

昼間屋外計測可能なマルチガスマン LIDAR の開発

荻田 将一¹, 杉本 幸代¹, 朝日 一平¹, 椎名 達雄²

¹ 四国総合研究所 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109-8)

² 千葉大学 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

Development of multi-gas Raman LIDAR that can measure in daytime at outdoor

Masakazu OGITA¹, Sachiyo SUGIMOTO¹, Ipei ASAHI¹, and Tatsuo SHIINA²

¹ Shikoku Research Institute, 2109-8 Yashimanishi, Takamatsu, Kagawa 761-0192

² Chiba University, 1-33 Yayoi, Inage, Chiba, Chiba 263-8522

Abstract: We have developed a compact multi-gas Raman LIDAR that can measure in daytime at outdoor. When excited at 266 nm, the hydrogen Raman scattering wavelength is 299.1 nm and the methane are 288.4 nm and 289.2 nm. These wavelengths are in the deep-ultraviolet region called solar blind, and the sunlight spectrum reaches surface very little on the ground due to the light absorption of the ozone layer on the shorter wavelength side than 304 nm. Therefore, it is possible to greatly reduce the influence of sunlight by applying a 266 nm laser. In this paper, we describe configuration of the device and measurement results.

Key Words: LIDAR, Laser Raman Spectroscopy, Hydrogen, Methane, Remote sensing

1. 背景

現状の漏洩ガス検知手法はセンサによる接触式が主流である。しかし、接触式センサは計測可能なガス種と計測エリアが限定される。複数のガスが検知対象となる場合は、それぞれにセンサが必要となり、ガス種によっては分離検出が困難である。また、検査員による漏洩探査では対象ガスがどの程度拡がっているか不明な中での作業になるため、対象ガスが可燃性、毒性物質の場合はオペレータが危険に晒される等、安全性に問題がある。接触式センサのもつ物質の同定、位置の特定、マルチガス計測といった課題を包括的に解決可能な装置は現在、確立されていない。従って、これらの課題を解決可能な漏洩位置探査技術の開発が必要である。

これらの背景に鑑み、著者らがこれまで研究開発を行ってきたラマン LIDAR を応用したガス濃度遠隔計測技術¹⁾を用い、複数のガス種に適用可能な遠隔計測技術の研究開発を行った。本稿では実施概要及び計測結果事例について報告する。

2. 目的及び目標

Fig.1 に小型マルチガスマン LIDAR の概念図を示す。

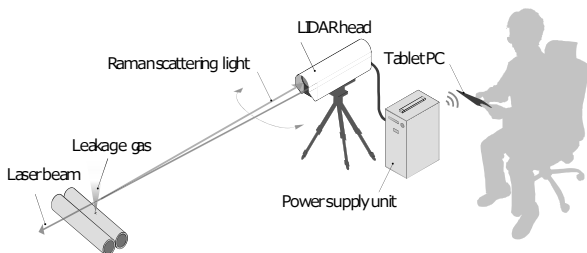


Fig.1 Concept model of multi-gas LIDAR
本研究はプラント等で使用可能なガス漏洩位

置探査装置の実用化を目指すものであり、危険区域外の遠隔からガスの漏洩箇所を瞬時に特定可能な装置を開発することを目的とする。また、一台で複数のガス種の計測が可能な装置を目指す。まずは水素をターゲットとし、検出限界を爆発下限界濃度 4% の 1/4 として 1% に、離隔距離は法令に定める危険区域外からの遠隔計測を目指し、8 m に設定した。

3. 計測手法

本研究は LIDAR エコーとしてラマン散乱光を捉える手法を用いてガスの遠隔計測を行う²⁾。

ラマンシフト量は分子種固有である。分光器や光学フィルタで目的の波長の光のみを分光して選択計測することで、複数のガスが存在する環境下でも、対象ガスのみ分離検出が可能となる。フィルタにより観測波長を変更することで、複数のガス種の検出が可能となる。励起光は、屋外計測時における太陽光の影響を考慮し、波長 266 nm のレーザを用いた。Table 1 に大気主成分である窒素、酸素、水蒸気、被検ガスである水素と本装置を応用して計測したメタンのラマンシフト及び、266 nm 励起の場合のラマン散乱波長を示す。

Table 1 Each molecule species Raman shift and Raman scattering wavelength 266 nm ex.

Molecular species	Raman shift [cm ⁻¹]	Raman scattering wavelength [nm]
O ₂	1556.0	277.5
N ₂	2330.7	283.6
H ₂ O	3651.7	294.6
H ₂	4160.2	299.1
CH ₄	2914.0	288.4
CH ₄	3017.0	289.2

266 nm で励起した場合の水素ラマン散乱波長は 299.1 nm、メタンは 288.4 nm、289.2 nm となる。

この波長領域はソーラブラインドと呼ばれる深紫外領域であり、太陽光スペクトルは 304 nm より短波長側にてオゾン層の光吸収により地表面にごくわずかししか到達しない。このため、266 nm のレーザの適用により、太陽光の影響を大きく低減することが可能となる。

4. 装置構成

Fig.2 に実用モデルとして開発した小型マルチガスラマン LIDAR の構成を、Fig.3 に外観を示す。

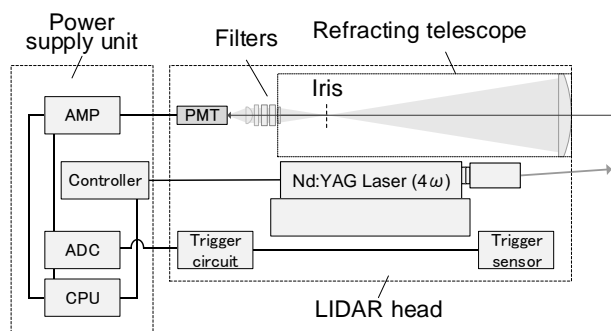


Fig.2 Configuration of multi-gas Raman LIDAR

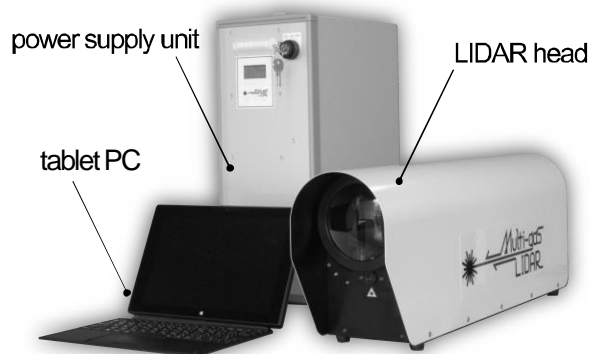


Fig.3 Appearance of multi-gas LIDAR

LIDAR 光学系は、光送受信軸が分離された biaxial 型とした。本方式は、受信光軸に対し送信光軸のなす角度に依存するブラインドエリアが生じる一方、他の形式と比較して構成が容易であり、送信ビームに起因するノイズ成分が少ないといった特徴を持つ³⁾。送信光学系には DPSS レーザ(波長 266 nm, パルスエネルギー 50 μ J, パルス幅 1.3 ns, PRF100 Hz)を、受信光学系には屈折式望遠鏡(有効径 ϕ 93 mm)を用いた。望遠鏡により集光したラマン散乱光は、エッジフィルタ(OD 値 $>$ 6)によるレーザ波長成分の除去と干渉フィルタによるラマン散乱光の抽出を経て、光電子増倍管で受光される。

検出した短パルスのラマン散乱光は時間波形

として高精度にデジタル信号として取得する必要がある。このため、電源ユニットに内蔵したサンプルレート 3 GS/s の高速 A/D 変換が可能な信号処理系を用いて信号を取得する。

5. 実験結果

Fig.4 に水素ガスの昼間屋外遠隔計測結果を示す。離隔距離を 8 m として開放型のガスセル(有効光路長 200 mm)から水素 3.52% をフローさせた。

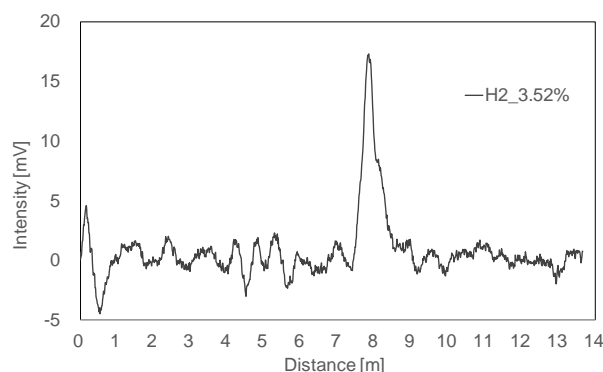


Fig.4 Raman echo waveform of hydrogen

Fig.4 から、ラマンエコーのピーク値は約 17 mV である。この時の 1% 水素を換算すると約 5 mV であり、S/N 比を 2:1 として、水素検出下限は 1% である。この結果より、屋外環境下で 8 m の離隔距離にて濃度 1% 水素ガスが検知可能であることを実験的に確認することができた。

6. まとめ

複数のガス種に適用可能なガス濃度遠隔計測技術の研究開発を行った。講演では加えて、メタンの屋外計測結果についても報告する。今後は実用モデルの問題点を見定め、装置の改善を目指す。

謝 辞

本研究開発の一部は、平成 26~29 年度 NEDO 水素利用技術研究開発事業の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 朝日一平 他：「低出力レーザによる水素ガス濃度遠隔計測」, 電気学会論文誌 C, Vol.130, No.7, pp.1145-1150 (2010)
- 2) T. Fujii, T. Fukuchi: "Laser Remote Sensing", Taylor & Francis, pp.1-36 (2005)
- 3) 椎名達雄：「近距離ライダの光学設計」, 電気学会 C 部門大会予稿集, OSI-2, pp.548-553 (2011)