

ラマンライダーによるプラスチックのリモート計測技術の開発

染川 智弘^{1,2}, 松田 晶平¹, 倉橋 慎理¹, 余語 覚文², 久世 宏明³

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 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)

Remote Detection of Plastics Using Raman Lidar Technique

Toshihiro SOMEKAWA^{1,2}, Shohei MATSUDA¹, Shinri KURAHASHI¹, Akifumi YOGO², and Hiroaki KUZU³

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

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

³CERES, Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522

We report a portable Raman lidar system that can remotely detect marine plastics litter. The system is based on a frequency-doubled, Q-switched Nd:YAG laser operated at 532 nm with a receiver telescope equipped with a gated ICCD spectrometer. Stand-off detection of plastics is achieved at 6 m away, thus providing the groundwork for better solutions in monitoring plastic pollution in the ocean.

Key Words: Marine plastics litter, Raman spectroscopy, Raman lidar

1. はじめに

私達の身近にあるビニール袋、ペットボトルなどのプラスチック製品ごみが海洋に流出した「海洋プラスチックごみ」による海洋汚染は地球規模で深刻化しており、プラスチックの使用削減に関する取り組みだけでなく、海洋プラスチックごみの発生経路や被害を正確に評価するために、効率的・効果的なモニタリング手法の確立が必要とされている。

海洋プラスチックごみのモニタリング手法は、採取・採水測定が一般的であり、実体顕微鏡などによる目視識別が困難な 5 mm 以下のマイクロプラスチックでは FTIR や顕微ラマン分光によってプラスチックの同定が実施されている。しかし、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。そこで、レーザーを利用したリモートセンシング手法であるライダー技術を利用した効率的な海洋プラスチックごみのモニタリング手法の開発を開始した。

本発表では、プラスチック製品のラマンスペクトル測定結果と、6 m 先に設置したプラスチックのリモートラマンスペクトル測定の結果を報告する。

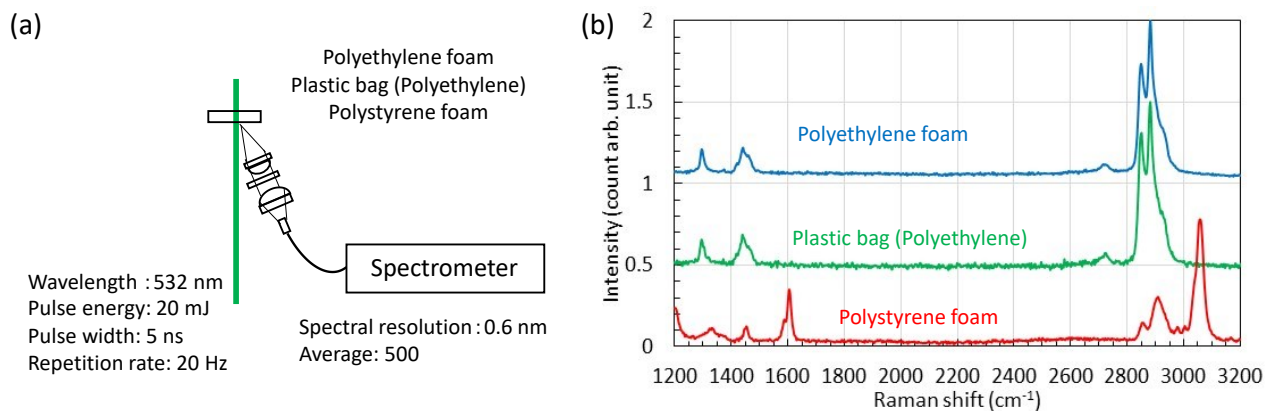


Fig. 1 (a) Schematic diagram of Raman spectroscopy and (b) Raman spectra of polyethylene foam, a plastic bag (polyethylene), and polystyrene foam.

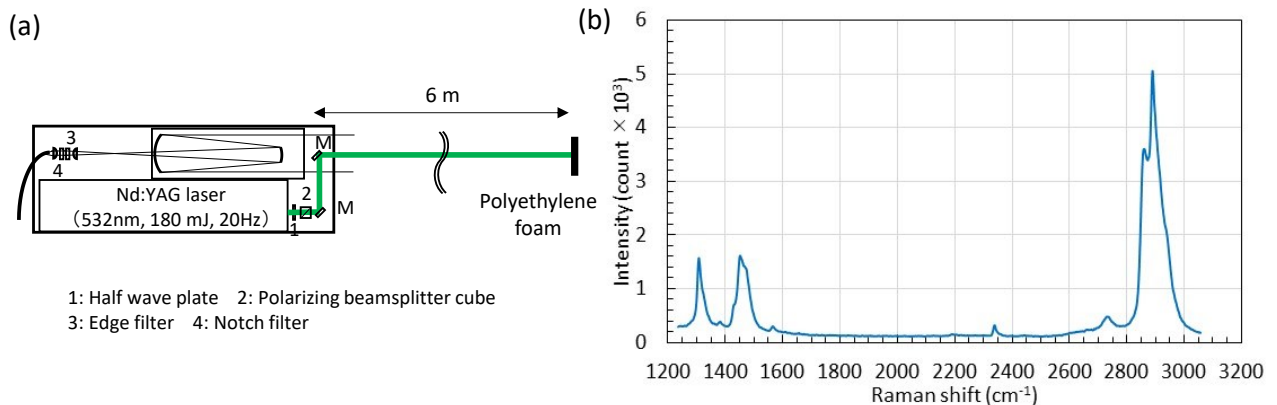


Fig. 2(a) Schematic diagram of Raman lidar and (b) Raman spectrum of polyethylene foam located 6 m away.

2. プラスチック製品のラマンスペクトル

Fig. 1 に発泡ポリエチレン，ポリエチレン製のビニール袋，発泡スチロール（ポリスチレン）のラマン分光測定の実験配置図とラマンスペクトルを示す．レーザーは水中プラスチックへの応用も見据えて，水の透過性が比較的良好な波長 532 nm を採用した．

発泡ポリエチレン，ビニール袋はポリエチレン製であるために同じラマンスペクトルが得られている¹⁾．1294 cm^{-1} に見られるラマン信号は CH_2 のひねり変角モードであり，1442 cm^{-1} は CH_2 の変角モードである．2848, 2881 cm^{-1} のラマン信号はそれぞれ CH_2 の対称，非対称の伸縮振動モードである．一方，ポリスチレン製である発泡スチロールは 3058 cm^{-1} に強いベンゼン環の CH の伸縮モードのラマン信号を示し，1454, 1604 cm^{-1} はそれぞれ， CH_2 のはさみ変角モードと環振動モードである．また，2856, 2909 cm^{-1} はそれぞれ脂肪族由来の対称，非対称の伸縮モードである．ポリエチレン，ポリスチレンから特有のラマンスペクトルが得られており，1200～3200 cm^{-1} のラマンスペクトルを測定することで識別が可能であることがわかる．

3. ラマンライダーによるプラスチックの遠隔識別試験

Fig. 2 に，6 m 先に設置した発泡ポリエチレン試料のラマンライダーによる遠隔識別試験の配置図とラマンスペクトルを示す．使用したレーザーは波長 532 nm，パルスエネルギーは 180 mJ，繰り返し周波数は 20 Hz である．ラマン散乱光は，直径 200 mm の望遠鏡で集め，波長 532 nm のエッジ・ノッチフィルターでレイリー光を除去したのち，光ファイバーでゲート機能付きの ICCD カメラでラマンスペクトルを測定した．測定の積算回数は 1600 回であり，ICCD カメラのゲート幅は 5 ns とした．

6 m 先に設置した発泡ポリエチレンでも Fig. 1 に示したポリエチレンと同様のラマンスペクトルが得られており，遠方に設置したプラスチックでもリモートラマンスペクトル測定によって同定が可能であることがわかる．また，大気中の酸素，窒素のラマン信号もそれぞれ 1565, 2339 cm^{-1} に観測されている．

3. まとめ

地球規模での海洋汚染が深刻化している「海洋プラスチックごみ」の被害や発生経路を正確に評価するために，ラマンライダーを利用したプラスチックの遠隔識別手法を開発している．今後は，水中にあるプラスチックの識別や，広い視野でラマンスペクトルの測定が可能なハイパースペクトルイメージング手法をライダーに適用する研究を実施する予定である．

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 JP22H03756 の支援を受けたものである．関係各位に深く感謝の意を表します．

参考文献

- 1) V. Nava, M. L. Frezzotti, and B. Leoni: Appl. Spectrosc. 75 (2021) 1341.