

平成19年度 CDM / J I 事業調査

マレーシア・パーム搾油工場廃棄物のコンポスト化による  
メタンガスの発生抑制事業調査

概要版

平成20年3月

株式会社大和総研



### 1. 本プロジェクトの概要と目的

世界有数のパーム生産国であるマレーシアでは、パーム搾油工程において大量のバイオマス廃棄物と廃水が生じている。本調査では、パーム搾油工場から廃棄される空果房( EFB: Empty Fruit Bunches ) および廃水 ( POME : Palm oil mill effluent ) を日本のコンポスト技術を用いて有機肥料化し、当該バイオマス廃棄物および廃水から発生する温室効果ガス ( メタン ) の発生抑制事業の可能性について調査する。導入技術は畜糞および生ゴミ用に日本で開発され実用化されている全自動リニアターナー式コンポストシステムであり、現地への当該技術水準の向上に貢献するものである。

### 2. ホスト国概況

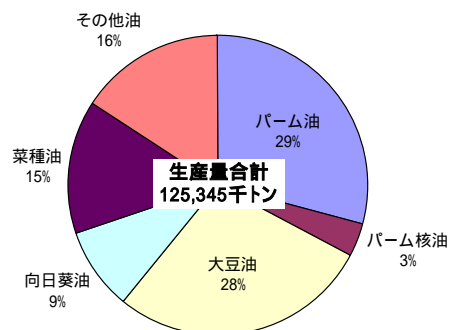
ホスト国である、マレーシア国は 2002 年 9 月に京都議定書を批准し、翌 2003 年 3 月には天然資源環境省 ( Ministry of National Resources and Environment ; NRE ) を DNA に認定し、同年 8 月には CDM 国家委員会 ( National Committee on CDM ; NC-CDM ) が CDM に関する国家クライテリアを承認した。このようにマレーシアでは CDM 受け入れ準備を早くからすすめ、積極的に体制を構築してきた。

2008 年 1 月現在、マレーシア国の国連 CDM 理事会登録済案件は 25 件あり、うちバイオガスエネルギー関連が 16 件ともっとも多く、次いで、ランドフィルガス関連が 6 件、エネルギー効率関連が 3 件となっている。

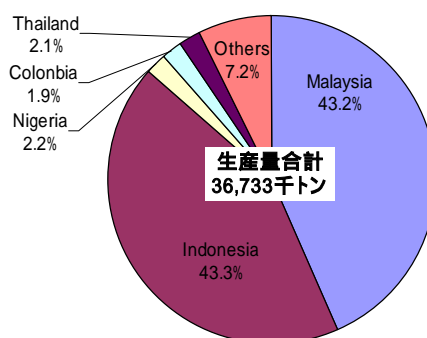
### 3. ホスト国とパームオイル産業

パーム油およびパーム核油は、マーガリン・ショートニング等の食用から、石鹸等の非食用まで、様々な用途に使われることから、世界の油脂市場においても、植物性油脂の中で最も大きな位置を占めている ( 図表 1 )。一方、パームオイルの生産量を主要生産国別に見ると、マレーシアは、2006 年にインドネシアにトップの座を奪われた結果、世界第 2 位の主要生産国となっている ( 図表 2 )。

図表 1 世界の植物性油脂生産量(2006)



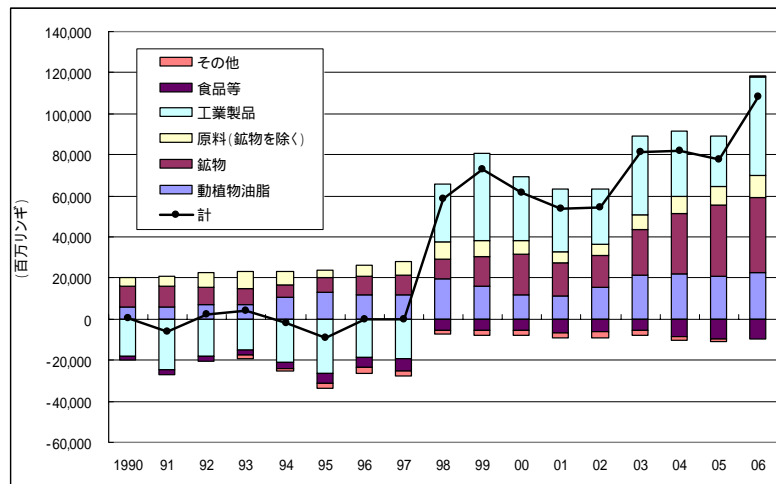
図表 2 パームオイル生産国の動向(2006)



出所: Malaysian Palm Oil Board & Ministry of Plantation Industries and Commodities, Malaysian Oil Palm Statistics 2006, 2006 より作成。

マレーシアの貿易収支を見ると、2006年における動植物油脂（主としてパームオイル）の占める割合は決して大きくないものの、一貫して黒字品目であり、長らくマレーシア経済を支えてきた品目であることがわかる（図表3）。現在、マレーシア国内には、425のパーム搾油工場と66の製油工場がある（図表4）。

図表3 貿易収支の推移



出所：Asian Development Bank, Key Indicators 2007: Inequality in Asia, Asian Development Bank, 2007より作成。

図表4 搾油および製油工場（2006年）

	搾油工場		製油工場	
	工場数	搾油能力	工場数	製油能力
半島部	259	53,337,000	40	11,866,400
サバ州	121	27,910,200	19	8,986,800
サラワク州	45	9,056,400	7	2,342,000
サバ・サラワク両州	166	36,966,600	26	11,328,800
マレーシア	425	90,303,600	66	23,195,200

注：稼働中止、建設ないし計画中の工場を含む。

搾油能力は1年当たりFFBトン数、製油能力は1年当たりトン数。

出所：Malaysian Palm Oil Board & Ministry of Plantation Industries and Commodities, Malaysian Oil Palm Statistics 2006, 2006.

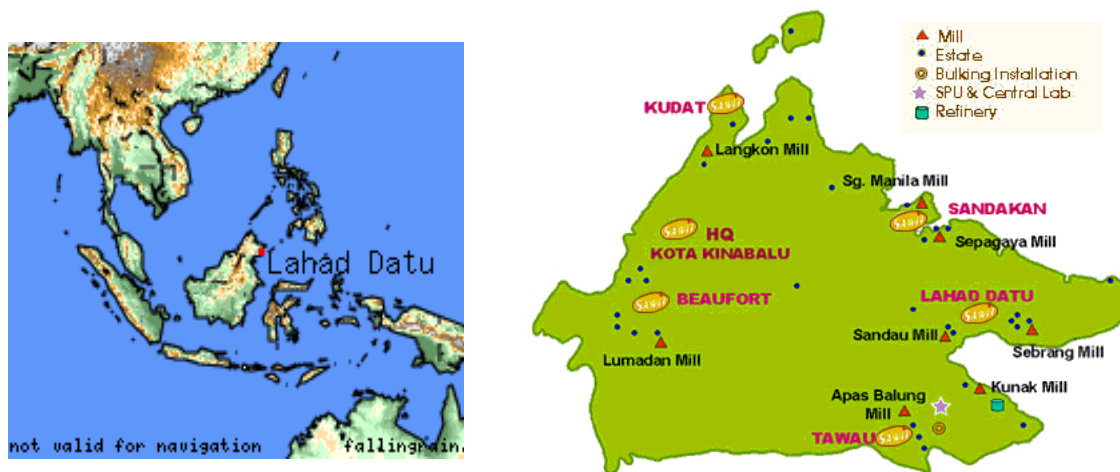
#### 4 . プロジェクト概要

##### 4.1 プロジェクトサイト

カウンターパートである Sawit Kinabalu 社は、サバ州立企業であり、マレーシア国サバ州内に 8 カ所のパーム搾油工場(パームミル)と 1 カ所の製油工場、1 カ所の研究所を所有している。また、パームプランテーションを合計 73,591ha 所有している(図表 5)。

今回対象とするミルは、サバ州ラハドダツ(Lahad Datu)市に所在する Sawit Kinabalu Bhd.の子会社 Borneo Samudera Sdn.Bhd.が所有する Sebrang Palm Oil Mill である。ミルの概要を図表 6 に示す。

図表 5 Sawit Kinabalu 社の事業拠点



出所：Sawit Kinabalu 社ホームページより

図表 6 Sebrang Mill 概要

ミル名称	Sebrang Palm Oil Mill (セブランパームオイル搾油工場)	
所在地	P.O.Box 60211 91111 Lahad Datu, Sabah, Malaysia (マレーシア国サバ州ラハドダツ市)	
ミル容量	90Mt/Hr	
1日あたりの稼働時間	16Hrs/day-2 shift	
1日当たりの FFB 処理量	1,000Mt	
FFB 年間処理量 (2006)	332,800Mt	

#### 4.2 パーム搾油工場廃棄物、廃水の有効利用の現状

パーム搾油工場から廃棄されるバイオマス廃棄物は一般的に図表7のようなものである。

Sebrang Mill においては、PKS (Palm Kernal Shell) とファイバーを、工場で使用する電力とプロセス蒸気を賄うボイラーのバイオマス燃料として使用している。しかし、高水分で発熱量が低く、より大量に発生する EFB は、パームプランテーションへのマルチング利用を含め廃棄処分されている。

一方、POME 処理については、8面の開放池(冷却池、嫌気性処理池、好気性処理池等で構成)によって水質を処理後、河川等に放流されている。

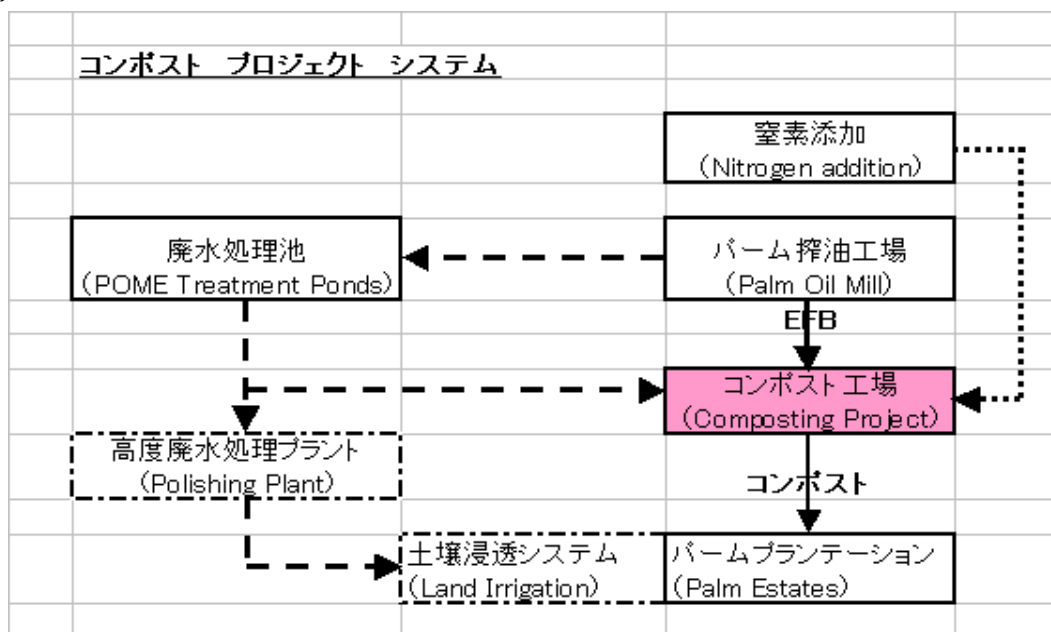
図表7 バイオマス廃棄物の種類

	FFB 当たりの発生比率 (%)	水分 (%) 又は COD/BOD(ppm)
EFB (空果房)	22-23	60-65
PKS (シェル)	6.0-7.0	8.0-10.0
ファイバー	10.0-12.0	40.0
POME	50-60	BOD (ppm) : 25,000-30,000 COD (ppm) : 50,000-90,000

#### 4.3 プロジェクト技術の概要

当該プロジェクト技術は、日本の(独)農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所が牛糞や生ゴミ等を対象に開発し、同研究所と(有)岡本製作所が共同で装置化した日糧 100 トン処理の大規模設備として実用化している全自動コンポストプラント(堆肥化設備)をパーム搾油工場からの残渣である EFB のコンポスト化システムとして適用するものである。

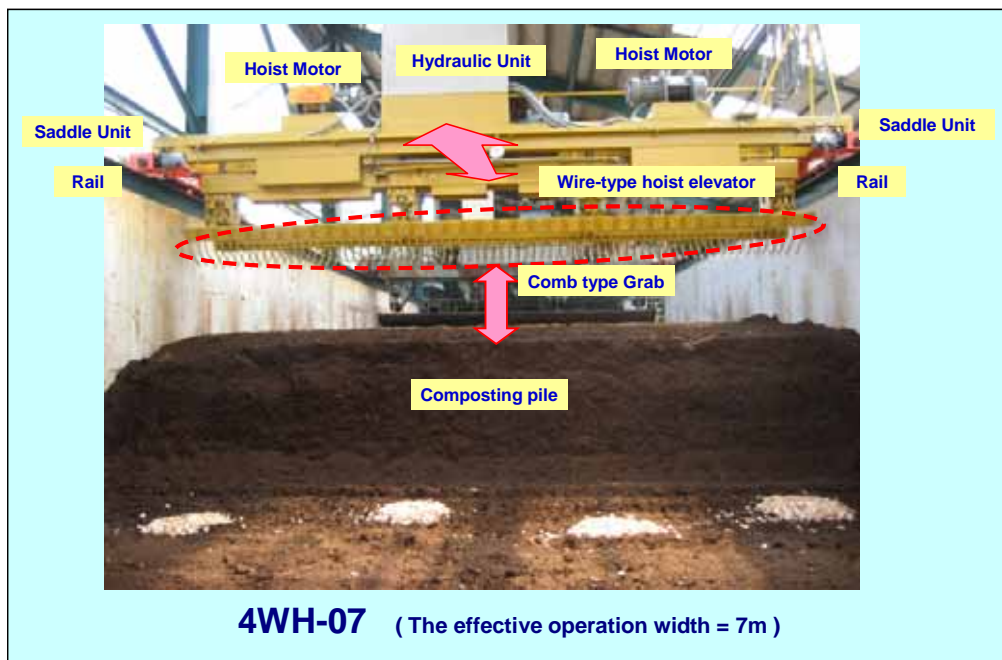
##### (1) プロセスフロー



( 2 ) プラント仕様

導入設備	屋内型リニアターナー式コンポストシステム
EFB 処理量	400m <sup>3</sup> /日 ( 27,821ton/y )
POME 処理量	426m <sup>3</sup> /日 ( 127,704m <sup>3</sup> /y ) COD : 50,000ppm
コンポスト期間	48 日間
コンポストパイルエリア	7,680 m <sup>2</sup> ( 4 レーン )
主要機器	リニアクレーンターナー、吸引通気式脱臭装置
建屋エリア	270m × 184m

リニアクレーンターナー



4.4 ベースラインの同定、追加性の証明

( 1 ) 方法論の適用

“ Avoidance of methane production from decay of biomass through composting” AMS. F / Version 5 「バイオマスの腐敗によるメタン発生をコンポスト化によって抑制」を適用。

( 2 ) ベースラインの設定

AMS. F / Version 5 で定義されているメタン発生抑制のベースラインとしては、もし、当該プロジェクトの導入がなされない場合、バイオマス残渣である EFB はプロジェクト境界内に投棄処分され、腐敗することによりメタンが発生している状況を指す。また、工場廃水 ( POME ) や POME スラッジは、開放型嫌気性ラグーンにおいて発生するメタンがなんら回収されずに大気放散されている状況を指す。

ベースラインシナリオ設定のため、プロジェクトに対する代替シナリオを以下のように考える。

### EFB および/またはバイオマス廃棄物残渣の処理

シナリオ EFB - EFB のパームプランテーションにおけるマルチング利用

シナリオ EFB - EFB をパームプランテーション等に廃棄処分する。

EFB をパームプランテーションに投棄処分し、自然に腐敗するにまかせるという通常のやり方である（コモンプラクティス）。

シナリオ EFB - EFB をバイオマス燃料として使用し、電力や蒸気等のエネルギー源とする。

### POME（パームミル廃水）の処理

シナリオ POME 閉鎖型消化タンクを設置し、タンク内の POME を嫌気発酵させてバイオガスを回収し、そのバイオガスを焼却処理もしくはボイラーやガスエンジン等エネルギー源として使用する。

シナリオ POME 好気性ラグーンを設置し、嫌気発酵によるメタン発生を抑制する。

シナリオ POME 既存の開放型池(好気性、嫌気性ラグーン)で POME を処理する

マレーシアにおけるほとんどのパームミルにおいては、POME は開放型池で処理されている（コモンプラクティス）。

シナリオ EFB-POME 既存の廃棄されている EFB を利用してコンポストをつくる。その際 POME を調湿水として利用する（CDM を利用しない場合のプロジェクトシナリオ）。

### (3) ベースラインの同定、追加性の証明

追加性は“ Tool for the demonstration and assessment of additionality (version 04) ”に沿って、当該プロジェクトが実施されない場合と比較して証明する。

#### (a) 投資バリア分析

シナリオ EFB : マルチングのための処理コスト、労働力の問題によりマルチング利用は非常に限定的にならざるを得ない。

シナリオ EFB : EFB はミル廃棄時水分が 60～65%と高く、燃料として利用しにくい。余剰発電を発生させ、系統電力へ販売する事例は、最近 2～3 見受けられるようになってきたが、経済的バリアは相当高く、当該プロジェクトと同様に CDM 化によるクレジット利益を想定することを考えればならない。

シナリオ POME : 経済的に成立せず、国家プロジェクトや CDM 事業以外では成立しない。

シナリオ POME : 経済的に成立しない。

シナリオ EFB-POME : 当該事業の事業性を IRR の見地から見る。CER クレジットが無い場合、コンポストのパームプランテーションへの施肥による化学肥料削減効果を現状の自社所有プランテーションにおける施肥費用の 5%を見込んだ場合でも IRR はマイナスとなる。一方、CER クレジットの販売益を勘案した場合は下記のとおりであり、事業性がでてくる。したがって、本プロジェクト実施に対する投資バリアが存在するとみなせる。



### CER 価格と IRR の関係

CER 価格 (\$/CER)	事業期間	0	8	10	12	14	16
IRR (税引前)	10yr	( - )	1.80%	2.17%	5.73%	8.98%	12.03%
	21yr	( - )	7.04%	9.92%	12.55%	15.03%	17.40%
IRR (税引後)	10yr	( - )	1.80%	1.62%	4.44%	7.16%	9.75%
	21yr	( - )	5.82%	8.37%	10.72%	12.93%	15.03%

以上の結果から、シナリオ EFB 、シナリオ EFB 、シナリオ POME 、シナリオ POME  
シナリオ EFB-POME はベースラインシナリオにはなり得ない。

#### (b)技術的バリア分析

シナリオ EFB-POME : 当該コンポストプロジェクトは、次のような特徴を有する先進のコンポスト技術を使用する。

- ・ 全天候屋内型で、コンピュータ制御による全自動リニアクレーンターナーを使用するため、無人 24 時間連続操業が可能。ただし、監視要員 1 名。
- ・ 高濃度のアンモニア等、悪臭防止のため、コンポストパイル層前半 1/3 に対し、吸引通気システムを、また比較的安定してきたコンポスト切返し帯後半 2/3 に対して圧送通気システムを夫々使用し、屋内の環境保全を保つ
- ・ サンプル分析によると C/N 比が 70 近く、カーボン過多である EFB コンポスト化において、POME および POME スラッジに加えて、動物性窒素等の栄養素を必要に応じて適宜添加することにより、高温発酵温度を確保する。
- ・ 上記による高温発酵を長時間維持することにより、良質コンポスト製品製造を可能とすると共に、水分蒸発による十分な POME の縮減を達成できる。凡そ全 POME 量の 70% 以上を減量可能と推定している。

上記技術は、現在のところマレーシアにはなく、システム設置費用についても CDM からのクレジット獲得を考慮しなければ高価であり、導入困難なものである。したがって、技術的バリアがあるとみなせる。

#### (c)普及度バリア分析

EFB および POME を活用した屋外型、屋内型のコンポストプロジェクトが実施されているが、屋外型は十分なメタン抑制になっておらず運営・維持管理の労働条件も厳しく 1~2 の事例に留まっている。屋内型は、経済性が成立しないために限られた条件下での事例があるのみである。

以上のことから、シナリオ EFB 、およびシナリオ POME は上記のいかなるバリアによってもその実施を妨げられない。従って、現在のコモンプラクティスでもあるこの両シナリオをベースラインシナリオとして同定する。

また、本プロジェクトシナリオでもあるシナリオ EFB-POME は、その実施に際しては、3つのバリアが存在することにより、追加性があることが証明された。

#### 4.5 GHG 排出量削減の計算

##### (1) 適用計算式

$$ER_y = BE_y - (PE_y + Leakage)$$

- ・  $ER_y$  . . . . . y 年の排出削減量 (tCO<sub>2e</sub>)
- ・  $PE_y$  . . . . . y 年のプロジェクトシナリオの排出量 (tCO<sub>2e</sub>)
- ・  $Leakage$  . . . . . y 年のリーケージ排出量 (tCO<sub>2e</sub>)

$$BE_y = BE_{CH_4, swds, y} - MD_y \cdot reg \cdot GWY_{CH_4} + MEP_y \cdot ww \cdot GWP_{CH_4}$$

- ・  $BE_y$  . . . . . y 年のベースライン排出量 (tCO<sub>2e</sub>)
- ・  $BE_{CH_4, swds, y}$  . . . . . プロジェクト開始時から x 年間のコンポスト化された固形廃棄物 (EFB 等) の y 年のメタン発生ポテンシャル (tCO<sub>2e</sub>)
- ・  $MD_y \cdot reg \cdot GWY_{CH_4}$  . . . . . 規則に基づいて破壊や焼却されたメタン量 (tCH<sub>4</sub>)
- ・  $MEP_y \cdot ww$  . . . . . 廃水中のメタン発生ポテンシャル (tCH<sub>4</sub>)
- ・  $GWP_{CH_4}$  . . . . . メタンの温暖化係数 (21 tCO<sub>2e</sub> / tCH<sub>4</sub>)

$$MEP_y \cdot ww = Q_{y,ww} \cdot COD_{y,ww,untreated} \cdot Bo_{ww} \cdot MCF_{ww, treatment} \cdot GWP_{CH_4}$$

- ・  $Q_{y,ww}$  . . . . . y 年のコンポスト散水用としての廃水 (POME) 量 (m<sup>3</sup>)
- ・  $COD_{y,ww,untreated}$  . . . . . 廃水の化学的酸素要求量 (t/m<sup>3</sup>)
- ・  $Bo_{ww}$  . . . . . 廃水のメタン排出係数 (0.21kg CH<sub>4</sub>/kgCOD)
- ・  $MCF_{ww, treatment}$  . . . . . ベースラインシナリオにおける廃水処理システムに対するメタン変換係数 (方法論 . H . の表 . H . 1 に拠る)

$BE_{CH_4, swds, y}$  は、Methodological Tool“Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site“ に拠って計算する。

計算式は、

$$BE_{CH_4, swds, y} = \frac{1}{(1-f)} \cdot GWP \cdot (1-OX) \cdot 16/12 \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum \cdot \sum W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot (1 - e^{-kj}) \cdot e^{-kj} \cdot (y - x)$$

係数として、EB 推奨値：EFB の K 値 = 0.035 を採用。

##### (2) 計算結果

図表 8 排出削減量のまとめ

1 年目	2 年目	3 年目	4 年目	5 年目	6 年目	7 年目	8 年目	9 年目	10 年目	
28,968	29,822	30,647	31,443	32,213	32,955	33,673	34,365	35,034	35,680	
11 年目	12 年目	13 年目	14 年目	15 年目	16 年目	17 年目	18 年目	19 年目	20 年目	21 年目
36,303	36,905	37,487	38,048	38,590	39,113	39,655	40,124	40,595	41,049	41,488

#### 4.6 環境影響、持続可能性への貢献

##### (1) 環境影響評価、その他環境影響

本事業の場合には、1987年環境影響評価に関する環境命令に定められている19の対象事業に該当するものがなく、環境影響評価を実施する必要はない。

本プロジェクトにおいては、投棄されているEFB及びPOMEから放出されるメタン削減効果の他に、POMEのおよそ70%をコンポスト製造に利用することができることから、河川への廃水量そのものを削減することができ、水質悪化、河川の臭気の問題にも貢献することとなる。

##### (2) 持続可能性への貢献

###### 高品質コンポスト

日本の技術を用いての本プロジェクトのコンポストは、屋内環境のもと、高性能な攪拌システムにより通気され生成されるため、高品質であり、現在使用している化学肥料と代替することが可能となる。

###### 化学肥料の代替による経済効果

高品質コンポストにより、現在使用されている化学肥料の代替となる。その結果、高価格である化学肥料使用削減分の費用が減額される。また、将来定量の確保が可能となれば、外販等のビジネスチャンスにもつながることとなる。

###### 化学肥料の代替により子孫への悪影響の回避

化学肥料を長年使用することにより、土壌がやせパームの収率が下がり、パームプランテーションが持続できなくなる可能性も考えられる。また、将来の子孫に何らかの化学的な悪影響が及ぶ可能性も考えられる。コンポスト化することによってその可能性を回避することが可能となる。

###### 技術移転

日本の畜産で培ったコンポスト技術の技術移転が行われる。

###### エンジニアリング養成および雇用創出

コンポスト化技術移転により、エンジニアリング養成と共に雇用効果も期待できる。

###### 敷地の有効利用

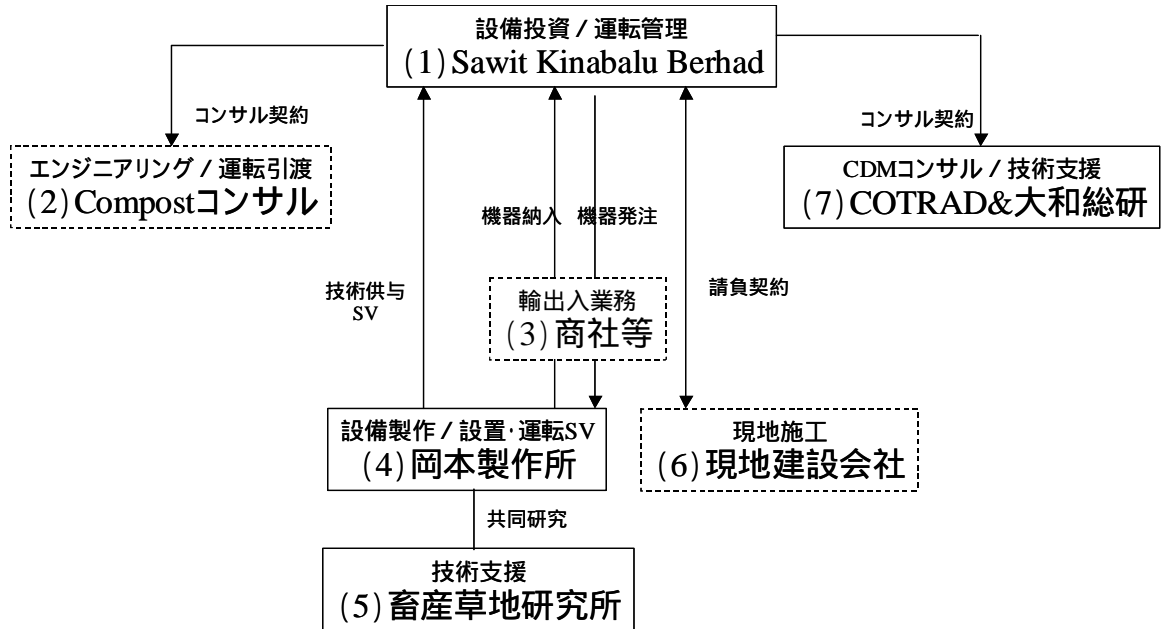
最終的にPOMEを全量利用することとなれば、好気性ラグーン、嫌気性ラグーンとして使われている敷地を別の用途に有効利用することも可能となる。

以上のことは、温室効果ガス削減のコベネフィッツと考えられるものであり、マレーシアの持続的開発にも貢献するものである。

5 . 事業化に向けて

5.1 実施体制

図表 9 体制図



1	Sawit Kinabalu Berhad	本事業の事業主体。
2	現地 Compost コンサル (未定)	マレーシアのパームミルにおける設備導入にあたっては、エンジニアリング、施工管理、運転引渡し等をコンサルに委託するケースが多く、本事業においても、実績を考慮し現地 Compost コンサルを採用するが、将来、技術移転や製作の現地化（ローカライズ）に協力できる能力を有する企業が望ましい。
3	商社 (未定)	将来は現地製作を視野にいれるが、日本で製作し輸出する場合は商社等の介在が必要である。
4	(有)岡本製作所	(有)岡本製作所は、日本の畜産業を対象とし、自動給餌システム・自動堆肥システム等の機械開発・製作を行っている。今回導入する堆肥システムは畜産草地研究所の共同開発技術である。
5	畜産草地研究所	畜産草地研究所は、(独)農業・食品産業技術総合研究機構傘下の研究所。今回導入する堆肥システムの EFB と POME への適用が初めてであることから、導入にあたり当研究所の研究支援が必要と考える。
6	現地施工会社(未定)	本事業における土木、建築工事を実施する能力を有す現地施工会社を選定する。
7	COTRAD & 大和総研	Sawit Kinabalu 社の委託により CDM 化のための支援コンサル( PDD 作成、国連登録等 )を行う。

## 5.2 資金計画

### (1) 前提条件

プロジェクト実施期間	21年間
機械設備	取得時償却；20% 年償却；14%（定額法）
法人税	28%
損失繰延期間	無期限
レート	1 RM = 33 円、1 ドル = 120 円

### (2) 収支コスト

#### (a) 設備導入コスト

	費用 (千円)	費用 (千 RM)	備考
1. 機械設備	137,800	4,180	リニアターナー、通気システム、制御システム等
2. 土木建築工事	114,000	3,450	建屋、土木等
3. 初期添加物費	2,000	60	エンザイム
4. その他	89,000	2,700	設計、海上輸送、SV 等
設備導入費合計（導入時）	342,800	10,390	
オーバーホール費（11年目）	20,000	600	

#### (b) 運転維持管理コスト

	費用 (千円)	費用 (千 RM)	備考
添加物費	3,000	90	燃料費（軽油）
機器維持管理費	4,100	125	機械設備費 × 3%
労務費	5,000	150	監督員 1 人（@1,000/年） 労働者 2 交代 × 5 人（@400/年）
一般管理費	1,200	35	上記合計 × 10%
合計	13,300	400	

#### (c) 事業収益

	費用 (千円)	費用 (千 RM)	備考
肥料コスト削減	13,300	400	現状肥料コストの約 5%

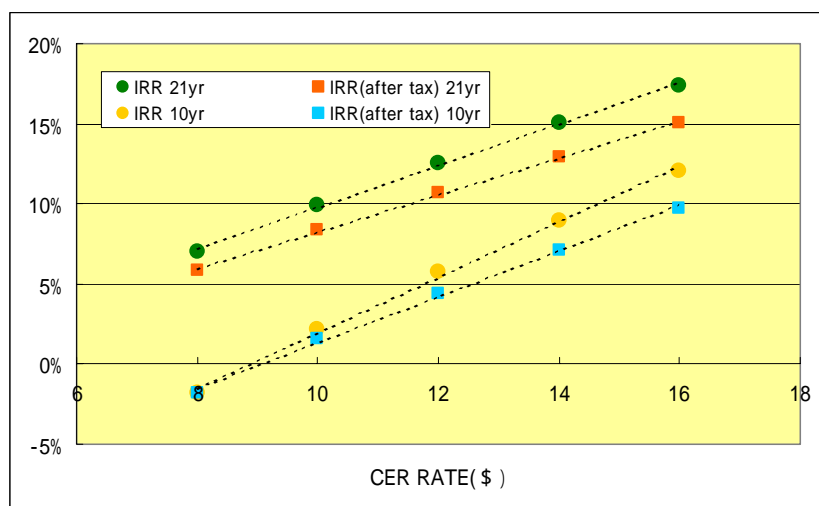
コンポストは、当面はプランテーション内の自己消費を前提とし、現状の化学肥料コストの削減を事業収益と考える。

### (3) 事業性評価

(1)(2)の前提条件のもと、前項で試算された GHG 削減量を元に、CER 価格が \$0(なし) および \$8~\$16 について内部収益率 (IRR) の計算を行った (図表 10)。尚、本 IRR は借入金を考慮しないプロジェクト IRR の値を用いる。

\$0 の場合、IRR はマイナスであり、事業として成立しない。一方、Sawit Kinabalu 社におけるヒアリングによると、マレーシア国における資金調達金利は、6.5%以上であり、事業実施のための最低条件を  $IRR > 10\%$  と考えているとのことである。よりリスクの低い事業期間 10 年間の IRR で評価した場合、最低条件を満たすためには CER 価格が \$16 以上であることが望まれ、一層のコストダウンによる収益性向上が必要である。

図表 10 CER 価格と IRR の関係



### (4) 今後の課題

前項で試算したとおり、当 FS で試算した条件ではプロジェクトの経済性は厳しいが、本項記載の各課題を解決し、各コストデータの精度を高めることにより、事業化の可能性は高くなると考えられる。

今後の課題を以下 3 つに集約し、検討を進めたい。

#### 現地化 (ローカライズ) によるコストダウン

設備導入コスト試算においては、機器代について日本で製作し輸出することを前提としている。また、工事費については、日本における工事費およびマレーシア現地標準価格を元に参考算出している。

今後、現地コンサルおよび現地施工会社との協議によりローカライズする範囲を拡大し、コスト削減を図る。

#### POME を用いたサンプルテストの実施

今回は EFB のみのサンプルテストを実施し、POME の代替として硫酸、尿素等を用いるこ

とで実現可能性および反応の特性を示すことができた。マレーシア国にて POME を用いたサンプルテストを実施することで、より現実に則した特性や導入効果データを得ることができると。現在は、POME 処理費用の削減効果を事業収益として見込んでいないが、信頼性の高いデータを得ることで事業収益として計上できる可能性がある。

#### コンポスト価値の向上

##### - 1 コンポストの施肥効果の明確化

昨今の著しい石油価格高騰の影響等から、化学肥料の価格も急激な高騰傾向にあり、コンポストの施肥による化学肥料代替効果が相当程度見込まれるのであれば、プロジェクトの採算性は大きく向上することが期待できる。

本 FS においては、保守的な 5% ( 現地のパーム事業者談 ) の削減効果を見込み経済性を検討したが、実際のパームツリーへの施肥による植栽試験等に基づく施肥効果の確認が必要と考える。

##### - 2 コンポスト品質向上による価値の向上

サンプル試験の結果、生成されるコンポスト品質について以下の所見を得ている。

- ・本技術による十分な好気発酵により、パームプランテーションで利用可能な良質なコンポストを得ることができる ( 現地コンポスト技術においては十分な好気発酵が行われていないケースが見受けられている ) 。
- ・また、窒素添加により発酵を促進することで、C/N 比が改善され、現状ローカル技術よりも高品質なコンポストを得ることが可能である。
- ・ただし、難分解性の EFB を完全に分解し、農業・園芸で用いることのできる品質のコンポストを生産するには、3~6 ヶ月程度の更なるコンポスト化期間が必要と推定されるが、費用対効果からも現実的ではない。
- ・従って、当該コンポストプラントにおいて製造されるコンポスト製品は品質的には中間品であり、パームプランテーションでの利用の他、最終製品製造工場への供給原料、もしくは農業・園芸資材の混合資材と考えられる。

従って、今後、調達可能な窒素源 ( 畜糞等 ) の添加によるコンポスト品質向上の可能性を検討し、化学肥料削減効果の増大を図る。

##### - 3 コンポスト外販ルートの検討

本 FS では、生成したコンポストを全量自己消費することを前提としているが、コンポストの外販ルートについて調査し、収益源確保の可能性を探る。