ジャトロファ植物由来の固形燃料の燃焼特性 Combustion Characteristics of the Solid Fuel made of Jatropha Biomass

○ 谷口 竜也 (金工大院)
土佐 光司 (金工大)
鈴木 康允 (金工大)

正 小橋 好充 (金工大)
正 加藤 聡 (金工大)

Tatsuya TANIGUCHI, Kanazawa Institute of Technology Graduate School, 7-1 Ohgigaoka, Nonoichi, Ishikawa
Yoshimitsu KOBASHI, Kanazawa Institute of Technology
Koji TOSA, Kanazawa Institute of Technology
Satoshi KATO, Kanazawa Institute of Technology
Yasumitsu SUZUKI, Kanazawa Institute of Technology

Key Words: *Jatropha curcas* L., Biomass Energy, Alternative Energy, Global Warming, Solid Combustion, Solid Fuel

1. 緒言

本研究は、地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS) の研究プログラムの 1 つとして、モザンビーク共和国における持続的なバイオ燃料生産システムの構築を主な目的としている。バイオマス燃料は、温室効果ガスである CO₂ の抑制対策の一つであり、中でもジャトロファは乾燥、病気、虫、動物被害に強い油糧植物である。また、毒性成分を含むため、食用植物との競合を回避できる可能性があり、注目を集めている⁽¹⁾。この種子の圧縮・抽出により得られるオイルおよびそのメチルエステル化された燃料は軽油代替燃料としての利用が見込まれるが、本研究ではその残渣である絞りかす(オイルケーキ)を肥料や薪や炭の代替燃料として利用可能な方法を検討する。

ここで、毒性物質とは、ホルボールエステル(Ph-orbol esters: PEs)やクルシンであり、前者はがん細胞の増殖や成長の促進および炎症を引き起こす⁽²⁾。また、PEs は 200℃で 15 分程度加熱することで検出限界以下になることが筆者らによって確認されている⁽³⁾。

そこで、本稿では、オイルケーキを薪や炭の代替燃料として安全に利用する方法を検討するため、一般家庭で利用されるオイルケーキの燃焼状態を観察可能にする燃焼炉を製作した。これより燃焼状態の変化による排気成分の変動や燃料の特徴について調べた結果を報告する。

2. 実験装置および実験方法

2・1 実験装置

図 1 に主な実験機器の配置を示す。本実験で用いる燃焼炉は、観察窓が取り付けられており、燃焼状態の観察が可能である。燃焼炉内の燃料を保持する容器は底面のみに金網を用いており、ここに下方から一方向に空気が通過する。

Fig.1 Experimental apparatus

Table1 Experimental conditions

Dimensions of fuel container	Depth [cm]	4.8
	Diameter [cm]	8.5
	Volume [cm ³]	272
Test fuel		Jatropha oil cake
First test fuel	Weight [g/time]	50
	Volume [cm ³]	97.3
	Space velocity [sec ⁻¹]	68.5
Add test fuel	Weight [g/time]	50
	Volume [cm ³]	97.3
	Space velocity [sec ⁻¹]	68.5
Method of ignition	[first time only]	Gas baner
Total number of add test fuels	[times]	3
Air flow rate	[m ³ /min]	0.040

2・2 実験方法

表 1 に主な実験条件を示す。燃料は 50g×4 セットを秤量した後、送風機と流量演算器(最少表示 0.0001m³/min)により空気量を調節された炉内へ後に述べる手順で投入される。実験中は排ガス出口付近から排ガス分析計(MEXA-6000FT: HORIBA)を用いて排気管内のガス成分を分析し、同時に燃焼ガス温度を格子面上方 130mm で計測、排気温度は排気管出口で計測する。

供試燃料にはジャトロファオイルケーキ(モザンビーク産)を用いる、この燃料の高位発熱量は、JIS Z-7302-2 に準拠して測定した結果 1.85MJ/kg であった。

実験手順を以下に示す。

- ① ガス分析計でのガスサンプリングや温度の記録は全て同時に開始。
- ② 50g のオイルケーキをガスバーナーで加熱。
- ③ 燃焼ガス温度は格子面上方 130mm で計測、排気温度は排気管出口で計測しながら、オイルケーキの火炎が安定したか、燃焼ガス温度が最大値となったかを確認。
- ④ 図 2 に示す(c)表面燃焼状態への移行を確認した後、燃料投入口を開け 50g のオイルケーキ(1 回目)を均一になるよう追加。オイルケーキの追加は計 3 回実施。
- ⑤ フィルタへの排気成分(Particulate Matter: PM)捕集は発煙を伴う燃焼期間と火炎を伴う期間の 2 条件とし、それぞれ 1 枚のフィルタに 3 回捕集。

これより、図 2 で示すように時間の経過によって、最初にオイルケーキが比較的低温で火炎を伴わない(a)いぶり燃焼、着火後の火炎を伴う(b)蒸発燃焼、無炎燃焼状態の(c)表面燃焼、これら燃焼状態を再現することが可能となった。

Fig.2 3 stage combustion process of the solid fuel

本研究では、各燃焼状態を以下のように定義する。

- いぶり燃焼：熱分解で発生した揮発成分が点火されず、多量の発煙を伴う熱分解発熱反応である⁽⁴⁾。ここでは図2の(a)のような比較的低温で火炎を伴わない状態と定義する。
- 蒸発燃焼(分解燃焼)：固体燃料に含まれる比較的低融点の成分が、液体燃料と同様に蒸発して燃焼する現象で、蒸発温度が熱分解温度より低いときに生じる⁽⁴⁾。蒸発温度よりも分解温度が低い場合は分解燃焼であるが、明確に区分することが困難であるため、ここでは図2の(b)のような火炎を伴う燃焼と定義する。
- 表面燃焼：揮発分をほとんど含まない、分解燃焼後のチャーにみられる現象で、酸素または酸化性ガス(CO₂など)が固体表面や内部の空げきに拡散して表面反応をする⁽⁴⁾。ここでは図2の(c)のような火炎を伴わない表面が赤熱している燃焼と定義する。

3. 実験結果および考察

図3に燃焼ガス温度と排気成分を示す。図3中の斜線部分(下向き黒矢印の下)はオイルケーキ投入期間、(a')右向き黒矢印はいぶり燃焼、(b')右向き黒矢印(点線)は蒸発燃焼のフィルタへの捕集期間を表している。オイルケーキ投入期間中に燃料投入口を開けることで、炉内に新気を取り込まれ、燃焼室温度、排気温度、CO、CO₂濃度が急激に減少する。その後、燃焼条件(a')で熱分解した揮発成分に点火し、火炎が生じる燃焼条件(b')においてはCO、CO₂が急激に増加する。また燃焼条件(a')では燃焼室温度、排気温度共に(b')に移行するまでは一定温度を保っている。3回目の燃焼条件(a')の期間が他と比べて短いのは、燃料投入毎に燃料総量が増加し、3回目の燃料投入時に表面燃焼状態の燃料が1回目と比較し、多かったためである。そのため燃料投入後、オイルケーキが短時間で着火温度に達し、(b')に移行したと考えられる。

Fig.3 Combustion gas temperature and exhaust gas concentration

Table2 Exhaust constituents

Sampling timing	PM [mg/m ³]	ISF [mg/m ³]	SOF [mg/m ³]
Smoldering (a')	2661.8	1207.4	1454.4
Vaporization combustion (b')	1023.4	1633.0	0

表2にPMの濃度、可溶有機成分(Soluble Organic Fraction : SOF)、不可溶分(Insoluble Fraction : ISF)の測定結果を示す。PM濃度は、図3に示す(a')いぶり燃焼期間と(b')蒸発燃焼期間で各3回ずつ計6回PMの捕集を行った。フィルタをデシケータ内で24時間以上乾燥後、フィルタ質量を精密天秤を用いて計測した。その後、Soxhlet抽出法によりSOFとISFに分離し、測定した。いぶり燃焼期間と蒸発燃焼期間を比較した場合、以下の違いが確認できた。

いぶり燃焼期間

- ・ SOFは高い、ISFは低い
- ・ NH₃濃度は>1050ppm
- ・ HCHOは検出限界以下
- ・ 煙は濃い

蒸発燃焼期間

- ・ SOFは0、ISFは高い
- ・ NH₃濃度は<500ppm
- ・ HCHO濃度は<15ppm
- ・ 煙は薄いまたは透明

4. 結言

オイルケーキの燃焼特性を観察するための試作燃焼試験装置で、いぶり燃焼、蒸発燃焼、表面燃焼の過程を再現が出来た。燃焼試験の結果、以下の結論を得た。

- ・ いぶり燃焼期間中は蒸発燃焼期間中よりも、排出ガス中に含まれるPM濃度が、2.6倍以上である。
- ・ 可溶有機成分はいぶり燃焼期間に多く、不可溶分は蒸発燃焼期間に多い。
- ・ NH₃はいぶり燃焼期間に>1050ppm。
- ・ HCHOはいぶり燃焼期間に検出限界以下、蒸発燃焼期間に<15ppm。
- ・ 着火直後CO、CO₂が急激に増加するが、燃焼ガス温度のピーク以後は減少する。

謝辞

本研究は、JSTとJICAの地球規模対応課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)研究領域「低炭素社会の実現に向けたエネルギーシステムに関する研究」研究課題名「モザンビークにおけるジャトロファバイオ燃料の持続的生産」(研究代表者：東京大学 芋生憲司)の一部として実施した。関係各位に深謝する。

参考文献

- (1) 林慶一、ジャトロファ研究とその利用に関する国際動向・サブサハラ・アメリカへの利用可能性、養賢堂2010、pp.1-2
- (2) 岩田光夫、山村幸政、山崎寿樹、jatropha油をディーゼル燃料に用いた時のリスクマネジメント・カンボジア王国での状況、日本リスク研究学会講演論文集、23、(2010)、27-28
- (3) 飯野浩典、加藤聡、小橋好充、鈴木康允、土佐光司、ジャトロファオイルケーキの毒性物質除去法の検討、第31回エネルギー・資源学会講演論文集(2012)、pp.173-174
- (4) 水谷幸夫、燃焼工学、森北出版、(1977)、pp.166-167