

加熱面上に衝突する燃料液滴の着火と燃焼

川口 泰弘*, 近藤 央**

Ignition and Combustion of a Fuel Droplet Impinging upon a Hot Surface

Yasuhiro KAWAGUTI* and Hiroshi KONDOU**

(Received May 30, 1994)

An experimental study on ignition phenomena of a fuel droplet impinging upon a hot surface was performed.

To reach a better understanding of the ignition phenomena of fuel droplets, it is necessary to study the mechanism of the ignition behavior of fuel droplets.

The results indicate that the spectra of the light emission generated in the mixture around a n-heptane droplet suggest a emission belonging to formaldehyde, the light emission band which lies in the range of 360~450 nm. Thus, a clue that will lead the way to clarification of the ignition mechanism has been found.

1. はじめに

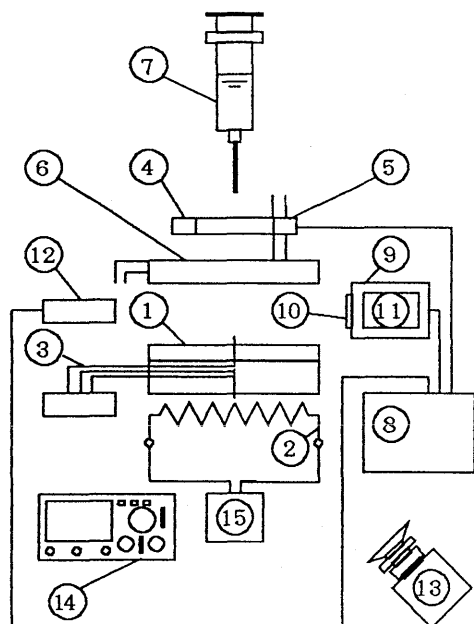
ディーゼル機関の燃焼の改善や、ガソリン機関のノッキング現象の解明には、燃料の自己着火過程の十分な解明が必要である。燃料液滴の加熱面上での蒸発・着火は、ディーゼル機関の燃焼、ガソリン機関の燃料供給過程、噴霧冷却などに関連しており、単一液滴を用いた基礎研究からディーゼル機関を用いた応用研究にいたるまで古くから広範な研究がおこなわれてきている。^{(1)~(4)} 前者では、主として蒸発寿命時間、着火おくれにおよぼす種々のパラメータについて調べている。後者では、ディーゼル機関の燃焼室壁面温度による燃焼制御の可能性についてなどである。これらのほとんどのものは燃焼機構における化学反応についてはふれていない。蒸発中の液滴周囲に形成される混合気の燃焼特性は、後に続く伝播燃焼および汚染物質生成過程と密接な関係があるため重要である。

以上の観点から、本研究においては燃料液滴の着火おくれ期間中の発光をも含めた燃焼光の測定を行うことによって燃料液滴の着火・燃焼機構を明らかにする。

2. 実験装置および方法

図1に実験装置の概略を示す。図1において、加熱盤は表面を注意深く滑らかに仕上げたステンレス盤で、直径80mm、厚さ30mmの大きさであり、これを下から加熱器によって加熱する。落下した燃料液滴の飛び出しを防ぐため、ステンレス盤表面上には円環状のステンレス製の衝立をおいた。ステンレス盤中心の表面温度は、ステンレス盤の中心線にそって厚さ方向に一定間隔で埋め込まれた3本のCA熱電対(線径0.2mm)の測定値を外そうすることにより求めた。かなり時間が経過した後、盤内部の温度分布はほとんど直線状になる。ステンレス盤上部の気体温度(雰囲気温度)分布は熱電対を上下に動かすことにより求めた。加熱器によりステンレス盤の温度を上昇させた場合の盤および雰囲気温度分布を示すと図2のようになる。燃料液滴はできる限り均一径のも

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)
**建設省 (the Ministry of Construction)



- | | |
|-----------------------|---------------------|
| (1) Hot Plate | (9) Spectrometer |
| (2) Heater | (10) Optical Filter |
| (3) Thermocouple | (11) PMT |
| (4) Light Interceptor | (12) Microphone |
| (5) Photodiode | (13) CCD Camera |
| (6) Cooler | (14) Oscilloscope |
| (7) Syringe | (15) Rheostat |
| (8) Wave Memory | |

Fig. 1 Experimental apparatus

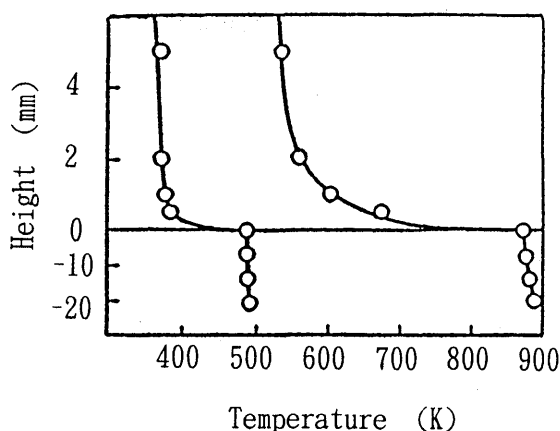


Fig. 2 Temperature distribution in and above the hot plate

のとし、ステンレス盤温度が定常になった後、ステンレス盤上に自由落下させて供給する。液滴注入法は、液滴

落下時において注射器の針の先端で液滴の表面張力と液滴質量の平衡でのみ落下するように、静かに一定背圧を指頭で加えた。注射器の先端から滴下された燃料液滴を、ステンレス盤に落下衝突させて自己着火させる。燃料液滴の落下途中のステンレス盤上 20.5cm の所に光源とフォトダイオードからなる細隙のある遮光装置が設置しており、そこを通過して光源からフォトダイオードに光束が向かっており、液滴が通過するときには光束が切られる。その瞬間から、燃料液滴が加熱盤の表面に到達して着火燃焼にいたるまでの発光をフィルターと受光素子とで構成する光電測光装置で検出し、波形記録装置（日置製 MEMORY HI CODER）によって記録する。発光は光学フィルターにより選択的に取り出して分光観測する。中心波長 $\lambda = 308\text{nm}$ 、半値幅 $\Delta\lambda_{1/2} = 11\text{nm}$ の金属膜干渉フィルターを通じて発光観測することにより OH 基の発光を、中心波長 $\lambda = 516\text{nm}$ 、半値幅 $\Delta\lambda_{1/2} = 12\text{nm}$ の金属膜干渉フィルター（共に日本真空光学製）を通して分光観測することにより C_2 基の発光を捕えた。また、青色ガラスフィルター（東芝製）により 350~500nm の波長域を検出した。受光素子としては光電子増倍管（浜松ホトニクス製 R268）を採用した。着火時に発生する圧力波（音圧）をマイクロフォンにより測定する。ビデオカメラにより火炎の発達状況をモニターし、ビデオプリンターで記録した。実験は暗室で行い、n-ヘプタン（オクタン価 0）を使用燃料とした。

3. 実験結果および検討

図 3 にステンレス盤の温度 850K における n-ヘプタンの発光スペクトル強度の時間経過を示す。350~500nm の青色光の出力波形を見ると、燃料液滴が加熱面に衝突してから 50ms 後に発光出力が検出されはじめ、緩やかに増大して最大値に達した後、減退して 0 になる。この時、308nm、516nm の波長の発光出力は全く認

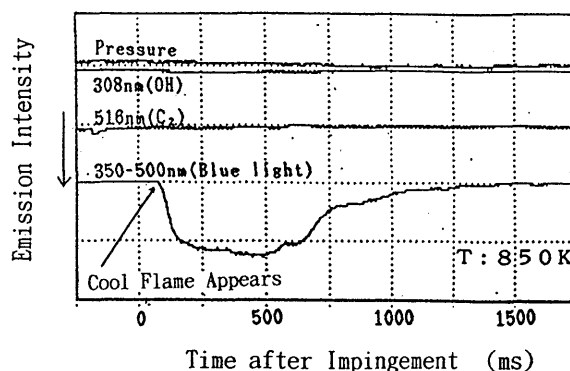


Fig. 3 Typical appearance of light emission of cool flame for n-heptane

められない。この時の発光は、闇に慣れた肉眼でろうじて判別できるほどの微弱な青色光である。この発光は、燃料の成分、ならびにホルムアルデヒド (HCHO) の発光の波長帯が、360~450nm の領域にあることから、燃料が緩慢酸化して過酸化物、ホルムアルデヒドを生じこれが中間生成物として連鎖反応を起こして一酸化炭素 (CO) を生じるときに発生する冷炎であると推測される。^{(5)~(9)} このような発光状態は、ステンレス盤の温度が600~900K の範囲内において認められた。ステンレス盤温度が900K 以上になると輝炎が発生しはじめ、308nm, 516nm の波長の発光出力ならびに圧力波が検出

とより、盤上に衝突した燃料液滴は、分裂して液滴群となり、その周囲に形成された混合気が最初に冷炎を発生した後、予混合燃焼的な青炎に移行し、つづいて燃料液滴群がすすの固体発光を伴いながら燃料する拡散火炎片が出現するものと推測される。

4. あとがき

加熱したステンレス盤上に燃料液滴 (n-ヘプタン) を自由落下により衝突、分裂させて蒸発から着火にいたる過程について実験的に調べた。着火遅れ期間中の発光をも含めた燃焼光をスペクトル分析した結果、燃料液滴群周囲に形成される混合気が最初に冷炎を発生した後、予混合燃焼的な青炎となり、つづいて液滴群がすすの固体発光を伴いながら燃焼する拡散火炎片が出現することが推測された。本研究により、燃料液滴周囲に形成された混合気が着火にいたる過程の反応機構を明らかにする手がかりが得られた。

参 考 文 献

- (1) Pedersen, C.O., INT. J. Heat Mass Transf., 13-2 (1970), 369.
- (2) Temple Pediani, R.W., SAE Paper, No. 700502 (1970)
- (3) Tamura, Z. and Tanasawa, Y., Proc. 7th Symp. Int. Combust. (1958), 509.
- (4) 手代木, 機論, 41-344 (昭 50), 1263.
- (5) Sitkei, G., Kraftstoffaufbereitung und Verbrennung bei Dieselmotoren, (1964), Springer-Verlag.
- (6) Wohl, K. and Welty, F., 5th Symp. Int. Combust., (1955), 748.
- (7) Sokolik, A.S., Self-Ignition, Flame and Detonation in Gases, (1963), 59.
- (8) Pipenberg, K.J., and Pahnke, A.J., Indust. Engng. Chemistry, 49-12 (1957), 2067.
- (9) Encyclopedia of Science and Technology, McGraw-Hill, Koudansha, 78.

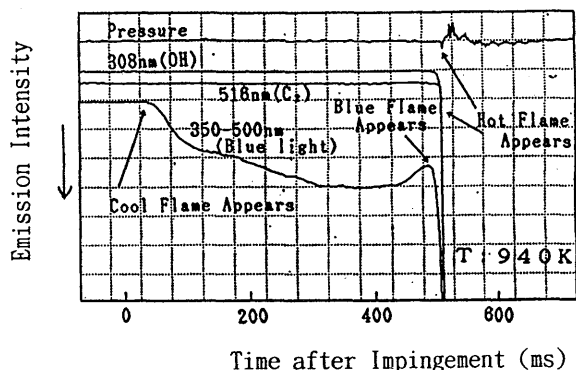


Fig. 4 Typical history of flame emission and pressure in ambient air for n-heptane

されるようになる。

図4に980Kにおけるn-ヘプタンの発光スペクトル線強度の時間経過を示す。350~500nmの青色光の出力波形を見ると50msから発光出力がはじめピーク値を経て440msで減退しはじめているが、480msから再び出力がゆるやかに増加しはじめ、ついには、急激な出力増加にいたっている。この青色光出力の再増加時期に対応して308nm (OH基)、516nm (C₂基)の発光出力も相前後して増加しはじめており、つづいて圧力波も出現している。308nmを中心としたOHバンド発光は予混合的な燃焼時期(領域)に、また、516nmを中心としたC₂バンド発光はすすなどからの固体発光を伴う輝炎あるいは拡散燃焼に相当していると考えられる。以上のこ