

エチレンガスの近赤外域吸収分光測定とその
広域光ファイバ遠隔計測への応用

Near Infrared Absorption Spectroscopy of Ethylene Molecules and Its
Application to Remote Measurements Using Optical Fibers Over a Wide Area

陳 建培 *古谷恒雄 稲場文男

Kinpui Chan *Tsuneo Furuya Humio Inaba

東北大学電気通信研究所 *仙台電波工業専門学校

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

*Sendai Radio Technical College

1.はじめに

我々は光ファイバネットワーク遠隔吸収分光計測システムをより多くの物質に対して実用化するために、石英光ファイバの超低損失域である波長 $1.1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の近赤外域における様々な気体分子の吸収分光測定とスペクトルの同定を進めて来た。その結果、 CH_4 , C_3H_8 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , C_4H_{10} , NH_3 , H_2O などの近赤外域吸収スペクトルを検出し、それらの光ファイバ遠隔計測への有用性を明らかにした。^{1,2)} 本文では、その中で環境汚染の一因となり、また可燃性ガスとしても大気中の濃度の遠隔分析や監視が要求されているエチレン (C_2H_4) について、まず近赤外域吸収スペクトルの測定と解析、同定の結果を報告し、次にその光ファイバ遠隔吸収分光計測への応用に関する検討を述べる。

2. C_2H_4 分子の近赤外域吸収分光測定とスペクトルの同定

Fig. 1 に中心波長 $1.61 \mu\text{m}$ の InGaAsP と $1.64 \mu\text{m}$ の InGaAs 発光ダイオードを用いて測定した C_2H_4 分子の近赤外域吸収スペクトルを示す。測定は室温で行い、長さ 50 cm の吸収セル内の純 (99.97%) C_2H_4 ガスの圧力は 650 Torr , また波長測定分解能は 0.1 nm である。波長 $1.61 \sim 1.70 \mu\text{m}$ にわたって、このように多数の C_2H_4 の吸収スペクトルの存在が明らかにされた。

C_2H_4 分子は近似的に symmetric rotor であり、 D_{2h} 点群に属する。³⁾ Reduction Formula および D_{2h} symmetry 特性表³⁾ を用いて C_2H_4 分子の近赤外域における allowed combination bands を調べると、波長 $1.61 \sim 1.67 \mu\text{m}$ にわたり $\nu_5 + \nu_9$ (B_{3u}), $\nu_1 + \nu_9$ (B_{2u}), $\nu_1 + \nu_{11}$ (B_{3u}) および $\nu_5 + \nu_{11}$ (B_{2u}) ($\nu_1 = 3026.4 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_5 = 3102.5 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_9 = 3105.5 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_{11} = 2988.7 \text{ cm}^{-1}$)⁴⁾ の中心が存在することが分かった。従って、Fig. 1 に示した C_2H_4 の吸収スペクトルはこれら4つのバンドに属するものと考えられる。

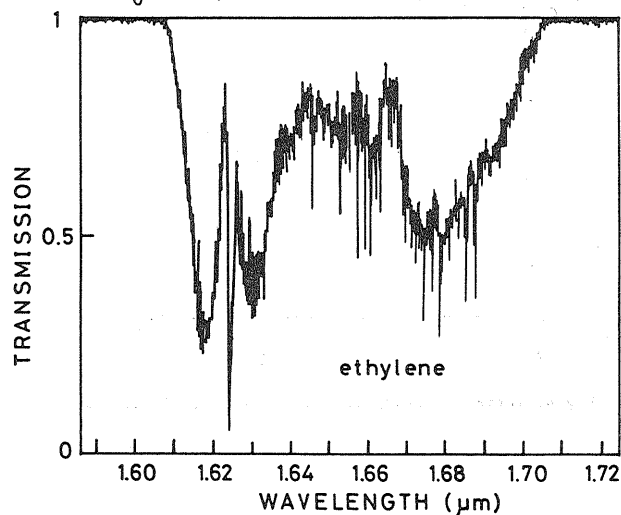


Fig.1 C_2H_4 分子の近赤外域吸収スペクトルの測定結果 (波長分解能: 0.1 nm , 光路長 50 cm , C_2H_4 圧力: 650 Torr)

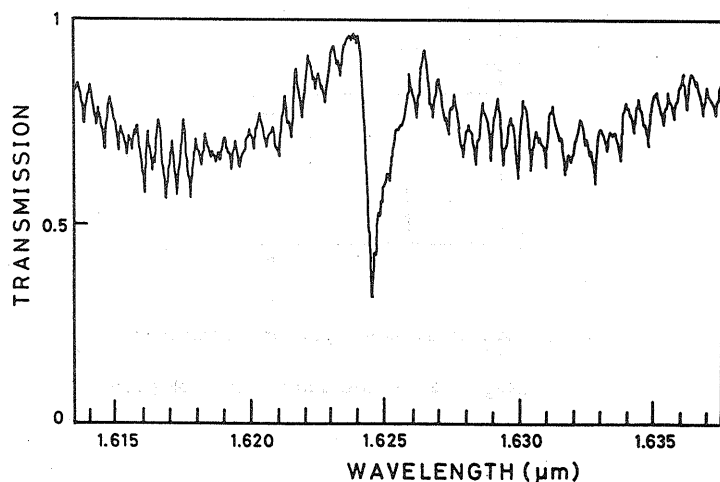


Fig.2 C_2H_4 分子の波長 $1.61 \sim 1.64 \mu\text{m}$ における $\nu_5 + \nu_9$ combination band の吸収スペクトル分布 (波長分解能: 0.08 nm , 光路長: 50 cm , C_2H_4 圧力: 100 Torr)

TABLE 1 C₂H₄
分子のν₅+ν₉ combination bandの回転-振動分定数

	This work (cm ⁻¹)	Ref. (cm ⁻¹)
B ₀ =B''	1.0004	0.9998 ⁴⁾ 1.0005 ⁵⁾
B'	0.9844	
D _J ''	6155.85	
D _J '	0.00011	
D _J	0.00011	

さらに, Fig. 2 には 1.61~1.64 μm における吸収スペクトルのより詳細な測定結果を示す。Fig. 2 の分布は1つの平行バンド構造を表わしており, 我々はそれを C₂H₄ 分子の ν₅+ν₉ combination band によるものと同定した。

この ν₅+ν₉ 平行バンドにおける P および R ブランチは次式のように表わされる;

$$P(J) = \nu_0 - (B' + B'')J + (B' - B'' - D_J' + D_J'')J^2 + 2(D_J' + D_J'')J^3 - (D_J' - D_J'')J^4 \quad (1)$$

$$R(J) = \nu_0 + 2B' - 4D_J' + (3B' - B'' - 12D_J')J + (B' - B'' - 13D_J' + D_J'')J^2 - (6D_J' - 2D_J'')J^3 - (D_J' - D_J'')J^4 \quad (2)$$

ここで回転-振動定数 B, ν₀, D_J は combination differences の関係³⁾から実験的に求められ, TABLE 1 にその結果をまとめて示す。また TABLE 2 に P および R ブランチの値定波長値と, (1), (2) 式および TABLE 1 から求めた計算値との比較を示す。

3. C₂H₄ ガスの光ファイバ遠隔吸収計測

Fig. 1 と Fig. 2 から C₂H₄ 分子の ν₅+ν₉ バンドは他のバンドよりも強い吸収特性を有し, 特に 1.625 μm 附近の Q branch による吸収が最も強いことが分った。Fig. 3 に回折格子分光器の分解能に対する C₂H₄ 分子の 1.6246 μm における吸収係数の測定結果を示す。この波長を利用する光ファイバ遠隔計測は最も有利であると考えられる。長尺低損失光ファイバを用いた C₂H₄ ガスの遠隔吸収計測の詳しい実験結果と検討は講演の際に報告する。

1) K. Chan, H. Ito, & H. Inaba, Appl. Opt. **22**, 3802 (1983).

2) H. Inaba, K. Chan & H. Ito, in The Digest of Tech. Papers, Conf. on Lasers and Electro-Optics (CLEO '84), Anaheim, U.S.A (June 1984), Invited Paper WN3.

3) E.g., G. Herzberg, 'Molecular Spectra and Molecular Structure II' (Von Nostrand, New York 1966).

4) W.L. Smith and J.M. Mills, J. Chem. Phys. **40**, 2095 (1964)

5) H.C. Allen, Jr., and E.K. Plyler, J. Am. Chem. Soc. **80**, 2673 (1953)

TABLE 2 C₂H₄ 分子の 1.618-1.632 μm における ν₅+ν₉ combination band の P および R branch の同定および波数値の測定値と計算値の比較

J	P(J)			
	obs(μm)	obs(cm ⁻¹)	calc(cm ⁻¹)	obs-calc(cm ⁻¹)
1			6153.85	
2			6151.82	
3	1.62609	6149.72	6149.76	-0.04
4	1.62663	6147.68	6147.68	0
5	1.62718	6145.60	6145.58	+0.02
6	1.62775	6143.46	6143.45	+0.01
7	1.62832	6141.30	6141.31	-0.01
8	1.62888	6139.19	6139.15	+0.04
9	1.62945	6137.04	6136.98	-0.06
10	1.63004	6134.82	6134.79	+0.03
11	1.63063	6132.60	6132.59	+0.01
12	1.63121	6130.42	6130.38	+0.04
13	1.63180	6128.20	6128.16	+0.04
14	1.63242	6125.87	6125.94	-0.07

J	R(J)			
	obs(μm)	obs(cm ⁻¹)	calc(cm ⁻¹)	obs-calc(cm ⁻¹)
0			6157.82	
1	1.62345	6159.74	6159.75	-0.01
2	1.62294	6161.66	6161.65	+0.01
3	1.62245	6163.51	6163.51	0
4	1.62197	6165.34	6165.32	+0.02
5	1.62152	6167.05	6167.09	-0.04
6	1.62107	6168.76	6168.80	-0.04
7	1.62063	6170.44	6170.47	-0.03
8	1.62020	6172.07	6172.08	-0.01
9	1.61979	6173.65	6173.63	+0.02
10	1.61941	6175.09	6175.11	-0.02
11	1.61902	6176.56	6176.53	+0.03
12	1.61866	6177.96	6177.88	+0.08
13	1.61833	6179.20	6179.15	+0.05
14	1.61799	6180.50	6180.34	+0.16

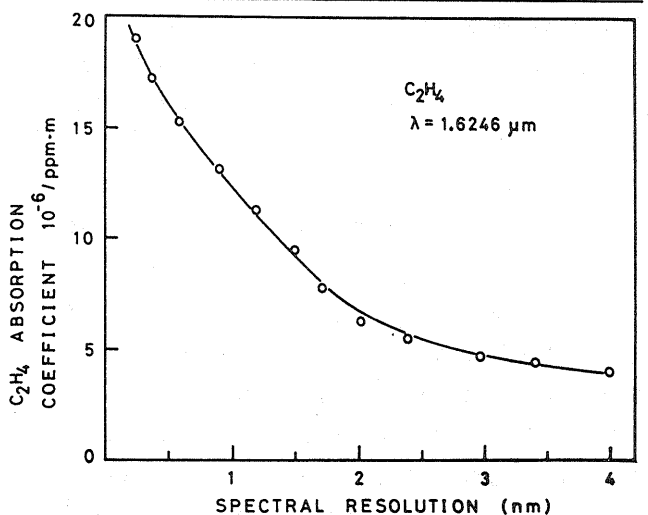


Fig. 3 C₂H₄ ガスの波長 1.6246 μm における吸収係数の回折格子分光器の波長分解能に対する測定結果