

レーザー・ラマン・レーダ
LASER RAMAN RADAR

伊東克能 伊東 尚 中原昭次郎 福家 皎
K. Ito S. Ito S. Nakahara A. Fuke

三菱電機株式会社鎌倉製作所
Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

稲場文男 小林喬郎
H. Inaba T. Kobayasi

東北大学電気通信研究所
Tohoku University, Electrical Communication Lab.

小松 進
S. Komatsu

㈱公害気象研究所
Air Pollution and Atmospheric Research Co., Ltd.

1. まえがき

レーザー・ラマン・レーダはラマン散乱により、複数のガス濃度の測定を同時に、遠隔的に、実時間で行なえる大きな特徴を持っており、大気汚染観測、特に排煙中の有害成分SO₂、NOなどの遠隔測定法として広く研究されている。しかしSO₂のラマン散乱光が排煙中に100倍ほど多く含まれるCO₂のラマン散乱の近傍に生じ効率よく両者を分離する事がむつかしく排煙中のSO₂の検出に成功した例はなかつた。我々は排煙中のSO₂検出に最適なレーザー・システムは何かを考察し、その結果に基づいて製作したレーザー・ラマン・レーダにより、排煙中のSO₂検出に成功したので報告する。

2. 最適システムの考察

排煙中のSO₂の検出用として最適なレーザー発振器、信号検出方式、光学系構成の組み合わせは何かを、レーザー出力、波長、検出器感度、背景光強度、光学部品について考察し、Nd:YAGレーザーの第二高調波、同期光子計数方式、狭帯域干渉フィルターによるラマン散乱光の分離を採用した。

3. 理 論

今、レーザー・レーダより距離Rの所に濃度N(R)なるSO₂を含む厚さLの排煙があり、これに1ショットあたりの光子数n₀のレーザー光を照射し、全光学系効率K、有効受光面積A_rの光

学系で集光し、量子効率 η の光電子増倍管で検出するとき得られるラマン散乱光による光電子パルス数 N_e は次式で与えられる。

$$N_e = n_0 \eta K A_r T(\lambda_0) T(\lambda_R) L N(R) \sigma_R R^{-2} \dots\dots\dots(1)$$

n_0 (E (mJ))	f td	η	σ_R (m ² /str)	K (tr)	L (m)	A_r (m ²)
2.7×10^{16} (10mJ)	10^4	0.09	2.05×10^{-34}	0.1	9	0.165

Table 1. System parameters of laser-Raman radar.

ここで、 σ_R は SO_2 のラマン散乱断面積、 $T(\lambda_0)$ 、 $T(\lambda_R)$ は夫々レーザ光波長 λ_0 、ラマン散乱光波長 λ_R に対する大気透過率である。この N_e を同期光子計数法により、繰り返し f のレーザで時間 t_d だけ計数すると、得られる S/N は、信号計数のゲート巾を τ_g 、背景光による単位時間当りの光電子パルス数を n_B 、として次式で与えられる。

$$S/N = \frac{N_e \sqrt{f t_d}}{\sqrt{N_e + 2 \tau_g n_B}} \dots\dots\dots(2)$$

光源として Nd:YAG レーザの第二高調波を用い、Table 1 のような値を用いると、 S/N を 3 あるいは 10 とした時、測定しうる SO_2 の濃度と測定距離は Fig. 1 のようになる。

4. 実 験

以上の考察に基づき Fig. 2 のようなブロック図のレーザ・ラマン・レーダを構成した。装置全体は機動性を持たせるため、発電機自蔵のバスに搭載されている。

先ず系の動作を確認するために、系の較正用に設けられている窒素のラマン散乱測定系を使用してゲート時間を变化して大気中の窒素を測定した結果が Fig. 3 である。実線は次のような定数を用いて計算した理論値で実験値とよく一致している。 $\eta = 0.069$ 、 $n_0 = 1.03 \times 10^{16} / \text{sec}$ (3.8 mJ)、 $K = 0.041$ 、 $A_r = 0.165 \text{ m}^2$ 、 $T(\lambda_0) T(\lambda_R) = 1$ 、 $L = 22.5 \text{ m}$ 、 $N(R) = 2.1 \times 10^{25} \text{ m}^3$ 、 $\sigma_R = 3.7 \times 10^{-35} \text{ m}^2 / \text{str}$ ⁽¹⁾。Fig. 4 は排煙の透過率を測定するため、距離 360 m の位置の窒素を煙を通してと通さずの両方で観測した例である。これらの測定値は排煙の厚さ L を決めるのに重要なばかりでなく、大気の視程 気圧、温度の測定に使える。Fig. 5 は Fig. 6 のような配置で高さ 150 m の火力プラントの排煙中の SO_2 を観測したときの SO_2 による信号である。ミ - 散乱光エコ - の波形と煙の透過率とから計算された排煙の厚さは 6 m となり Fig. 5 の信号より、 SO_2 濃度は 1850 ppm と計算される。煙源データとの差は実験的に検討中である。

5. むすび

排煙中の約 1000 ppm の SO_2 を距離 230 m の地点よりレーザ・ラマン・レーダを用いて検出した。今後較正など測定器としての性能を高める検討を進める予定である。

参考文献 (1) D.G. Fouche and R.K.Chang: Appl. Phys. Letters, 18, 579 (1971)
; ibid 20, 256(1972)

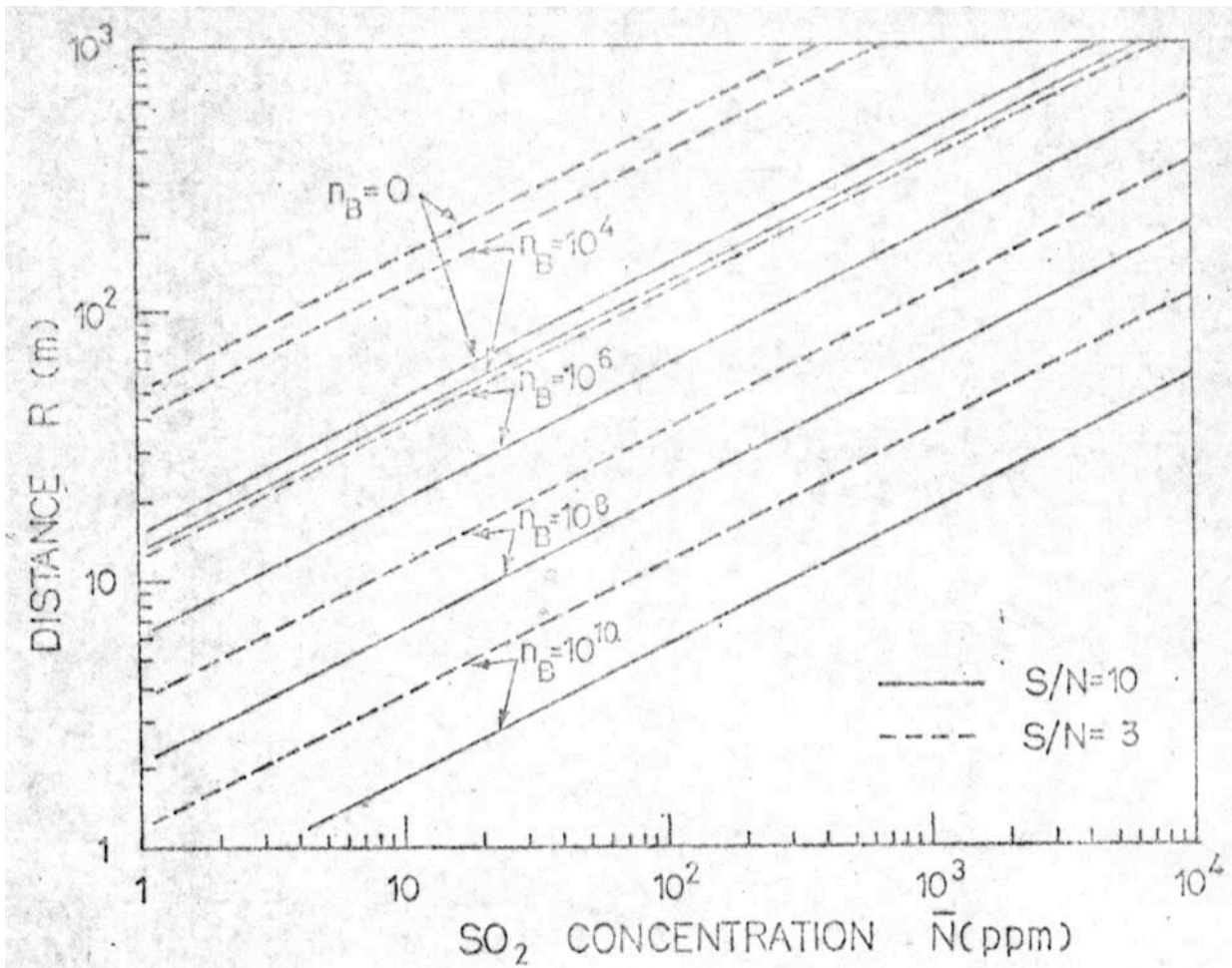


Fig. 1 Relationship between detectable SO_2 concentration and distance

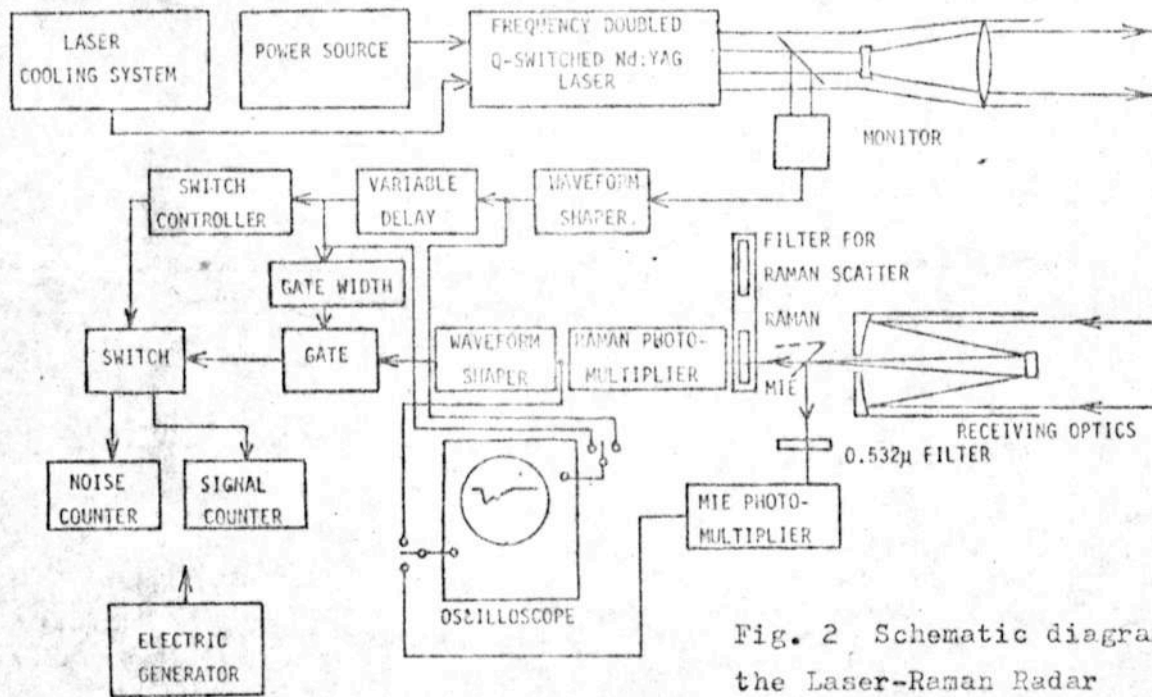


Fig. 2 Schematic diagram of the Laser-Raman Radar

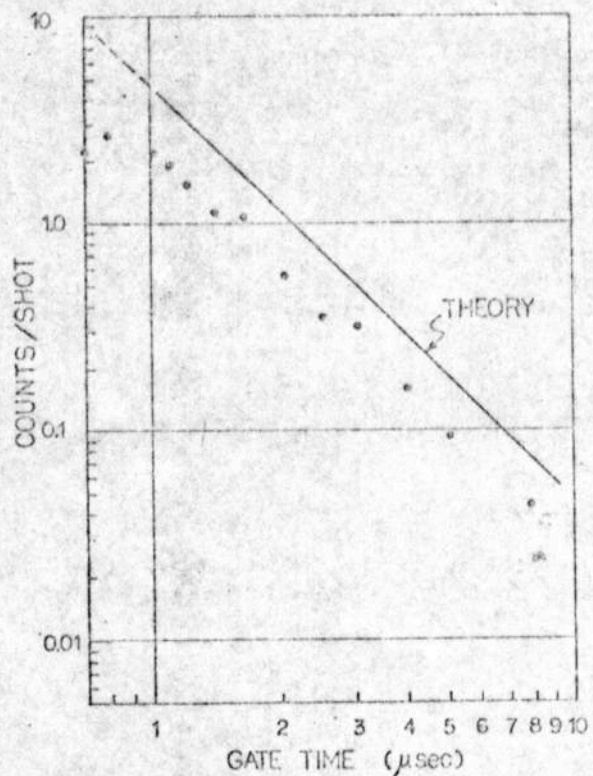


Fig. 3 Raman Scattering signal due to the atmospheric nitrogen

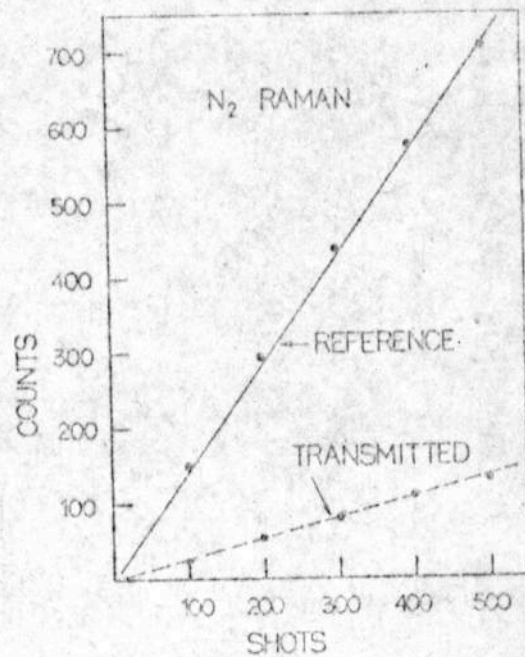


Fig. 4 Measurement of the plume transmission by the atmospheric nitrogen's Raman scattering

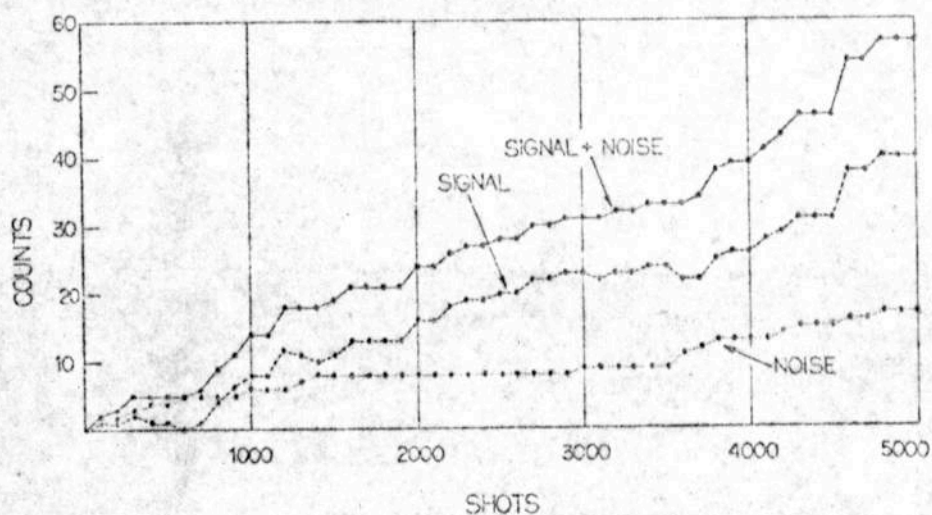


Fig. 5 Raman scattering signal due to SO_2 in the stack plume of a power plant

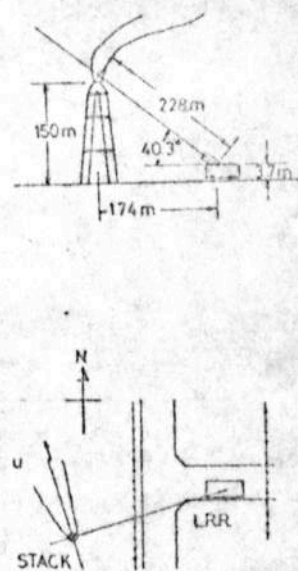


Fig. 6 Position of the Laser-Raman Radar for the detection of SO_2