

## K2-90

## 超急速圧縮装置を用いた HCCI エンジンの窒素ガス添加による着火遅れ時間への影響

## Influence of nitrogen dilution on ignition delay using a Super Rapid Compression Machine

○倉澤侑史<sup>1</sup>, 吉田龍太<sup>1</sup>, 佐藤考<sup>2</sup>, 田辺光昭<sup>3</sup>\*Yuji kurasawa<sup>1</sup>, Ryota Yoshida<sup>1</sup>, Kou Sato<sup>2</sup>, Mituaki Tanabe<sup>3</sup>

Abstract : Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion has been studied by using rapid compression machines (RCMs). On the other hand, we used a super rapid compression machine (SRCM), which realizes faster compression time than conventional RCMs. It enables to expand temperature range. This study investigated the influence of nitrogen dilution of fuel-air mixture on ignition delay time with the SRCM. In this study, we used three kinds of dilution ratio (i.e. 0%, 20%, and 50%). The temperatures of cylinder before compression were varied, and pressure history was obtained. As a result, ignition delay time was long when dilution ratio is increased. We found three-stage-combustion in the vicinity of flammability limit under dilution ratio of 50%.

## 1. 諸言

近年, 内燃機関には有害排気物質と燃料消費率の同時低減が求められている. それらの要求を満たす内燃機関として予混合圧縮自発点火(HCCI)[1]エンジンが提案されている.HCCI エンジンは高効率かつ低公害である反面, 急峻な圧力上昇がノッキングを引き起こし, エンジン破壊につながる. 急激な圧力上昇を低減させる手法の一つとして排気再循環

(Exhaust Gas Recirculation : EGR) があり, 実機を用いた EGR による燃焼制御の研究が行われている[2]. EGR ガス中の主成分である窒素に着目し, それによる予混合気の希釈が自発点火と燃焼に与える影響を特定することが望まれる. EGR の研究を進めていく上で, EGR 時の予混合気の自発点火に関する知見を得る事は重要であり, 広範囲の着火遅れ時間における基礎データの取得が望まれる. 本実験では, 超急速圧縮装置(Super Rapid Compression Machine : SRCM)[3][4])を用いる. SRCM は圧縮時間が短い(約 3.5 [ms])ため, 短い着火遅れ時間までの燃焼とその圧力上昇率が測定でき, 広い温度範囲で燃焼実験, 評価が可能である. 本研究では SRCM を用い, 窒素希釈率を変化させ, 初期温度に対する燃焼形態および着火遅れ時間を調査する.

## 2. 実験装置・方法

超急速圧縮装置を実験に用いた. 燃焼室内圧力は, 燃焼室壁面に設置した圧電型圧力変換素子(KISTLER, type6052C)により取得した.

実験条件を表 1 に示す.

Table 1 Experimental conditions

Fuel	Gasoline (RON:91.5, net heating value : 43280 kJ/kg) PRF:91.5 ( <i>n</i> -heptane:8.5%, <i>iso</i> -octane:91.5%)
Equivalence Ratio $\phi$	1.0
$D_{N_2}$ [%]	0,20,50
Compression Ratio $\epsilon$	10.5 $\pm$ 0.5
$P_0$ [MPa]	0.10
$P_1$ [MPa]	2.14 ~ 2.45
$T_0$ [K]	304 ~ 507
$T_1$ [K]	659 ~ 1108
Polytropic Index	1.32 $\pm$ 0.02

窒素希釈率( $D_{N_2}$ )は以下の式で定義した.

$$D_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{m_{air} + m_{N_2}} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

- $m_{air}$ : 予混合気中の空気の質量
- $m_{N_2}$ : 添加する窒素の質量

また, 当量比は酸素と燃料の比から計算したものである.

本報での着火遅れ時間は圧縮終了から主の燃焼の開始(20% 発熱相当)までの時間である[5]. また, 圧縮終了から冷炎発生までの遅れ時間  $\tau_1$  [ms]は熱発生速度における発熱の開始時間を用いた.

## 3. 実験結果・考察

図 1 に  $D_{N_2}=0\%$ , 20%, 50%の窒素希釈率における圧縮端温度と着火遅れ時間の関係を示す.  $D_{N_2}=50\%$ において  $1000/T_1$  が 1.2 [1/K]以上でプロットが途切れているのは, それより低温条件で着火に至らなかったためである.

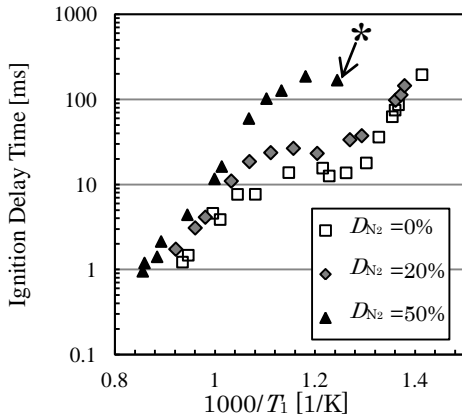


Fig. 1 Dependents of ignition delay time on reciprocal of  $T_1$

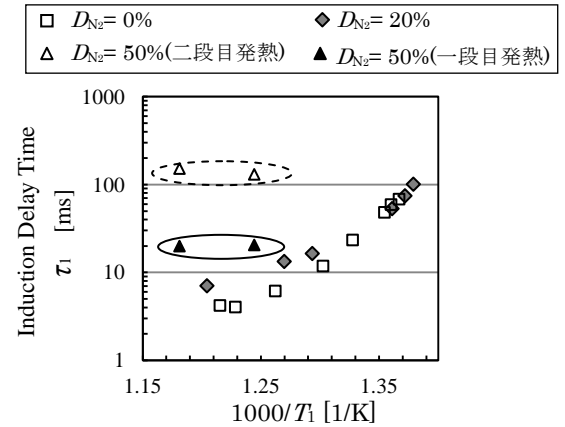


Fig. 3 Dependents of induction delay time on reciprocal of  $T_1$

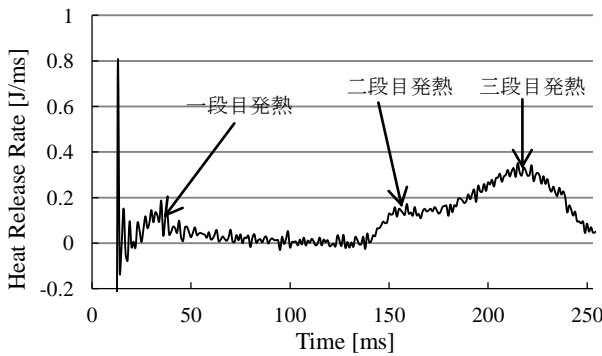


Fig. 2 Heat release rate history in the vicinity of flammability limit

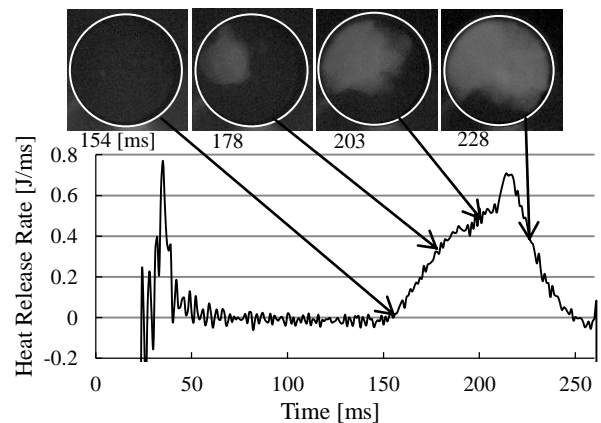


Fig. 4 Direct images and heat release history in the vicinity of flammability limit

同一の温度域でも窒素希釈することで着火遅れ時間は長くなる傾向が見られ、希釈率を大きくするほどこの効果は大きくなった。特に  $D_{N_2}=50\%$  の  $1000/T_1$  が約 1.1~1.3 [1/K] で顕著であった。

図 2 に  $D_{N_2}=50\%$  での着火限界付近 (図 1 の\*) の熱発生速度を示す。図より三段の発熱が確認された。さらに、図 3 に圧縮終了から冷炎発生までの時間  $\tau_i$  [ms] を示す。図 3 において  $D_{N_2}=0\%$ ,  $20\%$  は直線的な傾向になっており、その傾きは  $D_{N_2}=20\%$  の方が緩やかになっている。二段目の発熱を冷炎とした場合にはこの傾向からは外れている事が分かる。従って一段目の発熱が冷炎であると推定できる。そこで、簡単な組成の燃料 (PRF : 91.5,  $D_{N_2}=50\%$ ) を用いて冷炎の発生時期の確認実験を行った。その実験における熱発生速度と直接撮影による連続写真を図 5 に示す。図 5 において、150 [ms] 付近からの熱発生は可視化できているため青炎・熱炎だと考えられる。このことから 30 [ms] 付近の熱発生が冷炎であると思われる。これより、図 2 において、二段目及び三段目の発熱は熱炎が二段燃焼していると推測出来る。

#### 4. 結言

- $1000/T_1$  が約 1.1~1.3 [1/K] (負の温度係数領) で  $D_{N_2}=0\%$ ,  $20\%$ ,  $50\%$  の着火遅れ時間の差が大きく生じ、特に  $D_{N_2}=50\%$  で顕著になった。
- $D_{N_2}=50\%$  における可燃限界付近での発熱は主の燃焼が二段になる場合があると推定される。

#### 謝辞

本研究は日本大学理工学部シンボリックプロジェクトにより実施されたものである。

#### 5. 参考文献

- [1] Najt P.M., Foster.D.E., : SAE Paper 830264 (1983)
- [2] 永井健一郎・飯田訓正 : 日本機械学会論文集 No.09-0545, pp.691-698 (2010)
- [3] 渡井航介・他 4 名, 第 43 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp222-223 (2005)
- [4] Y.Wanatabe et al., SAE : Paper 2008-01-2403 (2008)
- [5] S. Tanaka et al., Combustion and Flame 132, pp.219-239 (2003)