K2-5

分光測定及び筒内可視化による過給 SI エンジンにおける異常燃焼の調査

Analysis by Spectroscopic Measurement and Visualization of Auto-ignition Phenomena in the Supercharged

SI Engine

○工藤大貴²山下貴大¹石川貴大¹居迫拓冶¹
高畑周平²清水堅斗²飯島晃良³庄司秀夫³
Hiroki Kudo, Takahiro Yamasita, Takahiro Ishikawa, Takuya Izako
Shuhei Takahata, Kento Shimizu, Akira Iijima, Hideo Syoji,

In this study, the behavior of the auto-ignition in a supercharged SI engine was investigated by using light emission and absorption spectroscopic measurements. Spectroscopic measurements were applied to investigate the behavior of formaldehyde (HCHO) and OH radicals in the interval from the occurrence of a cool flame to auto-ignition. As a result, formaldehyde arose in cool flame reaction and consumed at main combustion. In addition, OH radicals arose at the time of knocking.

1. 序論

近年,環境問題への対策のため内燃機関は更なる高効 率化が求められている.その手段として過給ダウンサイ ジング技術がある.しかし,自着火など異常燃焼の発生に よって高効率化が妨げられている.

そこで本研究では過給 SI (Spark-Ignition) エンジンに おける自着火のメカニズムを調査するため,自着火に影 響を及ぼすと考えられている中間生成物を分光測定によ り測定した⁽¹⁾.

2. 実験装置及び方法

表 1 に実験装置の仕様,表 2 に実験条件,図 1 にシ リンダヘッド及び各測定装置を示す.本研究では,空冷式 単気筒 4 ストロークエンジンを用いた. 燃料には,オク タン価 90 の標準燃料 (PRF 90) を使用した.

筒内可視化については、シリンダヘッド部分に石英観 測窓を設け、上方から撮影速度 40,000 frame / sec に設定 した高速度カメラを用いて撮影した.

末端ガスの分光測定を行うために、シリンダヘッドの 末端部に小型石英窓を取り付けた.発光測定では燃焼室 内の自発光を取り出し、吸光測定ではキセノンランプか らの光を透過させている.燃焼室内を透過した自発光又 はキセノンランプの光は、光ファイバによって分光器に 導かれ分光される.分光器により、自着火時に発生する OH ラジカルが発光する波長 306.4 nm と低温酸化反応 で生成されるホルムアルデヒド (HCHO) に強く吸収さ れる波長 293.1 nm に分光される⁽²⁾.分光した光を光電子 増倍管によって電気信号に変換する.吸光の場合、基準と なる低温酸化反応が起こってない状態での透過光強度の 平均値 E₀と任意のクランク角度での透過光強度 E を用い て、吸光度を式 (1) から算出した.

$$A_{HCHO} = \frac{E_0 - E}{E_0} \tag{1}$$

水晶圧力変換器によりシリンダ内圧力 P[MPa], K 型 シース熱電対により点火座金温度 T_{sp} [K] を測定した.

	a .a	0.1	
Table L	Specification	of the test	enone
rable r	opermeation	of the test	ungine

Four-stroke Air-cooled Single-cylinder Engine		
Displacement	397 cm ³	
Bore × Stroke	$85 \times 70 \text{ mm}$	
Compression Ratio: ε	8:1	
Engine Speed: N	1400 rpm	
Ignition Timing (I.T.)	-5 deg. ATDC	
Mixture Ratio	Stoichiometric	
Intake Air Temperature	$303 \pm 1 \text{ K}$	

Table 2 Test condition

	Case A	Case B
Boost pressure	100 kPa (NA)	120 kPa
Test Fuel	PRF 90	



1:日大理工・学部・機械 2:日大理工・院(前)・機械 3:日大理工・教員・機械

3. 実験結果と考察

図 2,3 に点火栓座金温度 T_{sp}=473K における自然吸 気条件と過給条件での測定波形を示す.

まず図 2 は吸光計測波形で横軸がクランク角 θ [deg.], 縦軸は上からシリンダ内圧力 P[MPa],シリンダ内圧力よ り求めた熱発生率, 燃焼室末端部における HCHO 吸光度 A_{HCHO}[-] である. グラフに注目すると, NA・過給条件共 に, 熱発生率の立ち上がりと同時に吸光度の立ち上がり が確認でき (図 2 領域 A), ここで冷炎が発生している と考えられる.

次に図 3 の発光強度波形に着目すると、NA・過給条件 共に、自着火と同時に発光強度が急激に立ち上がり、その 後減少していることから(図中破線)、自着火時に OH ラ ジカルが生成されその後消費されていることが確認でき る.

吸光度波形と発光強度波形より,自着火時に HCHO が消費されると同時に OH ラジカルが生成されること が確認できた.この現象は低温酸化反応時に発生する H₂O₂ ループ反応であると考えられる.この反応の総括式 は式 (2) で表される⁽³⁾.

$$2HCHO + O_2 \rightarrow 2CO + 2H_2O$$
 (発熱反応) (2)

上式により自着火するまでの温度に至ると考えられる.

図 4 は筒内上方からの可視化画像であり, NA より も過給の方が自着火が早く起きていることが画像からも わかる (図中 X).



Fig. 2 Measured waveforms with light absorption



Fig. 3 Measured waveforms with light emission



Fig. 4 Visualized images

4. 結論

本実験で得られた結論を以下に示す.

- (1) 吸光測定では、熱発生率の立ち上がりと同時 HCHO が生成され自着火時に消費されることが分かった.
- (2) 発光測定では、OH ラジカルは自着火時に急に生成 され、その後消費されることが分かった.
- (3) 過給を行うと、OH ラジカルが生成される温度に至りやすいため、自着火時期が進角し、強いノッキングが発生すると考えられる。

5. 参考文献

 [1] 飯島晃良, "発光・吸光分光測定による HCCI 燃焼お よびノッキング現象の研究", ENGINE TECHNOLOGY REVIEW, Vol. 2, No. 6, (2 - 2011), p. 82 - 91
[2] A. G. Gaydon : The Spectroscopy of Flame - 2nd Edition, London, Chapman and Hall Ltd (1974)
[3] 安東弘光: 熱発生に着目した炭化水素の着火機構の 整理, 日本機械学会年次大会 (2006)