

K2-44

窒素希釈が低温酸化反応を伴う HCCI の自発点火遅れに及ぼす影響

Influence of Nitrogen Dilution on Ignition Delay of HCCI with Low Temperature Reaction

○反町侑貴<sup>1</sup>, 山内太郎<sup>1</sup>, 佐藤考<sup>2</sup>, 田辺光昭<sup>3</sup>

\*Yuki Sorimachi<sup>1</sup>, Taro Yamauchi<sup>1</sup>, Ko Sato<sup>2</sup>, Mitsuaki Tanabe<sup>3</sup>

Abstract: Effect of nitrogen dilution on first induction time ( $\tau_1$ ) and second induction time ( $\tau_2$ ) of HCCI were investigated by using a super rapid compression machine (SRCM). Three kinds of nitrogen dilution rate (i.e. 0%, 20%, 50%) were employed. As a result,  $\tau_1$  was increased by nitrogen dilution. It is explained by decrease in reaction rate due to decreased fuel concentration.  $\tau_2$  was increased by nitrogen dilution. It is thought that  $\tau_2$  was increased by decrease in temperature raise by low temperature reaction in addition to the above effect. And the increase in  $\tau_2$  was longer than that of  $\tau_1$ .

1. 緒言

地球環境問題解決のため内燃機関には燃料消費率と有害排気物質の同時低減が求められている。この要求を満たす内燃機関として HCCI(予混合圧縮自発点火)エンジンが提案されている。HCCI エンジンの高負荷条件では主の燃焼時の急激な圧力上昇によりノッキングが発生し、エンジン破壊を引き起こす。急激な圧力上昇を低減させる手法の一つとして EGR(排気再循環)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<sup>[1]</sup>。また、二段の圧力上昇を伴う HCCI は低温酸化反応での発熱により熱炎の自発点火に影響を及ぼす。本研究では、EGR ガス中の主成分である窒素に着目し、超急速圧縮装置(SRCM)<sup>[2]</sup>を用いて燃料と空気の子混合気を窒素で希釈した際の圧縮終了から低温酸化反応開始までの誘導期間及び低温酸化反応開始から主の燃焼開始までの誘導期間を調査した。

2. 実験方法及び定義

実験装置は超急速圧縮装置を用いた。供試燃料はガソリンを模擬したサロゲートガソリン(2,2,4-Trimethylp-entane:30mol%, Toluen :29.4mol%, n-Heptane :15.7mol%, 1-Pentene: 14.5mol%, Methylcyclohexane: 6.4mol%)を用いた。また、空気を模擬した酸素 21mol%及び窒素 79 mol%の混合ガスを用いた。この空気を窒素で希釈する際の窒素希釈率  $D_{N_2}$  は以下の式で定義した。

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

ここで、 $n_{Air}$  は空気量[mol],  $n_{N_2}$  は添加する窒素量[mol]である。

実験条件を Table 1 に示す。

Table 1. Experimental condition

Fuel	Surrogate gasoline (RON:94.5)
Equivalence ratio $\phi$ [-]	1.0
Nitrogen dilution rate $D_{N_2}$ [%]	0, 20, 50
Compression ratio $\varepsilon$ [-]	9.8-11.3
$P_0$ [MPa]	0.10
$T_0$ [K]	308-504
$P_1$ [MPa]	1.96-2.47
$T_1$ [K]	717-1148
Polytropic index [-]	1.28-1.34

ここで、添字 0 は圧縮開始前、添字 1 は圧縮終了時を表す。

自発点火遅れ(各誘導期間)と低温酸化反応による温度上昇  $\Delta T_{LTR}$  の定義を Fig. 1 に示す。

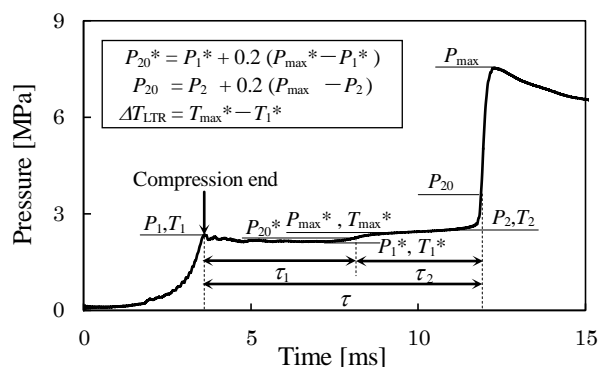


Figure 1. Definition of the ignition delay and  $\Delta T_{LTR}$

自発点火遅れ時間  $\tau$  は圧縮終了から主の燃焼開始(20% 発熱相当)までの時間とした<sup>[3]</sup>。ここで、圧縮終了から低温酸化反応開始(20% 発熱相当)までの誘導期間を  $\tau_1$ 、低温酸化反応開始から主の燃焼開始まで誘導期間を  $\tau_2$  とした。低温酸化反応による温度上昇  $\Delta T_{LTR}$  は、低温酸化反応終了時の温度と開始時の温度の差とした。低温酸化反応終了時と開始時の温度は時間に対する圧力の傾きが 0 または最小値での圧力の値から定

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・院・航宇 3 : 日大理工・教員・航宇

容過程で算出した。

### 3. 実験結果及び考察

Figure 2, 3 に  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  それぞれの  $1000/T_1$  との関係を示す。 $D_{N_2} = 50\%$  において  $1000/T_1$  が 1.23 [1/K] 付近以上でプロットがない。これは、低温条件のため自発点火に至らなかったためである。

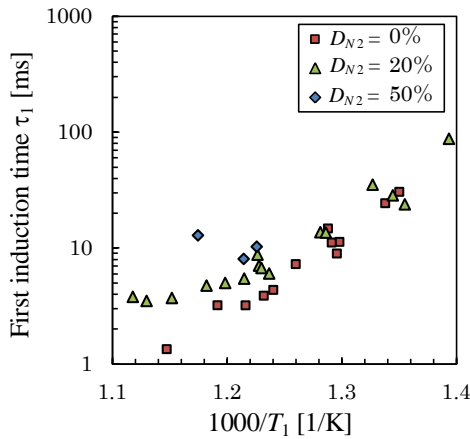


Figure 2. Relation between first induction time  $\tau_1$  and reciprocal of  $T_1$

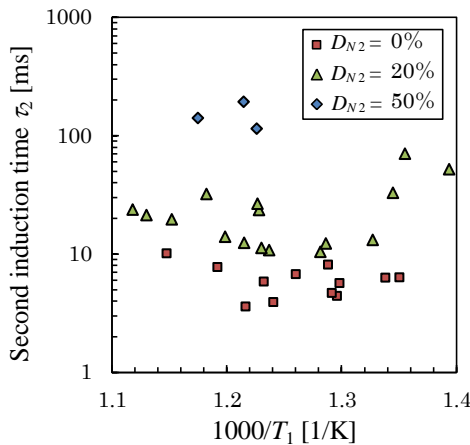


Figure 3. Relation between second induction time  $\tau_2$  and reciprocal of  $T_1$

$\tau_1$ ,  $\tau_2$  は共に窒素希釈することにより増加した。また、窒素希釈率の増加による  $\tau_2$  の増加は  $\tau_1$  の増加と比較して大きくなった。  $\tau_1$  が窒素希釈により増加した理由は希釈により燃料濃度が減少し、反応速度が減少したことと考えた。反応速度は以下の式で表される。

$$\frac{d[C]}{dt} = A[C]^n \exp(-E/RT) \quad (2)$$

ここで、 $[C]$  は燃料と酸素の濃度、 $A$  は実験定数、 $n$  は全反応次数、 $E$  は活性化エネルギー、 $R$  は一般ガス定数、 $T$  は絶対温度[K]である。

窒素希釈することで濃度項  $[C]$  は  $(1 - D_{N_2}/100) [C]$  とな

るため(2)式より反応速度が減少し、反応時間は増加する。よって、窒素希釈することで  $\tau_1$  が長くなると考えられる。次に窒素希釈によって  $\tau_2$  が増加した理由として、 $\tau_1$  同様に希釈による反応速度の減少と、低温酸化反応による温度上昇の違いが要因であると考えた。これを確認するために  $1000/T_1$  と低温酸化反応による温度上昇  $\Delta T_{LTR}$  の関係を Fig. 4 に示す。

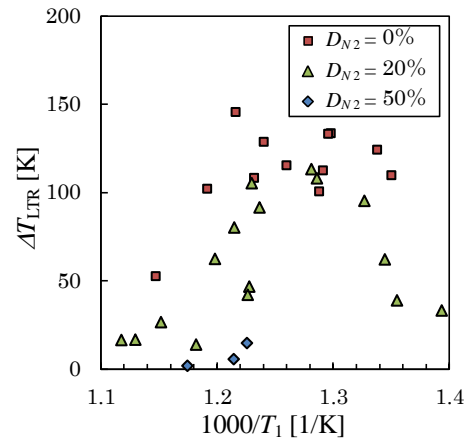


Figure 4. Relation between  $\Delta T_{LTR}$  and reciprocal of  $T_1$

Figure 4 より、窒素希釈率の増加に伴い  $\Delta T_{LTR}$  が減少していることがわかる。この要因は、窒素希釈率が増加することによる反応物質の減少が考えられる。また Fig. 3, 4 より、 $\Delta T_{LTR}$  が低ければ、 $\tau_2$  が長くなることが分かる。このことから窒素希釈による  $\tau_2$  の増加が  $\tau_1$  の増加に比べて大きくなったのは、 $\tau_1$  は燃料濃度の低下による反応速度の減少に起因するのに対し、 $\tau_2$  は燃料濃度の減少による反応速度の減少と反応物質の減少による  $\Delta T_{LTR}$  の減少の二つの要因に起因するためだと考えられる。

### 4. 結論

- ・窒素希釈により  $\tau_1$  は増加した。これは燃料濃度の低下による反応速度の減少によるものと考えられる。
- ・窒素希釈により  $\tau_2$  は増加した。これは燃料濃度の低下による反応速度の減少と反応物質の減少による  $\Delta T_{LTR}$  の減少によるものだと考えられる。またこの時の増加分は  $\tau_1$  に対して大きくなった。

### 5. 参考文献

- [1]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)
- [2]Y.Wanatabe et al., SAE : Paper 2008-01-2403 (2008)
- [3] S. Tanaka et al., Combustion and Flame 132, pp.219-239 (2003)