

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：52605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560211

研究課題名（和文） C₂スワンバンドの発光分光法による火炎温度診断手法の開発研究課題名（英文） Emission Spectroscopy of C₂ Swan Band to Explore Flame Temperature

研究代表者古川純一（FURUKAWA JUNICHI）

東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科・教授

研究者番号：70173523

研究成果の概要（和文）：

C₂ラジカルの発光を計測し、炭化水素・空気予混合火炎の温度を推定する手法を確立することを目的とし、伸長を受けない平面状の予混合火炎および伸長を受ける予混合火炎から得られるC₂ラジカルの発光と火炎温度の関係を詳しく調べた。その結果、以下のような新しい知見を得た。

混合気の濃度が既知であれば、C₂ラジカルの発光を計測して炭化水素・空気予混合火炎の温度を推定することが可能である。

研究成果の概要（英文）：

In order to establish diagnostics to explore temperature of hydrocarbon-air premixed flames by measuring the emission intensities of C₂ Radical, relation between the emission intensities of C₂ Radical and the flame temperature has been examined by using planner unstrained premixed flames and strained premixed flames. The major conclusion obtained in the present study is as follows:

If the equivalence ratio of the mixture is known, it is possible to explore temperature of hydrocarbon-air premixed flames by measuring the emission intensities of C₂ Radical.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300	390	1,690
2011年度	1,500	450	1,950
2012年度	600	180	780
年度			
年度			
総計	3,400	1,020	4,420

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：熱工学

キーワード：(1) 炭化水素火炎 (2) C₂ラジカル (3) 発光分光法 (4) 火炎温度

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化防止のために「脱燃焼」が叫ばれており、新たなエネルギーの開発が急がれている。石油・天然ガスなどの炭化水素に代わるものとして、太陽電池、燃料電池などが提案されているが、いずれも、コスト、耐久性などで、現実性は極めて低いと言わざるを得ない。石油・天然ガスなどの炭化水素に代わる現実的な代替エネルギーが確立されていない現状では、当面、エネルギーを炭化水素の燃焼に頼らざるを得ないことは論を待たないであろう。したがって、エネルギーの90%近くを燃焼に依存している我国にとって、各種燃焼装置のより一層のCO₂削減が当面の最重要課題となる。

燃焼装置のより一層のCO₂削減を計るためには、火炎温度を計測することが必要であることは論を待たない。しかし、火炎温度を計測する手法は、レーザ散乱などのレーザ応用計測も一部で行われているが計測精度が低く、実質的には熱電対を凌駕する決定的な計測手法は確立されていない現状にある。しかし、よく知られているように、熱電対の時間応答性は高々10⁻¹秒の程度であり、高速で変動する実用燃焼器内の火炎温度を計測することは不可能である。

ところで、炭化水素を燃料とする火炎では、OH、CH、C₂などのラジカル（中間生成物）からの固有のバンドスペクトルが観察されることは古くから知られている。これらの中で、C₂スワンバンド（470.5nmと515.5nmバンド）の発光強度比と火炎温度の間には一義的な関係があることが理論的に導かれた。これは、C₂スワンバンドの発光を計測することにより、非接触で火炎温度を計測し、乱流予混合火炎における消炎限界付近の火炎片の挙動を解明することが可能であることを示している。

しかし、C₂スワンバンドの発光は、特に燃料希薄域では、微弱であるために、光電子増倍管を使用しても、C₂スワンバンドの発光を高い精度で計測することはそれほど容易なことではない。

2. 研究の目的

そこで本研究では、C₂ラジカルからの発光を計測し、炭化水素・空気予混合火炎の温度を推定する手法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

炭化水素火炎からのC₂スワンバンドの発光を高い精度で計測するため、まず、集光部分、分光部分と信号を記録する部分で構成される発光分光計測システムを新たに開発した。

集光部分にはカセグレン光学系を使用した。これにより、従来の単純レンズ光学系に比べて、空間分解能を2桁以上向上することができた。

従来の分光器では、ダイクロミックミラーにより、短波長側から分離を行っていたため、微弱なC₂の発光波長である470.5 nmおよび515.5 nmの波長に損失が多かった。そこで本研究では、C₂の470.5 nmおよび515.5 nmバンドの計測に特化した分光器を新たに開発した。

分光器により分離された光は、光電子増倍管で電気信号に変換、I/Vアンプで10⁵~10⁶倍に増幅、14ビットの分解能でA/D変換され、PCに記録される。

燃料希薄領域では、C₂からの発光が微弱であるため、光電子増倍管の出力を高倍率に増幅しなければならない。高倍率に増幅すると、微弱なノイズも増幅され、信号のS/N比が著しく低下する。このノイズ源として、アンプシステム内のスイッチング回路が挙げられる。そこで本研究では、電源にスイッチング回路を使用しないバッテリー駆動方式のアンプを新たに開発した。本研究で、新たに開発したI/Vアンプにより、ノイズレベルを2桁低減することができた。

本研究で開発した発光分光計測システムを使用して、矩形ノズルバーナを使用して、平面状の予混合火炎から得られるOH、CH、C₂ラジカルからの発光と火炎温度の関係を詳しく調べた。

しかし、矩形ノズルバーナで形成される火炎は、伸長を受けない火炎であるため、乱流予混合火炎における消炎限界付近の火炎片の挙動を明らかにするためには、C₂スワンバンドの発光と火炎温度の火炎伸長への依存性を明らかにする必要がある。そこで、乱流火炎の消炎の要因である伸長を受けた火炎を定常・定在に形成できる対向流バーナを使用し、流れ場のひずみ率によりC₂スワンバンドの発光、火炎温度がどのように変化するかを調べた。

4. 研究成果

本研究では、C₂スワンバンドの発光を計測し、炭化水素・空気予混合火炎の温度を推定する手法を確立することを目的とした。

まず、炭化水素火炎からのC₂スワンバンドの発光を高い精度で計測するため、集光部分、分光部分と信号を記録する部分で構成される発光分光計測システムを新たに開発した。

さらに、開発した発光分光計測システムを使用して、伸長を受けない平面状の予混合火炎から得られるC₂ラジカルからの発光と火炎温度の関係を詳しく調べた。さらに、伸長を受ける予混合火炎から得られるC₂ラジカル

発光と火炎温度の関係を詳しく調べた。その結果、以下のような結論を得た。

1) 伸長を受けない予混合火炎の場合、 C_2 スワンバンドの発光強度比と火炎温度の間には一義的な関係がある。したがって、 C_2 スワンバンドの発光強度比を計測することにより、伸長を受けない予混合火炎の温度を推定することが可能である。

2) 伸長を受ける予混合火炎の場合、混合気濃度が一定で、ひずみ率 ε が増加すると、火炎温度、 C_2 スワンバンドの発光強度、発光強度比は減少する。したがって、混合気の濃度が既知であれば、 C_2 スワンバンドの発光強度比から伸長を受ける予混合火炎の温度を推定することが可能である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

橋本英樹, 品川手児奈, 古川純一, 化学発光分光法による乱流予混合火炎構造の計測に関する基礎的研究, 日本機械学会論文集 (B編), 査読有, 76 巻 769 号 (2010-9),

野口佳樹, 吉田泰子, 古川純一, Williams F. A., 乱流予混合火炎における火炎と流れの相互作用 (火炎面の前後におけるガス流速の変化), 日本機械学会論文集 (B編), 査読有, 78 巻 791 号 (2012-7), 1336-1344

吉田泰子, 古川純一, 野口佳樹, Amin V., Williams F. A., 乱流予混合火炎における火炎と流れの相互作用 (火炎片の流体力学的構造), 日本機械学会論文集 (B編), 査読有, 78 巻 795 号 (2012-11), 1967-1975

吉田泰子, 古川純一, 野口佳樹, Williams F. A., 乱流予混合火炎における火炎と流れの相互作用 (火炎面背後におけるガス流動), 日本機械学会論文集 (B編), 査読有, 78 巻 794 号 (2012-10), 1822-1831

Furukawa J., Yoshida Y., Amin V., and Williams F. A., Change of Gas Velocities in Passing through Flamelets on a Premixed Turbulent Bunsen Flame, *Combustion Science and Technology*, 査読有, 185 (2013), 200-211

Furukawa J., Yoshida Y., and Williams F. A., Evolution of Burnt-Gas Velocities in a Premixed Turbulent Bunsen Flames, *Combustion Science and Technology*, 査読有, 185 (2013), 661-675

[学会発表] (計 6 件)

Yoshida Y., Furukawa J., Amin V., and Williams F. A., Three Dimensional Measurement of Vectors of the Flamelet Motion and the Gas Velocity in a Turbulent Premixed Flame, Proceedings of 8th International Conference on Modeling and Diagnostics in Advanced Engine

Systems 査読有, (2012), 232-237

Hashimoto H., Shinagawa T., Furukawa J., Emission Spectroscopy of C_2 Swan Band to Explore Flame Temperature, Proceedings of 8th International Conference on Modeling and Diagnostics in Advanced Engine Systems 査読有, (2012), 238-243

姥 直幸, 橋本英樹, 森上 修, 村瀬英一, 古川純一, 発光分光法による火炎温度の診断に関する基礎的研究, 第 48 回燃焼シンポジウム講演論文集, 査読無, (2010-12)

品川手児奈, 橋本英樹, 村瀬英一, 古川純一, C_2 スワンバンドの発光分光法による火炎温度の診断, 第 48 回燃焼シンポジウム講演論文集, 査読無, (2010-12)

品川手児奈, 橋本英樹, 古川純一, C_2 スワンバンドの発光分光法による火炎温度の診断, 日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集, 査読無, (2011-9)

品川手児奈, 橋本英樹, 村瀬英一, 古川純一, C_2 スワンバンドの発光分光法による火炎温度の診断, 第 49 回燃焼シンポジウム講演論文集, 査読無, (2011-12)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古川純一 (FURUKAWA JUNICHI)

東京都立産業技術高等専門学校ものづく
り工学科・教授
研究者番号：70173523

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：