

高温壁面上における燃料の蒸発寿命時間と蒸発特性

嶽間沢秀孝*, 児島忠倫*

Evaporation Lifetime and Characteristics of Fuel Droplet on Hot Surface

Hidetaka GAKUMASAWA and Tadatomo KOJIMA

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 liquid normal-paraffin such as *n*-Hexane, Cyclohexane, Benzene were used as the test. The influence molecular structure of fuel affect evaporation lifetime was investigated in detail.

Key Words : Evaporation, Hot Wall, Liquid Fuel, Evaporation Lifetime, Aromatic Compound

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、潤滑膜の破断や未燃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⁾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、蒸発特性の解明は重要である。

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⁷⁾と、燃料の蒸発過程の観察を行ってきた。本研究では、測定精度の向上を図った詳細な観察を行い、炭素数6の *n*-ヘキサン、シクロヘキサン、ベンゼンを使用して、炭化水素燃料の環状構造が変化した場合について燃料の壁面蒸発現象を観察した。

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

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くなるまでの時間とした。

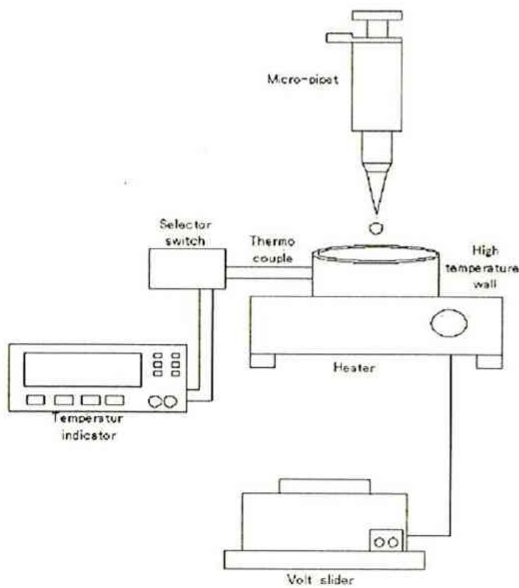


図1 実験装置の概略

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n-ヘキサン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80℃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。

T=150℃の点Dは、ライデンフロスト点で図3

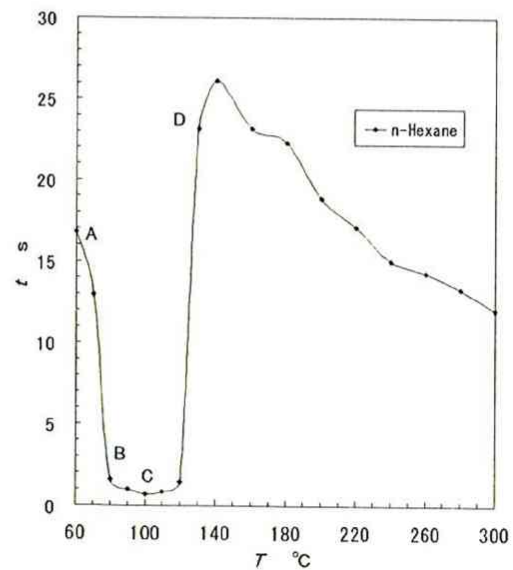


図2 n-ヘキサンの寿命時間

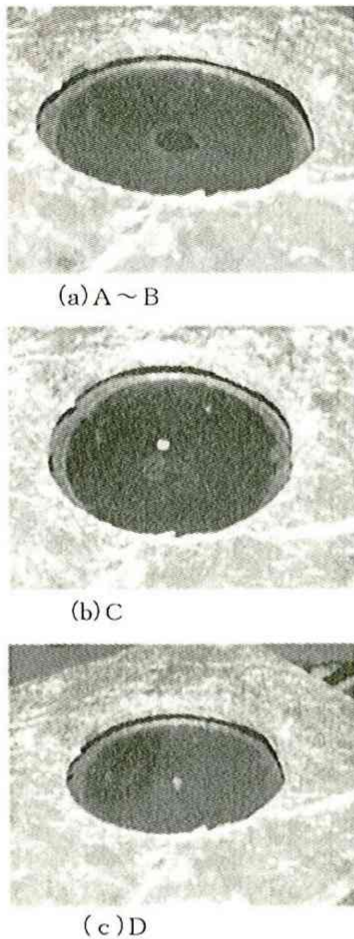


図3 高温壁面上における燃料液滴の状態 (A~Dは図2に対応)

(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。

3. 2 環状構造をもつ炭化水素燃料の寿命時間
 n-ヘキサン、シクロヘキサン、ベンゼンの寿命時間を図4に示す。表1にn-ヘキサン、シクロヘキサン、ベンゼンの沸点を示す。直鎖構造を持つ炭化水素の沸点は、炭素数が大きいほど高温となり、5のペンタン以上が常温・常圧で液体となる。炭素数6のn-ヘキサンの沸点は68.7℃程度で、高温環境下では気化しやすいため、燃料を供給装置に吸入して滴下するまでの間に蒸発が進行し、測

表1 使用燃料の沸点

	n-Hexane	Cyclohexane	Benzene
分子式	C ₆ H ₁₄	C ₆ H ₁₂	C ₆ H ₆
沸点 °C	68.7	80.9	80.1

定値に若干のばらつきが生じた。環状構造のシクロヘキサン、ベンゼンの沸点はn-ヘキサンの沸点より10℃以上高く、両者の沸点は近い値となるが、シクロヘキサンの沸点のほうがわずかに高温となっている。

図4にn-ヘキサン、シクロヘキサン、ベンゼンの寿命時間を示す。すべての燃料でライデンフロスト現象が現れ、寿命曲線はほぼ相似形となった。シクロヘキサン、ベンゼンの場合は、壁面から浮上する燃料球は、壁面中央に安定して浮上しながらゆっくり蒸発し、ある大きさまで小さくなると、急に落下しすぐに消滅する。

シクロヘキサンとベンゼンは炭素骨格が六角形の環状で、直鎖構造のn-ヘキサンより安定しており、最大蒸発率点、ライデンフロスト点ともに高温側に表れる。シクロヘキサンとベンゼンのライデンフロスト点の温度はほぼ一致しているが、ライデンフロスト点より高温の範囲での寿命時間

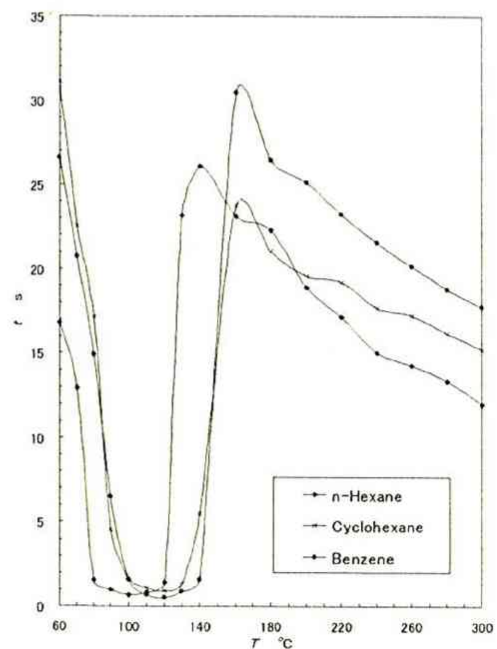


図4 環状構造の燃料の寿命時間

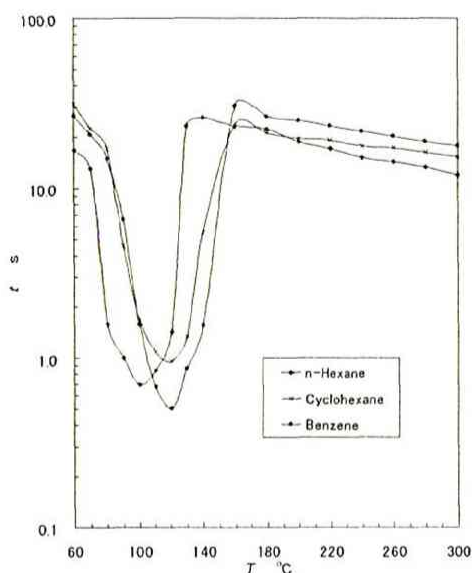


図5 環状構造の寿命時間(対数時間軸)

は、ベンゼンのほうが長くなっている。ベンゼンは6個の炭素原子が平面上に亀の甲(六角形)状に配置し、各炭素は sp^2 混成軌道をとっている。ケクレ構造式では交代する二重結合と単結合で表されているが、実際には非局在化しているため、 π 電子は特定の結合に寄与していない。したがってすべての結合は等価でありケクレ構造式のような区別はない⁵⁾。シクロヘキサンより沸点は低温だが、ベンゼンのほうが安定な構造となり、蒸発しにくいと考えられる。ベンゼンは自寿命時間が長いだけでなく、WHOの下部機関IARCより発癌性がある(Type1)と勧告されており、日本でも大気汚染に係る環境基準が定められているなど、自動車用燃料に適さないと考えられる。

図5にn-ヘキサン、シクロヘキサン、ベンゼンの寿命時間を対数表示にしたものを示す。シクロヘキサン、ベンゼンの最大蒸発率点はn-ヘキサンより15から20℃高温に現れる。これは両者の沸点がn-ヘキサンより10℃程度高温であることによる。また、このときの寿命時間は、シクロヘキ

サンのほうが長くなったが、ライデンフロスト点以上の高温域では短くなるため、実験誤差であると考えられる。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秒と長いため有効な測定ができなかった。

4. 結言

(1) 環状構造の燃料の壁面蒸発でも、直鎖飽和炭化水素燃料と同様なライデンフロストの寿命曲線はほぼ相似形のものとなり、ライデンフロスト点より高温の寿命時間は長くなる。

(2) 炭素数の同じ炭化水素燃料の中で、直鎖構造の飽和炭化水素燃料が最大蒸発率点、ライデンフロスト点とも最も低温となる。

(3) ベンゼンの寿命時間は、沸点が高いシクロヘキサンの寿命時間より長く、自動車用燃料には適さない。

参考文献

- 1) たとえば、廣安、わかる内燃機関, p.149, 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) 嶽間沢・他2名, 近畿大学工学部研究報告, 36, pp.179-184, (2002).
- 8) Monson, R.S., Shelton, J.C., 有機化学の基礎, p.102, 東京化学同人, (1976).