

海中 3D イメージング向け TOF レーザセンサの開発

今城 勝治¹, 落水 秀晃¹, 辻 秀伸¹, 亀山 俊平¹, 斎藤 隆², 石橋 正二郎³, 吉田 弘³

¹三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1)

²三菱電機特機システム株式会社 (〒247-0065 神奈川県鎌倉市上町屋 730-11)

³国立研究開発法人 海洋研究開発機構 (〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15)

Development of the TOF laser sensor for underwater 3D imaging

Masaharu IMAKI¹, Hideaki OCHIMIZU¹, Hidenobu TSUJI¹, Shumpei KAMEYAMA¹,
Takashi SAITO², Shojiro ISHIBASHI³, and Hiroshi YOSHIDA³

¹Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501

²Mitsubishi Electric Tokki Systems Corporation, 730-11 Kamimachiya, Kamakura, Kanagawa 247-0065

³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsushimacyo, Yokosuka, Kanagawa 237-0061

We developed the underwater 3D imaging sensor using 532 nm laser. The system of the sensor has a dome lens and a coaxial optics to realize the wide scanning angle of 120° (Horizontal) x 30° (Vertical) with the compact size of 25 cm diameter and 60 cm length. The detector sensitivity time control (STC) circuit and the time to digital converter (TDC) are used for detecting a small signal by suppressing the unwanted backscattered signals by marine snows. The 3D image of seafloor with 20 m width and 60 m length was demonstrated in the sea around the Ishigaki Island, Japan.

Key Words: Underwater imaging, Ranging, Time-Of-Flight.

1. はじめに

遠隔操作型の無人潜水機 (ROV: Remotely operated vehicle) や自律型の無人潜水機 (AUV: autonomous underwater vehicle) を用いた海中での探査・調査において、レーザ光を用いた三次元計測センサは、海底マッピングを行う重要なセンシング技術である。レーザ光による測距は、海中の不純物等における散乱や吸収により数十 m オーダーに制限されるが、送信ビームの指向性から、複雑な構造を有する対象物でも多重反射の影響を受けにくく、高空間分解能での測距が可能である。

これまでレーザ光を用いた海中での測距方式としては、三角測量^{1,2,3,4}、飛行時間計測法 (Time of flight: TOF)^{5,6,7,8}が報告されている。三角測量方式は、測距精度がサブ mm と高精度で計測できることが特徴であるが、測定可能距離が最大でも距離 10m といったように撮像可能距離は送受信器間隔に起因した制限がある。

一方、TOF 方式では、撮像距離の制限値は対象物からの反射信号の受信信号対雑音比で決まるものの、測定可能距離に対する機器的な制約はなく、濁度に依存して距離 40m 先の対象物を撮像できることが報告されている^{7,8}。この装置の撮像画角は水平と垂直方向それぞれ 30° (H) × 30° (V) であるが、さらに広視野で撮像したいという要求があり、我々は海中での広視野 3D イメージセンサの開発を行った。

2. 海中 3D イメージングレーザセンサ

Fig.1 に本センサの装置構成を示す。本パルスレーザ光を照射し対象物からの反射光を光検出器にて受信した時間差から距離を測定し、スキャナにより送受信を同時に二次元走査して多点測距することにより対象物の形状を測定する。レーザ波長は、水中における減衰率が小さく、高パルスピークパワーが得られる 532nm を使用する。本装置では、左記波長をフレキシブルな部品配置が可能な 1μm 帯ファイバレーザを基本波として、波長変換により 532nm のパルス光を発生させている。レーザ光の出力はピーク 5kW で、パルス幅は 1ns、繰り返し周波数は 50kHz である。

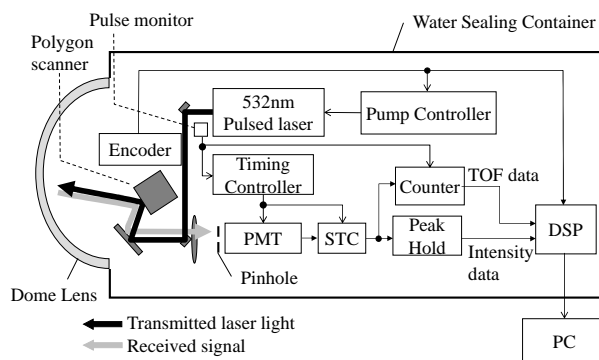


Figure 1. Schematic diagram of underwater 3D imaging laser sensor.

本センサの特長は、海中において水平 120° × 垂直 30° の広角スキャンを実現していること、上記視野以外において装置内での反射光で光検出器の光ダメージを防ぐため、レーザ発振を走査角によって制御していること、受信信号において海水の減衰を補正する感度補正制御（STC：Sensitivity Time Controll）アンプを用いていることが特徴である。

3. 撮像実験結果

試作した装置を沖縄県石垣島に持ち込み、船より吊り下げた状態で海底面の撮像を行った。試験では、垂直方向の走査を止め、自走により海底面の形状計測を行った。

Fig.2 に撮像結果を示す。(a)は強度画像であり、白色は強い反射光で黒色は弱い反射光であることを示している。(b)は3次元変換後の深さ画像であり、青色が深さ 12m で赤色が深さ 5m であることを示している。この結果より、走査角 120° で撮像できていることが確認できる。

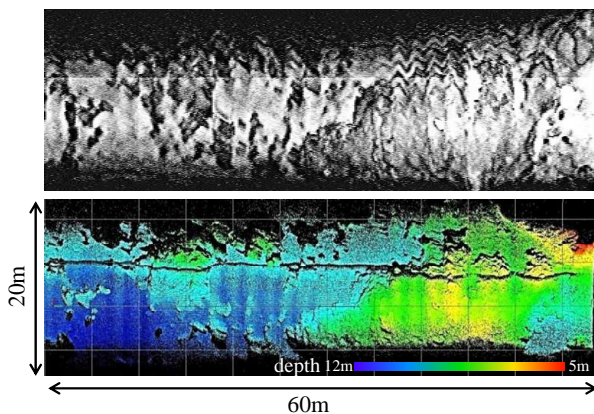


Figure 2. Seafloor imaging results: (a) is the intensity data, (b) is the distance data from the sensor.

4. まとめ

海中 3D イメージング向けの TOF レーザセンサを開発した。本センサでは、海中での透過率の高い波長 532nm のレーザ光を用いており、レーザ送

受信面にドームレンズを用いることで、高効率で広角走査を実現し、STC を用いて海中における減衰を補正していることが特徴である。

今回の成果は水中における 3次元計測においてレーザセンサが適用できることを示した国内初の事例であり、今後、性能向上に向けた課題抽出と改良を進める。

参考文献

- 1) J. S. Jaffe *et al.*, "Computer Modeling and the Design of Optimal Underwater Imaging Systems," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.15, No.2, 101-111 (1990)
- 2) E. Kaltenbacher *et al.*, "Development of A Compact, Real-Time, Optical System For 3-D Mapping Of The Ocean Floor," Proc. Oceanology International 2001 (invited), (2001)
- 3) C. Roman *et al.*, "Application of structured light imaging for high resolution mapping of underwater archaeological sites," in OCEANS 2010 IEEE-Sydney 1-9 (2010).
- 4) A. Bodenmann, *et al.*, "Development of long range color imaging for wide area 3D reconstructions of the seafloor," in Underwater Technology Symposium, 2013 IEEE International, 1-5 (2013).
- 5) F. R. Dagleish, "An AUV-deployable pulsed laser line scan (PLS) imaging sensor," Proc. Oceans 2007, 1-5 (2007).
- 6) C. Embry *et al.*, "Subsea Monitoring - High resolution 3D Laser Imaging for Inspection, Maintenance, Repair, and Operations," Proc. the Offshore Technology Conference, OTC23006 (2012).
- 7) C. Embry *et al.*, "High resolution 3D Laser Imaging for Inspection, Maintenance, Repair, and Operations," Proc. the Offshore Technology Conference, OTC24107 (2013).
- 8) T. Rees *et al.*, "AUV-based 3D laser inspection for structural integrity management in deepwater fields," in Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference, OTC-25381-MS (2014).