

機関番号：17501
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560196
 研究課題名（和文） 非平衡プラズマによる希薄予混合気の着火特性改善と初期燃焼機構の解明に関する研究
 研究課題名（英文） Study of improving the inflammability and clarifying initial combustion mechanisms for lean premixed hydrocarbon by nonequilibrium plasma
 研究代表者
 田上 公俊（TANOUE KIMITOSHI）
 大分大学 工学部・教授
 研究者番号：60284783

研究成果の概要（和文）：

本研究では、新たな自動車用点火装置として、小型の IES（誘導エネルギー蓄積）式パルス電源の適用可能性を調べた。本点火装置は、パルス幅 10ns～100ns 程度の繰り返しパルスを生じることが可能であるため、最初に非平衡プラズマ放電により活性化学種を生成した後、短パルスアーク放電によりエネルギーを供給することで、希薄燃焼時の着火特性の改善が期待できる。結果、本点火装置は希薄点火特性を向上させるとともに、初期燃焼を促進することが分かった。

研究成果の概要（英文）：

A newly developed small-sized IES (inductive energy storage) circuit with a semiconductor switch at turn-off action was successfully applied to an ignition system. This IES circuit can generate repetitive nanosecond pulse discharges. An ignition system using repetitive nanosecond pulse discharges was investigated as an alternative to conventional spark ignition systems. The ignition system using repetitive nanosecond pulse discharges was found to improve the inflammability of lean combustible mixtures, such as extended flammability limits, shortened ignition delay time, with increasing the number of pulses.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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、プラズマ利用、プラズマ支援燃焼

1. 研究開始当初の背景

現在の内燃機関技術には地球規模での環境問題やエネルギー資源枯渇問題の観点から、高効率・低公害な燃焼技術の開発が求められている。火花点火エンジンの高効率で低公害な燃焼技術の 1 つとして希薄燃焼技術や

EGR（排気再循環）希積燃焼技術が知られているが、一方で失火や燃焼速度の低下など未だ解決すべき問題を内包している。これらの問題解決のために新たなコンセプトの点火装置が提案されているが、いまだ実用化には至っていない。

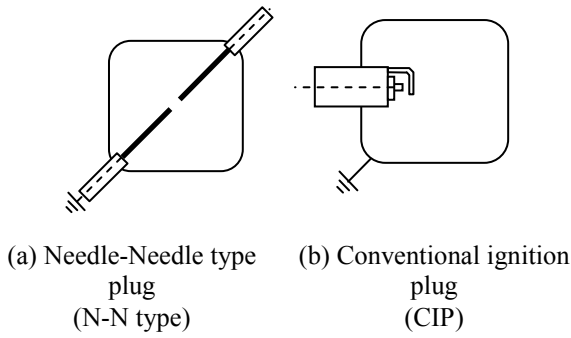


Fig.1 Ignition plug

2. 研究の目的

本研究では、新たに開発した小型の IES (Inductive Energy Storage: 誘導エネルギー蓄積) 式パルス電源を用いて生成したプラズマを利用して、様々な条件下での予混合気の点火特性を調べた。

3. 研究の方法

本実験に用いた燃焼装置は、上下2面に直径92mmの多孔板を、他の4面には直径92mmの観測窓を配置した内径が約100mmの球形に近い定容燃焼器である。本研究では分圧により所定の組成で混合気を充填し、ファンにより攪拌した後、時間をおいて電極により中心点火して実験を行った。本研究では2種類の点火プラグを使用した。図1に使用した点火プラグの形状を示す。図1(a)は両極が針であるタイプ(以降N-Nタイプ)の電極であり。図1(b)は燃焼室壁面に取り付けた市販のスパークプラグ(以降CIP)である。

本研究ではイソオクタン及び、プロパン・空気予混合気を用い、希釈剤としてN₂またはCO₂を添加して実験を行った。いずれの実験も初期圧力は0.1MPaとした。

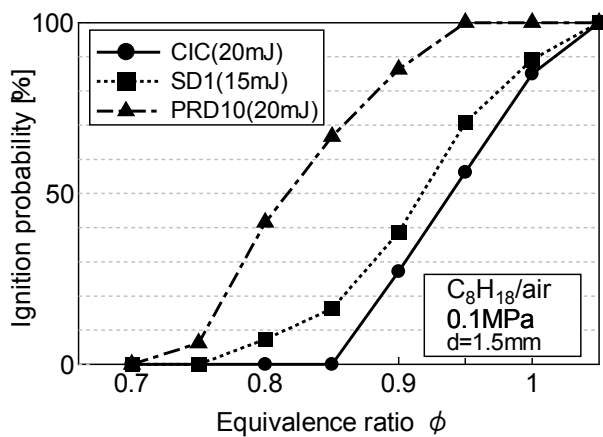


Fig.2 Ignition probability for IES circuit and conventional ignition circuit for conventional ignition plug

4. 研究成果

本研究ではまず、IES 点火回路の希薄点火特性を調べるため、IESの10パルス放電 (PRD10)、単パルス放電 (SD1) 及び、市販の自動車用点火回路 (CIC) により、点火確率、点火遅れを調べた。ここでSD1は極短幅のアーキ放電のみ、PRD10は5回のストリーマ放電と5回のアーキ放電となるようにパルス幅を調整した。この際、反復パルスは最大約10kV、パルス幅10~200ns、繰り返しパルス周波数25kHz程度であった。本研究において点火確率は、放電後点火して燃焼に至った割合とし、点火遅れは放電から最大圧力の10%の圧力に達するまでの時間として定義した。実験は点火エネルギーを固定し、各条件に対して10~100回の実験を行い算出した。ここで、燃料はイソオクタンを、プラグはプラグ間隔1.5mmに拡大した市販のスパークプラグを図1(b)に示すように装置壁面に取り付けて実験を行った。PRD10, SD1, CICの点火エネルギーの平均はそれぞれ約20mJ, 15mJ, 20mJであった。

図2に初期圧力0.1MPaのイソオクタンに関して、当量比と点火率の関係をPRD10, SD1及びCICに対してそれぞれ示す。CIC, SD1を比較すると、100%の点火率を示す当量比は1.05で変化がないが、それ以下の当量比では、SD1の点火率が向上(希薄可燃限界が拡大)していることが分かる。一方、PRD10では100%の点火率を示す当量比は0.95と、希薄可燃限界が大きく拡大しており、繰り返しパルス放電は希薄燃焼時の点火特性を向上させることが分かる。

図3にこの場合の当量比と点火遅れの結果を示す。図から、SD1の点火遅れはCICに比べて短縮していることが分かる。さらにPRD10はSD1に比べて点火遅れが減少しているが、その効果は点火確率の改善ほど大きくない。以上のことから、IES回路は市販スパーク

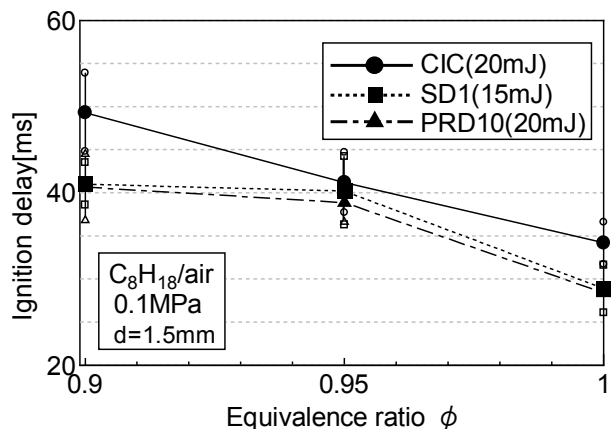


Fig.3 Ignition delay for IES circuit and conventional ignition circuit for conventional ignition plug

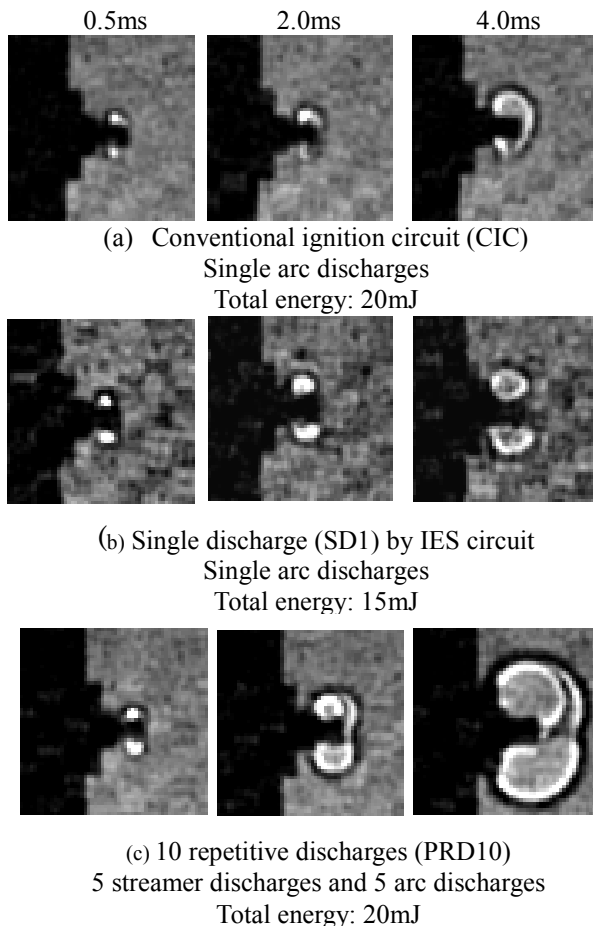


Fig.4 Schlieren photographs for C_3H_8 -air with $\phi=1.0$
time: 0.5, 2.0 and 4.0 ms

ラグでも、希薄点火特性改善効果があり、また、初期燃焼を促進する効果がある。さらにこの効果は、繰り返しパルスで顕著になることが分かった。

次に既存の自動車用点火回路に比べて、IES回路の希薄及び希釈点火特性が改善するメカニズムを調べた。本研究では市販の点火プラグ(図1(b))を用いて火炎核形成の様子を調べた。

図4に当量比1.0のプロパン・空気混合気に対して得られたCIC及びIESのSD1、PRD10のシュリーレン写真を、点火からの時間0.5ms、2.0ms、4.0msに対してそれぞれ示す。

図4(a)(b)において、CICとSD1を比較すると、CICに比べSD1の火炎核は円環状で点火プラグから離れていることが分かる。これによりSD1はプラグへの熱損失が小さいことが推察される。また同時間で比較すると、SD1の供給エネルギーはCICより少ないにも関わらず、SD1の火炎核はCICに比べて大きいことが分かる。初期火炎核が大きいと、初期燃焼が促進されると考えられる。これはSD1の点火特性がCICに比べ優れており、初期燃焼が促進されるといった以前の結果と整合性を有する。これらの現象に関して、同一エネ

ルギーであるなら、できるだけ短い時間で与えた方が、点火性能が向上することは以前の研究[6]でも報告されている。一方、図4(c)において、反復パルス放電PRD10の火炎核は単パルス放電のSD1と基本的に似ているが、楕円体に近い形となっている。また、火炎核内にしわが確認できることから、火炎核が乱され表面積が増加していることが分かる。また、同一時間で比較すると、PRD10により形成された火炎核はより大きく成長していることが分かる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

1. Kimitoshi Tanoue, Tatsuya Kuboyama, Yasuo Moriyoshi, Eiki Hotta, Yuichiro Imanishi, Naohiro Shimizu, Katsuji Iida, Extension of Lean and Diluted Combustion Stability Limits by Using Repetitive Pulse Discharges, SAE Technical Paper 2010-01-0173, 2010.
2. 田上公俊, 伊東隆志, 窪山達也, 森吉泰生, 堀田栄喜, 清水尚博, 今西雄一郎, 飯田克二, 繰り返しパルスプラズマ放電を用いた点火システムの開発(第3報) —希釈条件下での点火特性—, 自動車技術会論文集, Vol.41, No.5, pp.1069-1074, 2010.
3. Kimitoshi Tanoue, Tatsuya Kuboyama, Yasuo Moriyoshi, Eiki Hotta, Yuichiro Imanishi, Naohiro Shimizu, Katsuji Iida, Development of a Novel Ignition System Using Repetitive Pulse Discharges: Application to a SI Engine, SAE International Journal of Engines, Vol.2 No.1, pp.298-306, SAE Technical Paper 2009-01-0505, 2009.
4. 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 堀田栄喜, 清水尚博, 今西雄一郎, 飯田克二, 繰り返しパルスプラズマ放電を用いた点火システムの開発 第二報点火機構の解明と実機での試験, 自動車技術会論文集 Vol. 40, No. 5, pp. 1223-1228, 2009.
5. Kimitoshi TANOUE, Eiki HOTTA, Yasuo MORIYOSHI, Enhancement of Ignition Characteristics of Lean Premixed Hydrocarbon-Air Mixtures by Repetitive Pulse Discharges, International Journal of Engine Research, Vol.10 No.6, pp.399-407, 2009.
6. Kuboyama, T, Moriyoshi, Y, Tanoue, K., Imanishi, Y. et al., Very Lean and Diluted SI Combustion Using a Novel Ignition System with Repetitive Pulse

Discharges, SAE International Journal of Engines, Vol.2 No.2, pp.749-755, SAE Technical Paper 2009-32-0119, 2009.

〔学会発表〕(計 21 件)

1. 伊東隆志, 林田貴章, 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 堀田栄喜, 清水尚博, 繰り返しナノパルス放電プラズマによる希薄及び希積予混合気の点火特性改善に関する研究, 第 48 回燃焼シンポジウム講演論文集, 2010. 12, (2pages)
2. 伊東隆志, 林田貴章, 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 堀田栄喜, 清水尚博, 繰り返しパルスプラズマ放電による希薄・希積点火限界の拡大, 第 21 回内燃機関シンポジウム講演論文集, pp. 201-206, PaperC2-4, 2010. 11, (6pages)
3. 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 堀田栄喜, 清水尚博, 今西雄一郎, 飯田 克二, 繰り返しパルスプラズマ放電を用いた点火システムの開発(第 3 報)ー希積条件下での点火特性ー, 自動車技術会春季大会講演論文集, Paper20105308, 2010. 5, (6pages)
4. 栄喜, 清水尚博, 今西雄一郎, 飯田 克二, 繰り返しパルスプラズマ放電による希薄炭化水素予混合気の点火特性改善に関する研究, 第 20 回内燃機関シンポジウム講演論文集, Paper20090055, 2009. 9, (6pages)
5. 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 堀田栄喜, 清水尚博, 今西雄一郎, 飯田 克

二, 繰り返しパルスプラズマ放電を用いた点火システムの開発, 第二報 点火機構の解明と実機での試験, 自動車技術会春季大会講演論文集, Paper20095178, 2009. 5, (6pages)

6. 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 堀田

〔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〕

特に無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田上 公俊 (TANOUE KIMITOSHI)
大分大学・工学部・教授
研究者番号: 60284783

(3) 連携研究者

堀田 栄喜 (HOTTA EIKI)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授
研究者番号: 70114890

森吉 泰生 (MORIYOSHI YASUO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40230172