

48. パームオイル工場における CDM 事業化に向けたベースライン方法論の構築

Baseline methodology of palm oil mill methane recovery and power generation project

河村愛* 鈴木進一*

Ai Kawamura* Shinichi Suzuki*

ABSTRACT: CDM (Clean Development Mechanism) is regarded as one of the effective measures to tackle the global warming issue. In order to implement a CDM project, Project Design Document which consists of baseline methodology, monitoring methodology and the project specific application, must be approved by the UNFCCC (U.N. Framework Convention on Climate Change). MCF (Methane Conversion Factor) is inevitable in the calculation of methane generation from anaerobic treatment system. This paper suggests the tentative method of MCF calculation, since at the current situation so little data necessary for MCF determination is available. Thus, in order to develop more applicable and reliable MCF, more observation research are strongly desired.

Keywords: CDM, Palm oil industry, MCF(Methane Conversion Factor), Methane power generation

1. はじめに

気候変動枠組み条約第3回会合(COP3)において、先進国の第一約束期間(2008~2012年)における温室効果ガスの削減目標が義務化され、日本には1990年を基準年として6%の削減が義務付けられた。しかし、日本では温室効果ガス排出量は増加し続け、2003年における排出量は1990年当時の排出量を8%上回っている。結果として2012年までに1990年当時の14%に相当する温室効果ガスの削減を行わなくてはならず、国内の削減策による目標達成は一層困難な状況となっている。このような状況に対する柔軟措置としてCDM(クリーン開発メカニズム)の活用が期待されている。

CDM事業を実施しCER(カーボンクレジット)を獲得する最大の難関のひとつは、所定の手続きを経て国連CDM理事会に事業化を承認されることである。承認のための審査は事業者が提出するプロジェクト設計書(以下、PDD)に基づき行われる。PDDは主に、排出量削減の計算手法などが記される「ベースライン方法論」、プロジェクト実施後に削減量を確定するためのモニタリング手法、及びプロジェクト固有の計画書の3部で構成されるが、審査は、メスパネル(CDM Meth panel)にベースライン方法論及びモニタリング方法論を承認されることから始まるため、メスパネルに承認され得るベースライン方法論の策定が非常に重要となる。本稿では、弊社がマレーシアパームオイル工場を対象とするCDM事業化に向けて検討したベースライン方法論構築手法について述べることとする。

表1.CPOの生産規模別工場数とPOMEの処理方式

規模	CPO生産量 (t/月)	工場数	POME処理方式				
			開放 タンク	ラグーン	混合 方式	閉鎖 タンク	合計
特大規模	4,000~5,000	2	50%	50%	0%	0%	100%
大規模	3,000~4,000	19	11%	89%	0%	0%	100%
中規模	2,000~3,000	34	29%	59%	12%	0%	100%
小規模	2,000以下	17	24%	59%	18%	0%	100%
合計		72	25%	65%	10%	0%	100%

2. マレーシアにおけるパームオイル産業

パームオイルは、大豆油、なたね油と並ぶ3大植物油のひとつであり、安価であることから世界で最も多く使用される食用油として知られる。マレーシアでは、

*株式会社エックス都市研究所 Ex Corporation, 17-22, Takada 2 chome, Toshima-ku, Tokyo 171-0033, Japan

80年代以降効率のよい換金作物としてパームオイルの大規模プランテーションが展開され、現在も世界生産量の約50%を占めている。パームオイル生産工程では、有機分を多量に含んだパームオイル工場廃液（以下、POME）が排出される。POMEは通常、嫌気性ラグーン（処理池）もしくは開放型消化タンクによって嫌気発酵処理されているが、その過程で多量のメタンが大気へ放出されている。メタン放出量はPOMEのCOD濃度や処理方式に依存する。

表1は、マレーシア最大のパームオイルメーカーであるFELDA社（FELDA Palm Industries Sdn. Bhd.）が所有する工場のPOME処理方式を示したものである。ラグーン方式の方がタンク方式に比べて建設費は安価である一方で、広大な土地が必要となるため、土地制約がない場合にはラグーン方式、制約がある場合にはタンク方式もしくは混合方式が導入されるのが一般的である。2002年時点では、ラグーンのみによるものが47工場と全体の65%を占め、開放型タンクのみによるものが25%（18工場）、それらの混合方式が10%（7工場）であり、閉鎖型消化タンクを導入している事例はない。

3. ベースライン方法論の構築

本調査においてPDDをメスパネルに提出することを想定して行った、ベースライン方法論の概要を下記に記す。

3. 1. シナリオ及びプロジェクトバウンダリーの設定

CDMでは、「プロジェクトなかりせば」のベースラインシナリオと事業が実施された場合のプロジェクトシナリオとにおける排出量の差が温室効果ガス削減量、すなわちCERとして計上・獲得されるため、シナリオの設定は非常に重要である。それぞれのシナリオにおける設定方法を下記に示す。

(A) ベースラインシナリオ

事業がCDM事業として認められるためには、プロジェクトの追加性、つまりプロジェクトシナリオがBusiness As Usualでないことを示すことが必須条件となる。本調査では将来のシナリオを考えるときに想定される数ある可能性の中から、いくつかの質問によってベースラインシナリオを限定していくという決定樹の手法を採用した。（図1.参照）

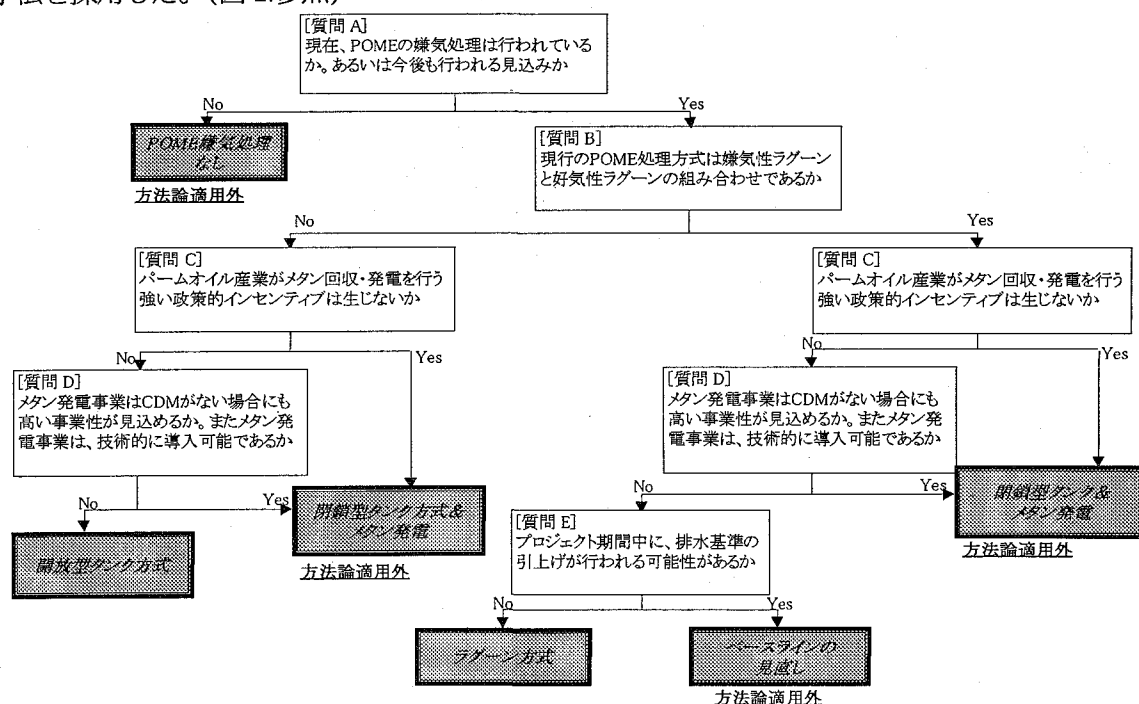


図1. シナリオ決定樹

(B) プロジェクトシナリオ

本調査で検討する CDM 事業は以下の 2つの要素から構成される。(図 2.参照)

- ・ POME 処理方式を閉鎖型消化タンクへ転換することによるメタン回収 (メタン回収)
- ・ 回収メタンを燃料とするエネルギー供給事業 (化石燃料起源エネルギーの代替)

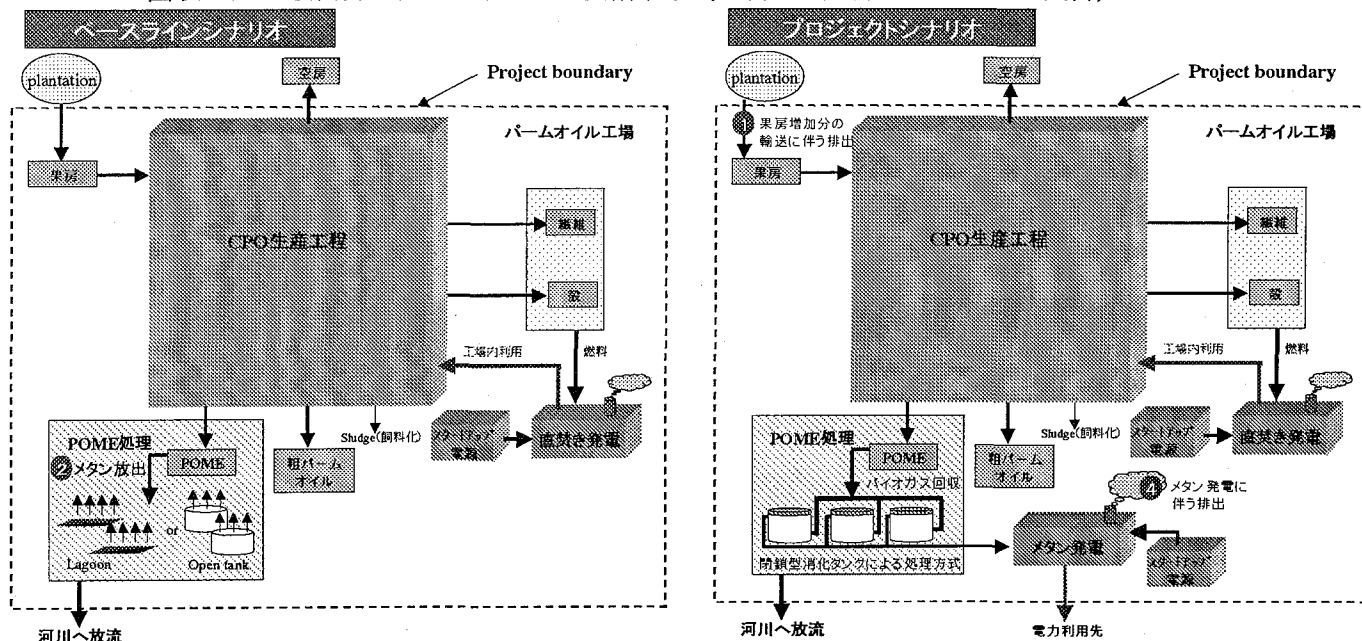


図 2. ベースラインシナリオとプロジェクトシナリオ

3. 2. 排出削減量の計算手法の構築

表 2.に排出削減量の計算に考慮する温室効果ガス及びその排出源を示す。

なお、表 2 の項目番号は図 2 中 の番号に対応しているので参照されたい。

表 2. 温室効果ガス排出源と排出量としての算定の有無

No.	排出源	ベースラインシナリオ			プロジェクトシナリオ		
		CO2	N2O	CH4	CO2	N2O	CH4
①	プロジェクトによるFFB受入増加分の輸送に伴う排出量				○	○	○
②	POME嫌気処理に伴う排出量			○			
③	POME好気処理に伴う排出量						
④	発電(メタン燃焼)に伴う排出量				○		
⑤	メタン発電施設スタートアップ電源起動に伴う排出量				微小	微小	微小
⑥	メタン発電事業によって代替される排出量	○	○	○			

(A) ベースライン排出量

ベースライン排出量は「POME 嫌気処理過程で発生するメタン排出量」と「メタン発電事業によって代替される化石起源の温室効果ガス」の 2つにより構成される。各排出量の計算手法を以下に示す。(表 2 参照)

(1)POME 嫌気処理過程で発生するメタン排出量の算定

POME 嫌気処理過程における年間メタン排出量は、IPCC ガイドラインに従って「嫌気処理による POME 体積あたりの COD 分解量」に「分解 COD 当たりのメタン発生量」を乗じることにより、「POME 体積あたりのメタン発生量」を推計し、これに「年間 POME 発生量」を乗じることにより推計した。

COD 分解量 (kg/m ³)	=	嫌気処理前の COD 濃度 (kg/m ³)	−	嫌気処理後の COD 濃度 (kg/m ³)	…(a)
分解 COD 当たりメタン発生量 (kg_CH4/kg_COD)	=	COD 当たりの最大メタン生成量 (kg_CH4/kg_COD)	×	変換率(MCF) (%)	…(b)

$$\text{メタン発生量 (kg_CH4)} = \text{年間 POME 発生量 (m}^3/\text{y)} \times \text{COD 分解量 (kg_COD/m}^3\text{)} \times \text{分解 COD 当たりのメタン発生量 (kg_CH4/kg_COD)} \quad \cdots(c)$$

$$\text{メタン発生量 (t_CO2)} = \text{メタン発生量 (kg_CH4)} \times \text{メタンの地球温暖化係数(21)} \quad \cdots(d)$$

(b)式における「COD 当たりの最大メタン生成量」は理想的な嫌気的条件下でメタン発生量としてガイドラインでデフォルト値(0.25)が与えられている。しかし、理想的な嫌気的条件下での廃液処理が行われることは不可能であるため、実際のメタン排出量を求めるためには、デフォルト値に現実の反応条件を反映させるための換算係数を乗じることが必要となる。これが、MCF (Methane Conversion Factor) であるが、ガイドラインでは MCF の設定方法については記載されていないため、方法論の構築に当たり、MCF の設定が重要となる。

MCF は、メタン発生量の実測データが存在すればデフォルト値との関係から算出される。実測データは、水深や気温などの反応条件が合致するケースに適用されるのが望ましいが、現段階では POME 処理過程におけるメタン発生量の実測はほとんど行われておらず、2003 年に九州工業大学とマレーシアプトラ大学が共同して行った実測データが入手可能な唯一のものとなっている。また、プロジェクトシナリオで導入する閉鎖型タンク実測値としてはマレーシアパームオイル研究所のデータがマレーシアでは広く用いられている。

表 3. 実測実験の条件及び結果

		嫌気性ラグーン	開放型タンク	閉鎖型タンク
研究機関		九州工業大学、マレーシアプトラ大学による共同研究		マレーシアパームオイル研究所
実測条件	水深 (体積)	6m	10m(3,600m³)	4,200m³
	実測装置	水面に浮かべたチャンバーによりガス採取		詳細不明
	頻度	週 1 回		
	期間	52 週	20 週	
実測値	バイオガス中のメタン含有率	58%	36%	65%
実測結果を用いた MCF 推計値		0.85	0.53	0.90

メタン含有率の低さは嫌気度の低さを示しているが、開放型タンクのメタン含有率が嫌気性ラグーンよりも低いのは、開放型タンクにおいては、十分な維持管理体制が整わない状況下でタンク下部からの定常的な廃液のポンプ流入により生じる攪拌によって、空気が同伴され嫌気条件を維持できないためと考えられる。実測結果より、以下の算定式を用いてそれぞれの実測値に対する MCF の推計を行ったところ、嫌気性ラグーンでは 0.85、開放型タンクでは 0.53、閉鎖型タンクでは 0.90 が得られた。

IPCC ガイドラインによると MCF は様々な要素に規定されるものであるが、水面が大気に接している嫌気性ラグーン、開放型タンクの場合には水深による嫌気度の相違に大きく左右される。IPCC ガイドラインによると、MCF は 0~1 の値をとり、水深 2~3m から嫌気性醗酵が始まるとされる。そこで本調査では、九州工業大学の実測データを用いて、以下の仮定の下、条件の異なるケースにも汎用可能な MCF の推計を行った。その結果、嫌気性ラグーンの MCF と水深との関係は図 3. のように推計された。

[前提条件]

- MCF は完全好気下で 0、完全嫌気下で 1
- 2m 以下では完全好気性醗酵 (MCF は 0)
- 6m 以上において MCF は一定 (保守性の観点から実測値を最大値と仮定)
- 2m~6m の間では MCF は水深に比例

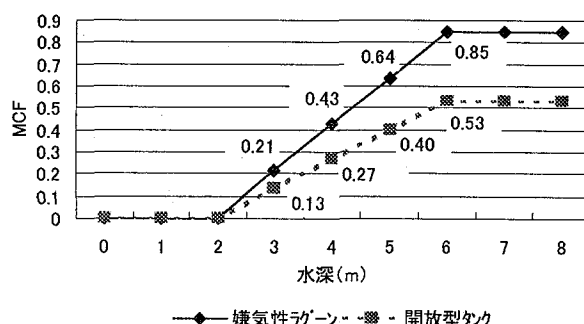


図 3. 水深と MCF の関係 (嫌気性ラグーン)

図3の結果に基づき、異なる水深の嫌気性ラグーン、開放型タンクに対してもメタン排出量の算定が可能となる。閉鎖型タンクの場合、水面が大気へ接していないためMCFは0.90で固定とした。

(2)メタンエネルギー供給事業によって代替される化石起源の温室効果ガス

メタンを燃料とするエネルギー供給事業により代替されるエネルギー（電力/熱）供給源から発生していたはずの温室効果ガスはベースライン排出量として計上される。排出係数は代替されるエネルギー供給源の排出係数で、CO₂、CH₄、N₂Oのそれぞれに対する排出係数と地球温暖化係数の積和として求められる。

メタン回収量 (kg/y)	=	年間POME発生量 (m ³ /y)	×	COD分解量 (kg_COD/m ³)	×	分解COD当たりの メタン発生量 (kg_CH ₄ /kg_COD)	…(c)
エネルギー供給量 (MWh/y)	=	メタン回収量 (kg/y)	×	メタン熱量 (MJ/kg)	×	単位換算係数 (MWh/MJ)	× 効率 …(e)
代替温室効果ガス量 (t_CO ₂ /y)	=	エネルギー供給量 (MWh/y)	×	排出係数 (kg_CO ₂ /kWh)	×	炭素の酸化 比率係数	× 44/12 …(f)

(B) プロジェクト排出量

(1)プロジェクトによる果房受入増加分の輸送に伴う排出量

プロジェクトが実施されると、CERの獲得量を増加させるために、果房受入量はベースラインシナリオよりも増大する可能性がある。そこで本稿では、プロジェクト実施直近の7年間（プロジェクト期間と同じ）の果房受入実績の平均値をベースラインシナリオにおける果房受入量とし、プロジェクト実施後の実際の受入量とベースライン受入量との差を、プロジェクトによる果房受入増加分とする。プロジェクトによる果房受入増加分の輸送に伴う排出量は、下式により得られる。ただし、受入増加分の算定はプロジェクト実施前に推定することは困難であるため、プロジェクト実施後に行うものとする。

温室効果ガス増加分 (t_CO ₂ /y)	=	果房増加分 (t_果房/y)	÷	運搬車積載量 (t_果房/台-リ)	×	2 (往復)	×	運搬車燃費 (t_軽油/kg)	×	排出係数 (t/MWh)	…(g)
-------------------------------------	---	-------------------	---	----------------------	---	-----------	---	--------------------	---	-----------------	------

(2)メタン燃焼に伴う排出量

ベースラインシナリオにおける発生メタンは、プロジェクトシナリオでは回収・焼却されることにより大気中に放出されることになる。そのためプロジェクトではその分を差し引くことが妥当と考えられる。

メタン燃焼に伴う排出量 (t_CO ₂ /y)	=	ベースラインメタン発生量 (t_CH ₄ /y)	×	CO ₂ 分子量(44) (g/mol)	÷	CH ₄ 分子量(16) (g/mol)	…(h)
---------------------------------------	---	--	---	------------------------------------	---	------------------------------------	------

(C) 排出削減量

排出削減量は、ベースライン排出量(A)とプロジェクト排出量(B)の差となる。

排出削減量 (t_CO2/y)	=	ベースライン排出量 (t_CO2/y)	-	プロジェクト排出量 (t_CO2/y)				
	=	メタン発生量 (t_CO2/y)	+	代替温室効果ガス量 (t_CO2/y)	-	温室効果ガス増加分 (t_CO2/y)	-	メタン燃焼に伴う排出量 (t_CO2/y)

4. FELDA社A工場を対象とした検討

4.1. プロジェクト概要

本稿で扱ったベースライン方法論に基づき、FELDA社A工場を対象に下記のCDM事業化の検討を行った。クレジット期

表4.CER算定に用いたデータ

果房ベースライン受入量 (過去7年間の平均値)	310,000t/y
POME発生量	155,000m ³ /y
廃液排出時のCOD	43.7(kg/m ³)
COD分解率	81%
MCF	0.85

間は7年×3回(更新2回)の最大21年とし、開放型タンクから閉鎖型タンクへの切り替えによるメタン回収及びメタンを燃料とする熱供給事業を想定する。温室効果ガス削減量算定に必要なデータを表4に示す。

4. 2. 温室効果ガス削減量の推計

3に示した算定方法により、上記の条件下で温室効果ガス削減量を推計した結果、7年間のベースライン排出量は約2.7万t_{CO2}/y、プロジェクト排出量は0.3万t_{CO2}/yと推計され、その差として得られるCER獲得量は2.4万t_{CO2}/yという結果が得られた。プロジェクト期間が7年の場合16.8万t_{CO2}、14年の場合は33.6万t_{CO2}のCERの獲得が見込まれる。

4. 3. 事業性の検討

表5は、A工場において熱供給事業を立ち上げる場合の、収支表である。これより、CDMを適用しない場合、つまり収益源をメタンを用いた熱供給収益のみの場合には、事業性は極めて低く事業としては成り立たないことが分かる。このことは当該CDM事業の追加性を示している。また、14年間のIRRが15%であれば事業は成立する(マレーシアの市中金利は7%)と考えた場合に望まれるCER価格は10.3(US\$/t_{CO2})と推計された。CDM事業化の可能性が十分にあり、今後、詳細検討に値する事業であると考えられる。

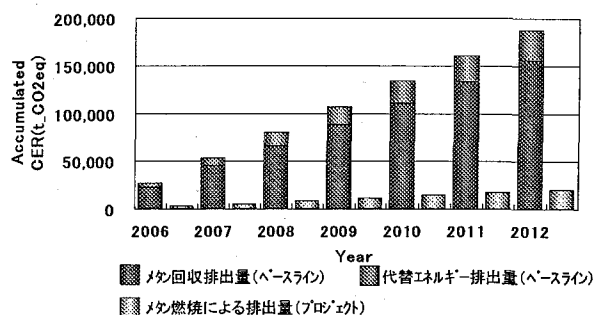


図4. 温室効果ガス排出量

表5. 事業収支表 (括弧内は事業実施の場合)

項目	金額(万円)	
	CDM無しの場合	CDM有りの場合
支出	4,230	4,230
収入		
蒸気売却益	2,230	2,230
CER売却益	0	2,730
収支	-2,000	730
プロジェクトIRR	-7.4%	15.0%

5. 汎用性の高い方法論確立に向けた今後の課題

POME処理におけるメタン発生量に与える影響因子としては、気圧、降水量、POME発生量の日変化・季節変化などが考えられるものの、これらの関係性を実証した研究はいまだ行われていない。本稿におけるMCFの設定は、処理方式を3方式に分類し、それぞれに対して水深のみをパラメータとしたものである。推計したMCFの妥当性の評価も難しい状況にあるため、CDMの保守性の観点からCERの過剰計上を避ける手法を採用せざるを得なかった。しかし、実測データが限られる中でCDM事業化を早期に目指すには、このような暫定的な手法も取り入れていくことが重要であると考えられる。

パームオイル工場はCOD濃度が高く、廃液が多量かつ安定的に排出されるため規模の大きなパームオイル工場を対象にCDM事業が、今後続々と計画されることが見込まれるため、汎用性の高いMCF推計手法の構築が求められている。従って、多くの工場を対象に大学と研究機関等が実測データを蓄積していくことが望まれる。

また、パームオイル産業以外でも畜産業や下水処理施設で嫌気性ラグーンは利用されており、今後、途上国におけるこれらの処理施設はCDM事業化対象として検討の価値が十分にある。本稿で示したMCFはパームオイル産業に限定したものであるが、今後、他業種における嫌気性ラグーンへの適用可能性の検証、実測データの相関の有無に関する考察を行い、方法論の応用を図ることが課題である。

参考文献

- ・ 環境省委託 平成15年度CDM/JI事業調査報告書 エックス都市研究所
- ・ Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- ・ Feasibility Study on Grid Connected Power Generation Using Biomass Cogeneration Technology, PTM 2000