

新たに導入した航空レーザー測深機「CZMIL」の紹介[†]

河合晃司*

Overview of the new LIDAR “CZMIL”[†]

Koji Kawai*

Abstract

Airborne Laser Hydrography (ALH) enables us to sound wide areas such as shallow waters and coral areas in a short time. Japan Hydrographic and Oceanographic Department (JHOD) had performed the ALH by a Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR) system “Scanning Hydrographic Operational Airborne Laser Survey (SHOALS)” since 2003. A new LIDAR system “Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar (CZMIL)” was introduced and its operation was started in June, 2014. In this article, I report an overview of the new LIDAR system.

1. はじめに

航空レーザー測深は、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 Scanning Hydrographic Operational Airborne Laser Survey (SHOALS) による調査を行ってきた(戸澤・他, 2004)。今回、海上保安庁では新型の航空レーザー測深機 Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar (CZMIL) (Optech Inc., 2014) を導入し、2014年6月より運用を開始した。本稿ではCZMILの特徴、SHOALSとの比較について報告を行う。

2. 航空レーザー測深機「CZMIL」

CZMILはOptech社と南ミシシッピ大学により共同開発された航空レーザー測深機である(Dodd

and Barbor, 2013)。CZMILは海底から陸上までシームレスなデータ取得が可能な測深機であり、従来機であるSHOALSに比べ性能が強化されている(LaRocque et al., 2011)。CZMILは、光学システム、レーザー発振部、受光部等が設置されたセンサーヘッド、レーザー発振部、レーザー電源等が組み込まれたレーザーラック、GPS及び慣性計測装置、サーバー類が組み込まれたコントロールラック、オペレーターPC、ストレージ及び波形処理装置等が組み込まれたオペレーターラック及び冷却水を供給するサーマルラックの5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やパイプ等により連結されている。

CZMILのレーザー発振レートはSHOALSに比べ10倍となり、毎秒1万発のパルスレーザーを発射する。また、レーザーのスキャンパターン

[†] Received September 19, 2014; Accepted November 10, 2014

* 海洋調査課 Hydrographic Surveys Division

は、SHOALS では準円弧の往復スキャンであるのに対し、CZMIL では円周スキャンである。測深のデータ密度については CZMIL の水面での視野の直径は $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ であり、SHOALS の $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ に比べ約 6 倍の密度となっている（高度 400 m の場合）。陸上部のデータ密度は水面での視野の直径が $0.7\text{ m} \times 0.7\text{ m}$ となり、同約 51 倍の密度となっている。スワス幅は同一高度での調査の場合 1.3 倍に広がり、効率の良い調査が可能となっている。

レーザー測深データと同時に取得できる画像データは解像度が 8 倍となり、海岸線等の種別の判定が容易となっている。Table 1 に SHOALS と CZMIL の比較について取りまとめた。

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 の特徴

3.1 スキャンパターン

CZMIL の大きな特徴は、レーザー光線のスキャンパターンが円周となっていることである。これまでの一般的な航空レーザー測量において、レーザー光線のスキャンパターンは直線の往復パターンと円弧の往復パターンが使用されてきた。直線のパターンは機構が単純になるため、陸上のレーザー測量で使われることが多く、また、水面でのレーザー光線の屈折を考慮する必要がある航空レーザー測深では、屈折角を同一とするため円弧パターンが多く使用されてきた。

CZMIL では円周上を回転する全く新しいス

Table 1. Performance comparison between SHOALS and CZMIL.

表 1. SHOALS と CZMIL の性能比較。

	SHOALS	CZMIL
Total weight	200kg	500kg
Component	4	5
Aircraft	Beechcraft King Air 350	Bombardier DHC-8-Q300
Laser Rate	1,000 shot/sec	10,000 shot/sec
Receiver	Refracting telescope(10cm diameter)	Reflecting telescope(20cm diameter)
Scan pattern	Circular arc	Circle
Density of Sounding	$5\text{ m} \times 5\text{ m}$	$2\text{ m} \times 2\text{ m}$
Density of Topo.	$5\text{ m} \times 5\text{ m}$	$0.7\text{ m} \times 0.7\text{ m}$
Depth Range	2 × Secchi Depth	2 × Secchi Depth
Swath Width	230m	298m
Altitude	400m	400m
Data volume	1.5GB/hour	350GB/hour
Camera	2Mpixel Oblique photograph Central projection	16Mpixel Automatic photo mosaic Orthographic projection

キャンパターンが用いられている。円周のキャンパターンを使用することで、屈折角を同一とする円弧パターンの特徴を継承しつつ、1測線で同じ場所を2回スキャンすることとなるため、異常物等の見逃しが少なくなる特徴を持つ。また、切り立った崖など、SHOALSでは影になって往復観測をしなければデータが得られなかった場所も、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測線でデータが取得可能となった。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・受光部分に半径20 cmの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 1にスキャナー底面に設置されたフレネルレンズの画像を示す。回転数は1秒間に27回転であり、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。

3.2 受光部

海底で反射されたレーザー光線はセンサーユニット底部のフレネルレンズを通してセンサーユ

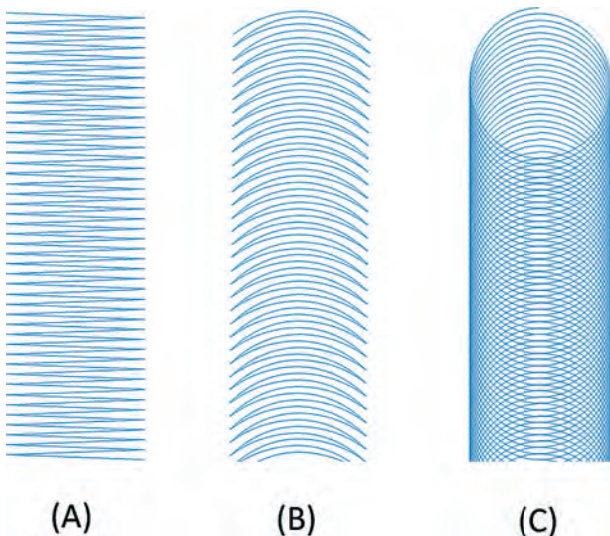


Fig. 1. Schematic view of scan patterns. (A) Line. (B) Circular Arc. (C) Circle.

図1. スキャンパターンの模式図。(A)直線。(B)円弧。(C)円周。

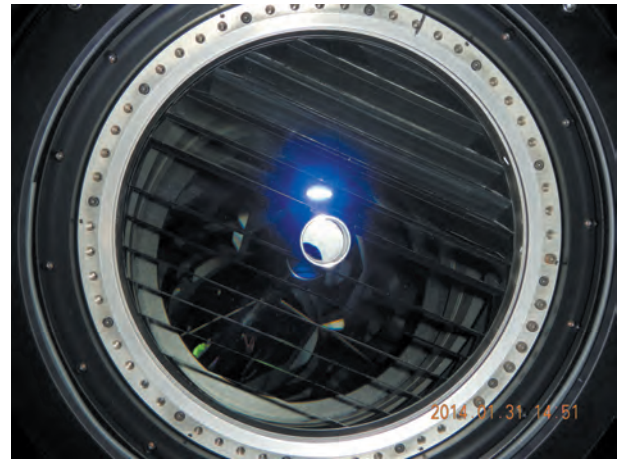


Photo 1. A Fresnel lens installed in the base of the scanner.

写真1. スキャナーの底面に設置されたフレネルレンズ。

ニットに導かれる。受光されたレーザー光はミラー等により3群に分けられ、グリーンレーザーについては光電子増倍管（PMT：Photomultiplier Tube）に、遠赤外線レーザーについてはアバランシェフォトダイオード（APD：Avalanche Photodiode）に導かれる。このうち1群の光は視野の位置関係を維持したまま中央部及びそれを取り囲むよう60度毎に設置された7つの視野に分割して入光し、全7チャンネルとして記録される。これにより、視野全体を1データとして扱うグリーンチャンネル及び遠赤外線チャンネルと合わせて、合計9チャンネル分の信号が記録される。水深については、すべてのチャンネルの信号が一セットのデータとして取り扱われ、水面での視野が直径2 m×2 mの水深データとして解析される。一方で、陸部に関しては、前述の7つに分岐され

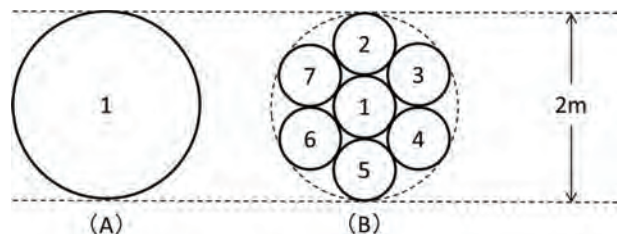


Fig. 2. Field view of CZMIL. (A) Field view of soundings. (B) Field view of topography.

図2. CZMILの視野。(A)水深の視野。(B)陸上の視野。

たデータがそれぞれ独立の点データとして解析されるため、水面での視野が直径0.7 m×0.7 mのデータとして解析される。これにより陸部については非常に精細な情報を得ることができる。Fig. 2に水深データと陸上データの視野の位置関係を示す。

3.3 デジタルカメラ

CZMILに搭載されているT-4800カメラシステムは16 Mピクセル(4872 px×3248 px)のデジタルカメラであり、1秒毎の写真撮影が可能である。通常の調査時には2.5秒に1回の撮影を行う。撮影されたデータは同時に収録されている航法データ等に基づき、自動処理でモザイク化及びオルソ化が行われる。Photo 2は2013年3月にCZMILにより下地島にて撮影されたオルソ画像



Photo 2. Example of aerial photograph provided by CZMIL.

写真2. CZMILにより得られた空中写真の例。

の例である。CZMILによる航空レーザー測量の通常の飛行高度が400 mであることから、1ピクセルが約6 cmという非常に解像度の高い画像となる。Photo 2ではオルソ画像及びモザイクを作成するパラメタは暫定のものであり、一部歪みが見られるものの、解像度は高く、岸線形状、構造物の種別等詳細に把握できることがわかる。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ことで、詳細な岸線、低潮線の描画が可能となる。

4. CZMILの搭載

CZMILは羽田航空基地所属のボンバルディア製のDHC8-Q300型中型飛行機MA722「みずな



Photo 3. Bombardier DHC8-Q300 (form 3rd R. C. G. Hqs. HP).

写真3. ボンバルディア DHC8-Q300 (第三管区海上保安本部 HP より)。



Photo 4. Installation status of CZMIL. (A) Front view of CZMIL. (B) Rear view of CZMIL. (C) The operation situation.

写真4. CZMILの設置状況。(A) 前方から見た図。(B) 後方から見た図。(C) 操作状況。

ぎ1号」(Photo 3) に搭載し運用する。

また、2014年10月に羽田航空基地所属 MA725 「みずなぎ2号」 に搭載するための改修が終了し、航空機2機による CZMIL の運用が可能となった。CZMIL のスキャナーは、機体後部左側にある投下口の上部に設置され、その前方に、コントロールラックとオペレーターラックが、さらにその前方にサーマルラックとレーザーラックが設置される。オペレーターはスキャナーとコントロールラックの間の椅子に着席し、操作を行う。Photo 4 に機器の設置状況を示す。

5. 解析結果について

CZMIL により 2014 年 6 月に銚子沖において精度確認作業及び久之浜港から鹿島港北方に至る海域の調査を実施した。この解析はまだ終了していないため、解析パラメタ等は暫定のものであるが、その成果について、いくつか紹介する。

Fig. 3 は、得られたデータから表層の点群を表示したものである。点群では、港の建物や停泊している船舶の形状等が詳細に記録されていることがわかる。また、空中の電線が明確に記録されている。

Fig. 4 に調査区域に存在した風力発電装置から得られた点群のデータを示す。点群は、ほぼ垂直に地面から立っているタワーの形状をほぼ再現できている。これは、点密度の高さと、スキャンバ

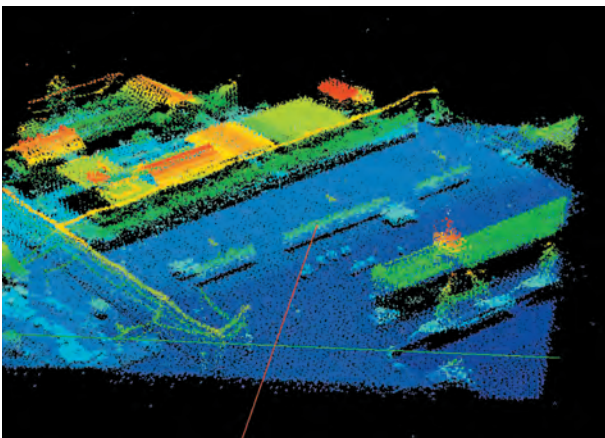


Fig. 3. Point cloud data of Choshi port.
図3. 銚子港の点群データ。

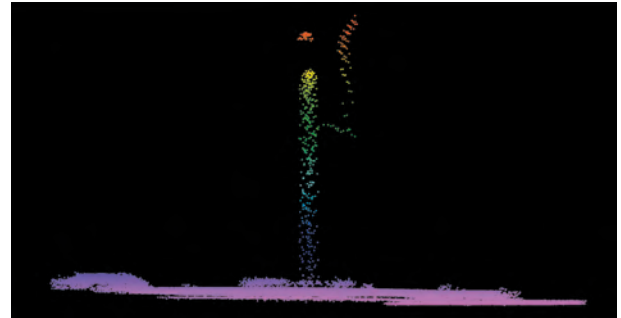


Fig. 4. Point cloud data of a wind turbine generator.
図4. 風力発電機の点群データ。

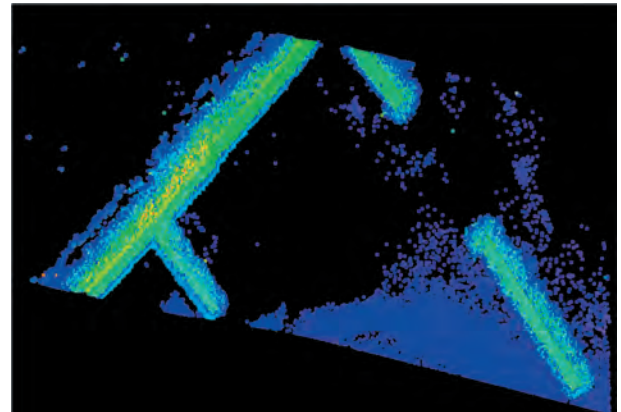


Fig. 5. Point cloud data of Inubo-saki (Soundings).
図5. 犬吠埼の点群データ (水深)。

ターンが円であることが大きな要因と考えられ、水中においても崖や突起物の形状が詳細に把握できることが期待できる。

Fig. 5 には犬吠埼付近において得られた水深の点群データを示す。陸部である消波ブロックから海底までシームレスにデータが繋がっている様子が見て取れる。

6. まとめ

CZMIL は 2014 年 10 月に航空機 2 機体制の運用が始まり、今後平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震被災地等における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 は SHOALS に比べ測深能力等が強化されており、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”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、第三管区海上保安本部羽田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

- Dodd, D. and K. Barbor (2013) Coastal Zone Imaging and Mapping LIDAR Validation, U.S.HYDRO2013.
- LaRocque, P., G. Tuell, T. Craney, and J.Y. Park (2011) A Status Update of the Coastal Zone Mapping and Imaging Lidar (CZMIL), Optech Inc. Presentation Document.
- Optech Inc. (2014) The Solution for Airborne Hydrography, CZMIL catalogue.
- 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.

要 旨

航空レーザー測深は、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。今回、海上保安庁では新型の航空レーザー測深機CZMILを導入し、2014年6月より運用を開始した。本稿ではCZMILの特徴、SHOALSとの比較について報告を行う。