

小型ラマンライダーによる水素ガス濃度の定量評価

Quantitative evaluation of hydrogen gas concentration 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, 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, Yuzo Shimamoto (Shikoku Research Institute)

Abstract

The in-line typed compact Raman lidar could detect Raman scattering echo from nitrogen in the atmosphere at the range of 50m. As a result, we estimated that the developed lidar could detect the hydrogen gas concentration of 1 % at 50m. And we experimentally detected the hydrogen gas concentration of 100% and 50% in a gas cell. That result showed the ability of the developed lidar to detect the hydrogen concentration of at least 1 % at 7.5m.

1. はじめに

本研究は、将来、水素を供給する水素ステーション等での安全対策のために漏洩した水素ガスを検知するためのライダー装置の作製を行っている。水素ガスからのラマン散乱光を検出することにより、遠方から安全、正確に水素ガス漏洩箇所までの距離を特定することができる。さらに大気中の窒素を同時計測することで、信号強度比より大気中における水素濃度を特定することができる。ライダーの検出感度の目標として、距離50mの領域で濃度1%以下の水素ガスの検出を目標としている。

これまでの研究において、製作したライダーの検出感度は十分でなかった。そこで、本研究では感度向上を目的として40dBのアンプを使用した大気中窒素および水素ガス濃度の測定とその定量的評価を行った。

2. ライダーシステム

ライダーの構成をFig.1に、特性をTable 1に示す。光学系はインライン型を採用し、送受信に同一の光学系を用いることで視野角を狭め、低出力で近距離からの計測が可能である。レーザー光はダイクロイックミラー(1)で反射し、外部へ向けて出射される。エコー光はダイクロイックミラー(1)を透過し、さらに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、それぞれ光電子増倍管(PMT)で受光される。各PMTからの信号は倍率40dBのアンプで増幅することで、オシロスコープの電圧分解能以下であった微弱な信号を検出しライダー装置の感度向上を図った。また、電気的ノイズの低減のために、それぞれの配線に銅およびアルミによる電磁シールドを施している。装置のサイズは(L×W×H)=580×520×230mm と車上からの計測が十分可能なサイズとなっている。

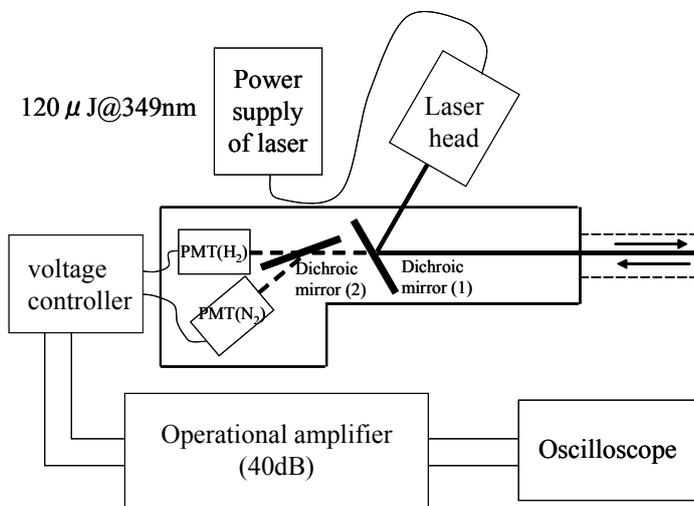


Fig. 1 Compact Raman lidar system.

Table 1 Specification of lidar.

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

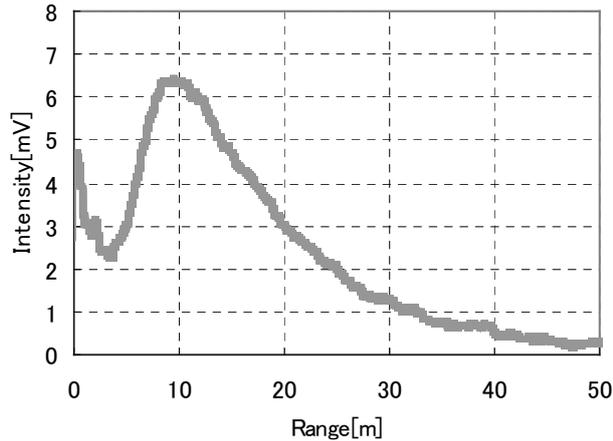


Fig. 2 N₂ measurement in the atmosphere.

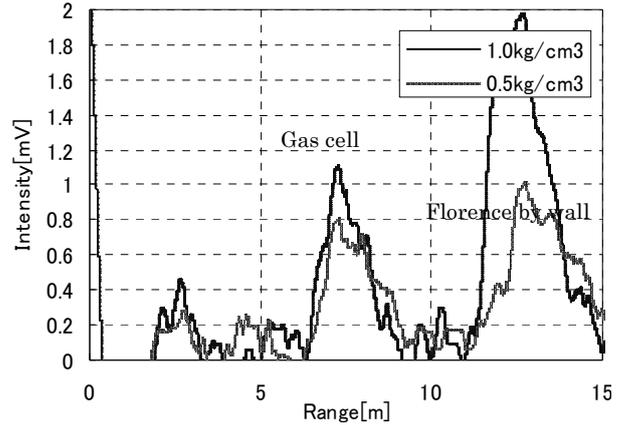


Fig. 3 H₂ measurement in a gas cell.

3. 計測結果

まず、大気中窒素の計測を行った。内部反射を打ち消すため、ライダー開口部を黒い布で遮る前後での差分をとった(Fig.2)。距離5m以内においては内部反射の影響によりラマン散乱光が十分計測できていない。それ以降において、大気中窒素からのラマン散乱光が5m~50mの範囲で観測できた。また、距離50mにおける窒素のラマン信号強度は約0.3mVである。大気中の窒素はほぼ80%の濃度で均一に存在するため、濃度1%の場合に得られる信号強度は3.8 μ Vとなる。水素と窒素のラマン散乱断面積比はおおよそ3:1であるため、距離50mにおける濃度1%の水素から得られるラマン信号強度は11 μ Vと見積もることができる。また、使用したオシロスコープの加算による等価的電圧分解能は最小で5 μ Vであるため、距離50mにおいて大気中濃度1%の水素ガスの検出が可能である。

次に、水素ガスからのラマン光を計測した。約7.5mの位置にガスセルを設置し、ガスセル中に水素ガスを充填する前後で測定を行い、それぞれの信号の差分をとることでガスセルや壁からの反射や蛍光を打ち消した。また、水素を約1気圧充填した時の結果と水素と大気をそれぞれ約0.5気圧ずつ充填した時の結果をFig.2に示す。12~14mにおいては壁からの蛍光が計測されている。ガスセルの位置において水素からのラマン光が検出できていることがわかる。また、1気圧充填した水素の信号強度は約1.1mV、0.5気圧充填した場合は約0.8mVと読み取ることができ、水素濃度が信号強度に対応していることが読み取れた。1気圧充填時(濃度100%)の信号強度を基準とすると、水素から得られる信号強度は濃度10%時には0.11mV、濃度1%時には11 μ Vとなり、オシロスコープの電圧分解能を上回るため、7.5mの位置において濃度1%以下の検出感度を持つと推定される。さらに7.5mにおける窒素のラマン信号強度はFig.2から5.6mVと読み取ることができる。そのことから換算される7.5mの位置における濃度100%の水素からの信号強度は21mVと推定されたが、Fig.3の測定では信号強度が1/10以下の値しか得られなかった。この原因として、信号の積算によりラマン光信号がノイズに埋もれてしまっていることが考えられる。

4. まとめ

水素漏洩検知のための小型ラマンライダーの製作を行い、水素ガス濃度の定量評価を図った。大気中の窒素からの計測を行った結果、距離50mまで大気中の窒素が検出できた。さらに、距離50mにおける窒素からのラマン信号強度から、濃度1%における水素からの信号強度を算出し、現行のライダー装置で検出可能であることを確認した。次に、7.5mの位置にガスセルを置き、大気と混合で水素ガスを濃度100%、50%で充填しガスセルからのラマン光を検出した。また窒素と水素の信号強度を比較し結果の妥当性を定量的に評価した。その結果、濃度による信号強度の違いが確認できた。今後、水素のチャンネルにおいて、ノイズの原因が背景光や蛍光による光学的なものか、アンブや回路における電子的なものかを見極め、対策を施す。

5. 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] 宮広明、“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”、第27回レーザーセンシングシンポジウム予稿集、pp.12-13, 2009