

ラマン効果を用いた小型光学式マルチガスセンサの性能評価

Performance evaluation of compact optical multi gas sensor using Raman effect

杉本幸代¹, 朝日一平¹, 星野礼香¹, 二宮英樹¹, 長峰勝², 高地一美², 萱原祥仁²,
黒田眞司², 藤井達也², 山地貴史², 中元優介², 井上拓², 戸井弘³, 福田和秀³
S. Sugimoto¹, I. Asahi¹, A. Hoshino¹, H. Ninomiya¹, M. Nagamine², K. Takachi², Y. Kayahara²,
S. Kuroda², T. Fujii², T. Yamaji², Y. Nakamoto², T. Inoue², H. Doi³, K. Fukuta³

¹四国総合研究所, ²長峰製作所, ³テクノ・サクセス
¹Shikoku Research Institute, ²Nagamine Manufacturing, ³Techno-success

Abstract

In this study, a compact optical multi gas sensor system using Raman effect was developed and evaluated performance. A laser beam of wavelength 532nm was irradiated hydrogen gas. The Raman scattering light was collected by ball lenses arranged on the sensor chip and was sent to a PMT by an optical fiber. And then the Raman scattering signal intensity was measured. The Raman scattering light from low concentration ($\leq 1\%$) hydrogen gas could be detected.

1. 序論

産業・経済が発展を遂げ、近年、我々の生活は多様化の一途を辿っている。産業においてガス測定器はプロセス管理や排出ガスのモニタリングをするために欠かすことのできないツールである。また、生活水準の向上とともに人々は安全や健康に目を向けるようになり、身の回りを取り巻く環境を知るためにガス測定器を利用している。早く正確にガスの種類や濃度を知る手段として、光学的手法は非常に有効であるが、一般に装置が大型で高価である。そこで著者らはラマン効果を用いた小型センサの開発に取り組み、小型光学式マルチガスセンサシステムを構築した⁽¹⁾。

本報告では、試作したシステムの性能評価として低濃度水素ガスの測定を行った結果について報告を行う。

2. 装置構成

本手法では、被検ガスにレーザー光を照射し、ガスから生じるラマン散乱光強度の測定を行う。

Fig.1 に小型光学式マルチガスセンサシステム (400×450×150[mm])の外観を示す。Fig.1 に示したシステムと測定部であるセンサチップ(30×30×20[mm])を光ファイバにより接続し、レーザー光およびラマン散乱光を伝送した。Fig.2 に水素ガス測定試験の装置構成を示す。光源および受光器は制御部内に配置しており、光源に小型 DPSS レーザ(波長 532nm, パルスエネルギー 200 μ J, パルス幅 9ns, PRF1kHz)を、受光器に光電子増倍管を用いた。ガス



Fig.1. Appearance of compact optical multi gas sensor system.

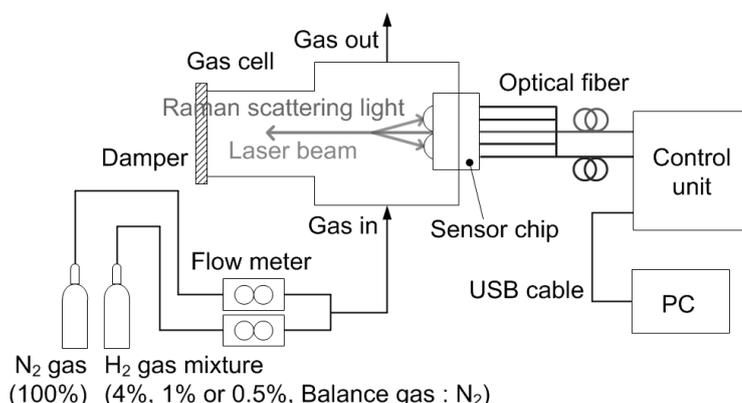


Fig.2. Experimental configuration for measurement of Raman scattering intensity from H₂ gas.

セルにセンサチップを取り付け、セル内に流した水素混合ガスのラマン散乱光を測定した。水素混合ガスは濃度4%、1%または0.5%(バランスガス：窒素)を使用し、流量計を介し100%窒素ガスと混合してガスセル内の水素濃度を調整した。水素混合ガスから生じたラマン散乱光をセンサチップに配置したボールレンズで集光し、集光した光を光ファイバにより伝送した後、レーザ光を遮断するエッジフィルタと水素のラマン散乱光を選択するバンドパスフィルタを介し光電子増倍管に入射した。光電子増倍管により電気信号に変換し、A/Dコンバータによりデジタル化してPCで平均化処理を行った。測定更新周期は1秒である。

3. 実験結果

本実験により得られた0.1%の水素を含む水素・窒素混合ガスの信号波形をFig.3に、ガスセル内の水素ガス濃度を変化させて取得したラマン散乱信号強度をFig.4に示す。

Fig.3に示したバックグラウンド信号は照射したレーザ光の迷光に起因するノイズ信号である。ガスセル内に水素ガスを流したときに得られる受信信号強度からバックグラウンド信号を差し引いた信号が、水素ガスによるラマン散乱信号であり、0.1%水素混合ガスによる信号強度は0.5mVであった。Fig.4に示したとおり、水素ガス濃度を0.1%から4%まで変化させて取得したラマン散乱信号強度はガス濃度に対し良好な線形の相関が認められる。水素ガスについて、爆発下限濃度は4%であり、その1/4の濃度である1%が警報設定値とされている。本システムにより、警報設定値以下の濃度の水素ガスが十分に検知可能である。

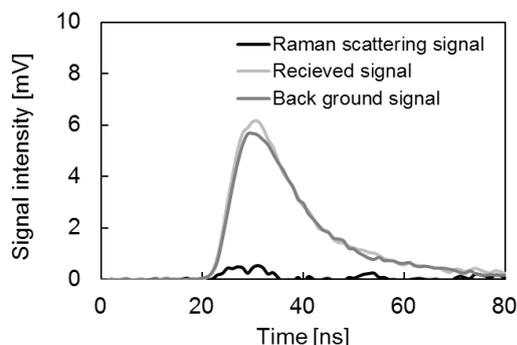


Fig.3. Waveform of Raman scattering signal from H₂ gas mixture (H₂ concentration is 0.1%).

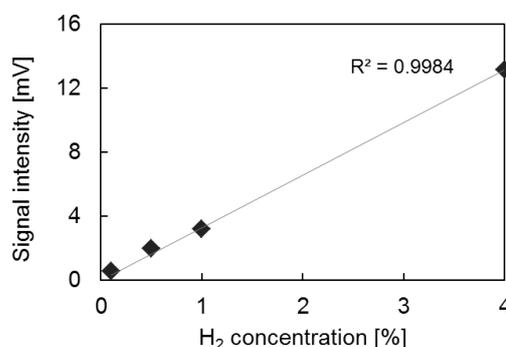


Fig.4. Dependence of Raman scattering intensity on the H₂ concentration.

Fig.5 はフィールド試験において有機物ガス化炉内の水素ガス濃度を測定した際の経時変化測定結果である。測定は大気圧~0.2MPa, 100~200°Cの環境下で行い、測定結果はガスクロによる測定値と概ね同等であった。このことから、高温環境下でも本システムによりガス濃度測定が可能であることが確認された。

4. 結論と考察

ラマン効果を用いた小型光学式マルチガスセンサシステムを作製し機能検証を行った。機能検証試験において警報閾値(1%)以下の水素ガスの検知が可能であることを示した。また、フィールド試験において高温環境下でもガス濃度測定が可能であることを示した。本研究において、被検ガスは水素ガスであったが、波長選択用のバンドパスフィルタを交換することにより、メタンや酸素など他のガス種についても測定が可能である⁽²⁾。なお、本研究は経済産業省「平成24・25年度地域イノベーション創出実証研究補助事業」の一環として実施した。

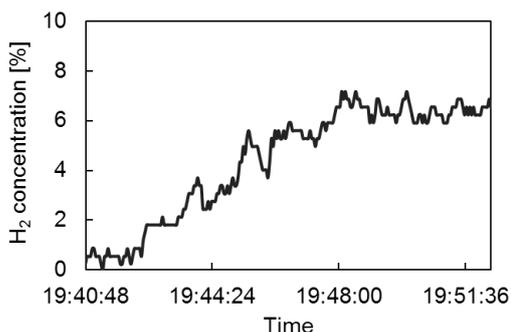


Fig.5. Temporal variation of H₂ concentration in the organic substance gasification furnace.

参考文献

- (1) 朝日一平他：「ラマン効果を用いた小型光学式マルチガスセンサの開発」, 第32回レーザセンシングシンポジウム予稿集(2014)
- (2) R. M. Measures : "Laser remote Sensing", John Wiley and Sons, New York, p.108 (1984).