

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760131
 研究課題名（和文）
 ラジカル注入と水素添加を利用した噴霧燃料着火促進法の実用条件下での適用
 研究課題名（英文）
 Combustion Enhancement of Fuel Sprays by using Free Radicals Injection and Hydrogen Addition
 研究代表者
 齋藤 寛泰 (SAITOH HIROYASU)
 芝浦工業大学・工学部・准教授
 研究者番号：80362284

研究成果の概要（和文）：液体燃料噴霧が混在する混合気の着火・燃焼促進法として、①副燃焼室で生成した高温の燃焼ガスジェットを利用する既燃ガスジェット点火法、②微量の水素を予め添加しておく水素添加燃焼法の二通りの手法を提案し、実験的検討を行った。その結果、通常の火花点火では着火が困難な条件（燃料希薄、低温環境、低揮発性等の難着火条件）においても、点火条件を適切に設定すれば、本研究で提案した着火法によって確実な着火・燃焼が行えることがわかった。

研究成果の概要（英文）：In order to investigate the ignition and combustion enhancement effects of 1) hot burnt gas jet ignition and 2) hydrogen addition, we applied these two ignition methods to liquid fuel sprays suspended in fuel vapor-air mixtures. As a result, it was found that the ignition methods suggested in the present work enable stable ignition and combustion of fuel vapor-air mixtures even if the mixtures are difficult to ignite by usual spark ignition due to lean fuel condition, low temperature, low volatility fuels, and so on.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：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

代替エネルギーの導入等により、石油依存度を下げるとの様々な試みが進められて

いる。しかし、現在の自動車、船舶、航空機等の輸送用機器の多くは依然として石油系燃料の燃焼を利用しているのが実状であり、

この傾向は今後もしばらく続くものと考えられる。一方、バイオマス由来燃料の利用可能性が模索されるなど、燃料の多様化が今後さらに進むことが予測されるが、石油系・非石油系燃料、および、それらの混合燃料の性状は多種多様であり、燃焼利用の際の燃料の着火性、燃焼効率や排気ガス性状等に関する問題が発生することが懸念される。

希薄燃焼は燃費の向上と排気の低公害化に有効な燃焼法であるが、着火や保炎が不安定である問題があり、その改善について多くの研究がなされてきた。気体燃料の希薄燃焼促進に関して、①副燃焼室で生成した高温の燃焼ガスを主燃焼室に吹き込み、混合気を“体積的”に着火させる方法、②微量の水素を助燃剤として予め添加しておく水素添加燃焼法、が有用であることがこれまでの研究報告で示されている。しかしながら、液体燃料を用いる実用燃焼器の多くは、微粒化された液体燃料の微細噴霧が混在するいわゆる噴霧燃焼場であり、このような条件下でこれら二通りの手法による着火・燃焼促進効果について詳細に検討されたものはほとんど見あらず、検討を行う必要があった。

2. 研究の目的

本研究は、ラジカルを多量に含む高温の既燃ガスジェット吹き込み、もしくは、微量水素をあらかじめ酸化剤側へ添加することにより、スパークプラグによる通常の火花点火では着火が困難な燃料希薄混合気、燃焼性のよくない燃料、および、燃料噴霧混在混合気の着火・燃焼を促進し、燃料利用の高効率化と低エミッション化が実現できるかどうかを調べることを目的とする。本研究では、将来的に代替燃料としての導入が期待されるエタノール、および、石油系燃料としてジェット燃料 (JET A-1) を対象として実験を行った。また、実用に供することを視野に入れ、室温環境だけではなく寒冷地での利用を想定した -30°C 程度の低温環境での水素添加燃焼や、工業用バーナの点火栓等への利用を想定した既燃ガスジェット点火法の噴霧流場への適用可能性についても併せて検討することとした。

3. 研究の方法

(1) 定容燃焼実験による水素添加燃焼法の有効性の検討 (エタノール, JET A-1)

燃焼実験装置として、 $\phi 110\text{ mm} \times 106\text{ mm}$ のステンレス製円筒定容燃焼容器 (内容積約 1000 cm^3) を用いた。燃焼室内壁には、直噴エンジン用のスワールインジェクタ、スパークプラグ、燃焼過圧力を測定するための圧力センサが取り付けられている。燃焼容器内に、

水素および乾燥空気を所定の圧力、濃度となるように充てんした後、燃料を定量噴射し、スパークプラグからの火花によって噴霧混在混合気に点火する。燃料噴射量、噴射から点火までの時期 (スパークディレイ)、水素濃度を変化させ、着火の可否、火炎の様子、燃焼過圧力の時間履歴を観測した。また、装置全体を -30°C 程度の低温環境におき、同様の実験を行った。

(2) 定容燃焼実験による既燃ガスジェット点火法の有効性の検討 (エタノール)

スパークプラグに換えて、既燃ガスジェットイグナイタを定容燃焼容器に取り付け、オリフィスを介して吹き込まれる既燃ガスジェットにより噴霧混在混合気を着火させた。既燃ガスジェットの吹き込み状態を変え、最適な条件を調べるため、オリフィス直径を変化させて着火実験を行った。

(3) ダクト内燃料噴霧流の既燃ガスジェット点火法の適用についての検討 (エタノール)

既燃ガスジェットイグナイタをダクト型燃焼室側面に取り付け、ダクト内を流れる噴霧流を既燃ガスジェットによって着火させる実験を行った。オリフィス直径や噴霧流流量を変化させ、着火が可能な条件について検討した。

4. 研究成果

(1) 定容燃焼実験による水素添加燃焼法の有効性

表 1 は着火の可否を示したものである。低温環境 (b) では室温環境 (a) に比べ、着火の確実性は減少するが、いずれの環境においても、微量の水素を添加することで確実に着火・燃焼する条件範囲が拡大することがわかった。また、水素添加量の増大によって、圧力波形のばらつきが減少し、未燃分の減少 (燃焼量の増加) に伴うと考えられる最大過圧力および正圧インパルスの増加が見られることがわかった (図 1, 図 2)。この傾向は、

表 1 燃焼範囲の拡大

(a) Room temperature				
Spark Delay [msec]	15	20	30	50
Air	×	◎	○	○
Air + 2vol% H_2	○	○	◎	◎
Air + 4vol% H_2	◎	◎	◎	◎
(b) Low temperature				
Air	×	○	△	×
Air + 2vol% H_2	○	○	○	△
Air + 4vol% H_2	○	◎	○	△

※10 回の試行中、全て着火 (◎)、5-9 回着火 (○)、1-4 回 (△)、全て着火せず (×) で示している。

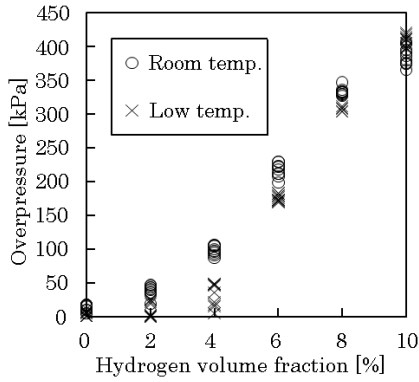


図 1. 水素濃度と最大過圧力

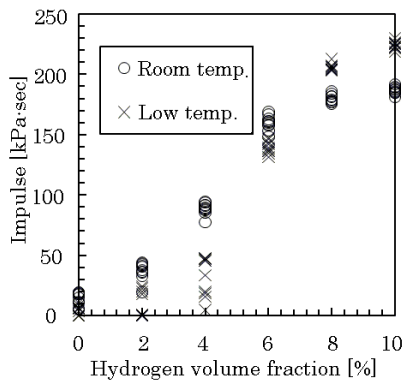
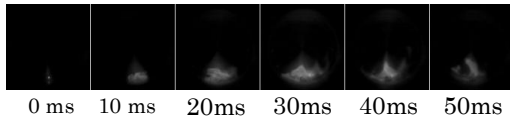


図 2. 水素濃度と正圧インパルス

(a) Air ambient



(b) Air-4vol%H₂ addition

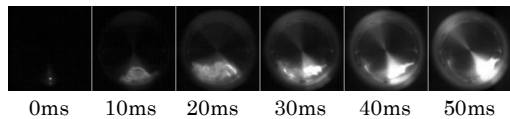


図 3. 水素添加による燃焼状態の変化

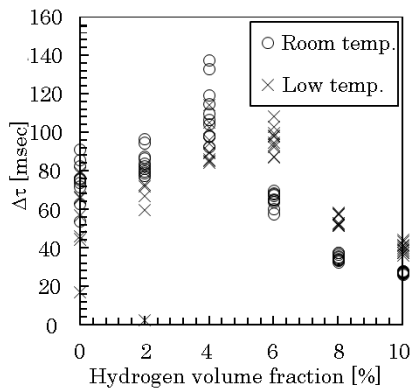


図 4. 最大過圧力到達時間に及ぼす水素添加の効果

JET A-1 燃料より、着火性がよくないエタノール

ールでより顕著であった。図 3 は、燃焼容器内の火炎の様子を撮影したものであり、雰囲気水素を少量添加するだけで、燃焼形態が劇的に変化することを観測したものである。

図 4 は、水素添加量を変化させた際の最大過圧力に到達するまでの時間 $\Delta\tau$ の変化であるが、室温では 4 vol%，低温では 6 vol% の条件で最大となっている。これは、水素の助燃効果により、投入した燃料（図 1 の場合はエタノール）の燃焼量が増加したため、燃焼時間が伸びたと考えることができ、適切な水素添加量が条件によって異なることを示している。ただし、いずれも水素を 10 vol% 程度添加してしまうと、ほぼ水素-空気混合気の燃焼特性と等しくなり、水素の助燃効果は見られなくなることもわかった。

以上の結果は、燃料噴霧が混在する混合気においても、気体燃料の場合と同様に、水素添加によって着火・燃焼が促進されることを示すものであり、本研究によって初めて実験的に明らかにされた知見である。

(2) 定容燃焼実験による既燃ガスジェット点火法の有効性

副燃焼室キャビティ内で生成した燃焼ガスを、オリフィスを介して種燃焼室に吹き込むことにより、噴霧混在混合気においても着火・燃焼促進効果が得られることがわかった。図 5 はその典型例である。上段のスパークプラグの火花による点火に比べ、下段の既燃ガスジェット点火の燃焼状態は明らかに良くなっていることが確認された。これは、高温の既燃ガスジェットが主燃焼室の噴霧混在混合気と乱流混合し、多数の着火核を形成して燃焼する、いわゆる“体積的着火”が生じた結果であると考えられる。燃焼量が増加した結果、既燃ガスジェットによる点火法では、

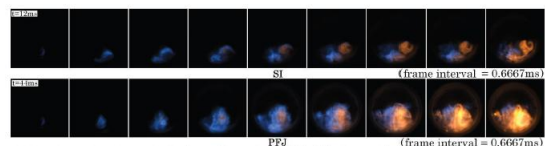


図 5. 既燃ガスジェット点火の効果

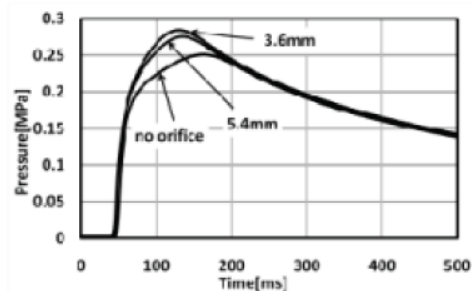


図 6. 既燃ガスジェット点火による燃焼過圧力の増加を示す圧力データ

最大燃焼過圧力が増加する(図 6)。ただし、オリフィス直径は最適なものを選択する必要がある。

以上の結果は、噴霧混在混合気においても、既燃ガスジェットによる点火法は極めて有効な着火・燃焼促進法となり得ることを示すものであり、本研究によって初めて実証されたものである。

(3) ダクト内燃料噴霧流の既燃ガスジェット点火法の適用有効性

ダクト内噴霧流の流量条件とオリフィス直径を変化させた際の着火確率を調べた結果、適切な条件範囲内であれば、噴霧流を着火させることが可能となることがわかった(表 2)。

表 2 ダクト内噴霧流の着火試験結果

Flow rate [L/min]	Orifice ϕ [mm]			
	no	6.4	4.0	1.6
120	○	○	△	×
140	○	○	△	×
160	○	○	×	×
180	○	○	×	×
200	○	○	×	×

※5 回の試行中、4・5 回着火 (○)、1・3 回 (△)、全て着火せず (×) で示している。

ただし、高流速のダクト内噴霧流の着火においては、オリフィス直径を小さくしすぎると既燃ガスジェットが吹き出す際の運動量が小さくなり、十分な乱流混合が広範囲で行えず、着火に至らない。

ダクト内噴霧流の着火や保炎を既燃ガスジェット点火法により検討した例はこれまでほとんどなく、条件の最適化についてのさらなる検討を行っていく必要はあるものの、まずは、その利用可能性を本研究において示すことができた。

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古市信治, 遠山政利, 斎藤寛泰, 菅野望, 吉川典彦, 水素添加によるエタノール蒸気-空気火炎の希薄燃焼促進, 査読有り, 日本機械学会論文集 B 編, 第 76 巻, 第 765 号, 2010, pp. 924-929.

[学会発表] (計 2 件)

①星野昌平, 田中伸吾, 斎藤寛泰, 水素添加によるエタノール噴霧の燃焼促進 (低温環境

下における着火特性), 第 18 回微粒化シンポジウム, 2009 年 12 月 18 日, 九州大学.

②星野昌平, 斎藤寛泰, 水素添加によるエタノール噴霧の燃焼促進, 日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月 14 日, 岩手大学.

[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

斎藤 寛泰 (SAITOH HIROYASU)
芝浦工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 80362284

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: