

# 小型ラマンライダーによる低濃度水素ガスの定量評価

Quantitative evaluation of low concentrated hydrogen gas by compact Raman lidar

野口 由太郎, 椎名 達雄(千葉大院),

野口 和夫(千葉工業大学), 福地 哲生(電力中央研究所),

二宮 英樹, 朝日 一平, 杉本 幸代, 島本 有造(四国総合研究所)

Yutaro Noguchi, Tatsuo Shiina (Chiba University),

Kazuo Noguchi (Chiba Institute of technology), Tetsuo Fukuchi (CRIEPI),

Hideki Ninomiya, Ippei Asahi, Sachiyo Sugimoto, Yuzo Shimamoto (Shikoku Research Institute)

## Abstract

The compact Raman lidar for leaked hydrogen gas detection measured atmospheric nitrogen molecules. Thanks to the in-line optics, the measurement result corrected by the overlap function showed that it could detect Raman scattering echo from 2m to 50m. It also detected hydrogen gas concentration of 100% to 13% in the gas cell at 7.5m. The Raman signal intensity of hydrogen gas was linearly proportional to the gas concentration.

## 1. はじめに

本研究では、漏洩した水素ガスによる爆発事故を未然に防ぐために、水素ガス検出用小型ラマンライダーの開発を行っている。水素ガスからラマン散乱光を検出することで、水素ガスの漏洩箇所を遠方から安全に検出することができる。また、大気中の窒素を同時計測することで、両者の信号強度比より大気中における水素濃度を容易に特定することができる。

今回、大気中窒素の計測結果からライダーの視野重なり関数を求め、シミュレーションの値と比較した。また、計測結果の距離二乗補正值に対し視野重なり関数による補正を行いライダーのエコー特性を評価した。さらに、ガスセル中に充填された濃度13~100%の水素ガスの計測を行い濃度と信号強度について定量的評価を行った。

## 2. 装置構成

ライダーの構成をFig.1、特性をTable 1に示す。光学系を、送受信が同一の光路となるインライン型にすることで背景光を低減し低出力における近距離からの計測が可能である。レーザーヘッドから出射された光(349nm)はダイクロイックミラー(1)で反射され外部へ送信される。エコーである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(408nm)、窒素(380nm)のラマン散乱光に分けられ、それぞれ光電子増倍管(PMT)で受光される。PMTからの信号はオペアンプで増幅しオシロスコープで波形表示を行う。また、PCとオシロスコープを接続されており、Visual Basicで作成した波形取得プログラムを用いることで計測データの連続自動取得が可能である。装置のサイズは(L×W×H)=580×520×230mm と任意の位置、姿勢での計測が可能となっている。

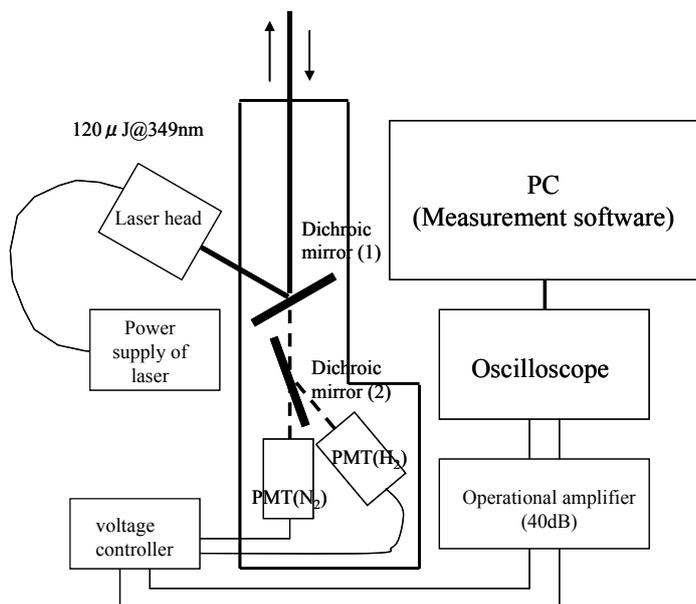


Fig. 1 Compact Raman lidar system.

Table 1 Specification of lidar.

Laser	
Type	LD pumped Nd:YLF laser
Wavelength	349nm
Pulse Energy	120μJ
Pulse Width	<5 ns
Repetition Rate	1 kHz
Receiver	
Type	Photomultiplier module
FOV	2.5mrad
Amplifier	
Frequency Range	DC-300MHz
Gain	40dB
Oscilloscope	
Frequency Range	1GHz
Voltage Resolution	8bit

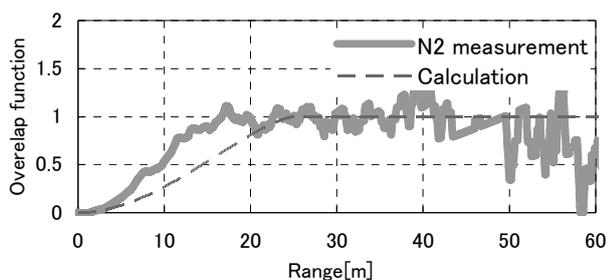


Fig. 2 Overlap function of measurement and calculation.

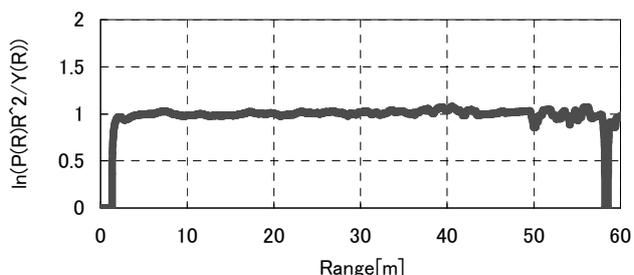


Fig. 3 Measurement signal corrected by overlap function.

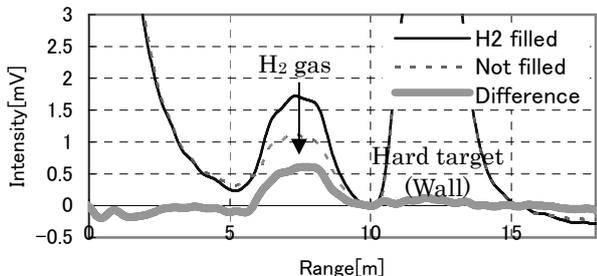


Fig. 4 Detection of hydrogen gas (concentration of 100%).

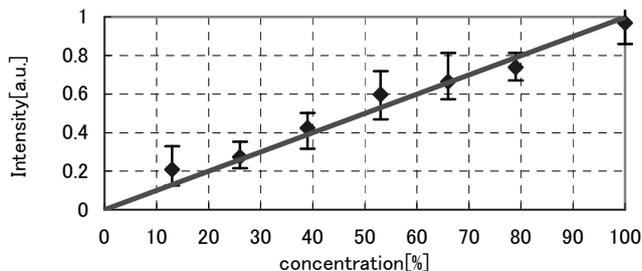


Fig. 5 Hydrogen concentration signal intensity ratio (concentration is 13% to 100%).

### 3. 視野重なり関数による補正

はじめに大気中窒素の計測結果からライダー方程式に基づいてライダーの視野重なり関数を求め、シミュレーションによる計算値との比較をおこなった。結果をFig.2に示す。窒素の計測結果から求めた視野重なり関数を見ると、距離25m以上で送受信視野が重なり、ライダーの受光視野が正しい状態で計測を行えていることがわかる。またシミュレーションの値に比べ、計測結果の方では視野の立ち上がり早い、これはシミュレーションにおける視野角の設定値が2mradであるのに対し、実際には2.5mradであることによる。

次にFig.2の結果である視野重なり関数を用いて大気中窒素計測結果の距離二乗補正値に対する補正を行い、ライダーのエコー特性の評価を行った。Fig.3に補正結果を示す。この結果から、最近距離2mから設計距離50mまでの均一な受光特性が得られた。

### 4. 水素ガス濃度計測

ガスセルに水素ガスを充填し距離7.5mの位置に設置して水素ガス濃度を計測した。濃度100%時における計測結果をFig.4に示す。この結果よりガスセルに水素ガスを充填した状態と未充填の状態とで差分を取ることで水素ガスの位置においてのみピークが生じており、水素からのラマン散乱光が得られていることがわかる。また、濃度を13%~100%変えながら3回ずつ計測を行い、差分のピーク値をプロットした結果をFig.5に示す。この結果より水素ガス濃度と信号強度が線形的に対応することを確認した。また、この計測結果における検量線から濃度の計測誤差は最大13%と見積られた。計測誤差の生じる原因については、大気の状態やレーザーパワーの揺らぎなどが考えられる。これらの揺らぎは、同時に計測した大気中窒素の計測結果を用いて校正を行い抑えることができる。

### 5. まとめ

大気中窒素の計測結果から視野重なり関数を求め、装置構成によるシミュレーションと一致することを確認した。また距離二乗補正結果に対して視野重なり関数を用いて補正を行い距離2mから50mに計測可能であることを示した。さらに濃度13%から100%の水素ガスについて計測を行い、計測結果を定量的に評価した。その結果、水素ガス濃度と信号強度に線形的な関係が見られ、水素ガス濃度の最大計測誤差は13%と見積もられた。今後積算時間の増加や水素窒素の同時計測による信号の校正を行い信号の更なる安定化を図る。

### 6. 参考文献

- [1] 二宮英樹、朝日一平、杉本幸代、島本有造、“ラマン散乱効果を利用した水素ガス濃度遠隔計測技術の開発”、電気学会論文誌C、Vol.129, No.7, pp.1181-1185, 2009
- [2] 野口由太郎、椎名達雄、野口和夫、福地哲生、二宮英樹、朝日一平、杉本幸代、島本有造、“小型ラマンライダーによる水素ガス濃度の定量評価”、第28回レーザーセンシングシンポジウム予稿集