

ラマン効果を用いた自由噴流中局所ガス濃度非接触計測技術の開発

杉本 幸代¹, 朝日 一平¹, 星野 礼香¹, 花房 敏行¹, 三木 啓史¹

¹株式会社四国総合研究所 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8)

Development of gas concentration non-contact sensing technology in micro-area of free jet using Raman effect

Sachiyo SUGIMOTO¹, Ippei ASahi¹, Ayako HOSHINO¹, Toshiyuki HANAFUSA¹ and Hirofumi MIKI¹

¹ Shikoku Research Institute INC., 2109-8 Yashimanishi-machi, Takamatsu-shi, Kagawa 761-0192

Abstract: Gas concentration non-contact sensing technology in micro area of free jet using Raman effect were developed. An ultraviolet laser light of wavelength 349nm irradiated a H₂ gas and the Raman scattered light at wavelength 408.3nm was measured by photomultiplier tube. The Raman scattered light is measured at right angle with respect to the laser beam axis by light detection unit which focused on the measurement point. In this study, the Raman scattering light of hydrogen gas concentration of 100ppm within 2.3×1×1mm could be remotely measured at a distance of 750mm.

Key Words: Laser, Raman, concentration, micro-area, jet

1. 序論

空間のある1点におけるガス濃度を計測する場合、一般的に、計測点にガスセンサを配置する方法や、シリンジ等で計測点のガスをサンプリングし分析計により濃度を計測する手法が用いられる。しかしながら、ガス噴流内など、とりわけ流動を伴う環境における計測では、いずれの手法でもセンサやシリンジの配置自体が計測値に大きな影響を与えるため、理想的な状態でガス濃度を測ることは困難であり、時間的及び空間的分解能の観点からも課題が残る。一方、ガス濃度分布の非接触計測手法として、ラマンライダの適用が有効である¹⁾。ラマンライダはパルスレーザを使用し、ライダエコーとしてガスのラマン散乱光を捉えるものであり、計測空間内におけるガスの挙動に干渉することなく濃度分布情報を得ることが可能である。しかし、その空間分解能はレーザのパルス幅に依存し、得られるガス濃度はパルス幅の範囲内に分布するガスの平均値となるため、局所的な計測を目的とした場合、空間分解能の観点で制約が生じる。

これらの背景から、本報告では、ガス噴流中における局所濃度の非接触計測を目的として、計測手法の検討及び実験装置の開発を行ったので、その経緯と結果について述べる。

2. 原理

ラマン効果を用いたガス計測では、ガスにレーザ光を照射したときに発生するラマン散乱光を

観測することにより、ガス種を特定し濃度を計測する。レーザ波長 λ に対しラマン散乱波長はガス種毎に固有の値となり²⁾、測定対象ガスのラマン散乱波長に一致するバンドパスフィルタにより波長を選択してラマン散乱光を受光することにより、ガス種の特定が可能である。また、その強度が分子密度に比例することから、ラマン散乱信号強度を計測することによりガス濃度を測ることが可能である。

3. 装置構成

Fig.1に本研究における装置構成を示す。

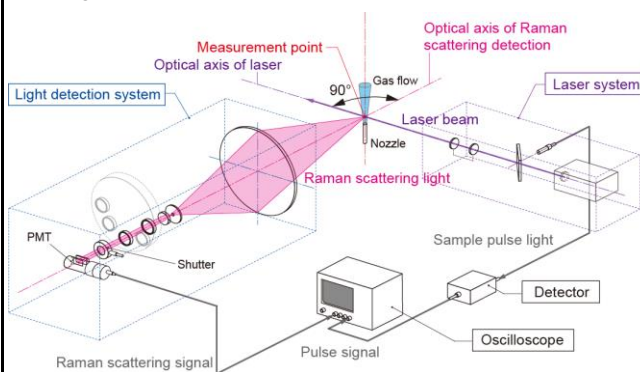


Fig.1 Experimental configuration of hydrogen gas measurement.

光源に Nd:YLF レーザ (Spectra-physics 社製 Explorer, 波長 349nm, パルスエネルギー120 μ J, パルス幅 5ns, 繰返し 1kHz) を使用し、計測箇所

においてビーム径が $\phi 1\text{mm}$ となるよう照射した。レーザー光軸に対し垂直方向からラマン散乱光をフレネルレンズで集光し、光電子増倍管（浜松ホトニクス社製 R12829）によりその強度を測定した。フレネルレンズは開口径 $\phi 170\text{mm}$ であり、計測箇所とフレネルレンズの離隔距離を 750mm とした。

Fig.2 に本研究に用いた受光光学系配置図を示す。受光系は2枚の凸レンズを用いたケプラー式とし、集光レンズの焦点距離 $f_1=230\text{mm}$ 、測定箇所までの距離 $L_1=750\text{mm}$ と(1)式に示すレンズの公式から集光レンズとピンホールの距離 L_2 を算出し、集光レンズから 330mm の位置に開口径 $\phi 1\text{mm}$ のピンホールを配置した。

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \dots\dots\dots (1)$$

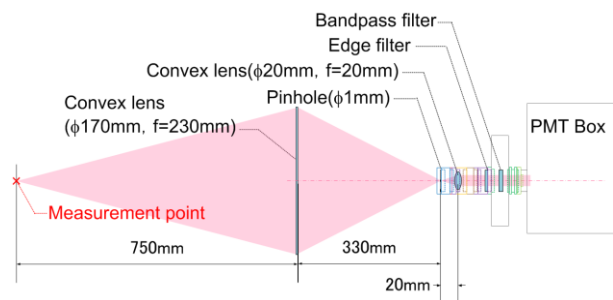


Fig.2 Optical components arrangement of light detection unit.

ピンホール後段の凸レンズにより、集光したラマン散乱光を平行光とし、ラマン分光用エッジフィルタ（ 349nm における透過率 $<10^{-6}$ 、 360nm 以上における透過率約 95% ）とバンドパスフィルタ（中心波長 410nm 、FWHM 10nm ）を介し光電子増倍管に導入した。本試験における測定対象ガスは水素ガスであり、ラマン散乱波長は 408.3nm である。

本研究における測定箇所での視野径は、ピンホール開口径 $A_P=1\text{mm}$ 、測定箇所までの距離 $L_1=750\text{mm}$ 、集光レンズとピンホールの距離 $L_2=330\text{mm}$ と(2)式に示す結像倍率の式から、 $A_M=2.3\text{mm}$ である。

$$\frac{A_P}{A_M} = \frac{L_2}{L_1} \dots\dots\dots (2)$$

レーザー光は測定視野内においてビーム径 $\phi 1\text{mm}$ を維持し、 $A_M=2.3\text{mm}$ であることから、本装置構成では、フレネルレンズ側から観察して、およそ幅 2.3mm 、高さ 1mm 、奥行 1mm の特定の範囲に存在するガスの濃度計測が可能である。

4. 結果

Fig.1 に示した装置構成のノズル位置にガスセルを配置し、既知濃度の低濃度水素混合ガス（窒素ガスバランス）を満たし、ラマン散乱信号を計測した結果を Fig.3 に示す。

計測には水素ガス濃度 1000ppm の標準ガスを用い、ガスセルへの充填圧力を変化させ、セル内の水素ガス濃度を調整した。

Fig.3 に示したとおり、水素ガス濃度 100ppm 以上において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を示し、特定箇所における水素ガス濃度計測が可能であることを検証した。

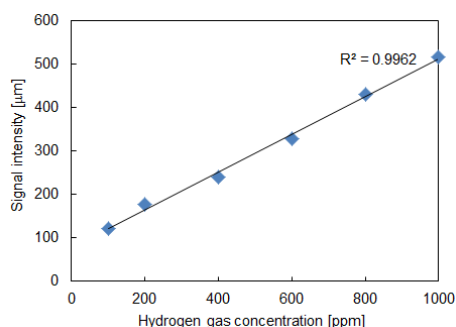


Fig.3 Dependence of Raman scattering intensity on the H_2 concentration in the gas cell.

5. 結論

噴流中の局所ガス濃度を非接触計測する手法について検討し、レーザー光を $\phi 1\text{mm}$ のビームを計測箇所照射し、レーザー光軸に対し垂直方向から水素ガスのラマン散乱光を集光すると共に、光電子増倍管によりその信号強度を測定する手法を考案した。開口径 $\phi 170\text{mm}$ のレンズを用い、測定箇所とフレネルレンズの離隔距離を 750mm として計測装置を開発し、水素ガスを用いて機能試験を行った。その結果、濃度 100ppm 以上においてラマン信号強度が水素濃度に対し良好な線形の相関を示すことを検証した。

本技術を用いることにより、流れ場に干渉することなく、遠隔から非接触で空間中における特定の一点のみのガス濃度計測が可能であることを示した。

発表では、ノズルから放出した水素混合ガスの計測結果など、実験の詳細について述べる。

参考文献

- 1) 朝日一平 他：電気学会論文誌 C, Vol.130, No.7, pp.1145-1150 (2010)
- 2) R. M. Measures: “Laser Remote Sensing”, John Wiley and Sons, New York, p.108 (1984)