

# 1 . 調査の概要

## 1 . 1 調査の背景及び目的

### ( 1 ) 調査の背景

1997年12月に気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議(COP3)が開催され、二酸化炭素を含めた温室効果ガスによる地球温暖化防止のため、日本については2008年から2012年の平均排出量を1990年レベルより6%削減(先進国全体で5%削減)するという目標が「京都議定書」として採択された。

京都議定書では、目標達成の柔軟性措置として、先進国・途上国間の「クリーン開発メカニズム(CDM)」、先進国間の「共同実施(JI)」等の京都メカニズムを活用することが盛り込まれている。

従って、わが国としては、CDM、JIとして効果の高いプロジェクトを発掘するとともに、CDM、JIの仕組みに対する国内・国際ルールづくりに必要な知見を蓄積することが温暖化対策の重要な課題となっている。温室効果ガスの排出削減や吸収源強化につながるプロジェクトについて、フィージビリティ調査を実施し、CDM、JIの仕組みを導入するにあたっての具体的な課題を検討することが必要となっている。

### ( 2 ) 調査の目的

マレーシアでは、特産であるパームオイルの廃液を、熱帯の特性を利用したラグーン(嫌気処理池 以下ラグーンと呼ぶ)で処理しているが、その有機分の多くはメタンの形で大気中に放出されている。

本調査は、上記背景を踏まえ、CDMの事業フレームを導入することにより、パームオイル廃液から発生するメタンを回収し、外部への排出を削減する一方で、未利用エネルギーとして利用し、かつ排水負荷を削減する事業の実施可能性を検討することを目的とする。

## 1 . 2 調査の課題

### ( 1 ) メタンの発生量に関する調査

マレーシアでは、パームオイル廃液をラグーンにより処理することで、年間15万t~30万tのメタンが排出されていると言われていたが、これは物質収支からの推定値であり、CDMを前提にした調査はまだなされていない。本調査では、パームオイル工場において、パームオイル廃液とラグーン放流水の組成分析を行うとともに、メタン発生量について分析し、最終的にマレーシア全土のラグーンから排出されるメタン量の調査が必要とされた。

### ( 2 ) マレーシアにおけるパームオイル廃液処理にかかる政策動向調査

マレーシアのパームオイル廃液処理及び未利用エネルギー利用に係る政策動向について関連情報の収集が必要とされた。

### (3) パームオイル廃液処理システムの検討

高速の嫌気処理システム方式代替案を検討するとともに、エネルギー回収方式又は有機酸としての高付加価値化方式の検討及びメタン醗酵廃液の効果的な処理に関するシステムの検討が必要とされた。その際はシステム導入による温室効果ガス排出の有無についても検討が求められた。

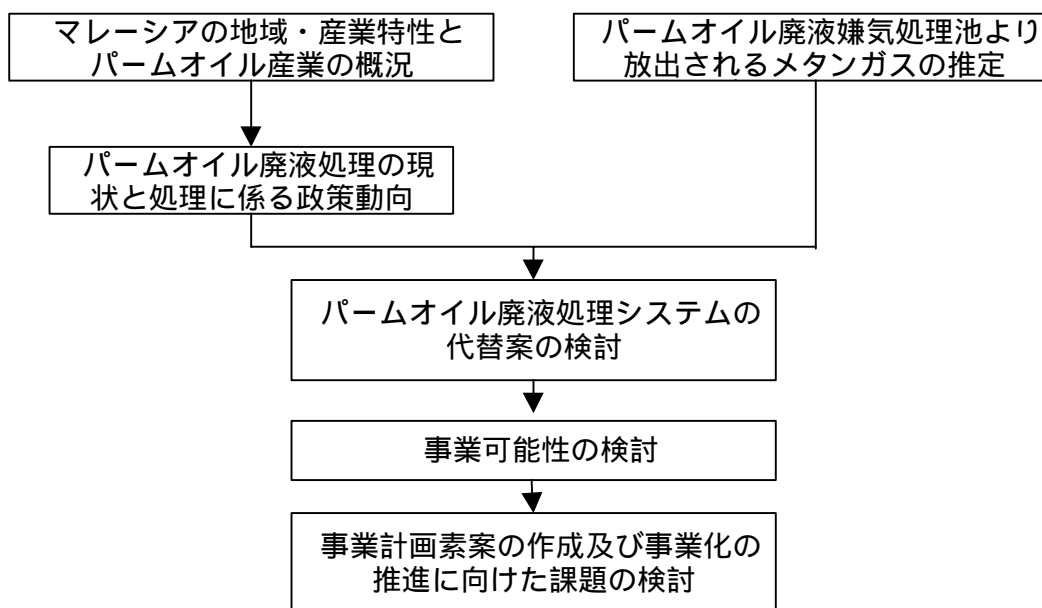
また、パームオイル産業から排出される固形廃棄物（バイオマス）の有効利用とその際の温室効果ガス削減システムの可能性検討が必要とされた。

### (4) 事業可能性の検討

システムの建設のために必要となる設備の建設コストや維持管理費などのコストに関し、CDMのスキームによるメリットなども考慮して事業化の可能性の検討が必要とされた。また、事業実施計画素案の作成と、事業効果の検討が求められた。

## 1.3 調査の内容

### (1) 調査フロー



## (2) 調査内容

### マレーシアの地域・産業特性とパームオイル産業の概況

既存資料に基づき、マレーシアの地域・産業特性、エネルギー事情、及び温室効果ガスの排出状況を整理した。また、マレーシアにおけるパームオイル産業の歴史や位置付けを整理するとともに、パームオイルの生産状況等をまとめた。

### パームオイル廃液処理の現状と処理に係る政策動向

既存資料に基づき、現状のパームオイル廃液の処理や有効利用についての全体状況を整理するとともに、今回の現地調査に基づき、国営パームオイル企業である FELDA 社の調査対象工場におけるパームオイル廃液等処理及び有効利用状況をまとめた。さらに、パームオイル廃液処理に係る政策動向について既存資料やヒアリング調査結果に基づき整理を行った。

### パームオイル廃液嫌気処理池より放出されるメタンガスの推定

メタンガスの推定方法を検討し、既存のパームオイル廃液のラグーン及び開放系タンクから排出されるメタンガスの実測調査に基づき、メタンガスの放出量の推定を行った。さらに、今後のパームオイルの生産動向を踏まえ、メタンガス放出量の将来推計を行うとともに、ベースラインを設定するための検討を行った。

### パームオイル廃液処理システムの代替案の検討

現在のラグーン方式に代わるパームオイル廃液処理システムの代替案を挙げてそれぞれの技術の概要及び導入見込み等を検討し、代替案の評価を行った。

### 事業可能性の検討

で検討した代替案のうち、現在の技術レベルで導入可能で、かつ事業性を見込めるシステムを取り上げ、その事業可能性の概略検討を行うとともに、事業性を評価した。

### 事業計画素案の作成及び事業化に向けた課題の検討

本プロジェクトの意義を整理し、事業スキーム案、施設整備計画、本事業によるCO<sub>2</sub>削減効果、事業コスト、モニタリング計画、事業化に向けたステップとスケジュールを検討し事業計画素案を作成した。また、プロジェクト実施による間接影響を検討するとともに、本事業の実施化に向けた課題の検討を行った。

### (3) 調査の実施方法

本調査は、白井義人九州工業大学教授をチームリーダーとする主に以下のメンバーによるプロジェクトチームをつくり、プロジェクトに関連する情報・データ収集を行った。さらに、マレーシアプトラ大学（UPM）を現地カウンターパートとして共同で現地調査を行い、メタンガス発生量の推計や事業化に必要なディスカッション等を行った。

#### 日本側調査団の構成

(プロジェクトリーダー) 白井 義人：九州工業大学大学院 生命体工学研究科 教授  
 森長 一宏：住友重機械(株)プラント・環境事業本部 環境システム事業センター 環境ソリューション室 室長  
 鈴木 進一：(株)エックス都市研究所 環境社会計画部 部長  
 脇坂 港：九州工業大学大学院 生命体工学研究科

#### 現地カウンターパートの構成(マレーシアプトラ大学 食品生物工学部)

Mohad Ali Hassan： 生物工学科 助教授  
 Shahrakbah Yacob： 生物工学科 講師  
 Sim Kean Hong： 生物工学科

また、現地調査が終了した時点で、井村秀文名古屋大学教授及びマレーシア政府関係者を含めたステアリング委員会を開催して、本調査結果に基づき、マレーシアにおけるCDM事業の実施に向けた意見交換を行い、調査結果のまとめ方や事業化に向けた課題に関して助言を受けた。

表1-1 ステアリング委員会名簿

名前	所属及び肩書き
井村 秀文	名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 教授
Nadzri Yahaya	科学技術環境省 環境保全管理局 次席局長
Mohd. Zahit Ali	科学技術環境省 環境保全管理局 副局長
Lethumana Ramatha	科学技術環境省 環境保全管理局 副局長
Thiyagarajan Velumail	エネルギー通信マルチメディア省 エネルギー局 副局長
Ma Ah Ngan	国立マレーシアパームオイル局 エンジニアリング/プロセス研究部 部長
Subash Sunderaj	FELDA パーム工業 エンジニアリング/特別プロジェクト/R&D局 局長
B.G.Yeoh	SIRIM 環境エネルギー技術センター/センター長
Mohad. Ismail Abdul Karim	マレーシアプトラ大学 生物科学研究所 副研究所長
Azni Hj. Idris P.M.C	マレーシアプトラ大学 工学部 廃棄物技術センター長

## 2. マレーシアの地域・産業特性とパームオイル産業の概況

### 2.1 マレーシアの地域・産業特性と温室効果ガスの排出状況

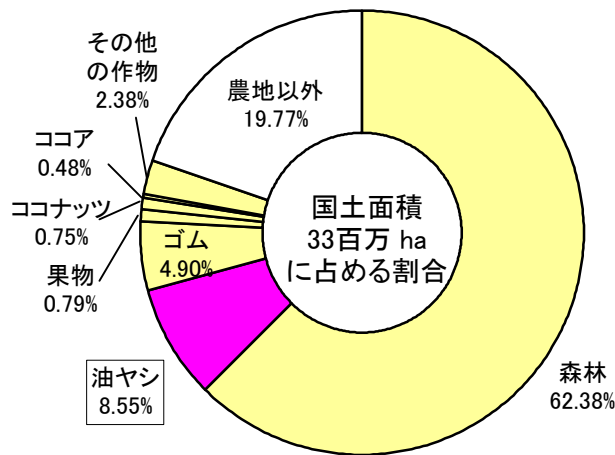
#### (1) マレーシアの地域・産業特性

##### 国土の土地利用

1997年のマレーシアの国土面積に占める農地等の利用割合を図2-1に示す。

マレーシアの国土面積は33百万ヘクタールであり、その内の約6百万ヘクタールが農地である。油ヤシの耕地は282万ヘクタールで、国土面積の8.6%を占める。

マレーシア半島の農地の拡大は鈍っているが、サバ州とワラワク州でなお拡大し続けると期待されている。



出所) MPI, 1997; FAMA

図2-1 マレーシア国土面積に占める農地の割合(1997)

##### 気温と降水量

月毎のマレーシア(クアラルンプール)の平均気温と降水量を図2-2に示す。

高温かつほぼ一定の気温で、多雨な状況がよくわかる。油ヤシの生産には、温暖かつ恒温で高い日射量と定期的かつ多量の降雨が必要で、さらに、水はけの良い土地と、収穫のための平坦かつ広大な土地が必要であるといわれている。これらの条件を満たす地域は、地球上でも、マレーシア、インドネシア、タイ南部等に限られ、特にマレーシアはこの条件に合致した地域特性を有している。

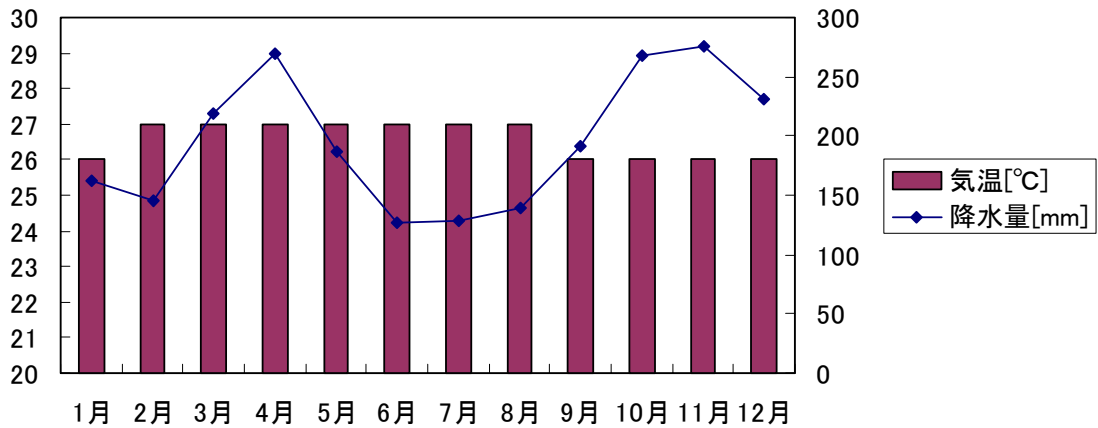
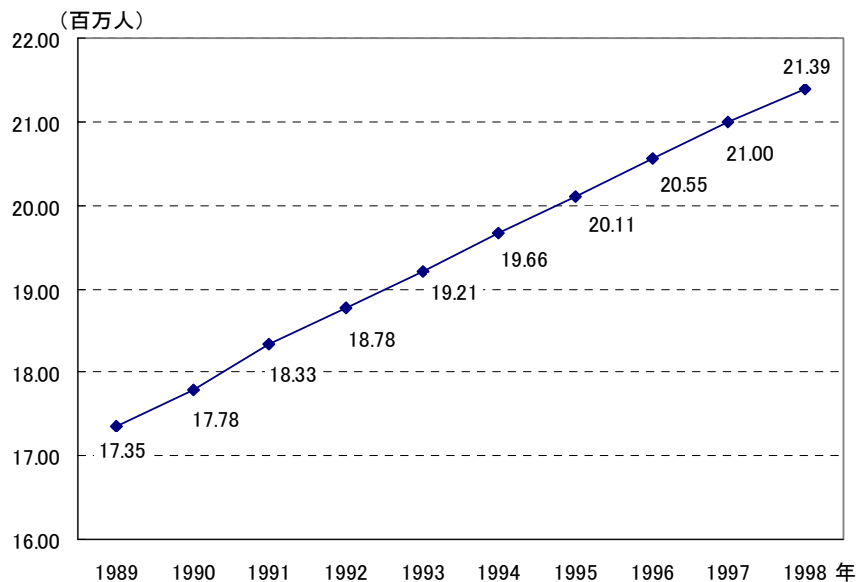


図2 - 2 マレーシア（クアラルンプール）の月毎の平均気温と降水量

### 人口の推移

マレーシアの人口は、他のアセアン諸国と比べても極端に少なく、98年で2,139万人となっている。人口の少なさが、規模の経済を必要とする近代工業部門の発展を妨げている要因になっている側面があるといわれ、それを補うために、外国人労働力を輸入している。同時に、インドネシア等からの不法外国人労働者も増加していると言われている。なお、通貨危機直前の不法外国人労働力は、100万人を超えていたとみられている。



出所) “International Financial Statistics” IMF

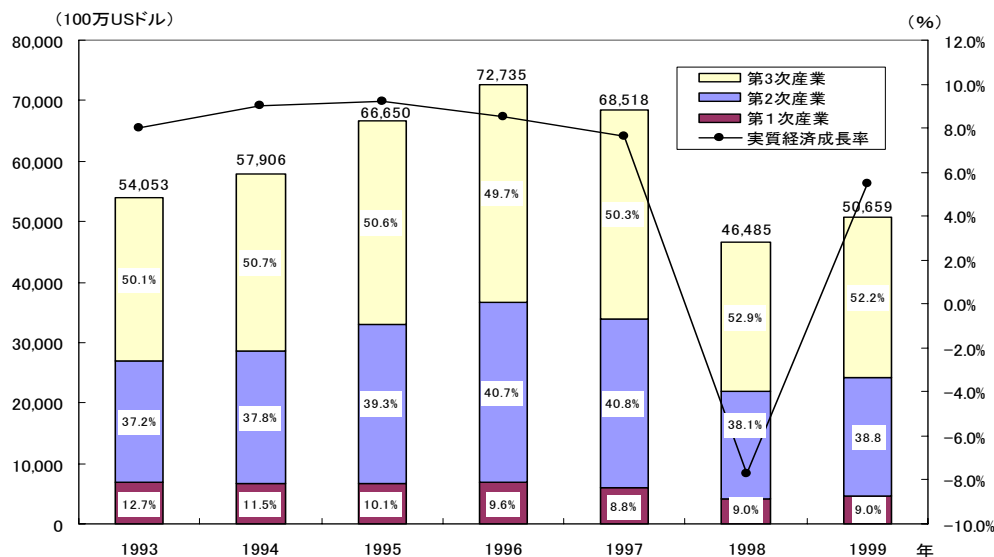
図2 - 3 人口の推移

### 経済成長率とGDPの産業別シェア（実質値）

マレーシアは、ゴム等の換金作物や森林資源、石油・天然ガスといった鉱物資源など、豊富な資源を有しており、伝統的に1次産品が工業の中心となっていた。70年代から輸出指向型産業を促進し、80年代には重化学工業化と外資の積極導入が進められ、工業を中心に高度成長を成し遂げた。

90年代も順調に成長を続けていたマレーシア経済であるが、97年のアジア通貨危機の影響から、急速に景気は後退し実質GDP成長率は-7.5%となった。99年に入ると東アジアの経済の安定化、半導体等の需要増により、輸出が回復し、成長率も5.4%と急回復した。また、98年の資本取引規制、固定相場制の導入の効果も高く、2000年以降は安定的な経済成長が見込まれている。

産業構成については、第1次産業のGDPに占める割合が、93年の12.7%から98年には、9.0%と減少している。かわって第2次、第3次産業が、それぞれ37.2%から38.8%、50.1%から52.2%とそのシェアを伸ばしており、産業の高度化が進んでいる。



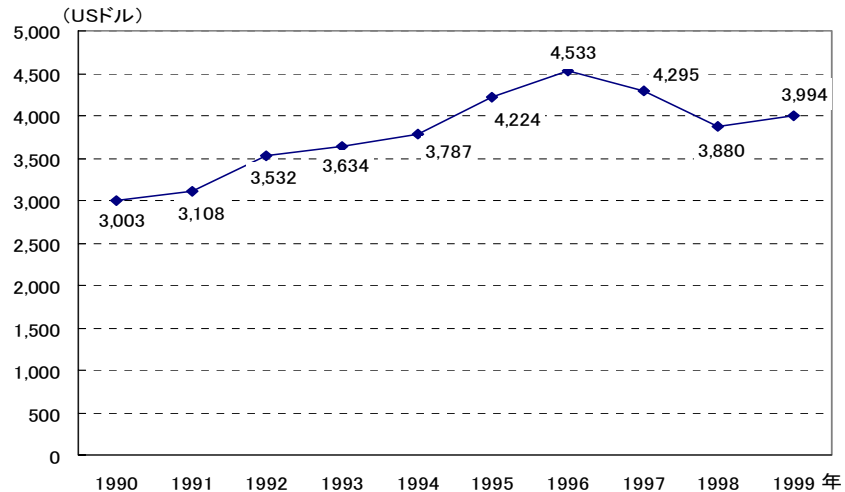
出所) “Economic Report” Ministry of Finance、“International Financial Statistics” IMF

図2 - 4 実質経済成長率の推移とGDPの産業別シェア

### 一人あたりGDP（実質値）

一人あたりGDPは、1999年において、3,994USドルで、ASEAN4（インドネシア、フィリピン、タイ、マレーシア）の中では、最も高く、アジアNIES各国に次ぐ水準となっている。

その推移をみると、90年代を通して、順調に成長を続けていたことが分かる。97年のアジア危機後に減少の傾向を示し、98年には3,880USドルと4,000USドルを下回ったが、99年には早くも強い回復段階に入っている。



出所) “ International Financial Statistics ” IMF

図 2 - 5 一人あたり実質GDPの推移

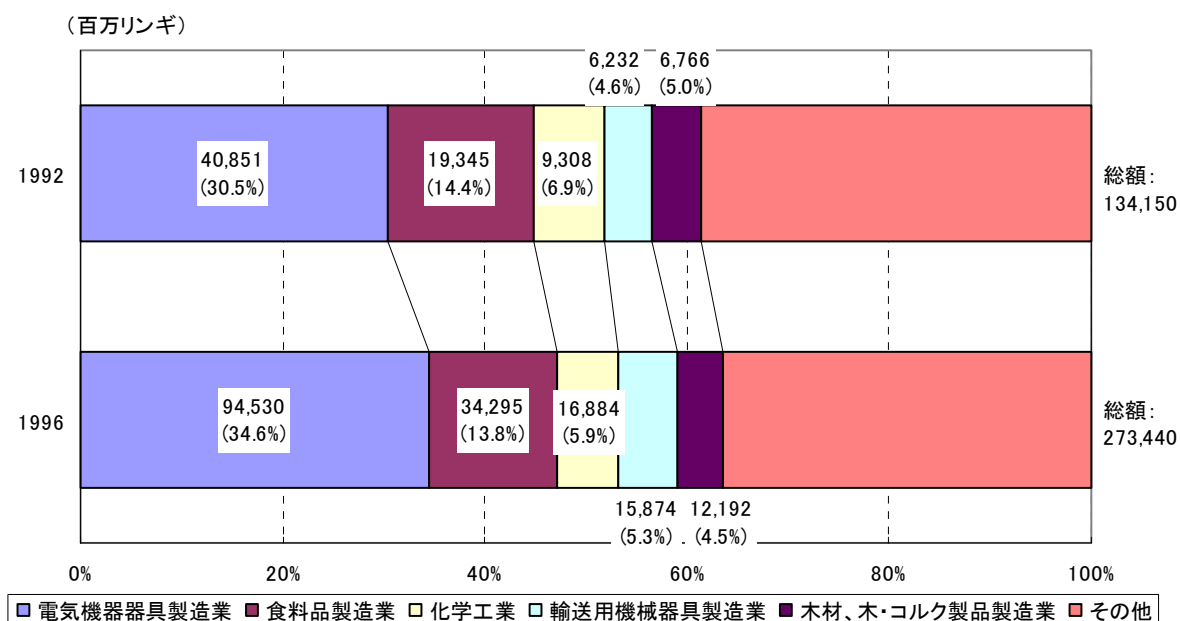
#### マレーシア工業の現況

マレーシアの工業生産額の 96 年内訳を見てみると、電気機械器具が 34.6%と最も大きなシェアを占め、ついで食料品、化学、輸送用機械と続いている。現在のマレーシアの工業は、豊富な資源を活用した 1 次産品を加工する製造業と高度な技術を要する産業が、混在した形になっている。

92 年と 96 年の内訳を比較すると、シェアを伸ばしているものは、電気機械器具と輸送用産業であり、逆に食料品や木材、木・コルク製品の生産はそのシェアを減らしている。これより、1 次産品の加工を中心とした産業から、高度な技術を要する資本集約的な産業へ、順調に移行していることがわかる。

最近の 1、2 年は国際市場におけるパームオイルの価格下落により、パームオイル産業にとって厳しい経済状況になっていることから、パームオイル産業は、その豊富なバイオマスを利用した新たなビジネス展開を考える必要性に迫られている。





出所) “Yearbook of Statistics Malaysia” Department of Statistics, Malaysia  
(3.8 リンギ = 1US\$)

図 2 - 6 マレーシアの主要品目別工業生産額の内訳

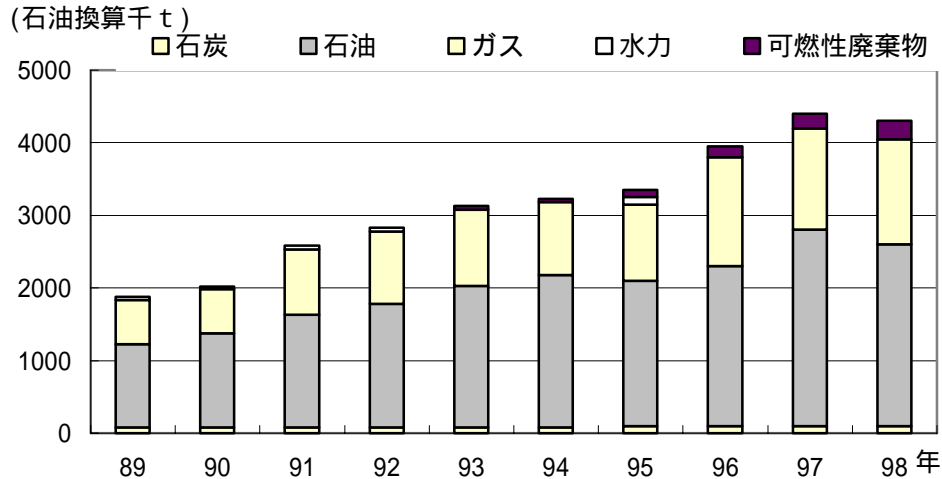
## (2) マレーシアのエネルギー事情

### 1次エネルギー供給

マレーシアはエネルギー資源に恵まれており、天然ガス及び石油を輸出するエネルギー供給国となっている。天然ガスの埋蔵量は、アジアの中ではインドネシアに次いで豊富であるが、石油は現状のまま生産量を継続すれば、新たな油田が発見されない限り 10 数年で枯渇するものと試算されている。

そこでマレーシア政府は、脱石油化と天然ガスの開発及び利用に力を入れて貴重な外貨収入源である石油の延命化を図るとともに、脱石油による環境対策を推進している。具体的には、エネルギーの多様化、エネルギーの有効利用および省エネルギーの推進、環境保護、である。

近年では、1次エネルギー供給に占める石油および天然ガスの依存率が高いものの、石油への依存率が次第に減少しているのに対して、天然ガスへの依存率が高まるとともに、可燃性廃棄物による発電も行われている。



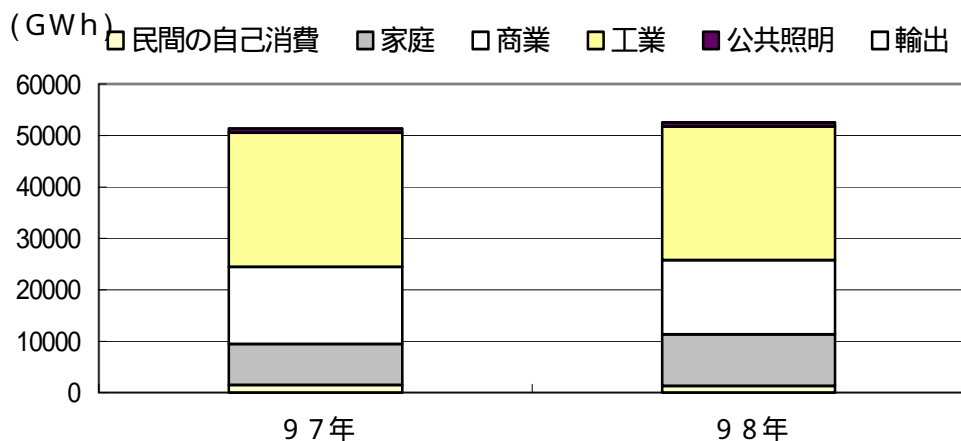
注) 94年までは可燃性廃棄物の統計はない  
 出所) Energy Balances of Non-OECD Countries(IEA)

図2-7 マレーシアの1次エネルギー供給の推移

### 発電事情

マレーシアは、半島マレーシア、サラワク州、サバ州の3つの供給エリアに分かれており、それぞれテナガナショナル社(TNB)サラワク電力公社(SESOCO)、サバ電力庁(SEB)が供給している。TNBは、1990年9月に政府機関・国営企業の民営化推進という方針により、設備規模等においてマレーシアの9割を占める国家電力庁(NEB)が100%政府出資の特殊法人として民営化されたものである。1998年にはSEBも民営化された。

1999年のマレーシアにおける電力使用量は54,255GWhであり、そのうち半島マレーシアでの使用が92%を占めている。電力需要は工業部門のシェアが大きい。



出所) Yearbook of Statistics Malaysia

図2-8 マレーシアの電力需要の推移

### (3) 温室効果ガスの排出状況

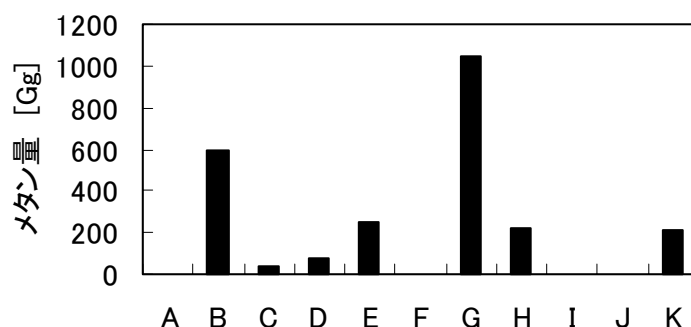
マレーシアでは、1994年における各部門からの温室効果ガス(二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素)の推定排出量についてのインベントリ分析の結果が報告されている。対象となった部門は、石炭・石油・ガスなどのエネルギー分野、産業分野(セメント生産)、農業分野(家畜、水田、野焼き)、廃棄物(埋立て、廃水処理)土地利用分野(森林利用)の5部門であった。廃棄物分野において、メタンは、嫌気処理によって排出される。パームオイル産業からのメタン発生量は、廃棄物分野からの発生分として推定されている。廃水処理分野からのメタン発生量は、廃水量、処理法(嫌気又は好気)、そしてBOD負荷量を基に推定されるが、推定発生量算出に資するデータを保有しているのは、パームオイル産業とゴム産業であるため、パームオイル産業について算出された。

各分野からの推定メタン排出量の結果を図2-9に示す。

その結果、1994年度には総計で、223.1万トン(2231Gg)のメタンの排出が推定された。

パームオイル産業からのメタン発生量は、21.4万トン(213.5Gg)と推定され、これは埋立て地、石油・ガス事業からの排出、水田からの排出に次いで多く、全体の約10%を占めていることがわかる。

このメタン発生量は、二酸化炭素換算で、地球温暖化係数が二酸化炭素の20倍として、428万トン(4270Gg)に相当する。



- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| A: 石炭工業排出物       | F: 農業残渣の燃焼      |
| B: 石油とガスによる排出物   | G: 埋立処分地        |
| C: バイオマス燃料の燃焼    | H: パームオイル産業排水   |
| D: 家庭内家畜の腸内発酵や肥料 | I: 家庭および商業の排水処理 |
| E: 水田の排水         | J: 野焼きの現場       |

図2-9 各分野からの推定メタン排出量

## 2.2 パームオイル産業の概要

### (1) マレーシアにおけるパームオイル産業の歴史

油ヤシの原産地は西アフリカであり、マレーシアでは、1896年に観賞用に植えられたのが起源であった。商業用に最初の農園が出来たのは1917年のことであった。この頃既にマレーシアではゴムの大規模なプランテーションがあったが、ゴム不況で生産制限が行われたことから、パームオイルの生産が始まった。しかし、その後も主力換金作物はやはりゴムで、油ヤシが急増するのは、天然ゴムが合成ゴムで取って変わられ、ゴムの価格が下落した1960年代以降であった。

油ヤシは、耕作面積は10万ha/年以上の増加で推移しており、1960年にはマレーシア全体の栽培面積はわずか5万4千haにしか過ぎなかったのが、1970年には5倍以上の29万haへ、1980年には102万haにまで増加した。このようなパームオイル産業の発展には、日本はODAなどを通じた技術面、経済面での支援によりかなり貢献してきたとされる。その後、マレー半島部での栽培面積の増加は鈍化した。サバ州での栽培が増え、1990年は合計203万ha、そして2000年には338万haにまで拡大している。これはマレーシアの国土面積の約10%にあたり、そして全森林面積(1900万ha)の約17%を占めることとなる。

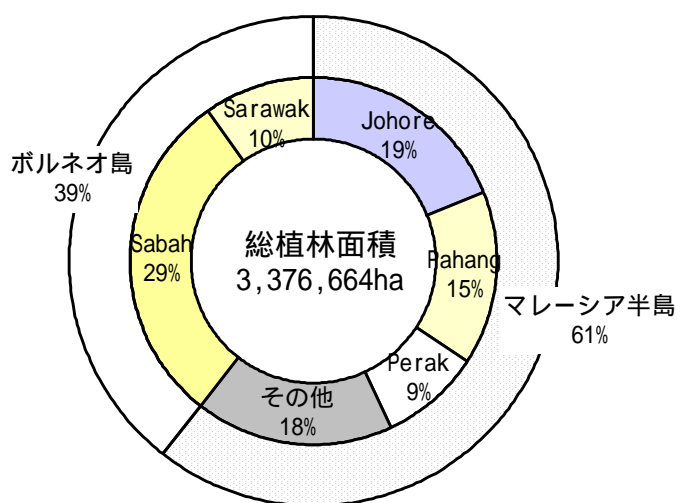


図2 - 10 油ヤシの州別植林面積

2000年度における世界の主要パームオイル産油国の生産量を図2 - 11に示す。

マレーシアは、生産量首位の座にあり、2000年には世界で約2千2百万トンのパームオイルが生産された中、約1千百万トン(粗パームオイルのみ)を生産する世界最大のパームオイル生産国である。

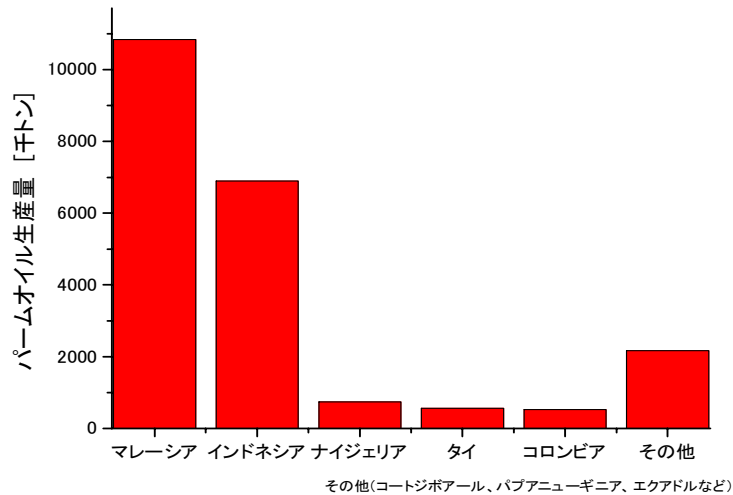


図 2 - 11 2000 年度の主要産油国別パームオイル生産量

## ( 2 ) マレーシアにおけるパームオイル産業の位置付け

マレーシアにおいて、パームオイル生産が爆発的に拡大したのは、前述したように栽培に要求される最適な気候条件が備わっていたという地域条件に加えて、面積あたりの採油量が大きく(大豆油の約 10 倍)(果房あたりのヤシ油の収率は約 20%)、ゴムなどに比べて、人手がかからないため効率の良い換金作物であるのが大きな原因であった。(図 2 - 18)

パームオイルは、マレーシアの農業生産額の約 40%を占めており、現在では 1 次産品の主力商品である。マレーシアにおけるパームオイル産業関連の総収入は約 40 億 US ドル(2000 年)であり、マレーシアの GDP(約 340 億 US ドル(1999 年予測値))と比較して決して小さくないことがわかる。

2000 年度のマレーシアにおける輸出総額に占める主要輸出品目の割合を図 2 - 12 に示す。

マレーシアのパームオイルは、生産量の約 80%以上を輸出しており、(電気・電子機器輸出に次ぐ高額輸出品目)大きな外貨収入源となっている。

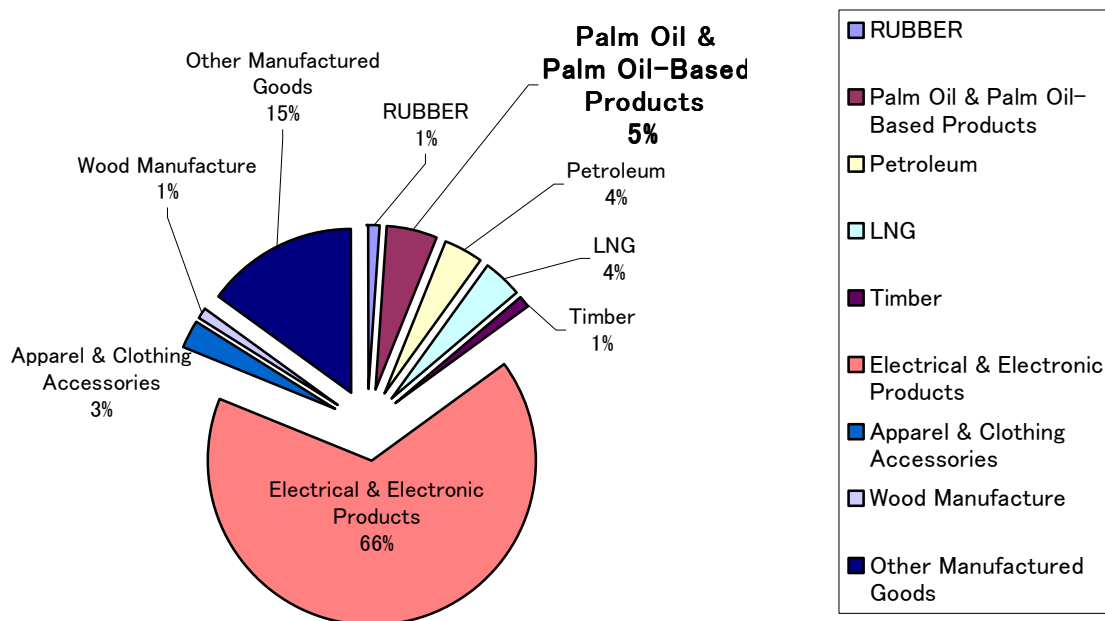


図 2 - 12 2000 年度のマレーシアにおける主要輸出品目

## 2.3 パームオイルの生産状況

### (1) 生産プロセス

油ヤシは、植えてから 2 ~ 3 年で結実するようになり、5 年も経てば完全に経済作物として成熟する。その後約 15 年ほどの期間、長径 3 cm 程度の果実が約 2000 個実った油ヤシ房実 (fresh fruit bunch : FFB) を年間 10 個から 12 個産する。FFB は一房あたり 20kg から 40kg の重量があり、果肉を絞ってパームオイルを、さらに実の中央部の核からパーム核油が取り出せる。パームオイルの FFB あたりの収率は約 20% であるので、油ヤシの木 1 本あたり、年約 70kg の粗パームオイル (Crude Palm Oil : CPO) が搾れる。

パームオイルの生産プロセスを模式的に表したものを図 2 - 13 に示す。

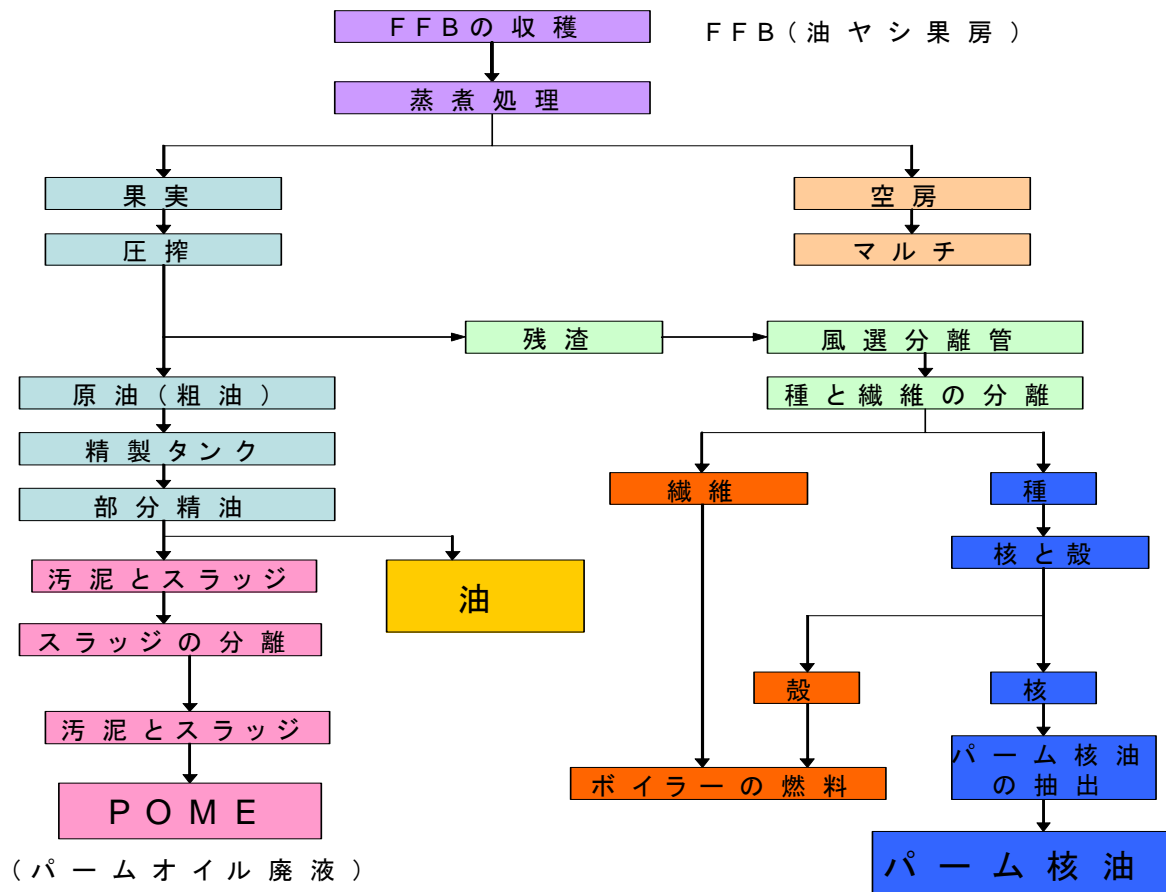


図2 - 13 パームオイルの生産プロセス

搾油にあたって、まずFFBは蒸気を使って蒸煮される。これはFFBから油ヤシの実を取り易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。次に、取られたヤシの実を搾汁し、油を搾る。ここで、実の中の核と繊維が分離される。核の中には種と核油が含まれ、核油を搾油する原料となる。

パームオイル加工プロセスから生産物以外に排出されるものに注目すると、まず実と分離され廃棄されるのがヤシ空房 (Empty Fruit Bunch : EFB) である。EFBは蒸煮の蒸気により水分含率が高く、燃烧させても得られるエネルギーは低い。次に、核油搾油後に回収される固形分が殻である。繊維と殻は水分含率が低く、良好な燃料になる。搾油された油は湯と混合されて浄化される。油中の水可溶分や比重の大きい懸濁固形分 (SS) は洗浄水と共に廃棄される。これがパームオイル廃液 (Palm Oil Mill Effluent : POME) である。

POMEはBODが2万5千ppm、CODが5万ppm、SSが1万5千ppmもあり、生産された粗パーム油 (CPO) の2.5倍も排出される。

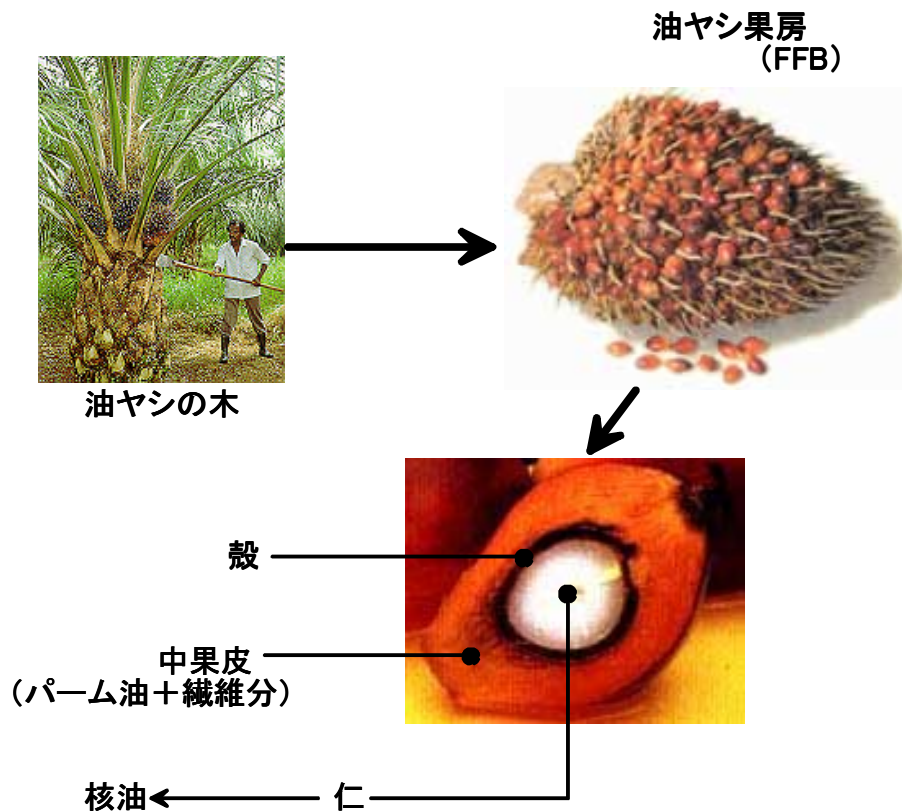


図 2 - 14 油ヤシの果実の構造

パームオイル産業全体における概算での物質収支を図 2 - 15 に示す。

油ヤシから年間 F F B (油ヤシ房実) 6,000 万 t を収穫すると、商品となる C P O (粗パーム油) 1,100 万 t 生産される。それに伴い、実をとった残さである E F B が 1440 万 t、パームオイル廃液 ( P O M E ) が 2,750 万 t 発生することになる。また、核からも商品となるパーム核油等が 300 万 t 生産されるが、その際の副産物として繊維分 600 万 t、殻 400 万 t 発生することになる。



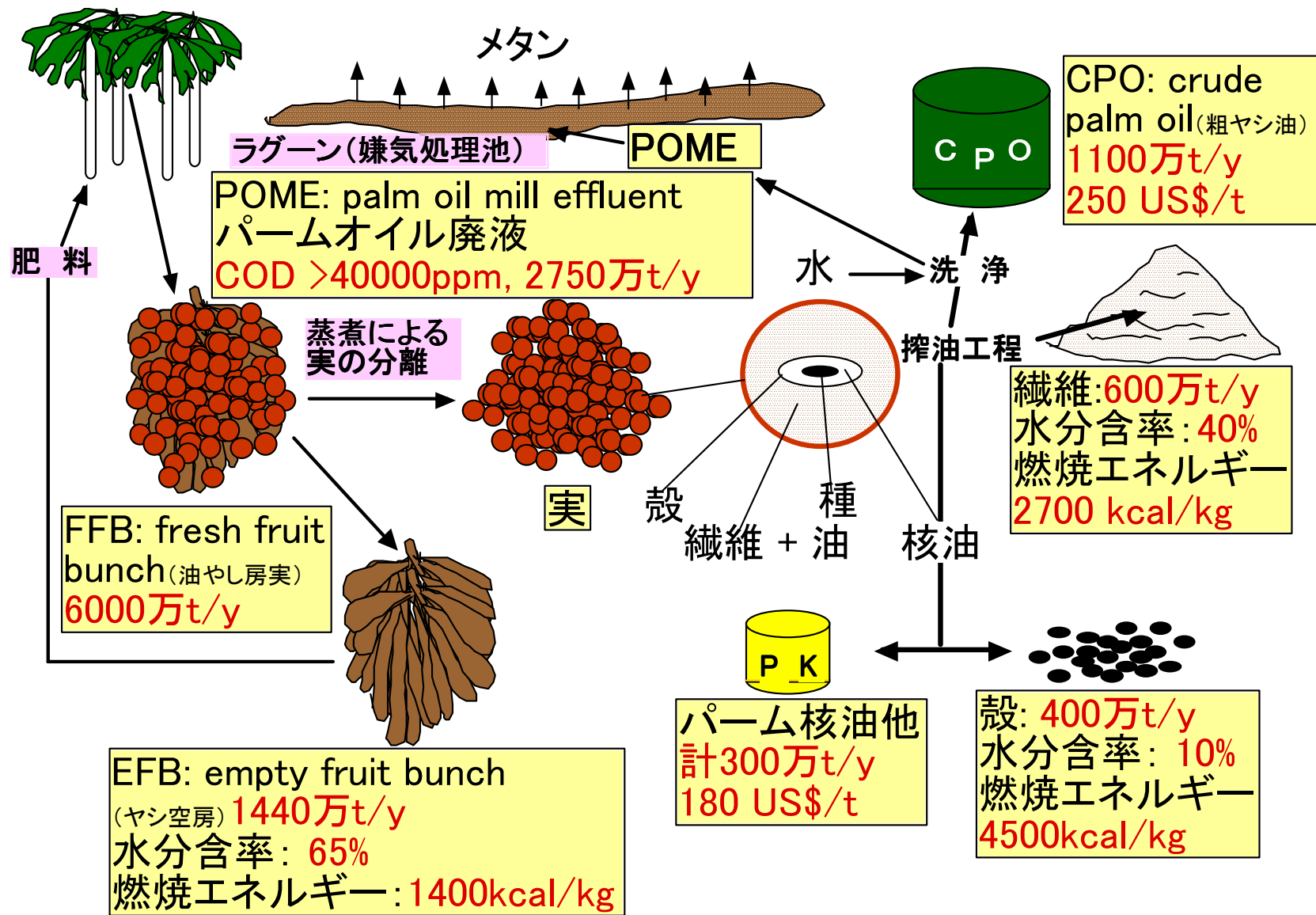


図2 - 15 マレーシアパームオイル産業における物質収支 (概算)

## (2) 生産工場

パームオイル生産工場の現状の施設数及びその能力を表2-1に示す。

既存施設は350あり、その施設能力は6,595万t(FFB)であることから、平均施設能力は188千t(FFB)である。

この350施設の立地場所をみると、半島マレーシアに71%、サバ州に24%、サラワク州に5%となっている。「計画中及び建設中の施設」34施設のうちサバ州とサラワク州に7割(24施設)が建設されることとなっている。今後パームオイル生産の拡大のために、さらに工場建設が必要になるとすると、自然が残されているジャングルなど未利用地が開発されるものと考えられる。

表2-1 パームオイル生産工場の施設数及び施設能力(2000年末時)

既存施設				計画中及び建設中の施設		合計		許可済の施設	
稼動中		休止中		No.	能力	No.	能力	No.	能力
No.	能力	No.	能力						
350	65,949,320	3	312,000	34	5,012,000	387	71,273,320	6	868,000

出所) MPOB

## (3) パームオイル製品の利用用途

2000年度における世界の植物油の種類別生産量を図2-16に示す。

パームオイルは、大豆油、なたね油と並ぶ3大植物油の一つである。パームオイルは安価であることから、今や世界で最も多く使われている食用油で、マーガリンやサラダオイルはもちろん、スナック菓子やインスタント麺を揚げる油として、またアイスクリームにシャープな口どけ感をもたらす添加剤としても使われている。近年は、その酸化安定性の高さにも注目されている。また、食用以外としては、石けんの原料などに使われている。一方、パーム核油はほとんどが石けんや界面活性剤(洗剤)の原料として使われている。

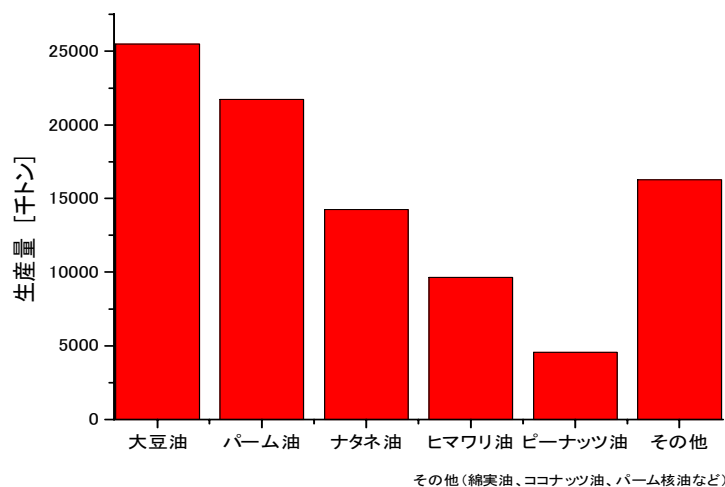


図2-16 2000年度における世界の植物油の種類別生産量

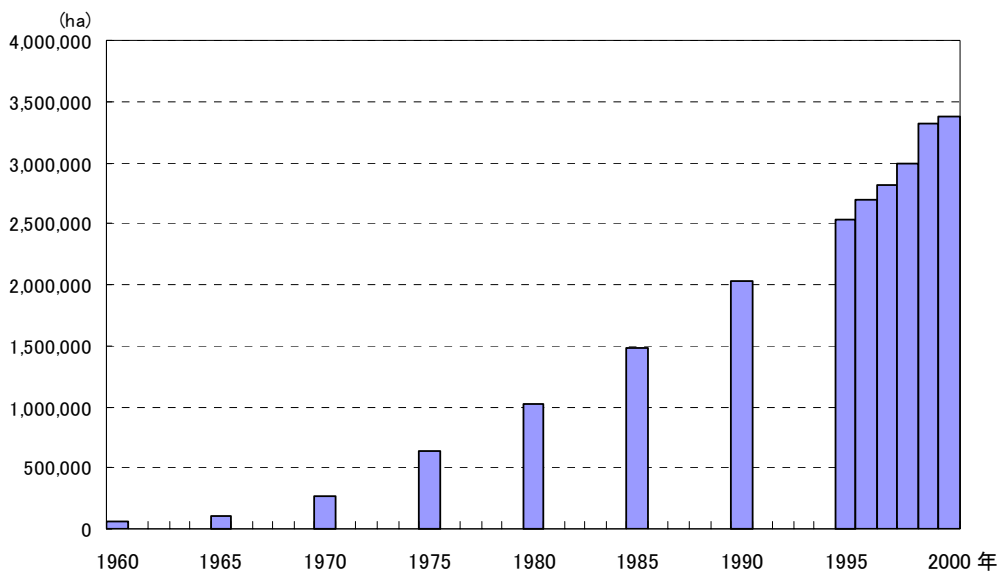
## 2.4 パームオイルの生産動向

### (1) パームオイルの生産状況

#### パームオイル生産量の推移

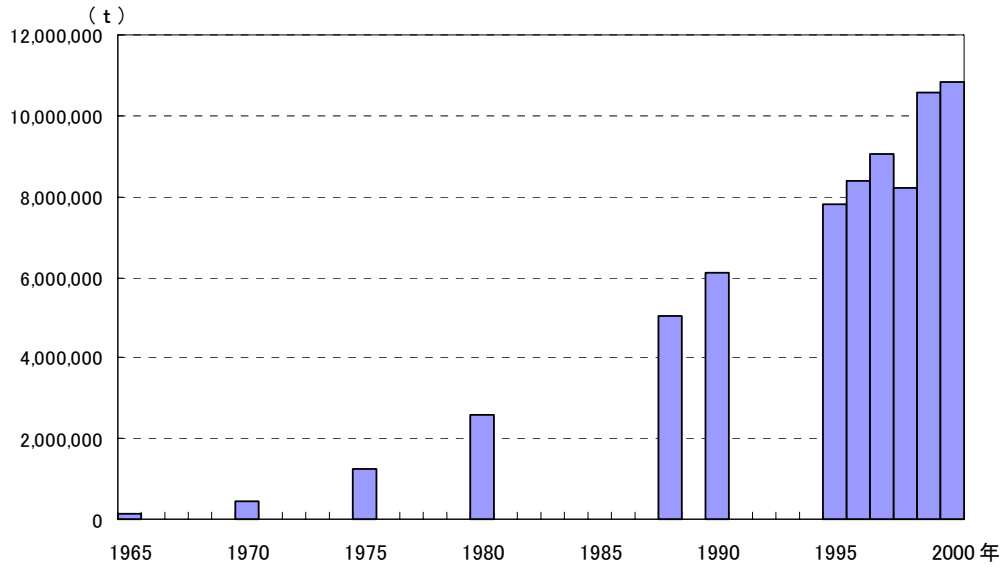
油ヤシ作付け面積の推移を図2-17に、パームオイル生産量の推移を図2-18に示す。

70年代から80年代、90年代と作付け面積は急激な増加の一途をたどり、それに伴いパームオイルの生産量も増加してきており、2000年のパームオイル(CPO)生産量は1,084万tに達している。最近の生産量の増加は、油搾効率の上昇(1999年18.60 2000年18.86)と成熟した油ヤシ地域の拡大(特にサバ州及びサラワク州)によるものが大きいとされる。



出所) PORLA Palm Oil Statistics, Department of Statistics, Economic Report 1997/98, Statistics on Commodities, Ministry of Primary Industries, Review of the Malaysian Oil Palm Industry 2000

図2-17 油ヤシの農地面積の推移



出所) PORLA Palm Oil Statistics、Statistics on Commodities, Ministry of Primary Industries、Palm Oil Update, PORLA、Review of the Malaysian Oil Palm Industry 2000

図 2 - 18 パームオイル原油の生産推移

#### パームオイル生産の月別生産量

図 2 - 19 に、1999 年と 2000 年の月毎の粗パームオイル製造量を示す。

4 月から 8 月を除き、2000 年の生産量が 1999 年を上回っているが、粗パームオイルの生産は、9～11 月がピークシーズンであり、1～2 月がオフピークとなる。

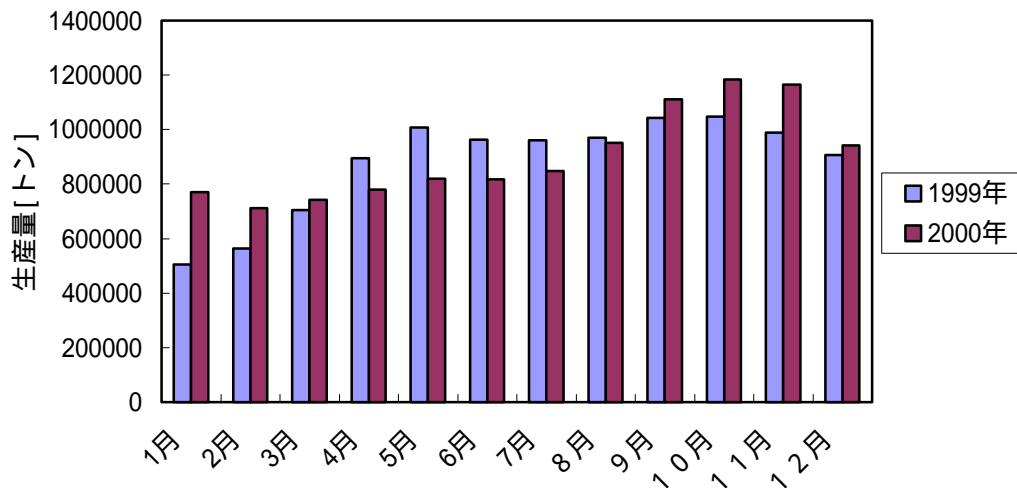


図 2 - 19 1999 年と 2000 年の月毎の粗パームオイル製造量

## (2) パームオイルの今後の生産見込み

### 世界の主要パームオイル輸入国の輸入量

2000年度の世界の主要パームオイル輸入国の輸入量を図2-20に示す。

世界各国で年々、輸入量すなわち需要が増大してきている中、インドは、最大のパームオイル輸入国であり、以下中国やパキスタンといった国における輸入量が目立つ。

食用油としては、発展途上国での需要拡大と、健康志向の高まりから、今後も植物油への嗜好が高まると予想されるため、パームオイルの生産は、今後も拡大が予想される。また、洗剤等への利用としても、環境意識の高まりと、清潔志向から、植物性の原料の使用は続くものと考えられる。

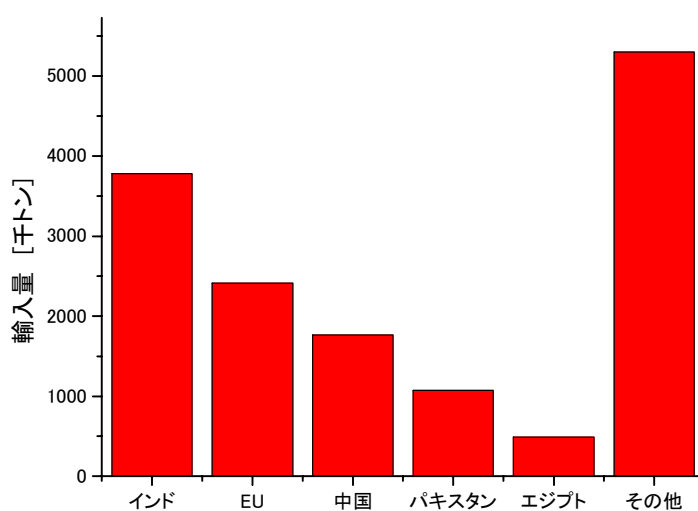


図2-20 世界の主要パームオイル輸入国の輸入量（2000年度）

### パームオイル生産量の将来見込み

図2-21は、今後2020年までのマレーシアにおけるパームオイル生産量推移予測である。文献に発表された生産量推移予測の上に、今後もパームオイル生産は増産が見込まれている。

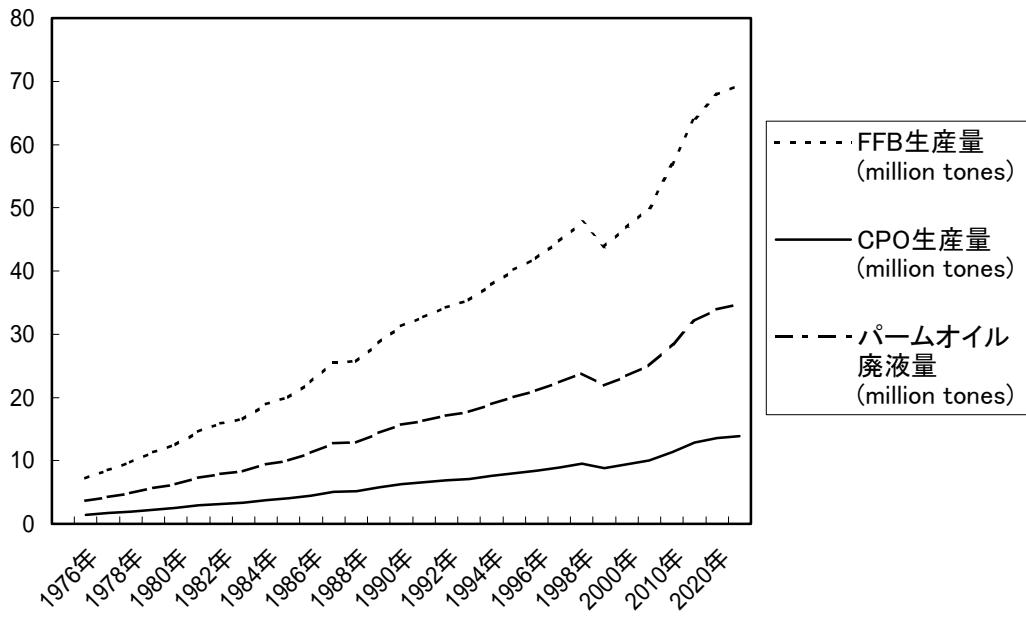


図 2 - 21 マレーシアにおけるパームオイル生産量将来予測

### 3 . パームオイル廃液処理の現状と処理に係る政策動向

#### 3 . 1 パームオイル廃液処理及び有効利用の状況

##### ( 1 ) パームオイル廃液の処理及び有効利用の状況

パームオイル廃液 ( POME ) の組成

POME の組成を表 3 - 1 に示す。

各項目についての報告値にばらつきがあるが、これは各工場の操業状態、サンプリングや測定に伴い生じたものと考えられる。特に、化学的酸素要求量 COD については、平均 50000ppm と高く、15000 ~ 100000ppm と多様な値が報告されていることがわかる。

表 3 - 1 パームオイル廃液 ( POME ) の組成一覧表

項目	平均	範囲
pH	4.2	3.4 - 5.2
生物的酸素要求量 BOD [ppm]	25000	10250 - 43750
化学的酸素要求量 COD [ppm]	50000	15000 - 100000
全固形分含量 TS [ppm]	40000	11500 - 78000
懸濁固形分含量 SS [ppm]	18000	5000 - 54000
油分 [ppm]	6000	150 - 18000
アンモニア態窒素 [ppm]	35	4 - 80
全窒素 [ppm]	750	180 - 1400

出所) The Oil Palm Industry-From Pollution to Zero Waste, The Planter 72(840)pp145, 1996

POME の処理の現状

##### ア . ラグーン方式

高濃度で大量に排出される POME は遺伝子資源の豊富な熱帯の自然を有効に利用し、広大なラグーンで処理されている。通常、ラグーンは数十から百ヘクタール、深さ 3 ~ 5 メートルの池である。POME はここで数ヶ月の滞留時間をもって嫌氣的に処理されており、POME 中の有機分は様々な微生物の働きによって最終的には炭酸ガスとメタンにされて大気中に放出される。廃液自体の B O D は 100ppm 程度になって河川に放流されている。

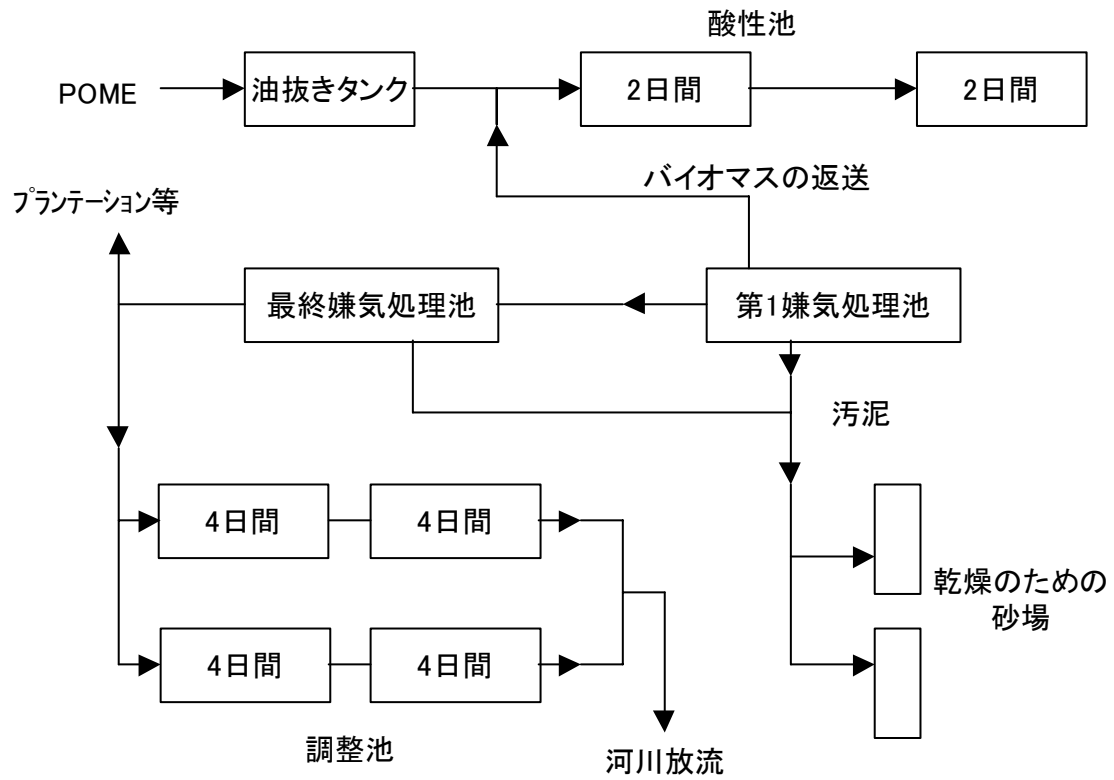


図3 - 1 ラグーン方式のシステムフロー図



図3 - 2 ラグーンの風景

写真は、Serting Hilir 工場のラグーンの写真である。周囲に広がる油ヤシプランテーションの中を、十数面連なるラグーンが順次廃液を浄化し、最終的に河川に放流される。

ラグーンによる処理は広大な面積を必要とし、ラグーンの掘削やスラッジの除去に多くの



人手を要する。近年マレーシアにおいても、住宅用地への転換や、人件費の高騰から、ラグーンによる廃液処理の見直しが迫られている。また、ラグーンによる処理は、放流に至るまで、長大な滞留時間を経て、穏やかな条件で嫌気処理を行うものであり、排出基準を満たすために、最終放流の前に、エアレーションにより爆気処理を行う例もみられる。

#### イ．開放型タンク方式

開放型の消化タンクによるメタン発酵でパームオイル廃液を処理する事例も、マレーシア全工場の数%ではあるが、存在する。消化タンクによる処理の場合、比較的小規模な設置面積で大容量の廃液を、より短い滞留時間で処理することが出来る。また、スラッジの除去も、タンク下部から容易に行うことができ、維持・保全に要する人員も小人数でよい。

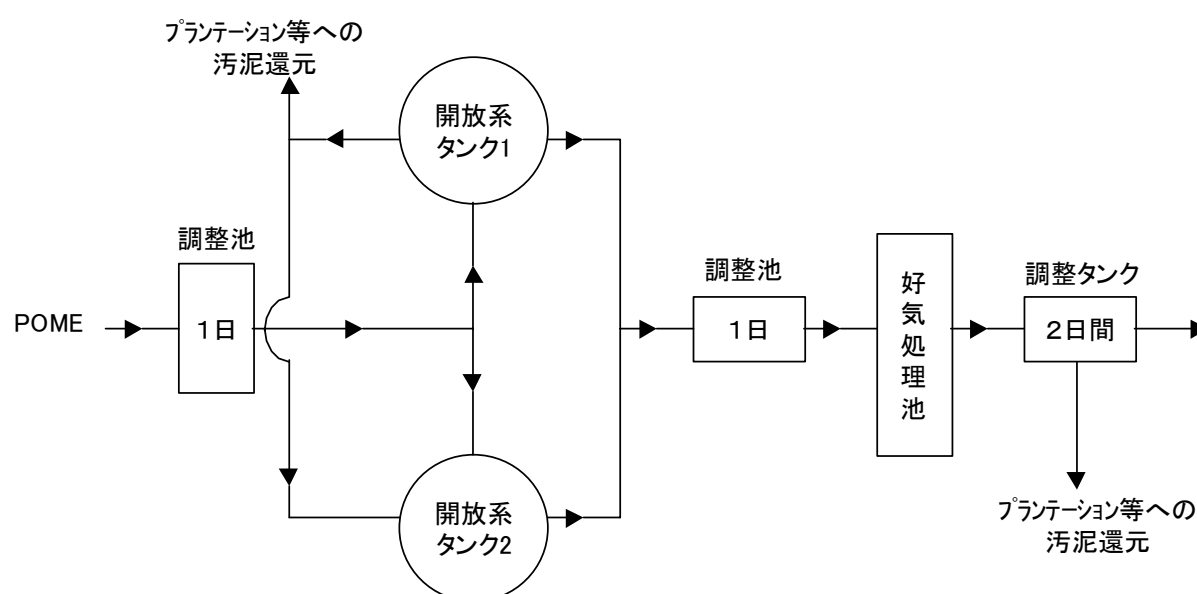


図3 - 3 開放系タンクのシステムによるシステムフロー

#### ウ．閉鎖型タンク方式

SIME DIRBY 社 TENNAMARAN 工場に設置されている閉鎖型タンクシステムによるパームオイル廃液の消化と、バイオガス回収による発電を行うシステムのフローと消化タンク内構造の模式図を図3 - 4、図3 - 5に示す。

システム構成は、消化タンクでパームオイル廃液を嫌氣的に処理して、発生したバイオガスをタンク上部から回収し、スクラバーで硫化水素等を除去し、圧縮後、リザーバータンクにガスを貯蔵して、ガスエンジンにより発電を行うものである。60t FFB/h の処理能力の向上であれば、発生するバイオガスにより、250kW の発電機 4 基すなわち 1 メガワット産出することが可能とされ、発電のための燃料代の節約が達成出来るとされている。このシステムでは、タンクの有効容積は、4040m<sup>3</sup>であり、10 日間の滞留時間で、2.8~4.8kgVS / m<sup>3</sup> / 日の有機物負荷を処理可能とされている。このとき、発生するバイオガスのメタン濃度は、53.8

~79.5%であり、その熱量は 4748 ~ 6160 kcal / Nm<sup>3</sup> とされている。

このように、マレーシア国内のパームオイル産業においても閉鎖型タンクシステムによるパームオイル廃液処理の導入実績があり、発電によるエネルギー回収が図れている。しかしその数は極めて少数に限られ、普及しているとはいえない。これは、コスト的インセンティブが与えられていないためと考えられる。

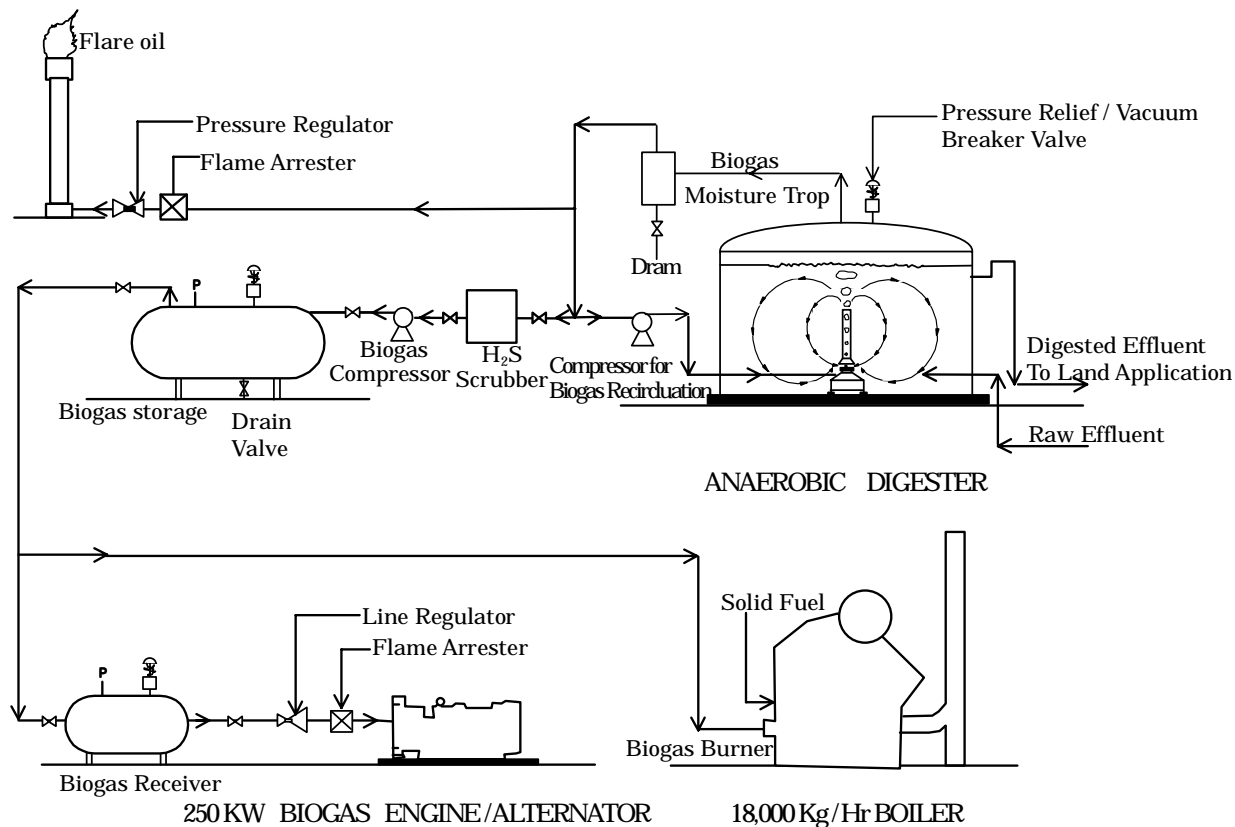


図 3 - 4 バイオガスの利用システム例

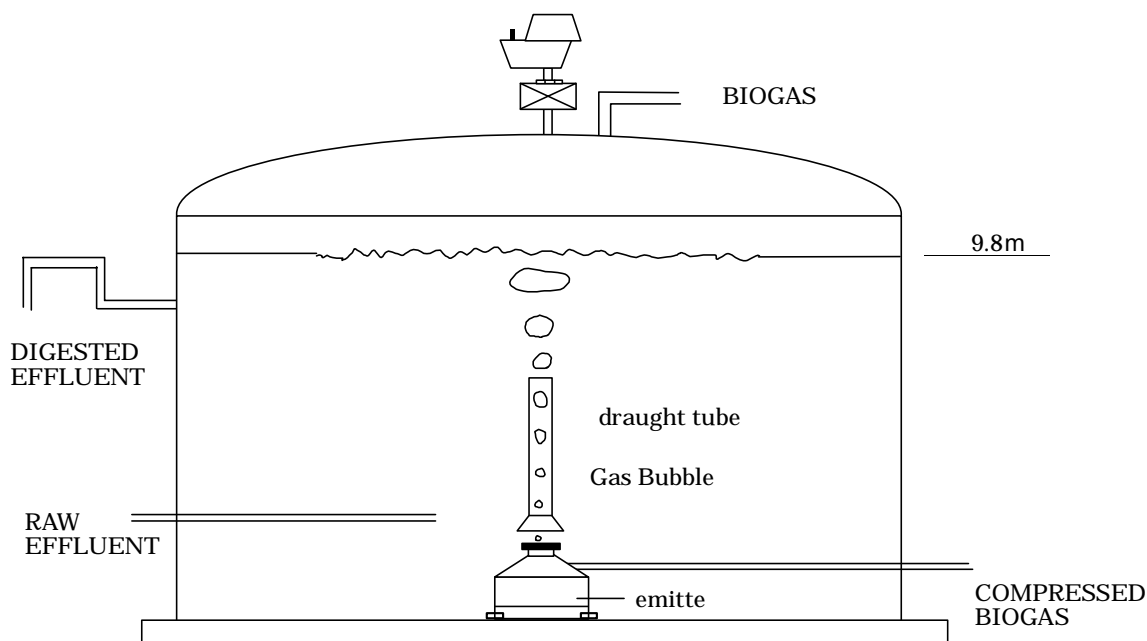


図 3 - 5 メタン発酵層のシステム例

なお、廃液処理後のスラッジは、乾燥後、栄養分を含む土壌改良材として油ヤシプランテーションに還元されている場合が多い。

( 2 ) 副産物 ( 廃棄物処理 ) の処理及び有効利用の状況

プランテーションの中には伐採木や剪定等により切られた葉などがある。油ヤシは樹齢が 25 年程度になると経済性が低くなるため切り倒されて、新しい木に植え替えが行われる。切り倒す目安は、高さが 13m 以上となったときであり、年間の房実がヘクタール当り 10 - 12 t を下回ったときとされる。油ヤシの葉は植え替え時、及び収穫時や剪定時に排出される。植え替え時には、通常油ヤシ 1 本の樹冠部から 115kg の葉が排出される。また剪定時から排出される葉の重量は油ヤシの樹齢によって異なるが、平均的には年間 1 本当り 82.5kg 程度といわれている。

表 3 - 2 油ヤシの幹と葉のヘクタール当りの年間排出量 ( 乾燥重量 )

	Dry wt. ( t/ha )
伐採木の幹	75.46 ~ 84.0
伐採木の葉	14.47 ~ 16.0
年間の剪定時の葉	10.4 ~ 11.0

出所) Chan Kook Weng, Biomass Production in the Oil Palm Industry, p.43  
OIL PALM AND THE ENVIRONMENT (Nov. 1999)

2000 年における油ヤシの房実の収穫が可能な面積は 281 万 ha と推計されるが、このうち 3 % が伐採されるとすると油ヤシの幹は 630 万 t、葉は 120 万 t を超える排出されていると試算

される。

これらは主に、プランテーション内の肥料として還元しているが、この他にも、チップ化して油ヤシの幼木のマルチ材、パーティクルボード材、製紙用パルプ材等としての利用が報告されている。また、幹には 3%の粗タンパクが含まれ繊維質であることから反芻動物の餌に加工できるとされる。油ヤシの葉も、他の飼料分と合わせて緑色飼料やサイレージとして利用できることからこの分野の研究が行われている。

パームオイル産業の生産プロセスからは、液状のパームオイル廃液が排出される他、固形廃棄物として、油ヤシ果実分離後の空房（ E F B ）、果実から搾油後の繊維、殻が排出される。油ヤシの房実の収穫が可能なプランテーション 1 h a から年間加工されるこれらの重量を表に示す。

表 3 - 3 E F B、繊維、殻の 1 h a 当りの発生重量

副産物	収穫可能な油ヤシ <sup>o</sup> ランテーション 1 h a		備考
	湿重量 ( t / h a / 年 )	乾重量 ( t / h a / 年 )	
F F B	20.08	10.60	
E F B	4.42	1.55	FFB の 22%
繊維	2.71	1.63	FFB の 13.5%
殻	1.10	1.10	FFB の 5.5%

出所) 表 3 - 2 に同じ

2000 年における油ヤシの房実の収穫が可能な面積は 281 万 h a と推計した場合の E F B、繊維及び殻の発生量を表 3 - 4 に示す。

E F B、繊維、殻は年間それぞれ 12 百万 t、8 百万 t、3 百万 t 発生し、トータルで 23 百万 t にも達すると試算される。

表 3 - 4 E F B、繊維、殻の年間発生量 ( 単位 : 千 t / 年 )

副産物	発生場所		計
	半島マレーシア	東マレーシア	
E F B	8,288	4,146	12,434
繊維	5,081	2,542	7,623
殻	2,062	1,032	3,094

出所) 表 3 - 2 に同じ

パームオイル産業から排出されるこれら固形廃棄物は肥料と燃料として利用されている。しかし、2 千万 t を越える膨大な量を有効に利用することは現状では難しい。1 千 2 百万 t 以上排出されている E F B はカリ成分が多く、肥料として有効であり、また、苗を育てるマルチとしても利用されるが、パームオイル生産工場の立地場所は一般に回りに未利用地が多いため、需要先の確保が困難な場合が多いと考えられる。また、E F B は水分含率が 65% と高く、焼却

しても熱エネルギーは少ない。そのため、そのまま油ヤシプランテーション内に廃棄されることも少なくない。

一方、繊維と殻は水分含率が40%と低く、発熱量も高いため、ほとんどすべて焼却され、熱エネルギーは工場内のプロセスエネルギーとして利用されている。一般に、パームオイル産業は、これらを燃焼させることによって、内部で必要とするエネルギーよりもはるかに多量のエネルギーを得ることができている。

パームオイル産業からの固形廃棄物はセルロース分を多く含む木質廃棄物であり、建材（ボードや、壁パネル、屋根用建材）への用途が開発されている。また、紙やパルプへの応用も期待されるが、リグニンを多く含むため、前処理としてその除去が必要となる。

固形廃棄物からより付加価値の高い製品を産み出す多くの研究努力がなされているが、まだ普及する段階には至っていない。例えば、殻から活性炭を作ることを試みた企業があったが、高い繊維含有量のため、低品質化することから、ココナッツやし産の活性炭との市場競争力を生み出すことは出来なかった。

また、ビタミンEを多く含む切り落とされた葉や幹、そして空房には、栄養的観点から、動物への飼料としての価値があり、油ヤシプランテーションでは、牛、山羊などの放牧風景が見られる。

### 3.2 FELDA 社調査対象工場における廃棄物処理状況

マレーシアにおいて、全パームオイル工場の約20%の工場数を所有し、マレーシア国の持ち株会社でもある FELDA 社の協力により、内8工場に対して、生産状況及び廃棄物処理状況について FAX によりインタビューし、8工場全てから回答を得た。

8工場の名前と所在地を表3-5に示す。

表3-5 調査対象工場のリスト

工場名	所在地（町名 / 州名）
Serting Hilir	Bahau / Negri Sembilan
Serting	Bahau / Negri Sembilan
Tementi	Triang / Pahang
Keratong 9	Muadzam / Pahang
Keratong 2	Muadzam / Pahang
Keratong 3	Muadzam / Pahang
Bukit Kepayang	Triang / Pahang
Triang	Triang / Pahang

## (1) パームオイル廃液

各工場における生産状況及び廃液処理についてのヒアリング結果の一覧を表3 - 6と3 - 7に示す。

今回調査した工場の果房処理能力は、40[t -FFB/時]以上の中・大規模の工場であり、マレーシアにはこれら30[t -FFB/時]以上の工場が全工場の約6割を占めている。

各工場から、粗パームオイル生産量の約2.5~3倍に相当する量のパームオイル廃液が排出されることがわかった。

8工場中3工場が、消化タンクによる処理を採用していた。しかし、これらのタンクはいずれも開放型のタンクであり、メタン発酵によって、温室効果ガスであるメタンや二酸化炭素が、無為に大気中に放出されているものと考えられる。

8工場中5工場が、広大な設置面積とおよそ100日以上処理時間を要する嫌気性のラグーンによる処理を採用している。また、河川放流前処理水の水質(BOD)を見ると、マレーシア環境局(DOE)の排出基準、BOD100ppmは満たしている工場が多いものの、ラグーンによる処理の場合には、それを満たせない場合もあることがわかる。

BOD100ppmは河川放流の値としては、富栄養化などの懸念もあり、依然許容値としては、高い値であると考えられ、将来的には、より厳しい環境基準へと規制が強化されることが予想される。従って、より高度に廃液を処理するシステムへの移行は、近い将来に顕在化してくる課題であると考えられる。

表3 - 6 調査対象工場のパームオイルの生産状況及びエネルギー消費状況

	果房処理能力 [tFFB/時間]	果房処理量[tFFB/月]	粗パーム油生産量 [t/月]	月毎の粗パーム油製造に要する 月当りの電力[KW]・燃料消費量
Felda Serting Hilir Parm Oil Mill	54	25000-36000	4750-6840	900[KW]・0.4[RM/tFFB]
Serting Mill	54	19100	3438	850[KW]・0.8[RM/tFFB]
Tementi Mill	40	16175	2845	800[KW]・1.2[RM/tFFB]
Keratong 9 Mill	40	10700-20040	1896-3447	780[KW]・0.6[RM/tFFB]
Keratong 2 Mill	40	14400	2560	750[KW]・0.85[RM/tFFB]
Keratong 3 Mill	40	7667-18083	1370-3099	850[KW]・0.55[RM/tFFB]
Bukit Kepayang Mill	40	12000-20000	2100-3500	800[KW]・0.86[RM/tFFB]
Triang Mill	54	20000-25000	3600-4500	850[KW]・0.6[RM/tFFB]

表3 - 7 調査対象工場における廃液処理状況

	パームオイル 廃液量 [m <sup>3</sup> / 月]	放流水水質 (BOD)[ppm]	スラッジ量 [t・sldge/月]	廃液処理設備サイズ
Felda Serting Hilir Palm Oil Mill	16110	77	1000	消化タンク(直径19.5m、高さ12.8フィート)6基、通性嫌気性池(160m×58m×37m)2面、好気性池(180m×88m×1.5m)12面、滞留時間222日
Serting Mill	9550	88-103	-	通性嫌気性池(62.5m×35m×6m)4面、嫌気性池(180m×88m×1.5m)2面、好気性池(70m×35m×1.5m)12面、滞留時間141日
Tementi Mill	5154	80	-	消化タンク(1800t)4基、嫌気性池(57m×32m×6m)2面、通性嫌気性池(103m×32m×2.5m)2面、好気性池(65m×32m×1.5m)4面、滞留時間100日
Keratong 9 Mill	14000	60-100	-	嫌気性池(190ft×110ft×20ft)4面、通性嫌気性池(340ft×110ft×10ft)2面、好気性池(220ft×110ft×7ft)4面
Keratong 2 Mill	4629	53	-	嫌気性池(100m×50m×6.6m)4面、通性嫌気性池(110m×34m×3m)4面、好気性池(75m×34m×2.5m)8面、滞留時間270日
Keratong 3 Mill	5350	72	-	嫌気性池(270ft×100ft×10ft)2面、通性嫌気性池(340ft×110ft×10ft)2面、好気性池(150ft×140ft×8ft)6面
Bukit Kepayang Mill	7062	87	-	消化タンク(1800t)8基、通性嫌気性池(365ft×110ft×10ft)2面、好気性池(260ft×114ft×5ft)12面
Triang Mill	10258	45-118	-	嫌気性池(77m×40m×6m)4面、通性嫌気性池(124m×40m×2.5m)2面、好気性池(117m×40m×1.2m)6面、滞留時間88日

(2) 副産物(廃棄物)処理

パームオイル生産工程から排出される副産物である固形廃棄物の量・処理について表3 - 8に示す。

固形廃棄物として、空房、繊維、殻が排出されており、各工場とも、それらの正確な排出量は把握しておらず、果房あたりの含量として、文献値から推測される値での回答であった。これによると、果房あたりの空房廃棄量は、24%と最も大きく、次に繊維分の10%、殻の6.7%という結果となっていた。

これらの処理法としては、まず、発熱量の大きい殻と繊維については、工場内の蒸気と電力を賄うために、燃料として用いられていた。空房については大半(75%以上)を、焼却後、焼却灰が肥料として用いられていた。また、残りの空房については、苗木、幼木のマルチとして油ヤシプランテーションに返送されていた。

表3 - 8 調査対象工場における固形廃棄物の処理状況

	果房処理量[tFFB/ 月]	空房廃棄量(t/ 月)	繊維廃棄量(t/ 月)	殻廃棄量(t/月)	空房の資源化 割合
Felda Serting Hilir Palm Oil Mill	25000-36000	6000-8640	2500-3600	1675-2412	75%→肥料 25%→マルチ
Serting Mill	19100	4584	1910	1280	75%→肥料 25%→マルチ
Tementi Mill	16175	3882	1618	1084	75%→肥料 25%→マルチ
Keratong 9 Mill	10700-20040	2568-4810	1070-2004	717-1343	100%→肥料
Keratong 2 Mill	14400	3456	1440	965	75%→肥料 25%→マルチ
Keratong 3 Mill	7667-18083	1840-4340	767-1808	514-1212	100%→肥料
Bukit Kepayang Mill	12000-20000	2880-4800	1200-2000	804-1340	97%→肥料 3%→マルチ
Triang Mill	20000-25000	4800-6000	2000-2500	1340-1675	75%→肥料 25%→マルチ

しかし、固形廃棄物に関しては、これらの利用を図る場合でも、余剰分を発生するほど膨大

な量であり、そのような過剰分については、未処理のまま廃棄するという回答であった。従って、今後は、固形廃棄物からも含めてトータルにパームオイル産業から有価物（あるいはエネルギー）生産を図れるシステムの開発・検討が望ましいと考えられる。

### 3.3 パームオイル廃液処理等に係る政策動向

#### (1) 法規制の動向

パームオイル工場には、環境面から次の法規制がかけられている。

- ・環境基準法（Environmental Quality Act 1974(EQA)）
- ・排水規則（粗パームオイル）(Environmental Quality (Prescribed Premises)(Crude Palm Oil) Regulations 1977)
- ・大気浄化規制（Environmental Quality (Clean Air) Regulations 1978(CAR)）
- ・環境アセスメント指令（Environmental Quality (Prescribed Activities)(Environmental Impact Assessment) Order 1987）

以下、各法規制の内容を概説する。

#### 環境基準法

EQAは、公衆衛生と環境の保護のために、汚染の防止、排除、管理を目的とした法律であり、環境中への廃棄物の排出、廃棄、あるいは、発生の防止のみならず、環境影響評価の例外を与えられた上での保管、などの受容基準も設定されている。

法令のセクション 18(1)と 19 は顕著にパームオイル加工産業と関係がある重要な条項である。

Section 18:大臣は、議会の審議後に法令によって、以下の頭書を定めてもよい、占有あるいはいずれかの使用が、それらの家屋に関して支給される許可証の保有者ではないなら、この法令の下で犯罪となる。

Section 19: 長官による書面による事前の認可なしでは、いかなる者もしてはならない。

(a) いかなる家屋であっても、その家屋が既述事項に相当するような場所で作業してはならない。

(b) いかなる土地の上であってもその土地あるいは建物が既述事項に相当するように設計・使用してはならない。

1977年の環境基準（粗パームオイル）に基づけば、パームオイルを生産するのに占有あるいは用いられた土地・家屋は「既述事項」であり、その占有と使用には、適当な条件付きで許可証が認可される。

18(1)と 19 項に既述されていることへの許可証と書面による認可の申請は、規定の料金と規定の申請書類によって行われなければならない。



19 項の書面による認可の前に、選ばれた場所が環境的に受容可能であるかどうか、またしっかりとした土地利用計画に従ったものであるかどうか、評価が行われるのが常である。

本法の所管である環境庁は、パームオイル製造工場による環境汚染を管理する詳細な条項を定めたことから、工場からの廃棄物等を処理する新たな処理法の研究開発を促したとされる。1980 年代初頭に、政府、研究団体、パームオイル製造業者の 3 者の協力により、環境基準の達成、そして廃棄物量の削減を達成したとされる。

排水規則 ( Environmental Quality (Prescribed Premises) (Crude Palm Oil) Regulations 1977 )

この規則は、環境庁長官によって認可されたパームオイル生産のための土地・家屋の所有者らによって守られるべきより細かい項目を規定したものである。さらに、それらの規則は、所有者や使用者が従うべき、放水路あるいは地上へ排出される廃液等の各種性状の基準値を規定している。

規則 12 は、1977 年に発効されてから次第に厳しさを増してきた水路への排出基準を規定し、現在のパームオイル工場の操業は、表 3 - 9 の右欄に示した排水基準に従うことが求められている。なお、78 年 7 月から 79 年 6 月までの間のパームオイル廃液の BOD 基準値 5000ppm とは、陸上への廃棄を意図した場合である。

表 3 - 9 パームオイル工場から排出される廃液の排水基準

Parameters	Limits according to periods of discharge					
	1.7.78 - 30.6.79	1.7.79 - 30.6.80	1.7.80 - 30.6.81	1.7.81 - 30.6.82	1.7.82 - 31.12.83	1.1.84 and thereafter
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
BOD 3-day, 30°; (mg/l)	5,000	2,000	1,000	500	250	100
COD (mg/l)	10,000	4,000	2,000	1,000	-	-
Total Solids (mg/l)	4,000	2,500	2,000	1,500	-	-
Suspended Solids (mg/l)	1,200	800	600	400	400	400
Oil and Grease (mg/l)	150	100	75	50	50	50
Ammoniacal-Nitrogen; (mg/l)	25	15	15	10	150*	150*
Total Nitrogen (mg/l)	200	100	75	50	300*	200*
pH	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0
Temperature °C	45	45	45	45	45	45

\* Value of filtered sample.

Second Schedule [Regulation 12 (2) and (3)].

許可証の認可は、「汚染者負担の原則」に基づいて、廃液関連の課金することが含まれてお

り、廃液関連の料金は水路に放流されたBOD負荷に従って課され、処理料金に加えて、RM100.00の認可証が必要となっている。

また、陸上への廃棄への課金は、農地へ還元された処理液の量に基づいて計算されている。

なお、許可を受けたものが許可証の諸条件に従えなかった場合には、罰金や禁固等のペナルティーが課せられることになっている。

大気浄化規則 (Environmental Quality (Clean Air) Regulations 1978(CAR))

大気浄化基準に関して、パームオイル工場の所有者が着目すべき点が2点あり、それは廃棄物の燃焼と黒煙の排出と大気中への不純物の排出について規定した排出基準である。パームオイル工場においては、パーム果房の処理と発電のための蒸気を生産するために、繊維と殻を燃料として、ボイラーが使用される。しばしば負担をかけ過ぎることで、特に収穫のピーク時に、よく黒い排気ガスの問題を引き起こす。加えて、現在もいくつかの工場では行われているが、焼却灰を生成するための空房の焼却も、大気汚染の引き金となる。ボイラーと焼却炉のほかに、工場の電力供給のための発電機は、同じく大気汚染の原因である燃料を燃やす装置である。

そのため、大気浄化基準では、焼却炉、燃料焼却装置、及び煙突の設置には書面での認可を取得するように要求している。その認可の申請には、規定の書類の提出の他に、設計図と汚染対策を詳細に記した書類の提出が求められている。

大気浄化基準に関しては、固形燃料ボイラーと空房焼却施設について規定しており、Ringelmann チャートでナンバー2 相当の密度以上の黒煙を排出し、黒煙の排出が、1時間以内に5分あるいは24時間に15分以上を超えないで、含まれる粒子が $0.4\text{g}/\text{Nm}^3$ 以下の固形燃料ボイラー煙突のみが許可される。

野焼きに関しては、いかなる人であれ、長官が書面により許可しているもの以外を燃やすこと、あるいはそれを容認することを原則的に禁じている。しかしながら、環境局が、濃霧時における農作業で括られる全ての野焼きを禁じているが、このような場合には、公衆の衛生と安全を損ねる事態が発生することから無効になる可能性がある。

農作業における野焼きは、実施を計画するあるいはそれを行う人間が、近くの環境局の事務所に知らせなければならない。切り倒された農作物の焼却処分のガイドラインは環境局によってまとめられている。

野焼きに対する規制を守らない者に対しても、罰金や禁固といったペナルティーが定められており、証明がなされない限り、野焼きの行われた土地の所有者あるいは使用者に責任の所在があるとしている。

なお、いくつかの産業部門での野焼きの必要性を考慮に入れて、環境局は、野焼きの禁止から除外される活動のリストを環境基準(野焼き)1998に含ませている。

環境アセスメント指令 (Environmental Quality (Prescribed Activities)(Environmental Impact Assessment) Order 1987)

予防法的アプローチにより環境を保護する環境基準法の規定により、環境にインパクトを

与える重大な活動を、「既述活動」として規定することにより、維持される。そのような活動を行おうとする者は、関連認証機関による実行の許諾を得る前に、環境庁長官への環境影響評価（EIA）と題するレポートの提出が義務付けられている。19 の活動が規定されている中でも、パームオイル産業と関連があると思われるものは次のとおりである。

- a) 500ha あるいはそれ以上の森林を農業生産用地とする土地開発計画
- b) 100 あるいはそれ以上の家族の再定住を必要とする農業計画
- c) 500ha あるいはそれ生産形態の変化を伴う農業用地の開発
- d) 50ha あるいはそれ以上の森林丘陵地区をそれ以外の土地利用に転換すること
- e) マングローブの湿地帯を 50ha 以上の産業、住宅、農業用地に転換すること

環境影響評価は、一般的には、場所の適性、環境への影響の可能性、活動の影響を低減する方策を決定するのに役立つものである。プロジェクトの実施者が、環境影響評価の目的を理解し、手順を理解し、環境影響評価報告書を作成するための手助けとなるハンドブックと指針が用意されている。

## （２）バイオマス利用の促進

マレーシアは、次の２つの方向からパームオイル産業からのバイオマス利用を促進させている。

- 1) 新エネルギーの導入・普及の促進
- 2) 未利用資源の利用促進

### 新エネルギーの導入・普及の促進

マレーシアでは、電源を多様化していく方針を掲げており、バイオマス発電の促進が期待されている。具体的には、バイオマス発電を含む新エネルギーを 2005 年までに発電量全体の 5% にする目標を掲げている。この政府の方針を受けて、電力会社である TNB は、電力購入価格を 3.7 - 4.5¢ / kWh に設定し、価格はバイオマス発電施設の位置と TNB までの配線等のコストにより異なるとしている。このバイオマス発電の担い手として期待されているのが、発電用バイオマス量の確保が最も経済的かつ豊富にあるパームオイル産業である。6 章で述べるようにマレーシアエネルギー省では既に導入に向けた具体的な検討に入っており、2000 年 1 月にバイオマス発電による FS 調査結果を公表したところである。

### 未利用資源の利用促進

前述したとおり、パームオイル産業から多くの副産物が発生するが、肥料や飼料等の成分が豊富なことから、それらを利用して国内農業の振興や新産業の創設を期待しており、そのための研究を海外からの支援も得て推進しているところである。

## 4 . パームオイル廃液嫌気処理池より放出されるメタンガスの推定

### 4 . 1 メタンガス推定方法の検討

#### ( 1 ) マレーシア側での推計方法

マレーシア政府は 2001 年にすでに Malaysia National Response Strategies to Climate Change (Chong A.L. and Philip M.ed.s.) と題するマレーシア科学技術環境省の報告書を出版している。これは

- ・ Report 1 National Climate Change Section,
- ・ Report 2 Malaysia National Greenhouse Gas Inventory 1994,
- ・ Report 3 Assessment of the Impacts of Climate Change on Key Economic Sectors in Malaysia,
- ・ Report 4 Mitigation Options for Climate Change,
- ・ Report 5 Public Education and Awareness of Climate Change Issues

の 5 つのレポートからなる 600 ページを越える大部の報告書である。この Report 2 Malaysia National Greenhouse Gas Inventory 1994 の中にメタン放出に関する章がある。特に、農業の項目ではパームオイル産業が詳しく検討されており、1994 年の時点で 21 万 t 以上のメタンが放出されていたと述べている。

マレーシアでは、パームオイル産業から発生する CO<sub>2</sub> を次のように試算している。

$$\text{メタン発生量} = \text{CPO生産量}^{1)} \times 2.5^{1)} \times 28\text{m}^3 / \text{t}^{2)} \times 0.65^{3)}$$

1 ) POME の発生率 ( m<sup>3</sup> / t )

2 ) バイオガスの発生率 ( m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup> )

3 ) メタンガスの発生率

この試算の基になっているパームオイル廃液からのバイオガスの発生率とメタンガスの発生率は実験室で厳密に実験条件が設定制御された条件で得られた結果である。したがって、屋外で風雨にさらされたラグーンや開放型の嫌気処理タンクから放出されているバイオガスとは発生条件がまったく異なる。もとより、これまでにラグーンや嫌気処理タンクから放出されるバイオガス量やメタン含量を実測した例は、文献調査の限りでは見つけることができなかった。また、Malaysia Palm Oil Board の技術部長である Ma 博士もそのような測定例は見たことがないと述べられた。

また、POME の発生率は文献では 20 ~ 28m<sup>3</sup> までであるが、多くの場合 28m<sup>3</sup> という数値が使われているものの、その妥当性は不明である。

このような状況では CDM に耐え得るベースラインを検討するには不十分と考え、以下にまとめるように、パームオイル工場現地で、ラグーン及び開放型嫌気処理タンクからのバイオガス放出量とメタン含量を実測した。具体的には図 4 - 1 に示すように、これまでのデータと比較しつつ、実測値と記録されている廃液量からメタン発生量を推定した。

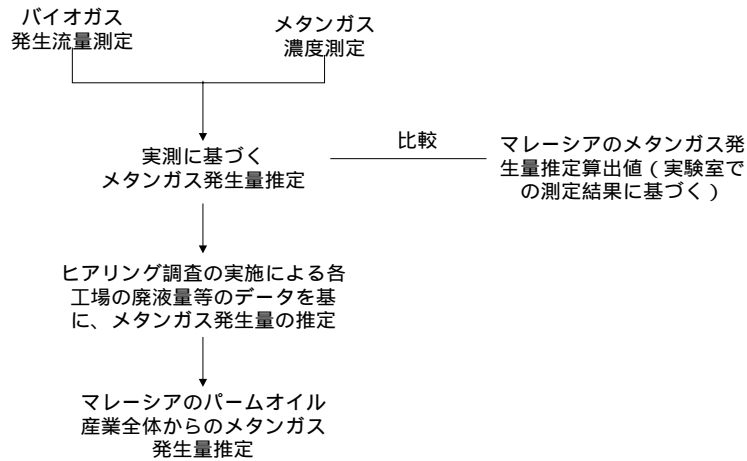


図4 1 メタン発生量推定フロー

パームオイル産業から排出されるメタンガス量の推定のため、

1)実測に基づき推定する方法

2)工場へのヒアリングにより得た排出管理票の物質収支に基づき算出、推定する方法

の2通りを検討した。

## (2) 実測に基づくメタンガス量の推定

調査期間

2001年10月1日～30日までの1ヶ月間

調査実施者

日本側から九州工業大学大学院生命体工学研究科白井教授とマレーシア側からマレーシアプトラ大学バイオテクノロジー学部アリ助教授の共同チームにより行った。

調査対象工場

FELDA社の次の2工場を実施した。

- ・SERTING 工場（マレーシア・ネグリセンビラン州）
- ・SERTING HILIR 工場（マレーシア・ネグリセンビラン州）

対象工場の選定理由は、マレーシア国内最大数のパームオイル製造工場を所有する企業である FELDA 社の協力が得られること、中でも、開放型の消化タンクとラグーン方式による工場とラグーン方式のみによる工場という現行2通りに大別される廃液処理法の比較を行えるためである。

測定方法

実地でメタンガス発生量の測定を行った報告事例は、中国の水田からのメタンガス発生量調査等の数例が報告されているのみであるが、今回は、それらの事例を参考に、測定地点にガスを捕集するチェンバーを設置し、そこから導入管を通して発生するガスの流量とバイオガス組成を測定した。

開放型の消化タンク液面、ラグーン水面に、ガス捕集のために、プラスチック製のフローティングチェンバー（設置面積 0.4m<sup>2</sup>）を設置した。チェンバー内の空気を充分置換後、ガス発生流量は、湿式ガス流量計（OSK14608、品川精機）、メタンガス濃度は、メタンガス用に校正された高濃度ガス検知器（XP - 314A、新コスモス電機株式会社）を用いて測定した。

図 4 - 2 に測定方法を模式的に示した。

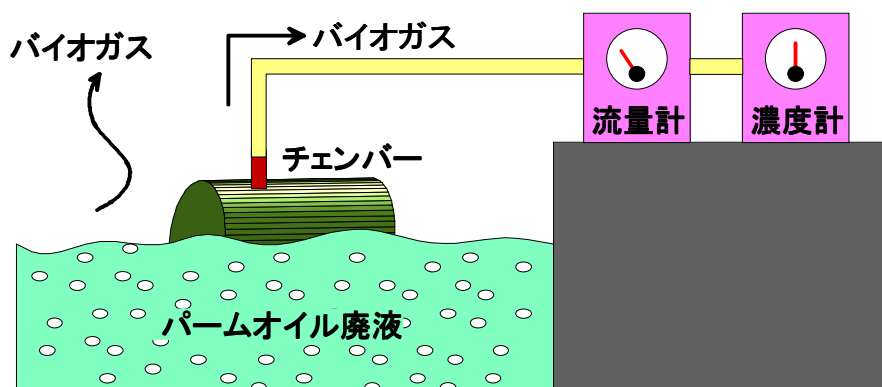


図 4 - 2 測定方法

SERTING HILIR 工場では、6 基の開放型消化タンク中、2 基で測定を行った。

また、同工場のラグーンでは、上流・中流・下流の 3 地点で測定を行った。（写真 左）

SERTING 工場では、ラグーンの 1 地点で測定を行った（写真 右）。



図 4 - 3 測定状況

### （ 3 ） 排出管理票の数値に基づく推定

ヒアリング調査は、FELDA 社のパームオイル工場に対して、FAX で、生産および廃液処理状

況についての調査項目を送付して行った。

## 4.2 メタンガスの放出量の現状推定

### (1) 2工場における実測結果に基づくメタン発生量推定

結果と考察

図4-4は、SERTING HILIR 工場の開放型消化タンク No3 におけるメタン濃度及び発生ガス流量の結果である。

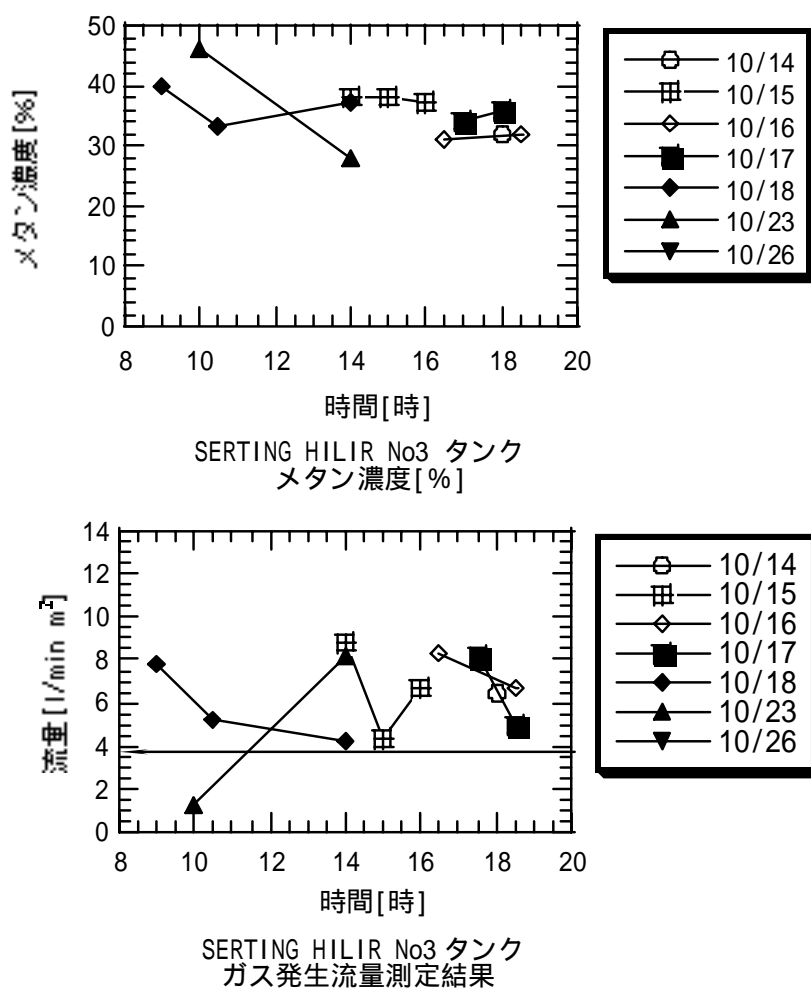


図4-4 SERTING HILIR 工場の開放型消化タンク No3 におけるメタン濃度及び発生ガス流量の結果

図4-5に、SERTING HILIR 工場の開放型消化タンク No4 におけるメタン濃度及び発生ガス流量の結果を示す。

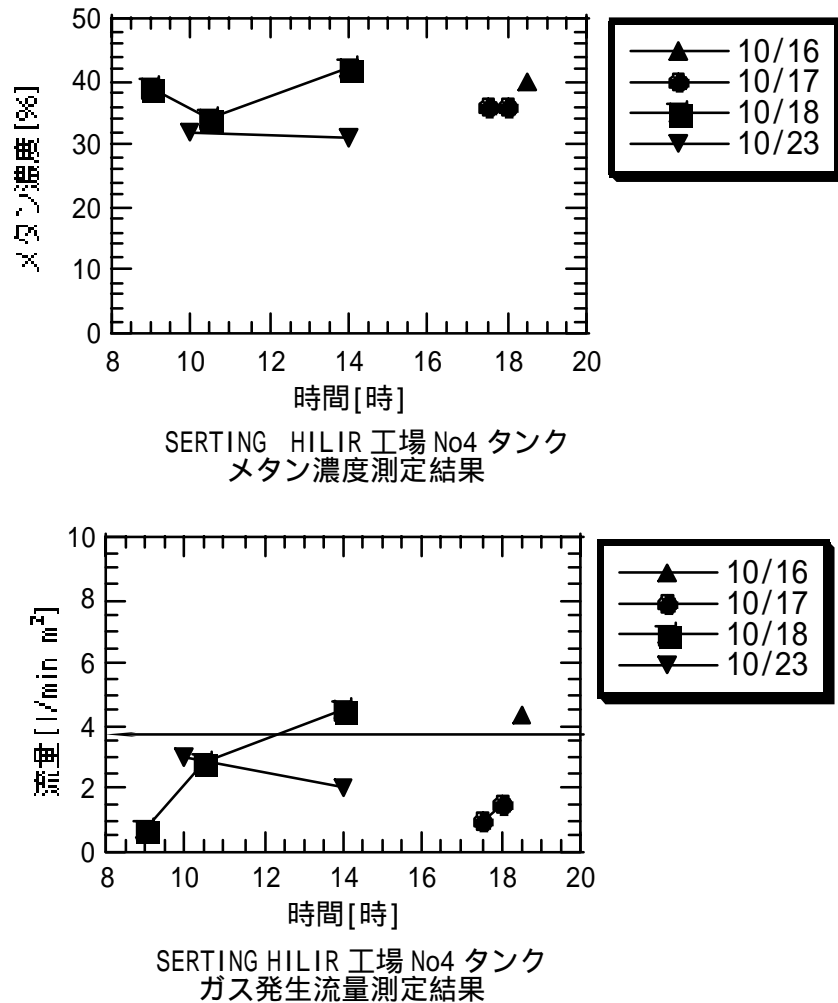


図4 - 5 SERTING HILIR 工場の開放型消化タンク No4 におけるメタン濃度及び発生ガス流量の結果

横軸は、時間を表し、縦軸は、それぞれメタン濃度[%]、ガス流量[l/min m<sup>2</sup>]を表す。

SERTING HILIR 工場の消化タンクから発生するバイオガスのメタン濃度は、No3、No4 いずれの場合にも約 35%であった。これは、実験室規模の実験から報告された値 65%とは大きく異なる。その理由として、タンクの構造が、気液接触の容易な開放型の構造であること、さらに毎朝タンク下部からのポンピングによる廃液の流入によって、あるいは、熱帯の気候のため、タンク内に温度成層が形成され、対流によるゆるやかな攪拌を生じ、消化タンク内が完全な嫌気状態に保たれていないためと考える。

また、ガス発生流量は、No3 タンクは、約 7[l/min m<sup>2</sup>]、No4 タンクでは約 3[l/min m<sup>2</sup>]と異なる値であった。メタン発酵の活性の違いによって、短期間には、タンク毎にガス発生量が異なる可能性が示唆されたが、この点については、長期間各タンクのガス発生量を観測して、平均化した後にタンク毎に差異が見られるかどうかについて判断すべきと考える。

図中の実線は、文献値に基づき、パームオイル廃液 1 t 当たり 28[m<sup>3</sup>]のバイオガスが発生



するとしたとき、各タンクおよびラグーンから発生する単位時間・単位面積あたりのバイオガス発生量に換算した数値を示す。ここで、導出の根拠を示す。SERTING HILIR 工場においては、ヒアリングから 2001 年 9 月には、16110m<sup>3</sup>のパームオイル廃液を排出しており、9 月の稼動日 28 日間に消化タンク（表面積 300m<sup>2</sup>×6 基）およびラグーン（縦 160m×横 58m）から発生するガス流量は、消化タンクでのメタン発酵によるパームオイル廃液中の有機物減少分（50000ppm - 5000ppm）から計算したメタンガス量との連立方程式から、タンクからの発生ガス流量は、3.72[l / min m<sup>2</sup>]、ラグーンからの発生ガス流量は、1.52[l / min m<sup>2</sup>]と計算される。

いずれにせよ、これらの値は、実測値のほぼ範囲内に収まっており、各タンクにおける実測値の妥当性が、裏付けされた。

SERTING HILIR 工場の消化タンクについて、バイオガス流量として、No3 タンクにおける測定値の下限付近の 5[l / min m<sup>2</sup>]を代表値として採用すると、2001 年 10 月一ヶ月当たりのバイオガス発生量は、343116[m<sup>3</sup> / 月]と計算され、内メタンガス濃度を、実測に基づき 35%とすると、80.1[t / 月]のメタンガスが排出されたことになる。

図 4 - 6 に、SERTING HILIR 工場のラグーンにおけるメタン濃度及び発生ガス流量の結果を示す。

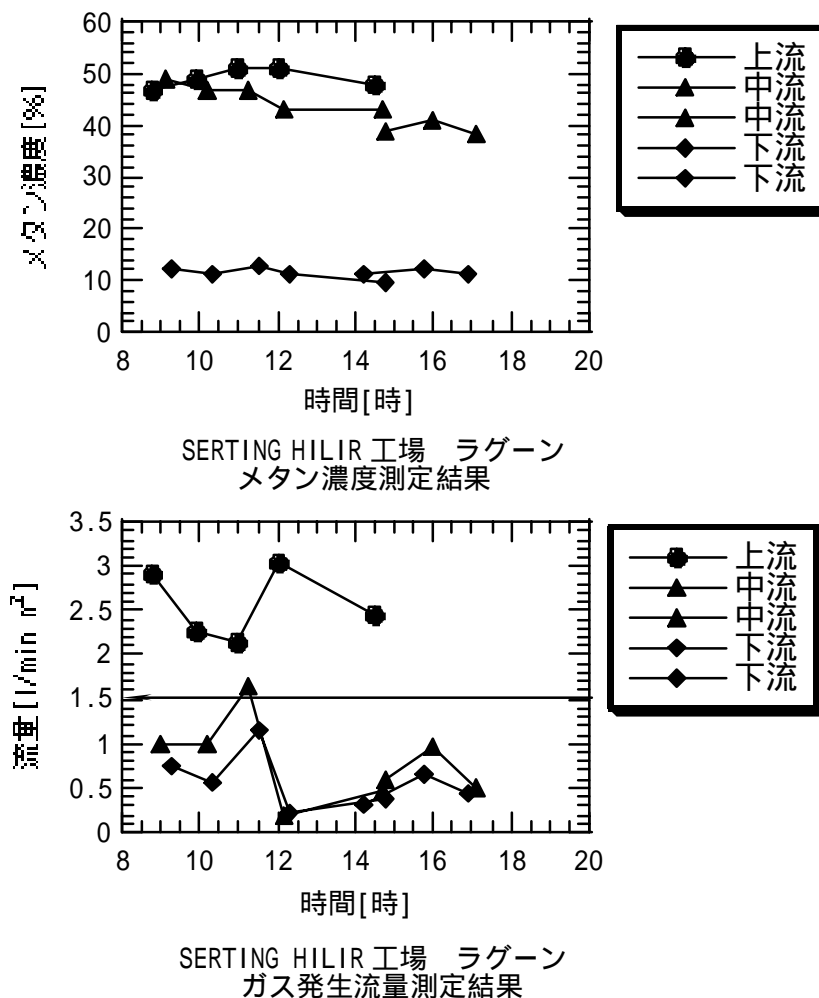


図 4 - 6 SERTING HILIR 工場のラグーンにおけるメタン濃度及び発生ガス流量の結果

SERTING HILIR 工場のラグーンでは、上流・中流・下流の3地点で測定を行った。

その結果、メタン濃度に関しては、上流・中流地点において、約50%程度と高く、下流付近になると10%程度に減少していた。これは、ラグーンにおいては、消化タンクの場合よりも良好に嫌気状態を達成できるためと考える。また、メタンガス発生流量は、上流のみ活発で、約 $2.6\text{[l/min m}^2\text{]}$ と、平均約 $0.6\text{[l/min m}^2\text{]}$ とほぼ同一の流量を示した中下流域に比べて高かった。

SERTING HILIR 工場のラグーンについて、バイオガス流量として、中下流付近の値 $0.7\text{[l/min m}^2\text{]}$ を採用すると、2001年10月ヶ月当たりのバイオガス発生量は、 $168710\text{[m}^3\text{/月]}$ と計算され、実測に基づき内メタンガス濃度を45%とすると、 $50.6\text{[t/月]}$ のメタンガスが排出されたことになる。

図4-7に、SERTING 工場のラグーンにおけるメタン濃度及び発生ガス流量の調査結果を示す。

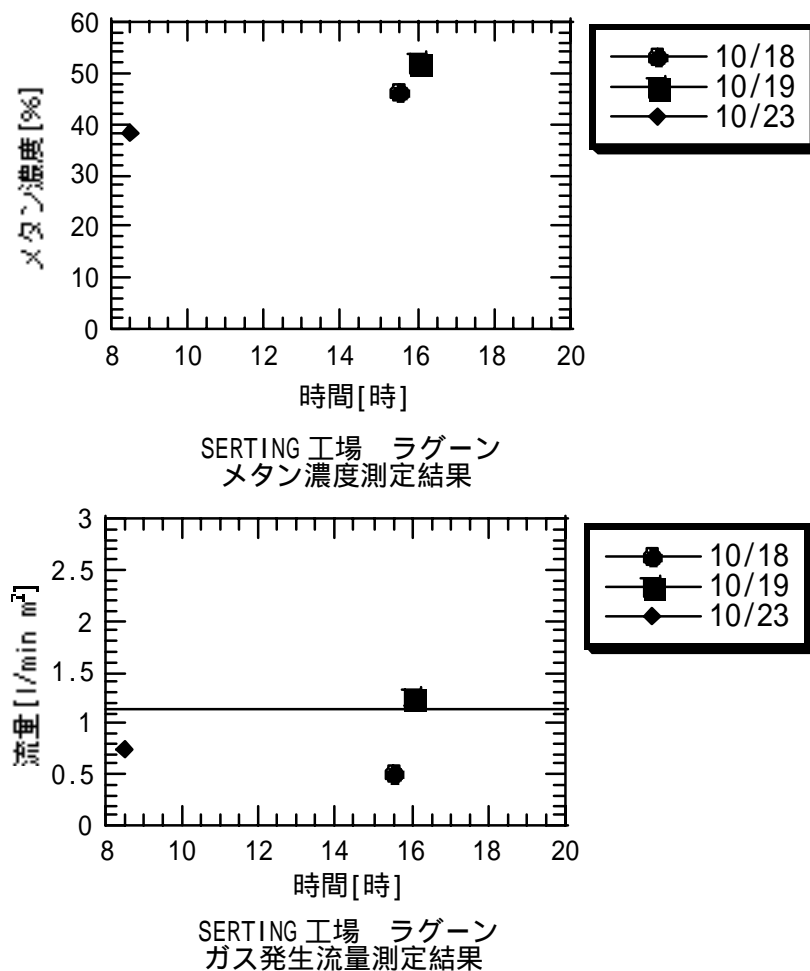


図4-7 SERTING 工場のラグーンにおけるメタン濃度及び発生ガス流量の結果

SERTING 工場のラグーンのもメタン濃度も約45%であった。また、メタンガス流量は、一地

点3回の測定の平均値をとると、約0.8[l/min m<sup>2</sup>]であった。この場合も、実線で示される文献値から予測されるガス発生流量は、実測値とほぼ同レベルであり、実測値の妥当性も裏付けられた。

#### モニタリングと今後の課題

今回の調査で得られた最大の知見は、実際にパームオイル工場の現場で、メタンガス発生量の測定を行った結果、発生バイオガス中のメタン濃度が約35～45%と、これまでの実験室での結果に基づく報告値よりも大幅に低かった点である。消化タンクのガス流量実測結果と、文献値から推定されるガス発生量から算出したガス発生流量とはほぼ良好な一致を示していた。今回の調査に使用したガス濃度計の測定結果では、実際に排出されているメタン濃度は、実験室の結果から文献で報告されている値を大幅に下回っていた。そこで、他の測定手法(例えば発生ガスを捕集してガスクロマトグラフにより組成分析を行う)によって、また、消化タンクを設置した他工場においても測定を行い、ガス濃度について確認を行う必要があると考える。ガス濃度が信頼できる値であれば、消化タンクについては、メタンガス発生量の推測は、可能であると考ええる。

今回実測に用いたシステムは、プロトタイプではあったが、ガス捕集のためのチェンバーがプラスチック製のため軽く、持ち運びや設置が容易であった。また、ガス導出管にポータブルガス濃度計・湿式ガス流量計を接続することによって、オンサイトで瞬時にメタンガス濃度、発生流量を確認することができた。データ数が少ないが、これは実測に費やせる期間が1ヶ月間であったうち、現地での測定装置の製作に時間を要したこと、チェンバー設置後、空気と発生ガスの置換のために時間を要すること、工場間が広大な油ヤシのプランテーションに囲まれており、移動に時間を要することから、多くのポイントでデータ収集を行うことが困難であったことに起因する。

メタンガス発生流量の計測・監視手法の簡易化を図るため、ビデオ撮影と画像解析による発生量推定手法の開発も検討している。これは、メタンガスの発生に伴い水面に生じる気泡を撮影し、フレーム内に生じる気泡数と実測結果との相関関係から、メタンガス発生量を推測するものである。今回実際にラグーン水面を撮影した画像から、気泡の発生数を計測可能であることは確認した。今後、気泡のサイズの影響も考慮して、実測との補正を行えば、発生量推測値の精度を向上できると考える。本手法の開発により、メタンガス発生量の推測が可能になれば、パームオイル産業からのメタンガス発生量の推測が大幅に簡便になるばかりでなく、他のガス発生量推測にも応用できると考える。

いずれにせよ、今回の計測数が充分であるとは言い難く、夜間の計測による時間変動の有無、オフピークシーズンを含め、月毎の測定を行い、季節変動の有無等の確認が必要である。

今回の調査は、早朝から夕方までの日中の時間帯のみの測定であったが、パームオイル工場は、オフピーク時16時間操業(2シフト制)、ピーク時24時間操業(3シフト制)であるため、日変動について確認するには、今後夜間のメタンガス発生量についても調査が必要であると考ええる。

測定を行った10月は、ピークシーズンに当たり、測定したメタンガス発生量も年間最も高い値に近いと推定される。今後、各月毎のメタンガス発生量を測定し、年変動の有無について確認するのが望ましい。オフピーク時の生産量は、ピーク時の70%程度であり、年平均生産量からのばらつきも小さいので、メタンガス発生量の年変動も同程度で推移するものと予想される。

### (3) 排出管理票の数値に基づく推定

ヒアリング調査は、FELDA社のパームオイル工場に対して、FAXで、生産および廃液処理状況についての調査項目を送付して行った。8工場に調査項目を送付し、全ての工場から回答を得た。

8工場の内、6工場はパハン州、2工場は実測を行ったネグリセンピラン州の工場であった。

表4-1に、ヒアリングを行った各工場のパームオイル廃液量と、パームオイル廃液1tあたり28m<sup>3</sup>のバイオガスが発生するとしてバイオガスを計算し、さらに、実測値に基づき、35%のメタンガス濃度を乗じて、メタンガス発生量を算出した場合と、これまでの報告値に基づき、65%のメタンガス濃度として、メタンガス発生量を算出した場合の2通りについて表4-1に示した。

表4-1 各工場のパームオイル廃液量

	パームオイル廃液量[m <sup>3</sup> /月]	バイオガス推定発生量 [m <sup>3</sup> /月]	メタンガス推定発生量 (実測値に基づく) [m <sup>3</sup> /月]	メタンガス推定発生量(文献値に基づく) [m <sup>3</sup> /月]
Felda Serting Hilir Parm Oil Mill	16110	451080	157878	293202
Serting Mill	9550	267400	93590	173810
Tementi Mill	5154	144312	50509.2	93802.8
Keratong 9 Mill	14000	392000	137200	254800
Keratong 2 Mill	4629	129612	45364.2	84247.8
Keratong 3 Mill	5350	149800	52430	97370
Bukit Kepayang Mill	7062	197736	69207.6	128528.4
Triang Mill	10258	287224	100528.4	186695.6

これまでの実験室での報告値に基づく、メタンガス排出量を大幅に上方に見積もる結果となることがわかる。

実測によるバイオガス発生流量は、バイオガス発生計算量から算出される発生流量(図4-4~図4-7の実線)とほぼ良好な一致(あるいは相関)が得られた。そこで、現状、実際のバイオガス中のメタン濃度が確定すれば、各工場の排出管理票のパームオイル廃液量から、発生するメタンガス量の予測が可能になると考える。

### 4.3 メタンガス放出量の将来推計

文献に発表された生産量推移予測の上に、ここでの発生量は、パームオイル産業における平均的な物質収支を基に算出したCPO生産量から、2.5倍のパームオイル廃液が発生すると考え、さらに文献の報告に基づき、パームオイル廃液1t当たり28m<sup>3</sup>のバイオガスが発生するものとして計算した。文献による実験室での結果に基づき、バイオガスの組成中65%をメタンガスとした場合と、今回の調査により、パームオイル工場でのラグーンからの放出メタンの実測値に基づき、45%をメタンガスとした場合の2通りについて計算した結果を示した。これまでの文献値に基づく6億立米(40万t)を越えるメタンが2020年には放出されることが予想される。一方、実測値に基づけば、同じ年に4億立米(28万t)を越えるメタンの放出が予想される。いずれにせよ、今後もパームオイル生産は増産が見込まれており、パームオイル廃液の排出量、メタンガスの発生量も増加が見込まれる結果となっている。

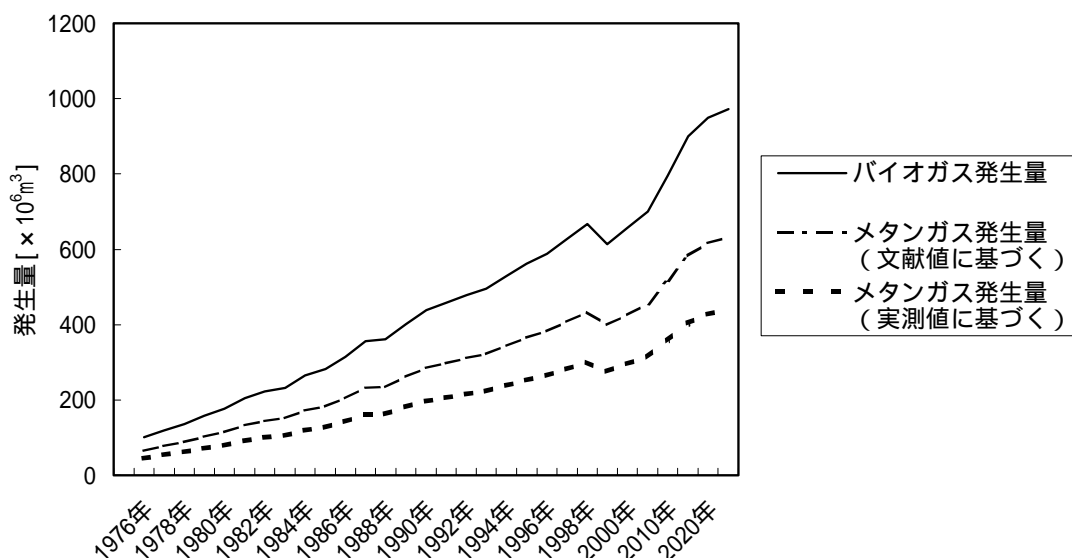


図4-8 マレーシアにおけるメタン発生量推定

### 4.4 ベースライン設定の検討

これまでの実験室で得られた文献値のみを信用してメタン量を推定すれば、2020年には6億立米を越えるメタンの発生が推計される。しかし、今回の実測値に基づけば4億立米と2/3の値となる。この結果は言うまでも無く、ベースラインの設定に大きな影響を及ぼす。しかしながら、今回の調査研究により得られたデータは10月一ヶ月に集中して2工場から得られた結果であり、これのみを正確な値として信じるには検体がまだまだ不十分であろう。ただし、これまでのように、文献値を鵜呑みにできないことだけは確かであり、今後もさらに精度を求め、調査を続けて行く必要があることは疑いない。

2章で示したように、今後ともマレーシアのパームオイル産業は着実な成長が見込まれている。

その排水処理に関しても、事業者の立場に立てば管理が容易で建設費の安いラグーン方式が適当と判断できるであろう。

しかし、この方式では、今後もこれまで以上にメタンを排出しつづけることになり、地球環境問題の観点からは許容できないという意見も当然予想される。ベースラインの基本である business as usual の点からパームオイル産業を見たとき、ラグーンの廃液処理方式のまま今後も改善がないという考えは第三者的には受け入れられないと思われる。

一方、土地の有効利用や管理の合理化の点から、今後、開放式の嫌気処理タンクに替わって行くという指摘も今回あった。また、我々の調査結果により開放式の嫌気タンク方式では排出ガス中のメタンの割合がラグーンからのそれよりも2割以上少ないことを明らかにした。このことは business as usual で推移すれば、現状のラグーンよりも2割以上メタンの削減が期待できる。

図4-9は、施設の建替え時及び新設時にラグーン方式を採用した場合と、開放型タンク方式を採用した場合のメタンガス発生量の見込み量を示す。

ラグーン方式を採用した場合には、2020年のメタンガス量は36万tとなるが、開放型嫌気タンクに移行すれば、33万t程度まで減少する。現実的には、この両方の中間型で推移するものと考えられ、今後のベースラインを決める点で重要な検討ポイントになるように思われる。もちろん、メタン発酵による発電事業等の可能性も否定できないが、パームオイル産業の現状から考えて、これを business as usual と見るのは無理があるように思われる。第6章で述べるように、事業性に問題があるものの公共性と地球環境への貢献が期待できる事業にこそ CDM の機能を発揮させ、マレーシア側にビジネスのインセンティブを与えることが必要と考えられる。

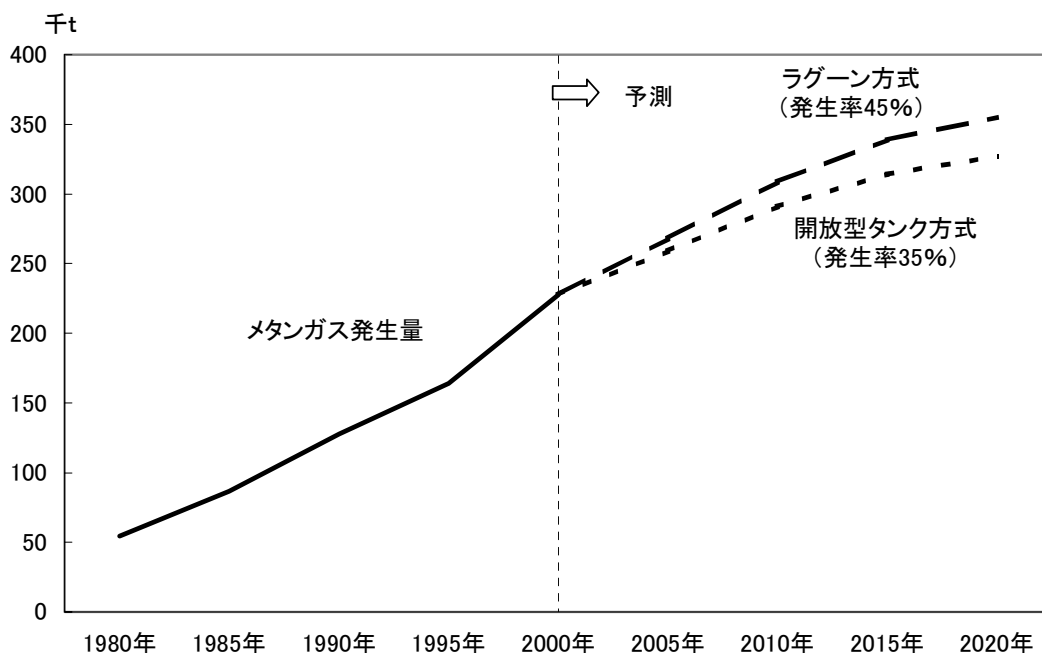


図4-9 各方式によるメタンガス発生量の推定

## 5 . パームオイル廃液処理システムの代替案の検討

### 5 . 1 代替メニューの検討

これまでに述べてきたように、パームオイル廃液の処理は広大な嫌気処理池で行われている。また、今後土地の有効利用の面からも開放系の嫌気処理タンクのシステムに移行しつつあるが温暖化ガスであるメタンが放出され続けることには変わらない。ここでは、パームオイル廃液をエネルギー、資源にして有効に利用する代替メニューとして以下を挙げ検討した。

- 1) 嫌気処理及びエネルギー回収方式 (バイオガス発電)
- 2) 有機酸としての高負荷価値方式 (有機酸の生成と利用)
- 3) その他 (蒸発法)

### 5 . 2 嫌気処理及びエネルギー回収方式

本方式は、POMEをメタン発酵処理してバイオガスを回収し、それをガスエンジン等によって発電したり、熱回収を行う方法である。POMEのメタン発酵については多くの研究例がある。FELDA社の研究開発部門によると、現在ラグーンで処理されているパームオイル廃液も土地の有効利用(ラグーンは搾油工場直近に位置するため、これを油ヤシのプランテーションにした場合、最も収穫の容易な場所となる)や人件費の削減のため開放式の嫌気処理タンクによる処理に移行しつつある。

開放系の嫌気処理タンクの場合、生成したバイオガスはそのまま大気に放出されてしまうため、エネルギーとしての利用はできない。しかし、このタンクに蓋をすればメタンは容易に回収できる。このような方式でメタンを回収し、エネルギー利用している例は数例知られている。図5 - 1にPOMEをメタン発酵処理しエネルギー回収するシステム例を示す。

この際、60tFFB/hrの工場で工場稼働時間1日20時間の場合、20,000m<sup>3</sup>ものバイオガスが発生することが報告されている。また、分析されたバイオガスの成分はメタン65%、炭酸ガス35%、硫化水素は2000ppm以下であると報告されている。

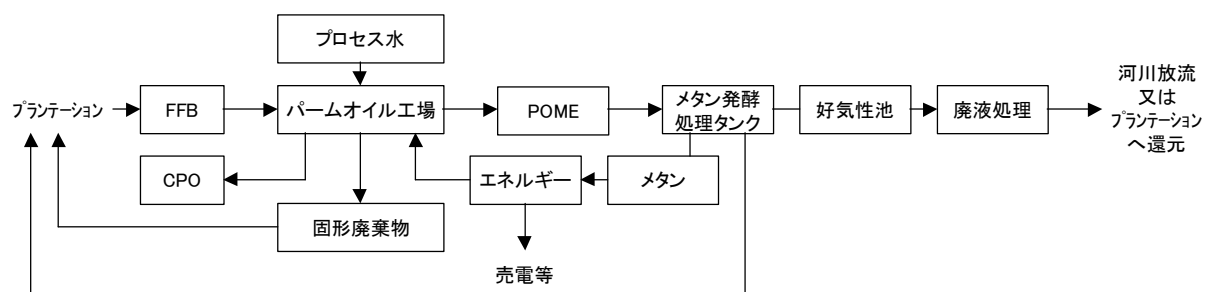


図5 - 1 メタン発酵処理システムを導入したエネルギー回収のフロー例

これらの結果に基づいてメタン発電を試算した結果も報告されている。ここではガスエンジンを 24 時間稼動した場合、1kWh の電力を得るのに必要なガスを 0.54m<sup>3</sup>と仮定している。すると 1 日あたりの発電量は 20,000 / 0.54 = 37,370kWh となる。仮に売電価格を 0.1MR とすると 1 日 3700MR 以上の収入が見こめる。また、ディーゼル油 1 リットルの熱量とバイオガス 1.54m<sup>3</sup> が等価であるとし、20,000 / 1.54=13,000 リットルもの油の削減が可能になる。1 リットルのディーゼル油の価格は 0.6MR 程度であるので、1 日 8000MR 近いエネルギー代の節約につながる(ただし、エネルギーを購入している工場に限る)。

ここで示したシンプルなメタン発酵では 10 日~20 日もの滞留時間が必要になり、大型の装置が必要である。パームオイル産業界でも最近高速のメタン発酵で知られる UASB 方式のメタン発酵に関する研究も見られるが、パームオイル廃液の場合、懸濁固形分(SS)濃度が高く、このままでは UASB をうまく作動させない懸念がある。UASB の前段階である酸生成発酵において SS を低下させる方策が必要である。

メタン発酵については技術的には既に確立されており、実用という観点からも大きな問題ないと考えられる。問題はエネルギー過多産業であるパームオイル産業内でのエネルギー利用と国内への余剰電力の供給が大きな問題と思われる。なぜなら、パームオイル工場は山間僻地に設けられることが多く、電気の中継変電所までの輸送が問題になるものと予想されるからである。

### 5.3 有機酸としての高付加価値化方式

本方式は、POME を嫌気処理し、凍結や蒸発濃縮を行うことにより酢酸、プロピオン酸といった付加価値の高い有機酸を濃縮し工業原料として利用しようというものである。

九州工業大学と UPM の共同研究によって、pH を中性に保ってパームオイル廃液を嫌気処理することにより 5 日程度の短時間の滞留時間で酢酸、プロピオン酸、酪酸からなる有機酸が生成されることが明らかになった。図 5 - 2 に 50L の発酵槽を用いてパームオイル廃液を嫌氣的に連続処理した結果を示す。安定して総有機酸濃度 1% で生産できることがわかる。この発酵では pH を 7 付近に維持するためのアルカリが必要である。また、1% の有機酸を分離精製することも必要である。



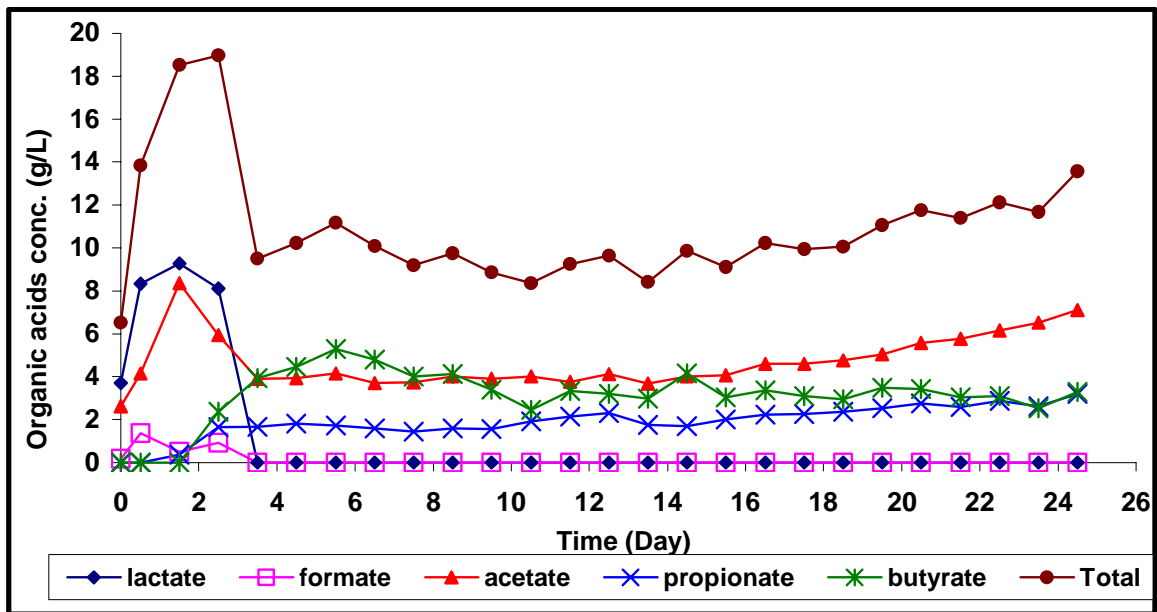


図5 - 2 パームオイル廃液の連続嫌気処理による有機酸の生産  
( pH7、容積 50L、滞留時間 5日間 )

有機酸は濃縮して濃度を上げることができる。この際、大きなエネルギーが要求されるが基本的にパームオイル産業からは大量の固形廃棄物が排出され、これを燃焼させることによって過剰なエネルギーが生産されているため、有機酸を含むパームオイル廃液の嫌気処理液を濃縮したり、有機酸自身を分離精製するためのエネルギーは潤沢にある。濃縮した嫌気処理液（有機酸濃度 15%）を水素細菌の半回分培養することによって菌体中に生分解性プラスチックであるポリヒドロキシアルカン酸（PHA）を蓄積させることにも成功した。（図5 - 3）

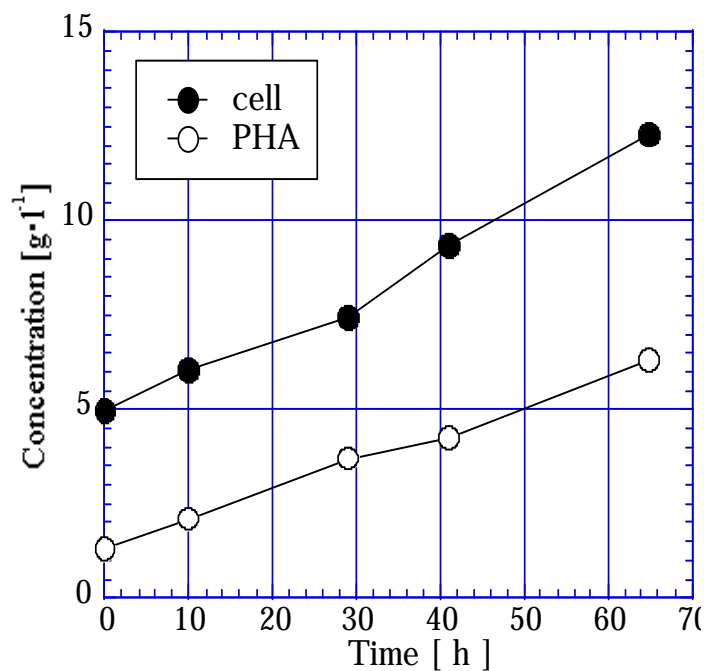


図5 - 2 パームオイル嫌気処理廃液の濃縮液を用いた水素細菌によるPHA生産

パームオイル廃液あたりの有機酸収率は1%、有機酸あたりのPHA収率は10%強であった。したがって、年2500万t排出されているパームオイル廃液から $2500 \text{ 万 t} \times 0.01 \times 0.1 = 2 \text{ 万 } 5 \text{ 千 t}$ のPHAの生産潜在力がある。

PHAの生産はまだまだ実験室規模の研究成果であり、近未来における実現のためにはまだ超えなければならないバリアーも多い。一方、収率1%で生産される有機酸を濃縮し、酸を加えてpHを低下させ、蒸留によって酢酸、プロピオン酸、酪酸を得ることについては技術的な問題は少ない。

図5-4にパームオイル廃液から50リットルの発酵槽を用いて連続的に有機酸を生成させた後、8%まで濃縮し、硫酸でpHを2程度まで低下させた後、単蒸留で有機酸を精製した結果を示す。

精製した結果、15%の有機酸混合液を得た。

この結果から判断すると、多段蒸留塔を用いれば、十分に高い純度で酢酸、プロピオン酸、酪酸を得ることができると考えられる。特にプロピオン酸は付加価値が高く、また、発酵が難しいため、ここで例示した簡単な方法でプロピオン酸が生成できることは今後の事業化の方向を展望する上で意味があると考えられる。



図5-4 パームオイル廃液の連続嫌気処理と単蒸留による有機酸の精製

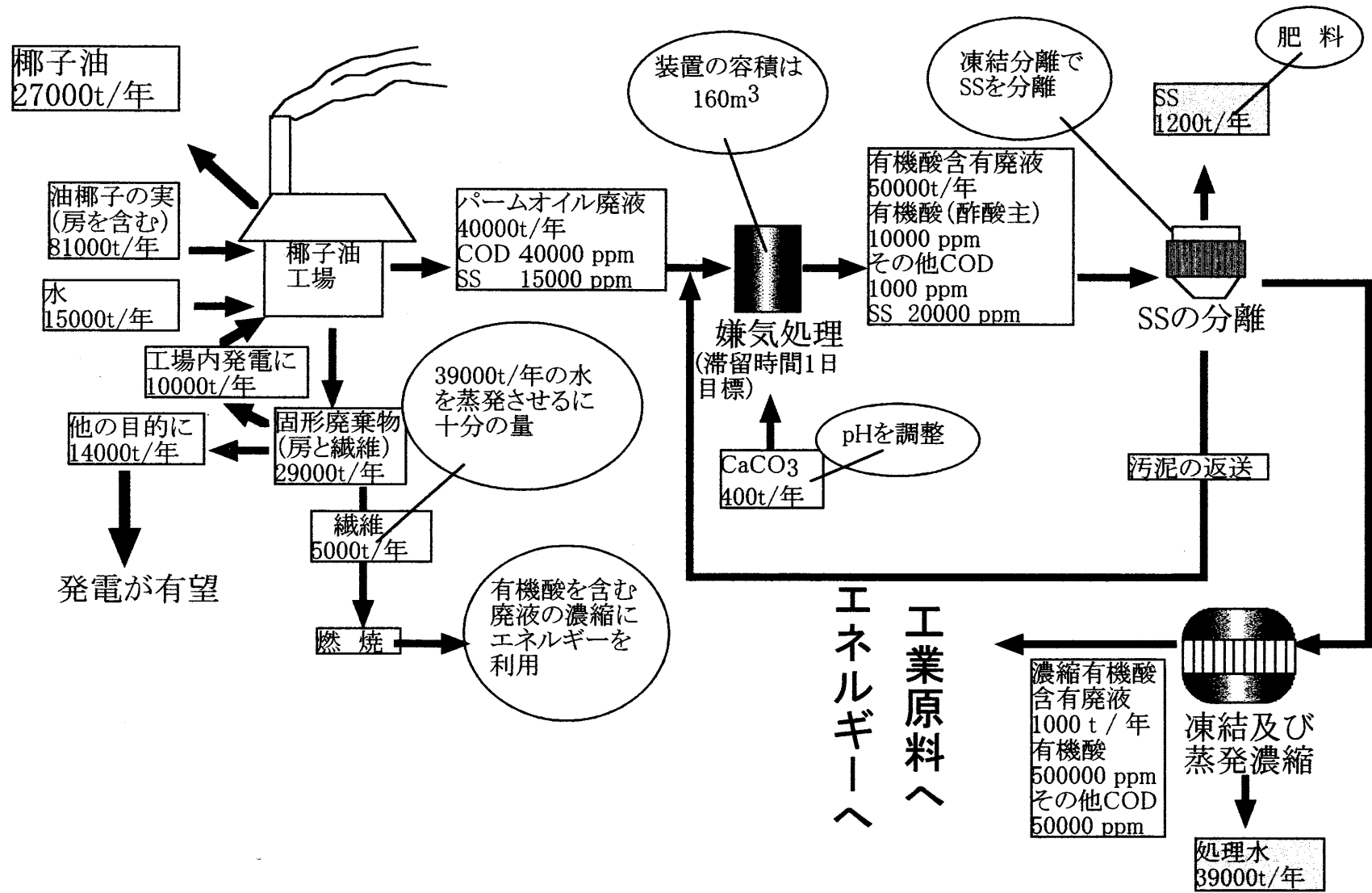


図5 - 5 有機酸の工業原料化フロー

## 5.4 その他

パームオイル廃液を嫌気処理する以外の方法として蒸発法がある。POMEには3~4%の固形文が含まれることから、蒸発法は、この水分をパームオイル産業から排出された固形廃棄物の余剰燃焼エネルギーを用いて蒸発させ、家畜の飼料に利用しようというものである。蒸留の過程で得られる水分の85%程度は回収し、ボイラー用水等として再利用できる質であるとしており、すでに実機規模の実験を終了している。蒸発法の概念図を図5-6に示す。

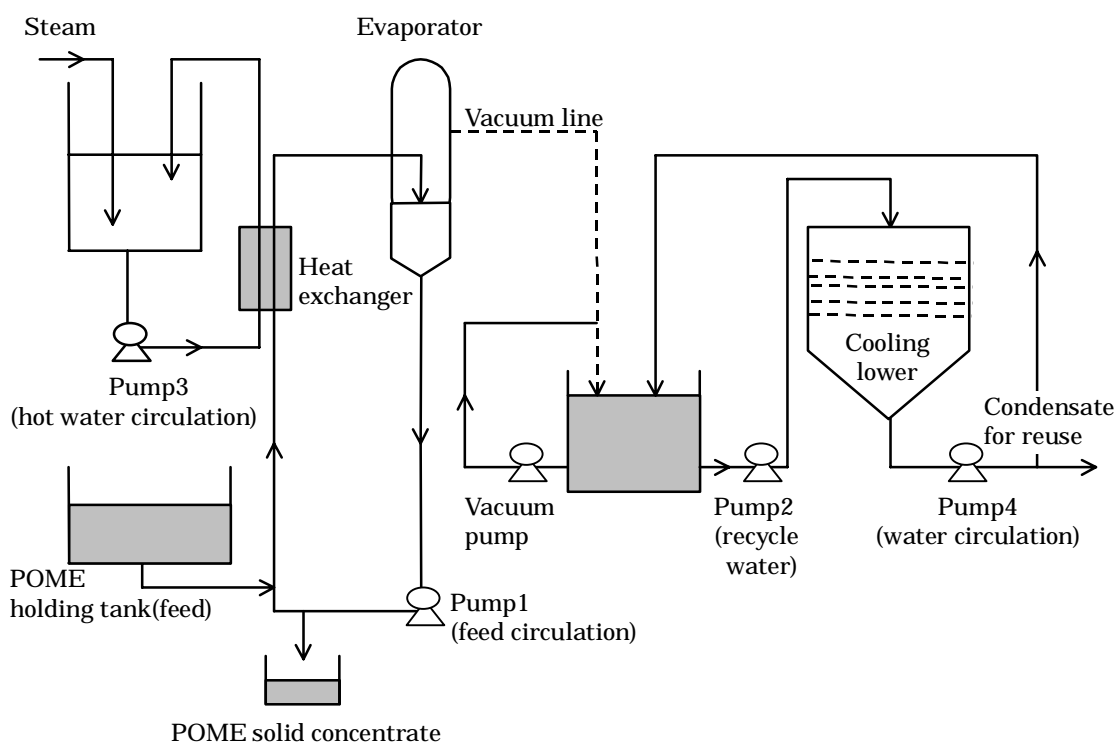


図5-6 蒸発法の概念図

この方法についてはパームオイル廃液中の揮発性成分が蒸発して凝縮液のCODを既定値以下に常に保てるかに不安がある。一方、蒸発缶に蓄積する廃液中の固形分の除去や伝熱面のスケールによる汚れ等も懸念される。さらに、蒸発によって得られた残渣は肥料以上に付加価値の高いものとしての利用も困難である。これらの問題を指摘することができるが、蒸発法はPHAや有機酸をつくる場合と異なり、技術的にはもはや完成されていて、明日にも採用が可能である。個々の問題も解決不能と思えるほどの難問ではない。特に、CDMのための技術として考えたとき、設備費が比較的安いこともあり、採用される余地は十分にあると思われる。また、CDMが上記問題の解決を促すことも十分に期待できる。

## 5.5 廃液処理システム代替案の評価

ラグーンや開放式の嫌気処理タンクに替わる方法としてメタン発酵によるエネルギーの供給、有機酸やP H Aの製造、単純な蒸発法について紹介した。この中でメタン発酵によるエネルギーの提供は技術的には完成しているし、今後マレーシア国内に十分な需要も存在するものと考えられる。しかし、エネルギー、特に、電気のマレーシア国内での価格の低さを考えるとパームオイル産業にとって供給責任の伴う電気事業に事業を拡大することが得策か否かは判断の難しいところである。一方、有機酸やP H Aは付加価値の高い製品であるが、まだ、技術的に十分完成されているとは言えない。今後の研究の進捗により資源化法の切り札になる可能性は否定できないが、現時点では時期尚早であろう。最後に蒸発法は技術的にもエネルギー的にも問題の少ない方法であるが、ここからさして有価なものが得られない点がものたらない。このように見るとどの代替案も明日則現状を変えるまでには至らない。しかし、C D Mにより先進国から資金が入ってくることがあれば、特に、メタン発酵によるエネルギー事業は高い収益性が期待でき、廃液処理システムを代替する大きなインセンティブになり得ると思われる。

表5 - 1 代替案の評価

	嫌気処理及びエネルギー回収方式	有機酸としての高付加価値化方式	その他（蒸発法方式）
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ P O M E をそのままメタン発酵処理を行ってバイオガスを回収し、ガスエンジン等で発電、または熱回収して電気または熱を利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ P O M E に含まれる有機酸溶液を嫌気処理し、凍結や蒸発濃縮を行うことにより酢酸、プロピオン酸といった付加価値の高い有機酸を濃縮し工業原料として利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ P O M E に含まれる水分をパームオイル産業から排出された固形廃棄物の余剰燃焼エネルギーを用いて蒸発させ、家畜の飼料に利用</li> </ul>
技術の確立性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術的には既に確立</li> <li>・ マレーシア国内でも数例の事例あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 研究レベルであり、まだ確立していない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実証試験は実施済</li> <li>・ 技術的には確立されている</li> </ul>
経済性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 売電単価がまだ比較的安価なため、多額の設備費をかけるとメリットが小さくなる</li> <li>・ P O M E 発生量が多くグリッドまでの距離が近い場合には発電によるメリットが大きい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特にプロピオン酸は経済的価値が高い</li> <li>・ 設備費が比較的高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 飼料としての価値はそれほど高くない</li> <li>・ 設備費が比較的安価</li> </ul>
現状の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ パームオイル産業はエネルギー過多であり、発電や熱回収システムを導入する魅力に乏しい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術的にまだ十分確立されていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ C O D を既定値異化に常に保てるか不明</li> <li>・ 蒸発缶に蓄積する廃液中の固形分の除去や伝熱面のスケールによる汚れ</li> </ul>
評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ マレーシアのエネルギー政策と合致している</li> <li>・ 技術面での課題も少ないため当面の対応として最も妥当</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 付加価値の最も高い資源化方法であり、今後の研究に期待</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術的に確立しているにも関わらず導入が進んでいない</li> <li>・ 資源化したものの利用先が十分確保</li> </ul>

## 6 . 事業可能性の検討

### 6 . 1 検討のフレームワーク

#### ( 1 ) マレーシアエネルギー省が実施した F S 調査結果

マレーシアエネルギー省エネルギー局はパームオイル産業によるグリーン発電の可能性に関して調査を実施しており、その中で4ヶ所のモデル工場について詳細な検討を実施している。マレーシアエネルギー局が実施した4ヶ所のモデル工場のF Sのうちマレーシアで平均的な規模である年産6万2千tのC P Oを産出する工場については、E F Bを燃料としたボイラー発電に関してであり、発電出力5MWを想定している。

##### 検討の前提条件

年産6万2千tのC P Oを産出する工場に関するF S調査の検討条件は以下の通りである。

- ・設備費（E F B 燃焼炉、ボイラー、ガスタービン発電機、送電設備） 630 万 US\$
- ・維持管理費（人件費、補修費等） 40 万 US\$ / 年
- ・売電可能量 30 GW
- ・売電価格（グリーン価格） 4US¢ / kWh

このF S調査では、温室効果ガスという環境影響を与えないグリーン燃料を使用した発電であるから4US¢ / kWh（16sen/kWh）での売電が妥当だとして設定されている。

##### 検討結果

これらを基にマレーシアエネルギー局は経済性評価をした結果、売電収入及び工場内省エネルギー効果を含めて年間170万US\$の収入を見込んでいる。

- ・売電収入 120 万 US\$
- ・工場内省エネルギー効果 50 万 US\$
- 計 年170 万 US\$

このような結果となれば銀行金利を考慮しても6年程度で設備費の回収が可能である。ちなみに、事業収益率を示す指標の一つである内部収益率（IRR）は約20となり、事業性はかなり高い結果となっている。

1998年の統計によれば年間850万tのE F Bが発生していることから、バイオマスのコージェネ技術を利用し系統連携によって、潜在的には国のエネルギー供給量の6%をこの再生可能エネルギーで賄うことが可能であると述べている。

#### ( 2 ) 本調査での検討フレーム

検討対象とするパームオイル工場の規模

年産3万4千tのC P Oを産出する工場を対象とする。この規模は表6 - 1で示すように、マレーシアの平均的工場規模であり、マレーシアエネルギー局が実施したF Sの中で規模的

に工場数の多いとされた規模である。この生産規模で次のケースに分けて、事業可能性の検討を行う。

ケース 1：ラグーン方式で処理している POME をタンクシステム嫌気性処理してエネルギー回収を行う場合

ケース 2：既に開放系タンク方式で処理している施設に、蓋掛けしエネルギー回収を行う場合

#### 前提条件

マレーシアエネルギー省の F S 調査を参考に設定した検討のための前提条件を表 6 - 1 に示す。

表 6 - 1 前提条件

設定項目	条件等	備考
工場規模	30 t FFB / H	
工場稼働必要電力	700 kW	
年間稼働時間	8,300 H	ミル実稼働時間：4960 H
CPO生産量	CPO 34千t / Y	
廃水処理方式	タンクシステムによる嫌気性処理	を参照
排出 POME の量	410 m <sup>3</sup> / D	
POME 中 COD	53,600 ppm	マレーシアエネルギー局データ
POME 中 SS	10,000 ppm	

#### 注) COD と発生メタンガス量との関係

POME 中の COD 分 (53,600ppm を想定) が全て嫌気処理されれば、理論的には 7,692 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / D のメタンガスが発生する。

実験室での研究結果からは POME 1 t あたり 28m<sup>3</sup> のバイオガスが発生し、そのうち 65% がメタンガスであったと報告されている。これからすると 7,462m<sup>3</sup> / D のメタンガスが発生することになる。この差異は COD 数値の差によるものであり、実験室での発生ガス量が正しいとすると、POME 中 COD は 52,000ppm 程度と推定される。なお、この数値はエネルギー局が実施した F S で述べられている POME 分析値の COD = 53,600ppm と非常に近い値となっている。

従って、本章の検討では、POME の COD としては COD = 53,600ppm を採用することとする。

#### タンクシステム嫌気性処理

POME には BOD 成分や COD 成分以外にも SS 分やオイル分が含まれており、最新式の高速嫌気処理システムを導入するのであれば、前処理として SS 分やオイル分を除去する必要がある。ところが、現状のパームオイル工場では広大なラグーンシステムが採用されて



おり、日本国内のように設置面積の制約がないのであれば、敢えて高価な高速嫌気処理システムを導入する必要は無いと考えられる。したがって、嫌気処理システムとしては、簡易な密閉式円筒容器を使用したタンクシステムを採用する。

#### タンクシステムの計画諸元

- ・必要なタンク容量： 約 5,200m<sup>3</sup>
- ・滞留時間： 約 13 日間
- ・使用するタンク基数： 1,800m<sup>3</sup> タンク (φ 14m × H12m) 3 基
- ・設置面積： タンクシステム全体で約 4,000m<sup>2</sup>
- ・必要な要員数： 熟練者 2 名 + 非熟練者 4 名 (対象工場は 2 シフト / D、1 シフトは 8 H であるから、1 シフトあたり熟練者 1 名 + 非熟練者 2 名とした)

#### エネルギー回収方式

タンクシステムにて回収されたメタンガスのエネルギーはガスエンジンまたはガスタービンを導入し発電する。ここでは、ガスエンジンを導入し、売電することとする。

0.54m<sup>3</sup>のメタンガスで 1 kWh の発電が可能とされる (マレーシアエネルギー省) ので、発生メタンガスから約 560 kW の電力を売電することとした。売電価格は、最近マレーシア電力会社 TNB が 3.7 - 4.5 US ¢ / kWh を示し、プラントの立地場所による送電コストを考慮するとしているので、ここではエネルギー省の FS 調査と同様、4 US ¢ / kWh とした。

なお、この電力を自家消費するとすれば購入していた電力代が節約されることとなるが、本ケースでは自家消費分は EFB を利用した発電を行うものとして、ここでは回収したメタンは全量売電するものと想定する。

#### 廃液処理方式

オイルパームのプランテーションに肥料として還元したり、風や水の流れを利用した池で好氣的処理を行い、BOD100ppm 以下にして河川放流を行う。

上記のシステムを概念的に示したものを図 6 - 1 に示す。

なお、現状のメタンガス発生量は、今回のラグーンの実測結果である発生バイオガスの 45% がメタンとした (バイオガス発生量は POME 1 t から 28m<sup>3</sup> 発生するとした)。

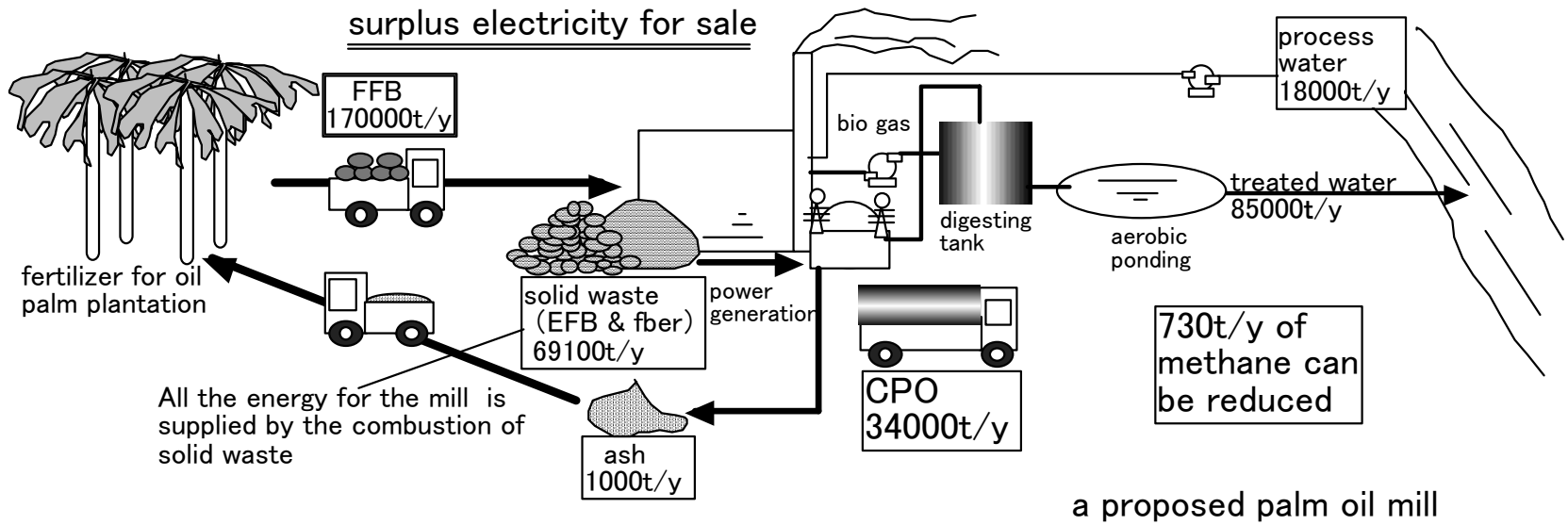
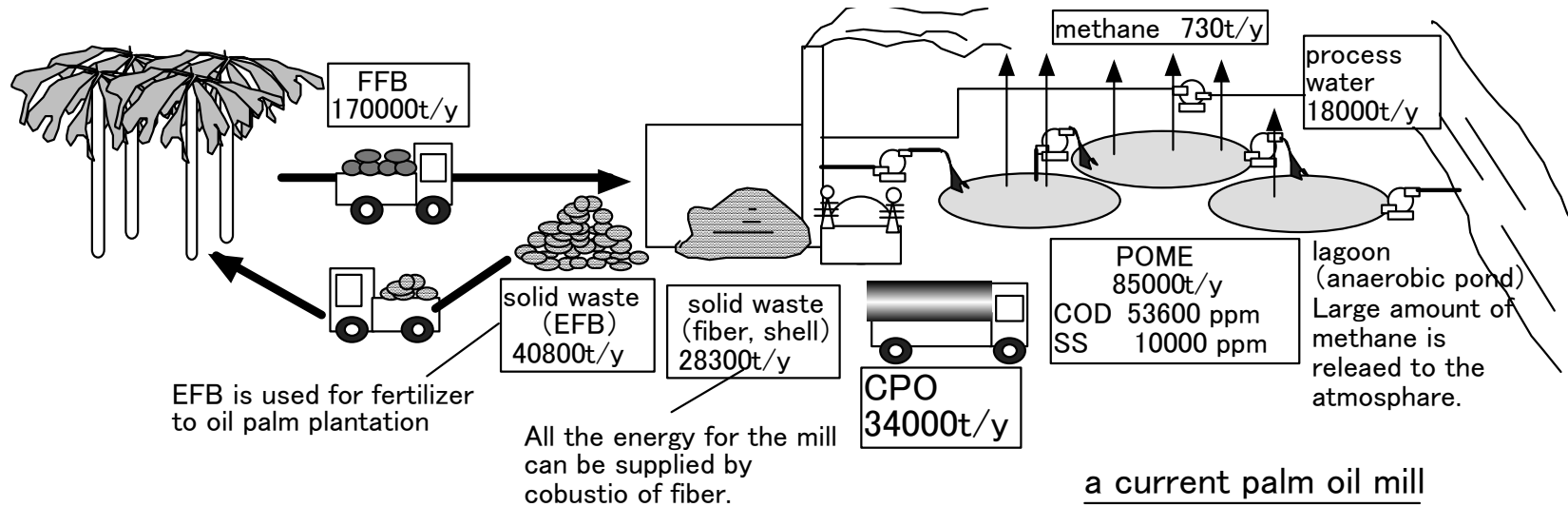


図 6 - 1 検討するケースのシステム

### (3) 物質収支

採用するシステムフローに基づく物質収支を図6-2に示す。

タンクシステムを導入することにより、 $410\text{m}^3/\text{D}$ のPOMEから発生するメタン  $5,186\text{kg}/\text{D}$  が削減されるとともに、 $560\text{kW}$ の電力を回収出来ることがわかる。なお、ガスエンジンから $\text{CO}_2$ が発生するが、バイオマス起源のものであるため、 $\text{CO}_2$ 発生量にはカウントされないものである。

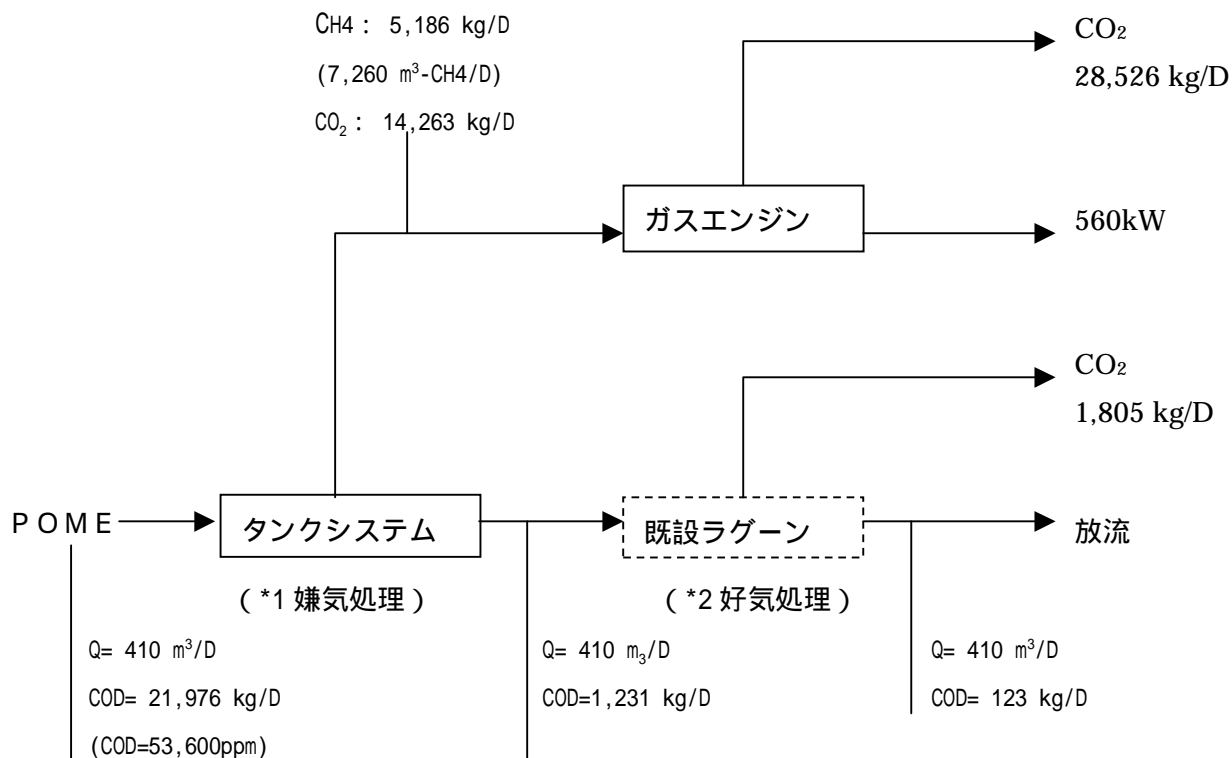


図6-2 本事業における物質収支

物質収支の算出根拠は以下とした。

\*1: POME 1 t から  $28\text{m}^3$  のバイオガスが発生し、そのうち 65% がメタンとの実験室での研究結果がある。本章の検討でこの結果を当てはめると COD が 3% 多い分バイオガスの発生が 3% 多くなると見込まれる。しかしながら実験室のような理想的な環境ではないので、発生バイオガス中のメタンの比率は 60% と見積もった。

これは流入 COD の約 94% がメタンになっている計算になる。この 94% は比較的高い値であるが、流入 SS 分の一部が可溶化しバイオガス発生に寄与していると考えられる。SS 分の 20% が可溶化すると COD 4% 分に相当するので、妥当な値である。したがって、計算上は流入 COD の 94% が処理されるとした。

\*2: タンクシステムで処理された処理水は既設ラグーンにて好気処理されるものとした。

なお、発生した汚泥は現状通りラグーンに沈殿し、現状通り処理されるものとした。

### (4) 費用

#### 建設費

・  $1,800\text{m}^3$  タンク × 3 基: 48 万 US\$ (関係業者へのヒアリング及び 2002 年 2 月現地見積等から設

定)

- ・発電設備費：600kWガスエンジン 1基：30万US\$

人件費

- ・22千US\$/Y(マレーシアエネルギー省資料から、熟練者：530US\$/M、非熟練者200US\$/Mと設定)

維持管理費

- ・23千US\$/年(マレーシアエネルギー省の資料より設定。現状のラグーンシステムと比較してタンクシステムで必要となるのは計器室での監視と現場パトロールであるが、それらも常時必要なものではなく維持管理費としてはマレーシアエネルギー省の資料は妥当と考えられるので、マレーシアエネルギー省の数値を採用)

## 6.2 事業性の検討

### (1) 概算事業収支の検討

嫌気性処理システムを導入してガスエンジンにて電力回収する場合したの事業性の検討結果を表6-2及び図6-3に示す。

本試算条件では、ケース1では7年目、ケース2では2年目に累積収支が黒字転換すると試算され、15年間の累積利益はそれぞれ69万US\$、97万US\$となる。

表6-2 概算事業収支の検討結果

	ケース1：密閉型タンクを建設する場合	ケース2：既設開放タンクに蓋掛けする場合	備考
設備投資額	78万US\$	49万US\$	タンクシステム、ガスエンジンで、ケース2では開放タンク分を除く
年間維持管理費	45,000US\$	45,000US\$	人件費(22千US\$)、補修費(設備投資の1%。ケース2もケース1と同じとした)及び運転費等。
年間売電収入	111,104US\$	111,104US\$	560kW×4,960h/年×4¢
単年度収支の黒字転換年	7年目	4年目	
累積収支の黒字転換年	15年目	8年目	
稼働後15年の累積利益	1万US\$	35万US\$	

注1) 自己資金は投資額の1割とみた

注2) 減価償却年数は10年とし残存率10%とした

注3) 自己資金以外は長期借入金により手当てするものとし借入金利を3%とした

注4) 土地代はみない

注5) 売電価格は15年間変わらない。また、維持管理費も変わらない。

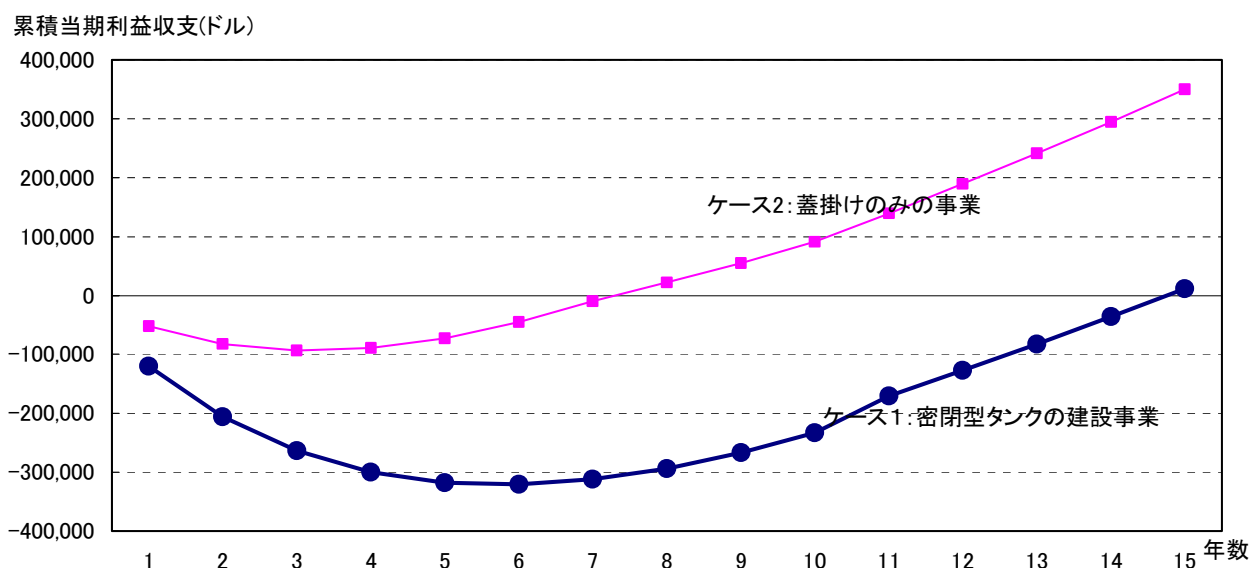


図6 - 3 事業収支シミュレーション結果

検討対象の工場がE F Bを燃料とした5 MW発電設備を設置する場合は、P O M Eからのメタンにて回収したエネルギー利用方法は燃料E F Bの乾燥あるいは燃料そのものとする等様々に考えられる。

なお、検討対象の工場が必要とする電力は700 kWであり、売電ではなく自家消費に回す場合では、メタンから回収される電力で80%程度はまかなうことが出来る。

## (2) 感度分析

以下の条件を変えて、累積収支の黒字転換年がどのように変わるのかを試算した。

- ・ 売電単価
- ・ 設備投資額
- ・ 維持管理費

表6 - 3 感度分析の検討条件

	プラス方向への変化	マイナス方向への変化
売電単価	4.5¢に上がる	3.7¢に下がる
設備投資額	1割下がる	1割上がる
維持管理費	1割下がる	1割上がる

感度分析の結果を表6 - 4に示す。

最も影響を与える要素は売電単価であることから、本事業を推進するためにはマレーシア政府のエネルギー政策と連携した取組みが必要と考えられる。

表 6 - 4 感度分析の結果

	ケース 1 : 密閉型タンクを建設する場合			ケース 2 : 既設開放タンクに蓋掛けする場合		
	現状	プラス方向 への変化	マイナス方 向への変化	現状	プラス方向 への変化	マイナス方 向への変化
売電単価	15 ( 7 )	12 ( 6 )	15+ ( 8 )	8 ( 4 )	5 ( 3 )	10 ( 5 )
設備投資額	15 ( 7 )	13 ( 6 )	15+ ( 7 )	8 ( 4 )	6 ( 4 )	9 ( 5 )
維持管理費	15 ( 7 )	14 ( 6 )	15+ ( 7 )	8 ( 4 )	7 ( 4 )	9 ( 5 )

注) 数字は累積黒字転換年。( ) 内は単年度黒字転換年

### 6 . 3 本事業の評価

#### ( 1 ) パームオイル 1 工場当りの CO<sub>2</sub> 削減効果

CP O の年間生産規模 34 千 t のパームオイル工場からの P O M E 排出量は 85 千 t と試算されるが、本事業を実施することによる CO<sub>2</sub> の削減効果は、パームオイル工場が現在ラグーン方式をとっているのか、開放型タンクを既に導入している工場なのかによって次のようになる。

ラグーン方式をとっている工場 ( ケース 1 )

ラグーン方式で処理している工場に、新たに密閉型タンクを導入することによる CO<sub>2</sub> 削減量は、バイオガスのうちメタンガスの寄与分を 45% とすると、メタンの温暖化係数は CO<sub>2</sub> の 20 倍だから、14,280 t ( 85,000 t × 28m<sup>3</sup> / t × 0.45 × 16 g ÷ 24 l ÷ 1000 × 20 ) となる。

開放型タンク方式をとっている工場 ( ケース 2 )

既に開放型タンクを導入している工場で、蓋掛けを行うことによる CO<sub>2</sub> 削減量は、開放型タンクから発生するバイオガスのうちメタンガスの寄与分を 35% とすると、11,107 t ( 85,000 t × 28m<sup>3</sup> / t × 0.35 × 16 g ÷ 24 l ÷ 1000 × 20 ) となる。

#### ( 2 ) CO<sub>2</sub> を 1 t 削減するための投資額

想定される設備償却期間 10 年間での t 当りの CO<sub>2</sub> 削減コストは、次のとおりである。仮に売電等による効果が見込まれないとしても、4 - 6US\$ の投資で CO<sub>2</sub> を 1 t の削減が可能である。

ケース 1 : 5.5US\$ / CO<sub>2</sub> - t ( 780,000US\$ ÷ 14,280 t × 10 年 )

ケース 2 : 4.4US\$ / CO<sub>2</sub> - t ( 490,000US\$ ÷ 11,107 t × 10 年 )

#### ( 3 ) CO<sub>2</sub> 1 t 削減するための維持管理費

CO<sub>2</sub> 年間削減量 14,280 t 及び 11,107 t を生み出すための年間維持管理費は 45,000US\$ である。したがって、CO<sub>2</sub> 1 t を削減するための維持管理費はケース 1 で 3 . 2 US\$、ケース 2 で 4 . 1 US\$ となる。

#### ( 4 ) 本事業の評価

ケース 1 では 78 万 US\$、ケース 2 でも 49 万 US\$ の投資が必要となるが、累積事業収支が黒字転換するにはケース 1 で 15 年、ケース 2 でも 8 年が必要となる。民間企業が事業化しようとする場合、遅くても 5 年で累積事業収支を黒字転換させる目処が必要と考えられることから、通常では本事業は

成立しない。そこで、CDMによりパームオイル産業から排出されるCO<sub>2</sub>の排出権取引が可能となった場合を想定し、上記ケース1及びケース2をシミュレーションした結果を図6-4に示す。

ケース1では、5年で累積事業収支を黒字転換させるには4.5US\$あればよく、9US\$あれば単年度で累積事業収支が黒字となり、その場合の累積収益は164万US\$にもなる。一方、ケース2では、5年での累積事業収支を黒字転換させるには1.5US\$でよく、5US\$あれば単年度で累積事業収支が黒字となり、その場合の累積収益は101万US\$となる。

今後、わが国が京都議定書を批准し、国際公約となっているCO<sub>2</sub>の削減目標の達成を国内対策のみで対応するのは費用面から困難であるといわれており、CDMをある程度取り入れて削減目標を達成することが現実的であろう。現在、CO<sub>2</sub>の排出権売買の市場はCO<sub>2</sub>1t当り2~3US\$程度と言われているが、今後、京都議定書が発効し関係国が温暖化対策を進めようとした場合に、この市場価格がどのようになるのかは米国やロシアの動向なども絡んで不透明な状況となっている。

そのような状況下で、本プロジェクトはかなりコスト面では安価に実施できる可能性があることが分った。また、マレーシアは本事業をCDM対象プロジェクトとして研究を進めることに対して積極的であり、産官学を挙げて協力体制を整えている。したがって、わが国にとってCDM事業の実施を推進する場合、本事業は最も有望なプロジェクトの1つとなりえると評価できる。

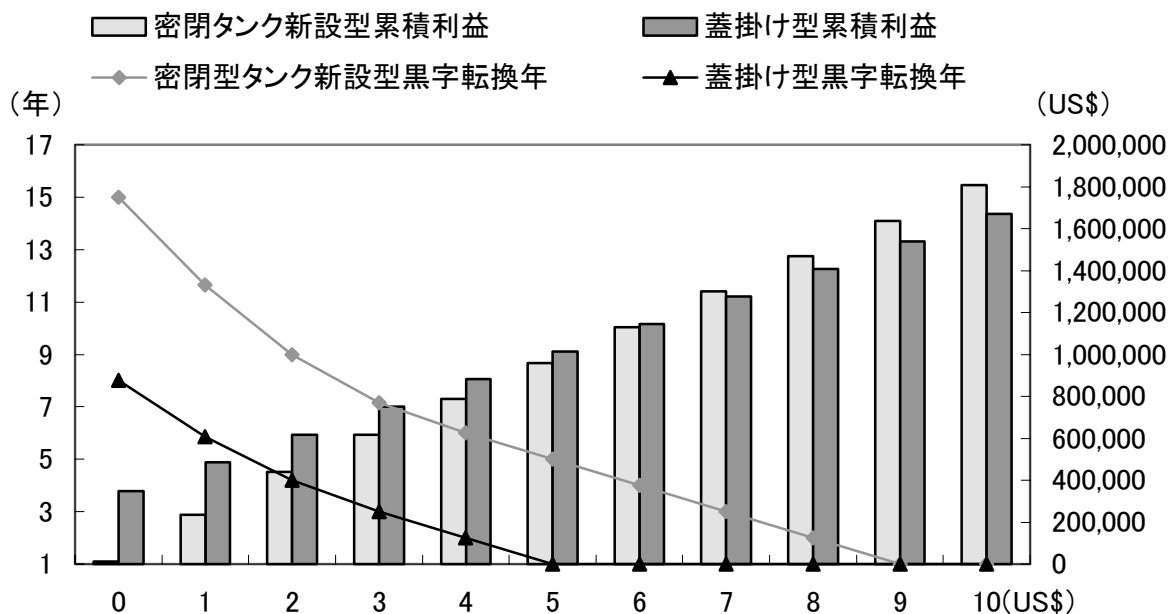


図6-4 導入施設タイプ別の稼働後15年の累計収益

## 7．事業計画素案の作成及び事業化の推進に向けた課題の検討

### 7.1 本プロジェクトの意義

本プロジェクトの主な意義として次の3点が挙げられる。

- 1) 日本・マレーシアの政治経済協力の象徴的事業となりえること
- 2) 日本のCDM案件のモデル事業となりえること
- 3) マレーシアの基本施策に合致した事業であること

#### 1) 日本・マレーシアの政治経済協力の象徴的事業となりえること

マレーシアパームオイル産業の発展に対して、わが国はJICAなどを通じてマレーシア天然ゴム産業からの転換を奨励し、新たな生産技術の導入を支えるなど経済面、技術面で多くの貢献を行い、マレーシアの基幹産業一つに育てる支援をしてきた。現在でもNEDOでは国際共同プロジェクトとしてパームオイル産業から発生する副産物の新規利用用途開発などの面で支援を行っている（本調査研究リーダーの白井教授もそれに参加した経験がある）。

マレーシア政府は、わが国と関係の深いアセアン諸国の中でもマハティール首相を始めとして親日的なリーダーが多い国であるが、このような日本側の取組みに対して、マレーシア農業省のトップは高く評価しているとされる。

このような状況にあって、歴史的な繋がりも深い本事業を日本とマレーシアの象徴的なモデル事業にし、例えばアセアン会議など国際的な場でアピールしていこうという提案がマレーシア側の政府高官から提案もある。2005年に愛知万博の開催を控えているわが国としては、日本の環境技術協力モデルという位置付けもできよう。

但し、マレーシアのCDM政策責任者の1人である気象サービス協会のChow局長は、技術研究の促進についてマレーシア政府側としても協力するものの、現在先進国の技術を使ってGHGを削減してしまうのがよいか、10年くらいたってマレーシアが困ったとき、あるいは、さらに日本が困ったときにCDMを実施するのがよいかは判断に迷うところであると述べている。

#### 2) 日本CDM案件のモデル事業となりえること

パームオイル産業の特徴として、トップ5企業でマレーシアパームオイル生産量全体の7~8割を占めており、FELDA社1社で全体で350工場ある生産工場のうち72工場と約1/5を占める。また、隣国のインドネシアで生産している企業もほとんどマレーシア企業といわれている。FELDA社はマレーシアの国家戦略に基づき経営を行う国営企業であるため、上記1)に基づき、トップが決断すれば本プロジェクトを立ち上げることができるものである、

また、パームオイルは国際商品であることから、各種の信頼性が比較的高い統計がかなり整備されており、また国立マレーシアパームオイル局が設置されパームオイル生産や副産物処理に係る研究が行われているため、POMEの発生量等の推計に資する検討も比較的容易な状況にある。



本事業においては、POMEの処理方式をラグーン方式等から密閉型メタン回収・エネルギー利用方式に変更する技術は既にあるが、本調査で明らかにしたように売電しても事業性が乏しいこと、パームオイル産業は自工場で使い切れない程エネルギーが余っている産業であるため、これまで密閉型タンクを導入してエネルギー回収し自工場で利用するインセンティブが全く働かない状況にあった。ところが、CDMが国際的に注目されるようになって、パームオイル産業側の考え方や態度も変わりつつあり、本調査で明らかにしたようにCO<sub>2</sub> 1 t 当り10US\$に満たない価格で取引されれば、本事業は投資に見合う事業性が得られる可能性がある。

後述するように、平成 14 年 2 月に九州工業大学とUPMが大学間協定を締結し、本調査研究を 14 年度の共同研究テーマとして予算計上し、バイオガスを回収して発電を行うモデル事業を実際に立ち上げ技術的な研究課題を検討することとなっている。

上記よりCDM事業化モデルとして比較的取組みやすいテーマであり、マレーシア側が産・学・官の協力体制を整えて本事業を支援し、かつ日本の国立大学によるモデル事業の実施による課題検討までスケジュール化されていることから、わが国がCDM事業に取り組むにあたってのモデルとしては、最も条件が整っている有力案件の一つといえる。

### 3) マレーシアの基本施策に合致した事業であること

持続可能な開発は、マレーシアにとっても大きな課題となっているが、これを達成するためには、経済的、規制的手法の導入や環境保全目標の設定、社会的責任の喚起、国家や州、地域レベルの開発や諸計画の統合などによって環境にやさしい技術導入を図るとしている (Malaysia Initial National Communication, July 2000)。地球温暖化対策等として、バイオマスを利用したコジェネシステムの導入や産業部門におけるエネルギー効率の改善を挙げて取組みを推進するとしている。また、エネルギー政策上も、バイオマスを含めた代替エネルギーの普及を 2005 年までに全エネルギー需要量の 5%にするとの目標を立てている。

マレーシアにおけるパームオイル産業の重要性は今後も変わらないものと考えられるが、パームオイルの国際市場での価格が下落している現在、パームオイル産業を下支えする仕組みが望まれている。そのような状況下において、マレーシア政府は、CDM事業として可能性のある研究プロジェクトは積極的に進めて欲しいという要望が出され、マレーシア政府もできるかぎり支援したいという態度を表明している。このように、本事業はマレーシアが推進しようとする基本政策に合致した事業といえる。

## 7.2 事業実施計画素案

本事業実施計画素案は、FELDA社との協力関係が得られることを前提に実施することを想定する。

### (1) FELDA社の施設更新・新設計画

FELDA社が保有する現状のパームオイル工場 72 工場のうち、廃液処理方法はラグーン方式 60 工場、開放系タンク方式 12 工場である。事業計画の前提となる施設の更新・新設計画

を次のように想定する。

- ・ F E L D A 社の工場規模は全国の工場の平均規模（3万4千t）と同じ規模と想定
- ・ ラグーン方式は、毎年、1割(6工場)ずつ更新すると想定
- ・ 開放系タンク方式は、毎年、1割（1工場）ずつ更新する、蓋掛けすると想定
- ・ 今後10年間で毎年3万4千t規模のC P O生産量を持つ工場2施設ずつ新設すると想定

## （2）事業スキーム案(シナリオ案)

事業主体

F E L D A 社

(日本側企業はF E L D A 社に対して資金面、技術面での支援、協力)

メタン回収施設 + 発電施設の導入時期

ア．既設のラグーン方式及び開放系タンク方式の工場

更新時に密閉式メタン回収装置及び発電施設を導入

イ．新規に建設する工場

当初から密閉式メタン回収装置及び発電施設を導入

本事業の費用負担の役割分担

本事業の費用負担に係る役割分担案を表7 - 1に示す。基本的な考え方は、投資費用は日本側が、維持管理はF E L D A 社側が持つものとしたが、新設工場については、土地条件などから本事業を実施する / しないに関わらずF E L D A 社側はラグーン方式から開放系タンク方式にすると考えられたことから、開放系タンクの建設費用まではF E L D A 社が負担するものとした。

表7 - 1 F E L D A 社と日本側のコスト負担に係る役割分担案

		F E L D A 側の負担	日本側の負担
既設工場	ラグーン方式	・メタン醗酵、発電に係る維持管理費	・メタン醗酵施設の建設費 ・発電施設の導入費
	開放系タンク方式	メタン醗酵、発電に係る維持管理費	・開放系タンクに蓋掛けする費用 ・発電施設の導入費
新設工場		・オープンタンクの建設費 ・メタン醗酵、発電に係る維持管理費	・開放系タンクに蓋掛けする費用 ・発電施設の導入費用

## （3）施設整備計画

施設数及び施設規模

施設整備計画は、表7 - 2に示すとおりであり、今後10年間で90工場で密閉型メタン回

収及び発電施設の建設が見込む計画とする。この計画が実現化した場合、10年目には既存72施設のうち70施設が更新される。方式別には、ラグーン方式は全廃され、開放系タンク式2基のみからメタンが排出されるという状況になる。

表7-2 10年間での施設更新等による新施設建設数及び累積施設規模

	現状の施設数	更新等による新施設数	施設規模
ラグーン方式	60	60	372万m <sup>3</sup>
開放系タンク方式	12	10	62万m <sup>3</sup>
新設数	-	20	124万m <sup>3</sup>
計	72	90	558万m <sup>3</sup>

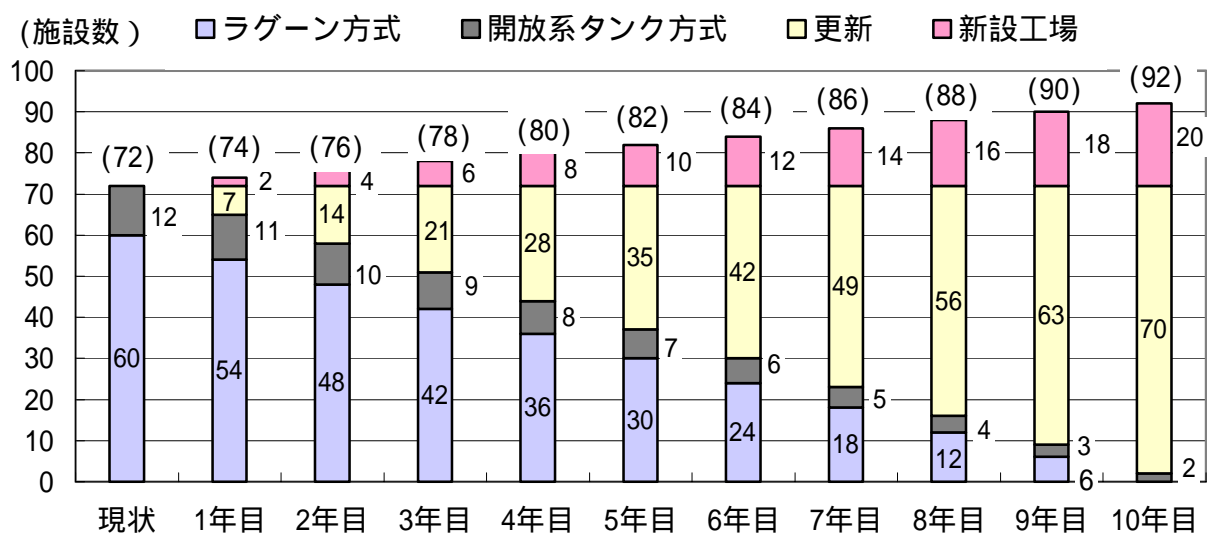


図7-1 10年間での施設更新等による新施設建設数

#### (4) 本事業によるCO<sub>2</sub>削減効果

本調査で今回実施した実測調査の知見に基づき、方式別のメタン発生割合を

- ・ラグーン方式 45%
- ・開放系タンク方式 35%

とし、次の式からCO<sub>2</sub>の削減量を試算した。

$$\text{CO}_2 \text{削減量} = \{ \text{ラグーン方式の施設数} \times \text{CPO生産量} \times 2.5^{1)} \times 28\text{m}^3 / \text{t}^{2)} \times 0.45 \times 20^3 \} \\ + \{ \text{開放系タンク方式の施設数} \times \text{CPO生産量} \times 2.5^{1)} \times 28\text{m}^3 / \text{t}^{2)} \times 0.35 \times 20^3 \}$$

- 1) POMEの発生率
- 2) POMEからのバイオガス発生原単位
- 3) メタンの温暖化係数

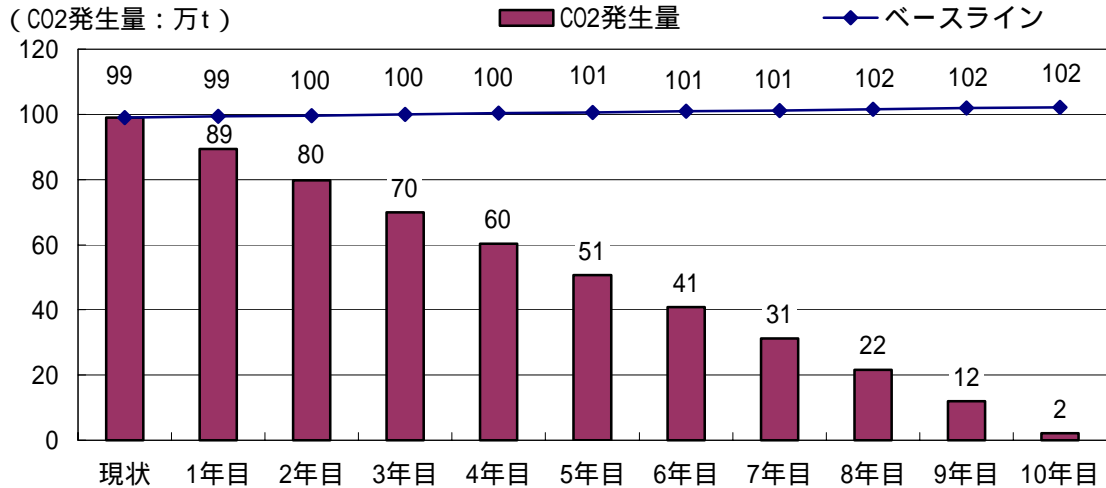


図7 - 2 ベースライン及び本プロジェクト実施によるCO<sub>2</sub>発生量

ベースラインは、本プロジェクトを実施しない場合、施設の更新・新設時に FELDA 社では開放型タンクを導入する場合を設定した。ベースラインと本プロジェクトを実施した場合のCO<sub>2</sub>発生量を図7 - 2に示す。

上記条件に基づきCO<sub>2</sub>削減効果を試算すると、年間削減量は10万tであり、10年間の累積削減量は図7 - 3に示すとおり、550万tが見込まれた。この他にもバイオガス発電による化石燃料の節約に伴うCO<sub>2</sub>削減効果がある。しかし、7.3で後述するとおり、本事業による電力量は、マレーシアの年間電力量の0.03%にすぎないことから、ここではその効果はみ込んでいない。

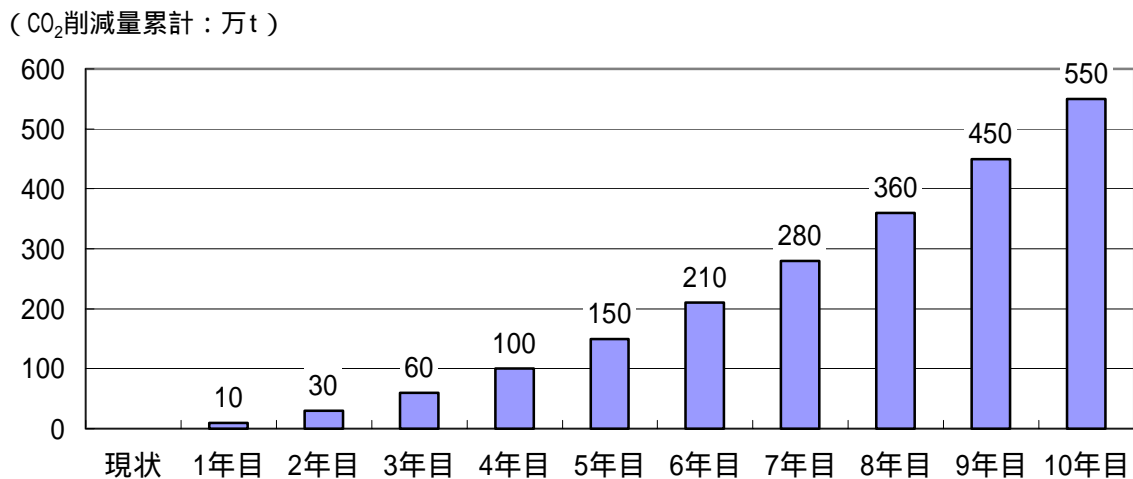


図7 - 3 10年間でのCO<sub>2</sub>累積削減量

## (5) 本事業に係るコスト

### 施設建設費

建設に係る10年間の総投資額は6,730万US\$が見込まれ、上記の役割分担に従うと日本側が6,150万US\$の負担をすることになる。

表 7 - 2 10 年間で施設建設費

	更新等による新施設数	建設単価	施設建設費
ラグーン方式	60	78 万 US\$	4,680 万 US\$
開放系タンク方式	10	49 万 US\$	490 万 US\$
新設数	20	78 万 US\$	1,560 万 US\$
計	90	-	6,730 万 US\$

注) 建設単価には発電施設を含む

表 7 - 3 FELDA 社及び日本側の建設投資額

	更新等による新施設数	建設単価	施設建設費
FELDA 社			580 万 US\$
開放系施設建設	20	29 万 US\$	580 万 US\$
日本側			6,150 万 US\$
メタン発酵施設	60	48 万 US\$	2,880 万 US\$
蓋掛け	30	19 万 US\$	570 万 US\$
発電装置	90	30 万 US\$	2,700 万 US\$
対象施設数 計	90		6,730 万 US\$

#### 維持管理費

バイオガス回収による発電事業は、1工場あたり年間維持管理費として4万5千 US\$必要となるが、当該施設では年間の維持管理費を上回る年間売電収入が11万1千 US\$見込まれるため、事業主体側は6万6千 US\$の利益を得ることが可能となる。

#### CO<sub>2</sub>削減コスト

施設当りのCO<sub>2</sub>の年間削減量は、ラグーン式で14,280 t、開放系タンク式で11,107 tである。したがって、CO<sub>2</sub>を1 t削減するための建設費、維持管理費をそれぞれ求め、年間の1 t当りの削減コストを求めると、日本側は5~6 US\$/CO<sub>2</sub>-tの負担となるが、FELDA側は売電による収益を得ることになる。したがって、CDMによる排出権取引価格が6 US\$以上となると、日本側にメリットが生じることになる。

表7 - 4 既存施設における関係者のCO<sub>2</sub>削減コスト

(単位：US\$)

	建設費 / CO <sub>2</sub> - t			維持管理費 / CO <sub>2</sub> - t			CO <sub>2</sub> - t 当り削減コスト		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
FELDA社	0	0	2.0	-4.6	-6.0	-4.6	-4.6	-6.0	-2.6
日本側	5.5	4.4	3.4	0	0	0	5.5	4.4	3.4

注1) A：密閉タンク建設ケース、B：蓋掛けケース、C：新設のケース

注2) CO<sub>2</sub> - t 当りの建設費では、設備費の償却期間を10年間とした

注3) 売電による収益を見こみ年間のCO<sub>2</sub>削減量で除した

## (6) モニタリング計画

プロジェクトの効果を適切に評価するために、以下に示すモニタリングを行う。

モニタリングを担当する組織の名称

マレーシア側CDMの主体組織であるマレーシア気象サービス協会、及び環境局 (Department of Environment) が担当するのが妥当と考えられる。

モニタリング項目

- ・メタン排出量
- ・メタン濃度
- ・POME排出量
- ・POME組成
- ・処理水組成 等

サンプリング方法及びデータの収集方法

オンサイト採集法、ビデオ解析法、現地でのサンプリングとガスメータやガスクロでの測定、工場の排水処理関連データのヒアリング

モニタリングの実施頻度

月に1回の実施が望ましい。オンラインサンプリングによる日変化の確認も必要と考えられる。

プロジェクトケースとベースラインケースについて温室効果ガスの排出量を見なおすためのモニタリングデータ及びその他の情報の活用方法

- ・ベースラインは Business as Usual モデルによるものであるが、本事業ではパームオイル産業側がラグーン方式の更新時及び新設時に開放系タンクを設置すると想定している。他工場の動向を新設、更新動向も踏まえ、このような前提が妥当かどうかを検討する。
- ・メタンガス発生量は、CPO生産量を2.5倍してPOME量を求め、POME 1 t 当りのバイオガス排出原単位 28m<sup>3</sup>を乗じて、バイオガス量を求めてそのうちのメタンガス分(こ

ここではラグーン方式 45%、開放系タンク方式 35%) をさらに乗じてメタンガス発生量を求めている。バイオガス排出原単位は、COD52,000 程度と試算できるが、パームオイル工場によってCOD量はかなり変動がある。今後、CPOの生産方式もより近代化が進むと思われることから、そのような要因も含めCODの設定、即ちバイオガス排出原単位 28m<sup>3</sup>の妥当性について検討を行う。

- ・POMEの量については、排出管理票も利用してチェックを行うことが必要と考えられるが、その排出管理票の信頼性の幅についても確認を行う。
- ・閉鎖式タンクシステムを導入した場合のCH<sub>4</sub>とCO<sub>2</sub>の発生ガス組成を等モル(1:1)と想定(つまりラグーン方式よりメタンガスの回収は効率よいと考えるが、実験室での数値65%よりは低い)しているが、その妥当性についても検討を行う。

## (7) 事業化に向けたステップとスケジュール

本調査の実施期間中である平成14年2月に、九州工業大学はマレーシアプトラ大学と大学間協定を締結し、共同研究等を推進することになった。本案件は、その締結に基づく最初の共同研究テーマとなり、九州工業大学では14年度に予算計上して大学をあげて強力で研究を推進するつもりである。また、FELDA社も引き続き本調査に対する協力を維持する考えを表明している。

事業化に向けて次の3段階で取り組むこととする。

### ステージ1

#### モデル事業の実施

九州工業大学の研究資金等を利用し、ラグーン方式を密閉タンク方式へ変更するモデル事業1ヶ所及び開放系タンクを閉じるモデル事業1ヶ所をそれぞれ実施して、事業化可能性を具体的に検討する。

#### 事業実施体制の整備等

本案件に係るベースラインについて国際社会で認知を得るための取組みを行うとともに、国内における排出取引への投資に関心のある事業者(行政機関等も含む)を募集しCDM事業の実施体制の整備を図る。

### ステージ2

ステージ1の調査研究成果を踏まえ、FELDA社パームオイル工場の建替更新時期及び新設時に合わせて、密閉式タンク式のバイオガス回収・発電システムを導入する。なお、FELDA社以外のパームオイル生産事業者との連携可能性を検討し、連携可能な事業者との協力関係を得ることにより、本方式の拡大を図る。

### ステージ3

現在、研究室レベルで付加価値の高い有機酸やPHA(生分解性プラスチック)の回収を行

っているが、当面これらの工業的生産の可能性を検討し、数年後に実証プラントを建設することを目指す。実証実験の結果から事業性を評価し、事業性の確保が見込まれる場合には、その事業実施化を推進する。

表 7 - 5 事業化に向けたスケジュール(案)

項目	時期	H14fy (2002)	H15fy (2003)	H16fy (2004)	H17fy (2005)	H18fy (2006)	H19fy (2007)	H20fy (2008)	H21fy (2009)	H22fy (2010)
STAGE 1 実証試験及び評価方法の確定		モル施設建設 CDM事業評価手法の確立	モル施設の運転・評価							
STAGE 2 事業の実施・拡大				更新・新設時期に合わせて事業化						
STAGE 3 有機酸等回収、利用モデルの実証、導入		実用化に向けた研究		モル施設建設	モル施設の運転・評価				事業化へ	

### 7.3 プロジェクト実施による間接影響

#### (1) 正の影響

CO<sub>2</sub>削減効果以外に、本プロジェクトを実施することによる事業効果として、主に次のことが挙げられる。

- 1) グリーン電力による化石燃料由来の電力節減効果
- 2) 土地の有効利用促進効果
- 3) 経済効果
- 4) その他

#### グリーン電力による化石燃料由来の電力節減効果

メタンガス 0.54m<sup>3</sup> から 1 kWh の発電が可能である。本プロジェクトによりメタンガスの年間発生量は 9996 千 m<sup>3</sup> と試算されることから、バイオガスによる年間発電量は 18.5Gwh ずつ増加し、10 年後には 185GWh になる。マレーシア政府としては、今後分散型のグリーン電力を増やしていくという方針を出しており、本事業はその方針に合致するものである。

なお、1999 年におけるマレーシア(半島マレーシア、サバ州及びサラワク州)の電力消費量は 54,355GWh であり、このグリーン電力はマレーシアで消費する年間電力全体のおよそ 0.03%に相当する。



#### 土地の有効利用促進効果

ラグーン方式には様々なデザインがあり、ラグーン（嫌気性処理池）の構成も決まっていはいないが、極めて広大な土地を利用している。FELDA 社 8 工場に対するヒアリング調査結果に基づき試算すると、ラグーンの大きさは 1 工場あたり 5ha 程度である。

これを密閉式メタン発酵・エネルギー回収方式に変えることにより、0.4ha となることから、1 工場あたり 4.6ha の土地が節約される。10 年間で現在ラグーン方式を採用している 60 工場が転換するとした場合に、276ha の土地が他用途に利用できるようになる。

#### 経済効果

本事業により年間 673 万 US\$、10 年間に 6,730 万 US\$ の投資が見込まれ、その直接投資効果が期待される。また、パームオイルの国際市況が低迷する中で、マレーシアパームオイル産業にとって本業を支える新たな事業収益になり得るものである。さらに、投資による派生的な経済効果に加え、モデル事業ということでマレーシア国内外からの視察者等が多数、関係工場に視察に来ると考えられることから、視察者等による経済効果なども期待される。

#### その他

パームオイル産業のラグーンから排出される排水には、排水基準を満たさない高い BOD 濃度のものが排出されているケースもかなりあり、水質汚濁や悪臭等の問題を招来しているといわれている。このような排水を流している工場では、本事業の実施により排水管理の徹底により、それらの問題がなくなることが期待される。

また、マレーシアにおいても今後環境問題、エネルギー問題に対して積極的に取組みを推進していくこととされており、本事業はその一環としてのモデル効果が期待される。

## (2) 負の影響

本事業を実施することによる負の影響は、メタンガスの貯留が必要となるため、適切な管理を実施しないとガス爆発が懸念されることである。したがって、従業員教育や安全性に十分な配慮した施設建設が必要といえる。

## 7.4 事業化の推進に向けた課題

### (1) 国際社会における本事業のベースラインの認知

今回の 9 月から 10 月までの現地調査は、2 工場を対象にメタンガスの実測測定を行い新しいラグーンやタンクからのメタン排出状況について、新たな知見を得ることができたものの、これまでのマレーシア側が提示したデータと突き合わせた場合の齟齬について、マレーシア側との協議を十分に行うことができなかった。さらに、メタン発生量の推定に、九州工業大学が開発したコンピュータソフトを用いて、ラグーンからのメタン排出状況をビデオ撮影したものを映像解析したが、それから得られた排出量データに対して、第三者が見た場合にまだ十分説得力のあるものとはなっていない。

排出量の評価にあたっては、複数の運営組織の間で同様の評価ができるよう、排出量の算定の標準化が求められているが、パームオイルの生産はマレーシアとインドネシアが世界の75%と独占に近い状況にあり、インドネシアのパームオイル産業はマレーシア資本が多い。したがって、国際社会から認知を獲得するために、排出量算定の標準化のあり方について、第三者も交えた検討・評価委員会の開催の必要性も含めて検討する必要がある。

## (2) 事業化にあたってのリスク軽減

本事業に日本側の投資家呼び込むためには、投資家にとってのリスクを極力下げることが望まれる。現在、炭素クレジットが2～3\$/CO<sub>2</sub>-tといわれているが、炭素クレジットによる収入を大きく見込まなければ事業が成立しない、というものでは、本事業に対する投資を得るのは難しくなる。理想的には、炭素クレジットを入れなくても売電だけで事業として成立することである。バイオマス発電等に対しては3.7-4.5¢/kWhと通常の余剰電力に比べて優遇しているが、事業コストの削減とともに発電による事業効果や税制面、また建設にあたっての低利融資の導入など、CDM事業が容易になるよう制度面での検討が望まれる。

## (3) モデル事業の実施による事業性の検討

本調査では、上記の事業コストの見積りをもって事業コストを試算することはできなかった。したがって、具体的にラグーン方式を転換する場合、及び開放系タンクを密閉型メタン回収と発電事業を行うサイトをそれぞれ定め、モデル事業を実施することによって以下に示す主な課題を検討する必要がある。

- ・ラグーン及び開放系タンクを閉鎖するための具体的な方法や手順（なお、閉鎖系タンクを閉じる場合は物理的補強の必要性やガス爆発等の危険防止策も検討）
- ・回収するバイオガスの質、量、及び閉鎖した場合のCO<sub>2</sub>削減効果並びに発電に利用した場合の効果
- ・発酵廃液の成分、量及びその利用方法
- ・事業性

## (4) 固形廃棄物を利用したバイオマス発電と連携した事業化の検討

上記(2)とも関係するが、パームオイル産業から排出される固形廃棄物については既にエネルギー省がFS調査を実施し、その可能性を言及していることは6章でも述べたとおりである。本調査では予算面、時間面からの制約から固形廃棄物を利用した事業化まで検討できなかったが、事業性を高めるために、固形廃棄物の質及び量を確認し、各工場のオンサイトで発電等を行う事業化をメタンガス回収・エネルギー利用事業と合わせて今後、検討することが必要と考えられる。

## (5) 事業主体及び日馬間での役割分担の確定

ここではFELDA社を事業主体として想定しているが、FELDA社が行うのか、バイオマス発電を行う新会社をFELDA社が関係者と設立するのか不明である。マレーシア側の法

制度を踏まえ、本事業のような場合に最も適当な事業主体を検討する必要がある。

また、日本側とマレーシア側（F E L D A 社）で、炭素クレジットが得られたとしてどのように分配するのか、また建設にあたって、日本側とF E L D A 社側でどのような場合に、何を負担するのかわからないのか、新会社を設立するような場合日本側も参加するのか（できるのか）について協議を行い、検討、確定させる必要がある。

#### **（６）資金計画の作成**

事業主体が確定したとして、事業に必要な資金をどのように調達するのかを検討する必要がある。その際、日本側及びマレーシア側で環境事業を推進するための優遇政策を受けられることが望まれる。具体的には、日本側にはJ B I C の特別環境円借款（金利 0.75%、返済は 10 年据置期間を含む 40 年）の制度が既にあることからこの適用可能性を検討することが考えられるが、プロジェクト費全てをこの融資に依存することは制度上できない。したがって、マレーシア側での有利な資金調達方法等についても検討し、必要があれば制度設計を促すことが望まれる。

#### **（７）事業スケジュールの作成**

F E L D A 社にある既存 72 工場について、具体的な工場名を入れて建替・更新計画を作成するとともに、新規に建設する工場についても具体的な計画を作成することが必要である。

#### **（８）今後のマレーシア側の政策動向、技術動向の把握**

本事業に係るバイオマス発電やC D M 事業に係るマレーシアの政策動向について、マレーシア政府関係者との意見交換を十分に行って把握しておく必要がある。

また、現在でも N E D O がパームオイル産業と連携して技術開発研究を行っているが、パームオイル産業から排出されるP O M E や固形廃棄物等の有効利用に向けた新技術の開発動向を把握するとともにその効果予測についても行う必要がある。

## おわりに

本調査研究を通じて以下の点が明らかになった。

1. パームオイル工場の廃液処理設備である嫌気処理池（ラグーン）と開放型嫌気処理タンクから放出されるメタン量を実測し、それぞれ45%、35%のメタンが含まれていることを確認した。これらの値はこれまでに実験室で明らかにされた値（65%）より有意に小さかった。これらの値はパームオイル産業からの温暖化ガス排出量に対するベースライン決定に大きな意味をもつ。
2. これらの結果からラグーンを使いつづければ2020年には年28万t、開放型嫌気処理タンクでは年20万tのメタンがマレーシアから放出されることが予想された。これらは炭酸ガスに換算するとそれぞれ560万t/年、400万t/年になる。
3. 今後、パームオイル産業の増産傾向に応じ、メタンの排出量も増加するが、business as usual としてマレーシアのパームオイル産業の廃液処理システムが開放系嫌気処理タンクシステムに変更されていくというシナリオを採用したとすると、日本側がメタン発電事業に必要な設備費を投資した場合、発電事業からの収入をまったく考慮せずとも炭酸ガスの取引価格が6\$/t以上になれば採算性があることがわかった。
4. マレーシアにおける産官学のステアリング委員会を組織し、調査結果に基づき、マレーシアのCDMに対する基本姿勢を質したが、バイオ発電を奨励するマレーシアの国策にも合致し、十分な協力体制が構築できることがわかった。

今回得られた実測値はこれまでの報告には見られない値であった。もとより現地調査の期間や場所は限られており、今後もさらにデータの蓄積を進め、調査の精度を高める必要がある。測定値が既往の結果よりも有意に小さい値であったため、メタンの放出量を評価するベースライン決定のためのデータにするには、さらに慎重な検討が必要であると考えからである。一方、今回、マレーシアの産官学に強力なネットワークを構築することができた。また、九州工業大学とマレーシアプトラ大学は正式な学術交流協定を結び、具体的なテーマとして実際にパームオイル工場においてメタン発電を基本とする実証研究に着手することを決定した。この際、マレーシア最大のパームオイル会社である FELDA 社はこの共同研究に積極的に協力することを意思表示している。我々は今後これらの調査研究環境を有効に利用し、我が国にとって実効ある温暖化ガス削減戦略の一翼を担えることをめざす。

九州工業大学大学院生命体工学研究科  
教授 白井 義人  
プロジェクトリーダー