

# 点火特性が過給ガソリンの EGR 希釈限界に与える影響について

日大生産工 (院) ○梅本 佑斗 千葉大・工 窪山 達也  
千葉大・工 森吉 泰生 日本大学生産工 氏家 康成

## 1. 緒言

近年、火花点火機関にはさらなる熱効率の向上が求められている。この要求を達成するため、高圧縮比化、高過給ダウンサイジング、希薄・希釈燃焼などの技術開発が行われている。希薄燃焼やEGRガスによる希釈燃焼においては、初期火炎核の確実な形成のため種々の点火強化手法が検討されているが、多くの場合、高エネルギー投入による電極消耗の問題を内包している。また火炎伝播速度の低下を抑えるため、スワールやタンブルといった筒内流動の強化が積極的に行われている。しかし流動強化による火炎核の吹き消え等の問題を抱えている。点火放電システムの改良により、エンジンシリンダ内の高EGR率条件下において、点火性能を改善し、より高いEGR率で安定した燃焼を実現できる可能性がある。

本研究においては、希釈燃焼の燃焼限界性能に対する点火特性変更による影響を明確化することを目的とする。

## 2. 実験装置及び実験条件

本研究で用いた実験装置は図1に示されるように過給ガソリン機関、精密空調機、スーパーチャージャー、動力計、排ガス分析機、冷却系、潤滑系、燃料供給系、計測系となっている。過給ガソリン機関の諸元について表1にまとめた。また実験条件は表2にまとめた。表3は本研究で用いたエンジンのバルブタイミングとなっている。本実験装置はより高負荷の実験を行うために、二段過給を用いた。ターボチャージャーのコンプレッサー上流にはリショルム型コンプレッサーを取り付け、これを外部から電動モーターによって駆動させることにより過給圧を上昇させた。また、EGRガスは排気スロットルの上流からスーパーチャージャーとターボチャージャーの

間に還流させた。排気ガス分析機を用いて排ガス中の成分濃度を分析した。インタークーラー出口のガスもサンプルすることで吸気成分の分析も実施した。燃料噴射方式は直噴でシリンダーヘッドのサイドから噴射するタイプである。本実験では3種類のコイルを用いて実験を行った。表4にそれぞれのコイルのチャージ時間、二次エネルギーを示す。

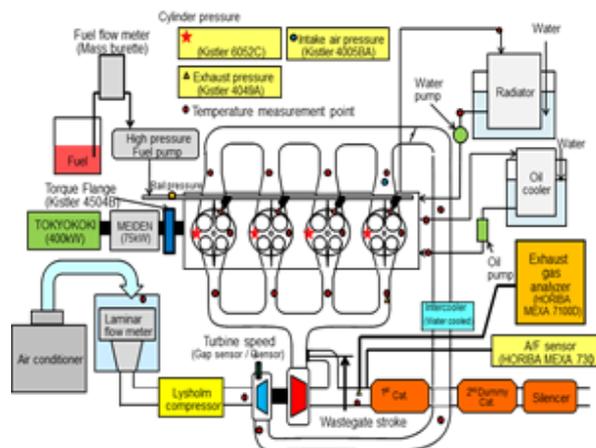


Fig.1 Experimental set up

Table.1 Engine specifications

Displacement	1616cc
Bore×Stroke	79.7×81.0mm
Maximum power	133.5kW/5600rpm
Maximum torque	244Nm/1600-5200rpm
Compression ratio	9.5
Fuel	Premium Gasoline (RON100)

Table.2 Experimental condition

	Case1	Case2		
Engine speed [rpm]	1600	2800		
BMEP [MPa]	0.6	1.6		
Start of injection (SOI) [deg ATDC (intake)]	30			
Injection pressure [MPa]	5	15		
Coil	Normal	Normal	HC	LD
EGR rate [%]	0,4,4,17,0,21,0	0,5,15	0,10,8	0,10,8

The Characteristics of Trial Production Equipment Influence of Ignition Characteristics Give the EGR Dilution Limit of Supercharged Gasoline

Yuto UMEMOTO

Tatsuya KUBOYAMA, Yasuo MORIYOSHI, Yasusige UJIIE

Table.3 Valve timing

Valve Timing (1mm lift)	Intake	25°ATDC
		41°ABDC
	Exhaust	27°BBDC
		11°BTDC
Max Valve Lift[mm]	Intake	8.89
	Exhaust	8.66

Table.4 Coil specifications

No.	Label	Dwell[ms]	Secondary energy [mJ]
1	Nomal	4	110
2	HC	8.4	180
3	LD	8.4	180

### 3.実験方法

#### 3.1 ノックサイクルの定義・ノック限界点火時期の定義

筒内圧をカットオフ周波数2kHzのハイパスフィルタFV-628B(エヌエフ回路設計ブロック)に通し、筒内圧力の高周波成分のみを取り出した。図2に筒内圧及びハイパスフィルタを通った筒内圧の測定結果の例を示す。ノック強度, KI(Knock Intensity)を圧力振動の振幅最大値とする。KI が100kPa 以上となったサイクルをノックサイクルとする。

この処理を連続する500 サイクルで行い、ノックサイクルの発生頻度が10%に達した点火時期をノック限界点火時期(KLSA)と定義した。この方法と同時に、試験機関から聞こえてくるノック音も判定の補助として利用した。

#### 3.2 燃焼変動限界点火時期の定義

点火時期をリタードさせると、IMEPの燃焼変動率(COV of IMEP)が高くなる。本実験では、変動率が5%以下で最も点火時期をリタードできた点を変動限界とする。

#### 3.3 EGR率の定義

従来のEGR 率は計測した吸気CO<sub>2</sub> 濃度, 排気CO<sub>2</sub> 濃度, 大気CO<sub>2</sub> 濃度を用いて式(1)のようにCO<sub>2</sub> の濃度比から算出される。本研究ではこれを踏襲した。

$$\text{EGR rate}[\%] = \frac{[\text{CO}_{2in}] - [\text{CO}_{2air}]}{[\text{CO}_{2ex}] - [\text{CO}_{2air}]} \times 100 \dots (1)$$

[CO<sub>2in</sub>] : 吸気CO<sub>2</sub> 濃度

[CO<sub>2ex</sub>] : 排気CO<sub>2</sub> 濃度

[CO<sub>2air</sub>] : 大気CO<sub>2</sub> 濃度

### 4.結果と考察

#### 4.1 EGRが燃焼に与える影響

まず、標準のコイルを用いて、EGR率が燃焼特性に及ぼす影響について調べた。図3にEGR率が熱発生率に及ぼす影響を示す。機関回転1600rpm, BMEP0.6MPaで、点火時期はEGR 率によらず34 deg. BTDCで一定である。図3より、点火時期一定のもとEGR率を増加すると、熱発生率の上昇開始時期が遅れ、これに伴い燃焼位相(50%の燃焼割合のクランク角度:CA50)が遅角化する。また、最大熱発生率が低下し、燃焼期間が増大することがわかる。一般に、CA50の遅れは燃焼期間を増大し、熱発生率を緩慢にする。

EGR率が熱発生率に及ぼす影響を調べた。図4に、CA50 一定のもとでEGR率が熱発生率に及ぼす影響を示す。図4より、EGR率が高いほど熱発生率の最大値が低く、燃焼期間が長いことがわかる。

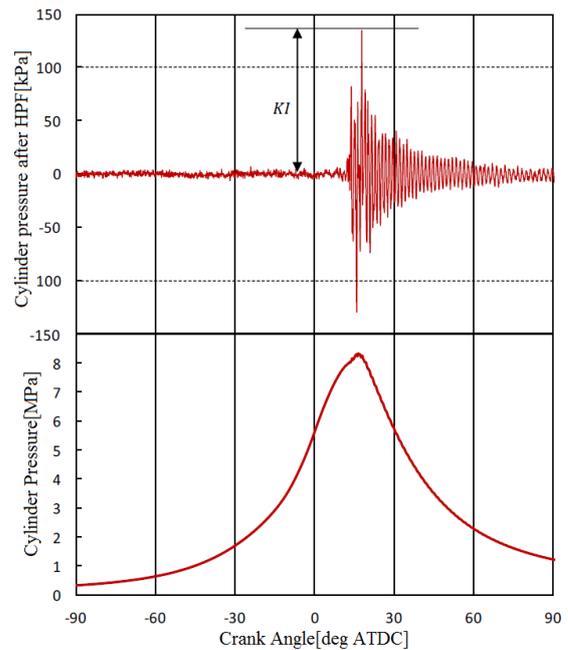


Fig.2 Definition of knock intensity

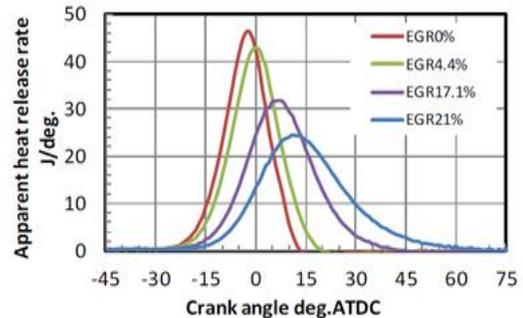


Fig.3 Effect of EGR on heat release rate with constant spark ignition timing

図5にEGR率が燃焼期間に与える影響を示す。運転条件やEGR率によらず、燃焼位相が遅れるにともない、燃焼期間(CA10-90)が長くなる。また、燃焼位相(CA50)一定のもとで比較すると、EGR率を4.4%まで増加しても燃焼期間は大きく変化しないが、EGR率が高いほど燃焼期間が増大する傾向が見られる。総じて、EGR率の増大は、熱発生を緩慢化し、燃焼期間を増大することがわかる。

図6にEGRがノック限界と燃焼変動限界に与える影響を示す。横軸にはEGR率、縦軸にはCA50をとった。一般に、燃焼位相を遅角すると燃焼変動が増大する。一方、燃焼位相を進角するとノッキングが発生する。2800rpm, BMEP 1.6 MPaにおいては、Case1で示されたMBTよりも遅い燃焼位相でノッキングが発生したのでノッキングを示す線とMBTは一致する。

これらの図において、EGR率がノック発生限界に及ぼす影響に着目する。相対的に低い運転負荷であるCase 1(1600 rpm, BMEP 0.6 MPa)においては、EGR率を高めてもノック発生限界に有意な差は見られない。量論混合比での運転を前提とすると、負荷一定のもとでEGR率を高める場合、充填圧力を高める必要がある。EGR率を高めれば予混合気の着火遅れは長期化するが、雰囲気圧力の増大は着火遅れを短縮させる。未燃ガスの着火遅れに対するEGRによる希釈による効果が雰囲気圧力の増大により相殺された結果と考える。ただし、本運転条件においては、もともとMBT運転が実現できており、ノック発生限界については、過早な燃焼位相である。一方、Case 2(2800 rpm, BMEP 1.6 MPa)においてはMBT運転が実現できなかった。この場合、EGR率を高めるとノック発生限界の燃焼位相を進角することができた。EGR率を16.6%まで増大すると、ノック発生限界の燃焼位相を4度程度進角することができた。本実験の範囲では、ノッキングへの対応がより重要な高負荷条件ほど、EGRによるノック抑制効果が大きい。

次に、図6において、EGRが燃焼変動に及ぼす影響に着目する。Case 2のEGR率0%においては、排気温度が950°Cを超え、排気システム(ターボチャージャなど)の保護の観点から、燃焼変動限界の燃焼時期まで遅角化することができなかった。図6より、いずれの運転条件においても、EGR率の増加に伴い、燃焼変動限界の燃焼位相がより進角化することがわかる。

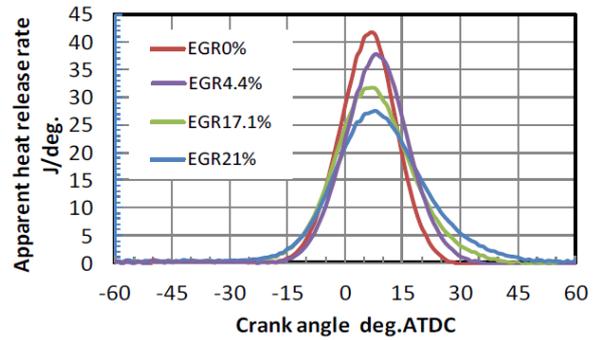


Fig.4 Effect of EGR on heat release rate with

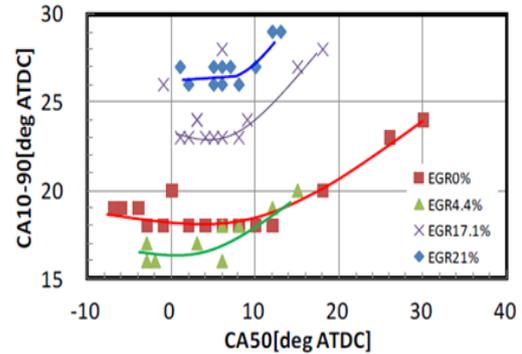
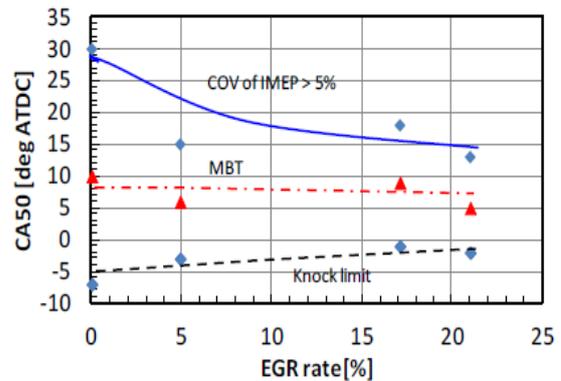
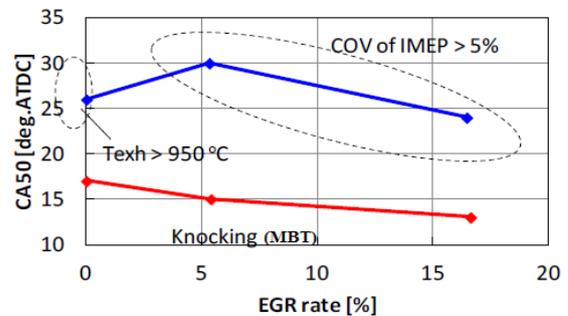


Fig.5 Effect of EGR on combustion duration



Case.1 1600rpm, BMEP 0.6MPa



(b)Case.2 2800rpm, BMEP 1.6MPa

Fig.6 Effect of EGR on the limits of knocking and combustion instability

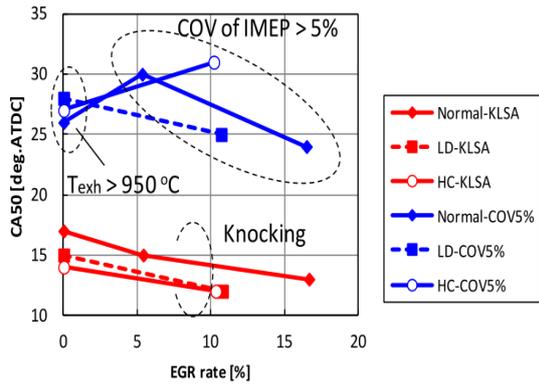


Fig.7 Effect of spark discharge pattern on the limits of knocking and combustion at 2800rpm, BMEP1.6MPa

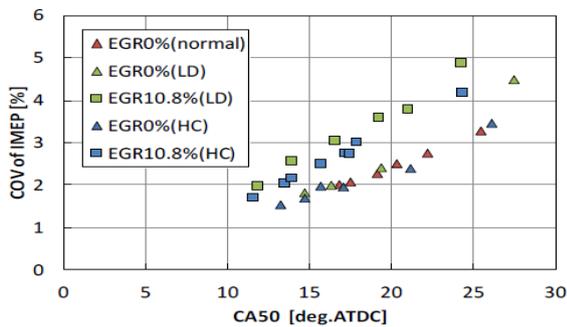


Fig. 8 Effect of spark discharge pattern on combustion stability at 2800 rpm, BMEP 1.6 MPa

図7において、ノック限界に着目する。標準型のコイルを用いた場合に対して、LD型、HC型のコイルを用いた場合、ノック発生限界における燃焼位相（CA50）を進角出来ることがわかる。LD型、HC型を用いた場合に、ノック限界のCA50に大差がないことから、点火エネルギーを高めたことで火炎伝播燃焼が促進されたことなどが推定されるが、ノック限界の進角化の要因については、詳細な解析を進めたい。

次に、燃焼変動限界に着目する。EGR率 10%での燃焼変動限界を見ると、点火エネルギーが等しくても、HC型のコイルを用いた場合の方が、LD型のコイルを用いた場合よりも、遅い点火時期で安定した燃焼が実現できることがわかる。また、標準型よりもLD型のコイルの方が点火エネルギーが高いにもかかわらず、燃焼変動限界が進角化することが推測できる。

図8に点火放電システム（コイル）がIMEPの変動率に及ぼす影響を示す。図より、EGRを適用しない場合（EGR率0%）、点火放電システムが燃焼変動に及ぼす影響は少ないが、EGR率を10%まで高めた場合、同じ点火条件

（放電エネルギー、点火時期が同じ）であっても、HC型のコイルを用いることで、LD型を用いた場合に比べて、燃焼変動を抑制できるがわかる。

#### 4.まとめ

異なる火花放電特性を有するコイルを用いて、火花放電特性がEGR環境下における燃焼安定性に及ぼす影響を実験的に調べた。得られた知見を以下にまとめる。

(1) EGR率を高めると、燃焼変動が増大し、燃焼変動に起因する安定燃焼限界を与える燃焼時期が進角化する。

(2) EGR率を高めると、高負荷運転のノック限界を進角化することができる。機関回転数2800 rpm, BMEP 1.6MPaのもと、EGR率を16.6%まで増大すると、ノック発生限界の燃焼位相を4 deg.CA程度進角することができた。

(3) 放電エネルギー一定のもと、放電時間が長く、放電電流が低いLD型、放電時間が短く、放電電流が高いHC型のコイルを用いて、放電パターンがEGR希釈環境下での燃焼変動に与える影響を調べた結果、HC型のコイルを用いた場合の方が、燃焼安定性が向上し、安定燃焼限界を拡大することができた。