

# LED ミニラマンライダーによる水素ガス定量計測

椎名 達雄<sup>1</sup>, 辻 建二<sup>2</sup>, 杉本 幸代<sup>3</sup>, 朝日 一平<sup>3</sup>

<sup>1</sup>千葉大学 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

<sup>2</sup>中部電力 原子力安全技術研究所 (〒437-1604 静岡県御前崎市佐倉 5561)

<sup>3</sup>四国総合研究所 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8)

## Hydrogen Gas quantitative Measurement by LED mini-Raman Lidar

Tatsuo SHIINA<sup>1</sup>, Kenji TSUJI<sup>2</sup>, Sachiyo SUGIMOTO<sup>3</sup> and Ippei ASAHI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522 Japan

<sup>2</sup>Chubu Electric Power Co., 5561 Sakura, Omaezaki-shi, Sizuoka 437-1604 Japan

<sup>3</sup>Shikoku Research Institute, 2109-8 Yashimanishi-machi, Takamatsu-shi, Kagawa 761-0192 Japan

**Abstract:** LED based mini-Raman lidar was developed. In order to compensate the low pulse energy, the pulse repetition frequency was increased to 500kHz. The specialized high speed and high resolution photon counter was developed, too. The quantitative measurement of hydrogen gas concentration was conducted. The successful result was obtained up to the low concentration of a few %. We considered the UV-LD installation into the mini-Raman lidar for antipanic use.

**Key Words:** hydrogen, LED, lidar, NUV, Raman

### 1. はじめに

電力インフラの安全管理において、水素ガスの発生をモニタリングする必要性が改めて注目されている。接触式のセンサは高感度であるものの、時間応答性、作業者の安全性、空間濃度分布の把握等に課題が残る。一方で、災害時等の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遠隔でのモニタリングができる技術の開発が望まれている。本研究ではこのような背景のもと、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。<sup>1)</sup>

LEDをライダー光源として使用することは光が集光しないことの安全性の他、ラフな扱いを許容し、かつ小型化が容易といった特徴をもつ。LDと比べた場合にも熱処理や精密な温度管理が不要といったメリットがある。一方、送信光がコリメートしにくいいため、送受信光学系に配慮が必要になる。

LEDパルス光が微弱(<10nJ/10ns)であるだけでなく、Raman散乱光はMie散乱光強度よりも3桁小さい。そこでLED光源のタフさを利用した高繰返し周波数(~500kHz)によってSN比を向上させる工夫をしている。さらに、LEDの繰返し周波数に追従した高速高分解の光子カウンタを開発している。

本報告では、開発したLEDミニラマンライダーによる水素濃度の定量計測について述べるとともに、機動性を考慮したUV-LDの導入に関しても言及する。

### 2. LEDミニラマンライダーシステム

水素ガスは可視-近赤外領域に明瞭な吸収線を持たない。そこで分子固有のRaman散乱光を利用した計測手法を採用している<sup>2)</sup>。NUV-LED光源には日亜化学製パワーLED(NCSU033B)を使用した。1W@365nm(10ns)の送信パルス光に対し、Raman散乱光計測は、窒素(400nm)、水蒸気(420nm)、水素(430nm)を捉える。窒素は水素濃度の定量計測に用いる。水蒸気は大気環境の変化を捉える目的で用意している。

LEDミニラマンライダーの光学系をFig.1に示す。送受信は双頭型である。送信光は50mmφで広がり角は10mradである。受信光は127mmφのカセグレン式望遠鏡で集光する。受光視野角は5mradで送信ビームの一部を受光する。送受信効率は低くなる(<40%)ものの、精密なアライメントが不要となる。ダイクロイックフィルタで400nmの窒素Raman散乱光を反射させ、PMT1で受光する。それより長波長側のRaman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の仕様をまとめる。

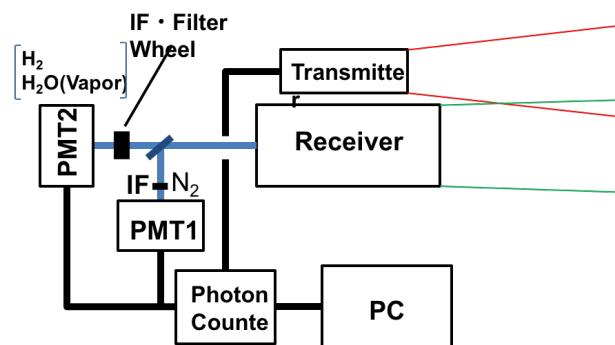


Fig.1 LED mini-Raman lidar.

Table 1 LED mini-Raman lidar Specification.

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

### 3. 水素定量計測

水素ガス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、チャンバ内の水素ガス濃度の変化に対するラマン散乱光エコー量の測定を行った。実験の構成を Fig.2 に示す。測定距離は 5 m とし、積算時間は 3 分 30 秒で実験を行なった。水素ガス濃度の変化は 100%濃度の水素ガスを空気で 0.5 気圧に減圧したチャンバに充填し、再度 0.5 気圧減圧して再び 100%濃度の水素ガスを充填している。その状態(75%)から、0.5 気圧の減圧、0.5 気圧空気の充填を繰返し、水素濃度を減少させていった。

Fig.3 に定量計測の結果を示す。上記濃度変化の手順に従って 75%濃度から 1%濃度まで変化させ、ラマンエコーを計測した。パイレックスガラスからの蛍光が計測値に含まれるため、空気を充填させた際のカウント値で正規化して評価した。低濃度まで線形的な変化を捉えることができています。測定値のばらつきは水素濃度に依存するものであり、また、水素濃度 0%でカウント値が 0 になっていないことも同様の理由によると考えている。開発当初は送信光のコリメートに UV 光透過性材料のフレネルレンズを使用していたが、送信効率向上のため、非球面レンズに変更した。その結果として 10 分積算していた前回の報告<sup>3)</sup>と比べ、積算時間を短縮しながら、低濃度時の定量計測を実現できるようになった。

### 4. UV-LD 導入の検討

測定環境に設置して常時計測を行うには 3 分毎の計測結果で十分実用になる。一方、災害時には機動性が求められ、その際にはより迅速な測定が不可欠となる。そこで、UV-LD の導入を検討した。浜松ホトニクス社製 UV-LD (337nm, Peak 出力 1W[max])<sup>4)</sup>を用いて LED の場合と同様の水素濃度の定量計測を行なった。LD ビームはコリメート性がよいため、水素チャンバは口径を 10cm とし、チャンバ長を 1.5m のものを用意した。水素ガスの濃度は窒素ガスとの混合により、接触式センサでその場計測して確認した。

実験の結果を Fig.4 に示す。パルス幅は<5ns と LED パルス光と比べても狭く、パルス繰返しも 5kHz と低いため同じ積算時間でもエコーカウント値が低い。そのため測定値のばらつきが大きくなったが、それでも低濃度まで線形的な測定値の変化を得ることができた。送信ビーム径ならびに広がり角が狭いため、現場でのスポット計測にも有効である。現状では繰返し周波数が低い、今後の技術開発によってその向上が実現できれば、積算時間の短縮も可能である。

### 5. まとめ

LED を光源としたミニラマンライダーを開発し、水素ガス濃度の定量計測を実現した。単に送信光量を下げただけではなく、パルス光の高繰返しとそれに追従したホトンカウンタの開発によって、低濃度までの線形的な結果を得ることができた。

実験では UV-LD の導入によるミニラマンライダーの機動性についても検討を行い、LED 光の場合と同様の定量計測の可能性を得た。現状の UV-LD は出力が NUV-LED と同等であるものの、繰返し周波数が 1/100 と低い。今後の開発によって災害現場でも機動性を確保した遠隔測定の実現が期待される。

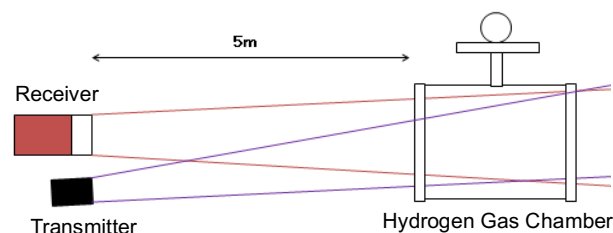


Fig.2 Experimental setup of hydrogen gas quantitative measurement.

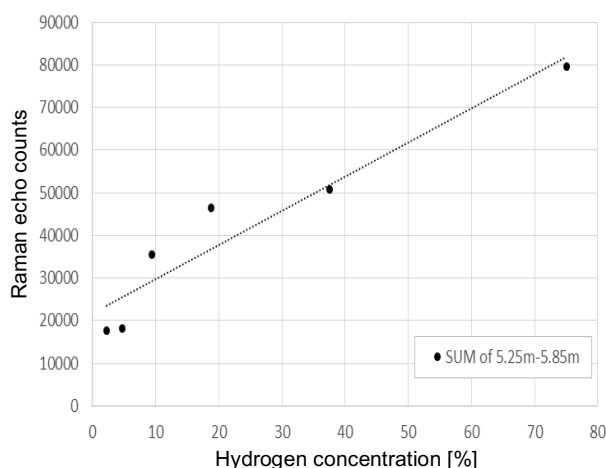


Fig.3 Measurement result of hydrogen gas detection by LED mini-Raman lidar.

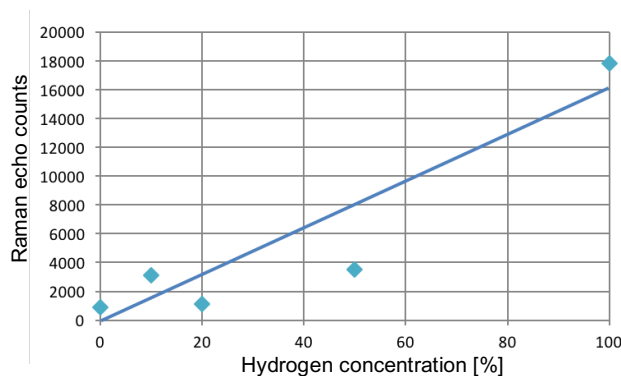


Fig. 4 Hydrogen gas measurement by UV-LD based mini-Raman lidar.

### 参考文献

- 1) T. Shiina, et al: ICONE23, pp.1640-1 – 1640-6, 2015.
- 2) 二宮 英樹他、電機学会論文誌 C、Vol.129, No.7, pp.11181-1185, 2009.
- 3) 椎名 達雄他：第 33 回レーザセンシングシンポジウム講演予稿集, p.86-87, 2015.
- 4) 前田 純也他、第 34 回レーザセンシングシンポジウム講演予稿集, p.2-3, 2016.