

K2-4

過給時における火花点火機関のノッキング現象の分光学的解析

A Spectroscopic Analysis of the Knocking Phenomenon in a Supercharged Spark Ignition Engine

○石野 賢司¹, 白木 則匡¹, 関口 満菜¹, 長谷川 智弘², 飯島 晃良³, 庄司 秀夫³*Takashi Ishino¹, Norimasa Shiroki¹, Mana Sekiguchi¹, Tomohiro Hasegawa², Akira Iijima³, Hideo Syouji³

The auto-ignition behavior of the end gas at the time of knocking in a supercharged Spark Ignition engine was examined on the basis of light emission measurements. The test fuels used 50 RON primary reference fuel (n-heptane + iso-octane) that was conducive to the occurrence of low-temperature reactions. Light emission measurements were applied to investigate the behavior of OH radicals and formaldehyde (HCHO) in the interval from the occurrence of a cool flame to auto-ignition. The results showed the occurrence of cool-flame was delayed by supercharging, and low-temperature reaction period shortened.

1. 序 論

近年、自動車用ガソリンエンジンは燃費低減のため、ダウンサイジングと過給によってエンジン重量を抑えつつ必要な出力を得るといった方式が注目されているが、ノッキングの発生が課題となっている。そこで本研究では、既存の自然吸気汎用エンジンに外部過給機を取り付け、燃焼室内の分光計測を行い、過給圧の変化がノッキング強度に与える影響を調べた。なお、ノッキング時の前炎反応（低温酸化反応）は実機における検出が困難であるため、火炎伝ばの影響を抑制するため点火時期を遅角させ、燃焼室末端部での低温酸化反応の挙動を捕らえやすくし、分光学的手法^[1]を用いてその挙動を捕らえた。

2. 実験装置および方法

図 1 にシリンダヘッドと各測定装置の取り付け位置を示す。なお本実験では、ボアストローク 85 × 75 mm、燃焼室容積 397 cm³ のサイドバルブ方式の四ストローク空冷単気筒ガソリンエンジンを用いた。燃焼室内の圧力の測定には水晶圧力変換器を用い、また、燃焼室内の発光の測定には、シリンダヘッド上部に取り付けた水冷型石英観測窓ホルダから、光ファイバを用いて火炎光を多波長分光器^[2]へと導き、燃焼室内の発光の測定を行った。

シリンダヘッド上部の 2 ヶ所に取り付けた石英観

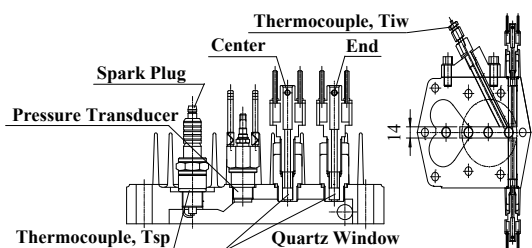


Figure 1. Cylinder head and measurement positions

測窓ホルダのうち、点火栓に近い側を燃焼室中央部 (Center)、遠い側を燃焼室内末端部 (End) とし、306.4 nm (OH ラジカル), 395.2 nm (HCHO) の 2 波長の発光強度^[2]を測定した。

また、シリンダヘッドの過熱状態を把握するために、燃焼室末端部に設けた熱電対により燃焼室内壁温度 (T_{iw} [K]) と点火栓座金温度 (T_{sp} [K]) を測定した。

3. 実験結果および考察

点火時期 (Ignition Timing : I.T.) を 5 deg. BTDC, 機関回転数 1400 rpm 一定、標準燃料 (50 RON), 圧縮比 6.4 : 1 の条件下における、自然吸気時 (NA) と過給時 (SC) の分光計測実験の計測波形を図 2 に示す。なお、図 2 は燃焼室内壁温度がほぼ同一である時の自然吸気時と過給時の測定波形で、横軸はクランク角 θ [deg.], 縦軸は上からシリンダ内圧力 P [MPa], 圧力より求めた熱発生率 HRR [J/deg.], 燃焼室中央部 (Center), 燃焼室末端部 (End) における OH ラジカル発光強度 E_{OH} [A.U.], HCHO 発光強度 E_{HCHO} [A.U.] である。

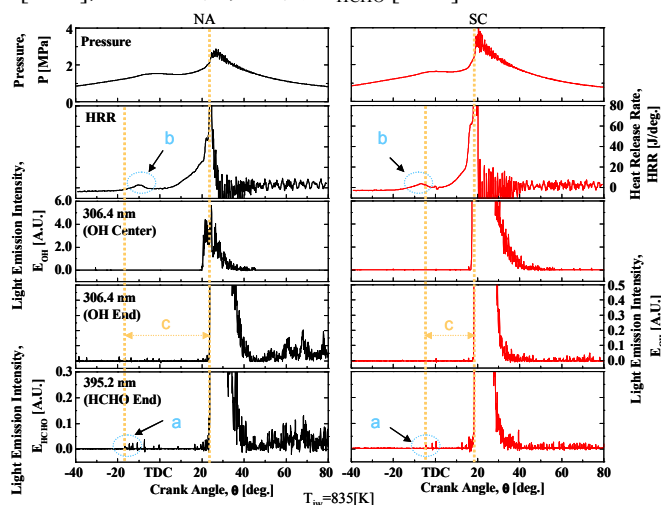


Figure 2. Measured waveforms (as knocking condition)

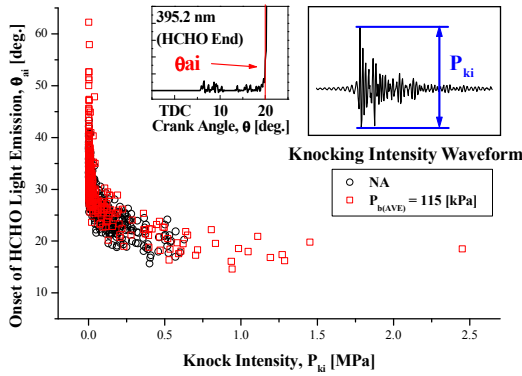


Figure 3. Onset of HCHO light emission, θ_{ai} [deg.] vs. Knock intensity, P_{ki} [K]

図 2 の波形より、自然吸気時と過給時ともに末端部 HCHO 発光強度波形において縮退を伴う微弱な発光の開始 (図中 a) とほぼ同時に、熱発生率の上昇 (図中 b) が熱発生率波形上で確認できる。これらは自着火に至る前の冷炎反応を捕らえたものと考えられ、その後、末端部 OH ラジカル及び HCHO 発光強度波形の急激な立ち上がりや、圧力波形が振動していることから燃焼室末端部で自着火が起き^[3]、ノッキングが発生しているのが確認できる。自然吸気時と過給時の波形を比較すると、冷炎発生時期 (各図における左の破線) が自然吸気時よりも過給時の方が遅角化していることがわかる。また、過給時の方が前炎反応期間 (図中の c の距離) が短いことや、ノッキング時に強い圧力振動を示していることがわかる。

次に図 3 にノック強度 P_{ki} [MPa] と自己着火発生時期 θ_{ai} [deg.] との関係を示す。ここで、ノック強度とは圧力振動の強さを示し、ノック時のノック振動の最大圧力と最小圧力との差と定義する。

図 3 より、吸気圧力の差にかかわらず、自己着火発生時期の進角とともにノック強度が強くなっていく傾向がみられる。これは自己着火時期が上死点に近づくことで筒内圧が高圧時に自己着火が発生し、最大圧力が上昇したためであると考えられる。また自然吸気時と過給時を同一自己着火時期において比較すると、過給時のノック強度の方が強くなっていることがわかるが、これは過給によるノッキング発生時の最大圧力の上昇が原因と考えられる。

しかし、本実験において最大ノック強度となった自己着火時期は、自然吸気時で 21 deg. ATDC、過給時は 18 deg. ATDC であり、さらに自着火時期の早いサイクルがあるにもかかわらず、そのノック強度は最大になっていない。このことから、ノック強度は自己着火時期だけに依存するとは考え難い。

そこで、図 4 に冷炎発生時期 θ_c [deg.] とノック強度

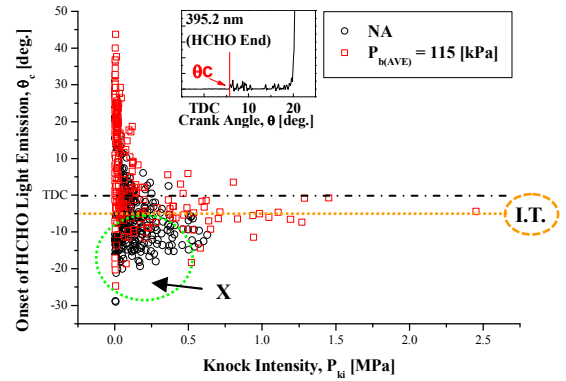


Figure 4. Onset of HCHO light emission, θ_c [deg.] vs. Knock intensity, P_{ki} [K]

P_{ki} [MPa] の関係を示す。図 4 よりノック振動を伴うサイクルの多くは上死点前に冷炎反応が開始していることがわかる。しかし、上死点前はかなり早い段階で冷炎が発生しているにもかかわらずノック強度の低いサイクルも存在している (図中 X)。これは、サイクル変動によって筒内温度や圧力の条件が変化し、冷炎の発生挙動が変わるためであると考えられる。また、サイクル毎の冷炎の発生挙動が自己着火時期やノック強度に影響を及ぼしていると考えられる。

4. 結 論

- (1) 自然吸気時に比べ、バルブオーバーラップによる残留ガスの掃気作用が大きい過給時の方が、圧縮開始温度が低く冷炎発生時期の進角の度合いが小さくなる。また、過給時は自着火時期が進角するため、前炎反応期間が短期化した。
- (2) ノック強度は自己着火時期だけに依存するとは考え難く、一概に自着火の早さがノック強度の大きさに影響を与えているとは言えない。
- (3) サイクル変動による筒内の条件変化が冷炎の発生挙動を変化させ、自己着火時期やノック強度に影響を及ぼしていると考えられる。

5. 謝 辞

本研究は理工学部シンボリックプロジェクト (熱工学システム) の一環として実施した。

6. 参考文献

- [1] Iijima, A., Yoshida, K., Shoji, H. : SAE International Journal of Engines, Vol.2, No.2, pp.721-732, 2010.
- [2] 鴨志田, 板谷, 門脇, 飯島, 庄司 : 自動車技術会論文集, Vol.39, No.2, pp.171-176, 2008.
- [3] 齋藤, 鈴木, 鴨志田, 飯島, 吉田, 庄司 : 自動車技術会論文集, Vol.41, No.2, pp.283-288, 2010.