

レーザーラマン分光法による直列型マルチガス多点監視システムの開発

市川 祐嗣, 杉本 幸代, 三木 啓史, 朝日 一平
四国総合研究所 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8)

Development of Series-connection Type Multi-gas Multi-point Monitoring System by Laser Raman Spectroscopy

Yuji ICHIKAWA, Sachiyo SUGIMOTO, Hirofumi MIKI, and Ippei ASAHI

Shikoku Research Institute, 2109-8 Yashima Nishi Machi, Takamatsu, Kagawa 761-0192

We have been developing multi-gas sensing techniques based on laser Raman spectroscopy. A multi-gas sensor using optical fibers to transmit laser beam and Raman scattered light was developed. We adopted a UV DPSS laser (wavelength: 349nm, pulse width: 5ns) because the short wavelength is advantageous to increase intensity of Raman scattering light. Two types of sensor chips (compact optical bench) were also developed. One is parallel-connection type and the other is series-connection type. Series-connection type sensor chip can increase efficiency of the optical system and it also enables the system to detect gases in a plurality of points using one laser. Experiments were conducted to confirm performance of the series-connection type sensor chip and the result showed that it can detect 1000ppm of Hydrogen and can substantially reduce back ground signals.

Key Words: Laser, Raman, Multi-gas, Multi-point, Series-connection

1. はじめに

著者らは、従来より光学式のマルチガスセンサの開発に取り組んできた。特に、レーザーラマン分光法によってガス種の同定、ガス濃度の計測を行う技術の開発を継続的に行ってきた¹⁾。本稿では、パルスエネルギーを有効に活用しつつ、単一のレーザー光源によって複数の地点のガス濃度計測を行うための方策として、計測箇所を設置するセンサチップを直列に接続して計測することのできるシステムの開発を行ったので、その概要について報告する。

2. マルチガス計測装置の開発

2.1 装置構成

システムの基本となるマルチガス計測装置の構成を Fig.1 に示す。レーザー光を送信用光ファイバに結合して伝送し、計測対象のガスに照射する。発生した散乱光を受信用の光ファイバに結合して伝送し、エッジフィルタ、バンドパスフィルタで検出波長の選択を行った後、光電子増倍管によって検出する。

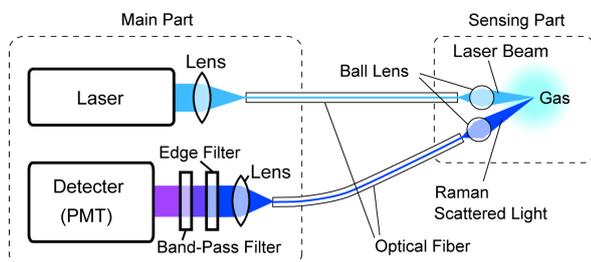


Fig.1. Basic Configuration of Gas Sensing System.

本装置は、散乱光の中に含まれるラマン散乱光を検出することによってガスの計測を行う。ラマン散乱光にはいくつかの種類があるが²⁾、本装置では、1次ストークスラマン散乱光を計測対象とする。ラマン散乱光の強度は励起光波長の4乗に反比例するため、波長の短い光ほど励起光として有効であることから、本装置では、従来(532nm)¹⁾よりも短波長のレーザーである

波長 349nm, パルス幅(FWHM)5nm, パルスエネルギー 120 μ J の DPSS/Nd:YLF レーザを励起光源として採用した。PRF(繰り返し周波数)は 1kHz である。Table 1 に、励起波長 349nm の場合の各種ガスの1次ストークスラマン散乱波長を示す。

Table 1. Raman Shifted Wavelength of Gases (First-order Stokes, Excitation Wavelength: 349nm).

Gas Species	Raman Shift (cm ⁻¹)	Raman Scattering Wavelength (nm)
H ₂	4160.2	408.3
N ₂	2330.7	379.9
O ₂	1556.0	369.0
CH ₄	2914.0	388.5

2.2 センサチップ（並列型）の開発

ガス計測箇所に必要となる光学部品等を集積して配置するため、セラミックス製の小型光学ベンチ(以下、センサチップ)を製作した。開発したセンサチップの外観および光学配置を Fig.2 に示す。この光学ベンチを使用することにより、レーザー照射光学系と、ラマン散乱光受光系とを、光学的に分離することができる。また、センシング部を小型化することができ、狭隘部への設置が可能である。さらに、使用する光学部品の寸法に合わせて高精度に加工して製作することにより、アライメント作業が不要となる。このセンサチップを使用して多点監視を行うためには、観測箇所ごとに複数の光路を用意し、光スイッチ等によって光路の切り替えを

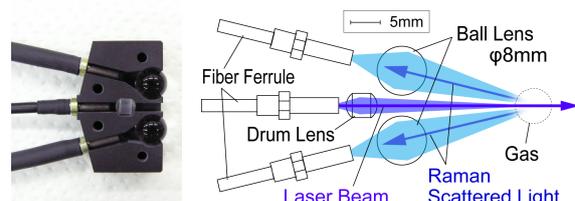


Fig.2. Appearance and Optical Arrangement of Sensing Part (Sensor Chip).

行う必要がある (Fig.3). このようにして多点計測を行うと、複数のセンサチップが並列に接続されたシステムとなる。(以下、並列型と呼ぶ。)

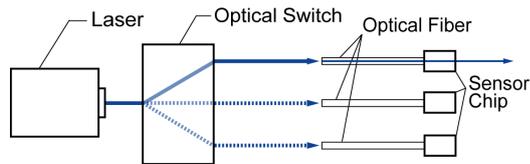


Fig.3. Parallel Connection of Sensor Chips.

3. 直列型センサチップの開発

3.1 並列型の課題と直列型の開発

並列型センサチップの課題として、①センサチップを出たレーザのパルスエネルギーが無駄になる ②受光光学系がレーザの進行方向に対して視野をもっているため、ガスを通過したレーザ光が何らかの物体に当たった場合に発生する外乱の影響が大きく、ラマン散乱光を分離・検出することが困難になるが挙げられる。これらの課題を解決するため、レーザの光軸と90度をなす角度からラマン散乱光を受光するタイプのセンサチップの開発を行った。このセンサチップを使用することで、前方からの外乱の影響を抑え、複数のセンサチップを直列に接続して多点計測を行うことが可能になる。(以下、直列型センサチップと呼ぶ。)基本となる光学配置および直列接続の図を Fig.4 に示す。

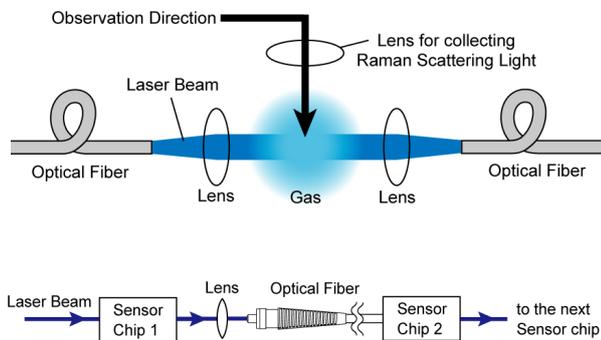


Fig.4. Optical Arrangement and Connection Diagram of Series-connection Type Sensor Chip.

3.2 機能検証試験

Fig.5 に、並列型と直列型のセンサチップによるバックグラウンド信号の比較試験の結果を示す。センサチップの前方にハードターゲットを設置し、同一条件で試験を行った。外乱光の影響を大幅に低減することができていることが分かる。

また、直列型センサチップを使ってガス計測試験を行った結果を Fig.6 に示す。ここでは、被検ガスとして水素を使用した。濃度 1000ppm の水素を検出することができ、信号強度とガス濃度が良好な線形の相関を示すことを確認した。

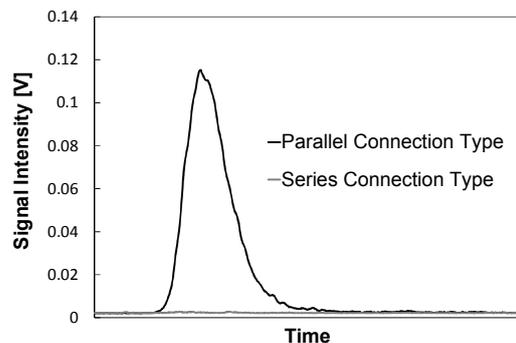


Fig.5. Comparison of Back Ground Signals between the Parallel-connection Type Sensor Chip and the Series-connection Type Sensor Chip.

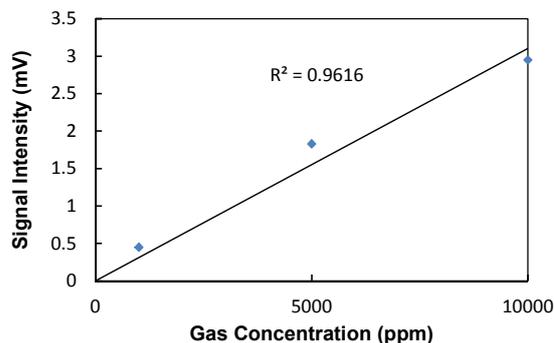


Fig.6. Results of Hydrogen Gas Measurement Test using Series-connection Type Sensor Chip.

4. まとめ

ラマン散乱光の強度を高めるため、波長 349nm の DPSS/Nd:YLFレーザを励起光源として採用した。また、並列型、直列型の2つのセンサチップの開発を行った。直列型センサチップを使うことで、①複数のセンサチップの直列接続による多点計測 ②エネルギー効率の向上 ③外乱光の低減 が実現できる。③については検証試験を行い、大幅に外乱光の影響を低減できることが確認できた。また、ガス計測試験を行い、直列型センサチップで 1000ppm の水素ガスを検出できることを確かめた。今後は、①、②についても検証試験を行い、センサチップの直列接続による多点計測の可能性と課題を明らかにし、監視システムの構築に向けて検討を進めていきたいと考えている。

謝 辞

本研究開発の一部は、平成 26~28 年度 NEDO 水素利用技術研究開発事業の一環として行われたものであり、関係者各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 朝日一平 他:電気学会論文誌 E, Vol.133, No.9, pp.260-266 (2012)
- 2) 濱口宏夫, 岩田耕一:ラマン分光法 (講談社, 2015)