

深紫外ラマン分光用遠隔計測装置の小型化

江藤 修三¹, 朝日 一平²

¹一般財団法人電力中央研究所 (〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂二丁目 6 番 1 号)

²株式会社四国総合研究所 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8)

Downsizing remote measurement system for Deep Ultraviolet Raman Spectroscopy

Shuzo ETO¹ and Ippei ASAH²

¹ Central Research Institute of Electric Power Industry, 2-6-1 Nagasaka, Yokosuka city, Kanagawa 240-0196

²Shikoku Research Institute Inc., 2109-8 Yashima-nishimachi, Takamatsu city, Kagawa 761-0192

Abstract: We have been developing the compact light receiver system for measurement of Raman spectra in the deep-ultraviolet wavelength region to detect and classify the hazardous materials remotely. The optical design of the telescope was carried out, and the calculation results showed that the RMS spot radius was not significantly worse than that of the conventional telescope, even though the total length was less than half and the diameter was 76 %. We calculated the signal-to-noise ratio of the Raman spectra based on the optical design results and found that the SNR is a lower than that of the conventional light receiving system, the SNR is sufficient for measuring SO₂ gas.

Key Words: Deep ultraviolet, Raman spectroscopy, Remote measurement, Ray tracing, Telescope

1. はじめに

有害ガス等を遠隔で検知及び識別する方法として、深紫外ラマン分光法を用いた遠隔計測装置の開発を進めている¹⁾。本研究では、共鳴ラマン効果によりラマンスペクトル強度が著しく増加することに着目して、200~300 nm の深紫外波長域の光を計測する。これまでに、レンズを用いずにラマン光を集めて分光計測する受光系を製作し、受光系から計測位置までの距離(物体距離) 20 m 及び 40 m にて深紫外波長域における大気中分子のラマンスペクトルが計測できることを確認した²⁾。本研究では、局所的に存在する有毒ガス等を遠隔検知することを目標としているため、計測視野を変更したり、装置を搬送したりすることを考慮した場合に、受光系をさらに小型化することが望ましい。本発表では、過去に製作した受光系の計測結果を踏まえ、受光系の小型化を検討した結果について報告する。

2. 受光系の小型化検討

2.1 目標性能

ここでは、従来製作した受光系と同等の性能を有する前提で、可能な限り小型化する方針とした。受光系の性能の指標として、遠隔計測により得られるラマンスペクトルの信号ノイズ強度比(SNR)¹⁾を計算した。

2.2 機器の小型化

小型化に最も寄与する機器の一つに望遠鏡が挙げられる。一般的に、望遠鏡の主鏡直径を小さくする、もしくは全長を短くすることにより、望遠鏡の収差が大きくなり、結像性能が悪化する。ここでは、光学設計ソフト(Zemax, Optic Studio)を用いた光線追跡により、望遠鏡の焦点における像の直径に対して、収差の指標である RMS スポット半径が 50 分の 1 程度となる望遠鏡の主鏡と副鏡の曲率の組み合わせを計算した。収差により像が肥大すると、分光器のスリットを通過できる光が減少してしまうが、上記の RMS スポット半径であれば、スリット端面における像の面積が 4 % 増加する結果となるため、スリット端面における光量の減少は小さく、ラマンスペクトルの SNR に大きく影響しないと判断した。Figure 1 に、光学レイアウトを示す。従来製作した望遠鏡の全長の半分程度、主鏡直径を 300 mm から 230 mm に小さくなった。今回設計した望遠鏡の RMS スポット半径は、物体距離 10 m~100 m にて約 60~80 μm であり、従来製作した望遠鏡の RMS スポット半径の 3 倍~8 倍程度となった。

2.3 SNR の計算

新たに検討した望遠鏡の倍率や中心遮蔽率を考慮して、ラマンスペクトルの SNR の計算を行った。SNR の計算では、波長 210 nm のレーザを用いてラマン分光することを仮定した。Figure 2 に SNR の計算結果を示す。凡例の type 1 及び type 2 は、従来開発した受光系と今回検討した受光系を示している。Type 1 では合焦可能な範囲が 20 m 以上であるのに対し、type 2 では 10 m 以上であるため、type ごとにグラフのプロット範囲が異なっている。望遠鏡の主鏡直径が小さくなった影響で、type 1 よりも type 2 の方が SNR は小さいが、物体距離 100 m 以下において濃度 1 ppm の SO₂ のラマンスペクトルを SNR > 1 で計測することが可能であると見積もられた。

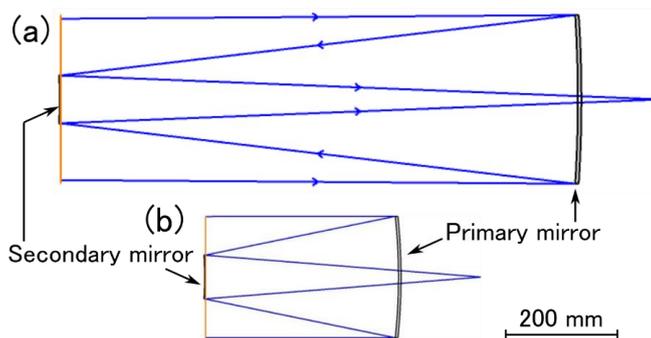


Figure 1. Comparison of the optical layout between (a) the developed telescope and (b) the newly designed telescope. The blue lines show a ray passing through the outermost edge of the telescope.

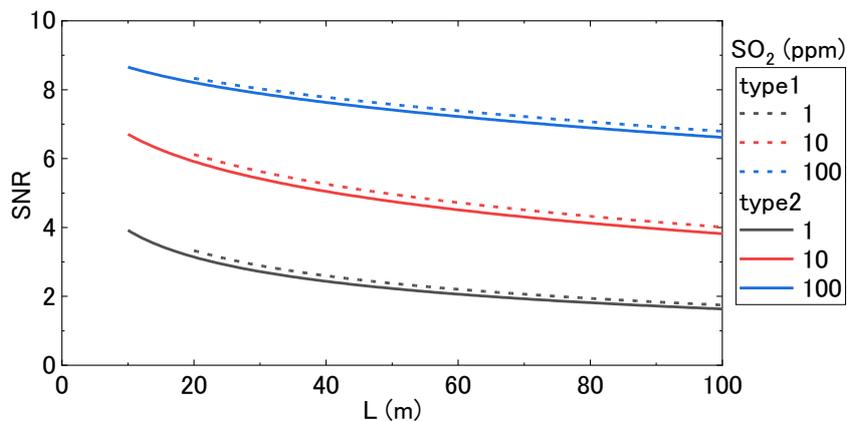


Figure 2. Object distance dependence of SNR for Raman spectra of SO₂.

3. まとめ

深紫外波長域のラマンスペクトルを計測するための受光系を小型化する検討を行った。本結果を踏まえて小型の受光系を製作し、その性能を確認していく予定である。

謝 辞

本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度 JPJ004596 の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) S. Eto *et al.*, Proc. SPIE **11160** (2019), 111600G.
- 2) 江藤 他, 第 38 回レーザセンシングシンポジウム予稿集, (2020) pp.9-10.