

半導体レーザ吸収センサーを用いた温度計測法の 気液混相火炎への適用

Temperature measurements in liquid-gas two-phase flame using diode
laser absorption sensor

機正 * 崔 敬民 (NEDO) 伝正 芝原 正彦 (阪大工)
機正 赤松 史光 (阪大工) 機正 香月 正司 (阪大工)
伝正 池田 裕二 (神大工) 伝正 中島 健 (神大工)

Gyung-Min CHOI*, Masahiko SHIBAHARA**, Fumiteru AKAMATSU** and Masashi KATSUKI**

*New Energy and Industrial Technology Development Organization, Japan

** Dept. of Mech. Eng., Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan

Yuji IKEDA and Tuyooshi NAKAJIMA

Dept. of Mech. Eng., Kobe University, 1-1, Rokkodai, Nada, Kobe, 657-8501, Japan

Abstract: High frequency diode laser sensor for temperature measurement applied to a liquid-gas two-phase counter-flow flame. Two vibrational overtones of H_2O were selected and measurements were carried out in the droplet region of the flame. As a result, we succeeded in obtaining pass-averaged temperatures of liquid-gas two-phase flame. Failure cases due to the influence of droplets were also discussed.

Key Words : Diode laser absorption sensors, Liquid-gas 2 phase flame, H_2O , Temperature

1. 緒言

燃焼ガスの温度や濃度を実時間で計測するために、近赤外線常温半導体レーザ吸収法が使用されるようになってきた[1,2]。このような半導体レーザ吸収強度計測法は、半導体レーザ光源の製作技術の向上とともに、より長波長のレーザ発振の利用が可能となった。このような長波長の発振により吸収強度の強い吸収線強度の計測が可能になって、燃焼場のような温度、濃度勾配が時間的、空間的に存在する場合にもその適用が試されてきた[3, 4]。このような半導体レーザ吸収センサーを用いた燃焼場の温度や濃度計測は、層流平面火炎から乱流火炎まで適用されている。特に、半導体レーザ吸収センサーの高時間分解能を利用した研究も進んでいる。燃料を燃やしてエネルギーを得る燃焼場では、燃焼状態によって、すすなどの浮遊物が存在する場合も多い。さらに、液体燃料を用いた燃焼場では、必ず油滴が存在する。しかし、半導体レーザを用いた吸収強度計測法は光路上の情報すべてを反映し、またレーザ光の屈折による計測不可能になるという欠点が予想される。しかし、現在まで対象とされた火炎は層流ガス火炎であって、実際の燃焼器などで生じる現象への適用例は少ない。したがって、半導体レーザ吸収センサーを用いた噴霧燃焼場への計測技術は確立されていない。このようなことから、本研究の目的は常温半導体レーザ吸収法を用いた噴霧火炎燃焼場の非接触温度計測の可能性を調べることとした。しかし、噴霧専焼火炎の温度場では激しい局所温度勾配が予想されるので、本研究では油滴数密度の低い気液混相火炎を対象とした。

2. 実験方法および条件

ガスの吸収率 T は式(1)のBeer-Lambert法則を利用して求めた。

$$T = I/I_0 = \exp(-S_i \cdot f \cdot P \cdot x_j \cdot L) \quad (1)$$

ここで、 S_i [$cm^{-2}atm^{-1}$] は吸収線強度、 f は形状を決定する関数 ($\int f dv = 1$)、 P は全圧、 x_j は吸収化学種のモル濃度、 L は光路長、 I_0 、 I はそれぞれ振動数 n における入射光強度、透過光強度を示している。吸収バンドの吸収線強度を求めるためのフォークト関数は、吸収線分布のピーク値と半値幅を用いて求めた。 H_2O の2つの吸収強度比で H_2O の温度を求め、

その値を燃焼ガス温度とした。本研究で HITRAN98 と HITEMP データベースを用いて選定した H_2O 吸収バンドの特性を表1に示す。

Table 1 Characteristics of H_2O vibrational overtones (1200K)

Species	Transition Frequency(cm^{-1})	Line Strength (cm^2/atm)	Transition
H_2O	4878.193	1.08E-3	(021)-(010)
	5008.101	4.91E-4	(011)-(000)

図1に対向流気液混相火炎バーナと半導体レーザセンサーを用いた H_2O 吸収強度測定装置の概略図を示す。下側ポートからは都市ガスの混合気を、上側ポートからは噴霧液体燃料と空気を供給して、気液混相火炎を形成した。半導体レーザシステムは1996nmと2049nmの2つの光源で構成され、それぞれのレーザ光源から発振されたレーザ光を透過信号、参照信号、エタロン信号に3分岐し、それぞれの信号を同時計測した。光路長は透過光をミラーで5回反射して、60cmとした。集光された透過光は光ファイバを通じて光検出部に導かれた後分光され、それぞれの透過光は干渉フィルタを通して検出器で検出される。1.5kHzの三角波で半導体レーザの発振波長と強度を掃引した。ガス火炎面は下方ポートから $H=12mm$ の位置に定在し、噴霧火炎面は $H=18mm$ の位置に形成されたよどみ面の内側で観測された。すなわち、 $H=12\sim 18mm$ の領域に既燃ガスの存在が予想されるので、半導体レーザ吸収セン

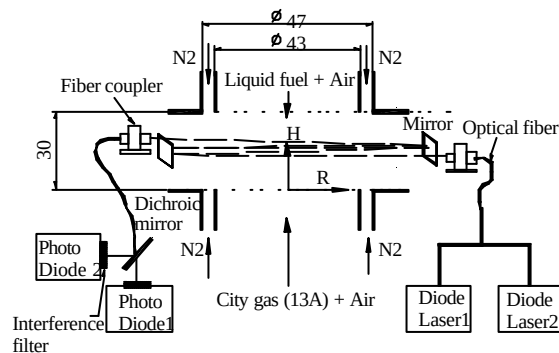


Fig. 1 Experimental schematic for the in-situ combustion measurements

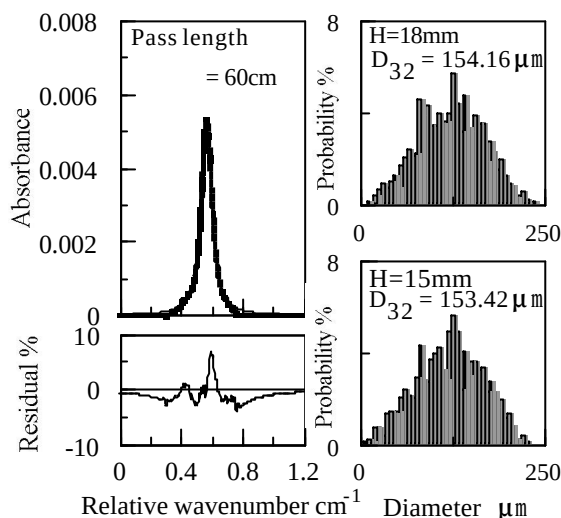


Fig.2 Absorbance coefficients, residual and droplet diameter distribution

サーを用いた吸収強度計測はH=15mm(A)と17.5mm(B)の2つの領域で計測した。表2に実験条件を示す。

Table 2 Experimental conditions

	Upper port	Lower port
Injection velocity(m/s)	0.6	0.6
Fuel	n-dodecan($C_{12}H_{26}$)	City gas(13A)
Equivalence ratio	0.56	0.7

3. 実験結果および考察

図2に対向流混相燃焼場で計測した H_2O の吸収線強度分布の一例とその分布のフィッティング曲線および誤差分布を示す。さらに、吸収強度計測断面の中心軸上の粒径分布も示す。吸収線の中心波長は $4878.193cm^{-1}$ である。粒径分布をみると、広い範囲の直径の油滴が存在し、その平均値は直径154程度である。このような噴霧油滴が浮遊するにもかかわらず、半導体レーザー光は波長掃引範囲で大きな屈折なく、受光部で検出された。今回の実験では半導体レーザー光断面径が約1mm程度であるので、直径154 倍の油滴が浮遊する燃焼場での全般的な吸収強度計測は可能であることが分かる。しかし、フォークトフィッティング分布との誤差をみると、中心波長付近で大きいずれが現れ、油滴の影響を受けていることが分かる。したがって、今回の研究では、フィッティングから求めた吸収線強度のみを用いて温度を算出した。

このような油滴が存在する燃焼場で吸収法を用いて温度を計測した結果を図3に示す。A領域の平均温度は1173.3K

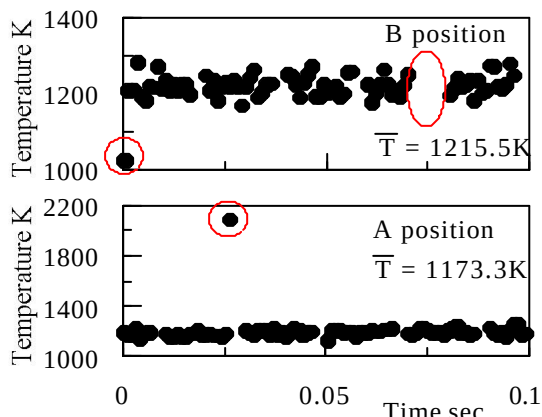


Fig.3 Time-series temperature distribution measured by DLAS

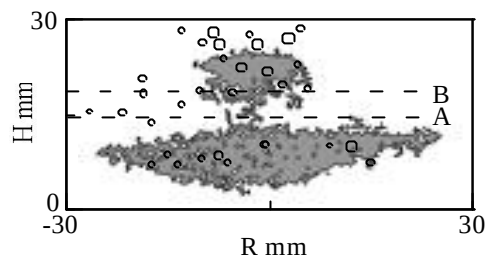


Fig. 4 OH chemiluminescence region and droplet distribution

であることに對して、B領域の平均温度は1215.5Kと計測され、噴霧火炎面の温度がガス火炎面の温度より高く計測された。この計測温度は光路上の平均温度であるので、断熱火炎温度よりはるかに低い。A領域の場合、2000K以上の温度分布が計測される場合があり、B領域の場合は、一部温度計測が不可能な領域も観察された。このような結果は半導体レーザー光が油滴によって散乱されるためであると考えられる。今回の実験では、半導体レーザー光断面径が約1mm程度であるので、全般的な温度計測は可能であるが、半導体レーザー光を大きく屈折させる油滴が存在する場合あるいは吸収信号自体が変形される場合には、計測不可能な場合もあることが分かった。図3で示したA,B位置の温度差の原因を調べるため、対向流気液混相火炎の吸収線強度およびOH自発光強度とMIE散乱光強度を同時計測した。瞬時の2次元情報を得るために、光干渉フィルタを用いた画像計測を行った。その結果を図4に示す。○の大きさは油滴の相対粒径を示し、灰色の領域はOH自発光領域を示す。油滴分布をみると、A領域、B領域ともに油滴が存在することが分かる。OH自発光強度分布をみると、H=12mmに安定されたガス火炎からのOH自発光が半径方向に広く分布している。H=18mm付近で噴霧油滴による噴霧火炎が形成し、比較的狭い領域で反応しているのが観察される。2つのOH自発光領域の温度は高温であって、その間は温度の低下が予想される。測定断面Aの場合が両OH自発光領域の中間領域であって、Bの方は噴霧火炎面に近いので、測定断面Bの温度が高く計測されたと考えられる。したがって、本研究の条件では、噴霧油滴が浮遊する燃焼場の温度計測も可能であることが分かる。しかし、その温度は光路平均値であって、局所領域の温度ではない。

4. 結論

半導体レーザー吸収センサーを用いて対向流気液混相燃焼場の温度計測を行った。その結果、噴霧油滴が浮遊する燃焼場での吸収線強度を用いた温度計測は可能であることが分かった。しかし、半導体レーザー光を大きく屈折させる油滴が存在する場合は部分的に計測不可能な場合もあった。したがって、半導体レーザー吸収法を用いて噴霧燃焼場の温度を計測するためには、油滴径がレーザー光断面径より充分小さいか、あるいは選択的な温度計測を行う必要がある。

謝辞：本研究はNEDO新規産業創造型提案公募事業(98E代01-002-3)により行われたものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- (1) Mihalcea, R. M., et al., paper no. AIAA98-0237, (1998)
- (2) Sonnenfroh, D. M., et al., Applied Optics Vol. 36, (1997), pp.7970-7977
- (3) 崔 敬民, 他3名, 第37回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. 1, (2000), pp.273-274
- (4) 崔 敬民, 他5名, 第38回日本燃焼シンポジウム講演論文集, (2000), pp.353-354