

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 5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760154

研究課題名（和文） 化学発光分光法による消炎限界付近の火炎構造の解明

研究課題名（英文） A Study of the Flame Structure near the Extinction Limit by means of Chemiluminescence Spectroscopy

研究代表者

橋本 英樹 (HASHIMOTO HIDEKI)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：80383488

研究成果の概要（和文）：

乱流予混合火炎における消炎限界付近の火炎構造を解明するために、対向流バーナー等を用いてひずみ率を変化させた際の火炎温度と化学発光強度比の関係を詳しく調べた。その結果、化学発光強度比 $C_2^*(0,0)/C_2^*(1,0)$ はひずみ率の増加に対して単調に減少することが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

In order to explore behavior of the near extinction flamelet in turbulent premixed flames, relation between the emission intensity ratio of 515/470nm band of C_2 ($C_2^*(0,0)/C_2^*(1,0)$) and the flame temperature for various strain rates has been sought in both unstrained and strained flames by using a rectangular nozzle burner and a counter-flow burner, respectively. For strained flames, as the strain rate increases with the equivalence ratio of the mixture is constant, the flame temperature decreases, and $C_2^*(0,0)/C_2^*(1,0)$ decreases slightly.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：燃焼工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：燃焼

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化防止や化石燃料の枯渇等のエネルギー・環境問題に対し、各種燃焼装置のより一層の効率向上は重要な課題である。燃焼装置の効率向上および環境負荷の低減のためには、乱れを積極的に導入した乱流予混合燃焼の採用が有効である。乱流予混合燃焼では乱れが強くなると乱流燃焼速度が増加す

る。しかし、乱流燃焼速度は乱れの増大に対して無限に増加するのではなく、ある条件で、乱れの速度変動により火炎が引きちぎられる現象、すなわち火炎伸長による局所的な消炎が起きると考えられている。局所的な消炎は火炎全体の消炎に移行し、ついには燃焼が維持できなくなる。このことは乱れによる燃焼促進効果に限界があることを示しており、

その限界を明確にすることは、高効率・高負荷燃焼器を設計する上で極めて重要な問題である。

乱流予混合火炎における局所的な消炎に関しては、対向流バーナ火炎などを使用した基礎的な研究が行われているが、これらの研究においては、火炎の計測は目視観察による例が殆どで、消炎限界付近の火炎構造を定量的に明らかにするには至っていない。また、乱流予混合火炎における局所的な消炎は理論的に予測されてはいるものの、それを計測するための決定的な手法が確立されていないために実験的には確かめられていない。

2. 研究の目的

本研究では、消炎限界付近の火炎を定在・定常的に形成することが可能な Edge Flame バーナおよび対向流バーナを使用し、化学発光を高い空間分解能で計測し、消炎限界付近の火炎構造を定量的に明らかにする。また、当量比や火炎伸張率等を変化させた種々の火炎を対象に、 C_2 の 473.7nm バンドと 516.5nm バンドの発光強度比と火炎温度の関係を詳細に調べ、火炎温度を推定する手法を確立する。

3. 研究の方法

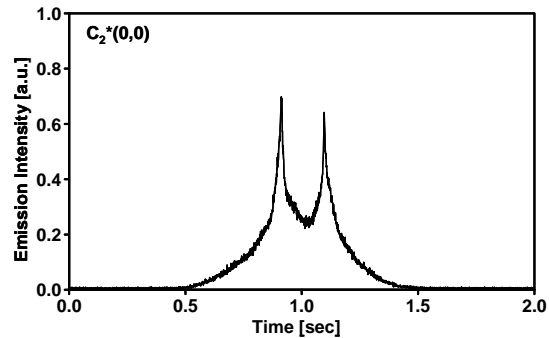
(1) プロパン・空気予混合火炎では、燃料希薄領域で火炎伸長による消炎が起きやすい。しかし、燃料希薄領域では C_2 からの発光が微弱なために、従来の分光計測システムでは光電子増倍管の出力を 10^7 倍程度に増幅しなければ、 C_2 の発光を検出できないという問題点があった。また、光電子増倍管の出力を 10^6 から 10^7 倍程度の高倍率に増幅するために信号の S/N 比が悪化し、周波数特性も低下するといった致命的な問題点があった。

そこで、燃料希薄領域のプロパン・空気予混合火炎からの C_2 の化学発光を計測するために、化学発光分光システムの改良を行う。具体的には、具体的には、光学系等（ダイクロイックミラー:DM, 干渉フィルタ:BPF および光電子増倍管:PMT）の配置を最適化し、電氣的なノイズの原因となる AC 電源から DC 電源を作り出すスイッチング回路を用いず、光電子増倍管のプリアンプ、A/D コンバータ等の全てをバッテリー駆動方式とする。

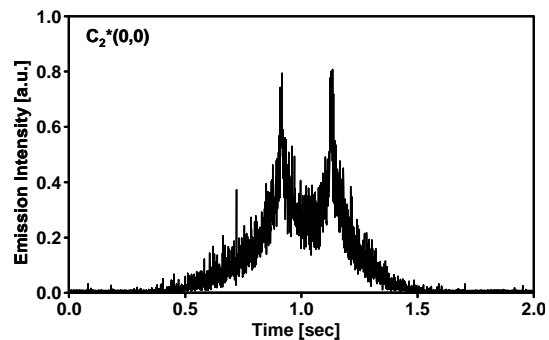
(2) 種々の燃料濃度のプロパン・空気およびメタン・空気層流予混合火炎を対象に OH, CH, C_2 からの化学発光を計測する。ここでは、(1)において改良を行った化学発光分光システムの性能評価、および C_2 の 473.7nm バンドと 516.5nm バンドの発光強度比と火炎温度の関係を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 化学発光分光装置を構成するダイクロイックミラーおよび干渉フィルタ等の配置を最適化し、さらにプリアンプの駆動電源をスイッチング電源からバッテリー駆動方式に変更する等の徹底したノイズ対策を行った。その結果、図 1 に示すように化学発光計測の S/N 比が従来の計測システムに比べ二桁以上も向上し、また、図 2 に示すように乱流予混合火炎の計測で要求される高時間分解能での計測においても、高精度な化学発光計測が可能となった。



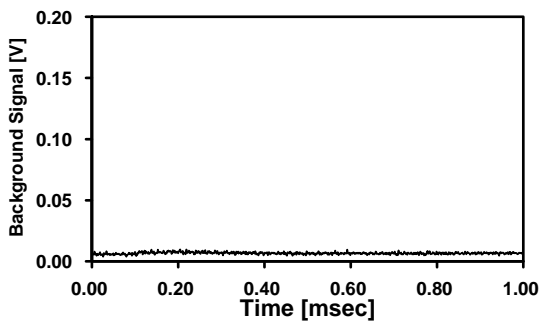
(a) 改良したシステム



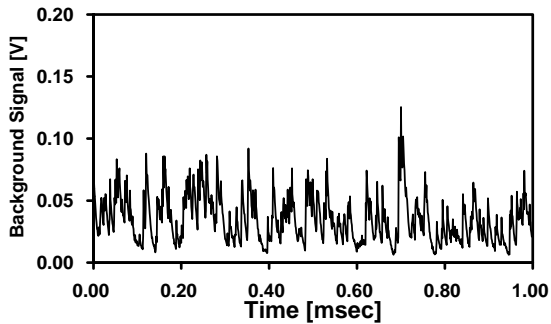
(b) 従来のシステム

図 1 化学発光信号のプロファイル(1kHz)
(a:改良したシステム, b:従来のシステム)

(2) 二組の円管ノズルバーナを上下に対向させた対向流バーナ火炎や矩形ノズルバーナを使用し、ひずみ率、火炎温度および C_2 の 473.7nm バンドと 516.5nm バンドの発光強度比の関係を詳しく調べた。その結果、図 3 に示すように、ひずみを受けていない火炎においては、火炎温度が最大となる当量比を境に、 $C_2^*(0,0)/C_2^*(1,0)$ は希薄火炎側では火炎温度の増加に伴い単調に増加し、過濃火炎側では火炎温度の増加に伴い単調に減少することが明らかとなった。すなわち、火炎温度が最大となる当量比に対して過濃であるか希薄であるかを判別できれば、 $C_2^*(0,0)/C_2^*(1,0)$ より火炎温度を推定できると考えられる。また、図 4 に示すように、ひ

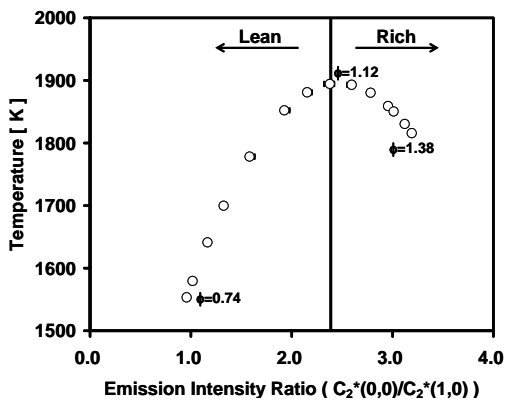


(a) 改良したシステム

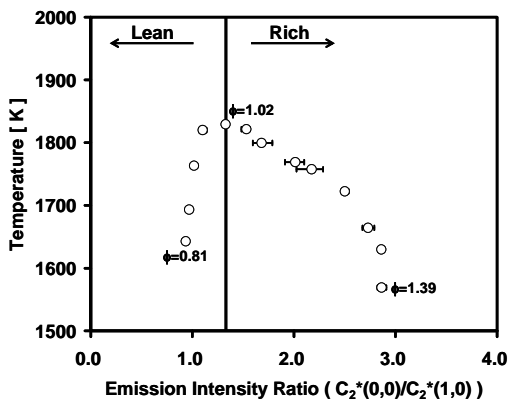


(b) 従来のシステム

図2 化学発光信号のプロファイル(1MHz)
(a:改良したシステム, b:従来のシステム)



(a) プロパン・空気予混合火炎



(b) メタン・空気予混合火炎

図3 ひずみを受けていない火炎における化学発光強度比と火炎温度の関係

ずみを受けたプロパン・空気層流予混合火炎では、ひずみ率の増加に伴い火炎温度と C_2 の 473.7nm バンドと 516.5nm バンドの発光強度比は、ひずみを受けていない層流予混合火炎の値を最大に、単調に減少することが明らかになった。ひずみ率の増加に伴う C_2 の 473.7nm バンドと 516.5nm バンドの発光強度比の減少率は混合気の濃度により異なるが、単調に減少する傾向は混合気の濃度によらず同様であった。すなわち、混合気の濃度がわかれば、 C_2 の 473.7nm バンドと 516.5nm バンドの発光強度比を計測することにより、火炎温度を推定できる可能性があることが明らかになった。

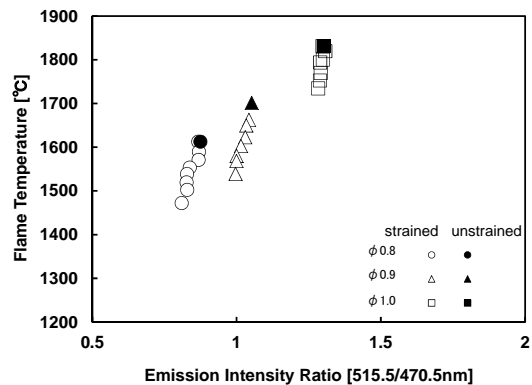


図4 ひずみ率の変化に対する化学発光強度比と火炎温度の関係

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 1 件)

- ① Hideki Hashimoto, Tekona Shinagawa, Junichi Furukawa, Chemiluminescence Spectroscopy of C_2 Swan Band to Explore the Flame Temperature, Proc. of COMODIA2012 (2012), pp. 238-243.

[学会発表] (計 5 件)

- ① Hideki Hashimoto, Tekona Shinagawa, Junichi Furukawa, Chemiluminescence Spectroscopy of C_2 Swan Band to Explore the Flame Temperature, The Eighth International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems, (2012).
- ② 内山和馬, 品川手児奈, 橋本英樹, 森上修, 村瀬英一, 化学発光分光法による燃焼診断に関する基礎的研究, 第23回内燃機関シンポジウム, (2012)
- ③ 品川手児奈, 姥直幸, 橋本英樹, 森上修, 村瀬英一, 古川純一, 化学発光分光法による

る消炎限界付近の火炎構造の解明, 第 49 回燃焼シンポジウム, (2011).

- ④ 品川手児奈, 橋本英樹, 森上修, 村瀬英一, 古川純一, C2 スワンプ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, (2010).
- ⑤ 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, (2010).

[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

橋本 英樹 (HASHIMOTO HIDEKI)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号 : 8 0 3 8 3 4 8 8