

# LED ミニラマンライダーによる水素計測 Hydrogen Measurement by LED mini-Raman Lidar

千葉大学大学院融合科学研究科 ○椎名達雄、  
千葉工業大学工学部 野口和夫、  
中部電力原子力安全技術研究所 辻健二  
Chiba University, °Tatsuo Shiina  
Chiba Institute of Technology, Kazuo Noguchi,  
Chubu Electric Power Co., Inc. Kenji Tsuji

**Abstract:** In this study, LED mini-Raman lidar has been developed for hydrogen gas detection. The LED mini-Raman lidar takes place of the compact Raman lidar of DPSS laser. The transmitting power of LED pulse module is <1W, while it is enough sensitive to detect the Raman echo of a few tens meters. The quantitative measurement can be accomplished by the ratio of hydrogen Raman echo to nitrogen Rama echo. The hydrogen detection was evaluated quantitatively by using this LED mini-lidar.

## 1. はじめに

水素エネルギー社会を迎えるにあたり、安全・安心なインフラ整備の観点から水素ガスの漏洩検知が不可欠である。防爆距離を確保した遠隔計測が望ましいものの、遠隔検知技術が開発、普及していないのが現状である。本研究ではこれまでに DPSS レーザを用いた小型ラマンライダーを開発し、0-50m の検知距離で水素濃度 1% を感知する技術を成し得てきた。<sup>[1][2]</sup>一方で、2011 年の東日本大震災以降、安定した公共電源が見込めない環境下でも正しく水素漏洩状況のモニタリングができる技術の開発が望まれている。そこで、本研究では光源を LED に置き換えて遠隔で水素を検知する LED ミニラマンライダーの開発を行っている。

## 2. LED ミニラマンライダー

LED ミニラマンライダーの実現に当たって、ライダー方程式による数値解析から、1W 相当の出力があれば距離数十 m の範囲でラマン光計測が可能である結果を得た。また、本研究でのラマン散乱光はストークス光を利用しているため、光源波長よりも長波長側に発生する。DPSS レーザを使った水素検知では YLF レーザの第 3 高調波である 349nm を使用した。そこで、LED 光源には日亜化学製パワー LED (NCSU033B) を使用した。波長 365nm でパルス光出力は 1W まで可能である。1 W @ 365nm(10ns) の送信パルス光に対し、ラマン散乱光計測は、水素(430nm)、窒素(400nm)、水 (425nm) および水蒸気(420nm) を捉える。窒素は水素濃度の定量計測に用いる。つまり、大気窒素濃度を一定として、ラマン散乱光の散乱断面積を窒素：水素 = 1：3 としてその比をとることで定量化している。水蒸気 (Water Vapor: WV) および水 (Liquid Water: LW) は大気環境の変化を捉える目的で同時に計測している。

LED ミニラマンライダーの光学系を Fig.1 に示す。送受信には独立した光学系を使用し、双頭型としている。受信光はダイクロイックフィルタで 400nm の窒素ラマン散乱光を反射させ、PMT1 で受光する。それより長波長側の散乱光はダイクロイックフィルタを透過し、フィルタホイールで干渉フィルタを切り替えて、PMT2 で受光する。Table1 に LED ミニラマンライダー仕様を示す。送信ビーム広がり 10mrad. で受信視野角 5mrad. より広い。数値解析から受光視野には送信光の 40%ほどが入射する。別の観点では送受信視野のアライメントがラフで済む。

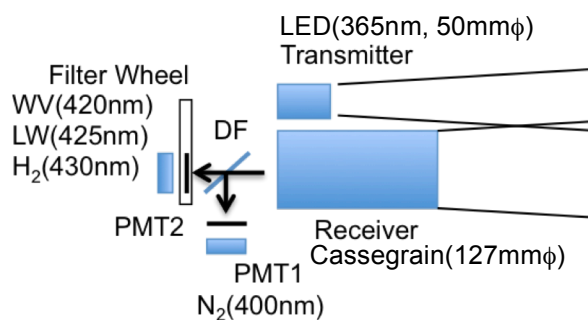


Fig.1 Optical Setup of LED mini-Raman lidar.

Table 1 LED mini-Raman lidar specification.

Transmitter	
LED Pulse Power	750mW (=10.0nJ/12.5ns)
Wavelength	365nm
Beam Diameter	50mmφ
Beam Divergence	10mrad.
Repetition Frequency	>450kHz
Receiver	
Telescoe	Cassegrain
Diameter	127mmφ
Field of View	<5mrad.
Interferene Filter	$\Delta \lambda = 10\text{nm}$
Detector	Photomultiplier

### 3. 水素測定実験と結果考察

大気計測実験では、大気窒素、水蒸気、ならびに水ラマンエコーの計測を行い、25-40m の計測範囲で受信可能であることを確認している。<sup>[3]</sup> 水素ガスの検出実験では、パイレックスガラスを用いた大型の水素ガスチャンバ(200mmφ x 500mm)を製作し、チャンバ内に流入させる水素ガス量を変化させることで、濃度変化に対するエコー量の測定を行った。水素チャンバを含む実験の構成を Fig.2 に示す。水素ラマン散乱光の測定は5 m の距離から行った。その際、送受信光学系を分離して、チャンバに入射しやすい配置をとった。入射光は広がりを持つが、チャンバの光入出力窓の内部を通り抜けることを確認している。

実際に測定された水素ラマンエコーの波形を Fig.3 に示す。LED 送信光のパルス幅は 12.8ns ある。また、用いたホトンカウンタの BIN 幅 (空間分解能) は 10ns(1.5m)であるため、ジッターによって $\pm 1.5m$ 、つまり 3 m ほどにまで広がったエコー波形となったことがわかる。12m の位置に現れているのは壁からの蛍光である。5 m 位置のピーク波形は 10 分の積算による結果であり、その水素エコーのピーク値にはチャンバ反射が一定量含まれるものの水素ガス濃度を反映している。本研究ではこのピーク値を用いて定量評価を行った。

水素濃度を変化させた際のエコー光量の測定結果を Fig.4 に示す。水素濃度は同時計測した大気窒素の濃度を一定として、測定の揺らぎを補正して評価している。水素ガス濃度の変化は空気と水素の混合によって与えている。実験ではパイレックスガラスの大気圧耐性を考慮して水素ガス濃度を 25%・75%で変化させた。Fig.4 の結果では、水素ガス濃度の変化に対して線形的な変化を捉えることができている。測定のばらつきはチャンバの設置状況に依存したものである。定量評価時の水素濃度に対するラマンエコーのカウンtrateは 1714counts/1%となった。今後さらなる低濃度での計測が期待できる。

実際の現場の測定では 10 分の積算時間は定点計測であれば十分な状況評価が得られる。つまり、装置を固定し、10 分毎にデータが出力されるような使い方である。また、同時に水蒸気や水ラマンエコーをモニタリングすることで測定大気環境の変化をいち早く捉え、状況判断に即する危機情報の提供を行うことが期待できる。

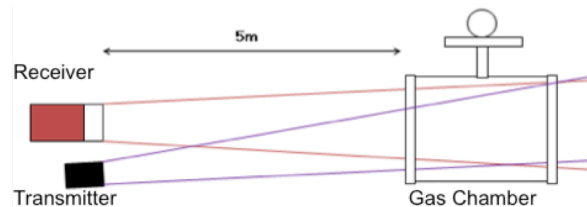


Fig.2 Hydrogen gas detection.

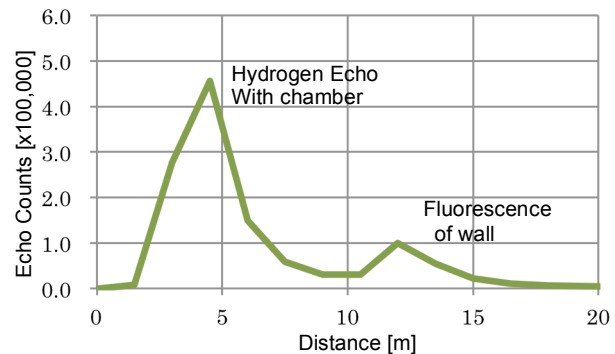


Fig.3 Hydrogen Raman echo.

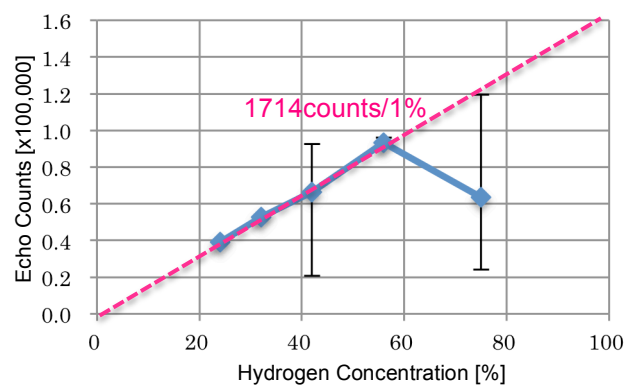


Fig.4 Echo counts vs. hydrogen concentration.

### 参考文献

- [1] Y. Noguchi et al, CLEO Pacific Rim 2011, pp.846-847, 2011.
- [2] 二宮英樹、朝日一平、杉本幸代、島本有造、電機学会論文誌 C、Vol.129, No.7, pp.11181-1185, 2009.
- [3] 千明倫之他、第 32 回レーザセンシングシンポジウム、pp.42-43, 2014.