

水素漏洩検知用小型ラマンライダーの送受信効率の改善□

Improvement of transmission and reception efficiency of compact Raman lidar for hydrogen gas leak detection

宮□広明, 椎名□達雄, □野口□由太郎(千葉大学)□
 野口□和夫(千葉工業大学), 福地□哲生(電力中央研究所)□
 朝日□一平, 杉本□幸代, 二宮□英樹, 島本□有造(四国総合研究所)□

Hiroaki Miya, Tatsuo Shiina, Noguchi Yutaro (Chiba University),
 Kazuo Noguchi (Chiba Institute of technology), Testuo Fukuchi (CRIEPI),
 Ippei Asahi, Sachiyo Sugimoto, Hideki Ninomiya, Yuzo Shimamoto (Shikoku Research Institute)

Abstract

An in-line type compact Raman lidar system for hydrogen gas leak detection was constructed. It ensures eye safety by reducing the irradiating laser power and expanding beam to 4mm ϕ . Thanks to improving the efficiency of transmission and reception, Raman scattering light from N₂ gas at a distance of nearly 30m could be detected.

1. はじめに

□ エネルギー源としての水素に注目が集まる中、安全対策のため、漏洩した水素ガスを検知する装置が必要となる。現在の水素センサはほとんどが接触型であり、風向きや設置場所によっては吸引したガスがセンサ部に接触せず、失報や誤報を引き起こす恐れがある。そのため、1台の装置で遠方から安全に、かつ確実に検知する技術が求められている。

大気中にレーザーを照射すると、分子運動の影響を受けてレーザー波長に対して長波長側にシフトした波長のラマン散乱光が発生する。ガス種毎に発生するラマン散乱光の波長が異なることから、ラマン散乱光の波長選択によりガス種を選別することができる。本研究ではこれまでレーザーエネルギー6mJのライダー[1]で、窒素と水素によるラマン散乱光の同時計測により、水素濃度を求めることに成功している[2]。その結果を受けて、本研究ではレーザーエネルギーを下げて目に対する安全性を確保し、さらに開口径50mmのレンズを用いて小型化した装置の開発を目的としている。

2. ライダーシステム構成

□ インライン型ラマンライダーの構成を Fig.1 に、特性を Table.1 に示す。インライン型を採用することで視野角を狭めることができ、近距離からの計測が可能となっている[3]。本装置では光源としてエネルギー120 μ J@349nm, パルス幅5nsのDPSSレーザーを用いた。レーザーからの光はダイクロイックミラー(1)を用いて反射し、2枚のレンズによってビーム径を約4mmに広げて出射する。レンズ間には400 μ m ϕ のピンホールを設置し、視野角は2.47mradに調整した。

□ 水素、窒素のラマンシフトはそれぞれ4160, 2331cm⁻¹であり、レーザー波長に対応するラマン散乱光波長は、408, 380nmとなる。長波長側にシフトしたラマン散乱光はダイクロイックミラー(1)を透過し、ダイクロイックミラー(2)で水素、窒素のラマン散乱光に分けられる。ダイクロイックミラー(1)は、レーザー光を99.0%以上反射し、水素および窒素のラマン散乱光を98.3%以上透過する。また背景光を除去してラマン光を選択する干渉フィルタの透過波長幅は3nmである。背景光を抑えるための干渉フィルタに加え、それぞれのPMTの前には蛍光や迷光を防ぐ目的でスペーシャルフィルタ(3mm ϕ)、ロングウェーブパスエッジフィルタ(355nm)を設置した。装置のサイズは(L \times W \times H)=580 \times 360 \times 230cmと小型の構成を実現した。

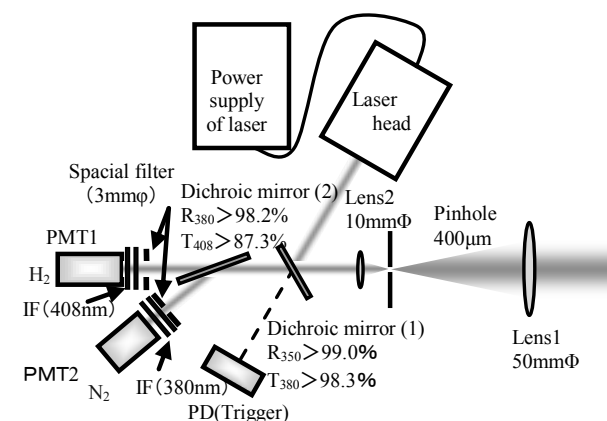


Fig. 1 Optical layout of compact Raman lidar.

Table 1 Specifications of lidar.

| Laser | |
|-------------------------------------|--|
| Type | LD pumped Nd:YLF laser |
| Wavelength | 349 nm |
| Pulse Energy | 120 μ J |
| Pulse Width | < 5 ns |
| Beam Divergence | < 3.5 mrad |
| Repetition Rate | 1-5 kHz |
| Receiver | |
| Type | Photomultiplier module |
| Risetime | 0.78 ns |
| FOV | 2.5 mrad |
| Dimension (L \times W \times H) | (L \times W \times H)=580 \times 306 \times 230 mm |

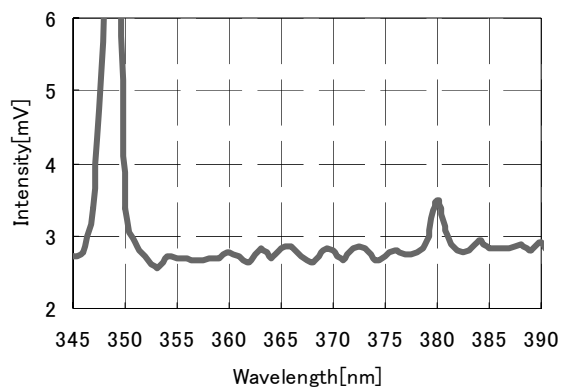


Fig. 2 Spectrum of Raman scattering from N₂ gas.

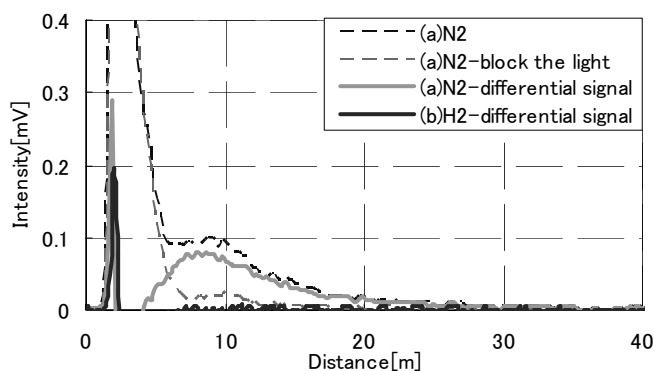


Fig.3 Lidar echoes with (a) PMT (380nm) (b) PMT (408nm).

3. ラマン散乱光計測結果

まず、レーザー単体と分光器を用いて窒素からのラマン散乱光の強度を測定した。ガスセルに窒素を約 2.5N/m² 充填してレーザーをセルに通過させると、大気中よりも強い窒素のラマン散乱光が発生する。レーザー光の方向と垂直の向きに分光器に置き、発生するラマン散乱光を測定した(Fig.2)。測定した信号強度は約 2.7V の DC 電圧に対して 349nm と 380nm の波長にピークが観測される。DC 電圧は背景光や測定器の雑音であり、349nm のピークはレーザー光の信号、380nm のピークは窒素のラマン散乱光の信号である。窒素のラマン散乱光は雑音に対して約 0.7mV の信号が現れている。

さらに、ライダーシステムを用いて、大気中にレーザーを射出した状態で窒素、水素用 PMT で同時計測を行った(Fig.3)。積算回数は 32768 回とした。伝播距離 5m 以内においては装置内の蛍光や迷光によってラマン散乱光が計測できていない。伝播距離 5m 以遠においては、レーザーを大気中へ射出した場合(N₂)と、黒い布を用いてレーザー光を装置の射出口のすぐ前で遮った場合(N₂-block the light)との差分を求めることにより N₂ のラマン散乱光が 5m から 30m の範囲で観測できた(N₂-differential signal)。これは、黒い布と光学部品からの蛍光信号の時間依存性がほぼ同等であるため、差分を求めることで蛍光の影響が除去できることを示している。

一方、水素用 PMT からの信号は、大気中にレーザーを射出した場合と、布で遮った場合の差分はほぼゼロになっている(H₂-differential signal)。これは、水素からのラマン散乱光波長において背景光の影響が殆どないことを示している。

4. まとめ

水素漏洩検知用のインライン型ライダーの開発を行った。インライン光学系を採用したことで、近距離からのラマン散乱光の取得が可能となっている。ダイクロイックミラー、干渉フィルタの性能を向上することで送受信光の効率を上げ、大気中の窒素からのラマン散乱光を検出可能な距離を 12m から 30m 近くまで延長することができた。

水素のラマン散乱断面積は窒素の 3~4 倍であることから、窒素からの信号が見えたことで本装置は水素からの信号を得るのに十分な感度を有していると考えられる。よって、本研究の目的である、「4%以下の水素ガスを 5~50m の範囲で検知する」という課題に対して、窒素と水素の波長選択性を向上し、ゲイン 20dB のアンプを使用することで、50m までの検知が可能であると考えている。今後は、窒素、水素ガスをセルに充填し、水素ガス濃度の定量化を目指す。

5. 参考文献

- [1] M.D.Ray, A.J.Sedlacek and M.Wu, "Ultraviolet mini-Raman lidar for stand-off, in-situ identification of chemical surface contaminants", Review of Scientific Instruments. Vol.71, Num.9, September 2000
- [2] 朝日一平, 二宮英樹, 杉本幸代, 島本有造, "水素ガス濃度遠隔計測装置の開発", 第 26 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集, pp.154-157, 2008
- [3] T. Shiina, E. Minami, M. Ito, and Y. Okamura, "Optical Circulator for In-line Type Compact Lidar", Applied Optics, Vol.41, No.19, pp.3900-3905, 2002