

# 多波長の光パルスを用いた実時間水面センシング技術の検討

## Study on the real-time optical water surface sensing system using multi-wavelengths optical pulses

増田浩次<sup>1)</sup>, 後藤春可<sup>2)</sup>, 富谷祐司<sup>2)</sup>, 北村心<sup>1)</sup>, 相原弘和<sup>2)</sup>, 船越康央<sup>2)</sup>, 宇田川健太<sup>1)</sup>  
H. Masuda<sup>1)</sup>, H. Gotoh<sup>2)</sup>, Y. Tomitani<sup>2)</sup>, K. Kitamura<sup>1)</sup>, H. Aihara<sup>2)</sup>, Y. Hunakoshi<sup>2)</sup>, K. Udagawa<sup>1)</sup>

島根大学 総合理工学研究科<sup>1)</sup>, 総合理工学部<sup>2)</sup>

Interdisciplinary Graduate School of Sci. and Eng.<sup>1)</sup>, Interdisciplinary Faculty of Sci. and Eng.<sup>2)</sup>, Shimane Univ.

E-mail: masuda@ecs.shimane-u.ac.jp

### Abstract

We have proposed a real-time optical water surface sensing system using multi-wavelength optical pulses in a single optical beam in order to improve the sensing speed and performance. Spectrum-sliced multi-wavelength optical pulses generated by using an erbium-doped fiber based amplified-spontaneous-emission light source, which have polarization insensitivity, low coherency, and high peak power, have been fabricated and used in the proposed system. Three-wavelength optical pulses in the 1.5- $\mu\text{m}$  wavelength band have been successfully detected in a laboratory experiment.

### 1. はじめに

光を用いたセンシング技術は、レーダや超音波などの従来技術との比較において、性能、経済性、安定性などの向上が可能な技術であると考えられる<sup>1)-5)</sup>。我々は近年、防災・減災、環境、漁業、娯楽などへの応用<sup>1)-3)</sup>を目指し、光を用いた水面センシングシステム（「光水面センシングシステム」と呼ぶ）の提案とその性能に関する検討を行っている<sup>4)-7)</sup>。これまで、水面及び水面近傍からの鏡面反射と拡散反射、また、護岸や橋脚などの構造物からの拡散反射を用いた水面センシング技術について検討している。これまでの検討により、我々が提案する経路分離法における、CW 光伝搬特性を明らかにしている。本発表では、その経路分離法に、1 経路多波長の光パルスを用いることにより、水面センシングの高速化・高性能化を図った実験検討結果について報告する。

### 2. システム構成

上記の多波長光を用いた経路分離法の基本構成を Fig. 1 に示す。河川、湖沼、海における岸や護岸 (Land) に送信器 (OS) 及び受信器 (OR) を設置し、水面と岸や護岸の境界近傍に光パルスビームを照射する。送出した光ビームの角度スキャンや多経路とすることにより、多点計測を行う。本提案方法では、1 経路につき多波長の光パルスを送出することにより、OS、測定対象、OR 間の伝搬距離で決まる光パルスの繰り返し周期に比べ、顕著に短い時間間隔で光パルスの送受信を行うことが可能である。具体的には、1 波長を用いる従来技術に比べ、本方式における波長数を  $n$  とすれば、 $n$  倍の高速化が可能である。 $n$  の値としては、10 ~ 100 程度を想定している。Fig. 1 では、簡単のため、3 波長の場合を示している。また、経路分離法では、水面で反射した光が構造物にあたることなく、空間に放射するように空間配置を行う。さらに、本方式では、光の波長として、水中での減衰係数が大きな近赤外の 1.5 $\mu\text{m}$  帯の光を用いる。

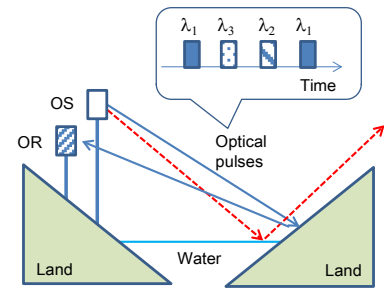


Fig. 1 System configuration

### 3. 実験

本検討の室内実験系の構成を Fig. 2 に示す。水を入れた実験水槽に、護岸などの構造物を模擬した石のブロックを設置し、その石のブロックと水面との境界近傍に光パルスビームを照射している。光源からの光ビームは、ファイバコリメータ (FC) から、水面に対して約 58 度の入射角度で送出している。FC の約 2.5cm 下方に口径 0.5mm の InGaAs フォトダイオード (PD) を設置している。FC と PD は同一の微動台に設置し、垂直方向にその微動台を動かしている。石のブロックは水平方向に対して約 25 度傾けて設置しており、経路分離法の角度条件を満たしている。光源は、エルビウム添加ファイバを用いた増幅自然放出光源 (ASE LS) からの広帯域光を音響光学変調器 (AOM) でパルス変調 (繰り返し周波数 = 100kHz, Duty = 1%) し、その後、サーキュレータ (CIR)、波長選択フィルタ (WSF)、光ファイバ遅延線、及びミラーからなる光回路で多波長の光パルスを発生させている。その WSF で切り出した 3 波長の ASE 光の中心波長は、1556.1, 1557.8, 1559.5nm であった。その後、その多波長光パルスをエルビウム添加ファイバ増幅器 (EDFA) で増幅している。レーザー光を用いた光パルス光源と比較し、本提案構成の多波長 ASE 光源は、無偏波であること及び低コヒーレンスであることが特徴であると考えられる。受信及び測定に関し、PD で受光した光パルス信号は、PD の後段に設置した TIA で増幅し、電圧計及びオシロスコープを用いて電圧を測定している。

受光パワーの微動台垂直方向位置 ( $z$ ) 依存性を Fig. 3 に示す。(a)が電圧計を用いた測定値、(b)がオシロ

スコープを用いた測定値である。(a)では3波長 ASE 光トータルの時間平均電圧値 ( $V_M$ ), (b)では、各波長のピーク電圧 ( $V_O$ ) を示している。水面と石ブロックの境界位置を求めるために、それらの電圧値を dB 値として示している<sup>6)</sup>。微動台垂直方向位置  $z$  は 4~36mm の間で変化させた。FC と水面の高さ (垂直方向位置) の差は、 $z=4\text{mm}$  において約 11cm であった。

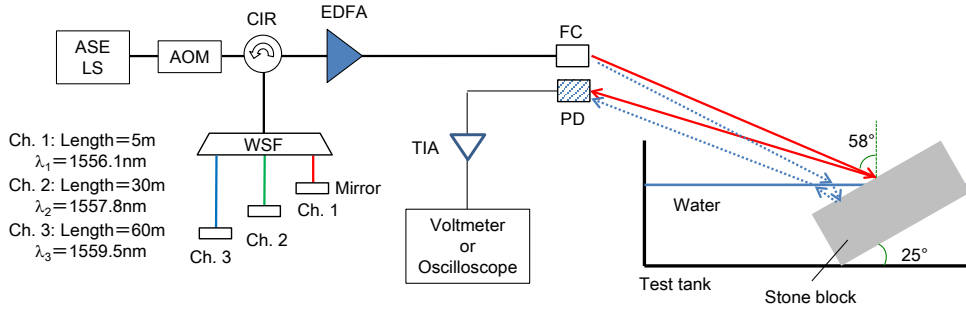


Fig. 2 Experimental setup

Fig. 4 に、 $z=4\text{mm}$  及び  $36\text{mm}$  におけるオシロスコープ時間波形を示す。3波長の光パルスが、時間領域で分割されている様子が確認できる。また、ピークパワーの時間位置は、ファイバ遅延線の長さ (Ch. 1=5m, Ch. 2=30m, Ch. 3=60m) の 2 倍の値に対応していることが確認できる。光スペアナで

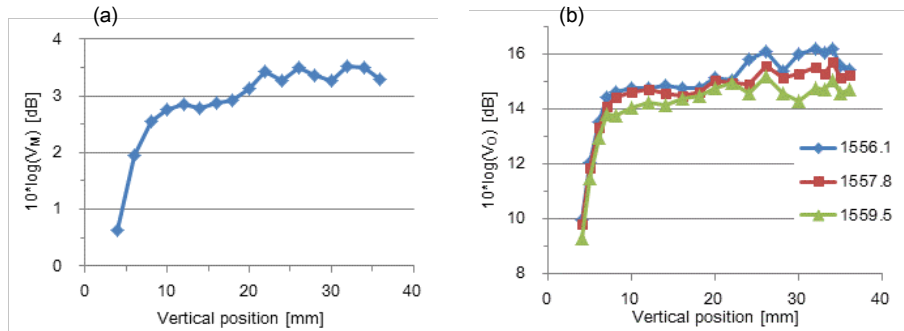


Fig. 3 Measured power vs. vertical position, using (a) voltmeter, and (b) oscilloscope

測定した、FC 出力の光スペクトルを Fig. 5 に示す。波長分解能は  $0.05\text{nm}$  とした。若干のパワーレベル偏差が見られるが、必要に応じて、それらは光送信回路内にパワー等化用光部品を設置することにより容易に平坦化できる。3波長トータルの電圧値  $V_M$  について、1分程度の測定時間内のレベル変動は見られなかった (背景光パワーの変動量の約  $0.04\text{mV}$  程度以内)。一方、各波長の

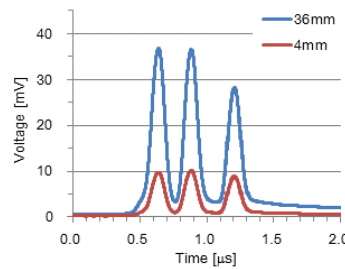


Fig. 4 Optical waveforms

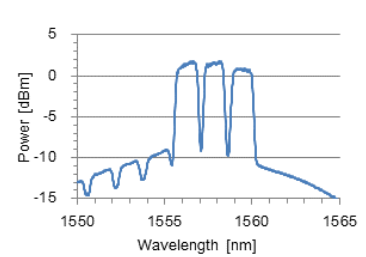


Fig. 5 Optical spectrum

のピーク値  $V_O$  は最大 7% 程度の時間変動を示した。また、Fig. 3(b) に示すように、 $V_O$  の  $z$  依存性において、波長依存性が観測された。Fig. 3 に示した測定において、光ビームが水面に照射された場合は、光ビームが水面で屈折、水中である程度吸収された後に石のブロックと水の境界面で拡散反射され、その後、ふたたび水中である程度吸収され、屈折後、PD まで伝搬する。一方、光ビームが石のブロック照射された場合は、主に、石のブロックからの拡散反射光が PD で受光されるものと考えられる。ただし、PD の前面には、光ビーム照射位置以外からの多重反射した拡散反射光をブロックするための空間遮光フィルタを設置している。Fig. 3(a) 及び (b) から、文献<sup>6)</sup> に示された解析手法により、石のブロックと水の境界面を与える  $z$  位置は、約  $7.5\text{mm}$  であることがわかる。

#### 4. 結論

1 経路に多波長の光パルスを用いることによりセンシングの高速化を図る、水面センシングシステムの提案を行った。経路分離法の光源として、ASE 光のスペクトルスライスとパルス化により、3波長の無偏波・低コヒーレンス光を発生させた。上記の光源を用いた室内実験により、本提案構成における良好な受光パワー特性を確認した。

**謝辞** 本研究は科研費 25420407 の助成を受けたものである。

#### 文献

- 1) 松村 他, OFS シンポジウム, I-08, pp. 50-57, 2013,
- 2) 椎名, 中川, レーザセンシングシンポジウム, P-5, 2013,
- 3) 椎名, 中川, レーザセンシングシンポジウム, P-23, 2014,
- 4) 増田, 北村, 光技術コンタクト, Vol. 51, No. 7, pp. 11-17, 2013,
- 5) 北村, 増田, 光アライアンス, Vol. 26, No. 5, pp. 22-26, 2015,
- 6) 増田, 徳永, 北村, 阿佐, 宇田川, 岸本, 信学技報, OFT2014-08, 2014,
- 7) 増田, 徳永, 北村, 阿佐, 宇田川, 岸本, OPJ2014, 2014