



研究論文

バイオマス燃料液滴の蒸発・燃焼と微小重力実験装置の開発

Experimental Study on Biomass Fuel Droplet Evaporation/Combustion and Development of Microgravity Experimental Apparatus.

鈴木 真人, (Masato SUZUKI)	野村 浩司, (Hiroshi NOMURA)	橋本 望, (Nozomu HASHIMOTO)	氏家 康成 (Yasushige UJIE)
日本大学 (Nihon Univ.)	日本大学 (Nihon Univ.)	電力中央研究所 (Central Research Inst.)	日本大学 (Nihon Univ.)

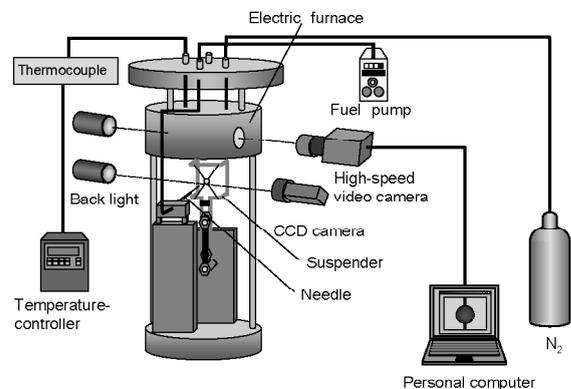
Fundamental data of single droplet evaporation and combustion of palm methyl ester (PME) were obtained for understanding PME spray combustion in internal combustion engines. *n*-hexadecane droplet combustion and evaporation experiments were also performed to obtain single-component fuel data. Suspenders of SiC fiber and alumina silica fiber were applied to droplet combustion experiments of *n*-hexadecane to evaluate thermal influence of suspender on droplet combustion. Ambient temperature and pressure were varied from 473 to 873 K and 0.10 to 4.0 MPa, respectively, for droplet evaporation experiments. It was found that thermal influence of an alumina/silica suspender on droplet combustion is much smaller than that of a SiC suspender. Droplet diameter history of a burning PME droplet is similar to that of single-component fuel of *n*-hexadecane. Droplet diameter history of an evaporating PME droplet is different to that of *n*-hexadecane at low temperature. In the latest stage of PME droplet evaporation, temporal evaporation constant decreases remarkably. Corrected evaporation lifetime of *n*-hexadecane at ambient temperature of 573 K, which is nearly boiling point at atmospheric pressure, increases monotonically with ambient pressure. On the other hand, at ambient temperatures above 773K, the evaporation lifetime decreases monotonically with ambient pressure. The corrected evaporation lifetime is almost independent of ambient pressure at 673K. Corrected evaporation lifetime of PME decreases with ambient pressure in the range of 0.10 - 1.0 MPa, at ambient temperatures above 673 K. At ambient pressure above 1.0 MPa, the evaporation lifetime increases with ambient pressure at ambient temperatures of 673 and 773 K, and decreases at 873 K.

Keywords: Droplet, Evaporation, Combustion, High-Pressure, Palm Methyl Ester

1. 緒言

現在、地球温暖化が深刻な問題となり、CO₂ 排出量を削減する試みが各方面で行われている。バイオマス燃料を利用する試みもそのひとつである。バイオマス燃料は主に植物から精製され、燃料として用いた場合に発生するCO₂ は燃料に用いた植物自身の光合成により回収されるので、地球規模のCO₂ バランスに対する影響は少ない。

本研究では、バイオマス燃料液滴の蒸発および燃焼過程を調べ、基礎データを収集する。使用するバイオマス燃料は、植物油の一種であるパーム油を原料としたパームメチルエステル (PME) である。PME は軽油の代替燃料として有望視されており、その噴霧燃焼特性を明らかにすることは、既存機関への PME の適応および新たな機関の開発を検討するために必要である。PME は燃焼排気ガス中



の NO_x 成分や PM 排出量も既存化石燃料と比較して少ないとの報告^(1,2)もある。PME の流動点は 14 °C であり冬

原稿受付：2008年4月28日

季の使用に課題があるとされているが、軽油やジメチルエーテルなどと混合することで流動点を下げる試みが行われている^(3,4)。PMEを含めて、バイオマス燃料の噴霧燃焼実験はすでに行われているが^(5,6)、実験結果を解析するための基礎データは不足している。

本報では、大気圧下におけるPMEの燃焼実験および高温・高圧力環境下での蒸発実験の結果について報告する。

PMEは多成分燃料なので、平均炭素数が近い一成分炭化水素燃料としての正ヘキサデカンの実験結果と比較して結果の考察を行う。観察が容易な直径1mm程度の燃料液滴を用いて通常重力環境において蒸発・燃焼実験を行うと、現象が自然対流の影響を強く受ける⁽⁷⁾。粒径が数十 μm と小さく自然対流の影響をほとんど受けない実機の液滴の蒸発・燃焼現象を直径1mm程度の液滴で観察するためには、微小重力環境を利用する必要がある。本報では、新たに開発した高温高圧環境で液滴の蒸発・燃焼実験が可能な微小重力実験装置についてもあわせて報告する。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

大気圧における燃焼実験および高温・高圧環境における蒸発実験に使用した実験装置の概略を図1および図2に示す。実験装置は、高温容器、懸垂線支持部、液滴移動装置、液滴生成装置から構成される高圧容器内部装置、高圧容器内部装置を格納する高圧容器、温度制御装置、および液滴観察装置から構成される。高圧容器は5MPaまでの昇圧が可能である。蒸発実験の際は、高圧ポンプからレギュレータを介して窒素を充填し、点火および燃焼実験の際は空気を充填する。高圧容器上フランジから吊り下げる形で前述の高圧容器内部装置を高圧容器内に設置できる構造になっている。懸垂線支持部には2本の懸垂線を交差させ、交点に液滴を付着させた。懸垂線として、直径が14 μm のSiCファイバ(Hi-Nicalon, (株)日本カーボン製)、および直径が7 μm のアルミナ・シリカファイバ(ニチビアルフ, (株)ニチビ製)の2種を用いて実験を行った。高温容器は内容器と外容器の二重構造になっており、両容器の間には断熱材が挿入されている。内容器外周に巻かれた電気シーブヒータを用いて昇温および保温を行った。温度制御は、シーケンサの温度制御ユニット、アナログ出力制御器、およびK種熱電対を組み合わせた温度制御装置で行った。K種熱電対の温接点は、実験部である内容器内の液滴設置位置から9mm水平に離れた位置に設置した。高温容器には、液滴の観察用にガラス窓が1対設けられている。

現象観察にはBacklit法を用い、高速度ビデオカメラ(フレームスピード: 100, 250 fps, 露光時間: オープン, 1/1000 s)で記録した。液滴生成部の監視にはCCDカメラを用い、懸垂線への液滴の付着および初期液滴直径の確認を行った。液滴生成装置は、燃料ポンプ、ガラス針およびガラス針移動用パルスモータから構成される。ガラス針を前進させて懸垂線の交点に液滴を生成し、後退させて交点に液滴を懸垂させた。燃料ポンプの吐出時間を制御することにより、液滴の直径を0.5~0.6mmの範囲にした。懸垂線が張られた懸垂線支持フレームは、スライダ・クランク機構を採用した液滴移動装置の可動部に取り付けられて

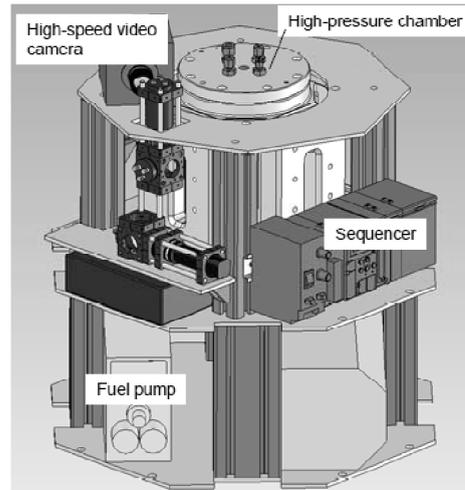


Fig.2 Experimental apparatus for microgravity experiments.

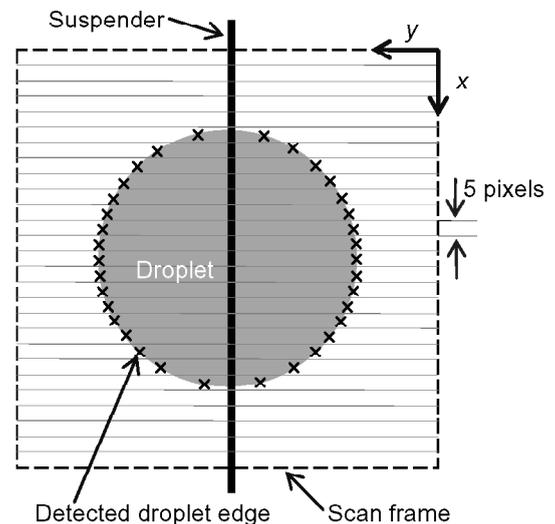


Fig.3 Image processing method.

Table 1 Compositions of Palm methyl ester⁽⁸⁾.

	Fatty acid methyl ester compositions [wt%]	Boiling point at 0.5 kPa [K]
Palmitic acid methyl ester	44.1	436.7
Oleic acid methyl ester	43.3	453.6
Linoleic acid methyl ester	9.2	465.2
Other	3.4	

おり、懸垂された液滴を液滴生成部上部に設置された高温容器内に移動させることができる。液滴の移動に要した時間は、240 ms であった。

装置は直径 500 mm、高さ 800 mm の円筒に収まるよう設計されている。微小重力実験の際は、本装置を落下施設のカプセルに格納し、落下させる。今後は微小重力環境における高温高压液滴蒸発・燃焼実験を行う。

2.2 実験方法

燃焼実験は、図 1 の装置から高温容器を取り外した状態で行い、撮影開始と同時にブタン炎を用いて燃料液滴に点火した。蒸発実験は、高温容器内に窒素を充填してから容器内温度を実験温度に保ち、室温である液滴生成部で生成した液滴を高温容器内に挿入して行う。燃焼および蒸発現象を撮影した画像をデジタルデータに変換し、画像解析を行った。図 3 にその方法を示す。5 ピクセルラインごとに画像を横に分割し、各分割領域の輝度を x 軸方向に平均してその分割領域の y 軸方向輝度分布を得た。得られた輝度分布から、分割領域の雰囲気部平均輝度と液滴部平均輝度を 1 対 2 に内分する輝度を示す最もお互いに離れたピクセルの組みの位置を求め、これを液滴の輪郭位置とした。各分割領域において液滴の輪郭を求めた後、それらを最小 2 乗法により y 軸と平行な軸をもつ楕円に近似し、その軸回りに回転させた回転楕円体の体積を求めた。得られた体積と等しい体積の球の直径を液滴直径 d と定義した。本実験の液滴直径範囲では、液滴はほぼ球形であった。供試燃料には PME および正ヘキサデカンを使用した。木ドラ[®]が報告している PME の成分割合と各成分の 0.5 kPa における沸点を表 1 に示す。正ヘキサデカンの燃焼実験では、SiC ファイバおよびアルミナ・シリカファイバの 2 種の懸垂線で実験を行い、懸垂線が液滴燃焼速度定数に及ぼす影響について調査した。蒸発実験では、アルミナ・シリカファイバのみを用いて実験を行った。

2.3 実験パラメータと測定項目

本実験の実験パラメータは、初期液滴直径 d_0 、雰囲気温度 T 、雰囲気圧力 P 、および燃料種である。初期液滴直径は 0.5 ~ 0.6 mm で一定とし、雰囲気温度を 473 から 873 K、雰囲気圧力を 0.10 から 4.0 MPa の範囲で変化させた。懸垂線の熱的影響を調べる燃焼実験においては、初期液滴直径を 0.3 から 1.0 mm の範囲で変化させた。また、測定項目は液滴直径 d 、蒸発係数 k_e 、燃焼速度定数 k_b 、および液滴寿命 τ_e を選んだ。本実験では、 k_e および k_b は、液滴直径の 2 乗が初期液滴直径 d_0 の 2 乗の 50% から 15% に減少する間の平均 d^2 減少率と定義した。液滴寿命 τ_e は液滴が高温容器内の実験位置に到達した時刻から液滴が消滅する時刻までの時間とした。

3. 実験結果および考察

3.1 燃焼実験

雰囲気温度が室温、雰囲気圧力が大気圧の条件で行った燃焼実験の結果を、図 4 に示す。(a) は供試燃料が正ヘキサデカン、(b) は PME である。点火した時刻を $t=0$ とし、写真は燃焼過程の液滴の様子を示している。両燃料と

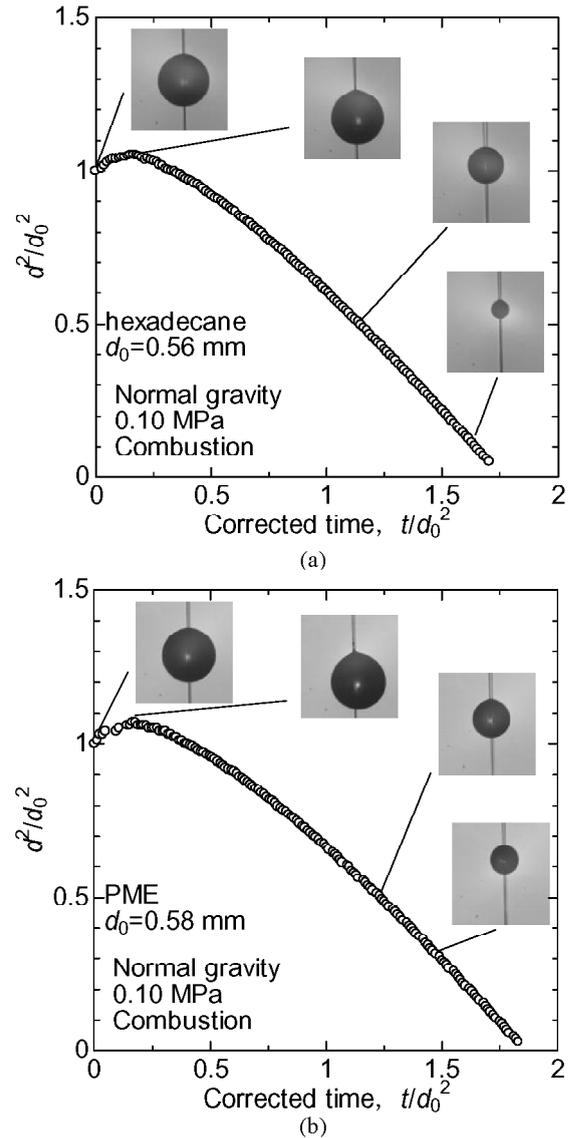


Fig.4 Histories of squared nondimensional droplet diameter during burning.

も、液滴直径の 2 乗は、初期加熱期間を経た後、緩やかに傾きが増し、液滴寿命の後半でほぼ直線的に減少していることがわかる。PME は多成分燃料であるが、液滴直径の 2 乗の傾きが不連続に変化するような現象は観察されなかった。これは、PME を構成する成分の蒸発特性が、供試燃料の場合ほぼ同じであるからと考えられる。また、PME と正ヘキサデカンを比較すると、ほぼ燃焼寿命が等しいことがわかる。

図 5 に燃焼速度定数 k_b と初期液滴直径 d_0 の関係を示す。SiC 懸垂線を使用した場合およびアルミナ・シリカ懸垂線を使用した場合の比較を行った。懸垂線に SiC ファイバを用いた場合の方が、アルミナ・シリカファイバを用いた場合より、燃焼速度定数の値が大きくなることがわかる。また、初期液滴直径が小さい範囲で、その差が顕著に表れている。図には示していないが、PME でも同じ傾向が確認された。これは、SiC ファイバとアルミナ・シリカファイバの断面積および熱伝導率の違いが原因であると考

えられる。初期直径の大きな範囲においては、どちらの懸垂線の場合も、初期液滴直径の増大に伴って燃焼速度定数が緩やかに増大している。これは、液滴周囲に発生する自然対流の影響であると考えられる。自然対流により、酸化剤である空気と燃料蒸気の混合が促進され、燃焼反応が活発になったこと、および液滴下部において火炎と液滴の距離が近くなることにより、火炎から液滴への供給熱量が増大し、蒸発が促進されたと考えられる。

液滴蒸発実験における懸垂線の熱的影響を調べた以前の研究で使用した単純なモデル⁹⁾を用いて懸垂線の影響を考察してみる。対流を無視し、熱伝導のみで火炎からの熱が液滴に伝わるとすると、懸垂線がない場合、火炎から単位に間当たりに液滴に流入する熱量 \dot{Q} は

$$\dot{Q} = 4\pi r_w^2 \lambda_g \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=r_w} = 4\pi r_w r_f \lambda_g \frac{T_f - T_w}{r_f - r_w} \quad (1)$$

と表される。ここで、 r は半径、 λ_g は空気の熱伝導率であり、添え字の f と w はそれぞれ火炎と液滴表面を示している。懸垂線を介しての単位に間当たり流入熱量 \dot{Q}_s は、単純化して次式で表されるとする。

$$\dot{Q}_s = S \lambda_s \frac{T_f - T_w}{r_f - r_w} \quad (2)$$

ただし、 S は懸垂線の総断面積、 λ_s は懸垂線の熱伝導率である。以上より、懸垂線の直径を d_s 、本数を n 、火炎直径を d_f 、懸垂線がない場合の燃焼速度定数を k_{b0} とすると、燃焼速度定数は

$$k_b = k_{b0} \left\{ 1 + \frac{nd_s^2}{4d_f^2} \left(\frac{d \lambda_s}{d_f \lambda_g} - 1 \right) \right\} \quad (3)$$

と表される。ここでは、 d_f/d を定数 c とし、 d_s/d を d_s/d_0 で代表させる。 λ_g には0.1 MPa、300 Kの空気の熱伝導率を用いた。

$$k_b = k_{b0} \left\{ 1 + \frac{nd_s^2}{4d_0^2} \left(\frac{\lambda_s}{c \lambda_g} - 1 \right) \right\} \quad (4)$$

SiCファイバの熱伝導率には7.77 W/mK (298 Kにおいて、日本カーボン技術資料より)を使用し、式(4)で実験データを最小2乗近似することによって、未知数である k_{b0} 、 c およびアルミナ・シリカファイバの熱伝導率を求めた。自然対流の影響が少なく、懸垂線の熱的影響が顕著に現れている、SiCファイバの場合は $d_0 < 0.5$ mm、アルミナ・シリカファイバの場合は $d_0 < 0.45$ mmの初期直径範囲のデータを使用した。その結果、アルミナ・シリカファイバの熱伝導率はSiCファイバの約1/3と見積もられ、断面積がSiCファイバの1/4であることを加味すると、燃焼期間中に火炎から懸垂線を介して液滴に伝わる熱量は、SiCファイバに比較して約1/12になると見積もられる^{9),10)}。また、 k_{b0} は0.80 mm²/sと見積もられ、初期直径が0.5 mm付近のアルミナ・シリカファイバを用いて計測された燃焼速度定数の平均値と等しいことがわかった。以上より、液滴蒸発・燃焼実験に用いる懸垂線として、アルミナ・シリカファイバはSiCファイバよりも適していることが確認された。

アルミナ・シリカ懸垂線を用いて計測した初期液滴直径

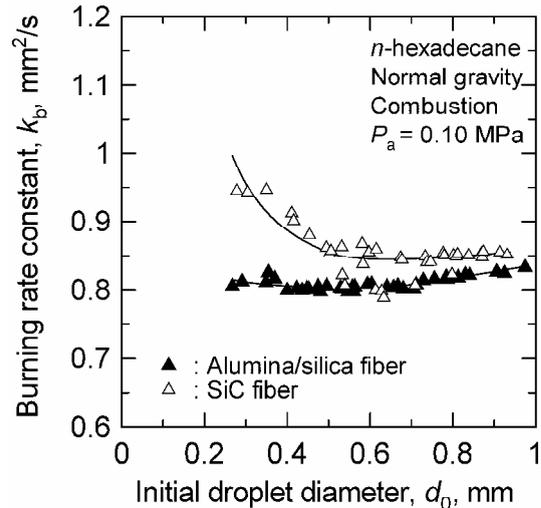


Fig.5 Relation between burning rate constant and initial droplet diameter.

0.5 mmにおける燃焼速度定数は、正ヘキサデカンが0.80 mm²/s、PMEが0.79 mm²/sであった。

3.2 蒸発実験

蒸発実験では、アルミナ・シリカファイバ懸垂線のみを用いて実験を行った。

3.2.1 大気圧における蒸発実験 大気圧環境下で雰囲気温度を473～773 Kで変化させた場合の、液滴直径の2乗の履歴を図6に示す。縦軸および横軸は、初期液滴直径の2乗で除して、正規化されている。全ての雰囲気温度条件で、正ヘキサデカンよりPMEの方が蒸発にかかる時間は長くなった。PMEと正ヘキサデカンとの蒸発時間の差は、雰囲気温度が高くなるに伴って小さくなった。正ヘキサデカンの場合、初期加熱蒸発期間以後、直線的に液滴直径の2乗が減少していることがわかる。一方、PMEは蒸発最後期に、蒸発が緩やかになる傾向があった。これは正ヘキサデカンが単一成分の燃料であるのに対し、PMEの燃料組成が多成分であることに起因すると考えられる。蒸発後期には揮発性の低い成分だけが残り、蒸発が遅くなったと考えられる。雰囲気温度の上昇に伴い、PMEの蒸発最後期に見られた蒸発が緩やかになる現象は、目立たなくなった。これは、PME中の揮発性が低い成分の沸点に対し、雰囲気温度が十分に高くなったためと考えられる。

図7に、JIS石油製品蒸留試験法(K2254)に則ったPMEの常圧蒸留試験の結果を示す。初留点は592 Kであり、終点は620 Kであった。このことから、PMEに含まれる全ての成分は、大気圧において620 Kまでにほぼ沸点に達していると考えられる。また、蒸留容量が0～90%の範囲において蒸留温度は緩やかに直線的に上昇しているが、90%～100%の範囲では急激に増大している。これは、PMEに含まれる成分のうち約10%の成分が他の成分よりも沸点が高いためであると考えられる。その成分は、表1からリノール酸メチルエステルであると推察される。図6(c)および(d)はPMEと正ヘキサデカンとの d^2 曲線の形に大きな差はみられなかった。これは(c)および

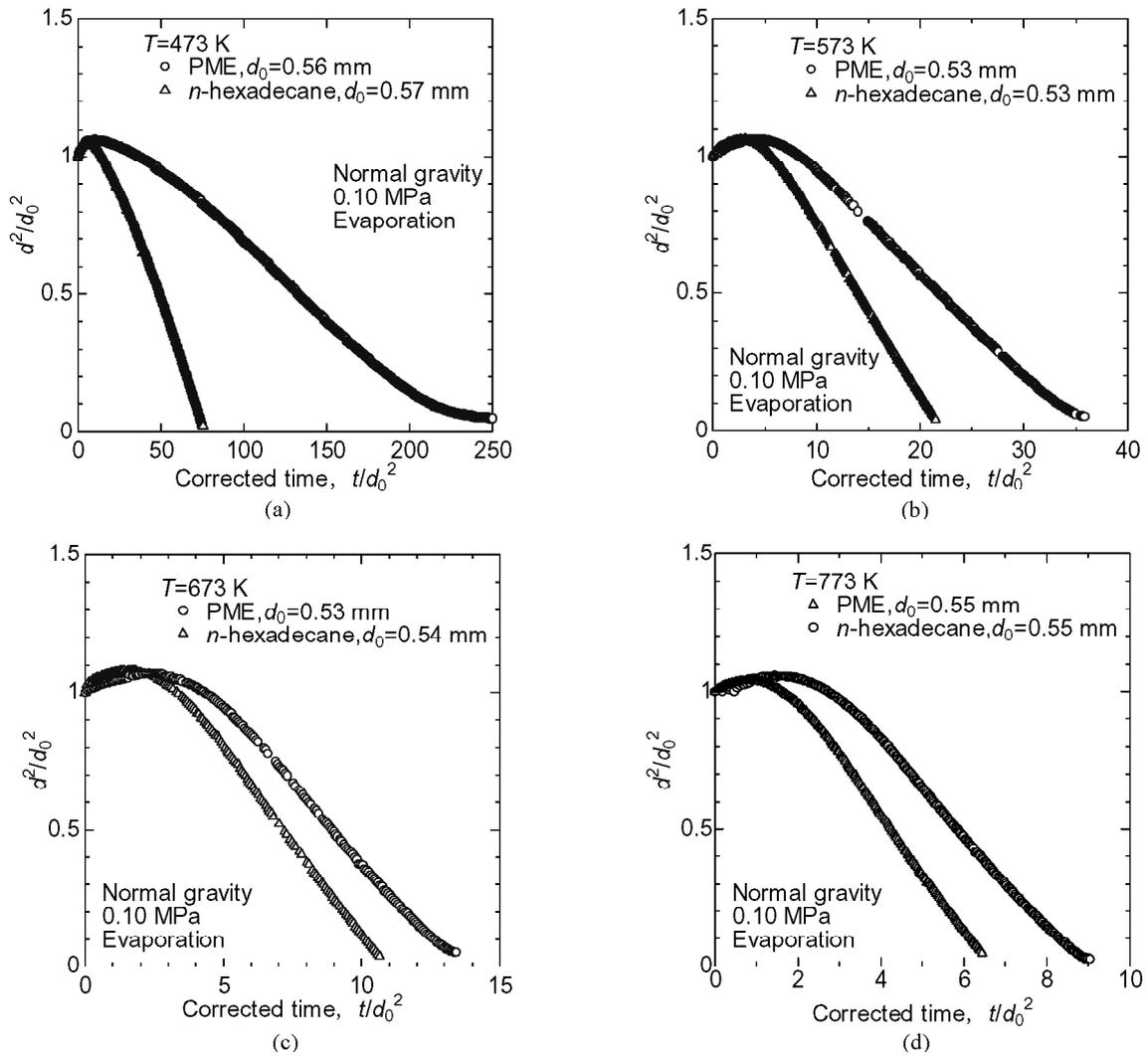


Fig.6 Histories of nondimensional droplet diameter during evaporation.

(d) の温度条件が 620 K 以上であり、PME に含まれる全ての成分が沸点に達していたためであると考えられる。

正ヘキサデカンと PME について、雰囲気温度と蒸発係数の関係を図 8 に示す。雰囲気温度の上昇に伴い、蒸発係数は単調に増大した。また、573 K 以上の雰囲気温度では、両燃料とも直線的に蒸発係数が増大した。PME と正ヘキサデカンの蒸発係数の差は 473 K が一番小さく、673 K 以降はほぼ平行に推移している。ここで注意が必要な点は、本報における蒸発係数は液滴直径の 2 乗が初期液滴直径 d_0 の 2 乗の 50% から 15% に減少する間の平均 d^2 減少率と定義されているので、蒸発最後期に蒸発が緩やかになっている期間が除外されている点である。多成分燃料の蒸発実験においては、蒸発の速さの指標に蒸発係数ではなく、初期液滴直径の 2 乗で正規化された液滴寿命（以下、修正液滴寿命）を用いることが望ましいと考える。

3.2.2 高圧環境における蒸発実験 雰囲気圧力を 0.10 ~ 4.0 MPa の範囲で変化させ、蒸発実験を行った。高温・高圧雰囲気では d^2 法則が成り立たなくなる⁽¹¹⁾ ことや、前述の多成分燃料特有の問題もあり、蒸発係数の定義が困難である。さらに、雰囲気温度・圧力が高くなると、雰囲気に密度の揺らぎが生じるために液滴画像が不鮮明になり、

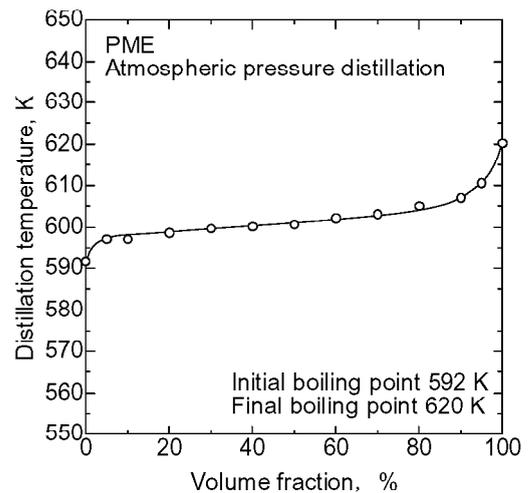


Fig.7 Result of isobaric distillation test.

燃料が超臨界状態に近くなると、液滴と蒸気の境が明確でなくなるため、液滴直径を測定することが難しい。そこで、本実験では修正液滴寿命を液滴蒸発の速さの指標として用いた。図 9 に正ヘキサデカンの蒸発実験の結果を、霧

周囲温度を副変数とし、修正液滴寿命と周囲気圧力の関係で示した。周囲気圧力が673 Kの条件を境に、周囲気圧力が低いと周囲気圧力の増大に伴って修正液滴寿命が増大し、周囲気圧力が高いと逆に減少した。すなわち、周囲気圧力673 K付近を境に修正液滴寿命の圧力依存性が正から負へと変わる。この673 Kという値は、初期液滴直径0.6～0.7 mmの液滴を150 μmの石英線端に懸垂して実験を行った以前の結果⁽¹⁰⁾より10%程度高い値であった。これは、懸垂線の熱的影響が以前の実験装置より小さいためだと考えられる。

液滴蒸発で、準定常仮定が成り立ち、液滴内部の温度を一樣と仮定すると、蒸発係数は次式⁽¹²⁾で表される。

$$k = \frac{8\lambda_g}{\rho_l c_{pg}} \ln \left(\frac{c_{pg}(T_a - T_w)}{L} - 1 \right) \quad (5)$$

T_a は周囲気温度、 T_w は液滴温度、 L は蒸発潜熱、 λ_g は気相の熱伝導率、 ρ_l は燃料の密度、 c_{pg} は気相の比熱である。周囲気温度が燃料の沸点より低い場合は、周囲気圧力の増大に伴って液滴温度が周囲気温度に近づき、式(1)における液滴温度と周囲気温度の差($T_a - T_w$)が小さくなるので蒸発が遅くなる。標準大気圧における正ヘキサデカンの沸点は560 Kであり、周囲気温度が573 Kの条件では、周囲気圧力0.14 MPa以上では周囲気温度が沸点より低くなる⁽¹³⁾、そのため、修正液滴寿命が単調に増大したと考えられる。周囲気温度が燃料の沸点より高い場合には、周囲気圧力の増大に伴う沸点の上昇に追従して液滴温度も上昇し、蒸発潜熱が減少する。液滴温度と周囲気温度の差は減少するが、沸点と周囲気温度の差以上には保たれる。式(5)における、周囲気と液滴温度の差の減少と蒸発潜熱の減少が周囲気温度673 K付近で平衡し、それ以上の周囲気温度では修正液滴寿命の周囲気圧力依存性が逆転したと考えられる。

図10に、PMEの修正液滴寿命と周囲気圧力の関係を示す。全ての周囲気温度において、周囲気圧力が0.10から1.0 MPaの範囲では、周囲気圧力の増大に伴って修正液滴寿命は減少した。この範囲の周囲気圧力では、全ての周囲気温度条件において、蒸発潜熱の減少による蒸発係数増加への寄与が支配的であると考えられる。それ以上の周囲気圧力では、周囲気温度によって傾きが正と負に分かれた。周囲気温度が673および773 Kの場合、周囲気圧力が1.0 MPa以上で修正液滴寿命は増大した。これは、周囲気圧力の上昇によって、PMEの一部の成分の沸点が周囲気温度よりも高くなり、液滴温度と周囲気温度の差($T_a - T_w$)の減少による蒸発速度の減少が支配的になったためであると考えられる。周囲気温度が873 Kの場合は、正ヘキサデカンと同じように、修正液滴寿命は単調に減少した。これは、蒸発潜熱の減少が支配的に作用したためと考えられる。

4. 結言

バイオマス燃料であるPMEの大気圧周囲気における燃焼実験、および高温・大気周囲気における蒸発実験を行った。多成分燃料であるPMEの実験結果を単一成分燃料である正ヘキサデカンの実験結果と比較した。実験には、ア

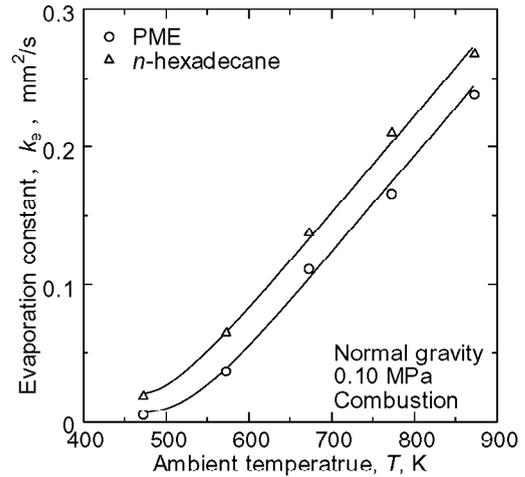


Fig.8 Relation between evaporation constant and ambient pressure.

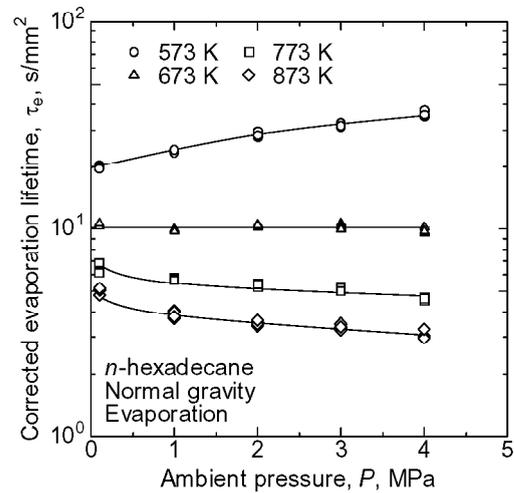


Fig.9 Corrected evaporation lifetime of n-hexadecane as a function of ambient pressure.

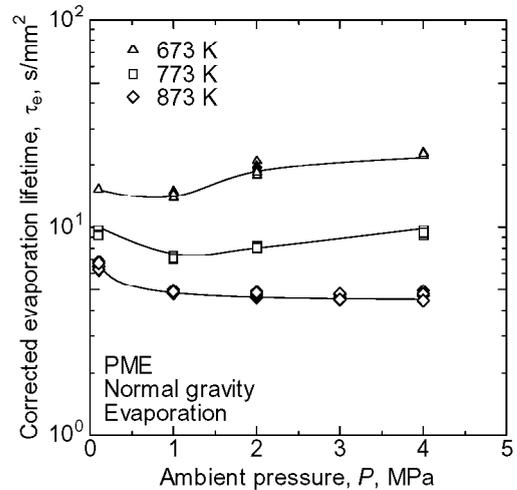


Fig.10 Corrected evaporation lifetime of PME as a function of ambient pressure.

ルミナ・シリカファイバを懸垂線として使用した。以下に得られた知見を列挙する。

- 1) 本実験で使用したアルミナ・シリカ懸垂線は、懸垂液滴の蒸発・燃焼に及ぼす熱的影響が小さく、液滴の蒸発・燃焼に関する実験データを取得するのに適していると考えられる。
- 2) 燃焼実験で得られたPMEの液滴直径の2乗の履歴は、定性的に正ヘキサデカンのそれと同じであり、燃焼寿命もほぼ同じであった。
- 3) 蒸発実験で得られたPMEの液滴直径の2乗の履歴は、正ヘキサデカンのそれと異なり、正ヘキサデカンが初期加熱蒸発期間以後、直線的に液滴直径の2乗が減少するのに対し、PMEは蒸発最後期に、履歴の傾きが緩やかになる傾向があった。
- 4) 正ヘキサデカンの修正液滴寿命は、標準大気圧における沸点に近い573 Kの雰囲気温度では雰囲気圧力の増大に伴って単調に増大し、673 Kを超える雰囲気温度では単調に減少した。雰囲気温度673 Kの条件では、修正液滴寿命の雰囲気圧力依存性が観られなかった。
- 5) PMEの修正液滴寿命は、673 K以上の雰囲気温度において、雰囲気圧力が0.10から1.0 MPaの範囲では、雰囲気圧力の増大に伴って減少した。雰囲気圧力が1.0 MPa以上では、雰囲気温度が673および773 Kの場合、修正液滴寿命は増大し、雰囲気温度が873 Kの場合は減少した。

文 献

- 1) 木下英二, Choesnul, JAQIN., 浜崎和則: パーム油メチルエステルによる渦流室式ディーゼル機関の燃焼特性, 日本機械学会論文集, 69 683(2003), 152 158
- 2) 浜崎和則, 木下英二, 松尾佳朋, Wira JAZAIR.: ディーゼル燃料としてのパーム油の利用, 日本機械学会論文集, 68-667(2002), 958-963.
- 3) 木下英二, 下之門智史, 浜崎和則, 塚田真琴: パーム油メチルエステル・軽油混合燃料のディーゼル燃焼, 日本機械学会論文集, 73-729(2004), 96-101.
- 4) 中里俊洋, 岡本毅, 金野満: パームメチルエステル/DME 複合燃料ディーゼル機関における性状及び燃焼に関する研究, 自動車技術会論文集, 36-5(2005), 69-74.
- 5) 橋本望, 小沢靖, 森則之, 百合功, 久松暢: パームメチルエステルの基礎燃焼特性に関する研究, 燃焼シンポジウム講演論文集, (2006), 298-299.
- 6) 山根浩二, 上田淳史, 嶋本讓: 直接噴射式バイオディーゼル機関の燃焼および排気特性に及ぼす植物油種類と高圧噴射の影響, 自動車技術会論文集, 32-2(2001), 25-30.
- 7) 熊谷清一郎: 燃焼, 岩波書店(1976), 148-212.
- 8) 木下英二, 浜崎和則, 中禮佳樹, Choesnul, JAQIN.: バイオディーゼル燃焼に及ぼす脂肪酸メチルエステル組成の影響, 日本機械学会論文集, 70-690(2004), 244-248.
- 9) H. Nomura, H. Hirai, Y. Ujiie: Effects of Suspender Diameter and Natural Convection on Measured Evaporation Constant of a Fuel Droplet, 9th International Conference on Liquid Atomization and Spray System, 2003, #13-10.
- 10) 三上真人, 大八木大史, 小嶋直哉, 菊池政雄, 若嶋勇一郎, 依田真一: 新しい液滴生成技術を用いた微小重力場における液滴列燃焼実験, 日本燃焼学会誌, 45-134(2003), 238-247.

- 11) 野村浩司, 氏家康成: 高圧力雰囲気中における燃料液滴の蒸発挙動, 日本機械学会論文集, 61-85(1995), 246-252.
- 12) 甲藤好郎: 伝熱概論, 養賢堂(1989), 234.
- 13) Robert, C. Reid, John, M. Prausnitz, Bruce, E. Poling: The Properties of Gases & Liquids, 4th, McGraw-Hill (1988), 657.



鈴木 真人
日本大学生産工学研究科
〒275-8575千葉県習志野市泉町
1-2-1
Tel. 047-474-2356
Fax. 047-474-2349
e-mail: c71230@cit.nihon-u.ac.jp

略歴: 2007年 日本大学大学院生産工学研究科博士前期課程入学。微小重力・高圧力環境におけるバイオマス燃料の蒸発・点火・燃焼に関する研究に従事。



野村 浩司
日本大学生産工学部 教授
〒275-8575千葉県習志野市泉町
1-2-1
Tel. 047-474-2356
Fax. 047-474-2349
e-mail: nomura@cit.nihon-u.ac.jp

略歴: 1992年 東京大学大学院工学系研究科航空学専攻博士課程修了。同年日本大学生産工学部勤務。液滴燃焼, 噴霧燃焼, および火花点火機関の点火・燃焼機構に関する基礎研究に従事。



橋本 望
(財)電力中央研究所 エネルギー
技術研究所 主任研究員
〒240-0196神奈川県横須賀市長坂
2-6-1
Tel. 046-856-2121
Fax. 046-856-3346

略歴: 2004年北海道大学大学院工学研究科博士課程修了, 同年(財)電力中央研究所に入所。これまでに、微粉炭を用いたボイラの燃焼に関する研究および液体燃料を用いたガスタービンの燃焼に関する研究に従事。



氏家 康成
日本大学生産工学部 教授
〒275-8575千葉県習志野市泉町 1-2-1
Tel. 047-474-2323
Fax. 047-474-2349
e-mail: ujiie@cit.nihon-u.ac.jp

略歴: 1973年 日本大学大学院生産工学研究科修士課程修了。同年日本大学生産工学部勤務。ペーンポンプ, 火花点火機関および圧縮点火機関の点火・燃焼機構に関する基礎研究に従事。