

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24年4月19日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560220

研究課題名（和文） カーボンナノチューブを点火源とした燃焼に関する研究

研究課題名（英文） Studies on Combustion using Carbon Nano Tube as an Ignition Source

研究代表者

村瀬 英一（MURASE EIICHI）

九州大学・工学研究院・機械工学部門

研究者番号：60150504

研究成果の概要（和文）：

カーボンナノチューブを点火源として、希薄予混合気の点火・燃焼に関する実験を行った。実験では、高速度カメラによる現象の観測と燃焼室内の圧力履歴を調べた。その結果、カーボンナノチューブを点火源とした希薄予混合気の点火・燃焼におよぼす、①燃焼様式 ②YAGレーザーのエネルギー密度 ③希薄可燃限界 ④触媒残留率の影響を定量的に明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The ignition and combustion tests were carried out using Carbon Nano Tube as an ignition source of lean mixtures. In the tests, combustion phenomena were recorded by a high-speed video camera and the pressures in the combustion chamber were recorded for analysis. Then, the effects of 1) Combustion pattern, 2) Energy of YAG laser, 3) Lean limit of mixture, and 4) Residual catalyst rate, on the ignition and combustion of lean mixtures were revealed quantitatively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

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：カーボンナノチューブ、自発点火

1. 研究開始当初の背景

石油資源の枯渇と地球温暖化問題は、人類が直面している最大の課題である。熱機関は、これらのエネルギー問題と環境問題に大きな影響を直接及ぼすものである。これらの問題に対する解決策として、予混合圧縮点火燃焼 HCCI 機関がある。しかし、HCCI 燃焼において、燃焼開始時期を直接制御する手法は確立されていないので、その手法を確立する

ことは、重要である。

2. 研究の目的

カーボンナノチューブは炭素の中でも比較的低い温度で燃焼することが知られている。カーボンナノチューブの自己着火をトリガに利用することで HCCI 燃焼の燃焼開始時期を制御することが可能だと考えられる。また、HCCI 機関に限らず、カーボンナノチューブの燃焼を予混合気の点火に利用するこ

とにより、点火源の分散を図ることが可能だと考えられ、内燃機関の希薄燃焼に関する有効な点火方法としても考えられる。そこで、本研究ではカーボンナノチューブの燃焼特性を活かし、での予混合気点火を実現させ、その燃焼特性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

燃料供給の系統を図1に、またレーザ点火を試みた時のレーザ・光学系を図2に示す。実験装置は、燃焼容器(図3)、予混合容器、制御系で構成されている。カーボンナノチューブは図4に示す保持装置の上に載せて、燃焼室に挿入した。実験に用いる混合気は、予混合容器で適当に混合された後、混合気は備えられた自動車用ジャッキにより燃焼容器へ送られる。また、レーザ装置、放電コイル、圧力計測装置は、制御用PCによって制御される。レーザ・光学系は、YAGレーザ、色素レーザ、U-Vパッケージからなる。本研究において、YAGレーザ、色素レーザ、UVXパッケージにより異なる波長、出力のレーザ光を

取り出し実験に用いた。YAGレーザにより波長532nmのレーザ光を発振し、色素レーザにより波長566nmに変換後、UVXパッケージにより波長283nmのU-V光を得た。YAGレーザを用いる際は、装置の機構上YAGレーザ出口からのレーザ光を直接用いることが困難だったため、誘多膜平面ミラーを用いレーザ光を取り出した。また、レーザ光の出力密度を上げる際には、BK7製の球面平凸レンズを用いてレーザ光を集光した。

4. 研究成果

カーボンナノチューブを用いた点火による予混合気の点火・燃焼に関して、各項目に対して以下のことが明らかになった。

①燃焼様式

図5～図7に、YAGレーザを用いたカーボンナノチューブの燃焼実験結果を示す。図中の時間は、レーザを照射し始めてからの時間である。レーザ光がカーボンナノチューブに衝突後、エネルギーを受け取ったカーボンナノチューブが点火し、点火したカーボンナノチューブがレーザ光との衝突による

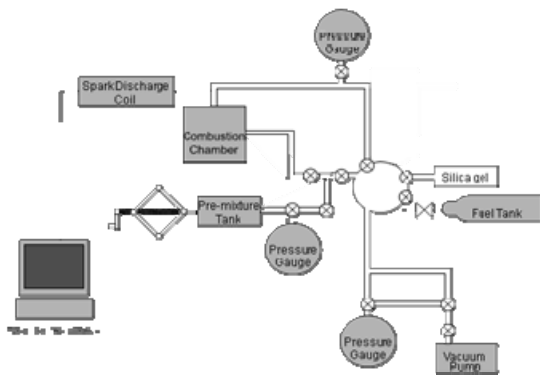


図1 燃料供給系

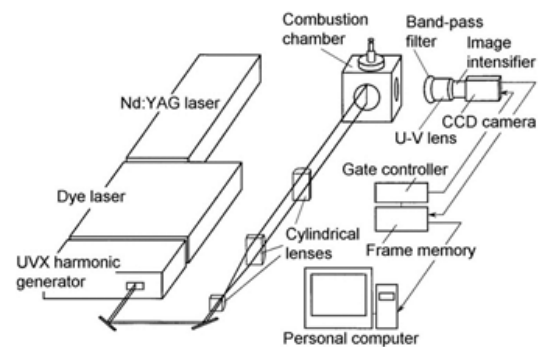


図2 レーザ・光学系

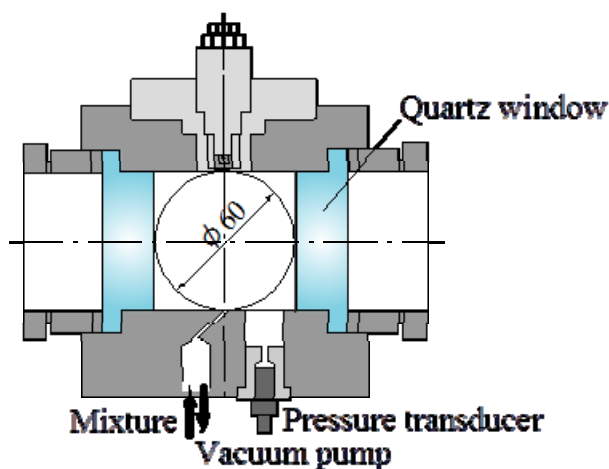


図3 燃焼室



図4 カーボンナノチューブ保持装置

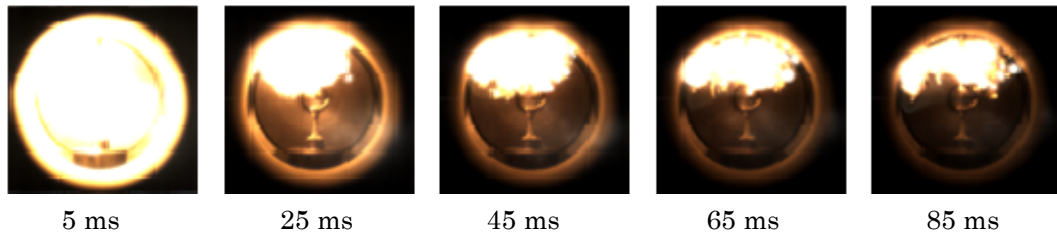


図5 燃焼画像 (触媒残留率 35%, レーザ径 2mm, 当量比 0.59)

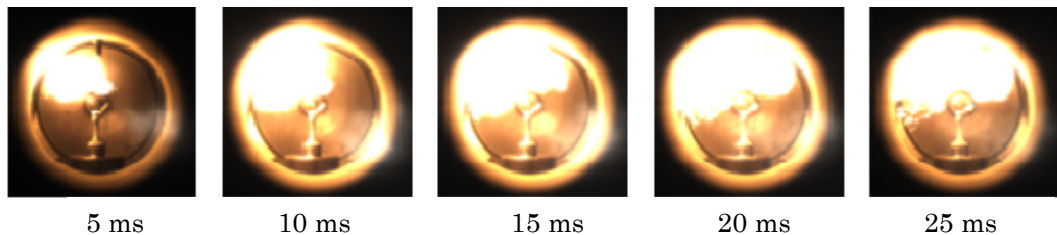


図6 燃焼画像 (触媒残留率 5%, レーザ径 2mm, 当量比 0.59)

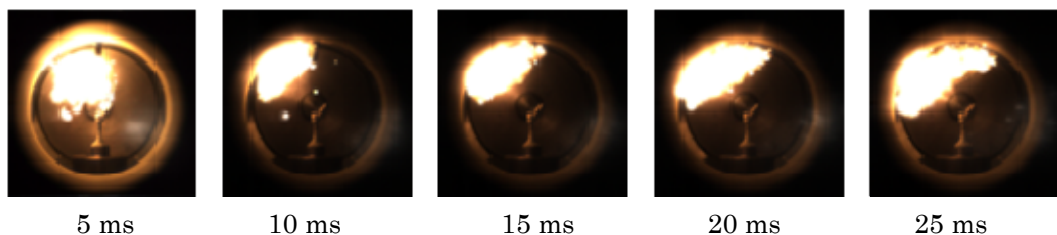


図7 燃焼画像 (触媒残留率 35%, レーザ径 2mm, 当量比 0.56)

衝撃のため、未燃混合気を巻き込みながら飛散し混合気に点火することが明らかになった。

②YAGレーザのレーザエネルギー密度
カーボンナノチューブに与えるレーザ光の焦点径を変える事により、エネルギー密度を変えて実験を行った。その結果、エネルギー密度が低くなると圧力上昇は遅くなり、エネルギー密度が $10\text{mJ}/\text{mm}^2$ では触媒残留率5%のカーボンナノチューブとすすでは点火が確認できず、実験に用いる量を増加させる必要があった。このことから、エネルギー密度が大きい方が点火能力は高いことがわかった。

③希薄可燃限界

触媒残留率 35%においた、メタン-空気予混合気の当量比 0.56 が希薄可燃限界であった。また、触媒残留率 5%では当量比 0.53 が希薄可燃限界であった。

④触媒残留率

当量比が 1 付近の予混合気では、触媒残留率が大きい方が圧力の立ち上がりは早く、レ

ーザのエネルギー密度を小さくした場合にも予混合気への点火が可能であり、点火能力が高かった。また、当量比が比較的小さい混合気では、触媒残留率が小さいカーボンナノチューブの方が点火後の最高圧力が高く、点火能力が高いことが明らかになった。

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 16 件)

①“Polytropic Pressure Analysis of HCCI Combustion Initiated by Pulsed Flame Jet”
Eiichi MURASE, Osamu MORIUE, Kazuro Hotta, Fumihiko NAKASHIMA
Archivum Combustionis (The Journal of the Thermodynamics and Combustion Committee of the Polish Academy of Sciences), 査読有, Vol.31, No.3, pp.167-175, 2011

②“Effects of Droplet Interaction on Spontaneous

Ignition of Droplet Pair in Pressurized Air”
Yohei NISHIYAMA, Osamu MORIUE, Hiroshi KATO, Hideki HASHIMOTO, Eiichi MURASE
The 28th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Paper No. 2011-h-43 (in USB flash memory),2011

③”Spontaneous Ignition of n-Decane and n-Decane/Ethanol Isolated Droplets in Pressurized Hot Air”
Osamu MORIUE, Yosuke YAMAGUCHI, Satoshi KAWASHIMA, Yohei NISHIYAMA, Fumihiro NAKASHIMA, Hideki HASHIMOTO, Eiichi MURASE
The 38th Scientific Assembly of the Committee of Space Research (COSPAR 2010),査読有, No. G02-0013-10 (in CD),2010

④”Spontaneous Ignition of a Droplet Pair in Microgravity”
Osamu MORIUE, Yosuke YAMAGUCHI, Daijiro ETO, Takuro EMURA, Amirrudin bin JAAFAR, Eiichi MURASE
Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan,査読有,Vol. 8,No.ists27, pp. Ph_15-Ph_18,2010

⑤”Ignition and Combustion of Rotary Engine - Effect of spark-plug arrangement on flame propagation -“
Nobunori OKUI, Yoshitomo TAKAHASHI, Ryoji KAGAWA, Michihiko TABATA, Osamu MORIUE, Eiichi MURASE
Review of Automotive Engineering,査読有,Vol.30, No.4,pp.379-385,2009

⑥”Numerical Simulations of Spontaneous Ignition of Mono-disperse Fuel Spray in Lean Premixed Gas”
Osamu MORIUE, Yoshiaki KAWAIDA, Hiroshi KATO, Eiichi MURASE
The 11th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS 2009), 査読有, Paper No.: 114 (in CD), July, 2009

⑦”Numerical Simulations of Spontaneous Ignition of Mono-disperse Fuel Spray in Lean Premixed Gas”
Osamu MORIUE, Yoshiaki KAWAIDA, Hiroshi KATO, Eiichi MURASE
The 11th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS 2009), 査読有, Paper No.: 114 (in CD), July, 2009

⑧”Cool-Flame Behaviors of an n-Decane/Ethanol Binary-Fuel Droplet in

Microgravity”
Osamu MORIUE, Daijiro ETO, Kei SHIMADA, Hiroya SAHARA, Eiichi MURASE
Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Space Technology Japan, 査読有,Vol. 7, No. ists26, pp. Ph_7-Ph_10, May, 2009

⑨”Ignition and Combustion of Rotary Engine - Effect of Spark-plug Arrangement on Flame Propagation -
“ロータリエンジンの着火と燃焼 -火炎伝ばに及ぼす点火プラグ配置の影響-”
奥井 伸宜, 高橋 巧朋, 香川 良二, 田端 道彦, 森上 修, 村瀬 英一
自動車技術会論文集, 査読有,40 巻 2 号, pp. 319-324, 2009 年

[学会発表] (計 20 件)
①ガソリンエンジンにおける点火 -火焰点火からレーザー点火まで-
村瀬英一
第 22 回内燃機関シンポジウム, 基調講演, pp. K1-K23, 2011 年 11 月

②ジェット点火による希薄混合気の燃焼促進
村瀬英一
日本機械学会 2011 年度年次大会, 基調講演, Paper No. K071001 (in DVD-ROM), 2011 年 9 月

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]
○出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

[その他]
ホームページ
<http://www.mech.kyushu-u.ac.jp/~es1/index.html>

6. 研究組織
(1) 研究代表者
村瀬 英一 (MURASE EIICHI)
九州大学・大学院工学研究院
・機械工学部門・教授
研究者番号：60150504
(2) 研究分担者
森上 修 (MORIUE OSAMU)
九州大学・大学院工学研究院
・機械工学部門・准教授
研究者番号：70363124