

### 密閉容器を用いた多点噴射及び火による不均質燃焼場の特性に関する研究

澁谷, 直史 / SHIBUYA, Naofumi

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

55

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2014-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010364>

# 密閉容器を用いた多点噴射及び点火による 不均質燃焼場の燃焼特性に関する研究

A STUDY OF COMBUSTION CHARACTERISTIC OF THE HETEROGENEOUS COMBUSTION FIELD  
BY USING MULTI POINT INJECTION AND IGNITION IN A CLOSED VESSEL

澁谷 直史

Naofumi SHIBUYA

指導教員 川上忠重

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

Recently, global warming and environmental pollution have become aggravated, therefore, it is requested that the active emission control and high efficiency for the internal combustion engines.

Experiments have been carried out to examine the effects of heterogeneous combustion by using the impinging injection and the multipoint ignition on combustion characteristics in a closed bomb. The main conclusions are as follows; 1) The maximum burning pressure by using impinging injection increases remarkably than that of single injection. 2) The maximum heat release rate by using the multipoint ignition increases than that of single ignition. 3) The maximum burning pressure increases by using impinging injection with control the fuel injection timing. 4) The difference of ignition timing by using the multipoint ignition can be possible to increase the maximum burning pressure than that of single ignition.

**Key Words** : Injection, Ignition, Maximum burning pressure, Heat release rate

## 1. 結論

近年、人間の生活や経済活動による地球の環境問題に対して対応が急がれている。その中でも、化石燃料やエネルギーの大量消費による地球温暖化や環境汚染が深刻化している。その原因の一つに自動車から排出されるNOx, CO<sub>2</sub>, SOx, HC, PMなどがある。以上のような自動車からの排出成分は大気や太陽光によって化学反応を生じ、二次的に多種の汚染物質も生じる。COは血液中の酸素と結合しやすく、酸素欠乏症の原因となり、HCとNOxは太陽光によって光化学反応をおこしオゾン、二酸化窒素さらにオキシダントを形成し光化学スモッグとなり、人体の影響はもちろんのこと植物への被害をも引き起こす。NOxやPMはそのものが呼吸器疾患の原因となる可能性がある。ディーゼル車からのPMは人体への影響について注目されている大気中の浮遊粒子状物質発生の主要因とされている。<sup>[1]</sup>このような背景から、内燃機関には有害物質の排出を極力抑制する必要がある、燃焼の高効率化も重要な検討課題の一つとなっている。

そのため、直噴タイプの燃料供給を用いた場合の噴霧構造や、燃焼形態に着目した研究も数多く行われている。しかしながら、噴霧燃料の燃焼室壁面への付着に伴って

未燃成分が発生してしまい、更なる環境負荷への影響も指摘されている。また、多点点火方式を用いたエンジンの研究や成層燃焼(空燃比または燃料濃度が異なる層状の混合気の燃焼)を利用した希薄燃焼の研究による知見も得られている。<sup>[2][3]</sup>

そこで、本研究では、同時及び噴霧タイミングの異なる対向噴霧方式を用いて燃料を微粒化させ、燃焼室内壁面への燃料付着を低減し、燃焼促進に及ぼす影響について検討を行った。また、同時及び点火タイミングの異なる多点点火方式を用いて実験を行い、点火エネルギー増加、点火位置の広域化による、燃焼促進効果及び火炎の干渉効果に関する考察も行った。

## 2. 実験装置及び実験方法

Fig.1に本研究に用いられた実験装置の概略図を示す。本体は主に燃焼容器、噴霧装置、点火装置、遅延回路及びデータサンプリング制御系から構成されている。燃焼容器は、内径160mm、長さ120mmの円筒形(内容積約2500cc)で、圧力ピックアップセンサー、燃料噴霧装置及び吸排気用コックが取り付けられている。また、点火用鋼線の長さを調整することにより、火花

点火位置を燃焼容器中心から壁面近傍まで変化させることが可能となっている。噴霧装置は、燃料供給用燃料タンク、噴霧量調整燃料ポンプ、インジェクター、噴霧タイミング調整遅延回路等から構成されており、噴霧量調整燃料ポンプ内の圧力を燃料供給バイパス管の開閉開度を調整することにより、噴霧量を調整することが可能である。実験に際してまず、燃焼容器内を真空にした後、燃焼容器内にあらかじめ作成しておいた所定のプロパン-空気混合気を導入する。次に、マニュアルスイッチを投入することにより、燃焼室内への燃料噴霧が開始させられ、遅延回路を介して火花点火が行なわれることにより、成層燃焼場を模擬した燃焼場での燃焼特性を観察することが可能である。本実験は室温・大気圧で行なわれ、噴霧燃料としてn-ヘキサデカン(C16H34)を使用し、燃焼特性は最高燃焼圧力、全燃焼時間及び熱発生率が観察された。

本研究では、2つの噴霧方式を採用した。

- 1) 単噴霧方式(単一ノズルによる燃焼室壁面方向への噴霧)
- 2) 対向噴霧方式(燃焼室中心方向に対向に(180°)設置されたインジェクターから噴霧する)。

また、火炎干渉効果を調べるために、多点点火の影響についても併せて検討した。プラグ位置は対向位置で、対向二点同時点火、また、それに中心点火も加えた三点点火の条件で実験を行った。さらに、希薄燃焼での多点点火方式の有用性、高圧の燃料噴霧圧力での燃料の微粒化の影響を調べるために、燃料噴霧のタイミング、点火のタイミングを変化させて実験を行い、それぞれの場合の燃焼圧力、燃焼時間について考察した。

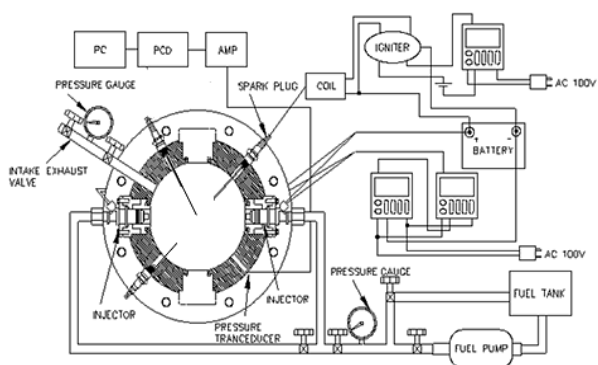


Fig.1 Experimental apparatus

### 3. 実験結果及び考察

Fig.2に、本実験でインジェクターからの燃料噴霧量に及ぼす燃料供給圧力と噴射弁開閉期間(インジェクターへの通電時間と等値と仮定)の関係を評価するため、燃料供給圧力に対する燃料噴霧量を示す。パラメータは噴射弁開閉期間とした。この図から、噴射弁開閉期間の増加に伴い噴射量は単調に増大する。また、噴射弁開閉期間が同一の場合において燃料供給圧力の

増大に伴い、燃料噴射量は増加している。以上のことから、本実験範囲では噴射弁開閉期間及び燃料供給圧力を調整することにより、ある程度燃料噴射量の能動的制御が可能となっている。

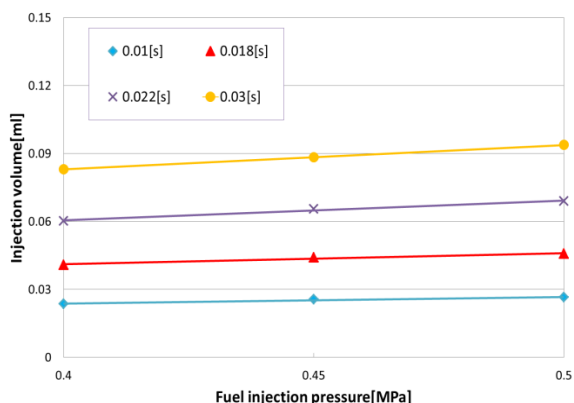


Fig.2 Injection volume

Fig.3に単噴霧方式および対向噴霧方式を用いた場合の噴霧前のプロパン-空気混合気の当量比に対する最高燃焼圧力を、総括当量比をパラメータとして示す。本実験範囲内において対向噴霧方式を用いた場合と単噴霧方式を用いた場合を比較すると、対向噴霧方式を用いた場合において最高燃焼圧力は増大しており、また、どの総括当量比においても噴霧前のプロパン-空気混合気の当量比の理論量論比側への移行に伴って、最高燃焼圧力は増大している。さらに、対向噴霧方式を用いた総括当量比  $\Phi=0.85$  に着目してみると、噴霧前プロパン-空気混合気の当量比が増加するのに伴い、他の条件と比較して最高燃焼圧力は最大となっている。これは、不均質燃焼場を用いる場合には、燃焼容器内の混合気の占める割合と燃料噴霧量が重要であることを示唆している。

Fig.4に、単噴霧方式を用いた同時多点点火において点火数、点火位置を変化させた際の熱発生率に及ぼす影響を検討するために、最大熱発生率及び最大熱発生率が得られた点火からの時間を示す。なお、ここではグラフの都合上、上記二つのパラメータの目盛を同一表示した。ここで、点火位置(燃焼容器中心からの距離[mm])を0, 40, 60とし、二点同時点火を60-40, 60-60, 三点点火を0-60-60, 0-40-40と示した。この図から二点点火及び三点点火を行った場合には中心一点点火を行なった場合よりも、最大熱発生率が増加し、著しい急速燃焼が観察された。これは、単噴霧方式においても多点点火によって火炎の干渉効果が発生したことにより燃焼改善が実現されたと考えられる。また、点火数が同一の場合(0-40-40と0-60-60及び60-60と60-40)では最大熱発生率に大きな変化はないが、点火位置を燃焼室壁面付近に配置した0-60-60及び60-60の方が著しい急速燃焼が実現されており、点火位置広域化によって燃焼の改善が可能である。

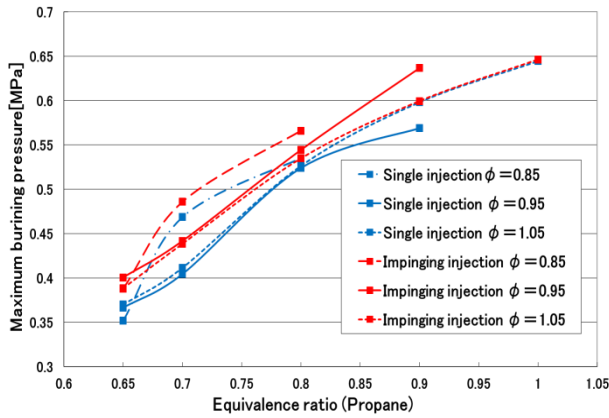


Fig.3 Maximum burning pressure

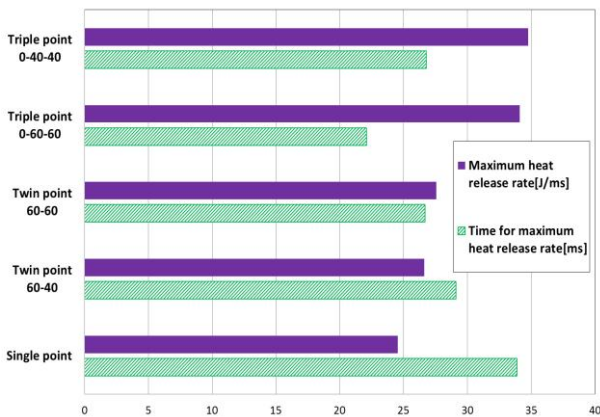


Fig.4 Rate of heat release

Fig.5 に、対向噴霧方式を用いた場合の噴霧の影響を検討するため、噴霧時間差に対する最高燃焼圧力及び全燃焼時間を示す。実験において総括当量比及び噴霧前のプロパン-空気混合気の当量比をそれぞれ  $\Phi=1.05$  及び  $\phi=0.9$  とした。ここで、グラフの横軸は左側のインジェクターの噴霧開始時間を  $0s$  としたときの右側の噴霧開始時間である。この図から、左右同時噴霧( $0s$ )よりも右側のインジェクターの噴霧を  $0.01s$  早期( $-0.01s$ )に行った場合において最高燃焼圧力が増加した。また全燃焼時間については、 $0.01s$  早期に行った場合( $-0.01s$ )と遅延させた場合( $0.01s$ )の両方で、若干ではあるが短縮が観察された。しかし、 $-0.01s \sim 0.01s$  以外の範囲では最高燃焼圧力、全燃焼時間ともに燃焼促進効果は発生していない。このことから、対向噴霧方式を用いた場合、燃料の噴霧タイミングをわずかに変化させ、点火位置付近で衝突させることで燃料が広範囲に微粒化し、燃焼促進効果が得られたと考えられる。

Fig.6 に Fig.5 同様、対向噴霧方式での噴霧タイミングの影響を検討するために、燃料噴霧タイミングに対する最高燃焼圧力を、噴霧前のプロパン-空気混合気の当量比をパラメータとして示す。なお、ここでの総括当量比は  $\Phi=1.05$ (一定)である。この図から明らかなように、同一総括当量比においては、噴霧前のプロパン-空気混合

気の理論量論側への移行に伴って、どの燃料噴霧タイミングにおいても最高燃焼圧力の増加が確認された。これは、密閉容器を用いた不均質燃焼場の燃焼促進には混合気の占める割合が重要であると考えられる。次に、燃料噴霧タイミングの影響を見てみると、いずれの噴霧前プロパン-空気混合気の当量比においても、一方のインジェクターの噴霧を  $0.01s$  早期( $-0.01s$ )に行った場合において最高燃焼圧力が増加した。これは先に述べたとおり、噴霧のタイミングの変化に伴う混合気形成割合の影響によるものと考えられる。

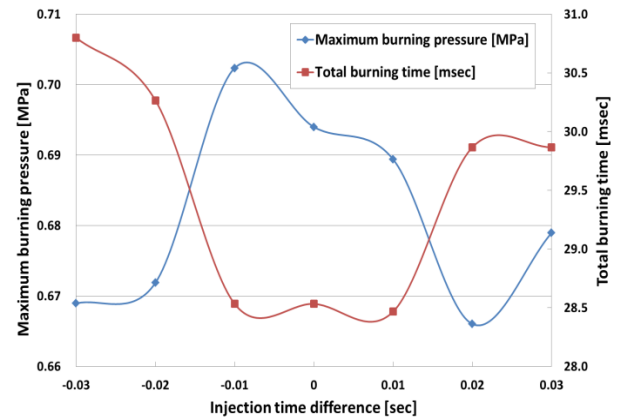


Fig.5 Maximum burning pressure and total burning time

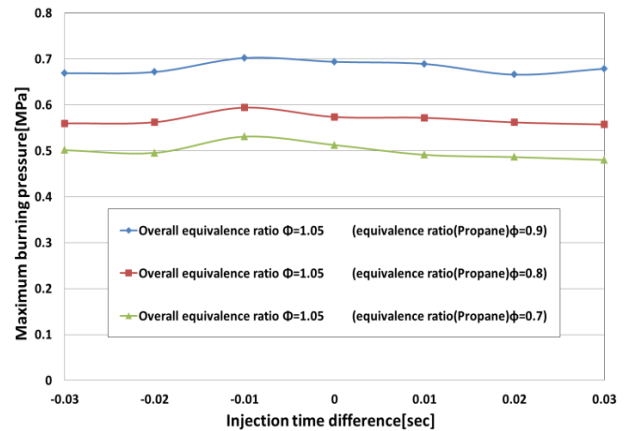


Fig.6 Maximum burning pressure

Fig.7 に、多点点火方式を用いた場合の点火時間差に対する影響を検討するため、最高燃焼圧力及び全燃焼時間をそれぞれ示す。実験では、総括当量比及び噴霧前プロパン-空気混合気の当量比を  $\Phi=1.05$  及び  $\phi=0.9$  とし、同時対向噴霧方式を用いた。ここで、横軸は中心点火点による点火時間を  $0s$  としたときの  $60-40$  点火点の点火遅延時間を示す。この図から、 $60-40$  点火点の点火時間を遅延させることにより、遅延時間  $0.02s \sim 0.03s$  付近で急激に最高燃焼圧力が上昇し、急速燃焼が行われていることがわかる。これは、 $0s$  で中心点火による燃焼が開始され、 $0.02s \sim 0.03s$  後に  $60-40$  点火を行うことによって二段燃焼が発生し火炎の干渉効果が得られたためと考えられ、二

段点火を行うことによる大幅な燃焼改善が期待できる。

Fig.8 に Fig.7 と同様、多点点火方式を用いた場合の点火タイミングの影響を検討するために、点火時間差に対する最高燃焼圧力を示す。なお、パラメータは総括当量比を  $\Phi=1.05$  一定とし、噴霧前プロパン-空気混合気の当量比を  $\phi=0.9, 0.8, 0.7$  とした。この図から、60-40 点火点の点火時間を遅延させることにより、どの噴霧前プロパン-空気混合気の当量比においても遅延時間 0.02~0.04s 付近で最高燃焼圧力が増大している。これは、中心点火により発生した火炎面に対して、60-40 点火点で遅延点火させた場合に発生した火炎面との干渉効果により、不均質燃焼場での未燃混合気の乱れや、それに伴う部分的な温度上昇によって燃焼改善効果が得られたと考えられる。

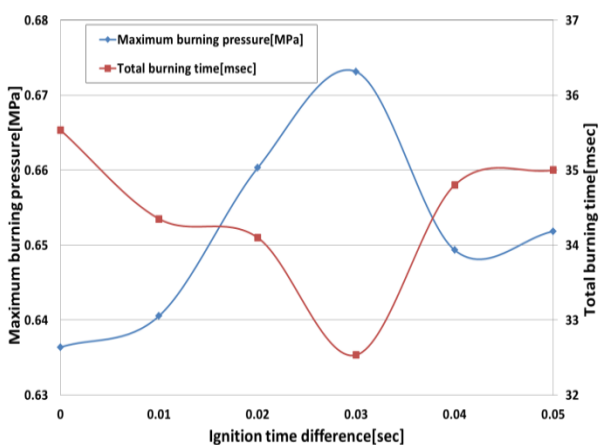


Fig.7 Maximum burning pressure and total burning time

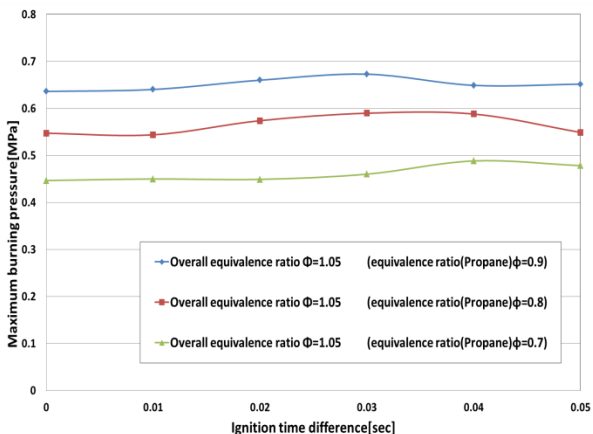


Fig.8 Maximum burning pressure

Fig.9 に、対向噴霧方式を用いた多点点火方式において噴霧時間差と点火時間差を組み合わせた際の影響を検討するために、噴霧時間差に対する最高燃焼圧力と全燃焼時間を示す。実験では点火時間差を [0.03(s)一定] とし、総括当量比及び噴霧前プロパン-空気混合気の当量比をそれぞれ  $\Phi=1.05, \phi=0.9$  とした。この図から、噴霧時間差が 0s の場合において最高燃焼圧力が増大し、燃焼時間が減少した。しかし、それ以外の噴霧時間差においては顕

著な燃焼の改善は得られなかった。このことから、噴霧時間差と点火時間差の組み合わせによる燃焼改善効果には最適条件が存在すると考えられる。

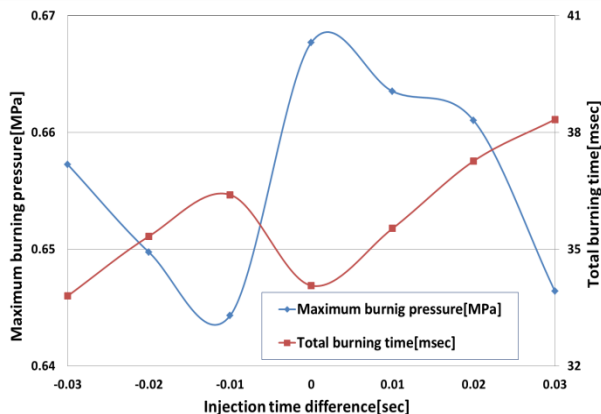


Fig.9 Maximum burning pressure and total burning time

#### 4. 結論

本実験では、プロパン-空気混合気に n-ヘキサデカンを噴霧させた場合の燃焼特性に及ぼす、対向噴霧方式及び多点点火方式を用いた場合の影響について検討を行った。以下に結果を示す。

- 1) 最高燃焼圧力は対向噴霧方式を用いることにより、単噴霧方式と比較して著しく増大する。
- 2) 多点点火方式を用いることにより、最大熱発生率は一点火方式と比較して増大する。
- 3) 燃料噴霧タイミングの制御により、対向噴霧方式での最高燃焼圧力は増大する。
- 4) 多点点火方式を用いた場合、点火タイミングの差異により、一点点火と比較して最高燃焼圧力の増大が可能である。

謝辞：研究を行うにあたり、終始ご指導下さいました川上忠重教授に熱く御礼申し上げますとともに、心より感謝の意を示します。また、研究を行うにあたり協力して下さった大学院生、学部生の皆様、ワークショップの皆様、共に研究を行った飯塚捷氏にも感謝いたします。有難うございました。

#### 参考文献

- 1) (社)自動車技術会：自動車原動機の環境対応技術，自動車技術シリーズ 1, pp. 3, 1997
- 2) 原田・ほか 2 名：機論，67-660, pp.2141-2144, 2001
- 3) 西島・ほか 2 名：機論，67-670, pp.1821-1826, 2002
- 4) 澁谷直史・川上忠重：不均質燃焼場の燃焼特性に及ぼす噴霧及び点火の影響について，日本機械学会関東支部山梨講演会講演論文集，No.130-3, pp.168-169, 2012