

SI 機関における異常燃焼に過給が及ぼす影響の解析  
 Analysis of the Influence of Supercharging on Abnormal Combustion in an SI Engine

○三浦 健太<sup>1</sup>, 河野 秀司<sup>1</sup>, 横田 純一<sup>1</sup>  
 早川 昇邦<sup>2</sup>, 宮坂 智海<sup>2</sup>, 石野 賢司<sup>2</sup>, 飯島 晃良<sup>3</sup>, 庄司 秀夫<sup>3</sup>  
 Kenta Miura<sup>1</sup>, Shuji Kawano<sup>1</sup>, Junichi Yokota<sup>1</sup>  
 Norikuni Hayakawa<sup>2</sup>, Tomomi Miyasaka<sup>2</sup>, Takashi Ishino<sup>2</sup>, Akira Iijima<sup>3</sup>, Hideo Shoji<sup>3</sup>

Engine downsizing with a turbocharger / supercharger has attracted attention as a way of improving the fuel economy, but this approach can be frustrated by the occurrence of abnormal combustion. In the experiments, a visualization technique was applied to photograph combustion in the combustion chamber and absorption spectroscopy was used to investigate the intermediate products of combustion. The test fuels used 80 RON primary reference fuel (n-heptane + iso-octane). As a result, the occurrence of cool-flame was delayed by supercharging, and low-temperature reaction period shortened.

1. 序論

今日、環境問題などによって低燃費の自動車が求められている。過給ダウンサイジングにより排気量を小さくし、燃費、排出ガスなどの問題点を緩和できる。しかし、異常燃焼の発生が問題となっている。その起因を探るべく本実験では、オクタン価標準燃料 80 RON を用い、過給圧を変化させ、異常燃焼の解析を行った。

燃焼室末端部に設置した K 型熱電対により燃焼室内壁温度 ( $T_{iw}$ ) を測定した。また、筒内平均ガス温度 ( $T_g$ ) は、冷炎発生時の筒内圧力  $P$  [Pa], 冷炎発生時のシリンダ内容積  $V$  [ $m^3$ ], シリンダ内のガス質量  $m_g$  [kg / cycle], 気体のガス定数  $R$  [J / kg · K] ( $= 294$  J / kg · K)<sup>(3)</sup> とし(2) 式で算出した。

$$T_g = \frac{P \cdot V}{m_g \cdot R} \quad \dots (2)$$

2. 実験装置および方法

供試機関仕様および実験条件を表 1 に、シリンダヘッドおよび各測定装置の取り付け位置を図 1 に示す。低温酸化反応を捉えやすくするために、点火時期 I.T. (Ignition Timing) を正規の 15 deg. BTDC から 5 deg. BTDC に遅角させた<sup>(1)</sup>。

シリンダ上部に取り付けた石英窓により筒内を可視化し、筒内の燃焼およびノッキングの様子を撮影速度 40,000 frames / sec. に設定した高速度カメラを用いて撮影した。

分光測定は、火炎光を多波長分光器に取り入れ、末端部で 395.2 nm (HCHO) の発光強度を測定した。また、シリンダヘッド側部の石英観測窓ホルダからキセノンランプの平行光を燃焼室へ照射し反対側から得られた 293.1nm (HCHO)<sup>(2)</sup>の透過光強度を測定した。低温酸化反応が顕著に現れる前の透過光強度の平均値 ( $E_{HCHO(AVG)}$  [A.U.]) を基準とし、任意のクランク角での透過光強度 ( $E_{HCHO}$  [A.U.]) から吸光度 ( $A_{HCHO}$  [-]) を (1) 式のように定義した。

$$A_{HCHO}[-] = \frac{E_{HCHO(AVG)} - E_{HCHO}}{E_{HCHO(AVG)}} \quad \dots (1)$$

Table 1 Specifications of test engine and test condition

Four-stroke Air-cooled Single Cylinder Gasoline Engine	
Bore × Stroke	85 × 70 mm
Displacement	397 cm <sup>3</sup>
Valve Arrangement	Side Valves
Engine Speed	1400 rpm
Test Fuel	PRF 80
Mixture Ratio	Stoichiometric
Boost Pressure	$P_{b(abs)} = 98.5, 110$ kPa
Ignition Timing (I.T.)	5 deg. BTDC
Compression Ratio	6.4 : 1

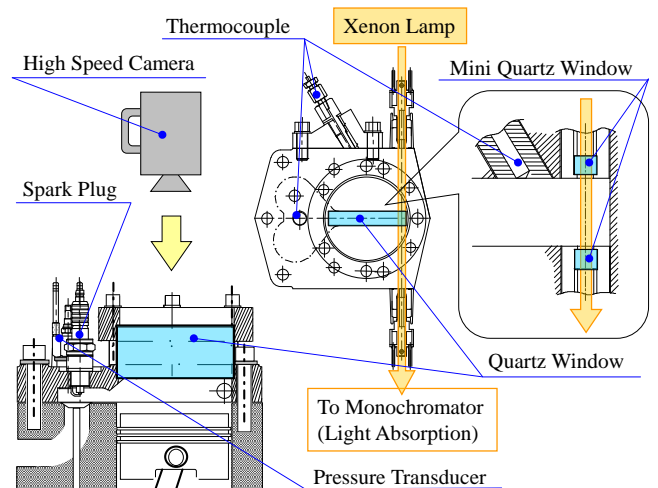


Figure 1 Cylinder head and measurement position

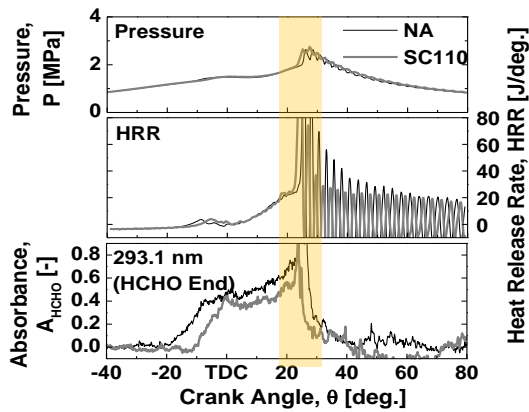


Figure 2 Visualization results and measured waveforms (80 RON)

Crank Angle [deg.]	80 RON NA	Crank Angle [deg.]	80 RON SC110
21.0		21.0	
21.5		21.5	
22.0		22.0	
22.5		22.5	
23.0		23.0	
23.5		23.5	
24.0		24.0	
24.5		24.5	
25.0		25.0	
25.5		25.5	
26.0		26.0	
26.5		26.5	
27.0		27.0	
27.5		27.5	

### 3. 実験結果および考察

図 2 に計測波形を示す。測定波形は横軸がクランク角  $\theta$  [deg.], 縦軸は上からシリンダ内圧力  $P$  [MPa], 熱発生率  $HRR$  [J/deg.], 燃焼室末端部における HCHO 吸光度  $A_{HCHO}$  [-] である。また, 図 3 に冷炎発生時期のクランク角  $\theta_c$  [deg.] と筒内平均ガス温度  $T_g$  [K] との関係を示す。

図 2 の計測波形より差異が見られる。HRR 波形に着目すると, 冷炎の発生時期は自然吸気時と比べ過給時の方が遅角しており, 前炎反応期間が短期化していることがわかる。吸光度波形に着目すると, HRR 波形の冷炎発生時期と同時期に HCHO が生成され, 自着火と同時期に消費されていることが確認でき, 過給時は自然吸気時と比べ自着火時期が進角していることがわかる。また, 可視化画像でも自然吸気時より過給時の方が早期に自着火していることがわかる。これらより, 過給時ではバルブオーバーラップ時の残留ガスの掃気作用が大きいいため, 圧縮開始の温度が低下し, 冷炎の発生時期は自然吸気時と比べ遅角したと考えられる。また, 自然吸気時では低温酸化反応 (LTR) を起こすための未燃ガス量は少ないことに加え圧力も低いいため, 低温酸化反応が弱くなり, 過給時に比べて前炎反応期間が長期化したと考えられる。

図 3 よりノッキング発生時の冷炎発生は, 筒内平均ガス温度 900 K 以下の低温酸化反応の領域に収束していることがわかる。これは点火時期が一定で, 燃焼室内温度が高く, 伝播火炎の進行が遅い際に冷炎反応が開始し, 伝播火炎の影響が少なくなったためだと考えられる。また, 低温酸化反応領域内での同時期の冷炎発生時期に着目すると, 自然吸気時より過給時の方が, 筒内平均ガス温度が低くなっていることがわかる。これは, 同じくバルブオーバーラ

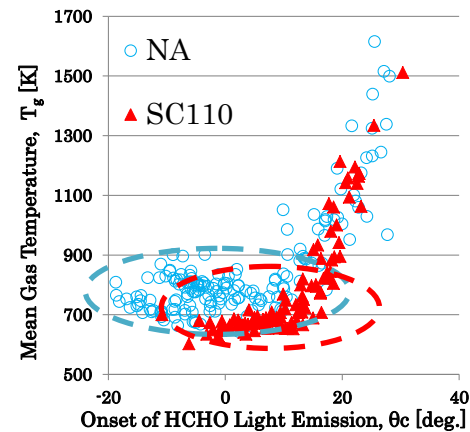


Figure 3 Onset of HCHO Light Emission,  $\theta_c$  [deg.] vs. Knock Intensity,  $P_{ki}$  [MPa]

ップ部での残留ガスの掃気の影響が大きいためであるとえられる。

### 4. 結論

- (1) 自然吸気時と比べて, 過給時では残留ガスの掃気作用によって圧縮開始温度が低下し冷炎発生時期は遅角するが, 低温酸化反応が活発化するため自着火時期は進角し, 前炎反応期間は短期化する。
- (2) ノッキング発生時における冷炎発生は筒内平均ガス温度 900 K 以下の LTR 領域に収束した。また, 過給時の方が冷炎発生時期が遅角し, その時の筒内平均ガス温度が低く算出されていることから, 残留ガスの掃気作用の影響によるものと考えられる。

### 参考文献

- (1) 石野, 長谷川, 飯島, 庄司: 第 23 回内燃機関シンポジウム講演論文集 pp. 101 (2012)
- (2) Gaydon, A. G. : The Spectroscopy of Flame Second Edition London, Chapman and Hall Ltd. (1974)
- (3) 庄司 : 火花点火機関における燃焼ガス温度測定, 日本機械学会論文集, 51-463B, pp.1091-1098 (1985)