

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450378

研究課題名(和文)低コスト・低環境負荷BDF製造システムの開発

研究課題名(英文)Development of low cost and the environmental loading reduction BDF production system

研究代表者

萩原 昌司 (HAGIWARA, Shoji)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品部門・食品加工流通研究領域・上級研究員

研究者番号：00353970

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：無触媒過熱メタノール蒸気法によるBDF生産における、投入エネルギー量の削減(CO₂排出量削減効果の向上)を目的に、原料脂質の検討(FFA化等)による反応効率の向上による投入エネルギーの削減を目指す。また、CFDによる流体解析技術を用いて反応槽構造の改良、操作条件の最適化も検討した。パームワックスは、アルカリ触媒法ではFAMEに変換することができないが、過熱メタノール蒸気法ではパーム油と比べて反応性が格段に良いことが確認された。CFDを利用することで反応装置内の流体の状況を推測することが可能になり、反応速度や製品品質を向上させる反応槽内構造の最適化に役立つものと考えられた。

研究成果の概要(英文)：The alkaline catalyzed method requires deacidification process prior to the reaction process and the catalyst removal process after the reaction. Those process increases the total cost of biodiesel fuel production. In order to solve the problems in the conventional alkaline catalyzed alcoholysis process, the authors proposed a non-catalytic alcoholysis process called the Superheated Methanol Vapor (SMV) method with bubble column reactor. So, this study aims to investigate the productivity of biodiesel produced from vegetable oils and other lipids using the SMV method with bubble column reactor. As the results, Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) demonstrated higher FAME productivity on SMV process. Farther more, Computational Fluid Dynamics (CFD) could display and calculate the bubble behavior and distribution in the reactor. According to CFD results, improvement of the reactor's inner structure could increase contact area and contact time between oil and methanol vapor bubbles.

研究分野：食品工学

キーワード：BDF FAME CFD PFAD

1. 研究開始当初の背景

(1)BDF 原料となる植物油は粘度が高いため、メタノールと反応させて脂肪酸メチルエステル (FAME) に変換する必要がある。近年、藻類からの生産される燃料が注目され、軽油と同等の物性の油脂を生産する藻類も存在するが、油脂の生産性が高いボトリオコッカスから得られる油脂は、粘度が高いことから植物油と同様にメチルエステル化反応が必要となる。

(2)BDF 製造方法に関しては、触媒 (NaOH、KOH) を利用するアルカリ触媒法が最も普及しているが、エステル化前の脱酸処理、反応後の触媒除去に要する工程のため製造コストが割高となっている。触媒を必要としない製造法として、超臨界メタノール法 (Saka, 2001) や STING 法 (飯嶋ら, 2008) が研究されているが、20 MPa 以上の超高压と 300 以上の高温が反応に必要なため、反応容器製造のコストが高価になること、実用的な規模拡大が難しいという課題があった。

(3)代表者らは、触媒を使用せず常圧で反応が可能な「過熱メタノール蒸気法」の研究を行い、実用規模を想定した 6000 kL/年規模のプラントでは BDF 生産 (変換) コストは 40.6 円/L であると試算した。しかしながら本法の反応性が遅いという課題があった。

2. 研究の目的

過熱メタノール蒸気法による BDF 生産における、投入エネルギー量の削減 (CO₂ 排出量削減効果の向上) を目的に、原料脂質の検討 (FFA 化等) による反応効率の向上による投入エネルギーの削減を目指す。また、CFD による流体解析技術を用いて反応槽構造の改良、操作条件の最適化も検討する。

3. 研究の方法

(1)各種原料脂質毎の過熱メタノール蒸気法によるバイオディーゼル燃料 (脂肪酸メチルエステル; FAME) 変換の反応性 (反応速度) を評価した。原料油脂として、菜種油、ジャトロファ油、米油、パーム油、ココナッツ油等を、遊離脂肪酸を主成分とする脂質パームワックスを反応実験に供した。反応実験はベンチスケール反応装置 (図 1) を用いて、反応温度 290、メタノール蒸気供給量 4 g/min で行った。なお、パームワックスの沸点がトリグリセリドに比べ低温であるため、反応温度を 200、220、240 の低温で行った。

(2)ベンチスケール実験装置の反応槽内の油脂とメタノールの分散状態を再現する手法として、CFD による解析を試みた。CFD には GAMBIT および ANSYS FLUENT (ANSYS, Inc.) を用いた。解析用のモデルとして、VOF モデル、2D・3D、乱流モデル (k-ε モデル) の有無で CFD の計算を実施し、その品質を評価した。計算時間を短縮するため、計算用メッシュのグリッド数の最適化、計算時間 (t) を変更した際の計算結果の品質を評価した。

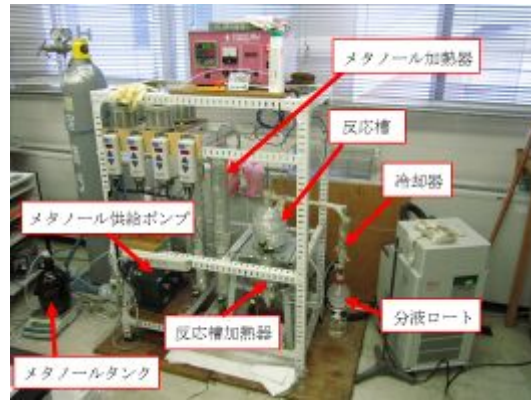


図 1 ベンチスケール無触媒反応装置 (無触媒過熱メタノール蒸気法)

(3)ベンチスケール反応装置の反応槽内に邪魔板を配置した際の油脂とメタノール蒸気の混合状態を CFD により可視化し、油脂とメタノール蒸気との接触面積と接触時間を算出した。また、同様の反応条件で実施した BDF 製造試験により、反応槽内への各種邪魔板の設置が油脂から FAME への反応性及ばす影響を比較した (図 2)。

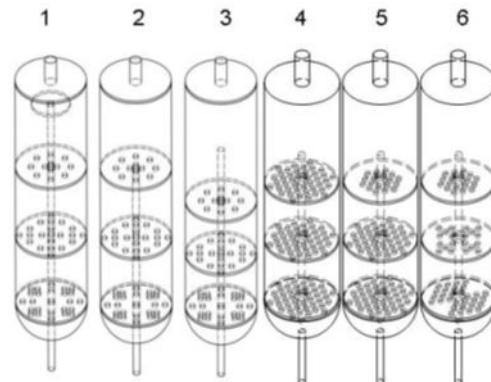


図 2 反応槽内への邪魔板設置モデル

4. 研究成果

(1)過熱メタノール蒸気法で反応させた際の各種脂質の反応速度の比較を図 3 に示した。油脂 (トリグリセリド; TG) では、ココナッツ油、ジャトロファ油、米油、菜種油、パーム油の順に反応性が高くなった。特にココナッツ油は、炭素数が少ない脂質を多く含み反応性が高く、反応温度を 270 としてもパーム油と同等の反応性を示した。パームワックスはパーム油を精製する際に生じる遊離脂肪酸を主成分とする脂質であるため、アルカリ触媒法では FAME に変換することができない。しかしながら、過熱メタノール蒸気法ではパーム油と比べて反応性が格段に良いことが確認された。また、本法は変換コストに占める熱エネルギーの割合が大きいため、このように反応性の良い脂質 (遊離脂肪酸) をバイオディーゼル燃料の原料にすることで、更なる変換コストや炭酸ガス排出量の削減効果を期待できる。特にパームワックスはパーム油精製時に発生する副産物であるこ

とから、原料油脂の遊離脂肪酸への改質よりも低コストの原料となることが期待された。

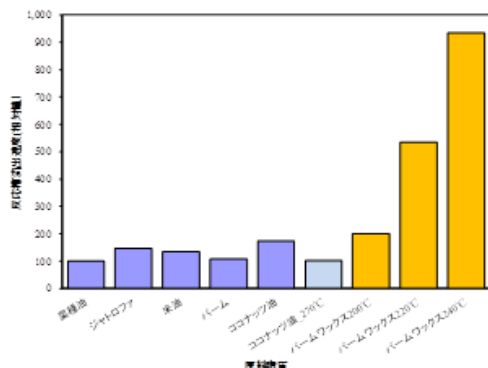


図3 各種脂質の反応速度比較

(2)CFD によるベンチスケール反応槽内の油脂とメタノール蒸気に分散状況の可視化では、解析に使用する計算モデル作成を検討した。計算結果の検証に反応槽模型(透明)を用いて水-窒素系で実験し、ガスホールドアップを CFD 計算値と実験値を比較したところ、CFD の計算にVOFモデル-3次元(3D)-乱流(-)モデルを用いることで反応槽内の状況を再現できることを確認した。

また、解析用メッシュの改良や解析時間の変更により、細かな泡の分散状況は若干消失するが、ガスホールドアップや泡の動きなどの計算結果は変わることなく、310 時間要した計算時間が約 1/9 に短縮した(図4)。

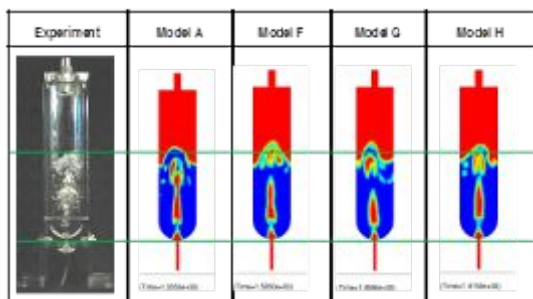


図4 各モデルでの CFD 解析結果

(3)油脂とメタノール蒸気の接触時間および接触面積を拡大させるため、反応槽内への邪魔板を付設したところ、接触面積、BDF 製造速度は高まった(図5、図6)。特に、多段で邪魔板を付設するとメタノール蒸気の滞留時間が増えることが CFD の計算結果から明らかになり、BDF 製造量も5倍以上に向上した。

以上のように CFD を利用することで反応装置内の流体の状況を推測することが可能になり、反応速度や製品品質を向上させる反応槽内構造の最適化に役立つものと考えられる。ただし現状では CFD 計算に最短の解析モデルを利用して1日以上を要しており、さらなる CFD 解析メッシュの最適化やコンピュータの高速化が必要である。

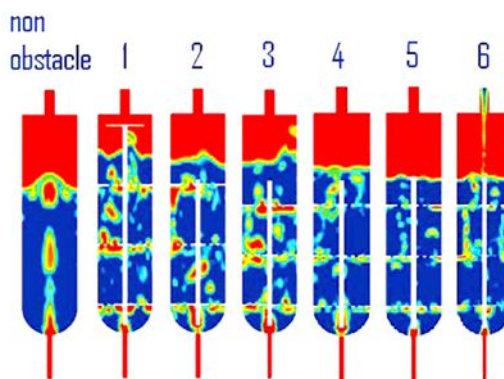


図5 BD 製造時の各モデルでのメタノール蒸気の分散の状況 (CFD 計算結果)

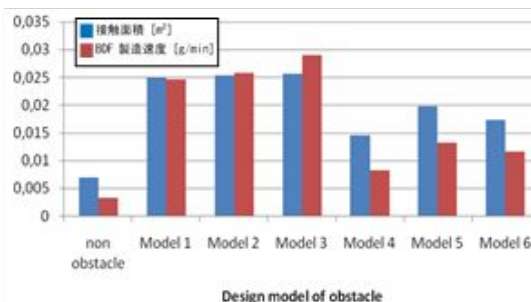


図6 邪魔板付設による気液界面の接触面積の増加効果 (CFD 計算結果) と反応速度向上効果 (BDF 製造試験結果)

引用文献

Saka S., Kusdiana D.: Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol, Fuel, 80, 225-231 (2001).

飯嶋ら:メタノリシス反応と熱分解を併用した軽油代替燃料製造技術の開発(第1報) - 反応管形状が反応速度に及ぼす影響 -, 農業機械学会誌, 70 (2),120-126 (2008)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

Shoji HAGIWARA, Hiroshi NABETANI, Mitsutoshi NAKAJIMA, Non-catalytic alcoholysis process for production of biodiesel fuel by using bubble column reactor, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, 596, 2015, doi:10.1088/1742-6596/596/1/012017

Dyah Wulandani, Fajri Ilham, Yayan Fitriyan, Ahmad Indra Siswantara, Hiroshi Nabetani, Shoji Hagiwara, Modification of Biodiesel Reactor by Using of Triple Obstacle within the Bubble Column Reactor, Energy Procedia, 査読有, 65, 83-89, 2015

doi:10.1016/j.egypro.2015.01.036

〔学会発表〕(計1件)

Shoji HAGIWARA, Hiroshi NABETANI,
Mitsutoshi NAKAJIMA, Non-Catalytic
Alcoholysis Process for Production of
Biodiesel Fuel by using Bubble Column
Reactor, Tunisia-Japan Symposium R&D
of Energy and Material Sciences for
Sustainable Society (TJS2014), 44-45,
2014. Gammarth(Tunisia)

〔図書〕(計1件)

鍋谷浩志、萩原昌司、バイオディーゼル
燃料製造[1] - 意義あるバイオディーゼ
ル燃料の製造・利用を目指して -、農業
および園芸(養賢堂)、89(2),258-264、
2014

6. 研究組織

(1) 研究代表者

萩原 昌司(HAGIWARA, Shoji)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総
合研究機構・食品研究部門・食品加工流
通研究領域・上級研究員
研究者番号：00353970