1-63

高温・高圧雰囲気におけるバイオマス燃料液滴の蒸発挙動

日大生産工(院) 〇松本 隆宏 日大生産 野村 浩司 電中研 橋本 望

1. まえがき

化石燃料の大量消費に伴う地球温暖化や化石燃料の 枯渇といった問題は深刻な状態である.これらの問題 解決策の一つとして挙げられるのが,植物由来のバイ オマス燃料の利用である.バイオマス燃料はカーボン ニュートラルの性質を有している点や再生可能資源で あることから,化石代替燃料として期待されている. 既に各方面で,バイオマス燃料を噴霧燃焼機関に利用 する試みが積極的に行われている¹⁾.しかしながら, バイオマス燃料の噴霧燃焼を解析するための基礎的な データが依然として,不足しているのが現状である.

バイオマス燃料の一種である、ジャトロファ油を軽 油代替燃料として噴霧燃焼機関に適用することを目的 とし,ジャトロファ油,同じくバイオマス燃料の一種 であるパームメチルエステル(PME)および従来燃料で ある軽油(2号)について,幅広い温度および圧力範囲で 単一懸垂液滴を用いた蒸発実験を行った.本報ではジ ャトロファ油の液滴寿命および蒸発速度係数の温度・ 圧力依存性について、PME および軽油と比較して報告 する. 低温雰囲気において、ジャトロファ油液滴は蒸 発中に蒸発の極度に遅い物質を生じることが過去に観 察されている²⁾. この生成物を液滴懸垂線から除去す る方法として、ブタン炎を用いて燃焼させることが有 効である.これまで使用してきた Al₂O₃-SiO₂ ファイバ (繊維直径 7 µm)はこの除去作業中に焼損してしまう ため, 耐熱性に優れた SiC-O-Ti ファイバ(繊維直径 8.5 µm)を新たに採用し、予備実験として両者が液滴の蒸 発に及ぼす熱的影響について比較した.

2. 実験装置および方法

実験装置は、高温容器、液滴生成装置、および液滴 移動装置から構成される内部モジュールと,高圧容器, 燃料ポンプ,配管,制御装置,液滴観察装置から成る ²⁾. 内部モジュールを高圧容器(耐圧 5 MPa)に格納する ことで高圧実験を可能にする. 懸垂線支持枠に直径約 7 µm の Al₂O₃-SiO₂ファイバ(ニチビアルフ,(株)ニチビ 製)をX字型に交差させて張り、その交点に燃料ポンプ およびガラス針(先端外直径:約40 µm)によって生成さ れた燃料液滴を付着, 懸垂させた. 高圧雰囲気でのジ ャトロファ油の蒸発実験では、シリコン、チタン、炭素 および酸素からなる SiC-O-Ti ファイバ (チラノ繊維, (株)宇部興産社製)を用いた. 繊維直径は 8.5 µm である. 燃料液滴は高温容器の下部に配置されたスライダ・クラ ンク機構の液滴移動装置によって、約180 ms(高温部通 過時間 約110 ms)で実験部である高温容器内へ移動す る. 高温容器温度は K 種熱電対で計測し、シーケンサ で電気シースヒータの出力制御をアナログ出力調整器 で行うことで、高温容器内温度を制御した.燃料液滴 の自発点火を防ぐため,蒸発実験の雰囲気気体には窒 素を用いた. 高圧容器内の昇圧は、高圧窒素を高圧容 器内に導くことにより行った. 高温容器側面には現象 観察用の窓ガラスが一対設けられている. ミラーおよ びハーフミラーを用いることで、同一の高速度ビデオ カメラ (フレームスピード:100 fps, 露光時間: 5 ms)で 液滴生成部と実験部の拡大撮影が可能となり,初期液 滴直径計測を雰囲気温度が低い液滴生成部で行うこと ができる.これにより,移動に伴う燃料液滴の振動や 雰囲気気体の密度の揺らぎの影響などを受けずに初期 液滴直径計測ができる.液滴生成操作の監視は CCD カメラで行った.液滴の蒸発挙動は backlit 法を用いて 前述の高速度ビデオカメラで撮影し,パーソナルコン ピュータに記録した.得られたデジタル画像データか ら,自作計測ソフトで液滴直径履歴を得た³⁾.供試燃 料にはジャトロファ油,パームメチルエステル (PME) および従来燃料である軽油 2 号を用いた.懸垂線が液 滴の蒸発に及ぼす熱的影響の比較を行った予備実験で は,燃料に正へキサデカンを用いた.

3. 実験パラメータおよび測定項目

実験パラメータは、雰囲気温度 Ta, 雰囲気圧力 Pa, お よび燃料種である. 雰囲気温度は 673 K から 923 K の 範囲で、雰囲気圧力は 0.1 から 3.0 MPa の範囲で実験 を行った. 初期液滴直径は, 懸垂線が液滴蒸発に及ぼ す影響の比較実験を除き, 0.50 から 0.55 mm の範囲で 一定とした. 懸垂線が液滴蒸発に及ぼす影響の比較実 験では、初期液滴直径を 0.25 から 0.6 mm の範囲で変 化させた. 測定項目は液滴直径 d の履歴であり、その 履歴から液滴消滅寿命 Te, 95 vol%液滴寿命 T95, および 蒸発係数 k を算出した. 液滴消滅寿命は, 液滴が実験 位置に到達した時点から、消滅が目視で確認されるま での時間と定義した.ジャトロファ油に関しては他の 燃料とは異なる蒸発挙動を示すため, 蒸発による消滅 あるいは液滴内部蒸発に伴う破裂で懸垂線上から液滴 が消滅した時刻とした.95 vol%液滴寿命は、液滴が実 験位置に到達してから、液滴体積が初期液滴体積の 5%になるまでの時間と定義した.液滴直径の2乗履 歴より、液滴体積が初期液滴体積の9%から2%に減少 する区間を最小2乗法で直線近似し、その直線から体 積が5%,即ち(d/d₀)²=0.136になる時間を求め,95 vol% 液滴寿命と定義した.蒸発係数は、液滴直径の2乗が 初期液滴直径の2乗の50%から15%に減少する区間を 最小2乗法で近似した直線の傾きの絶対値と定義した. 修正液滴消滅寿命と修正 95 vol%液滴寿命は、蒸発係 数と同様,液滴蒸発の速さの指標である.各雰囲気条 件について4または5回の実験を行い、修正液滴消滅 寿命または修正 95 vol%液滴寿命の平均値を求めた.

4. 実験結果および考察 4.1 懸垂線の評価

Fig.1に、正ヘキサデカンの蒸発係数と初期液滴直径の関係を、Al₂O₃-SiO₂ファイバを懸垂線として用い他場合とSiC-O-Tiファイバを用いてた場合の両者について示す.どちらの懸垂線の場合も、初期液滴直径の増大に伴い、蒸発係数は増大している.これは液滴直径に依存する液滴周囲の自然対流の影響であると考えられる.懸

Evaporation Behavior of Biomass Fuel Droplet at High Temperature and High Pressure Ambient.

Takahiro MATSUMOTO, Hiroshi NOMURA and Nozomu HASHIMOTO

垂線に SiC-O-Ti ファイバを使用した場合,蒸発係数が Al₂O₃-SiO₂ ファイバを使用した場合のそれよりも僅か に大きくなることがわかる.これは,SiC-O-Ti ファイバ の方が Al₂O₃-SiO₂ ファイバよりも熱伝導率および断面 積が大きいことが原因と考えられる.しかしながら,懸 垂線が液滴蒸発に及ぼす熱的影響が顕著に表れる初期 液滴直径が小さい範囲でもその差は約3%と小さいこと から,本蒸発実験においては,Al₂O₃-SiO₂ ファイバを懸 垂線として用いて得られたデータと SiC-O-Ti ファイバ を用いて得られたデータを同一に扱った

4.2 燃料液滴の蒸発挙動

ジャトロファ油, PME および軽油液滴の蒸発を観察 した.Fig.2に, 雰囲気圧力1.0 MPa, 雰囲気温度773 K における各種燃料液滴の直径2乗履歴を示す.縦軸およ び横軸は初期液滴直径の2乗で除し,正規化されている. PME および軽油は初期加熱期間を経た後に緩やかに傾 きが増し,その後ほぼ直線的に減少している.一方,ジ ャトロファ油は顕著な熱膨張を伴う初期加熱期間を経 た後にほぼ直線的に液滴直径の2乗が減少するものの, 蒸発後期に傾きが緩やかになり,蒸発が遅くなることが わかる.雰囲気温度773 Kの圧力1.0と2.0 MPa,およ び雰囲気温度673 Kの条件では,懸垂線交点に蒸発の非 常に遅い残留物が確認された.ジャトロファ油液滴の場 合,873 Kを越える雰囲気において,蒸発途中で液滴表 面が蒸発の遅い物質で覆われ,液滴内部に発生した蒸気 により膨張して破裂する現象が観察された.

ジャトロファ油と軽油液滴の蒸発速さを,修正 95 vol%液滴寿命t₉₅/d₀²を用いて評価し,雰囲気圧力の関数 として Fig. 3 に示す.ジャトロファ油の液滴が破裂する 雰囲気条件については,修正液滴消滅寿命t_e/d₀²を参考 データとして示した.雰囲気温度が低い条件では,雰囲 気圧力の増大に伴って修正液滴寿命が減少し,その後増 大した.雰囲気温度の高い条件では,単調に減少した. これらの傾向は,両燃料とも同じであった.

軽油液滴の修正液滴寿命に対するジャトロファ油液 滴と PME 液滴のそれの比を Fig.4 に示す. PME 液滴の 場合,いずれの雰囲気温度・圧力においても修正液滴寿 命の比が 1~2 の範囲の値を示している.また,雰囲気 温度の増大に伴って PME の液滴寿命が軽油のそれに近 づくことがわかる.一方,ジャトロファ油液滴の場合, 修正液滴寿命の比は数十から百程度の値を示しており, 雰囲気圧力が高い範囲で比が増大する傾向を示してい る.また,雰囲気温度の増大に伴って,ジャトロファ油 の液滴寿命が急速に軽油のそれに近づくことがわかる.

5. 結言

高温・高圧雰囲気において、ジャトロファ油および PME の単一液滴蒸発実験を行った.得られた知見を以下に示す.

- 燃料液滴保持に用いた SiC-O-Ti ファイバが測定される蒸発係数に及ぼす影響は、従来使用していた Al₂O₃-SiO₂ファイバと同程度であった。
- 2)従来燃料である軽油の修正液滴寿命に対するジャトロファ油および PME のそれの比は、PME 液滴の場合、いずれの雰囲気温度・圧力においても 1~2の範囲の値を示した.また、雰囲気温度の増大に伴って比は1に近づく.一方、ジャトロファ油液滴の場合、比は数十から百程度であり、雰囲気温度の増大に伴って急激に減少した.

参考文献

1) 木下英二, 今林良太, 高田聖士, 浜崎和則, 1-ブタ



Fig.1 Relations between evaporation constant and initial droplet diameter.









4



Fig.4 Corrected evaporation lifetime ratio of biodiesel fuels to light oil.

ノール混合パーム油メチルエステルのディーゼル 燃焼特性, 日本機械学会論文集(B編), Vol.76, No.766, (2010), PP.996-1003.

- 2) 松本隆宏,野村浩司,橋本望,高温雰囲気における バイオディーゼル燃料液滴の蒸発,第19回微粒化 シンポジウム,2010, pp.167-172.
- 鈴木真人,野村浩司,橋本望,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,微粒化 Vol.17, No.58, (2008), PP.74-80.