

レーザー一点火におけるサードローブ形成・消炎メカニズムの解明とその制御手法の確立

所属：岐阜大学 工学部 機械工学科

助成対象者：小林 芳成

共同研究者：なし

概要

内燃機関における燃料超希薄燃焼の実現に向けて、レーザーを用いたレーザー一点火の実用化が進められている。レーザー一点火では、サードローブと呼ばれる瞬時に消炎する高温ガス領域が形成される。消炎はエネルギー損失に相当するため、サードローブの形成あるいは消炎を抑制すれば点火性能の向上を見込め、延いては熱効率上昇に寄与できる。しかしながら、そのメカニズムは十分に理解されていない。そこで本研究は、実験と数値解析の両方からアプローチし、サードローブ形成・消炎メカニズムの解明を目指す。そして、得られた知見をもとにサードローブ制御手法を確立し、燃料超希薄燃焼の実現を通して環境問題およびエネルギー問題の解決に貢献する。

Abstract

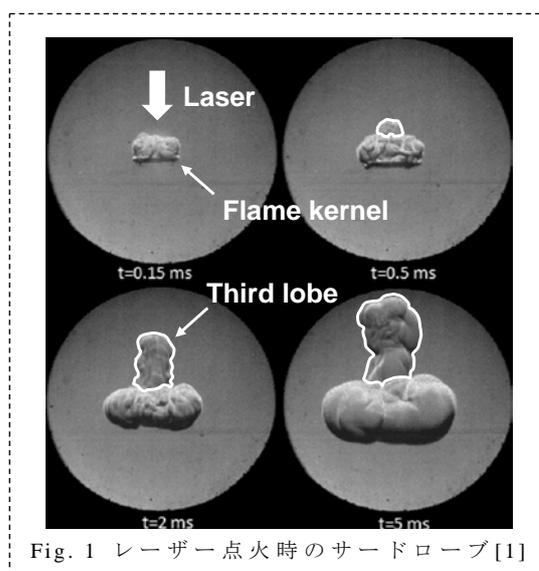
Laser-induced spark ignition is being developed to achieve super lean-burn in internal combustion engines. Hot gas regions to be instantly extinct, i.e., third lobe, are formed in the laser-induced spark ignition. Controlling the formation or extinction of the third lobe leads to a high ignition performance, consequently resulting in a high thermal efficiency. This is because the extinction is comparable to the energy loss. The physics, however, are still not well understood. This work then aims to investigate the mechanism of

the formation and extinction of the third lobe via experiment and computational analysis. A technique of controlling the third lobe is developed via the findings from this study, which can contribute to the solutions of environmental issues and energy ones through the super lean-burn.

研究内容

背景

近年、CO₂やNO_x排出低減による環境保護などを目的として、内燃機関における燃料超希薄燃焼が求められている。燃料希薄条件で点火させるにはエンジン筒内を高圧にする必要があるが、従来のスパークプラグは高圧下ではスパークが飛びづらくなるという特徴がある。そこで、高圧下でも容易にスパークが形成され、安定した燃焼を得られる点火源として、レーザーの利用が検討されている。レーザーを用いた点火（以下、レーザー点火）では、レーザー光を



集光して集光点付近の原子や分子を誘電破壊（ブレイクダウン）し、その時生じる高温のプラズマによって点火するため、原子・分子の数密度が高くなる高圧条件ほどスパークが形成され易い。また、空間の任意の点にスパークを飛ばすことができるため、スパークプラグなどの壁面への熱損失を低減することもできる。

レーザー点火では、サードローブと呼ばれる高温ガスがレーザー入射方向に突出する現象が生じる（Fig.1）。サードローブは火炎核の他の部分に比べて成長が非常に速く、最終的に消炎する傾向がある。レーザー点火は上記のような長所を有しているため、内燃機関への実用化に向けて基礎から応用に至る幅広い研究がなされてきたが、サードローブの形成・消炎メカニズムは未だ十分に解明されていない。そのため、本メカニズムの解明は学術的研究意義が非常に高い。そして、サードローブの消炎は火炎核のエネルギー損失に相当するため、その形成あるいは消炎を抑制することにより点火性能の向上が見込める。よって、サードローブ制御手法の確立は内燃機関におけるレーザー点火の実用化を促進させ、燃料超希薄燃焼の実現延いては環境問題、エネ

ルギー問題の解決に貢献し得る。

目的

レーザー点火に関する研究の多くは，サードローブの形成・消炎挙動に対して定性的にしか言及していない[2]．そこで本研究は実験，理論そして数値シミュレーションの多方面よりアプローチし，サードローブ形成・消炎メカニズムの解明を目指す．これまでサードローブに注目し，そのメカニズムを調査した研究は報告されていないため，本研究課題は先駆的なものであり，多くの学術的知見をもたらす得る．また，サードローブは最終的に消炎する傾向にあるため，燃焼工学においてはその形成もしくは消炎を抑制することが求められる．本研究は前述で得られた知見をもとにサードローブ制御手法を提案し，その有効性を実証する．提案する制御手法には点火性能を向上させる効果が期待できるため，本研究で得られる成果は自動車産業や航空宇宙産業など内燃機関を扱う分野に対してインパクトが非常に大きい．

結果

初めに，サードローブの流体力学的構造を把握するため，PIV（Particle Image Velocimetry：粒子画像流速測定法）によるサードローブおよびその周囲の流れ場の可視化を試みた．定容燃焼容器に封入されている常圧の空気に対して，レーザー光を照射・集光してブレイクダウンさせ，サードローブを形成した．そして，そのレーザー光と直交する形でレーザーシートを入射し，そのシート上の粒子を追跡することにより流れ場を可視化した．なお，使用したレーザーはNd:YAGレーザー（波長 532 nm，パルス幅 7 ns），集光レンズは焦点距離 100 mm の凸レンズ，トレーサー粒子には市販の線香の煙を用いた．

Figure 2, 3 にサードローブの直接画像および流れ場の解析結果を示す．Figure 1 と同様に，レーザー入射方向に（Figs. 2, 3 の左側）にガスが突出しているのがわかる．また，サードローブの上下で渦が形成されているのが確認できる．このことから，上下で形成された渦によって誘起された高温ガスが，巻き込むような形で中心を貫通してレーザー入射方向にせり出し，それがサードローブとなっていることが推察される．しかしながら，その上下の渦がどのような因子によって駆動されているのかは，今回得られた結果のみでは特定することが難しい．その要因を特定し，それを制御するこ

とができれば、サードローブの形成を抑制することができ、点火性能の向上も期待できる。



Fig. 2 Direct image of a third lobe.

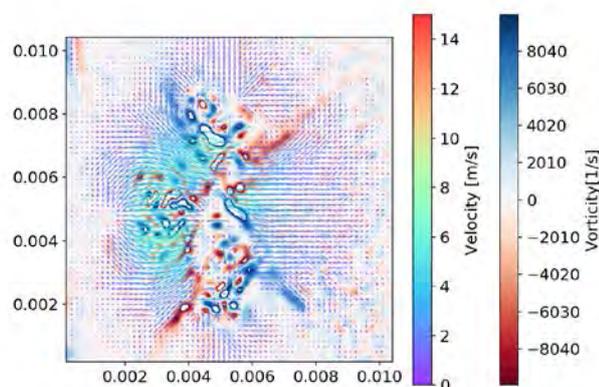


Fig. 3 Flow distribution around a third lobe.

今後

今回、PIV によって流れ場を可視化することにより、サードローブの流体力学的構造を明らかにすることができた。しかしながら、サードローブの形成メカニズムには近づけたものの、その根本的な要因を掴むまでには至らなかった。今後は、引き続き流れ場に着目すると共に、化学的なアプローチとして LIF (Laser Induced Fluorescence : レーザー誘起蛍光法) を用いて、火炎核およびその周囲に存在する OH などのラジカル (活性化学種) の分布を把握するなど、多角的にアプローチしてサードローブの形成・消炎メカニズムの包括的理解に向けて邁進していく。

引用文献

- [1] B. Almansour et. al., *J. Energy Resour. Technol.* 138 (3) 032201.
- [2] D. Bradley, et. al., *Combust. Flame* 138 (2004) 55-77.

本助成に関わる成果物

[論文発表][口頭発表][ポスター発表][その他] 現在のところ、いずれも無し