

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境エネルギー分野「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」領域)

「生物多様性保全のためのパームオイル産業とのグリーン経済の推進」

(マレーシア)

平成 25 年度実施報告書

代表者 白井 義人

所属・役職 国立大学法人 九州工業大学大学院生命体工学研究科・教授

<平成 24 年度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施の概要

開発途上国の自然環境の保護とその開発は、途上国の持続可能な発展、地球温暖化問題の軽減のためにも、悩ましい問題である。サバ州の熱帯雨林はオランウータンやテングザル等の自然の宝庫であり、ここを中心としたエコツーリズムはサバ州の重要な収入源である。したがって、この地域の生物多様性は極めて重要である。一方、サバ州の主な収入源は、熱帯雨林にモザイクのように点在する油ヤシのプランテーションと搾油工場が生産するパームオイルであり、これらから排出される処理後のパームオイル廃液は周辺環境に影響を与えており、生物多様性への影響が懸念されている。

すでに、自然を十分に開発しつくした先進工業国とは違い、開発途上国はその名の示す如く、未開発の自然を残し、その保全と開発という二律背反の問題を抱えているし、将来的にも抱える。これらを根本的に解決するためには、部分的に制限された自然開発が、残された自然保護をさらに促進するような方法が必要になる。このように開発と環境保全が共存共栄的に両立する戦略が必須になる。研究代表者らは20年に渡り、マレーシアプトラ大学と共同でマレー半島のパーム産業から排出されるパームオイル廃液の有効利用と地球温暖化ガスの削減の研究を続けてきた。本研究では、パームオイル搾油工場の省エネ・省資源化を図り、環境浄化を促すばかりでなく、余剰のエネルギー・余剰バイオマスを利用し、価値のある製品生産を通じ、その収益から事業的にも成立する廃液のゼロ・ディスチャージを研究している。

ここでは、この考えをサバ州のショーケース搾油工場内に実証パイロットプラントを設置し、実際にゼロ・ディスチャージが可能であり、さらにグリーン製品を生産できることを知らしめ、我が国を中心とするバイオマス利活用の優れた技術・アイデアを持つ企業によって企業化がなされることを目指す。これにより、パームオイル産業は環境保全と生物多様性保全に貢献することを可能にし、この周辺のパームオイルや関連製品に環境配慮を保証するブランドとして位置づけ、生物多様性の保全が周辺パーム産業のさらなる活性化を図ることを企画した。

現在、九州工業大学とマレーシア・プトラ大学が中心となり、特に、生物多様性への影響評価の点では、微生物菌叢の多様性変化を中心に、九州大学、マレーシア・サバ大学が主に加わり、研究を進め、余剰バイオマスからの付加価値製品の生産に関しては、産業技術総合研究所が主に加わり研究を進める体制を立てている。現在、日本国内、及び、マレーシア国内での実験室での基礎・応用研究では、パームバイオマスの過熱水蒸気処理、パームバイオマスのナノコンポジット化、リグノセルロースのコンポスト生産における微生物の役割等で、着実に成果を挙げているが、昨年、サバ州東部で発生した、いわゆる、スルー王国動乱事件により、当初予定していたキナバタンガン川周辺地域でのパイロットプラント設置と実証が困難になり、現在、サバ州西部での適地の探索を実施し、早期の候補地決定が望まれている。

パームオイル産業は赤道周辺国であれば生産可能である。これらの開発途上国はマレーシアと同様、熱帯雨林の生物多様性保全と開発の両立の問題に直面する。しかし、マレーシアがパームオイルにより貧困から脱出できたように、インドネシア、ナイジェリア等のパームオイル産油国にも適用可能であり、また、マレーシアに習うべきであると考えられる。

## 2. 研究グループ別の実施内容

九州工業大学(マレーシア・プトラ大学、マレーシアサバ大学)

### 1. パームオイル廃液ゼロ・ディスチャージ

## ① 研究のねらい

サバ州の適切なパームオイル搾油工場をショーケース工場としてゼロ・ディスチャージと余剰バイオマスを利用した付加価値製品製造事業の可能性を実証することが研究のねらいである。

## ② 研究実施方法

サバ州政府と協力して、協力工場の探索と現地調査、パイロットプラントの概略を決定する。

## ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

サバ州東部、キナバタンガン川流域のパームオイル工場より適切な工場を決定することになっていた。また、サバ州営サウジット・キナバル社の協力とサンダカン周辺の特定工場の使用許可を得ていた。

## ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

ゼロ・ディスチャージ達成のための廉価適正技術に関する情報交換を実施した。

## ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

サバ州東部地区の治安改善の目途がたたず、ショーケース工場の選択をサバ州西部に限ることとなった。これにより、パイロットプラント設置の時期が当初より遅れることとなった。しかし、限られた期間での実証開始の観点から、パイロットプラントを稼働式とすることにより、パイロットプラントの製造に予定通り着手できるよう工夫した。

## 2. 生物多様性に及ぼすゼロ・ディスチャージの影響

## ① 研究のねらい

パームオイル搾油工場のゼロ・ディスチャージ化が周辺生物多様性に及ぼす影響を検討する指標になる要素を探索するため、多様性が比較的容易に分析できる環境微生物菌叢に着目することをねらいとする。

## ② 研究実施方法

九州大学、マレーシアサバ大学とも連携し、キナバタンガン川流域の適所にサンプリングポイントを設定する。

## ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

キナバタンガン川流域のパームオイル工場より適切な工場を決定することになっていた。

## ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

現在、本テーマで博士後期課程にマレーシア・プトラ大学より 1 名の学生がSATREPS枠の国費留学生として九州工業大学に留学中。

## ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

サバ州東部地区の治安改善の目途がたたず、現在のところ、サンプリングポイントの決定に至っていない。サバ州西部を含め、早急に適地の選定が必要である。

## 3. パームバイオマス残渣の有効利用法の開発

## ① 研究のねらい

パームオイル搾油工場のゼロ・ディスチャージ化のための省エネ・省資源により余剰になったエネルギー、バイオマスから、付加価値製品を生産できる技術開発と技術移転を目標とする。

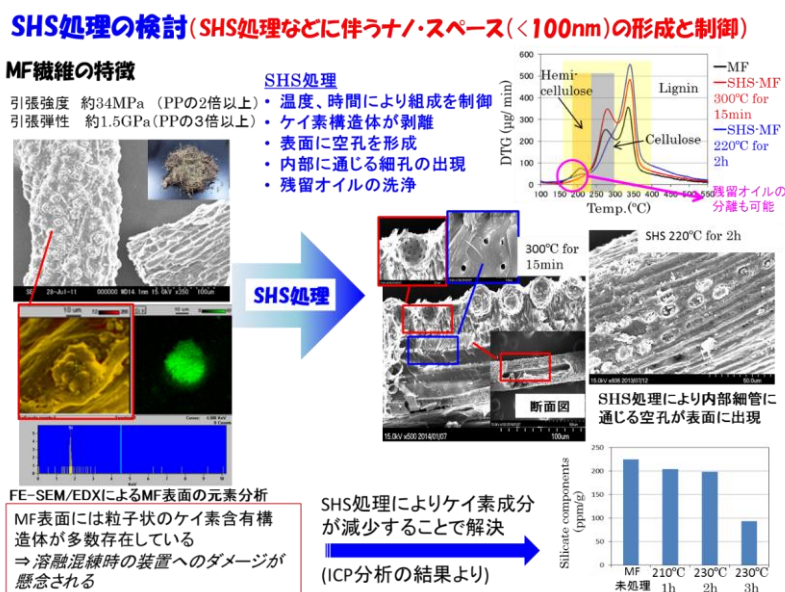
## ② 研究実施方法

産業技術総合研究所、九州大学、マレーシアサバ大学とも連携し、パームバイオマスの有効利用法を

研究する。特に、搾油工場で排出される膨大な廃蒸気を過熱水蒸気として利用する技術、それらバイオマスの表面を、気相重合技術を利用して処理し、ナノコンポジットを製造する技術の開発を行う。また、パームバイオマスであるパームオイル廃液処理汚泥とパームバイオマスから良質な肥料や炭をつくることで、様々な価値の製品をパームバイオマスから製造する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

以下に過熱水蒸気処理に伴うパームバイオマスのひとつであるメソカープファイバーの変化を簡潔にまとめた。



これらの結果と気相重合の結果に基づき、過熱水蒸気処理などに伴うナノ・スペース (<100nm) の形成と制御、ナノ・スペース内での気相重合によるナノ・インターフェース制御 (重合率対バイオマス 10%以上) というプロジェクト目標の達成に目途をつけうることができた。

④ カウンターパートへの技術移転の状況 (日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)  
 九州工業大学とマレーシア・プトラ大学が独自に実施するモビリティ・プログラム等を通じ、マレーシア・プトラ大学大学院学生が日本に長期滞在し、共同研究の推進に貢献した。

4. 社会実装のための事前調査

① 研究のねらい

ここで提案した方法をできるだけ早く社会実装させるため、一般企業を対象に研究進捗の情報提供と意見交換することがねらいである。

② 研究実施方法

年に1度、東京とサンダカンでワークショップを実施する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

2014年1月28日(土)にJICA竹橋研修所に約60名の企業からの参加者を集め、ワークショップを開催した。一方、サンダカンでの開催は、サバ東部地区の治安悪化のため開催できなかった。

④ カウンターパートへの技術移転の状況 (日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

ワークショップ当日は、マレーシア・プトラ大学、マレーシアサバ大学からの参加もあり、情報の共有が

図れた。

- ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば) サバ州東部地区の治安改善の目途がたたず、現在のところ、ショーケース工場の選定に目途が立った時点で、コタキナバルでのワークショップ開催を予定している。

産業技術総合研究所(マレーシア・プトラ大学)

### 3. パームバイオマス残渣の有効利用法の開発

#### ① 研究のねらい

パームオイル搾油工場で発生する残渣を有用物質に変換する新しい技術を開発し、ゼロ・ディスチャージと付加価値製品製造事業を達成するためのプロセス・デザイン・パッケージを提供することをねらいとしている。

#### ② 研究実施方法

マレーシアのパームオイル搾油工場で発生する残渣をマレーシア・プトラ大学で処理し、その一部を産総研へ運搬して性状検討とラボスケールでの前処理・糖化方法の研究開発を実施した。

#### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

当初計画通り、性状検討、前処理・糖化方法の研究開発を行っている。

#### ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

カウンターパートの研究者が産総研に長期滞在し、産総研の研究者と共同で研究を進めており、日本側から前処理・糖化に関する技術情報を提供している。一方、カウンターパート側からは、パームオイル搾油工場における残渣発生状況や利用状況に関する技術情報の提供を受けている。

#### ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

特になし。

九州大学(マレーシア・プトラ大学、マレーシアサバ大学)

### 2. 生物多様性に及ぼすゼロ・ディスチャージの影響

#### ① 研究のねらい

パームオイル搾油工場のゼロ・ディスチャージ化が周辺生物多様性に及ぼす影響を検討するために、多様性が比較的容易に分析できる環境微生物菌叢に着目し、その指標になる要素を探索し、明らかにすることをねらいとする。

#### ② 研究実施方法

パームオイル搾油工場周辺域や廃液が放流されるキナバタンガン川等から採取した環境試料中で、微生物菌叢を変化させずに研究室まで輸送する採取方法および DNA 抽出方法を開発する。また、古細菌/メタン生成菌をターゲットとする PCR プライマーの設計と濃度勾配ゲル電気泳動(DGGE)法への適用、さらに次世代ピロシーケンスによる網羅的な微生物菌叢解析手法の確立を行う。

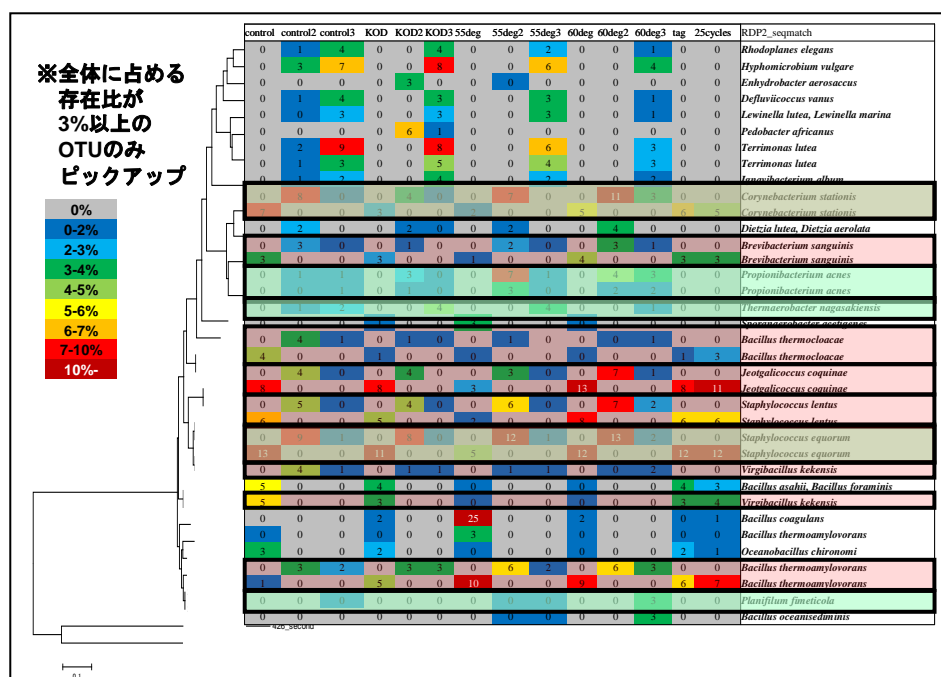
#### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

50 mL シリンジ、前ろ過フィルター(Mini Sarto 5.0  $\mu\text{m}$  filter; Satorious Germany)、本ろ過フィルター(Sterivex filter unit 0.22  $\mu\text{m}$  pore size; Milipore, Germany)を用いて、環境水試料(汽水、河川)1 L から本ろ過フィルターに充分量の微生物を捕集できた。すなわち、現地で電源を使用せずに環境水試料中の微

生物を濃縮し、本ろ過フィルター(10 cm 未満)を低温で研究室に輸送する採取方法を開発した。さらに、Powerwater Sterivex DNA Isolation Kit (MO BIO Laboratories, USA)を用いて微生物が捕集された本ろ過フィルターより DNA を抽出した試料を用いて、全細菌ユニバーサルプライマーにより PCR 増幅が行えることを確認した。

既に報告されている古細菌特異的およびメタン生成細菌特異的プライマーの塩基配列を入手し、RDP II の Probe Match を用いて各プライマーの細菌カバー率、古細菌/メタン生成菌のカバー率を算出することで候補を選抜し、古細菌特異的プライマー (ARC787F, ARC915R) とメタン生成菌特異的プライマー (Met357F, Met691R) を決定した。これらの各プライマーにより増幅した PCR 産物を用いて DGGE 解析を行い、古細菌群集は嫌気処理試料でより多様であり、POME のメタン発酵菌の構成は都市下水・合成排水に比べて特徴的であることが明らかとなった。

網羅的解析については、都市下水汚泥を原料とした高温コンポストを用い、多数試料の微生物菌叢を同時に分析するバーコードピロシーケンス法の条件を最適化し、QIIME ソフトウェア、Black Box Chimera Check ソフトウェアおよび独自の系統解析法を用いて、細菌の種レベルで帰属できる独自の系統解析方法を確立することができた(下図)。



④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

2014年2月上旬にマレーシア・プトラ大学に田代幸寛助教が訪問し微生物菌叢解析技術の1つであるDGGE法をデモンストレーションした。また、2014年2月下旬(2014年5月下旬まで)からマレーシア・プトラ大学より訪問博士研究員を九州大学で受入れ、微生物菌叢解析技術の教習を行っている。

3. パームバイオマス残渣の有効利用法の開発

① 研究のねらい

パームオイル搾油工場で発生する残渣バイオマスから付加価値製品を生産し、ゼロ・ディスチャージ化

のための技術開発と技術移転をねらいとする。

② 研究実施方法

九州工業大学、マレーシア・プトラ大学、マレーシアサバ大学とも連携し、パームバイオマス残渣から乳酸発酵により乳酸を製造するとともに、乳酸発酵残渣から良質の堆肥を製造し、植物栽培におよぼす肥効効果や栽培土壌中の微生物菌叢解析を行う。

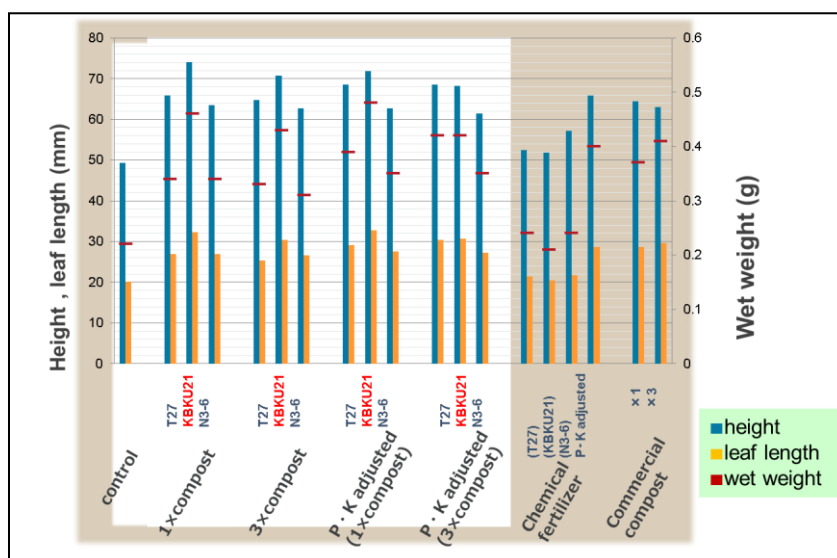
③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

生ゴミから植物成長促進菌(PGPB)である乳酸生産 *Bacillus subtilis* KBKU21 株、非 PGPB である *Bacillus subtilis* N3-6 株と *Bacillus coagulans* T27 株を用いて生ゴミから乳酸発酵を行った。その結果、KBKU21 株でも高い乳酸蓄積濃度、乳酸選択性、L-乳酸光学純度を示した(下表)。

各菌株における乳酸発酵結果

	乳酸蓄積濃度 (g/L)	乳酸選択性 (%)	L-乳酸光学純度 (%)
<b>KBKU21</b>	<b>29.5</b>	<b>88.1</b>	<b>95.7</b>
N3-6	37.8	94.7	92.8
T27	45.3	98.3	87.8

さらに、各菌株の乳酸発酵残渣から堆肥を製造し、コマツナ栽培における肥効検定を行った。その結果、非 PGPB である N3-6 株および T27 株の堆肥と比較して、植物成長促進機能を有する KBKU21 株における堆肥がコマツナの背丈長、葉長、重量等を向上させることが分かった(下図)。よって、本年度は、乳酸生産 PGPB を用いて製造した堆肥が植物栽培に有効であることが明らかとなるとともに堆肥の植物栽培における肥効効果の検証技術を開発できた。



④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

カウンターパートであるマレーシア・プトラ大学とマレーシアのパームオイル搾油工場が発生する残渣の運搬・取扱いに関するディスカッションを行い、情報を共有した。

### 3.成果発表等

#### (1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数 24 件（国内 0 件、国際 13 件）
  - ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、国際 14 件)
  - ③ 論文詳細情報
1. Tatsuya Yoshizaki, Yoshihito Shirai, Mohd Ali Hassan, Azhari Samsu Baharuddin, Nik Mustapha Raja Abdullah, Alawi Sulaiman and Zainuri Busu. “Economic Analysis of Biogas and Compost Projects in Palm Oil Mill with Clean Development Mechanism in Malaysia”, *Environment, Development and Sustainability*, **14**(6): 1065-1079 (2012).
  2. Tatsuya Yoshizaki, Yoshihito Shirai, Mohd Ali Hassan, Azhari Samsu Baharuddin, Nik Mustapha Raja Abdullah, Alawi Sulaiman and Zainuri Busu. (2013). “Improved Economic Viability of Integrated Biogas Energy and Compost Production for Sustainable Palm Oil Mill Management” *The Journal of Cleaner Production*, **44**, 1-7.
  3. Nik Anis Nik Mahmud, Azhari Samsu Baharuddin, Ezyana Kamal Bahrin, Alawi Sulaiman, Mohd Nazli Naim, Rabitah Zakaria, Mohd Ali Hassan, Haruo Nishida, Yoshihito Shirai, (2013). “Enzymatic saccharification of oil mesocarp fiber (OPMF) treated with superheated steam” *Bio Resources*. **8**(1), 1320-1331.
  4. Mohd Zulkhairi Mohd Yusoff, Anyi Hu, Cuijie Feng, Toshinari Maeda, Yoshihito Shirai, Mohd Ali Hassan, Chang-Ping Yu, (2013). “Influence of Pretreated Activated Sludge for Electricity Generation in Microbial Fuel Cell Application” *Bioresource Technology* **145**, 90-96.
  5. Baharuddin, A.S., Sulaiman, A., Kim, D.H., Mokhtar, M.N., Mohd Ali Hassan, Wakisaka, M., Shirai, Y., Nishida, H., (2013). “Selective component degradation of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) using high-pressure steam” *Biomass & Bioenergy* **55**, August 268–275.
  6. Noor Ida Amalina, Ahamad Nordin, Hidayah Ariffin \*, Yoshito Andou, Mohd Ali Hassan, Yoshihito Shirai, Haruo Nishida, Wan Md Zin Wan Yunus, Nor Azowa Ibrahim, Subbian Karuppuchamy, (2013). “Modification of Oil Palm Mesocarp Fiber Characteristics Using Superheated Steam Treatment” *Molecules*, **18**, 9132-9146.
  7. Mohd Huzairi Mohd Zainudin, Mohd Ali Hassan\*, Mitsunori Tokura and Yoshihito Shirai. (2013). “Indigenous cellulolytic and hemicellulolytic bacteria enhanced rapid composting of lignocellulose oil palm empty fruit bunch with palm oil mill effluent anaerobic sludge” *Bioresource Technology*. **147**, 632-635.
  8. Mior Ahmad Khushairi Mohd Zahari, Sharifah Sopliah Syed Abdullah, Ahmad Muhaimin Roslan, Hidayah Ariffin\*, Yoshihito Shirai and Mohd Ali Hassan. (2014) “Efficient utilization of oil palm frond for bio-based products and biorefinery” *Journal of Cleaner Production*. **65**, 252-260.
  9. Mohd Ridzuan Othman, Mohd Ali Hassan\*, Azhari Samsu Baharuddin, Yoshihito Shirai, Ahmad Amiruddin Mohd Ali and Juferi Idris. (2014). “Treatment of effluents from palm oil mill process to achieve river water



- quality for reuse as recycled water in a zero emission system” *Journal of Cleaner Production*. **67**, 58-61.
10. Mohd Huzairi Mohd Zainudin, Mohd Ali Hassan\*, Umi Kalsom Md Shah, Norhani Abdullah, Mitsunori Tokura, Hisashi Yasueda, Yoshihito Shirai, Kenji Sakai and Azhari Samsu Baharuddin. (2014). “Bacterial Community and Biochemical Changes Associated with composting of Lignocellulose oil palm empty fruit bunch” *BioResources*, **9**(1), 316-335.
  11. Ahmad Muhaimin Roslan, Mior Ahmad Khushairi Mohd Zahari, Mohd Ali Hassan, and Yoshihito Sshirai\* (2014) “Investigation of Oil Palm Frond Properties for Use as Biomaterials and Biofuels” *Trop. Agr. Develop.* **58**(1), 26-29.
  12. Yukihiro Tashiro, Hiroko Matsumoto, Hirokuni Matsumoto, Yuki Okugawa, Poudel Pramod, Hisashi, Miyamoto, Kenji Sakai\* (2013) “A novel production process for optically pure L-lactic acid from kitchen refuse using a bacterial consortium at high temperatures”, *Bioresource Technology*, **146**, 672-681.
  13. Takuya Noguchi, Yukihiro Tashiro, Tsuyoshi Yoshida, Jin Zheng, Kenji Sakai, Kenji, Sonomoto\* (2013) “Efficient butanol production without carbon catabolite repression from mixed sugars with *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* N1-4”, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **116**(6), 716-721.
  14. Saowanit Tongpim, Ratchanu Meoydong, Poudel Pramod, Satoshi Yoshino, Yuki Okugawa, Yukihiro Tashiro, Masayuki Taniguchi, Kenji Sakai\* (2014) “Isolation of thermophilic L-lactic acid producing bacteria showing homo-fermentative manner under high aeration condition” *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **117**(3), 318-324.

## (2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳 (国内 1件、国際 1件、特許出願した発明数 1件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数 (国内 1件、国際 1件)

## 4. プロジェクト実施体制

「九州工業大学」グループ (パーム廃液ゼロ・ディスチャージの有効利用法を示すショーケース工場の公開、余剰バイオマスとエネルギーにより創出されたグリーン産業の有効性の確認、グリーン産業創出とパームオイル製造に伴う環境負荷の低減に資する革新的研究、事業モデル有用性のサバ州政府、国内外投資家、当該地域企業への広い周知と研究成果の共有)

- ① 研究者グループリーダー名: 白井 義人 (九州工業大学大学院生命体工学研究科・教授)
- ② 研究項目
  - ・ パームオイル廃液ゼロ・ディスチャージの効用のショーケース工場での実証
  - ・ グリーン事業の提案と妥当性の証明
  - ・ 過熱水蒸気処理と気相重合法によるナノバイオコンポジット材料の開発

「産業技術総合研究所バイオマス研究センター」グループ (グリーン産業創出とパームオイル製造に伴う環境負荷の低減に資する革新的研究)

- ① 研究者グループリーダー名: 平田 悟史 (独立行政法人産業技術総合研究所バイオマスリファイナリー研究

センター・研究センター長)

② 研究項目

- ・ パームバイオマスの糖化技術の開発
- ・ パームバイオマスからナノファイバーの開発

「九州大学」グループ(グリーン産業創出とパームオイル製造に伴う環境負荷の低減に資する革新的研究)

① 研究者グループリーダー名:酒井 謙二(九州大学農学研究院・教授)

② 研究項目

- ・ 微生物叢の解析を伴う高機能コンポストの開発
- ・ 微生物叢の解析による生物多様性変化の研究