

深紫外波長域におけるラマン光の遠隔計測に向けた受光系の設計

江藤 修三¹, 市川 祐嗣², 荻田 将一², 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)

Design of Light Receiver System for Remote Measurement of Raman Scattering Light in Deep-Ultraviolet Region

Shuzo ETO¹, Yuji ICHIKAWA², Masakazu OGITA², and Ippei ASAH²

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

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

Abstract: The light receiver system was designed to measure remotely the Raman Scattering light in deep-ultraviolet region. Signal-to-noise ratio (SNR) of light intensity of Raman scattering was calculated to evaluate the sensitivity of the system. The optimum magnifications of Cassegrain type telescope, which was calculated from the results of the ray tracing, were used for the calculation of the SNR. The results show that SNR is higher than one when the SO₂ gas with concentration of 1 ppm is measured at the separation distance from the light receiver system to target gas of 100 m.

Key Words: Raman scattering, Deep Ultraviolet, Ray tracing, Telescope, Polychrometer

1. はじめに

可燃物質や毒物など、人が容易に接近することが困難な物質を遠隔で計測できる技術の開発が進められている。光学的方法として、赤外分光法やラマン分光法などが用いられることが多い。ラマン分光法では検出感度が高く、多種類の物質を同定できることが望ましい。そのため、物質ごとに特徴的なスペクトルが観測される深紫外波長域の光を利用したラマン分光法の開発が行われている¹⁾。しかし、LIDARなどで遠隔計測を行うためには、深紫外波長域の光を高感度に受光できる光学系(受光系)が必要となる。

本研究では、深紫外波長域でのレーザラマン分光を遠隔で行うための受光系の設計結果について報告する。

2. 受光系の設計

2.1 受光系の機器構成

Fig.1 に想定した装置構成を示す。本構成では、波長可変レーザを用いて深紫外波長域のレーザ光を共振させ、ビームエキスパンダを通過した後に対象物質に照射する。受光系は、望遠鏡と光軸の微調整を行うための光学系(リレー系)、分光器とインテンシファイア付き CCD (ICCD) から構成される。本構成での受光系では、色分散が生じないようにレンズを含まない光学系を検討した。また、散乱光を効率的に受光するために、望

遠鏡の副鏡を可動式にすることで受光系から計測対象物までの距離 $L = 20 \sim 100$ (m) の範囲で合焦できる構成とした。

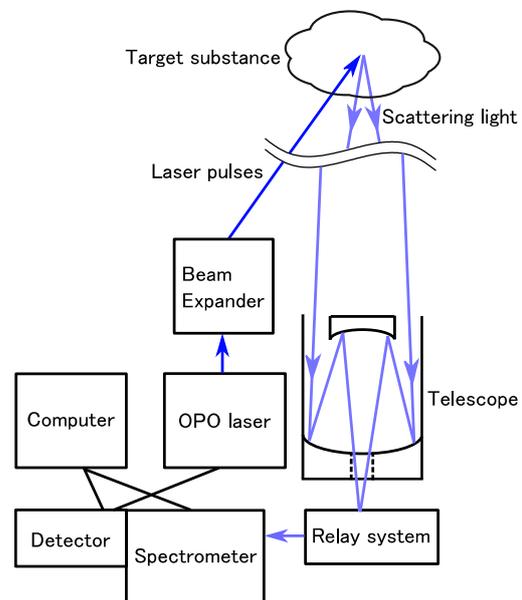


Figure 1. Schematic of remote measurement system of Raman light in deep-ultraviolet region

2.2 望遠鏡の設計

受光系の設計を行うに当たり、SO₂ガスのラマン散乱光を遠隔計測する場合の信号ノイズ強度比 (SNR) を試算し、SNR に寄与するパラメータ

を調べた。試算では、レーザ光のビームエキスパンダでのスループットやレーザ光および散乱光の大気中での減衰、望遠鏡の倍率と中心遮蔽率、散乱光のリレー系および分光器でのスループット、ICCDの波長感度などを考慮して、ラマン光に関する光電子数と迷光となるレイリー散乱光に関する光電子数およびICCD内部でのノイズに起因する電子数との比率をSNRとして求めた。

望遠鏡の倍率を設定するために、主鏡直径300mmのカセグレン式望遠鏡を想定し、光線追跡により主鏡と副鏡の間隔、倍率、光線の広がりに関する指標(RMS半径)を求めた。Fig.2にRMS半径のL依存性を示す。遠方を観測する望遠鏡では、Lが大きい時にRMS半径を小さくする設計となっており、Lが小さい時にRMS半径が急激に大きくなる。本受光系では、L=20~100(m)を計測範囲としているため、この範囲においてRMS半径が同程度となる設計にした。その結果、副鏡と主鏡の間隔調整のみでL=20~100(m)においてRMS半径が18 μ m以下となる解が得られた。この解より求められた倍率をSNRの試算に用いた。

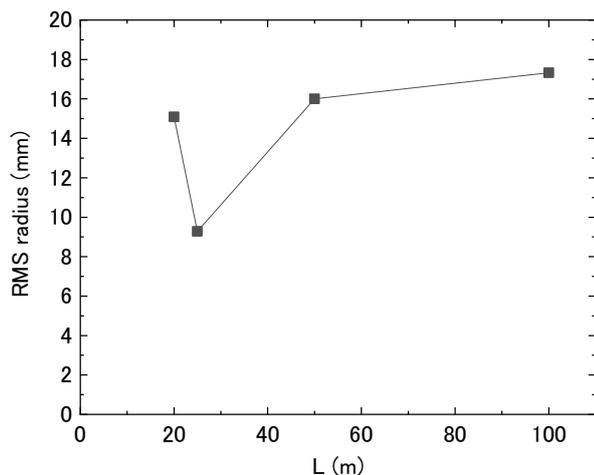


Figure 2. RMS radius dependence on separation distance from light receiver system to target

2.3 信号ノイズ強度比の試算

大気中での減衰では、エアロゾルによるミー散乱²⁾、大気分子によるレイリー散乱³⁾を考慮した。また、深紫外波長域におけるラマン散乱に関する微分散乱断面積がまだ明らかでないため、差分吸収LIDARなどで利用されているSO₂のラマン散乱(300nm)に関する微分散乱断面積(1×10⁻²⁹ m²/sr)を用いた⁴⁾。

Fig.3に試算結果の一例を示す。主な条件として、レーザ波長220nm、レーザエネルギー1.5MJ、分光器のスリット幅10 μ m、スペクトル積算回数200回とした。また、波長フィルタにて迷光成分となるレイリー散乱光は遮断されるが、一部の光が通過すると考え、ラマンスペクトルの強度に対してレイリー散乱光の強度が10分の1になると仮定した。その結果、L=20~100(m)において濃

度1ppmのSO₂ガスを計測する場合にSNR>1となった。今回検討した装置構成では、望遠鏡で集めた光の多くが分光器のスリットで遮られることや、ポリクロメータを用いた分光を行うために、ICCDの1画素あたりに入射するフォトン数がPMTと比較して少ないため、バンドパスフィルタとPMTから構成されるLIDAR装置と比較すると感度が低い。しかし、副鏡を可動式にすることやレンズを含まない構成にすることで、深紫外波長域でスループットの高い受光系が製作できると見込まれる。

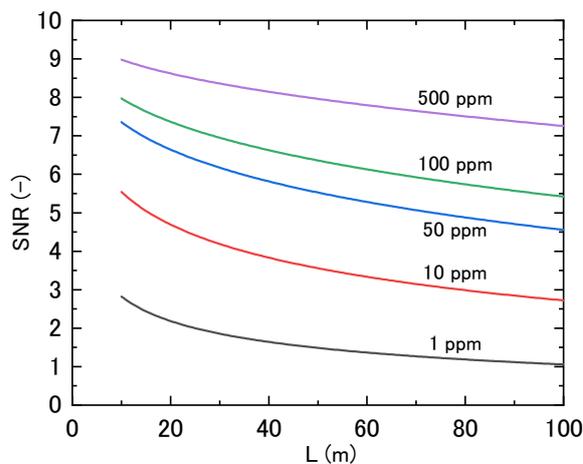


Figure 3. SNR dependence on separation distance from light receiver system to target

3. まとめ

深紫外波長域のラマン光を遠隔分光計測するために、レンズを含まない受光系について検討した。合焦機能を有する望遠鏡の設計結果を用いて、SO₂ガスを計測する際のSNRを試算した結果、L=20~100(m)の範囲において、SO₂濃度1ppmでSNR>1となる結果を得た。今後は、本設計結果を踏まえた望遠鏡の製作や受光系を用いた遠隔計測実験を行うことにより、受光系の性能を確認する予定である。

謝辞

本研究の一部は平成29、30年度防衛装備庁安全保障技術研究推進制度委託事業の一環として行ったものです。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) K. L. Gares *et al.*, *J. Raman Spectrosc.*, **47** (2016), 124-141.
- 2) R. Nebuloni, *Appl. Opt.*, **44** (2005) 3795-3804.
- 3) A. Bucholtz, *Appl. Opt.*, **34** (1995) 2765-2773.
- 4) C.M.Penny *et al.*, *NASA Rept. NASA-CR-132363* (1973) 1-139.