

高温壁面上における燃料の蒸発特性

嶽間沢秀孝*

Evaporation Characteristics of Fuel Droplet on Hot Surface

Hidetaka GAKUMASAWA

Synopsis

It is important to clarify evaporation characteristic of liquid fuel such as gasoline and diesel fuel. This study was conducted on evaporation phenomena of a fuel droplet on a hot wall. Several kinds of alcoholic addition fuel were used as the test. The influence alcoholic addition fuel affect evaporation lifetime was investigated in detail.

Key Words : Evaporation, Hot Wall, Liquid Fuel, Evaporation Lifetime, Ethanol, Regular Gasoline

1. はじめに

燃料油が高温壁面に衝突し蒸発する現象は、エンジン燃焼室内で発生していると考えられてきた。これまでディーゼル機関の燃料室において、燃料の一部がピストン表面あるいはシリンダ壁面に衝突して蒸発する現象について、多くの研究が行われてきた。この状態を強制的に行わせて効果をあげているのが MAN 社の M 燃料方式¹⁾である。この壁面蒸発は重油の燃料器やジェットエンジンの燃料室などに見られる。近年普及しているガソリン機関の直噴燃焼では、小型エンジンになるほど、燃料油の多くが壁面で衝突して蒸発していると予測される。衝突した燃料は、潤滑膜の破断や未炭化水素の発生源になると指摘されている。

高温壁面での液滴の蒸発現象は、田村・棚沢²⁾によって初めて解明され、壁面温度により非常に特異な現象となることが示された。この実験は大気圧下で行われなれたものだが、有意な資料を提供し、後続の多くの研究の規範となっている。廣安らは³⁾広範囲に雰囲気温度、圧力を変化させて、

単一液滴の壁面蒸発について詳細に実験を行っている。さらに、雰囲気温度・圧力が燃料の臨界温度・圧力を越えた場合についても実験⁴⁾⁶⁾が行われている。しかし、これまでの研究の多くは、蒸発の遅い軽油やベンゼンを対象としたものである。直噴ガソリン機関は雰囲気がディーゼル機関に比べ低圧であり、燃料のガソリンの蒸発が早い現象であるが、その詳細は未だに明らかになっていない。これらの蒸発特性が直噴ガソリン機関の燃焼特性を支配すると考えられ⁷⁾、蒸発特性の解明は重要である。

また、1997年に京都議定書が策定され、先進諸国は地球温暖化の防止に向けた目標達成に向けて最大限の努力を求められている。我が国でも、温室効果ガスの削減を目標として、地球温暖化対策推進大綱に基づき諸対策が進められている。

著者らは、ガソリン中に含まれると考えられる炭素数の炭化水素燃料について、壁面蒸発現象の観察を行い、蒸発寿命時間の測定⁸⁾と、燃料の蒸発過程の観察を行ってきた。本研究では、レギュ

*近畿大学工学部知能機械工学科 Department of Intelligent Mechanical Engineering
School of Engineering, Kinki University

ラーガソリンとエタノールを使用して、エタノール混合率変化が変化させた場合⁹⁾について燃料の壁面蒸発現象を観察した。

2. 実験装置および方法

図1に実験装置の概略を示す。高温壁面は下部に設置した1300Wの電気ヒーターにより加熱した。電圧は変圧器で調整し、実験中の壁面温度を一定に保持した。壁面温度は、60℃から発火点以下の300℃まで変化させた。燃料は、加熱壁面上30mmに垂直に固定された燃料供給装置から、壁面中央に向けて滴下した。壁面は直径100mm、厚さ30mmの鋼製である。燃料の壁面蒸発中にライデンフロスト現象が生じ、燃料が壁面外部に飛び出すのを防ぐため、上部をR168mmに凹面加工した。また、壁面表面の表面粗さは、壁面蒸発現象に大きく影響をおよぼす支配因子の一つであるため、2000番のやすりで毎回磨いて使用した。

燃料供給装置には、ニチリョウ製デジタルマイクロピペット(NPX-100)を採用した。本研究では、燃料の滴下は10 μ lの単一液滴(真球直径2.67mm)として行った。燃料の壁面蒸発挙動は、現象が遅い場合は直接目視にて観察した。壁面蒸発の寿命時間の測定には、ストップウォッチを用いた。なお、寿命時間の定義は、燃料液滴が高温壁面に到達してから燃料液滴が蒸発して完全になるまでの時間とした。

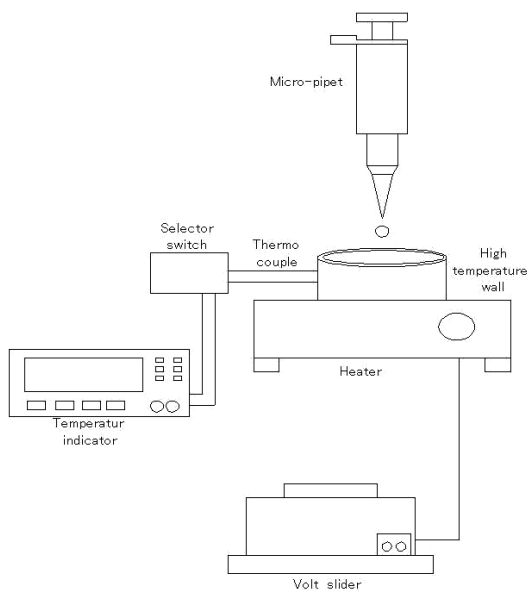


図1 実験装置の概略

3. 結果と考察

3.1 n-ヘキサン単一液滴の壁面蒸発

本研究では、壁面温度と寿命時間の関係は、核沸騰領域、遷移沸騰領域、膜沸騰領域を持つ沸騰曲線を反転した形状になる。

図2にエタノール85%添加ガソリン(E85)を滴下させた場合の、壁面温度 T と寿命時間 t の関係を示す。また、図3に高温壁面上での液滴の蒸発状態を示す。

図2の点A~Bの低温領域(核沸騰領域領域)では、高温壁面に到達した液滴は、壁面上で図3(a)のように、凸レンズ状の液体膜を形成して広がる。その後、この形状のまま蒸発し小さくなり、やがて消滅する。この領域で、壁面温度を上昇すると寿命時間は次第に短くなる。このときの凸レンズ状の液体膜では、ある程度の厚みがあり、伝熱が表面からの熱伝導層と内部の飽和温度以下の対流部分で構成されると考えられる。B点よりさらに高温にすると、凸レンズ状の燃膜の厚さが薄くなり、対流部分を維持できなくなり寿命時間が短くなる。

さらに壁温を110℃以上に上昇させると、凸レンズ状の燃膜の中央部付近から激しく蒸気泡が発生し、寿命時間が急激に短くなる。

点Cは最大蒸発率点で、壁面に到達した液滴が図3(b)のように瞬間的に壁面上に広がりすぐに消滅する。これは沸騰の極大値に相当する温度の伝熱面上では、液滴の寿命時間はゼロに近い高速現象であることを示している。

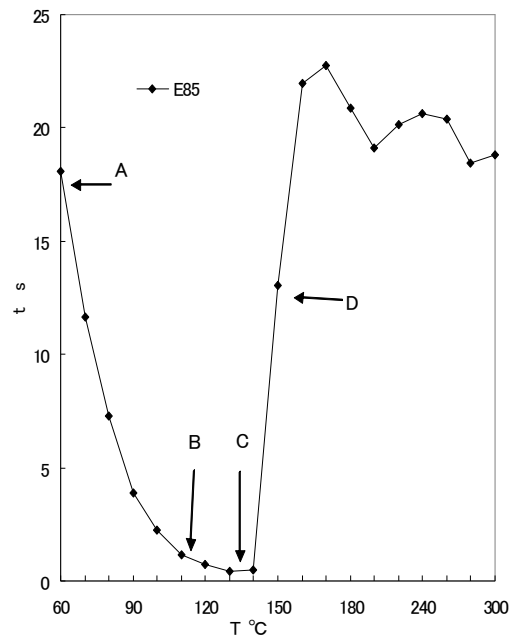


図2 E85の寿命時間

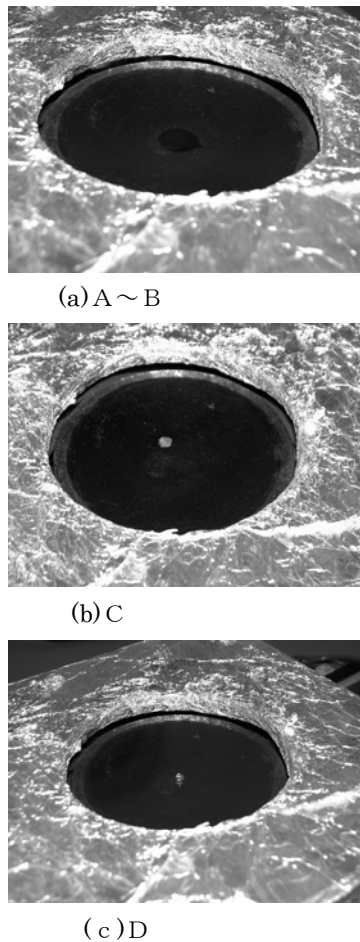


図3 高温壁面上における燃料液滴の状態 (A~Dは図2に対応)

T=150°Cの点Dは、ライデンフロスト点で図3(c)のように、壁面到達後の液滴が壁面上に単一球となって、壁面上に安定して浮かび上がり、そのまま蒸発を続けて、ある大きさまで小さくなると、壁面に落下してすぐに消滅する。このため壁面温度を最大蒸発率点(C点)からわずかに上昇すると、寿命時間が急に長くなる。壁面温度をライデンフロスト点以上に上昇させると、球状に浮かんでいる燃料液滴が小躍りしながら小さくなり、寿命時間は短くなる。

図4にエタノールとエタノール添加ガソリン(エタノール添加率3~85%),レギュラーガソリンの寿命時間を示す。また、図5に図4に示した寿命時間を対数軸で表わしたものを示す。

エタノールとレギュラーガソリンを比較すると、エタノールの最大蒸発率点の温度が低い。またエタノール添加燃料では、エタノールの添加率が大きな燃料ほど最大蒸発率点の温度が低くなる。

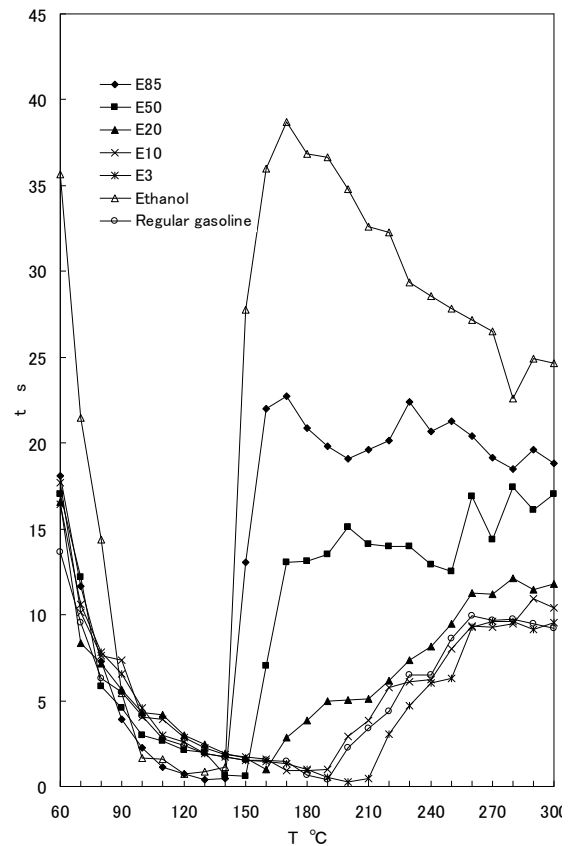


図4 エタノール、レギュラーガソリン及びエタノール添加ガソリンの寿命時間

また、エタノール添加率の小さい燃料やレギュラーガソリンは、また、添加率が小さいほどライデンフロスト現象がはっきりと現れにくくなり、寿命時間の変化がなだらかになる。これはレギュラーガソリンに含まれる界面活性剤などの各種添加剤の影響と考えられる。

また、添加率の小さい燃料は寿命時間がライデンフロスト点以上の高温域で短くなるため、目視による測定では若干の実験誤差があると考えられる。寿命時間が極端に短い場合には、目視以外にビデオカメラによる撮影も試みたが、撮影間隔が1/30秒と長いためあまり有効な測定ができなかった。

4. 結 言

エタノールとレギュラーガソリン、エタノール混合燃料の混合率85%, 50%, 20%, 10%, 3%(E85, E50, E20, E10, E3)の7種類の燃料を使用し、

壁面温度と寿命時間の関係について以下の結論を得た。

- (1) エタノールの混合比率が大きいほど最大蒸発率点及びライデンフロストポイントは低温となる。
- (2) 混合比が大きいと寿命時間は大きく変化する。
- (3) 混合比が小さいと最大蒸発率点、ライデンフロストポイントはっきりと現れず、わかりにくくなる。

本実験は、平成19年度・20年度の知能機械工学科熱エネルギーシステム研究室の学部学生の卒業研究の一部としておこなわれた。本研究に際して、元近畿大学工学部教授 広安博之先生（広島大学名誉教授）より多くのご助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) たとえば、廣安、わかる内燃機関、p.149、
- 2) 日新出版、(1973)。
- 2) 田村・棚沢、Seventh Symp. on Combustion p.507、(1959)。
- 3) 廣安・他2名、機論、39、pp.3779-3787、(1973)。
- 4) Adadevoh, J.K.,他2名、SAE Paper, No.701B、(1963)。
- 5) 西田・他2名、機論、59B、pp.2550-2554、(1993)。
- 6) 西田・他2名、機論、59B、pp.2555-2559、(1993)。
- 7) Meurer, J.S, SAE Trans.70,pp.712-716、(1962)。
- 8) 嶽間沢・他2名、近畿大学工学部研究報告,36、pp.179-184. (2002)。
- 9) 大聖泰弘、バイオエタノール最前線、工業調査会、(2004)

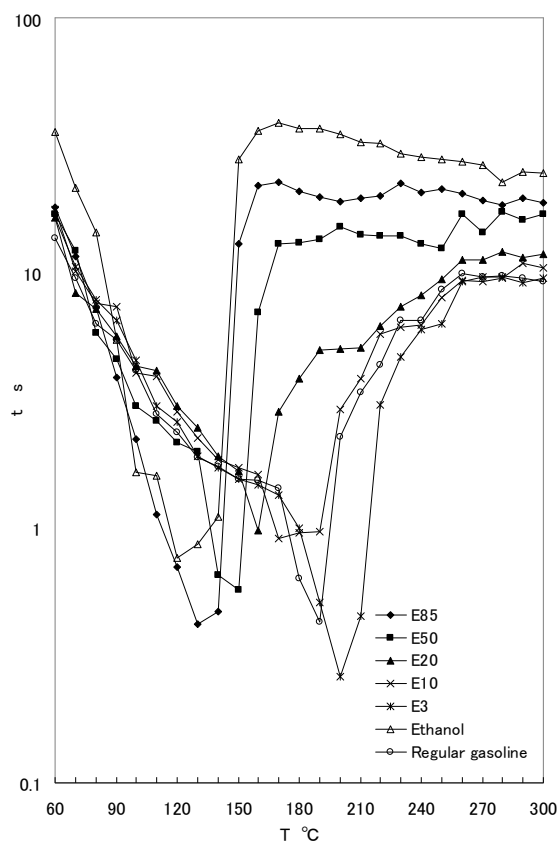


図5 エタノール、レギュラーガソリン及びエタノール添加ガソリンの寿命時間 (対数時間軸)