

深紫外マイクロチップレーザを用いた高空間分解能小型水素ライダの開発

荻田 将一¹, 杉本 幸代¹, 三木 啓史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 high-resolution compact Hydrogen LIDAR using DUV Micro Chip Laser

Masakazu OGITA¹, Sachiyo SUGIMOTO¹, Hirofumi MIKI¹, Ippei ASAH¹, 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: Solar spectrum measured on the ground surface exists on the longer wavelength side than 304nm. Hydrogen Raman scattering wavelength pumped with a laser beam wavelength of 266 nm in the deep ultraviolet region is 299.1 nm. Therefore, the solar light influences to Hydrogen Raman scattering wavelength at 299.1nm is small. We developed a compact Raman LIDAR for Hydrogen gas using 266nm Micro-Chip laser which achieved a high spatial resolution. In this paper, we describe the system configuration and its measurement examples.

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

1. 背景

2020年の東京オリンピック開催に向けた、水素エネルギー利用の各種施策が推進されている中、製造、搬送、貯蔵といった様々な場面で水素ガスの漏洩位置を探索する技術のニーズが日々高まっている。現在の漏洩位置特定手法は検漏液を用いた発泡検査が主流であり、検査員が漏洩箇所近づいて行う接触計測であるため、安全性と漏洩位置の特定に時間を要するといった課題がある。これらの状況に鑑み、我々が今まで研究開発を行ってきたガス遠隔計測技術¹⁾を用いて、現場での使用が可能な水素ガスの漏洩位置探索装置の実現を目標に研究開発を行った。水素ステーションでの使用を想定し、屋外計測が可能な装置として、深紫外域波長のマイクロチップレーザを用いた水素ライダ²⁾の設計を行った。実施概要及び水素ガス計測結果事例等について報告する。

2. 計測手法

2.1 ラマンライダシステム

本稿では、ライダエコーとしてラマン散乱光を捉える手法を用いて水素ガスの遠隔計測を行う³⁾。ライダ計測としては近距離である10m程度を観測対象とし、ライダシステムの送受信光学系の形式は汎用性とノイズ低減の観点から光送受信軸が分離されたbiaxial型(双頭型)を適用した⁴⁾。ラマン散乱光のエネルギー変化量(ラマンシフト)は分子種によって固有であり⁵⁾、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により、複数のガスが存在する環境下でも、対象とするガスのみを分離検出が可能となる。

2.2 深紫外マイクロチップレーザの適用

屋外計測時における太陽光の影響を考慮し、送受信光学系の光源にNd:YAGの第4高調波(266nm)

のマイクロチップDPSSレーザ⁶⁾を用いた。地表で観測される太陽光のスペクトルはほぼ304nmより長波長側に存在している。第3高調波(355nm)で励起した場合の水素ラマン波長は416.5nmであり、屋外で計測する場合においては強力な太陽光の影響を受ける。一方、深紫外域の266nmで励起した場合の水素ラマン波長は299.1nmであり、これを用いれば、計測時の太陽光の影響を大きく低減することが可能となる。Table 1に大気中の主成分である窒素、酸素、水蒸気及び被検ガスである水素のラマンシフト及び、355nmと266nmのレーザを照射した場合のそれぞれのラマン散乱波長を示す。

Table 1 Each molecule species Raman shift and Raman scattering wavelength

Molecular species	Raman shift [cm ⁻¹]	Raman scattering wavelength[nm]	
		355 ex.	266 ex.
O ₂	1556.0	375.8	277.5
N ₂	2330.7	387.0	283.6
H ₂ O	3651.7	407.9	294.6
H ₂	4160.2	416.5	299.1

ライダ計測における空間分解能は送信レーザ光のパルス幅に依存する。本装置は、10m程度の近距離での測距を行うため、従来のライダシステムにおける数m~数十mオーダーの空間分解能に対し、少なくとも10倍以上の高い空間分解能が必要となる。数ns~数百psでパルス発振のレーザを用いると、空間分解能は数cm~十数cmとなり、従来のライダシステムと比較して大幅な高空間分解能化が実現できる。加えて、ラマン散乱光の強度は、レーザ光の瞬間的な尖頭出力に依存するため、短パルスのレーザを用いることで、励起エネルギーを実質的には抑えることができる。

3. 装置構成

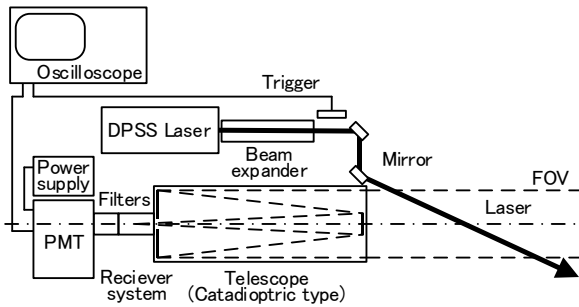


Fig.1 Configuration of Raman LIDAR system

Fig.1 に製作したラマンライダシステムの装置構成を示す。送信光学系の光源にはマイクロチップ DPSS レーザ(波長 266nm, パルスエネルギー 50 μ J, パルス幅 1.3ns, パルス繰返し周波数 100Hz)を、受信光学系にはカタディオプトリック式望遠鏡(有効径 Φ 95mm, 焦点距離 1050mm)を用いた。レーザー光は放射後、ビームエキスパンダによりコリメートされ観測空間中に照射される。これに伴って生じるラマン散乱光は、望遠鏡によって受信光学系内に集光され、エッジフィルタ(266nm 遮断率 $<10^{-6}$)によるレーザー波長成分の除去と干渉フィルタ(中心波長 302nm, 半値全幅 10nm)による水素のラマン散乱光の抽出を経て、光電子増倍管に結合される。得られた短パルスのラマン散乱光を、時間波形で正確にデジタル信号として取得するために、我々が開発を行った高速 A/D 変換機能を用いる高速デジタルイザを用いて信号を取得した。試作したライダシステムのヘッド部(送受信系)の寸法は W500 \times D300 \times H150mm であり、従来型との体積比 2/3 以上が実現できる。

4. 実験結果

試作した水素ラマンライダを用いて、空間分解能の評価を行った。ライダの視野内にハードターゲットを配置し、その反射光をエコーとして検出した。実験結果を Fig.2 に示す。ターゲットの位置をレーザー光のパルス幅から求めた空間分解能($\Delta r=20$ cm)程度の 20cm 毎で移動させた場合のライダエコー信号を比較することで、本装置の空間分解能を評価した。Fig.2 に示す様に、20cm 間隔で取得したライダエコーがいずれもパルス光として検出されている。実施した計測では、ライダシステムの感度に空間的な分布があるため、各計測位置毎にライダエコー強度は変動するが、ここでは評価のため、信号強度は規格化して表記している。空間分解能について見ると、それぞれ隣接するパルス波形についてピークが確認できる一方で、信号強度約 80%で波形が重なっている。波形の分解能を半値全幅の 50%における分離で評価した場合、本装置の空間分解能は約 30cm となり、パルス幅から求めた空間分解能に対し広がっている。これは、主に検出器に用いた光電子増倍管の応答速度の影響により、パルス光が時間的に広がって検出されていることに由来するもの

と推察される。しかしながら、一般的なライダシステムと比較すると十分に高い空間分解能が実現されており、本装置によれば、30cm 程度の分解能で位置の特定が可能となる。

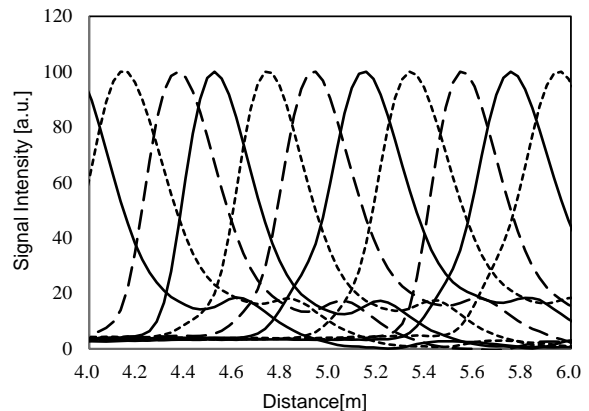


Fig.2 Evaluation results of spatial resolution

5. まとめ

高い空間分解能を有する水素ラマンライダシステムの実現に向け、試作機の研究開発と機能試験を行った。本装置の空間分解能は約 30cm であり、通常のライダシステムと比較して大幅な空間分解能の向上を実現した。発表では励起波長毎の背景光(太陽光)の影響の比較や、低濃度時の感度評価等の実験結果事例について報告する。

今後は、ライダシステムの小型化、高性能化を進め、更なる高分解能化の実現や、他のガス種への応用など、実用化に向けた研究開発を進めていく予定である。

謝 辞

本研究開発の一部は、平成 26~28 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:「低出力レーザー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) 鹿野哲夫 他:「大気環境のレーザー・リモートセンシング -レーザー・レーダシステム-」, 環境科学年報 -信州大学-, 第 12 巻, pp.1-11 (1990)
- 4) 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)
- 5) R. M. Measures: “Laser Remote Sensing”, John Wiley and Sons, New York, p.108 (1984)
- 6) レーザー学会編:「レーザーハンドブック」, オーム社, pp.311-319(2005)