急速圧縮機を用いたオクタン/キシレン混合燃料の自発点火特性に及ぼす

# 気体組成の影響

日大生産工(院) ○青木 滋

日大生産工 今村 宰・秋濱 一弘・山崎 博司 東京大学 中谷 辰爾・津江 光洋

#### 1. 緒言

自動車社会における環境問題や化石燃料の 枯渇への不安といった問題から近年注目され ている新しいレシプロエンジンとして HCCI/PCCIエンジンがある.しかし、 HCCI/PCCIエンジンは制御が難しい燃焼であ るため燃焼の基礎特性の把握と、それと同時 に多様化する燃料への燃焼の対応が緊迫の課 題であると言える.このような観点から本研究 では液体燃料の自発点火特性とそれに及ぼす 燃料種の影響について基礎的な観点から検討 するものである.本研究では急速圧縮機を用い て燃焼器内中にn-octaneをはじめとする液体 燃料を噴霧し、その自発点火遅れ時間を計測 した.本報では燃料多様化の観点から,直鎖炭 化水素と芳香族炭化水素を混合した燃料を対 象に自発点火遅れ時間に影響を及ぼすパラメ ーターの検討を行った.これらは当然、すで に広く使われている燃料に多分に含まれてい るものであるが、 直鎖炭化水素と芳香族炭化 水素の混合燃料においては、セタン価のみだ けでは自発点火特性を必ずしも評価できない という報告(1)-(5)もあり、本報は急速圧縮機を 用いてそれらの混合割合が自発点火特性に及 ぼす影響について調べたので,その結果を報告 する.

#### 2. 実験方法および実験方法

#### 2.1 実験装置

Fig.1に実験装置概略図を示す.本研究で用いた急速圧縮機は、燃焼側のピストンに潤滑油が不要なことや、連続作動ではなく単発作動であるために残留ガスがないなど、通常の連続点火機関に比べて燃焼に影響を及ぼす因子が少ないと考えられる.燃焼室の形状は φ30mm×36mmの円柱状形状であり、圧縮比は14と16に設定した.シリンダヘッドには燃 焼室内圧力の測定のために圧電圧力センサ (PCB Piezotrinics製, HS102A04型)を設置 した.燃焼室内への燃料噴射のために,ガソ リン用直噴インジェクターを設置し,10MPa のN<sub>2</sub>を用いて燃料タンクへ背圧をかけ,高 圧噴射を行う.噴射のタイミングと噴射時間の 調整はパルスジェネレーターによって行った. Fig.2に燃焼室形状を示す.



Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus



Fig.2 Combustion chamber

Effect of Compression Ignition Characteristics on Octane/Xylene Mixture Using Rapid Compression Machine

Shigeru AOKI, Osamu IMAMURA, Kazuhiro AKIHAMA, Hiroshi YAMASAKI, Shinji NAKAYA, Mitsuhiro TSUE — 525 — 使用燃料の噴霧量については純燃料について 予め背圧と噴射時間との関係について調べて おき,背圧および噴射時間を調整することで 噴霧量,当量比を調整した.混合燃料におい ては体積分率を乗じることで噴霧量を決定し た.

実験においては予め貯気タンクに隔膜を介 して圧縮空気を充填しておき, 電気信号によ りソレノイドに装着された針で隔膜となるフ ィルム(キモト製ルミラー#75)を破断させるこ とで, 急速圧縮機を始動する. 急速圧縮機に よって断熱圧縮された空気中に, 燃焼室ヘッ ドに取り付けた直噴インジェクターから燃料 を噴射し自発点火させることで, 圧縮自着火 の燃焼を模擬した.

#### 2.2 実験条件

本研究では貯気タンクの圧力を0.35MPa, 圧縮比を14,16と設定し,燃焼室の初期圧力を 大気圧として圧縮比16の場合に限り燃焼室内 へ混合ガス( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ それぞれ21%, 10%, 69%)を充填した場合の実験も行った. すべての燃焼実験において当量比 $\varphi$ =0.5であり, インジェクターの噴射タイミングは圧縮比14 では実験開始後71ms, 圧縮比16では80ms, 91msに吹き終わるように設定した.

### 2.3 燃料

本研究で使用した燃料はn-octaneを基準と し,添加燃料としてo-xyleneを体積分率で0%, 4%, 10%, 20%まで加えた. なおo, p-xyleneを 添加した場合の一部のデータについては既報 <sup>(5)</sup>にて報告している. 各燃料の物性値をTable 1に示す.

本研究では、燃料指標としてセタン価を用 いることとする.ここでのセタン価の求め方は、 圧縮比可変の単気筒エンジンで一定の回転速 度を保つCFRエンジンを用いて求めるもので はなく、加成則を用いた推定セタン価 (Derived Cetane Number: DCN)である.すな わち体積による加重平均(加成則)によってセ タン価を推定しているが、加成則を用いて求 めた推定セタン価は実際のセタン価と近い値 になると報告<sup>(3)</sup>されている.本報においてセタ ン価の値は、n-octane /o-xylene の混合燃焼で 54.46から66の間の値を取ることになる.

#### 2.4 点火遅れ時間の定義

Fig.3にはn-octane のみを燃料とし圧縮比16, 燃料の噴き終りを91msec にした場合の圧力波

# Table 1 Properties of n-octane, p-xylene and o-xylene

	n-octane	p-xylene	o-xylene
Structural formula	$H_2 H_2 H_2 H_2 H_2 H_2 H_3 C^{-C_1} C^{-C_2} C^{-C_2} C^{-C_1} C^{-C_2} H_2 H_2 H_2 H_2$	CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>
Composition al formula	$C_8H_{18}$	$C_8H_{10}$	$C_8H_{10}$
Density[g/c m³]	0.702	0.861	0.88
Viscosity[cP]	0.56	0.603	0.84
Cetane number	66	-13	8.3



Fig.3 Pressure histories of n-octane(CR=16)

形について示してある. 横軸は実験開始からの 時刻であり、実験の開始はトリガーの信号に よって記録が開始されている. トリガーの信号 によってソレノイドを起動しているため、ソ レノイドの起動、膜の破断、そして圧縮空気 の流入によるピストンの動作の作業が順次行 われたため、これらの機械的な遅れ時間によ って実際の圧縮は実験開始後50msec 付近から 生じている.この後, 81msec付近にて圧縮終 わり(上死点)に達する.この実験においては上 死点後の安定した91msecにて燃料を噴き終っ ている. 液体燃料を噴霧しているため燃料の噴 霧と同時に燃焼室の熱が奪われるが、100msec を過ぎたあたりから圧力の上昇を始め120msec あたりから急激な圧力上昇によって130msec あたりで最大圧力に到達する.これらは実験条 件で示した膜厚の条件および圧縮空気圧力を 適切に決定すれば再現性は比較的よいもので



Fig.4 Time histories of combustion chamber pressure for several fuels(CR=16)



Fig.5 Effect of o-xylene addition on the ignition delay time(Ti=91ms,CR=16)

ある.本研究の自発点火遅れの定義を通常の空 気圧縮の圧力波形に比べ,発熱によって燃料噴 射が無い場合の圧力まで回復した時刻をTr,最 大圧力に到達した時刻をTpと置き,燃料の噴 き終り時間Tiからの差をとるものとする.

#### 結果および考察

Fig.4 に圧縮比 16, 91ms に燃料を噴き終わ るように設定し,実験を行った各燃料の圧力履 歴を示す.横軸に時間経過,縦軸に圧力を示し ている.右図は上死点付近を拡大したものとな っている.o-xyleneを4%添加した場合が熱炎 と思われる圧力上昇の開始は一番早く,次い で n-octane のみの場合,o-xylene 10%, o-xylene20%の場合となった.Fig.5 に圧縮比 16,91ms噴き終りのTr, Tpの到達時間を示す. この場合には圧縮終了後に燃料の噴射を開始



# Fig.6 Effect of o-xylene addition on the Ignition delay time (Ti=80ms,CR=16)

している.図からo-xyleneの添加割合が4%の場 合ではセタン価が減少しているにもかかわら ずn-octane 100% の場合よりも点火遅れ時間が 短くなる傾向が見られた.これの傾向自体は既 報<sup>(5)</sup>にて報告しているものであるが、初期ガス が空気の場合とCO,を含む混合気の場合を比 較すると,混合気を充填すると比熱比が低減し 圧縮後の温度が低下するにもかかわらず, 添加 割合が4%の場合には混合気の方が自発点火遅 れ時間が短くなっていることがわかる. これは 低温酸化反応が温度の影響を強く受けている ことを示唆している. Fig.6には圧縮比16,80ms 噴き終りの自発点火遅れ時間の結果を示す.こ の場合は圧縮終了前に燃料を噴き終わってい るが, Fig. 5と同様に初期ガスが空気の場合と 混合気の場合を比較すると, o-xyleneの添加割 合が 4%の場合に混合気の方が自発点火遅れ 時間が短くなっていることがわかる. Fig.7には



Additive rate of o-xylene to n-octane[vol%]



圧縮比14,71ms 噴き終りの自発点火遅れ時間 の結果を示す. 圧縮比14において初期ガスは空 気の場合のみ試験を実施している. o-xylene の 添加割合が20%の場合,Trに関して自発点火遅 れが短くなっているように見えるが、 例えば 自発点火遅れ時間をTpとTrの中点を見ると全 体的に圧縮比14の場合においては、セタン価が 小さくなればなるほど点火遅れが伸び,よく 知られたセタン価の傾向と同じであることが わかる. Fig.7の傾向は, Figs.5,6や既報<sup>(5)</sup>にて示 した添加割合が4%の場合に点火遅れが極小値 を取るという傾向と異なるものであるが、 添 加割合が4%の場合に点火遅れが極小値を取る ということは低温酸化反応の機構に強く依存 していることから、この現象は圧縮後の温度に 強く依存しているもの推測される. このような 観点から, Figs. 5,6,7の結果から各Tr時における 燃焼室内の温度を求め, 燃焼室内温度と自発点 火遅れ時間の関係について, 圧縮終了後に燃料 を噴射した場合(Fig. 8)と, 圧縮終了前に燃料を 噴射した場合(Fig. 9)に分けてまとめた. これら の図では横軸に燃焼室内の温度,縦軸に自発 点火遅れ時間を示している. エラーバーや温度 の絶対値自体については議論は必要であるが, 一般的な傾向としては温度の上昇とともに点 火遅れ時間が短くなっていることがわかる.他 方でo-xyleneの添加割合が4%の場合について は, Fig. 8, Fig. 9において温度の上昇に対して必 ずも点火遅れ時間が短くなっておらず,図に示 した温度域においていわゆる負の温度勾配の 領域が観察されているものと推測される.



Fig.8 Ignition temperature of combustion chamber(Ti=91ms)



Fig.9 Ignition temperature of combustion chamber(Ti=71ms,80ms)

## 4. 結言

n-octane にo-xyleneを4~20%添加した燃料 を用いて,燃料が自発点火遅れ特性に及ぼす影 響について急速圧縮機を用いて実験的に調べ た.その結果,圧縮比14の場合においてはよく 知られたセタン価と同じ傾向がみられたが,圧 縮比16の場合においてはo-xylene添加割合が 4%の点で最も自発点火遅れ時間が短くなった. さらに比熱比が低い混合ガスを用いた場合に は点火遅れ時間が短くなった.これは低温酸化 反応が燃焼室温度に強く依存する現象であり, その影響が顕著に現れたものと推定している.

参考文献

(1) 堀部直人他, J0801-2-3[No.09-1]日本機械 学会2009 年度年次大会講演論文集(7)(2009)
(2) Noel Bezaire, et al. Fuel 89, 3807 (2010)
(3) 安東弘光他, 自技会論文集, 41, 1341

(2010-2011) (4) Sakai at al Dree Combust Instit 22

(4) Sakai, et. al, Proc. Combust. Instit, 32, 411(2009)

(5) 青木滋他, 第24回内燃機関シンポジウム 25-20137102 (2013)