

陳 建培
Kinpui CHAN伊藤 弘昌
Hiromasa ITO稲場 文男
Humio INABA

東北大学 電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai

1. はじめに

近年の光ファイバセンサ技術の進歩は著しく、科学、工業計測などの諸分野に広く応用されつつある。その遠隔計測への新しい応用の一つとして、我々は低損失光ファイバを用いた遠隔地点における可燃性ないし爆発性危険流出ガスや大気汚染ガスなどの全光学的な検出方法を提案し、 NO_2 や CH_4 ガスについて実験的な検討を進めて来た^{2~4)}。この方法の最大の特徴として、従来のガスセンサと金属ケーブルを用いた電気的な方法に比べて、応答性や選択性が優れ、高い信頼性と無誘導性および荷酷な現場での実時向遠隔測定が可能であるなどの利点がある。さらに、光信号が往復とも低損失光ファイバ中を伝搬するので、高度の安全性、特に eye-safe と低エネルギー性において秀でている。本文では、本方式の実用化を目指して、近赤外域 InGaAsP 発光ダイオード(LED)を用いた低損失光ファイバ遠隔差分吸収計測装置を構成し、代表的な可燃性ガスである CH_4 の遠隔測定を行ったので、その結果について報告する。

2. CH_4 分子の $1.66 \mu\text{m}$ 帯における吸収スペクトル測定

CH_4 分子は4つの基準振動 ($\nu_1 = 2913 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_2 = 1533 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_3 = 3019 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_4 = 1306 \text{ cm}^{-1}$) をもち、石英光ファイバの超低損失な波長帯である近赤外域には overtone や combination bands による吸収スペクトルを有する^{3,5)}。中でも、 $1.66 \mu\text{m}$ 付近に存在する overtone $2\nu_3$ による吸収バンドは他の近赤外域吸収バンドに比べて最も強い吸収特性をもつ。その吸収スペクトルの測定結果を Fig. 1 に示す。用いた光源は発振波長 $1.61 \mu\text{m}$ の InGaAsP LED を LED 動作させたもので (FWHM $\approx 80 \text{ nm}$)、検出には Ge 検出器 (dry ice + メタノール冷却) を使用した。吸収セルの長さは 50 cm で、セル内の CH_4 圧力は 60 Torr 、スペクトル分解能は 0.3 nm である。 $1.63 \sim 1.70 \mu\text{m}$ 帯に多数の回

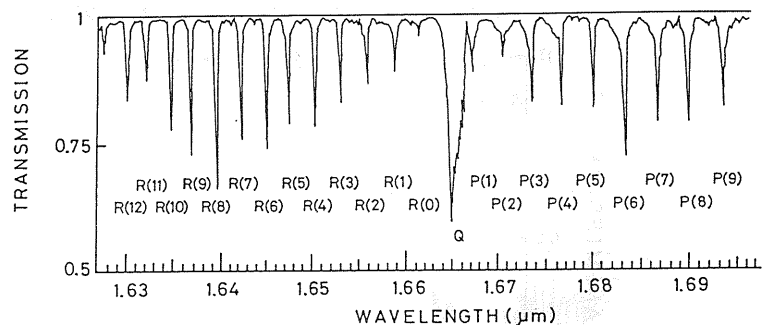


Fig. 1 測定した CH_4 分子の $1.66 \mu\text{m}$ 帯における吸収スペクトル

転-振動吸収スペクトルが検出された。特に $1.665 \mu\text{m}$ 付近の Q-branch には約 3 nm の波長幅にわたって強い吸収スペクトルが存在し、超低損失石英光ファイバを用いた遠隔測定に有用であることが分った。

3. 遠隔差分吸収計測装置

Fig. 2 に試作した遠隔差分吸収分光計測装置の基本的構成を示す。光源に $1.6 \mu\text{m}$ の InGaAsP LED を用い、長さ 1 km の受信用光ファイバからの出力光はビームスプリッタ B.S. によって 2 つに分けられ、それぞれチョップおよび干渉フィルタ F_1 と F_2 を通過する。 F_1 の中心透過波長

λ_1 は $1.666 \mu\text{m}$ で、 CH_4 の $1.66 \mu\text{m}$ 帯吸収バンドの Q-branch の波長域にほぼ一致するように選んだ。また F_2 の中心透過波長は CH_4 ガスによる吸収の少ない波長である $1.52 \mu\text{m}$ に選定した。吸収セル内に CH_4 が無い状態において、2つの波長における受信光強度 $I(\lambda_1)$ と $I(\lambda_2)$ を等しくなるように可変減衰器 V.A. を調整しておく、長さ L のセル内の CH_4 濃度 N は近似的に次式のように与えられる。但し σ は CH_4 の吸収係数である。

$$N = [I(\lambda_2) - I(\lambda_1)] / [(\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)) \cdot L \cdot I(\lambda_2)] \quad (1)$$

Lock-In 増幅器より直接 $I(\lambda_2) - I(\lambda_1)$ に対応する電気信号が得られるので、(1)式より CH_4 の濃度が算出できる。

4. CH_4 ガスの遠隔測定結果

Fig. 3 に長さ 50cm の吸収セル内に爆発下限値 (LEL) の $1/20$ および $1/80$ に相当する濃度 2Torr および 0.5Torr の CH_4 と空気を混合して 1 気圧としたときの受信光強度の測定結果を示す。測定の時定数は 1sec. であった。これより 0.5Torr という低濃度の CH_4 ガスが 1km の距離で遠隔測定できることが分る。さらに、Fig. 4 に測定したセル内の CH_4 分圧に対する吸光比の変化を示す。本差分計測における差分吸収係数 $\Delta\sigma = (\sigma(\lambda_2) - \sigma(\lambda_1))$ は約 $2 \times 10^{-3} (\text{Torr} \cdot \text{m})^{-1}$ と測定された。本装置を用いて、 1km 範囲以内で CH_4 ガスの最小検出可能濃度は約 0.3Torr (約 400ppm) であることが確認された。

5. むすび

CH_4 は天然ガスや都市ガスなどの各種の可燃性ガスや炭坑ガスに多く含まれていることから、本装置はこれらのガスの遠隔監視や探知に実用化することが十分可能である。また、多数の気体分子は近赤外域に吸収スペクトルを有することがすでに見出されているので⁶⁾、本方式は今後一層広い利用価値を有するものと確信される。

- 1) H. Inaba, T. Kobayasi, M. Hirama, and M. Hamza, Electron Lett. 15, 749 (1979).
- 2) T. Kobayasi, M. Hirama, and H. Inaba, Appl. Opt. 20, 3279 (1981).
- 3) 陳, 伊藤, 小林, 稲場, 電子通信学会技術研究報告, OQE 82-49 (1982).
- 4) K. Chan, H. Ito, and H. Inaba, to be published in Appl. Phys. Lett. 43, Oct. 1 (1983).
- 5) K. Chan, H. Ito, and H. Inaba, to be published in Appl. Opt. Dec. 1 (1983).
- 6) 陳, 伊藤, 稲場, 第9回レーザーシンポジウムにて発表予定, 論文番号 34.

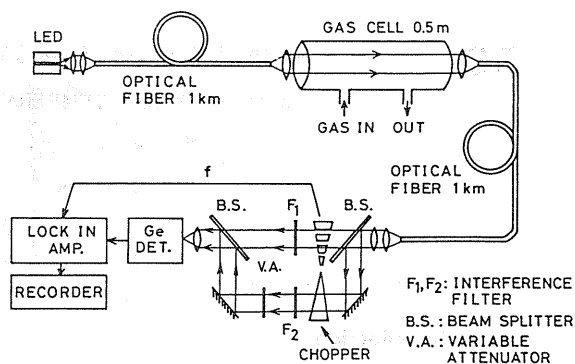


Fig. 2 低損失光ファイバを用いた近赤外域遠隔差分吸収計測装置のブロック図

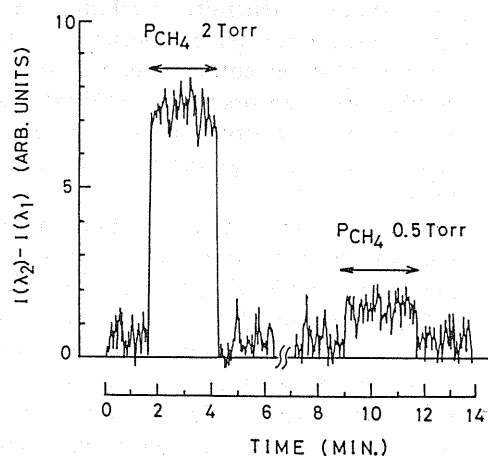


Fig. 3 低損失光ファイバを用いた CH_4 ガスの遠隔差分吸収測定例

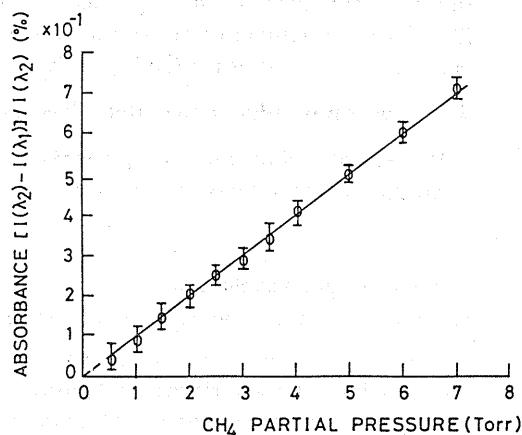


Fig. 4 長さ 50cm の吸収セル内の 1 気圧 $\text{CH}_4 + \text{air}$ 混合ガス中の CH_4 分圧に対する吸光比の遠隔測定結果