

令和元年6月13日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06133

研究課題名(和文) 高密度に設置したイオンプローブ群によるノッキングの詳細計測手法の開発

研究課題名(英文) Development of detailed measurement method for engine knocking by densely installed multiple ion-probes

研究代表者

八房 智顯 (Yatsufusa, Tomoaki)

広島工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50346524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高密度に設置した複数のイオンプローブを用い、ガソリンエンジン内で生じるノッキング(異常燃焼)を、時間的・空間的に高い解像度で計測が可能な技術の開発を目的として実施した。本手法の計測特性を把握するために行った定容容器内燃焼実験では、様々な形態の火炎を本手法で計測したところ、他の計測方法では得られない詳細な速度情報を取得できることが確認された。ガソリンエンジンについても本方法を適用してエンジン内の火炎伝播の計測を試みた。研究期間の最終年度において、サイクル平均ではあるが、イオンプローブ群により取得した火炎信号からエンジン内を伝播する火炎の様子を再構築することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人類活動に必要な総エネルギーの約8割は、化石燃料を“燃焼”させ得ている。このため燃焼の効率化によるCO2排出量削減効果は非常に大きい。本研究は複数のイオンプローブを用いて、火炎を従来よりも詳細に計測できる手法を開発しようとするもので、特に自動車などのピストンエンジンの開発時に本計測方法を利用することを想定している。本計測方法はより低燃費の自動車用エンジンを開発するための重要なツールになるものであり、CO2排出量削減に貢献できると考えている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to develop a technic that can measure knocking (abnormal combustion) generated in a gasoline engine with high temporal and spatial resolution using multiple ion-probes installed at high-density. In the experiment with flames of various forms in a constant volume combustion tube conducted to understand the measurement characteristics of this method, it is confirmed that detailed velocity information that cannot be obtained by other measurement methods can be acquired. The method was also applied to a gasoline engine to measure flame propagation in the engine. In the last year of the research period, the propagating flames in the engine, although cycle-averaged, were successfully regenerated from the flame signals by multiple ion-probes.

研究分野：燃焼工学

キーワード：イオンプローブ 火花点火機関 ノッキング 異常燃焼 デトネーション

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

自動車用ガソリンエンジンの低燃費化には、圧縮比を高めることが有効であることが古くから知られているが、ノッキングに代表される異常燃焼が生じてしまうため圧縮比の増加には限界がある。本研究は、ノッキングを避けながら圧縮比を高めるために、ノッキングを実負荷条件下で精密に計測ができる計測手法となり得る複数のイオンプローブを用いた方法（以下、マルチイオンプローブ法）を提案・開発した。

### 2. 研究の目的

本研究は、高密度に設置した複数のイオンプローブを用い、ガソリンエンジン内で生じるノッキング（異常燃焼）を、時間的・空間的に高い解像度で計測が可能な技術の開発を目的としている。本手法は可視化や圧力計測など従来のノッキング計測技術に比べて計測部の物理的強度が高く、高速かつ空間的に解像度の高い燃焼計測が可能であるため、ノッキングのような爆発的で高速の燃焼現象の計測に最適である。さらにデトネーション（原発や水素ステーションの事故時に発生しうる水素爆発など）の性質解明に必要な詳細計測も可能である。本計測手法は爆発的な高速燃焼現象に対して広く利用できる詳細計測ツールになり得るものであり、研究期間内に同手法の基本特性を調査し実用化の目処を立てる。

### 3. 研究の方法

マルチイオンプローブ法の性能を高める、マルチイオンプローブ法の計測特性を確認するための「①：定容燃焼管による計測実験」と、マルチイオンプローブを用いたガソリンエンジン内の燃焼計測技術を確立するための「②：2ストロークガソリンエンジンによる計測実験」の2つを並行して行った。特に②については、研究の一部を企業と共同で実施した。

### 4. 研究成果

#### (1) イオンプローブ形状の最適化

イオンプローブを高密度に設置するためにはイオンプローブ素線の小径化が必要である。このため、定容燃焼管を用いて小径化と火炎検出感度の影響を調べた。また、エンジン内伝播火炎の検出においては火炎検出の感度が低いことが問題となったため、イオンプローブ素線のほか、素線突き出し量の影響についても調査した。図1は2ストロークガソリンエンジンにおいて、エンジン内を伝播する火炎検出感度にイオンプローブ形状が及ぼす影響を調査したものである。とくにイオンプローブの突出長さが火炎検出感度には効果的であることがわかったが、突出長さを長くすると、イオンプローブが火炎に物理的な影響を及ぼしてしまう可能性が高まるため、可能な限りイオンプローブの突出長さは短くして火炎を検出することが望ましいと言える。

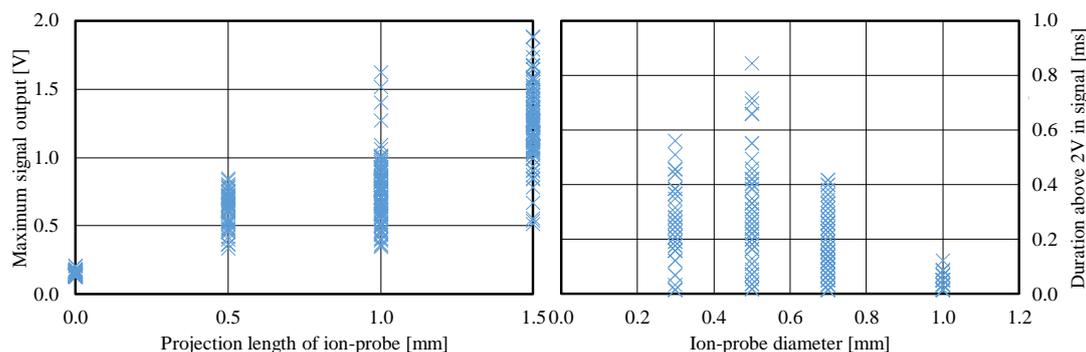


図1 2ストロークガソリンエンジン内の火炎検出におけるイオンプローブ形状の影響  
(左：素線突出長さ、右：素線直径)

#### (2) マルチイオンプローブ法の計測特性の確認

マルチイオンプローブ法の計測特性を確認するため、定容燃焼管内で発生させた様々な形態の伝播火炎を本法で計測した。図2はマルチイオンプローブ法により計測したメタン・酸素・窒素混合気中を伝播する火炎の例で、内径58mmの定容燃焼管中を伝播する火炎を検出したものである。複雑に変形しながら伝播する様子が捉えられている。この他にも、数m/sから4000m/sまでの範囲で伝播する火炎を精密に計測することができることを確認した。したがって、マルチイオンプローブ法はガソリンエンジン内のノッキングを精密に捉える計測性能があることが確認できた。

取得データの表示方法についても複数の手法を開発した。図3は、図2と同一の実験データであるが、円管の壁面内を連続的に伝播する様子をコマ送りのアニメーションとして再構成したものである。この手法により、密閉容器内を伝播する火炎の様子を間接的に可視化することが可能となった。

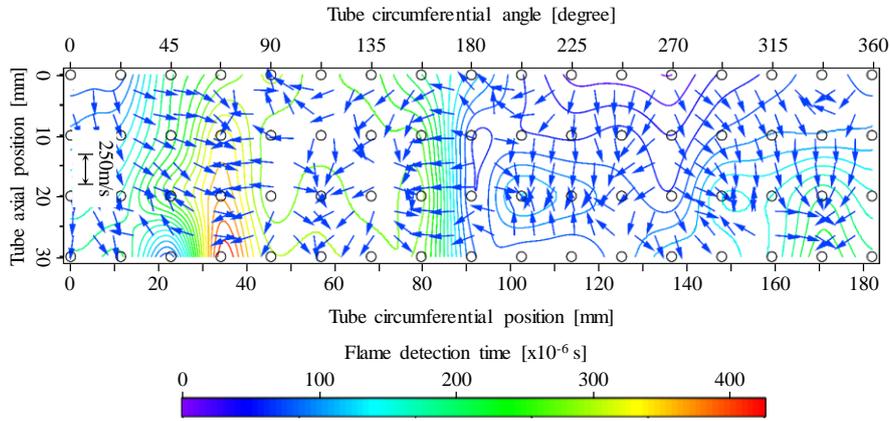


図2 マルチイオンプローブ法により計測した伝播火炎の一例  
(メタン・酸素・窒素混合気)

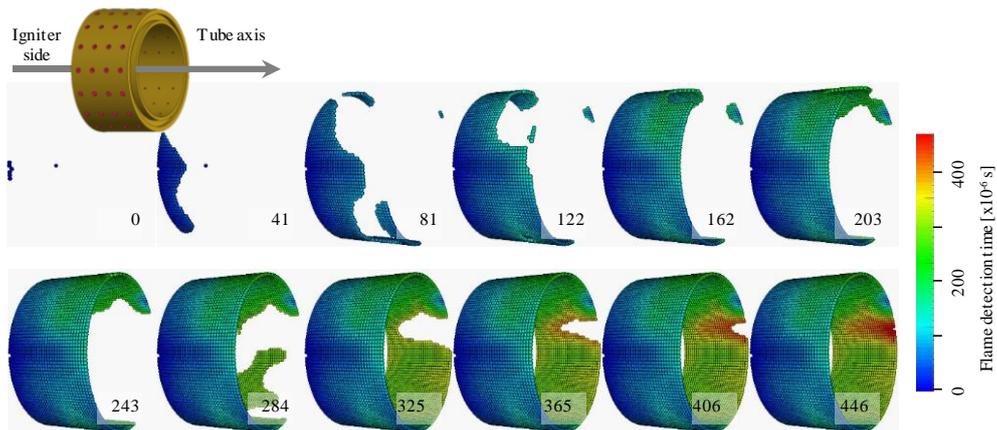


図3 壁面に沿った火炎伝播の様子を再構成した一例  
(実験データは図2と同一)

### (3) ガソリンエンジン内の伝播火炎の計測

2ストロークガソリンエンジン内を伝播する火炎について、マルチイオンプローブ法を用いて計測を試みた。ガソリンエンジン内の火炎は、火炎の検出信号出力が小さいこと、点火ノイズが大きいことの2点により研究期間内に当初目標としていたノッキング計測までは達成することはできなかった。なお2ストロークガソリンエンジンのシリンダーヘッドに8本のイオンプローブを設置し、多サイクルの平均ではあるが図4に示すようにエンジン内の火炎伝播を再構成することに成功した。

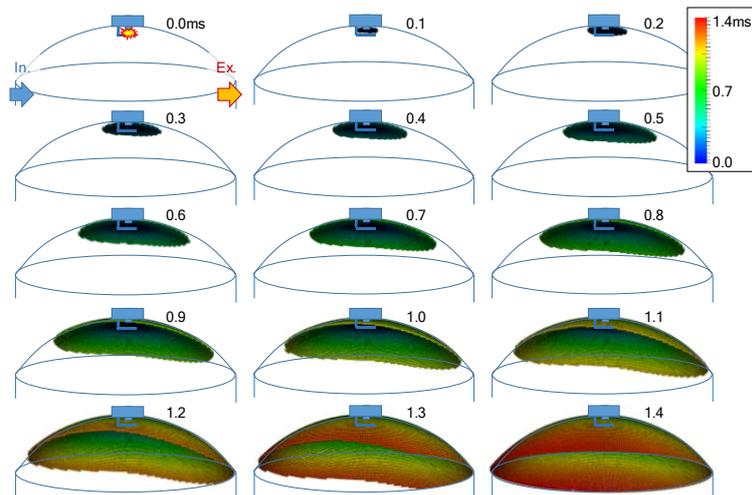


図4 マルチイオンプローブ法により計測した  
2サイクルガソリンエンジン内のサイクル平均伝播火炎

#### (4) まとめ

複数のイオンプローブを用いて密閉容器内を伝播する火炎を捉えるマルチイオンプローブ法について、本手法の火炎計測性能を調査するとともに2ストロークガソリンエンジン内の火炎計測への適用を試みた。

本手法では伝播速度が数 m/s から 4000m/s の広い範囲の火炎に対して伝播状態を精密に計測することができることを確認できた。特に計測性能が確認できた高速度側の速度領域はガソリンエンジン内で発生するノッキングの伝播速度よりも十分に大きいため、本計測方法はノッキングを捉える性能があることが確認された。

一方で2ストロークガソリンエンジンへの適用については、当初目標としていたノッキングの計測には至らなかったが、複数のイオンプローブを用いて、エンジン内を伝播する火炎の様子を捉えることに成功した。

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 13件)

1. 城井啓吾, 三浦直也, 山本大貴, 八房智顯, 多点配置したイオンプローブによる伝播火炎の詳細計測 (日本機械学会中国四国支部講演会, 2019/3)
2. 城井啓吾, 八房智顯, 高密度に設置したマルチイオンプローブによるデトネーションセル構造の計測 (第56回燃焼シンポジウム, 2018/11)
3. 八房智顯, 城井啓吾, 高谷健太郎, マルチイオンプローブ法による燃焼管内の伝播火炎の詳細計測 (日本機械学会 2018 年度次大会, 2018/9)
4. Tomoaki Yatsufusa, Keigo Kii, Kentaro Takatani, Precise measurement of propagating flame in 2-stroke gasoline engine by multiple ion-probes (ICAS2018, 2018/9)
5. Tomoaki Yatsufusa, Keigo Kii, Investigation of flame measurement characteristics by multiple ion-probes using CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> mixture (37th International combustion symposium, 2018/7)
6. 八房智顯, 高谷健太郎, 城井啓吾, マルチイオンプローブを用いた2ストロークガソリンエンジン内の伝播火炎の計測 (第28回内燃機関シンポジウム, 2017/12)
7. Tomoaki Yatsufusa, Kentaro Takatani, Keigo Kii, Shinsuke Miyata, Precise measurement of propagating flame in 2-stroke gasoline engine by multiple ion-probes (SETC2017, 2017/11)
8. Tomoaki Yatsufusa, Keigo Kii, Kentaro Takatani, Shinsuke Miyata, Detailed measurement on propagating flame of methane-oxygen mixture by densely installed multiple ion-probes (COMODIA2017, 2017/7)
9. 城井啓吾, 八房智顯, 高谷健太郎, 宮田 晋輔, マルチイオンプローブ法による2ストロークガソリンエンジン内燃焼計測技術の開発 (自動車技術会 2017 年春季大会, 2017/5)
10. 城井啓吾, 宮田晋輔, 八房智顯, マルチイオンプローブによる密閉容器内伝播火炎の詳細計測 (日本機械学会中国四国支部講演会, 2017/3)
11. 宮田晋輔, 高谷健太郎, 城井啓吾, 八房智顯, 高密度配置したマルチイオンプローブによる伝播火炎詳細計測技術の開発 (第54回燃焼シンポジウム, 2016/11)
12. 高谷健太郎, 宮田晋輔, 城井啓吾, 八房智顯, 松原泰司, 2-ストロークガソリンエンジンにおけるイオンプローブ法の計測技術の開発 (日本航空宇宙学会西部支部講演会, 2016/11)
13. Tomoaki Yatsufusa, Kentaro Takatani, Shinsuke Miyata, Application of flame measurement technic by densely installed ion-probes on 2-stroke gasoline engine (ICAS2016, 2016/9)