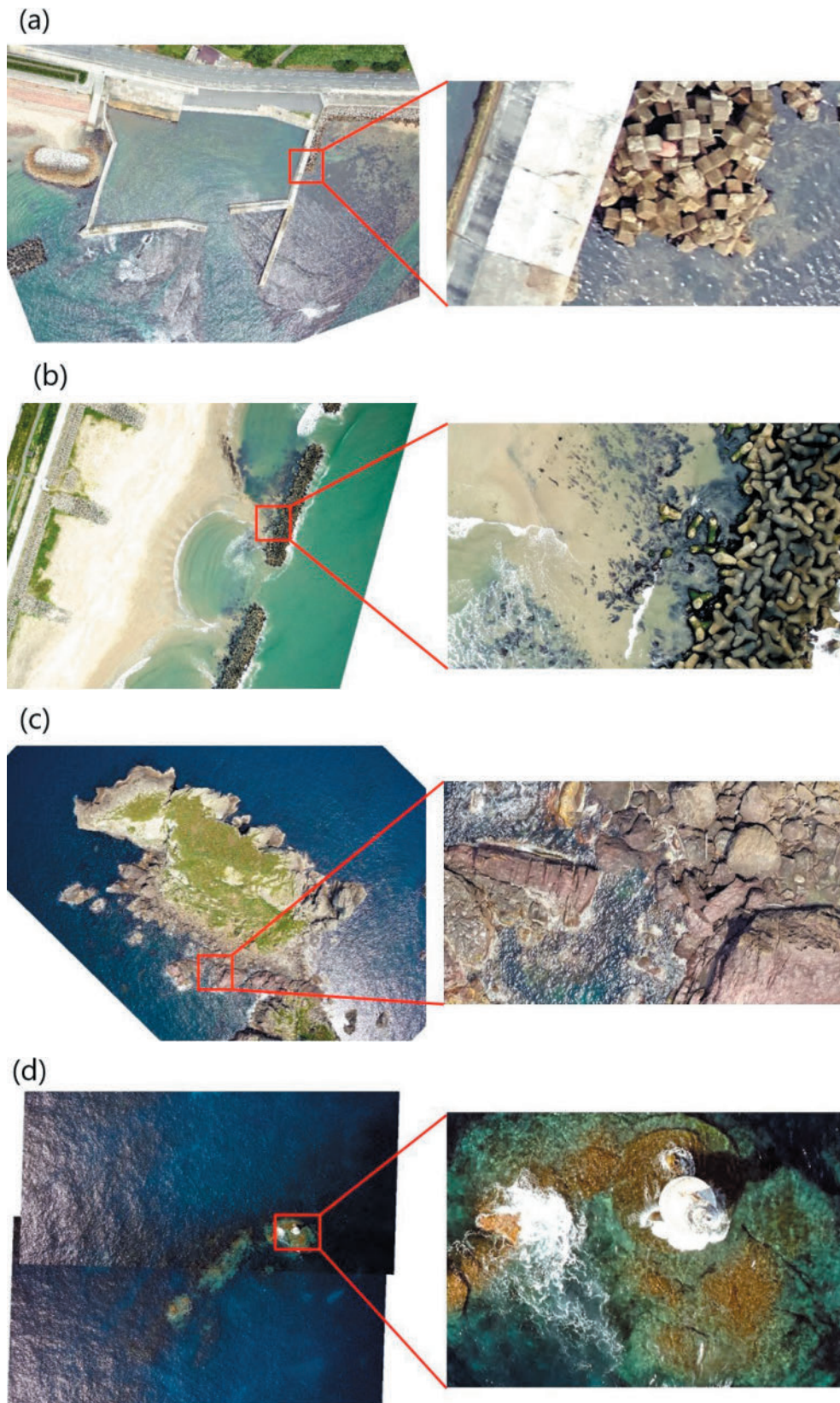


Photo 4. Examples of aerial photograph. The right photograph is the enlarged view of the red frame in the left photo.

(a) breakwater and wave dissipating blocks. (b) beach and wave dissipating blocks. (c) rocky shore. (d) intertidal area and lighthouse.

写真4. 空中写真の例。右側は左の写真の赤枠内の拡大図。(a) 防波堤と消波ブロック。(b) 砂州と消波ブロック。(c) 岩海岸。(d) 干出帯と灯台。





Photo 5. Beechcraft King Air 350, MA871 *Aobazuku*.  
 写真 5. ビーチ 350 型中型飛行機 MA871「あおばずく」.



Photo 6. Ground service equipment for CZMIL Nova.  
 写真 6. 航空レーザー測深機取付具.



Photo 7. Installation condition of CZMIL Nova (viewed from the tail).  
 写真 7. CZMIL Nova の設置状況（機尾側から見た写真）.

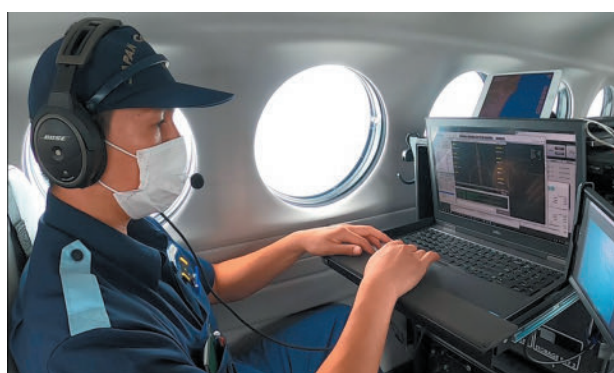


Photo 8. The operating situation.  
 写真 8. 操作状況.

トロールラックとオペレーターラックが設置される。オペレーターはコントロールラックの前部にある機尾方向に向いた椅子に着席し、操作を行う（離着陸の際は機首方向に椅子を回転させて着席する）。

Photo 7, 8 に機器の設置状況及び操作状況を示す。

## 5 運用について

### 5.1 機器較正

CZMIL Nova を MA871「あおばずく」に搭載した際は、取り付け位置・角度のずれ及び垂直方向のオフセット値の較正のため機器較正を実施する。較正項目ごとにおけるレーザー発射の対象物及び飛行方法を Table 2 に示す。

### 5.2 測量

測量海域でデータを取得する前後で、航跡解析の精度確保のため、電子基準点などの地上基準点の上空を飛行する「アライメント飛行」を行う必要がある。アライメント飛行は、電子基準点などの地上基準点の上空を中間点とし中間点通過前に3分、通過後に3分のトータル6分間、速度約160 ktを一定に保ちながら飛行する必要がある（距離にして約30 km）。また、アライメント飛行中は機体のバンク角度も極力抑える必要がある。アライメント飛行で使用する地上基準点は、測量海域から50 km以内になければならないため、測量海域が地上基準点から50 kmをまたぐことがないよう測量海域を計画する必要がある。

測量中の飛行速度は160 kt、飛行高度は400 m

Table 2a. Target and flight line by calibration items.

表 2a. 校正項目ごとにおけるレーザー発射の対象物及び飛行方法.

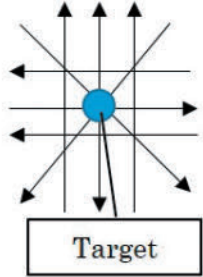
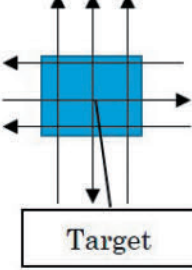
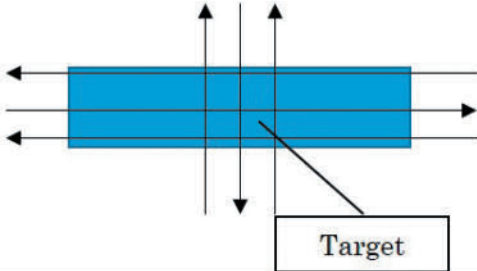
	Scan angle offset	Roll offset	Pitch offset	Range offset(Shallow, IR channel)	
Area	Pitched roof	Flat area (as a parking)		Well-surveyed land surface	
Flight line					

Table 2b. Target and flight line by calibration items.

表 2b. 校正項目ごとにおけるレーザー発射の対象物及び飛行方法.

	Range offset(Deep channel)	Bathymetric Bias Coefficient
Area	Water surface	Seafloor(well-surveyed with sonar)
Flight line		

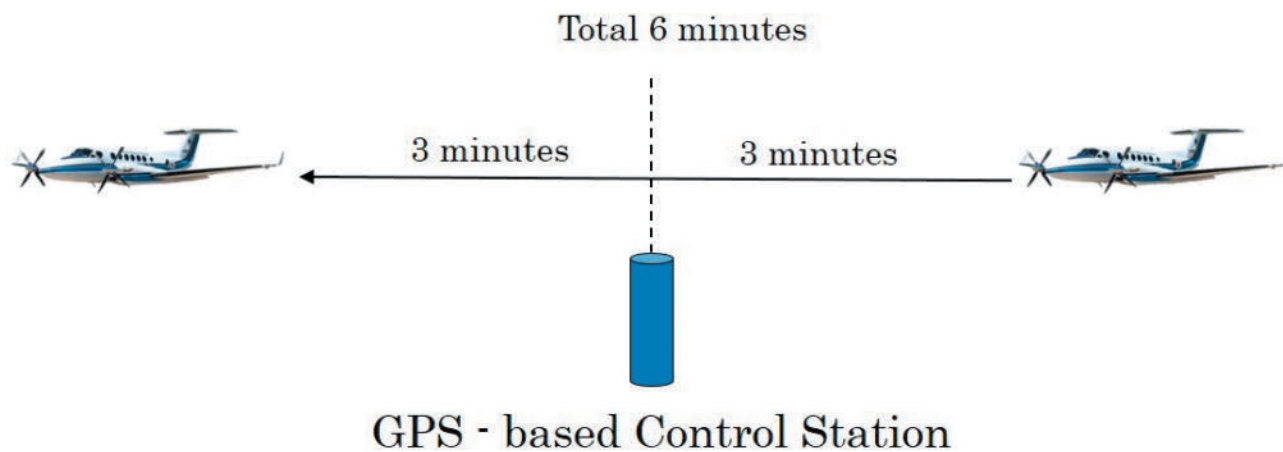


Fig. 3. Schematic diagram of alignment flight.

図 3. アライメント飛行の模式図.

を基準とし、機体のバンク角度を  $20^{\circ}$  以下に抑えながら測量している。なお、標高の高い急峻な地形の付近では、必要に応じて高度 600 m で測量を実施する場合もある。また、測深点密度を高くすることとノイズ判定の簡易化の観点から、測線間隔は隣接測線との重複率を 50% となるように設定している。

CZMIL Nova には測深機から 290 m 以内の距離に物体を検知した場合、自動的にレーザー発射を停止するアイセーフ機能が備わっている。アイセーフ機能が作動した際、次のレーザーを発射するまでに数秒の時間を有し、その間が未測になってしまう。そのため標高の高い急峻な地形の付近を測量する際は、Photo 9 のポーズスイッチを使用し、アイセーフ機能が作動する直前で人為的にレーザー発射を止め、任意のタイミングで発射を再開させることで未測が生じないようにしている。

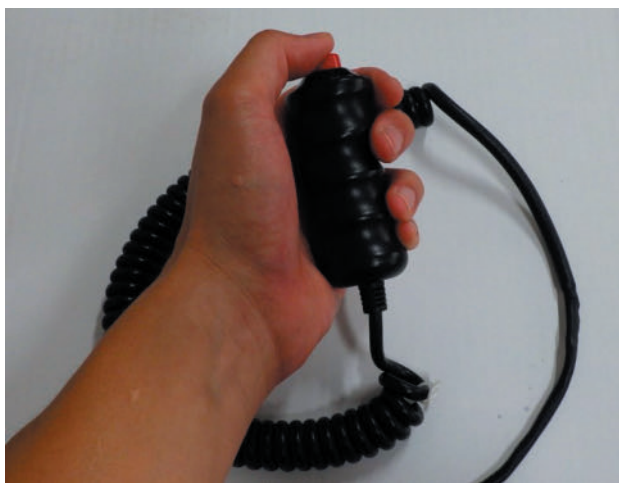


Photo 9. The pilot pause switch.  
写真 9. ポーズスイッチ。

## 6 解析

CZMIL Nova により取得したデータについて、解析パラメーター等は暫定のものであるが、いくつか紹介する。Fig. 4 は、得られたデータを点群で表示したものである。Fig. 4a では、切り立った崖の斜面も記録されている。Fig. 4b は浅瀬や防波堤の形状はもちろんのこと、防波堤上にある電線や浅瀬の上にある灯標の形状も詳細に記録さ

れている。また、Fig. 4c では海面上の定置網の形状だけでなく、水中の網も鮮明に記録されている。

Fig. 5 は、取得したデータを  $3\text{ m} \times 3\text{ m}$  のメッシュで表示したものである。Fig. 5a-b では、陸上の地形から海底の複雑な地形が確認できる。Fig. 5c は入り組んだ湾の記録である。湾内の海底地形、人工構造物等が鮮明に確認できる。Fig. 5d-e は岩礁海域、島嶼部周辺海域のデータである。上空からレーザーを発射していることから、島嶼の間なども未測域がないことがわかる。Fig. 5f は急峻な崖の周辺のデータである。円形スキャンであることから、崖の頂上から側面、海底までシームレスにデータが取得できていることがわかる。

## 7 まとめ

CZMIL Nova は 2021 年 6 月に運用が始まり、海岸及び浅海域の調査等を順次進めていく予定である。CZMIL Nova は先代の CZMIL 及び SHOALS に比べ測深能力等が向上しており、浅海域の海洋調査に大きな威力を発揮することが期待される。

## 謝 辞

航空レーザー測深機 CZMIL Nova の運用開始に際しまして、これまで様々なご支援、ご協力を頂きました。装備技術部航空機課の皆様、警備救難部管理課航空業務管理室の皆様、第二管区海上保安本部及び仙台航空基地の皆様、そして本業務に関わられました海洋情報部職員の皆様に記して御礼申し上げます。

## 文 献

- 戸澤 実・松本良浩・岩本暢之・小野智三・矢島 広樹 (2004) 航空レーザー測深機のテスト飛行について, 海洋情報部技報, 22, 1-6.
- 河合晃司 (2015) 新たに導入した航空レーザー測深機「CZMIL」の紹介, 海洋情報部研究報告, 52, 27-32.



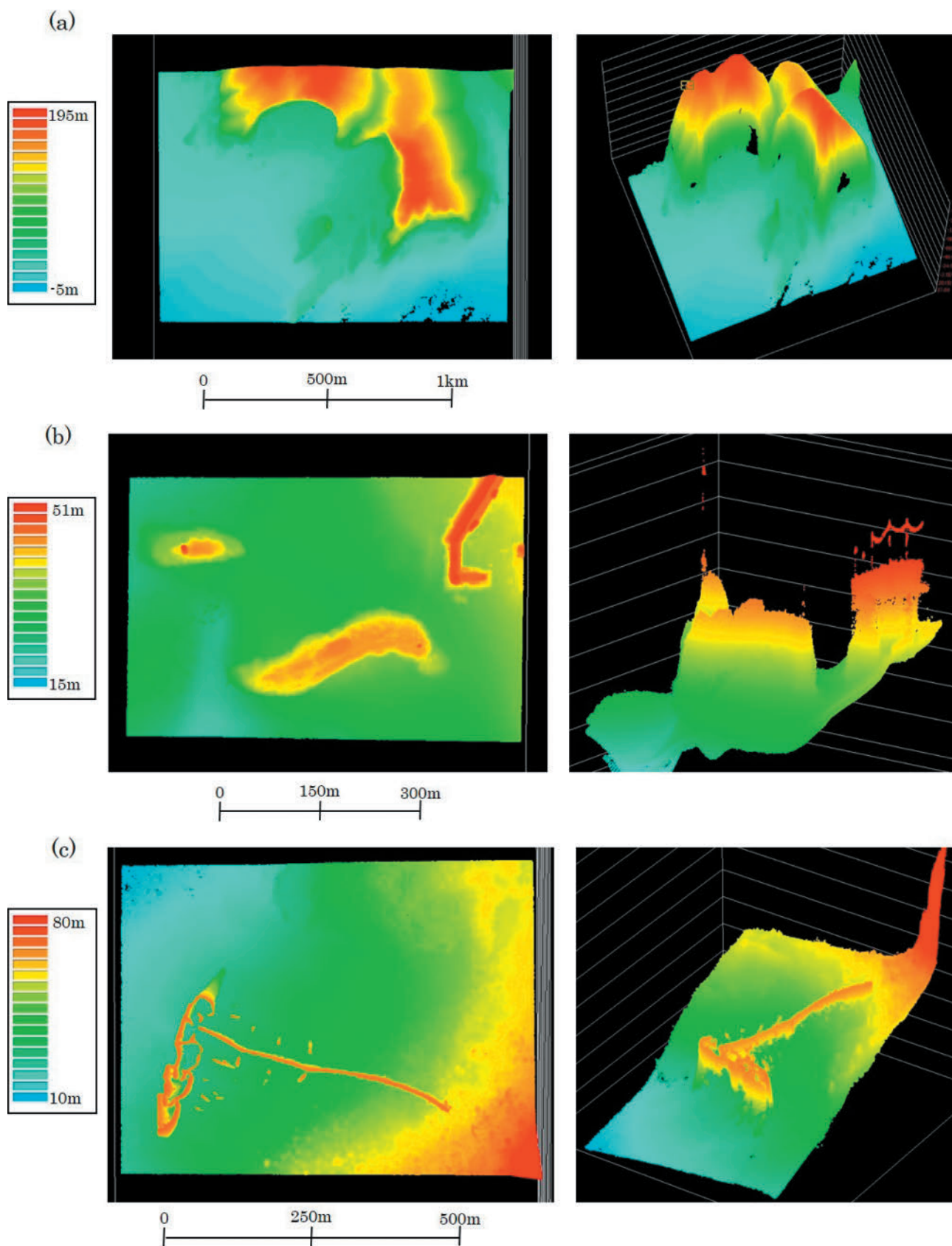


Fig. 4. The top (left) and oblique (right) views of point cloud. Height scale is approximate value on the WGS84 ellipsoid. (a) Steep cliff. (b) Harbor entrance. (c) Fishing gear.

図4. 上方及び右側から見た点群. 高さの値はWGS84回転楕円体上のおおよその値. (a) 急峻な崖. (b) 港の入り口. (c) 漁具.

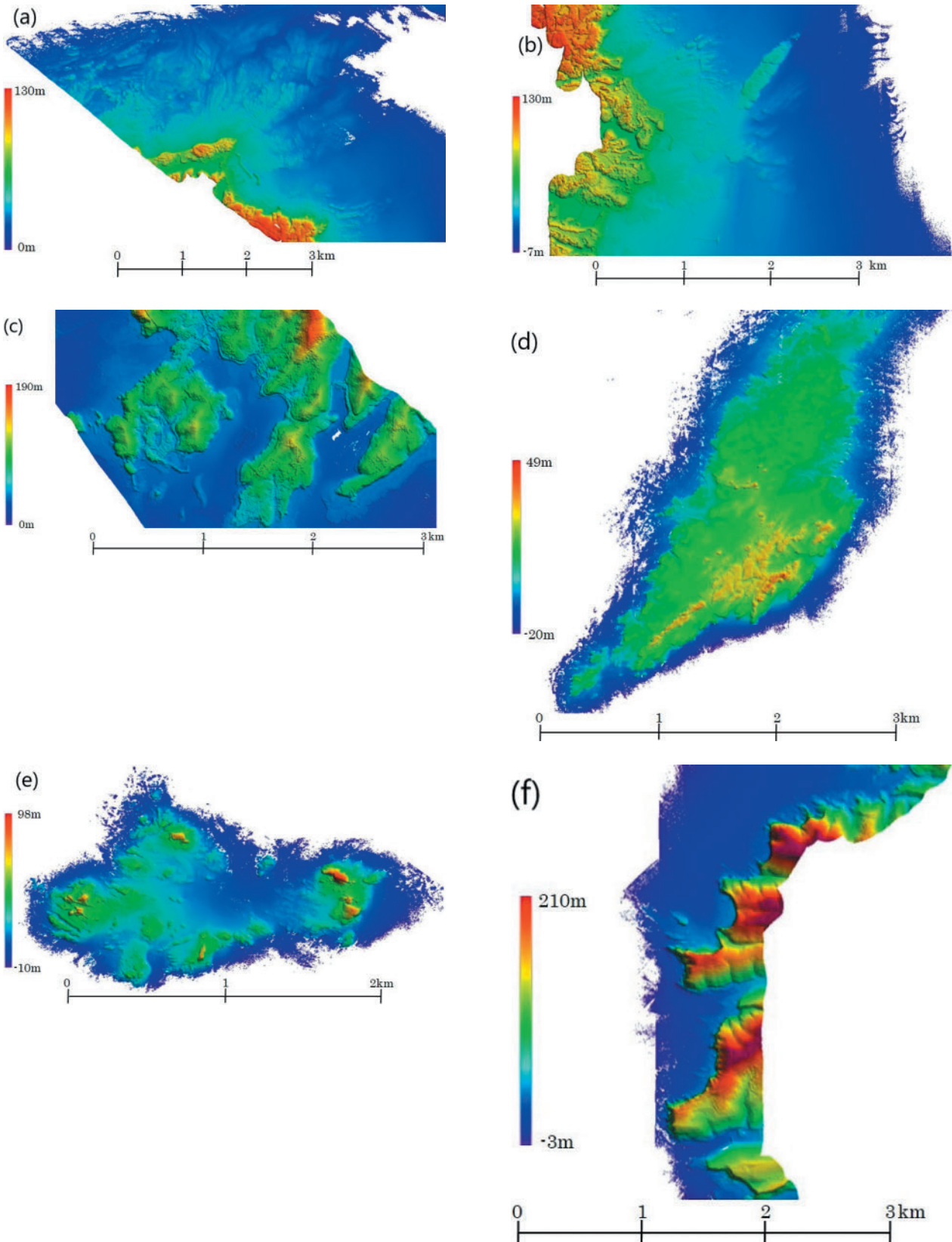


Fig. 5. The detailed topography data measured by CZMIL Nova ( $3\text{ m} \times 3\text{ m}$  mesh). Height scale is approximate value on the WGS84 ellipsoid. (a, b) from land to seafloor. (c) around harbor. (d, e) reef area around islands. (f) around steep cliffs.

図5. CZMIL Novaで取得した詳細な地形データ ( $3\text{ m} \times 3\text{ m}$  メッシュ). 高さの値はWGS84回転楕円体上のおおよその値. (a, b) 陸から海にかけて. (c) 港湾周辺. (d, e) 島嶼部周辺. (f) 急峻な崖の周辺.

## 要 旨

航空レーザー測量は、測量船で調査を行うことが困難な岩礁地帯やサンゴ礁などの広大な浅海域を短時間で調査できる特徴を持っており、海上保安庁では2003年から航空レーザー測深機 SHOALS による調査を行ってきた。そして、2014年6月からは2代目となる航空レーザー測深機 CZMIL の運用を開始した。

2021年6月、海上保安庁として3代目となる航空レーザー測深機 Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar Nova (CZMIL Nova) を導入し、調査を実施している。本稿では CZMIL Nova の特徴、先代の航空レーザー測深機との比較について報告を行う。