

K2-11

反応数値解析を用いた過給 HCCI 機関における HCHO 添加が燃焼に及ぼす影響 Influence of HCHO Addition on Combustion in a Supercharged HCCI Engine by Chemical Kinetic Analysis.

○男澤瑛彦¹, 青木大貴¹, 小川凌二¹, 渡辺薫¹, 西山毅², 飯島晃良³*Teruhiko Otokozawa¹, Daiki Aoki¹, Ryoji Ogawa¹, Kaoru Watanabe¹, Takeshi Nishiyama², Akira Iijima³

We focused on a homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine. HCCI engine can realize high efficiency and clean combustion. But it has a problem that restraint of steep combustion in the high load and control of the combustion phasing are difficult. In this study, we studied characteristic of the combustion in supercharged HCCI engine, by adding formaldehyde (HCHO). Specifically, we examined the effects of additive on HCCI combustion by using chemical kinetic analysis with detailed reaction mechanism.

1. 序論

近年、内燃機関にはより高効率化かつクリーンな燃焼が求められている。その解決策として予混合圧縮着火（以下、HCCI）機関が注目されている。HCCI 機関は、筒内に供給された燃料と空気の予混合気をピストン圧縮により自己着火させる燃焼方式である。希薄かつ燃料分布が均一で燃焼温度が低いことから、窒素酸化物 (NO_x)、粒子状物質 (PM) の排出を同時に低減することができるため排ガスがクリーンとなる。HCCI 機関の実用化には、着火時期制御や高負荷運転時の急峻な燃焼の抑制などの運転領域拡大が課題とされている。そこで本研究では、着火時期に着目し、混合割合一定の DME/メタンを燃料とし、HCCI 機関の低温酸化反応で生じる中間生成物であるホルムアルデヒド（以下、HCHO）を添加することで着火時期及び燃焼の特性を変化させることが可能かを調査した。本報では、素反応数値計算 (CHEMKIN-PRO) を用いて燃焼特性を解析した結果を報告する。

2. 計算条件

本研究では始めに反応数値解析による効果予測を行った。計算条件を表 1 に示す。本研究では、吸気温度 T_{in} [K]、吸気圧力 P_{in} [kPa]、投入熱量 Q_{in} [J/cycle] を一定として、HCHO 添加における HCCI 燃焼の影響を調査した。その際、添加率は失火範囲を考慮し選定した。また、CHEMKIN-PRO での計算に用いた化学反応モデルおよび計算ソルバーを表 2 に示す。

計算モデルは LLNL の PRF (Primary Reference Fuel) のメカニズムに、DME メカニズムを組み合わせたものを用いた。

Table 1 Calculation condition

	Case 1 [calculation]
Intake Air Temperature, T_{in} [K]	313
Intake Air Pressure, P_{in} [kPa]	120
Input Heat Energy, Q_{in} [kJ]	420
Engine Speed, N [rpm]	1400
Fuel Blends	DME / Methane ($\gamma_{CH_4} = 30\%$)
Addition Rate in Mixture, γ_{HCHO} [%]	0 ~ 2

Table 2 Specification of CHEMKIN-PRO

CHEMKIN-PRO	
Solver	IC-Engine
Chemical Species	1051
Chemical Reactions	4287

3. 計算結果及び考察

図 1, 2 に DME/メタンに HCHO を添加した際の化学反応数値解析の結果を示す。図 1 は、横軸をクランク角度 θ [deg.]、縦軸を熱発生率 HRR [J/deg.] とし、図 2 は、横軸にクランク角度 θ [deg.] 縦軸に HCHO モル分率 [-] とした。

図 1 の LTR 部分 (領域 A) の熱発生率に着目すると、HCHO 添加量を増加させると LTR の発生時期が

遅角し縮退する傾向が見られた。これは、HCHO が DME の LTR 過程において反応促進させるのに重要な OH ラジカルを消費して DME 分解を妨げる方向に働いたためだと考えられる。

図 2 の HCHO 添加量 2 % のモル分率に着目すると、LTR が見られるが主燃焼は発生していない。これは HCHO が DME 分解を妨げ、燃焼を促進する OH ラジカルの生成量が減少したため主燃焼に至らずに失火したのと考えられる。

今後は、着火に寄与する化学種とそのメカニズム解明を行うことに加え、実験による検証が必要だと考えられる。

4. 実験装置の構築

図 3 に解析結果をもとに構築した実験装置の概要図を示す。本研究には、4 サイクル空冷単気筒機関(299 cm³, 圧縮比 14 : 1) を用いる。供試燃料をマスフローコントローラーにより流量を調節し、吸気管に予混合気として投入する。筒内圧力 P [MPa] はシリンダヘッド上部に取り付けた水晶圧力変換器を用いて測定する。また、インタークーラーにて吸気温度 T_{in} [K] を一定とし、吸気管から HCHO などの炭化水素の中間生成物を投入することで、中間生成物が HCCI 燃焼に及ぼす影響を調べる。

5. 結論

圧縮開始温度, 吸気圧力, 投入熱量一定の下, HCHO 添加を仮定した数値解析より, 以下の知見が得られた。

- (1) HCHO の添加により, LTR が縮退することで, HCCI の着火が抑制される。
- (2) HCHO は OH ラジカルを消費し, DME 分解を妨げる傾向があるため, LTR 部分は遅角, 縮退し, その結果, 主燃焼部分の反応に影響をおよぼしたと考えられる。

以上の数値解析の結果を基に, 今後は実験を行い実験値と比較していく。

6. 参考文献

- [1] 島貴大他, 次世代代替燃料を用いた高効率過給 HCCI ガスエンジンの研究 平成 25 年度 日本大学理工学部 学術講演会論文集
- [2] 桑原一成他, HCCI エンジンへの HCHO 添加が着火におよぼす影響に関する反応論的考察 自動車技術会論文集, Vol. 40, No.1, pp. 67-72, 2010

$\varepsilon = 14, N = 1400 \text{ rpm}$ $T_{in} = 313 \text{ K}$ $P_{in} = 120 \text{ kPa}$ $Q_{in} = 420 \text{ J/cycle}$ $\gamma_{CH_4} = 30 \%$	Case 1 [calculation] 1 : $\gamma_{HCHO} = 0 \%$ 2 : $\gamma_{HCHO} = 1 \%$ 3 : $\gamma_{HCHO} = 2 \%$
---	---

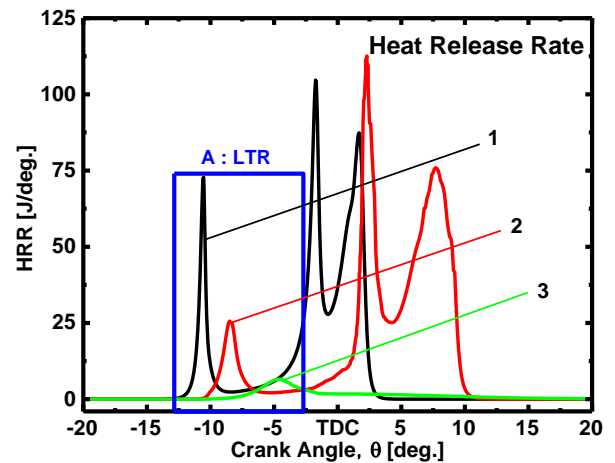


Fig. 1 Relation between HRR and crank angle

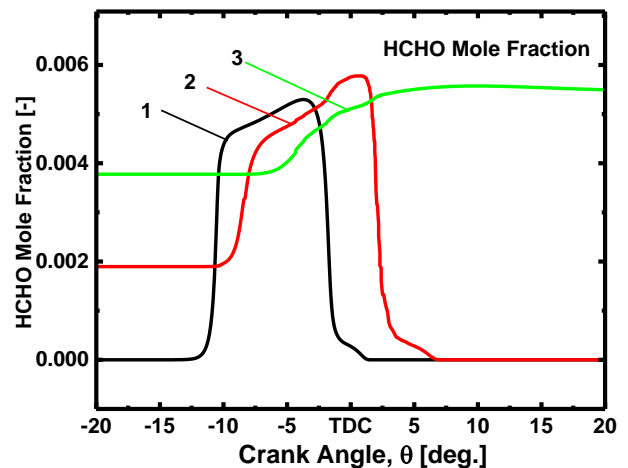


Fig. 2 Relation between mole fraction of HCHO and crank angle

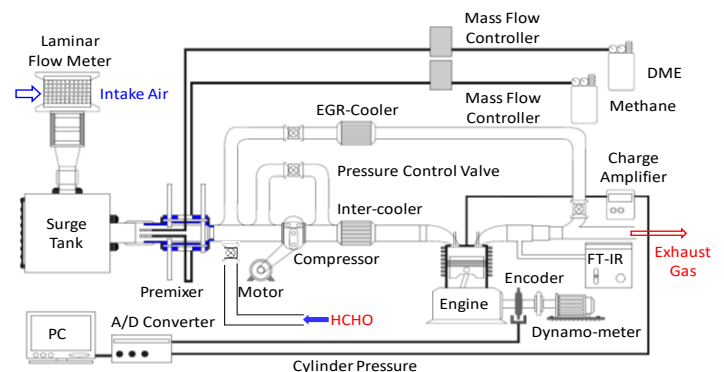


Fig. 3 Cofiguration of test equipment