

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 23 日現在

機関番号：33302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820066

研究課題名(和文) 二燃料成層混合気の状態と着火燃焼過程の相関解明および燃料噴霧を活用したその最適化

研究課題名(英文) Correlation between mixture condition and combustion processes in a dual fuel CI engine and the development of optimization strategy employing fuel spray

研究代表者

小橋 好充 (Kobashi, Yoshimitsu)

金沢工業大学・工学部・講師

研究者番号：80469072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：排気ガスがクリーンで高熱効率な燃焼を実現するために、低着火性燃料を主燃料として、高着火性燃料を着火源とする圧縮着火燃焼法について研究を実施した。

本研究では、特に低着火性燃料のオクタン価と高着火性燃料の供給条件による着火・燃焼特性の変化を明らかにするとともに、実機関、可視化観察が可能なモデル燃焼装置および数値解析を駆使してその結果を引き起こすメカニズムを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：An experimental and numerical research was performed in order to achieve super clean high-efficiency compression ignition combustion which utilized less reactive fuel as a main fuel and more reactive fuel as a source of ignition.

This study changed the octane number of less reactive fuel and the injection condition of more reactive fuel. The effects of the variables were examined and the detailed mechanism was clarified by the combination of a real engine test, a combustion visualization in a rapid compression and expansion machine and an theoretical analysis using a detailed chemical kinetic model.

研究分野：燃焼工学

キーワード：圧縮着火 オクタン価 二燃料 成層混合気

1. 研究開始当初の背景

優れた熱効率と低エミッションを具現化する圧縮着火燃焼法として、二燃料成層自着火方式が着目されている。これは、吸気管などから供給されたガソリンの予混合気中へ軽油を直接噴射することで、燃焼室内にオクタン価と当量比の不均一な混合気を形成し、その混合気の状態を変えることで自在な熱発生率履歴等を実現する方法である。

ところで、この方法では、先に供給されたガソリンが圧縮行程中に中間生成物を生成するから、それらはその後の着火燃焼過程に大きな影響を及ぼすと考えられる。したがって、ガソリンの組成による影響を理解し、それに応じた適切な燃焼制御策を講じることは重要である。

2. 研究の目的

本研究は、上記の二燃料成層自着火方式を対象に、ガソリン系燃料の影響を調べる。すなわち、ガソリン系燃料のオクタン価による着火・燃焼過程の変化を調べ、そのメカニズムを解明する。また、その知見に基づき、ガソリン系燃料の種類に応じた適切な軽油の直接噴射条件を明らかにする。

3. 研究の方法

実験には、ボア×ストロークが 118mm × 108mm の水冷単気筒 4 サイクル機関を用いた。シリンダヘッドに埋設したピエゾ式圧力センサによってクランク角度に応じた筒内圧力を取得するとともに、排気ガス成分を測定した。また、このシリンダヘッドを改造し、石英ガラスと自作の油圧バルブシステムを取り付けることで、一度だけの圧縮膨張行程によって実機関の状況を再現しつつ、可視化が可能な急速圧縮膨張装置 (RCEM) にした。これによって燃焼過程の時間・空間的な情報を得た。

さらに、化学反応解析ソフトウェア CHEMKIN-PRO を用いて、化学反応論的な観点から結果を考察した。

4. 研究成果

図 1 に、直接噴射は軽油として、その噴射条件は変化せず、予混合吸気するガソリン系燃料の種類のみを変えた場合の燃焼室内圧力と熱発生率の履歴を示す。PRFXX は標準燃料 (Primary Reference Fuel) の略で n-ヘプタンと i-オクタンの混合物を示し、XX は i-オクタンの体積割合でオクタン価に相当する。燃料を変えるだけで、急峻な熱発生が現れる着火時期とその後の発熱の速さに違いが生じることがわかる。

そこで、ガソリン系燃料が着火燃焼過程に及ぼす影響を画像から確認した。図 2 は標準燃料のオクタン価を変えたときの熱発生率と燃焼室の一部をとらえた火炎の画像であり、ススの発生がないため、化学種からの自発光を撮影している。

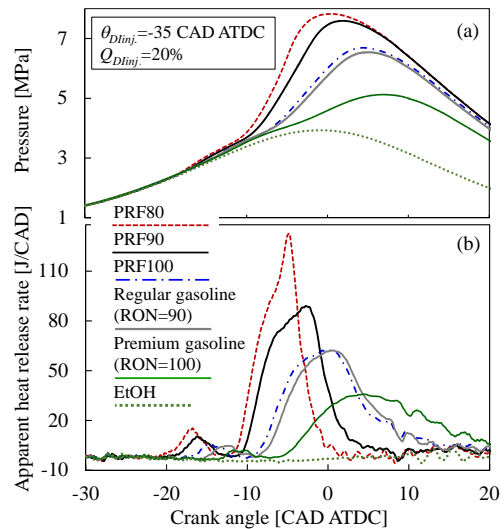


図 1 ガソリン系燃料を変えたときの圧力と熱発生率の変化

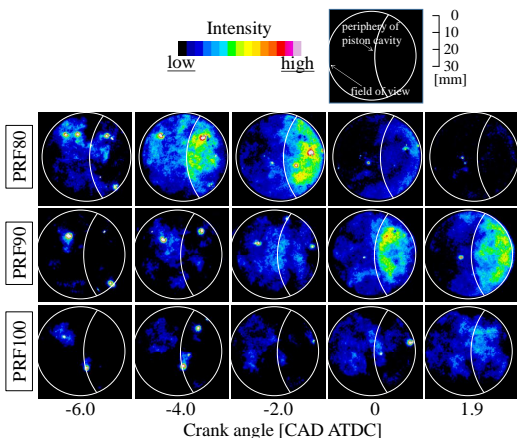
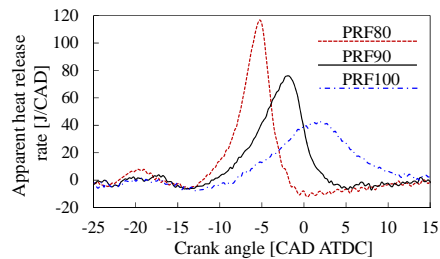


図 2 ガソリン系燃料を変えたときの熱発生率履歴と火炎の自発光画像
(直接噴射時期: θ_{Dlinj} = 上死点前 40 度)
(直接噴射量割合: Q_{Dlinj} = 20%)

ガソリン系燃料のオクタン価が低下するほど、急峻な熱の発生が遅れ、初期の自発光の輝度が低下する。しかし、それよりも着火後の燃焼進行度の顕著で、そのオクタン価が低いほど燃焼の進行が遅い。基本的に自着火の連鎖で燃焼が進行すると考えれば、ガソリン系燃料のオクタン価が低いほど、最初に着火が確認された場所から離れた場所で自着火が起こるまでに長い時間を要すると考えられる。

図 3 は軽油の燃料噴射 θ_{Dlinj} を上死点前 30 度まで遅らせたときの熱発生率と火炎の自

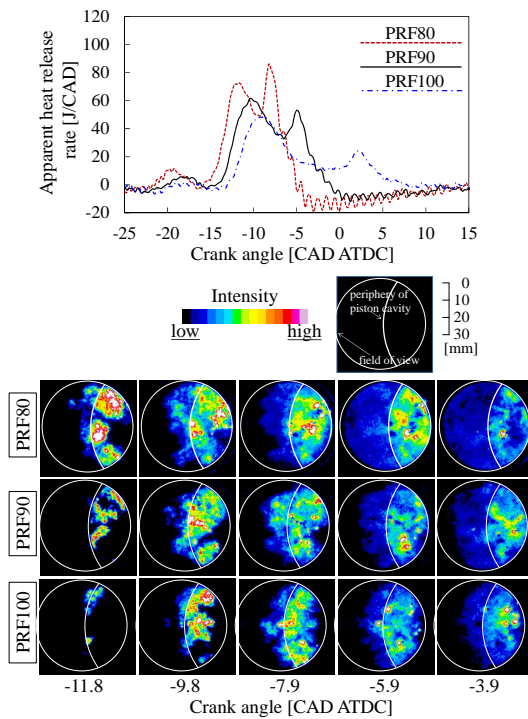


図3 ガソリン系燃料を変えたときの熱発生率履歴と火炎の自発光画像
 (直接噴射時期: θ_{Dinj} =上死点前30度)
 (直接噴射量割合: Q_{Dinj} =20%)

発光画像であり、図2と同じくガソリン系燃料のオクタン価を変えている。図2と図3を比べると、着火時の自発光強度が図3の方が高い。これは図2に比べて軽油の拡散が少なく、リッチに分布することを意味する。この場合、初期の熱発生率の勾配は図2に比べて高いものの、その後の熱発生率は一旦低下し、再び上昇するような二段の熱発生率となった。ガソリン系燃料と軽油がよく混ざり合わないこの条件では、軽油を主成分とする混合気の燃焼後、その断熱圧縮作用によってガソリン系燃料を主成分とする混合気が着火するようである。ただし、この条件においてもガソリン系燃料のオクタン価が高いと燃焼期間は長い。

以上のようなガソリン系燃料のオクタン価および軽油噴射条件の違いが熱発生率履歴に影響する理由をCHEMKIN-PROを用いて考察した。この計算では、燃焼室を複数の空間に分割する。互いに独立した空間は物質や熱をやり取りせず、圧力だけを共通と考える。これにより化学反応過程と着火特性を調べた結果を図4に示す。この図の横軸は混合気中のn-ヘプタンの濃度であり、縦軸は最も着火し易い領域1が着火した後、他の領域が着火するまでの時間(クランク角度)を示している。少し複雑な図であるが、要するに、この図は、着火性の高いn-ヘプタン濃度で着火時期が概ね整理できることを示している。すなわち、着火性の低いi-オクタンは関係なく、n-ヘプタンの濃度で、これまでの実験結果が説明できることを示している。

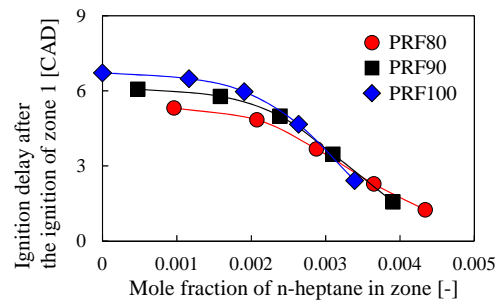


図4 CHEMKIN-PROによるmulti-zone計算の結果
 縦軸: zone1が着火してからの他のzoneが着火するまでの期間
 横軸: 各zoneにおけるn-ヘプタンの濃度

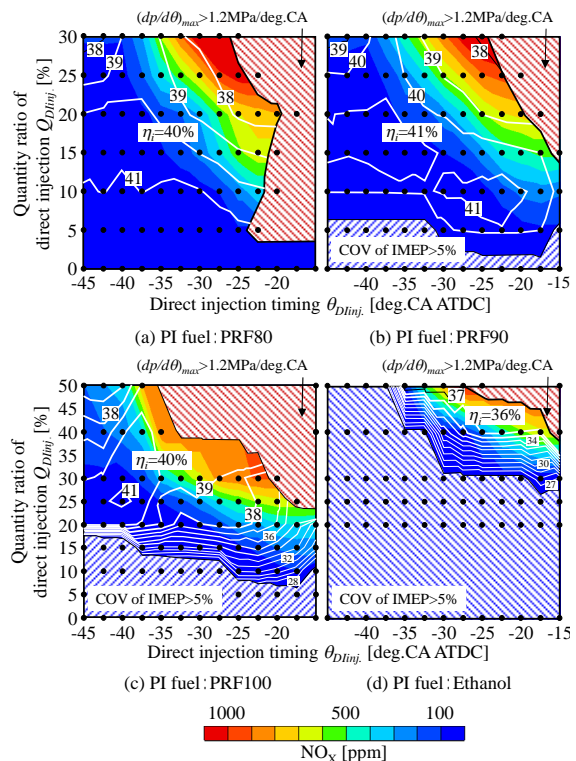


図5 軽油の直接噴射時期 θ_{Dinj} と直接噴射量割合 Q_{Dinj} が図示熱効率と NO_x に及ぼす影響

以上のような結果をふまえて、軽油の直接噴射時期 θ_{Dinj} と直接噴射割合 Q_{Dinj} を変え、図示熱効率と NO_x を調べた。その結果が図5である。オクタン価が100をこえるエタノールをガソリンの代わりに用いると、不安定な燃焼を引き起こす範囲(COV of IMEP > 5%)が拡がり、機関は運転できない。しかし、ガソリン系燃料のオクタン価が80から100の範囲では、 θ_{Dinj} と Q_{Dinj} を適切に変えることで、ほとんど同等な図示熱効率と NO_x を得ることができた。

したがって、直接噴射の条件を変えて局所の高着火性成分の濃度を制御すれば、燃焼形態を適切に制御可能であることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Yoshimitsu Kobashi, Ryo Muto and Satoshi Kato, Premixed Fuel Effect on Ignition and Combustion of Dual Fuel Compression Ignition Engine, SAE Technical Paper, 査読有, No.2015-01-1789, 2015, pp.1-15.

武藤涼, 高木圭一郎, 横川和弘, 小橋好充, 加藤聡, ガソリン系燃料のオクタン価が二燃料成層自着火の着火と燃焼過程に及ぼす影響, 自動車技術会論文集, 査読有, Vol.47, No.2, 2016, pp.299-305.

〔学会発表〕(計 2 件)

武藤涼, 高木圭一郎, 横川和弘, 小橋好充, 加藤聡, ガソリン系燃料のオクタン価が二燃料成層自着火の着火・燃焼過程に及ぼす影響, 自動車技術会春季学術講演会, 横浜, 2015.

小橋好充, 武藤涼, 松本彬良, 高木圭一郎, 加藤聡, 藤野友基, 川北晋一郎, 近藤和吉, 西島義明, 成層自着火燃焼における混合気の当量比分布と熱発生率の関係, 日本機械学会 2015 年度年次大会, 札幌, 2015.

〔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〕

ホームページ等

<http://www2.kanazawa-it.ac.jp/motore/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小橋 好充 (Yoshimitsu Kobashi)

金沢工業大学・工学部・講師

研究者番号: 80469072