

様式 I

博士学位論文調査報告書

論文題目

火花点火機関における誘電体バリア放電を用いた着火性改善に関する研究

申請者

井上 貴裕

最終学歴

令和 4 年 3 月

京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー変換科学専攻博士後期課程
(研究指導認定見込)

学識確認

令和 年 月 日 (論文博士のみ)

調査委員
(主査)

京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 川那辺 洋

調査委員

京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 今谷 勝次

調査委員

京都大学大学院エネルギー科学研究科
准教授 林 潤

(続紙 1)

| | | | |
|---|-----------------------------------|----|-------|
| 京都大学 | 博士 (エネルギー科学) | 氏名 | 井上 貴裕 |
| 論文題目 | 火花点火機関における誘電体バリア放電を用いた着火性改善に関する研究 | | |
| (論文内容の要旨) | | | |
| <p>本論文は火花点火機関における点火機構を明らかにするとともに、非平衡プラズマを活用したあらたな点火システムを構築することを目的とした研究をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>まず、第1章では現在の火花点火機関を取り巻く状況と、さらなる高効率化を目指すうえで明らかにすべき事項についてまとめている。また、火花点火過程は従来の熱流体解析の手法等で取り扱うのが困難であり、詳細な可視化実験等による検討が必要であることを示している。</p> <p>つづく第2章では、火花放電点火(Spark Ignition : SI)を対象に高流動を発生させることが可能な定容容器を構築し、流速および燃焼状態を変化させて流動下での放電の挙動を検討した。その結果、高流動下において再放電の経路には電極間および放電経路間の2種類が存在することが確認され、再放電が発生する周期および回数は流速に依存することが確認された。高速撮影と同時に取得した電圧および電流波形を用いて、高流動下における再放電挙動と混合気へと与えられる放電エネルギーの関係性を検討した結果、火花放電は、再放電が発生する経路、流速、燃焼条件によって、混合気への放電エネルギーの与え方が変わることが判明した。着火の安定性には、放電環境の影響を受けず、一定の周期かつ一定の放電エネルギーを繰り返し投入できる点火方式が望ましいことが明らかとなった。</p> <p>そこで、第3章では多段パルス放電 (Multi-Stage Pulse Discharge : MSPD) 装置を構築し、単気筒可視機関を用いて希薄条件における SI と MSPD の点火性能の比較を行った。その結果、MSPD では SI よりも安定した燃焼となることを示した。また、スワール流を発生させた条件で MSPD を用いることで燃焼変動の低減効果がより大きくなり、SI と比べ安定した燃焼を達成可能であることが示された。一方で、スワール流を発生させていない条件では、SI および MSPD 共に火炎の成長が電極によって妨げられていることが分かった。また、SI は放電伸張によって接地電極から離れた箇所でも長い期間混合気にエネルギーを与えることで、大きな火炎核を形成するのに対し、MSPD は押し流された火炎核の上流で新たな火炎核を形成し、それらが連なることで大きな火炎を形成していることが明らかになった。</p> <p>第4章では、第3章で示した MSPD での単一方向で生じる放電特性を体積的に拡張し、かつ、比較的簡素な構成で電極消耗の少ない誘電体バリア放電(DBD)による点火の研究を行った。新たに構築した交流電源および DBD プラグにおいて、昇圧環境下での放電観察試験および定容燃焼容器を用いた着火試験を行った。空気比および圧力を変化させた結果、DBD による点火では圧力上昇により放電路 1 本あたりの放電エネルギー密度が上昇するため、所定の</p> | | | |

圧力を超えると着火に至ることを示し、混合気が燃料希薄条件になるほど点火可能となる圧力のしきい値が上昇することを示した。さらに、DBDによって形成される火炎核の体積は通常の放電と比較して大きく、複雑なしわ構造を持つことが示された。また、希薄限界向上に対して消炎作用が小さい電極構造が有効であることが示唆された。

第5章では、DBDの別の活用方法としてオゾン供給によるHCCI燃焼への応用を試みた。エンジンの吸気管に取り付け可能な誘電体バリア放電装置（オゾナイザ）を製作し、オゾナイザの基本特性として、吸気温度および露点がオゾン発生量に与える影響、ならびにオゾナイザの圧力損失について定量的に評価した。基本特性の評価結果からは、オゾン発生器の電極温度を低く維持することが単位電力あたりのオゾン発生量の向上に重要であることが判明した。続いて、製作したオゾナイザを取り付けた単気筒機関によりHCCI燃焼試験を実施し、自着火時期が進角することを確認した。さらに、過渡運転状態を模擬したHCCI燃焼制御に対してオゾナイザを用いることで失火を抑える効果を確認し、DBDを用いた燃焼制御装置としての可能性を示した。

第6章では本研究に関する結果をまとめるとともに、今後の火花点火機関における点火手法の可能性をしめした。

以上、本研究では、高流動および超希薄燃焼に対応できる実用的な点火装置の実現に向けて、誘電体バリア放電を用いた点火方式に関する研究を行い、可視画像による着火過程の考察と併せて基礎的な着火特性を調べることで、新たな点火装置としての可能性を示した。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は火花点火機関における点火機構を明らかにするとともに、非平衡プラズマを活用したあらたな点火システムを構築することを目的とした研究をまとめたもので、6章からなる。

まず、火花放電点火(SI)に関して、高流動下において流速および燃焼状態を変化させて放電の挙動を評価した。その結果、再放電が発生する経路等によって、混合気への放電エネルギーの与え方が変わること、着火の安定性には一定の周期かつ放電エネルギーを繰り返し投入できる点火方式が望ましいことが明らかとなった。これを受けて多段パルス放電(MSPD)装置を構築し、単気筒可視機関を用いて希薄条件におけるSIとMSPDの比較を行った。その結果、MSPDはより安定した燃焼となり、SIとMSPDにおける火炎核形成過程が異なることを明らかにした。さらに、放電を体積的に拡張できる誘電体バリア放電(DBD)による点火の試験を行った結果、高圧雰囲気条件では放電路1本あたりの放電エネルギー密度が上昇するため、ある圧力を超えると着火に至ること、希薄条件では点火可能となる圧力のしきい値が上昇することを示した。また、DBDによるオゾン生成を圧縮着火燃焼(HCCI)における着火促進に用いることを試みた。エンジンの吸気管にDBDオゾナイザを取り付けて燃焼試験をしたところ着火時期が進角すること、過渡運転に対して失火を抑える効果があることなど燃焼制御装置としての可能性を示した。

以上、本研究では、高流動および超希薄燃焼に対応できる点火装置の実現に向けて、各種放電法を対象に可視化および着火特性を検討した。これらは従来の熱流体力学などにより理論的に扱うのが困難であり、本研究は放電からプラズマ現象と燃焼反応が絡み合う複雑な現象を、詳細な観察を含む精緻な実験的検討によって解明したものである。得られた結果は新たな点火装置を構築する上で重要な知見を含んでおり、博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年2月22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降