

ラマンライダーを利用した水中油の遠隔計測技術の開発

染川 智弘^{1,2}, 倉橋 慎理¹, 伊澤 淳³, 余語 覚文², 久世 宏明⁴

¹ (公財) レーザー技術総合研究所 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-6)

² 大阪大学レーザー科学研究所 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-6)

³ IHI (〒235-8501 神奈川県横浜市新中原町 1)

⁴ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

Development of Remote Identification and Detection of Oil in Water Using Raman Lidar

Toshihiro SOMEKAWA^{1,2}, Shinri KURAHASHI¹, Jun IZAWA³, Akifumi YOGO², and Hiroaki KUZE⁴

¹Institute for Laser Technology, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

²Institute of Laser Engineering, Osaka Univ., 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

³IHI Corporation, 1, Shin-nakahara-cho, Isogo-ku, Yokohama, Kanagawa 235-8501

⁴CEReS, Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522

We develop a portable Raman lidar system for remotely detecting oil leakages in water. The system consists of a frequency-doubled, Q-switched Nd:YAG laser operating at 532 nm with a receiver telescope equipped with some filters and photomultipliers. Stand-off detection of oil is achieved in a 6 m long water tank, allowing us to considerably increase the survey capability of subsea infrastructures, including both the range observation and target identification.

Key Words: Raman lidar, oil leakage in water

1. はじめに

日本の領海・排他的経済水域は国土の面積の 12 倍程度も大きく、レアアースに代表される海底鉱物資源やメタンハイドレートの採掘、CO₂を海底地層に圧入して大規模削減を目指す CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)、石油などのエネルギー資源を輸送する海底パイプラインなどの有効な海底利用が期待されている。海底開発では資源探査手法の開発だけでなく、海底インフラのメンテナンスや事故の早期発見、海底開発に伴う海洋生態系・環境への影響評価が重要とされている。現状の採取・採水測定では評価の頻度や評価可能なエリアに限度があり、広範囲にわたる領域を短時間でモニタリングできる手法の開発が望まれる。筆者のグループでは、広範囲な海を効率よくモニタリングすることを目指して、海水中に含まれるガスや、油の濃度などを、遠隔からラマン散乱で測定するラマンライダー技術を開発中である。ライダーシステムを船舶に搭載し、レーザー光を船上から海へ照射可能な海上ラマンライダーシステムを開発し、沼津や竹富島近海での海上観測を実施してきた¹⁻³⁾。

本報告では、海上ライダー用に開発した小型ラマンライダーシステムによる水中油の測定結果を紹介する⁴⁾。水中に置いた石英セル内の油試料に対して、2910 cm⁻¹の C-H の対称伸縮モードに相当する波長 628 nm でのラマンライダー計測によって、油の距離情報と定量評価が可能であることがわかった。

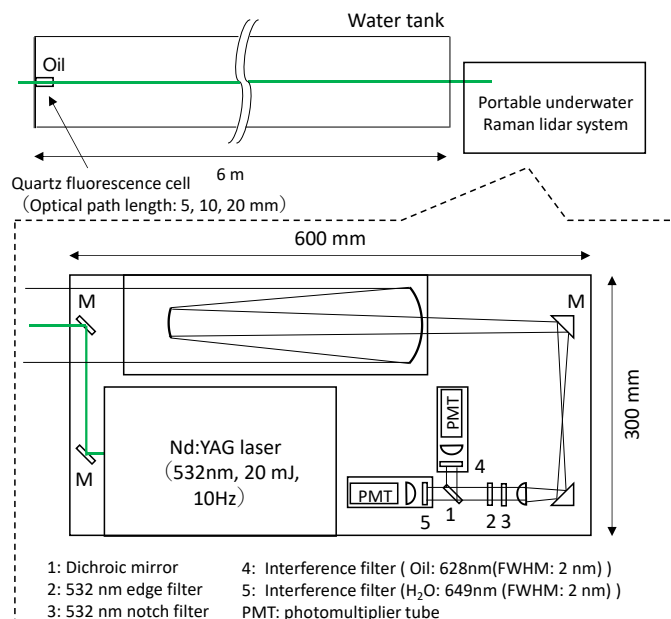


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

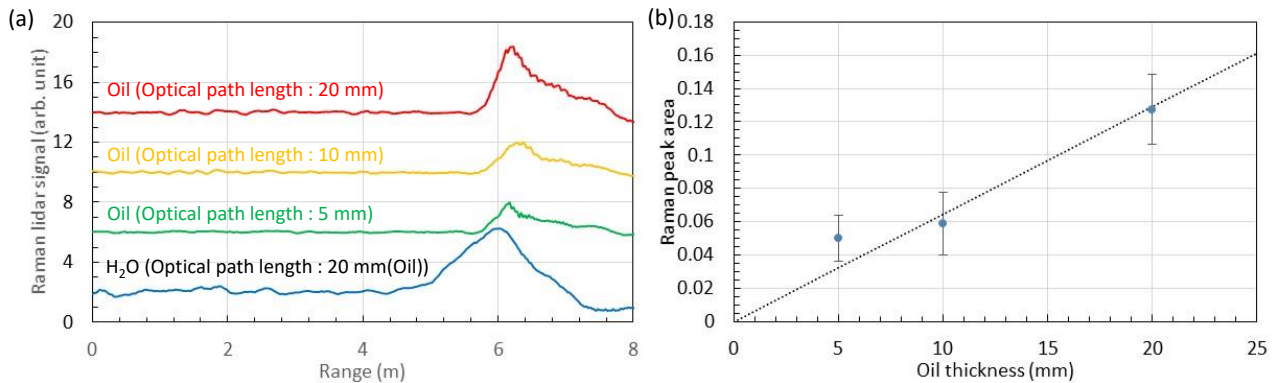


Fig. 2 (a) Raman lidar signals of oil located 6 m away in the water tank and (b) Raman peak area of oil as a function of oil thickness.

2. 海上ライダー用の小型ラマンライダーシステムによる長水槽での水中油の遠隔計測実験

Fig. 1 に海上ライダー観測用に開発した小型ラマンライダーの光学配置図と長水槽でのライダー実験の配置図を示す。レーザーは波長 532 nm, パルスエネルギーは 20 mJ (パルス幅: 5 ns) であり, 繰り返し周波数は 10 Hz である。望遠鏡の口径は 127 mm, 焦点距離は 1500 mm である。望遠鏡で集めたラマン散乱光は, レンズでコリメートした後に, 波長 532 nm のエッジ, ノッチフィルターで微弱なラマンライダー信号計測を阻害するレイリー光などを除去している。その後, ダイクロイックミラーで波長を分離し, 油, 水のラマン波長の干渉フィルターによって波長を限定し, 光電子増倍管 (PMT) で測定した。使用した干渉フィルターは, 油の C-H 対称伸縮モードである 2910 cm^{-1} に相当する波長 628 nm と水の O-H 対称伸縮モードである 3400 cm^{-1} に相当する波長 649 nm である。本実験では, 油漏えいの模擬試料として, キャノーラ油 (植物油) を利用した。油試料は光路長が 5, 10, 20 mm の蛍光セルに入れ, 6 m の出口窓の直前に設置した。観測視野内のレーザーと油の相互作用長を変化させることで, 測定する油の量を変化させた。

Fig. 2(a) に長水槽を利用した水中油のラマンライダー計測結果を示す。距離 0 m は, 入口窓部分に設置したスクリーンからのライダー信号で決定し, 水の屈折率 (1.33) から水槽中の距離を換算した。上から光路長 20, 10, 5 mm のセルを設置した場合の油の波長でのライダー信号であり, 比較のため一番下に同時に測定した水の波長でのライダー信号も載せてある。油のライダー信号は, 6.2~6.4 m 付近にピークを持ち, 油の厚みによってピーク強度や信号の幅に違いが見られる。一方, 水のチャンネルでは 4.8 m 付近から信号が立ち上がり, 6 m 付近でピークが見られる。以上から, 本ライダーシステムで, 水中の油試料に対しても, 油特有のライダー信号の検出に成功しており, 水中にある物質の同定だけでなく, 位置情報も得られることがわかった。

Fig. 2(b) に油試料の光路長と油のライダー信号強度の関係を示す。ライダー信号強度は油から得られたライダー信号の面積で評価している。誤差は 5 回連続して測定した結果の標準偏差である。6 m の位置に何も置かなかった際のライダー信号での油位置に相当するライダー信号面積の標準偏差を σ とすると, 本可搬型のライダーシステムの検出限界 (3σ) は油の厚みで 1.51 mm である。

3. まとめ

レーザーを利用した海中のリモートセンシング手法の新たな応用を目指して, 海底パイプラインでの油漏えい事故を遠隔から評価する手法を開発している。レーザー光を長さ 6 m の長水槽中で伝搬させ, 水中に置いた油の 2910 cm^{-1} のラマン信号に相当する波長 628 nm のライダー信号を測定した。今後は, 本システムを利用した海上観測によって適用可能性を実施するだけでなく, ICCD カメラを利用した時間ゲートスペクトル測定も実施したい。

参考文献

- 1) T. Somekawa, A. Tani and M. Fujita: Appl. Phys. Express, **4** (2011) 112401.
- 2) 染川智弘: レーザー研究, **48** (2020) 599.
- 3) T. Somekawa, J. Izawa, M. Fujita, J. Kawanaka, and H. Kuze, Opt. Commun. **480** (2021) 126508.
- 4) T. Somekawa, J. Izawa, M. Fujita, J. Kawanaka, and H. Kuze: Appl. Opt., **60** (2021) 7772.