（ 様式D−２ ）
（ 別　　紙 ）

令和５年度　海外派遣研究員研究報告書

令和５年１０月３１日

日本大学理事長　　殿
日 本 大 学 学 長　　殿

所　　属　　理工　　学部（理工学研究所）
資格・氏名　　教授・吉田幸司
■本報告書の内容を公表することは了承しております.
（公表可の場合，チェック■すること）

令和５年度海外派遣研究員（　短期Ｂ　）の研究実績を，下記のとおり報告いたします.

記

１　区　　分　　短期Ｂ
２　研 究 課 題

東南アジアにおける再生可能エネルギーとしてのバイオ燃料の利用と将来性に関する調査

３　派 遣 期 間　　西暦２０２３年　８月　４日　～　２０２３年　９月　７日
４　派　遣　先　　フィリピン共和国　マニラ市，ダバオ市
タイ王国　バンコック市
インドネシア共和国　バンドン市
５　研 究 目 的

現在，地球温暖化を防止するために，二酸化炭素排出削減が要求されている．二酸化炭素は，化石燃料である天然ガス，石油，石炭を燃料として燃焼することで発生するため，これらの燃料を再生可能エネルギーに置換する試みがなされてる．再生可能エネルギーとして，太陽光，風力および地熱等による発電が注目されているものの，植物油脂から生成されるバイオ燃料も大気中の二酸化炭素を増加させない再生可能エネルギーである．また，植物油脂由来のバイオ燃料は液体であり石油から精製される燃料に性状が近く，発電，自動車，航空機の燃料として用いることができる非常に有効なエネルギー源であるが，日本国内ではほとんど利用されていない．本調査研究では，ディーゼルエンジンの代替燃料である脂肪酸メチルエステルの再生可能エネルギーとしての有用性を明らかにすることを目的とする．脂肪酸メチルエステルの原料は主に，パーム油，ココナッツ油等であり，これらは東南アジア各国で多く産出される．そこで，東南アジア各国の大学や研究所を訪問しバイオ燃料の利用状況を調査し，また生産現場を視察しバイオ燃料の将来性を調査することで，日本における植物油脂由来バイオ燃料利用の有効性を明らかにする．

（ 様式D－２ ）

6　研 究 概 要

本研究の学術的背景として，植物油脂は植物が大気中の二酸化炭素と水と太陽光から光合成によって作成する再生可能燃料であり，枯渇することはない．また，大気中の二酸化炭素を光合成に用いるために，燃焼によって地球温暖化物質である二酸化炭素を増加させない．しかし，植物油脂をエンジン等の燃料として利用する場合は粘性が高いため，メタノールを用いてエステル交換して生成される脂肪酸メチルエステルとして使用される．よって，それぞれの植物油脂に含まれる脂肪酸成分によって生成されるバイオ燃料の燃料性状が異なる．ディーゼルエンジンの代替燃料として利用する場合，飽和脂肪酸や中・長鎖不飽和脂肪酸から構成される脂肪酸メチルエステルは着火特性が良く，短鎖脂肪酸から成る脂肪酸メチルエステルは蒸発特性が良いという特徴がある．従って，中・長鎖脂肪酸を含むパーム油，短鎖飽和脂肪酸で構成されるココナッツ油は，ディーゼルエンジンの代替燃料として好ましく，その着火・燃焼特性および排出ガス成分特性が研究されている．

現在までの研究成果を踏まえて本研究を企画するに至った経緯として，パーム油およびココナッツ油から生成される脂肪酸メチルエステルは，着火・燃焼特性からディーゼルエンジンの代替バイオ燃料として好ましく，またディーゼルエンジンに特別な改修を加えることなく用いることができるものの，主な生産国が東南アジア諸国であるため日本では全く利用されていない．そこで，世界第一位のパーム油生産国であるインドネシア共和国，世界第一位のココナッツ油生産国であるフィリピン共和国におけるバイオ燃料の利用状況を調査し，またフィリピン共和国におけるココナッツの生産現場を視察し，バイオ燃料の将来性を調査することで，日本におけるバイオ燃料利用の有効性を明らかにするとの着想に至った．

本調査研究期間内において，東南アジア諸国の内，フィリピン共和国，インドネシア共和国，タイ王国の大学や研究所を訪問し，各国においてバイオ燃料を研究している研究者と面談することによって各国でのバイオ燃料の研究状況を把握し，またバイオ燃料の現在の利用状況を調査することで，各国におけるバイオ燃料の将来展望及びバイオ燃料の使用の拡大の有無等を検証し，明らかにする．また，フィリピン共和国内で最も多くココナッツ油を産出しているダバオ地方において，ココナッツ農園を訪問し，ココナッツ農家の経済的な現状を理解し，生産者から見たココナッツ油のバイオ燃料としての将来性を明らかにする．

当該分野における本研究の学術的な特色や独創的な点及び予想される結果と意義として，2000 年代より様々な種類の植物油脂が，ディーゼルエンジンの代替燃料として研究されてきたが，二酸化炭素排出削減を目的とした近年の自動車の電動化によって，現在では植物由来バイオ燃料の有効利用に関してはほとんど研究されていない．本調査研究により，東南アジア各国におけるバイオ燃料の使用状況と将来性を再認識することによって，日本においてもバイオ燃料利用の有効性を広く周知することができる．また，パーム油およびココナッツ油，または廃食油から生成される脂肪酸メチルエステルはジェットエンジンの燃料としても利用できることから，日本国内におけるバイオ燃料利用の更なる拡大を喧伝することが期待できる．

7　研究結果・成果

東南アジア諸国の内，タイ王国，インドネシア共和国，フィリピン共和国の大学や研究所を訪問して，各国においてバイオ燃料を研究している研究者と面談することで各国でのバイオ燃料の研究状況および利用状況を調査し，またフィリピン共和国ダバオ地方のココナッツ農園を訪問し，ココナッツ農家の経済的な現状を理解し，植物油脂由来バイオ燃料有効利用の将来性に関する調査研究を行った．

タイ王国において，Chulalongkorn University の Prof. Kanit Wattanavichien, King Mongkut's Institute of Technology Ladkabong の Prof. Jaruwat Charoensuk, National Energy Technology Center (ENTEC)の Dr. Nuwong Chollacoop と面談した．この面談で以下の知見が得られた．タイ王国においても一般的には，エンジンは電動自動車に置き換えられると思われているが，価格や耐久性からエンジンは今後 20 年程度必要になると考えている．タイ王国内での水素の利用に関しては，環境に配慮した燃料としてのデモンストレーション程度であり，持続的な水素の供給がなければ実用的な水素利用を促進することはできない．また，素の将来の利用としては，天然ガスで稼働しているガスタービンへの水素の混焼が考えられている．バイオ燃料の利用に関して，植物油脂を水素置換した燃料の航空機への利用が考えられ始めている．タイ王国は，工業製品の輸出にのみ注力していて，農産物に経済としての重要性を考慮すべきである．現在のタイ王国では，パーム油メチルエステルが最大 7%軽油に混合されて自動車用燃料として販売されている．また，エタノールはオクタン価向上剤としてガソリンに様々な混合率で混合されて販売されており，バイオ燃料は有効に利用されていると推察される．また，タイ王国では農業政策としてパーム油等は輸入せず，国内生産で賄われており，バイオ燃料の有効利用はエネルギー安全保障からも重要と考えられる．

Prof. Kanit Wattanavichien の案内で Saraburi にあるバイオマス・ガス化プラントを見学した．ここでは，木材等のバイオマスの熱分解およびガス化した木質バイオガスを原料とした FT 法 (Fischer-Tropsch process) よる合成燃料の精製と実用化に取り組んでいる．特に，FT 法により合成炭化水素燃料がえられ，残渣である固定炭素は炭として利用できる．Prof. Kanit Wattanavichien は，パーム油由来バイオ燃料の研究していたが，木質熱分解および木質ガス化による合成燃料の研究に変更している．これは，植物油脂は食用であるが，木質バイオマスは非可食であり，様々な原材料が熱帯であるタイ王国にあるためである．日本では，水素や水素と二酸化炭素から成る合成燃料が次世代燃料と考えられているが，バイオマスガス化による合成燃料も再生可能燃料として研究の対象となりえると考えられる．

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi の Combustion and Engine Research Laboratory の Prof. Sumrerng Jugidai と Prof. Amornrat Kaewpradap と面談をした．Prof. Sumrerng Jugidai は多孔体内の燃焼による高効率熱交換器に関する研究を行っており，Prof. Amornrat Kaewpradap はバーナー燃焼の基礎研究として円環バーナーおよびスロット式バーナーを用いて高効率拡散燃焼に関して，天然ガス，合成ガス，バイオガスの燃料として研究している．特に，農園廃棄物，廃

食料，木質バイオマスを原料としたバイオガスを模した燃料として，メタン，二酸化炭素を含む気体燃料を効率良く燃焼できるバーナーの研究，また次世代燃料として水素，酸素，二酸化炭素混合ガスのバーナー燃焼研究を実施している．バイオガスは発熱量が低いために高効率の燃焼が必要となり，日本においても廃有機物由来のバイオガスの有効利用に関する研究は必要と考えられる．

バンコック郊外にある Thailand Science Park 内にある National Science and Technology Development Agency 傘下の ENTEC を Dr. Nuwong Chollacoop の案内で訪問した．ここでは，現在 7%程度である軽油へのパーム油メチルエステル混合率を 20%程度まで増加させるべく，研究と啓蒙活動が行われている．また，ここで産総研から派遣されバイオ燃料について研究されている Dr. Yuji Yoshimura と面談した．研究成果として，脂肪酸メチルエステルを触媒を用いて部分水素化することで二重結合を変更し，低温状態で固化することなく，かつ軽油よりも酸化安定性に優れた燃料となることが見いだされている．このバイオ燃料は，100%でディーゼルエンジンに使用できるとのことである．すなわち，脂肪酸メチルエステルの燃料性状の改善と，バイオ燃料の利用拡大が模索されていることが明らかとなった．

インドネシア共和国では，Bandung Institute of Technology の Internal Combustion Engine and Propulsion System Laboratory を訪問し，Prof. Dr. Eng. Ir. Iman Kartolaksono Reksowardojo, Prof. M.Sc., Ph.D. Poetro Lebdo Sambegoro, Prof. Dr. Eng. Firman Bagja Juangsa, Prof. Dr. Eng.Gea Fardias Mu'min と面談した．この研究所は 30 年程度以前に設立され，当初はディーゼルエンジン，ガスエンジン，ガスタービンを用いた推進動力源や発電に関する研究が行われていた．現在は，熱工学に関連して燃焼を基礎としたエネルギー変換全般に関する研究を行っており，また研究所設立以来，再生可能燃料に関する研究は継続している．インドネシア共和国では，現在パーム油メチルエステルの利用に関しては実用化されており，自動車用ディーゼルエンジンの燃料として最大 35%程度が軽油に混合されて使用されているとのことである．よって，脂肪酸メチルエステルの応用に関する研究は行われておらず，水素およびアンモニア燃焼に関するボイラー用のバーナー燃焼の基礎研究，固体燃料として石炭やバイオマスの燃焼の研究されている．またアンモニア，水素の基礎研究として，アンモニアは燃焼特定が悪いため部分的にアンモニアを分解することで燃焼を改善し，また水素を混合することで燃焼速度を改善する研究や水素を 2－5%程度混合した水素-軽油の 2 燃料ディーゼルエンジンの研究を開始している．また，酸化カルシウム（CaO）と二酸化炭素（CO_2）を化合させ炭酸カルシム（$CaCO_3$）として，二酸化炭素を回収する研究されている．バイオ燃料に関しては，Garuda Indonesia 航空がパーム油由来の航空機用バイオ燃料である bio-avtur fuel の地上試験および試験飛行等の実証試験を検討しており，バイオ燃料の航空機への応用が期待されている．

フィリピン共和国では，マニラ市にある Technological University of the Philippines の Integrated Research and Training Center の Prof. Carlos E. Zapanta および Asst. Almira H. Darlag と面談を行った．Prof. Carlos E.

Zapanta は，2000 年代よりココナッツ油由来の脂肪酸メチルエステルのディーゼルエンジンへの応用に関する研究を行っている．フィリピン共和国内では，再生可能燃料としては植物から生産されるバイオ燃料が主軸となり，これはフィリピン共和国ではココナッツに代表されるバイオ燃料の原材料が豊富に生産されるためとのことであった．現在のフィリピン共和国内のバイオ燃料の利用に関して，ココナッツ油メチルエステルが軽油に 2%混合して販売され，Department of Energy としては軽油への混合率 20%を目指している．ただし，軽油に混合するバイオ燃料としては，ココナッツ油メチルエステル以外の利用は検討されていないとのことであった．このココナッツ油メチルエステルは，10 年以上も軽油と混合して使用されているが，エンジンに関して特段の問題は報告されていないとのことであった．しかし，ココナッツ油メチルエステルの価格は軽油と比較して高く，軽油への混合率向上のため生成方法の改善等が必要となるとのことであった．2000 年代の当初からサトウキビから作成されたバイオエタノールがガソリンに混合されて利用されており，当初はエタノールを 5%混合した E5 ガソリンとして利用を開始し，現在は 10 %混合されているとのことであった．また，デーゼルエンジン用のバイオ燃料として，ココナッツの代替となる新しい植物原料を模索しており，ランプータンの種子や非可食植物である betel（キンマ）の種子を原料したバイオ燃料，微細藻類を原料とした新しいバイオ燃料の研究を開始する予定とのことであった．

ダバオ市 Bago Oshiro にあるフィリピン共和国農務省ココナッツ局の三か所の研究所の一つである Davao Research Center を訪問し Ms. Johana Orense と面談した．この研究所では，ココナッツ農業推進を目的として，ココナッツの収量増化，ココナッツ農家の収入増化のため，新しいココナッツの交配種の研究，農学として土壌，灌漑及び間作物に関する研究及びココナッツ農家への経営方法等の啓蒙活動を行っているとのことであった．ココナッツ油メチルエステルのディーゼルエンジンへの燃料として利用に関して Zamboanga 研究所で 30 年前に実施されており，現在では自動車用バイオ燃料の研究は行われていないとのことであった．また，ココナッツ油を航空機用代替燃料と使用するべく国際的活動にも参画おり，ココナッツ産業の将来は明るいものと確信しているとのことであった．ただし，ココナッツ農家は小さい規模の個人経営が多く，収入増加が望めないこと，また若者が農家になりたがらないことが問題であり，ココナッツ農園の大規模化が望まれるとのことであった．十分なココナッツ油の収穫が確保できるようになれば，バイオ燃料として利用することも有益な手法であるとの意見が得られた．

ダバオ地方の Digos 市にあるココナッツ農園を訪問し，Mr. Criz Laput，Ms. Marycris Bacuns および Ms. Juliet Zambrano と面談を行った．このココナッツ農園は 100 年以前から経営されており，広さ約 19ha，1ha 当たり 500 本程度のココナッツの樹木があり，現在は親類 6 名で分割して経営し 20 名程度の農民が働いているとのことであった．天候に左右されるがココナッツは 2，3 カ月毎に収穫し，1 本のココナッツの木から毎回 20 から 30 個程度のココナッツの実を収穫できるとのことであった．また，間作物としてバナナやマンゴーを栽培しているとのことであっ

た．ココナッツから得られる収入は相場によるものの 1ha 当たり 15000 ペソ程度で，地方政府からは肥料等の補助はあり，ココナッツ農場の収入のみで生活はできるものの，十分ではないとのことであった．また，ココナッツの収穫は人手によるしかなく，肥料等の費用はほとんど必要ないものの，収穫時に人件費が必要となるとのことであった．ココナッツ農業の将来性はあるものの，ココナッツ農家数は増加しておらず，さらなる政府の補助が必要とのことであった．しかし，ココナッツ油がバイオ燃料の原料となることは全く知られておらず，ココナッツ油がバイオ燃料となり，二酸化炭素削減となることが広く周知され，さらに収入増加に反映されることで，ココナッツ農家のモチベーションに繋がるものと推察される．

東南アジア諸国でのバイオ燃料の利用状況を調査研究した結果，パーム油やココナッツ油が直接収穫できる東南アジア諸国では植物油脂をメチルエステル交換したバイオ燃料が現実的に有効に利用されている現状が確認できた．フィリピン共和国と比較して，インドネシア共和国やタイ王国でパーム油由来のバイオ燃料が大量に有効利用されているのはパーム油とココナッツ油の生産量の差異によると考えられる．すなわち，2022 年においてパーム油の世界の生産量は約 8072 万トン程度であり，インドネシア共和国が 59%，マレーシア共和国が 23%，タイ王国が 4%程度を産出している．ココナッツ油に関しては，世界の生産量が約 296 万トン程度であり，フィリピン共和国が約 36%，インドネシア共和国が約 29%程度を産出している．[(1)]ココナッツ油の産出量はパーム油を比較して 1/25 程度であり，この産出量の差が各国におけるバイオ燃料の利用量の差となっていると考えられる．

日本では，植物油脂を水素添加処理し石油と同等の鎖式炭化水素とした水素化植物油に関しても研究されており，植物油脂を用いたバイオ燃料の有効利用が期待される．しかし，日本では輸入された原材料から食用の植物油が生産されており，食糧安全保障の観点から東南アジア諸国のように積極的に植物油脂由来バイオ燃料を利用することはできない．他方，日本国内では 2023 年 1 月のみで 11.6 万トンの植物油脂が生産されており[(2)]，廃食油を原料としたバイオ燃料の有効利用が期待できる．しかし，廃食油をバイオ燃料の原料として有効に利用するためには，京都市で実施されているように[(3)]，行政による社会的な廃食油回収システムの構築と，ごみの分別収集のような日本国民一人一人の意識が重要になると考えられる．また，日本においても，今後，廃棄有機物由来バイオガス，木質バイオマスの熱分解および木質バイオガスを原料とした合成燃料の有効利用も重要な研究課題となると考えられる．現在の日本では，バイオ燃料や木質バイオマス等はほとんど利用されていない．また現在の日本では，水素や合成燃料が次世代燃料として注目されているが，どのような燃料を選択しようとも原料は輸入する必要があり，日本は将来的に様々な燃料を選択できるようにしなければならないと考えられる．

(1) https://www.oil.or.jp/kiso/seisan/seisan02_01.html

(2) https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/oil/oil_m/r5/m1/index.html

(3) https://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000000008.html

以　上