

微量アンモニア計測に向けた小型共鳴ラマン LIDAR の開発

荻田 将一, 山本 知代, 朝日 一平
四国総合研究所 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109-8)

Development of compact resonance Raman LIDAR for trace ammonia measurement

Masakazu OGITA, Tomoyo YAMAMOTO, and Ippei ASAHI
Shikoku Research Institute Inc., 2109-8 Yashima-nishimachi, Takamatsu-shi, Kagawa-ken 761-0192

Abstract: With the announcement of Green growth strategy through achieving carbon neutrality in 2050, efforts to use decarbonized fuels such as ammonia and hydrogen as secondary energy are accelerating. In addition to the growing demand for gas leak monitoring technology due to the shift from liquid to gas fuels, ammonia is toxic to the human body at extremely low concentrations, so there is a need for technology that can safely detect minute amounts of ammonia gas. For this reason, we developed a compact resonance Raman LIDAR for measuring trace amounts of ammonia using the resonance Raman LIDAR technology researched and developed in our laboratory. This paper reports on the progress of research and development aimed at field application.

Key Words: resonance Raman scattering, LIDAR, remote sensing, ammonia

1. 背景

2050年カーボンニュートラルが示されたことにより、2次エネルギーとしてアンモニアや水素等の脱炭素燃料の利活用の取り組みが加速している。燃料が液体から気体に置き換わることからガス漏洩監視技術の需要が高まっていることに加え、アンモニアは非常に低濃度で人体に毒性を示すことから、微量なアンモニアガスを安全に検知する技術のニーズが高まっている。これらの背景に鑑み、著者らがこれまでに研究開発を行ってきた共鳴ラマン LIDAR の技術を用いて、微量アンモニア計測用の小型共鳴ラマン LIDAR の開発を行った。本稿では現場適用を目指して行った研究開発について進捗を報告する。

2. 計測原理, 及び装置構成

本研究開発では微量アンモニア計測のために共鳴ラマン効果を適用している。共鳴ラマン効果は対象物質の電子吸収帯に相当する波長の光で対象物質を励起した場合に、共役な振動モードに対応するラマン散乱光が大幅に増強される現象である。アンモニアは紫外域に吸収を持っており、吸収波長で励起することにより、共鳴ラマン散乱光を生じる。Fig.1 にアンモニアの共鳴ラマンスペクトルの計測事例を示す。

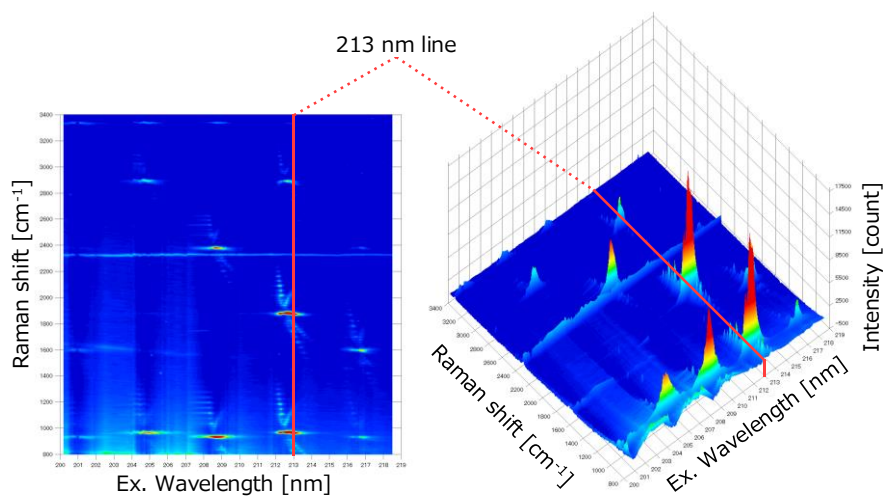


Fig.1 Excitation wavelength dependence of ammonia resonance Raman spectra.

Fig.1 に示す通り、アンモニアは Nd:YAG レーザの 5 倍高調波である 213 nm を用いて共鳴励起させることが可能であり、213 nm でアンモニアを共鳴励起させた場合は、共鳴ラマン散乱光が 218 nm (985 cm^{-1}), 222 nm (1895 cm^{-1}), 227 nm (2930 cm^{-1}) など、複数の波長で生じる。また、この波長域は地表で観測される太陽光のスペクトル領域外（ソーラブラインドエリア）であり、背景光の影響を大幅に抑制した、環境条件に高い適応性を持つ装置構成が可能である。

以上の結果を基に仮作した微量アンモニア計測用の小型共鳴ラマン LIDAR の構成を Fig.2 に示す。LIDAR 方式は coaxial 型とし、光源には小型 DPSS レーザ (CryLaS 社：FQSS 213-Q4, パルスエネルギー 2.5 μJ , パルス幅 $\leq 1\text{ ns}$, PRF $\leq 1\text{ kHz}$) を、集光レンズには有効開口径 $\phi 100\text{ mm}$ の平凸レンズを適用した。集光系の後段には励起光の遮断と波長選択用に各種フィルタを配した。波長選択用のバンドパスフィルタは (Andover 社：220FS10-25, 中心波長 220 nm, 半値幅 10 nm) を適用し、218 nm, 及び 222 nm の共鳴ラマン散乱光を集められる構成とした。検出器には PMT (浜松ホトニクス社：R11540) を適用した。仮作した装置の概形は長さ 500 mm, 幅 220 mm, 高さ 150 mm である。

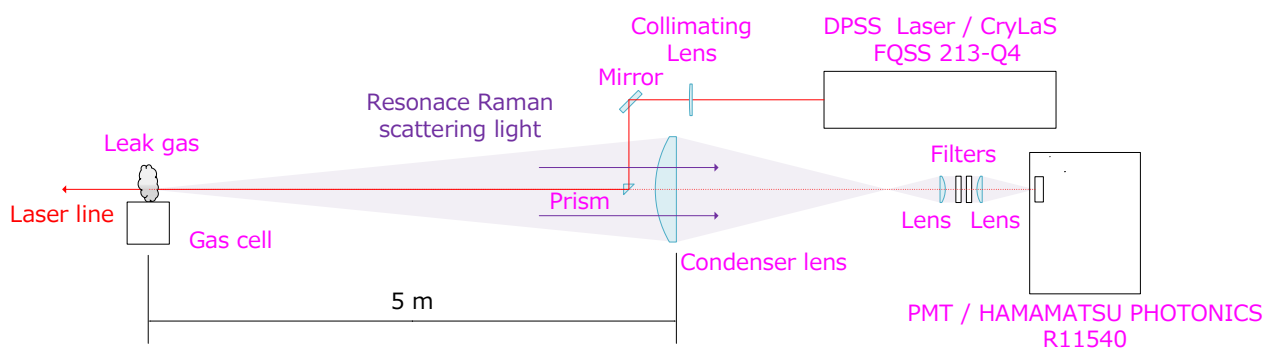


Fig.2 Configuration of compact resonance Raman LIDAR for trace ammonia.

3. 実験結果

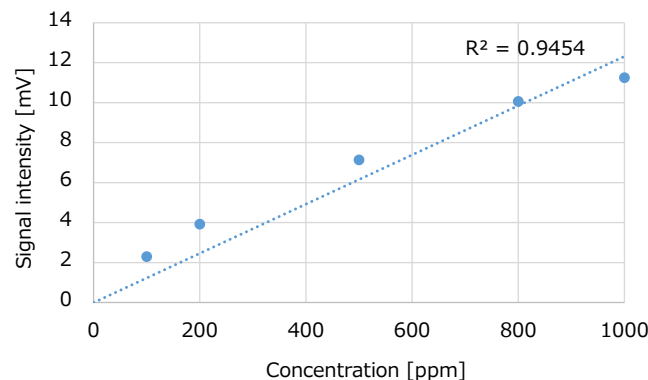


Fig.3 The correlation between the concentration of ammonia and the spectral signal intensity.

Fig.3 は仮作した小型共鳴ラマン LIDAR を用いて、離隔距離 5 m にて、窒素ベースアンモニア 1000 ppm の濃度を 800 ppm, 500 ppm, 200 ppm, 100 ppm と段階的に変化させ計測した結果である。計測結果より、SN 比を 2:1 とした場合、概ね 500 ppm 程度まで共鳴ラマン散乱光が確認できた。200 ppm 以下では SN が悪く検出が困難であったため、今後はノイズ成分の低減などによる SN 比の向上等が課題となる。

4. まとめ

微量アンモニア計測用の小型共鳴ラマン LIDAR を用いて、離隔距離 5 m にて遠隔計測を実施し、数百 ppm オーダのアンモニアが計測可能であることを実験的に確認した。講演では計測実験や結果の詳細について述べる。今後は昼間屋外での実験を行い、環境条件への適応性等を確認するとともに、小型化、高感度を進め、より環境基準値に近い濃度のアンモニアが計測可能な小型 LIDAR の開発を目指す予定である。