

マレーシアにおけるパームオイル産業の ゼロエミッション化にむけての取り組み

Towards Zero Emission from Palm Oil Industry in Malaysia

白井 義人^{1*}, モハメッド・アリ・ハッサン²
YOSHIHITO SHIRAI and MOHD ALI HASSAN

¹九州工業大学大学院生命体工学研究科 〒808-0196 北九州市若松区ひびきの2-4

²マレーシアプトラ大学生物工学・分子生物科学部 〒43400 UPM セルダンセランゴ州マレーシア

* TEL: 093-695-6070 FAX: 093-695-6060

* E-mail: shirai@life.kyutech.ac.jp

¹ Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology, 2-4 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, 808-0196, Japan

² Faculty of Biotechnology and Biomolecular Sciences, University Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang, Selangor, Malaysia

キーワード: パームオイル産業, バイオマス, 地球温暖化ガス削減, CDM

Key words: Palm Oil Industry, Biomass, Reduction of Global Warming Gas, Clean Development Mechanism (CDM)

(原稿受付 2009年6月21日 / 原稿受理 2009年7月6日)

1. はじめに

低炭素化社会の実現に向けて、バイオマス資源の利用に注目が集まっている。バイオマス変換についても、多くの優れた技術が開発されている。しかし、バイオマス利用に関しては、変換技術がどれだけ優れていても、それだけでは社会的に普及することは難しい。バイオマスは石油と比較すると安定した供給、効率的な輸送・貯蔵などロジスティックスの点で多くの問題を抱えている。たとえば、我が国のように四季のある国では、年間を通して都合よくバイオマスを集めることは難しい。また、廃屋材のように四季を通じて集めることが可能なバイオマスであっても、石油のように一定の品質が保証できるバイオマスを得ることも難しい。

その点、熱帯のバイオマスの中には油ヤシの木のように1年を通して安定して果実を収穫できるものもある。さらに、その実から取られる油は大規模な工場で連日搾油されるため、パームオイルの生産に際し、副生される膨大なバイオマスが工場に自動的に集積される。これらの大半は工場のエネルギーとして利用されているが、少なからずの均質のバイオマスが1年を通して安定的に獲得できる。本総説では、バイオマスの有効利用の観点から、マレーシアにおけるパームオイル産業のゼロエミッション化に向けた取り組みについて述べることにする。

2. パームオイル産業の現状

パームオイルは油ヤシの木の実から搾られる植物油で

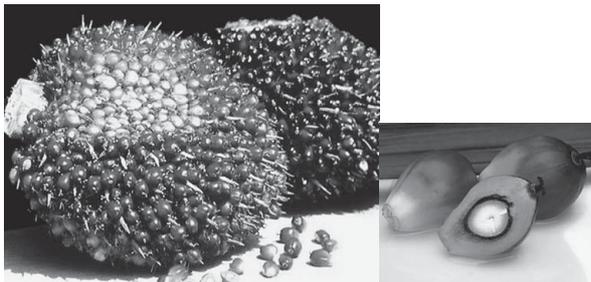
ある。ダイズ、ナタネと並び、世界3大植物油のひとつである。油ヤシは地上で最大の光合成能力をもつと言われているが、限られた気候条件の下でしか栽培できない。すなわち、温暖かつ恒温で高い日射量が要求される。また、定期的かつ多量の降雨が必要で、さらに、水はけのよい立地と、収穫のためには平坦な土地が広大に必要である。これらの条件に適合する場所は赤道周辺南北15°の地域に限られる。すなわち、先進国では決して栽培できない植物である。

マレーシアとインドネシア、タイ南部はこれらの条件に最適な場所であり、マレーシアが世界最大のパームオイル産油国のひとつである理由もここにある¹⁾。2000年におけるマレーシアの油ヤシプランテーションの総面積は3万3千平方キロメートルであり、マレーシア国土(33万平方キロメートル)の10%を占めている¹⁾。

図1に油ヤシの木とその実(FFB: fresh fruit bunch: 油ヤシ実房に1000個以上つく)の写真を示す。パームオイル産業では多くの場合、FFBの量を基準にさまざまなバイオマス量が見積もられる。たとえば、ヤシの実から搾ったCPO(粗パームオイル)の取率はFFBあたり約20%である。この値を下回ると、搾油工場の責任者の評価が下がる。搾油にあたって、まずFFBは蒸気を使って蒸煮される。現在の回分式の蒸煮プロセスでは、75分から90分にわたって、最高温度140°C(圧力+2気圧)をピークに2,3回圧力をスイングする操作がなされている。これはFFBから油ヤシの実を取りやすくすると同時にリパーゼ等の酵素を失活させ、CPOの劣化を防止するためである²⁾。



油ヤシの木



FFB

ヤシ油の実

図1. 油ヤシの木と FFB 及び油ヤシの実（油ヤシの木は最近品種改良されてつくられた低木種）

このとき分取されるのが EFB (Empty Fruit Bunch : ヤシ空房) である。EFB は蒸煮の蒸気により含水率が高く、燃焼させても得られるエネルギーは低い。次に、取られたヤシの実を搾汁し、油を搾る。ここで、実の中の核(ナッツ)と繊維(メソカップファイバー)が分離される。ナッツの中には種(その中に核油)が含まれ、核油を搾油する原料となる。ナッツを砕き、種を取り出した後、残る固形分が殻(シェル)である。メソカップファイバーとシェルは含水率が低く、良好な燃料になる。さて、搾油された油は湯と混合されて浄化される。こうして浄化された油が CPO となる。つまり、CPO は、1 回の収穫操作で 1000 個を超える実が一度に得られる効率的な作業で得た FFB から、機械的に実が分別、圧搾されて得た油を水でリンスするだけで得られるのである。搾油工程では水以外に使われるものは基本的にない。

このように比較的容易でコストのかかる薬剤の消費もほとんどないプロセスにより生産される CPO であるが、その価格は以外に高い。昨年(2008 年)石油の値段が 1 バレル 200 ドルに近づいた頃の CPO の価格は 1 トン 1000 ドルを越えていた。現在、値は下がったとはいえ、1 トン 700 ドルは下らない価格で取引されている。現在、マレーシアでは年間 1300 万トン以上の CPO が生産されているので、CPO だけに限っても、約 100 億ドルの価値となる。赤道周辺の開発途上国がマレーシアを習い、パームオイルに高い関心を示すのも、このように国を豊



図2. 搾油工場内に列を成す FFB を満載したトラック

表1. パームオイル搾油工程で排出されるバイオマスと必要なエネルギー

FFB 1 トンから CPO 生産量とバイオマス排出量 [トン]	
CPO	0.2
メソカップファイバー	0.12-0.13
シェル	0.06-0.07
EFB	0.22-0.24
POME	0.6-0.7
FFB 1 トンから CPO を製造する際に要する電力と蒸気量	
電力	17-18 kWh
加圧水蒸気 (+2 気圧)	1 トン

かにできる可能性がパームオイルに秘められているからである。

一方、CPO を製造する工程では、油中の水可溶分や比重の大きい SS (懸濁固形分) が洗浄水と共に廃棄される。これが POME (Palm Oil Mill Effluent : パームオイル廃液) である。POME は BOD が 1 万 5 千 ppm 以上、COD が 4 万 ppm、SS が 1 万 ppm もあり、生産された CPO の 2.5 倍から 3.5 倍も排出され³⁾、現在、年間 50 万トンの POME が排出されていると言われている⁴⁾。

3. パームオイル産業からのバイオマス資源

油ヤシの木は年間を通して FFB を産する。プランテーションで収穫された FFB は連日トラックに積み、搾油工場に運ばれる。工場からは連日、CPO が大型のものでは 40 トンを越える大きさのタンクローリーに積み、輸出港近くにある精製工場に運ばれる。図2に搾油工場前に列をなす FFB を運ぶトラックを示す。繁忙期には連日このような光景が見られる。搾油工場では、CPO 以外でも、FFB に含まれる成分は一旦工場に集積される。そのため、これを利用することは容易である。以下その量について検討する。

筆者が共同研究先の FELDA 社の技術者からヒアリングした結果によると、一般的にパームオイル産業から排出されるバイオマスや CPO 製造に必要な電力は表1に示すようにまとめられる。FELDA 社は世界最大のパームオイル企業のひとつである。搾油工場を 70 以上有し、1 工



図3. 搾油プロセスから排出されるメソカップファイバー



図5. POME 嫌気処理池

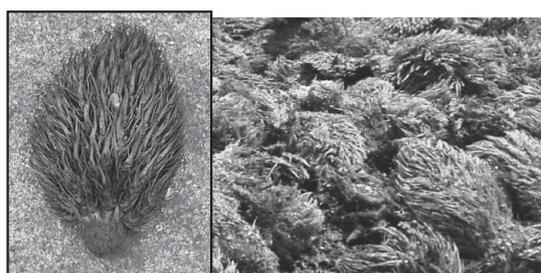


図4. 搾油プロセスから排出される EFB



図6. POME 処理用嫌気開放タンク

場あたり、搾油用に FFB を概ね 18 万トンが農家から買い上げられている。以降、この数字を基に考察を進める。

FFB の量を 18 万トン/年と仮定すると、1 工場から排出されるメソカップファイバー、シェル、EFB の量は、それぞれ、23000 トン、12000 トン、42000 トンになる。また、廃液である POME は約 12 万トン排出され、DOE (マレーシア環境局) の基準に基づいて処理されている。しかし、その処理法は後述するようにプリミティブである。

排出されるバイオマスのうち、メソカップファイバー (図3) は実の中の油とナッツを除いた部分であるが、含水率が低く、また、灰分も少ないため搾油工場の燃料源として利用されている。表1から計算できるように、18 万トンの FFB を処理するためには 315 万 kWh (270 万 Mcal) の電力と 18 万トンの加熱水蒸気が必要になる。プロセス温水は一旦水蒸気にされ、凝縮後、リンス用として用いられている。したがって、これらが POME となり、その量も 12 万トンと大量になる。これらのエネルギーは現状ではメソカップファイバーとシェルの一部の燃焼により賄われている。このように考えるとエネルギーの多くは蒸気製造に用いられていることがわかる。

一方、EFB については 1 工場あたり、42000 トンと膨大であるが、含水率が 60 ~ 70% もあるため、発熱量が低く、燃料としてはあまり好ましくない。EFB の写真を図4に示す。一方、EFB はカリ成分が多く含まれるため、優れた有機肥料となり得る¹⁵⁾。実際、古い工場では焼却炉で焼却され、燃え残った灰をカリ肥料として売られている。また、新しい工場や都市部に近い工場では焼却が許されておらず、プランテーションの保水効果を

向上させる補助材として、プランテーションに返送されているところが多い。これは結果的にカリ成分のプランテーションへの返送につながり、プランテーションの持続性の維持に一役買っている可能性は高い。

昨今、EFB がバイオマス資源・燃料として注目され、一部にはもう自由に獲得できるものではないという情報も流れているが、もし EFB が海外に多量に持ち出されるようなことになれば、プランテーションの持続性を損なう可能性が懸念される。

4. POME 処理とメタン発酵

パームオイル搾油工場から排出される廃液 (POME) は量が多いばかりでなく、高濃度である。さらに、成分的にも難分解なリグノセルロース分を多く含み、一般的に処理は容易でない。マレーシアでは POME のメタン発酵については 1980 年代から多くの研究がある⁵⁻¹⁰⁾。しかし、それらの結果はいずれも十分な処理のためには、POME の長い滞留時間が必要であることが示されている。実際、POME の処理は図5で示すような広大な嫌気処理池 (深さ 5 m 以上) をいくつも用い、好気処理も含め、60 日程度の処理時間をかけて処理されている。そのため、搾油工場には工場敷地の数倍の面積の POME 処理池を備えるところも珍しくない。

一方、嫌気処理池をつくる広さが足りない立地条件や、工場建設時に鉄の価格が低かったなどの条件で、図6に示すような嫌気処理タンクを複数備える工場もある。図

でも示すように、このタンクの上部は開いており、嫌気処理池と同様、生成したメタンはそのまま大気中に放出されている。現在のところ、メタンを回収して利用している搾油工場は非常に少ない。放出されたメタンは炭酸ガスの21倍の温暖化係数をもつガスであり、地球温暖化問題の観点からは、その放出は制限されるべきである。

現在、パームオイル産業は収益性が高い産業である。また、パームオイルそのものが生産できる場所が限られており、新規参入の競争者が多く現われる心配も少ない。そのため、現状を大きく改変する動機も少ない。POMEからメタンを回収し、発電事業や毎日集まっている膨大なバイオマスを用いて新しい事業を始めることも、必ずしも積極的でない。しかし、ここにはバイオマスを利用できる多くのチャンスがあることも確かであり、第3者がパームオイル企業と連携して、新産業を興すことは十分に可能である。

筆者らは、POMEのメタン発酵大型パイロットプラントをFELDA社と共同でつくり、同社のSerting Hilir工場に設置し、実験を行った。このタンクは縦方向と横方向の循環流による攪拌ができるようになっている。また、汚泥の回収用沈降槽を設け、汚泥を返送し、微生物濃度を高く保つこともできる。図7にそのパイロットプラントを示す。

POMEを1日に1回供給するだけの操作で攪拌を行わない操作でメタン発酵を試みた。その結果、POMEの液滞留時間を17日に設定することによって、POME投入開始後3ヶ月で安定的な廃液処理が可能になった。すなわち、COD除去率97%で安定した。しかし、メタンのCODあたりの収率は低く、COD 1 kgあたりわずか0.1 kgしか発生しなかった。これは微生物濃度が高く保てなかったことと、POMEの成分が難分解性の成分が多く、見かけ上、メタン収率が低下したことにも因ると考えられる¹¹⁾。

一方、横方向の液流をポンプで起こし、緩やかに攪拌すると液滞留時間を10日に短縮することに成功し、COD除去率も92%~97%を記録した。メタン収率も0.15 kg/kg-CODまで上昇させることもできた¹²⁾。しかし、メタン収率は一般的な値と比較すると低い。これはPOMEのCOD成分として難分解性の成分を多く含むことによると考えられる。



図7. Serting Hilir工場に設置された500 m³のPOMEメタン発酵パイロットプラント

5. 地球温暖化ガス削減の方法論としてのCDMとパームオイル産業での適用

FELDA社とは2004年より国際産学共同研究契約を結び、様々なバイオマス利用とPOMEの処理、並びに地球温暖化の経済的な対策手法として京都議定書でも認められたClean Development Mechanism (CDM)の認証を得ることもテーマとして取組んだ。CDMとは、開発途上国と先進国が協力し、途上国で温暖化ガス削減事業を行った場合、その削減量を両者で共有できる制度である。この際、先進国から温暖化ガス削減に資する技術移転を伴う必要がある。認証は国連のCDM理事会によってなされる。CDM事業が認められるためには、現在どれだけの地球温暖化ガスが放出されており(ベースライン)、それがCDM事業を行うことにより、どの程度低減されるかを客観的に説明せねばならない。また、CDM事業にすることにより、つまり、削減温暖化ガスの売買取益を入れることによって初めて事業性が生まれる(Additionality)事業である必要もある。さらに、CDM事業が途上国の持続可能な成長に貢献することも求められる¹³⁾。

前節で述べたように、パームオイル産業では廃液処理工程で多くのメタンガスが大気中に放出されている。筆者らは開放式タンクによるPOME処理工程でどれだけのメタンが放出されているかを、Serting Hilir工場で1年間を通して測定した¹⁴⁾。さらに、Serting工場の嫌気処理池でも年間を通じ、メタン発生量を測定した⁴⁾。これらの工場ではPOME処理後に河川放流する際の放流点でのCODの記録が残されている。そのため、メタンの放出量とCODの削減量との関係を調べた。その結果を図8に示す。この関係があれば、工場の廃液処理実績記録を見れば、その年にどれだけのメタンが放出されていたかを見積もることができ、客観的に検証をすることができる。

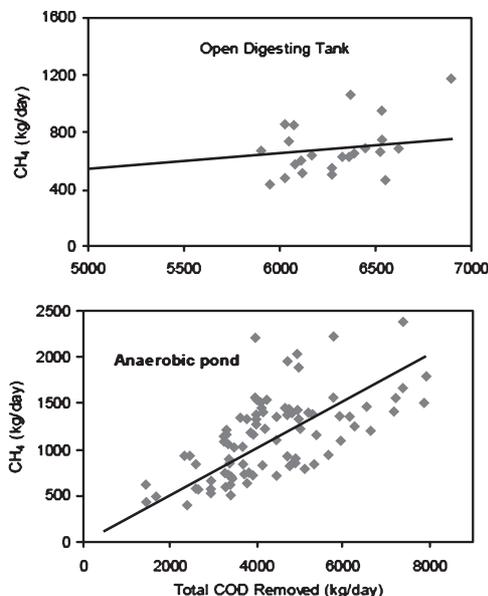


図8. POME処理後のCOD変化と発生メタン量の関係

これらの結果に基づき、FELDA 社は Serting Hilir 工場の 6 基の開放系 POME 処理タンク (1 基 3,600 m³) を蓋閉めし、槽内をポンプで攪拌する方式でメタン発酵を行い、発生したメタンをガスエンジンによって発電し、マレーシア電電公社 (TNB) に売電する CDM 事業を企画した。6 基のタンクの内第 1 タンクは POME の貯留に、最後の第 6 タンクはバルーン方式のメタン貯留タンクとして利用されている。この事業の提案書は国連の CDM 理事会に送られ、審査の結果、2009 年 3 月に国連に登録された¹³⁾。

CDM を申請した計画書 (Project Design Document: PDD) によると、この CDM 発電事業の発電量は 1300 kW であり、年約 35,000 トンの CO₂ 換算の温暖化ガス削減が認められている。設備費は約 1000 万リンギット (3 億円 : 30 円/リンギットと仮定) である。電気の売電収入は年約 100 万リンギット (3,000 万円) と見積もられている。もし温暖化ガス排出権の売買収入を事業に組み込まない場合、内部収益率 (Internal Rate of Return: IRR) は 5.3% と見込まれている。一方、温暖化ガスの排出権事業収益を組み込んだ場合、IRR が 10.7% と見込まれている。FELDA 社の通常事業における標準的な IRR 目標は 11.7% であると記載されており、温暖化ガス排出権事業を組み込まなければ、FELDA 社としては事業として認められないことがわかる。Additionality はこのように考えられている。この際、温暖化ガス排出権の価格が上れば、IRR はさらに向上するが、どれだけ上っても CDM が無効になることはない。

6. パームオイル産業の持続性と有機肥料製造

これまでに述べてきたように、パームオイル搾油工場には EFB をはじめ膨大な量のバイオマスが集積している。特に、EFB は現在必ずしも必要とされておらず、そのまま焼却されることもあり、また、プランテーションに投棄されているとみなせることも珍しくない。そのため、EFB は均一なバイオマス資源として、しばしば海外からバイオマス燃料として注目される。しかし、前述したように、EFB はプランテーションに返送されることによって、結果としてカリのバランスを保っている可能性があるため、EFB の無秩序な海外持ち出しは、プランテーションの持続性に支障をきたす可能性を否定



図 9. Serting Hilir 工場のパームオイル廃液のメタン発酵による CDM 発電事業の現場

できない。

そもそも、有機肥料も安定した品質を問うのであれば、原料成分が安定していることが必要である。パームオイル搾油工場から排出される EFB は均質で安定している。一方、前節で述べた POME の処理に伴い副生する汚泥は、大部分が微生物により占められており、優良な窒素源となり得る。この汚泥も POME の品質が安定しているから、安定することが期待できる。すなわち、EFB と POME 処理後の汚泥を原料にすれば、高品質の有機肥料が安定して製造できるはずである。

有機肥料を EFB と汚泥から作る場合、基本的には好氣的に微生物を働かせ、炭素分を炭酸ガスの形で放出させることにより、結果的に、生物起源の有機物中に含まれる肥料成分である窒素、リン酸、カリ分の割合を高めていくのである。したがって、EFB の炭素分を炭酸ガスとして無為に放出するのではなく、エタノールや有機酸をはじめとした付加価値の高い製品として固定し、副生する灰分を肥料とするような仕組みがつけられるのであれば、プランテーションの持続性は損なわれないであろう。

筆者らはそのような観点から、FELDA 社と共同で EFB と POME 処理汚泥からの有機肥料製造について研究している。図 10 は FELDA 社の 1 工場で現在つくられている有機肥料の製造工程を示す。

工場に集積された EFB はシュレッダーによって破碎される。破碎 EFB は繊維状に解かれており、長さは数 cm 程度である。これらは 5 ha 程度の土地に幅 3 m 長さ 100 m、高さ 1.5 m 程度の畝に成形され、日に数回、自走式の切返し機により切返される。同時に、嫌気処理池で半ば処理された POME が散布される。最後はカバーがかけられ、熟成と発酵熱により、乾燥される。肥料は 8 週間かけて製造される。図 11 につくられた有機肥料を示す。見た目にはまだまだ十分に有機物の分解が完了していないように見える。

一方、この肥料の主な組成は C/N が 12 ~ 14、水分含量 65% ~ 75%、窒素 1.5% ~ 2%、リン 0.5% ~ 1%、



EFB の集積



EFB の破碎



破碎 EFB で畝に



自走式の切返し機



処理後 POME 散布



雨避けと肥料の熟成

図 10. EFB と POME からの有機肥料の製造



図 11. EFB と POME からつくられた有機肥料

カリ 2%~3%, pH 7.7~8.5 であった。筆者が直接工場を確認したところ、この工場ではこの肥料を近隣の農家に有償で提供していたが、1 トンあたり 80 リンギット (2400 円) で流通していた (2008 年)。製造現場で、しかも、地元の農家が工場に取りに来てこの価格であるので、有機肥料は相当高値で取引されているように思われる。さらに、高速で分解し、より良好な肥料ができれば、一度に輸送できる有機肥料の量がさらに増えるので、収益はますます上がる。このような分野にも我が国の進んだ技術を移転し、相互互惠で利益を分配することも可能である。

ここで紹介したように、バイオマス利用で、最終的な灰分や汚泥といった我が国では廃棄物となるものが、マレーシアのパームオイル産業では肥料として、十分な事業性をもって利用できる可能性がある。このことは、経済と両立するプランテーションの持続性にとって重要である。

7. パームオイル産業と生物多様性の保全

パームオイル産業と聞いて、熱帯雨林の破壊を直感する人は少なくないと思う。実際、クアラルンプール国際空港の周辺は見渡す限り油ヤシのプランテーションである。これを見て、嘆く日本人はいても、賞賛する日本人はほとんどいないだろう。しかし、世界の状況はどうだろうか? 表 2 に世界の主要国の農地面積割合と森林面積を示し、パームオイルの主な産油国であるマレーシア・インドネシアのそれらとの比較を示す。

表より、峻険な山々と周囲を海で囲まれた日本を除き、世界の先進国は概ね、国土の半分が農地であり、森林の割合は 10%~30% ということがわかる。(日本も山岳部を除いて考えると、ほぼ主要国と同様になると考えられる)。他方、マレーシア、インドネシアは農地が 25% 程度、概ね半分は森林と、先進国の真逆の状況にある。マレー半島やスマトラ島では平坦な地域が多いことを考えると、自然はむしろよく保全されていると評価できるのではないだろうか? つまり、先進国は自国の自然を十分に開発しつつした上に現在の豊かさを享受しているのである。インドネシアでは 1995 年の森林割合は 60% あり、この 10 年で 10% 以上も森林割合が減少している²⁰⁾。しかし、2 億 3 千万人も人口をかかえるインドネシアにおいて、ここ 10 年の発展からすると、むしろよく 10% の減少で留めたと評価すべきかもしれない。なぜなら、インドネシアと先進国では豊かさの意味が違うからであ

表 2. 世界の主要国とマレーシア・インドネシアの土地利用割合の比較

国名	国土に対する農地割合 [%] ¹⁶⁾	国土に対する森林割合 [%]
日本	13.7	68.9 ¹⁷⁾
ドイツ	47.6	30.2 ¹⁷⁾
フランス	53.8	31.6 ¹⁷⁾
イギリス	69.6	11.6 ¹⁷⁾
合衆国	42.5	32.6 ¹⁷⁾
マレーシア	23.9	56.2 ¹⁸⁾
インドネシア	23.9	48.8 ¹⁹⁾

る。先進国の豊かさは贅沢を意味するが、インドネシアの豊かさは基本的人権を担保するための手段にすぎない。筆者らはもちろんマレーシア、インドネシアの自然と生物多様性が先進国なみに失われてしまうことを認めるものではない。むしろ、できる限り保全されるべきであると考え。しかし、現状から 1 cm も開発を認めないとは、決して思わない。地球の自然から恩恵を得る権利は人類全体にあり、決して早いもの勝ちではない。

パームオイル産業には自然と共生しつつプランテーション地域をより発展させる潜在力がある。これは農業としてのパームオイル生産の特殊性による。図 12 に示すように、油ヤシプランテーションの内部は空間と多種類の動植物によって構成されている。この点は、米でも麦でもとうもろこしやさとうきびでも、一般的な農業が平面の利用しかできないことと根本的に異なる。すなわち、油ヤシの木の根元には相当広い土地が広がり、一般的に、ここにはマメ科の植物が植えられている。これらにより、空中窒素が肥料として固定される。さらに、これら下草は肉牛の飼育にも利用され、その糞も肥料になる。一方、油ヤシの実にとって最大の害獣である野ねずみの駆除についても、経済的観点からも、殺鼠剤をまくよりも、梟や蛇といった天敵をこの空間に巧みに住まわせ、駆除されている。我が国においても、稲作で、合鴨農法が注目され、また、自然との共生農法として賞賛されているが、油ヤシのプランテーションでは経済合理性から、このように自然と共生した農法に自然に進化している。

一方、プランテーション地域の発展についても、パームオイル企業は大きな期待を寄せ、貢献を考えている。なぜなら、プランテーションの農家が離農すると、せっかく開発したプランテーションが荒廃し、また、新たなプランテーション開発が必要になるからである。これは熱帯雨林のさらなる破壊につながるということもあるし、より切実には、既存のプランテーションを維持した方が、新たな開発よりもはるかにコストが低く抑えられるからでもある。

そのためには、プランテーション住民にプランテーションに残ってもらう政策が必要である。まずはプランテーションでの農作業の軽減化が必要である。これには、収穫作業の機械化、自動化、ロボット化が求められている。これも油ヤシの栽培が空間を利用した農法であることを考えると、より広いスペースの利用が可能であり、様々なアイデアを考えることができよう。



FFBの収穫風景



牛の放牧

図 12. 油ヤシプランテーション内部と牛の放牧

次に必要なことは、プランテーション住民のさらなる雇用の創出である。農法が機械化されれば、人手は少なく済む。そのため、余剰労働力を吸収する仕事が必要である。このために、FELDA 社では SAWARI（一村一品運動）を展開している。たとえば、筆者らのパイロットプラントがある Seriting Hilir 地域では、農家の奥さんや娘さんを集め、FELDA 社の社員、関係者（20 万人以上）のユニフォームを一貫生産している。また、半島中部のプランテーションでは、湯量の豊富な温泉が見つかり、これをベースにホテルリゾートを展開している。

さらに、油ヤシプランテーションは熱帯雨林との境界地に位置する所が多い。そのため、プランテーションをツアー拠点とし、熱帯雨林を損なわないように気をつけたエコツアーを企画することが可能である。前節で説明したように、パームオイルは積出港まで大型のローリーにより運ばれている。このことは、どんな山間僻地にある搾油工場でも、そこまで重いローリーが通っても壊れない程度の道が整備されていることを意味する。したがって、自然を破壊しないエコツアーは容易に企画できる。

このように、プランテーション地域をパームオイルの収入に加え、さらに事業を創出し、地域住民の発展が検討され、実行されている。

8. パームバイオマスと新産業の創出（おわりに）

これまで述べてきたように、パームオイル搾油工場

には EFB、メソカップファイバー、シェル等、均質のバイオマスが定常的に集積されている。さらに、これらバイオマスは主に加熱水蒸気をつくるために使われている。現在、FFB の高温高圧での水蒸気処理は改良されつつあり、これまでの回分操作から、低圧の連続操作に変わりつつある。連続の加熱水蒸気処理の場合、使用水蒸気の量は大きく減量させることができる。このことは、搾油工場にさらに余剰の均質バイオマスが得られる可能性がある。

一方、我が国にはこれまで、石油ショック、地球温暖化問題の克服のため、さまざまな省エネルギー、先端環境技術を開発してきた。バイオマスの変換要素技術においても、世界最先端レベルのものが数多くある。これらの技術をもって、マレーシアのパームオイル産業との協働によって、さまざまなバイオマス起源の高い付加価値の製品を提供する仕組みをつくることで、我が国の先端技術が優位に活かされる機会を得ることができる。

さらに、ここでは地球温暖化ガスの削減を同時に行うことができ、また、パームオイルプランテーション地域の発展につなげることができる。パームオイル産油国で最も発展しているマレーシアで成功すれば、それに続く、インドネシア、タイ、ナイジェリア、バブアニューギニア等、開発途上国の発展のテキストとすることにより、世界の低炭素化と持続可能な発展につながるのではないだろうか。

文 献

- 1) Basiron, Y., and A. Darus. 1996. The Oil Palm Industry—from pollution to zero waste. *The Planter*. 72: 141–165.
- 2) Simarani, K., M.A. Hassan, A.A. Suraini, M. Wakisaka, and Y. Shirai. 2009. Effect of Sterilization Process on the Physicochemical Characteristics and Enzymatic Hydrolysis of Empty Fruit Bunch. *Asian Journal of Biotechnology*. in press.
- 3) Chooi, C.F. 1984. Ponding System for Palm Oil mill Effluent Treatment. *Proceedings of Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM) Workshop*. 9: 53–62.
- 4) Yacob, S., M.A. Hassan, Y. Shirai, M. Wakisaka, and S. Subash. 2006. Baseline Study of Methane Emission from Anaerobic Ponds of Palm Oil Mill Effluent Treatment. *Science of The Total Environment*. 366: 187–196.
- 5) Keong, W.K. 1981. Soft energy from palm oil and its wastes. *Agricultural Wastes*. 3: 191–200.
- 6) Ng, W.J., K.K. Wong, and K.K. Chin. 1985. Two-phase anaerobic treatment kinetics of palm oil wastes. *Water Res.* 19(5): 667–669.
- 7) Cail, R.G., and J.P. Barford. 1985. Mesophilic semi-continuous anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Biomass*. 7: 287–295.
- 8) Cail, R.G., and J.P. Barford. 1985. Thermophilic semi-continuous anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Agricultural Wastes*. 13: 295–304.
- 9) Ng, W.J., C. Anthony, C. Goh, and J.H. Tay. 1987. Palm oil mill Effluent (POME) treatment—An assessment of coagulants used to aid liquid-solid separation. *Biological Wastes*. 21: 237–248.
- 10) Ma, A.N., and A.S.H. Ong. 1988. Treatment of palm oil streliser condensate by an anaerobic process. *Biological Wastes*. 23: 85–97.
- 11) Yacob, S., Y. Shirai, M.A. Hassan, M. Wakisaka, and S. Subash. 2006. Start-up operation of semi-commercial closed anaerobic digester for palm oil mill effluent treatment. *Process Biochem*. 41: 962–964.

- 12) Alawi, S., M.A. Hassan, Y. Shirai, A.A. Suraini, M. Tabatabaei, B. Zainuri, and S. Yacob. 2009. The Effect of Mixing of Methane Production in a Semi-commercial Closed Digester Tank Treating Palm Oil Mill Effluent. *Australian Journal of Basic and Applied Science*. in press.
- 13) <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1227808382.8/view>
- 14) Yacob, S., Y. Shirai, M.A. Hassan. M. Wakisaka, and S. Subash. 2005. Baseline study of methane emission from open digesting tanks of palm oil mill effluent treatment. *Chemosphere*. 59: 1575–1581.
- 15) 永富 悠, 山本博巳, 山地憲治, 岩崎 博, 山田興一. 2008. マレーシアにおけるパーム残渣のエネルギー利用と技術競合に関するシステム分析. *J. Japan Soc. Energy Resource*. 29(5): 1–7.
- 16) (財) 矢野恒太郎記念会. 2006. 世界国勢図会. 222–224.
- 17) OECD Environmental Data Compendium. 2004. (<http://www2.ttcn.ne.jp/~honkawa/0680.html>)
- 18) http://areainfo.asafs.kyoto-u.ac.jp/japan/fsws/2005_thai/natio_laosst/natio.html
- 19) <http://www.eco-future.net/eco/indonesia.html>
- 20) <http://bg66.soc.i.kyoto-u.ac.jp/forestgps/indonesia.html>