

タイにおけるオイルパーム起源バイオディーゼルのライフサイクル  
温室効果ガス排出量と CDM の可能性に関する研究

白 川 泰 樹





## 目 次

第 1 章	序論.....	1
1-1	背景.....	1
1-2	既往の研究.....	4
1-3	目的.....	18
1-4	構成.....	20
第 2 章	タイにおけるバイオディーゼル生産の概要.....	21
2-1	バイオディーゼル普及計画.....	21
2-2	バイオディーゼル導入状況.....	24
2-3	オイルパーム栽培状況.....	27
2-4	土地利用状況.....	33
2-5	パームオイル生産状況.....	36
第 3 章	タイにおける PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価.....	45
3-1	評価方法.....	45
3-1-1	評価対象プロセス.....	45
3-1-2	評価単位.....	51
3-1-3	感度解析.....	51
3-2	推計方法.....	52
3-2-1	土地利用転換.....	52
3-2-2	オイルパーム栽培.....	62
3-2-3	CPO 生産.....	65
3-2-4	PME 生産.....	68
3-2-5	PME 消費.....	70
3-2-6	PME 消費（自動車排ガス試験）.....	71
3-2-7	原料・燃料輸送.....	75
3-2-8	化石燃料起源の軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量との比較.....	76
3-3	結果.....	77
3-3-1	PME のライフサイクル温室効果ガス排出量（土地利用転換以外のプロセス）.....	77
3-3-2	感度解析結果.....	82
3-3-3	PME のライフサイクル温室効果ガス排出量（直接的土地利用転換を含む）.....	85
3-3-4	PME の自動車排ガス試験.....	89

3-3-5	化石燃料起源の軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量との比較.....	94
3-4	考察.....	102
第4章	温室効果ガス低減対策実施時の PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価.....	105
4-1	評価方法.....	105
4-1-1	CPO 生産時の POME 対策.....	106
4-1-2	オイルパーム栽培時の施肥対策.....	115
4-1-3	PME 生産・消費時のメタノール対策.....	115
4-2	評価結果.....	116
4-2-1	CPO 生産時の POME 対策.....	116
4-2-2	オイルパーム栽培における施肥対策.....	121
4-2-3	PME 生産・消費時のメタノール対策.....	122
4-3	考察.....	123
第5章	バイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性および実現に向けた提言.....	124
5-1	バイオディーゼル CDM プロジェクトの現状と課題.....	124
5-1-1	CDM の概要.....	124
5-1-2	バイオディーゼル CDM プロジェクトの意義と現状.....	126
5-1-3	バイオディーゼルプロジェクト用 CDM 方法論の課題.....	130
5-2	バイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性.....	131
5-3	提言.....	136
5-3-1	提言 1：ACM0017 の適用可能条件の拡張.....	137
5-3-2	提言 2：ACM0017 の算定式の簡素化.....	143
第6章	結論.....	155
6-1	まとめ.....	155
6-2	今後の課題.....	160

Appendix I 土地利用分類の定義 .....	163
Appendix II IPCC による気候区分 .....	166
Appendix III PME ライフサイクル温室効果ガス排出量の計算.....	168
Appendix IV 自動車排ガス試験結果.....	177
Appendix V PME のエネルギー収支.....	189
参考文献.....	193
謝辞 .....	205

## 略語集

AGB	: Above Ground Biomass, 地上部バイオマス
BDF	: Biodiesel Fuel, バイオディーゼル燃料
BGB	: Below Ground Biomass, 地下部バイオマス
B10	: 化石燃料起源の軽油にバイオディーゼルの 10%混合した燃料
B100	: バイオディーゼル 100%の燃料
CDM	: Clean Development Mechanism, クリーン開発メカニズム
CH <sub>4</sub>	: Methane, メタン
CO	: Carbon Monoxide, 一酸化炭素
COD	: Chemical Oxygen Demand, 化学的酸素要求量
CO <sub>2</sub>	: Carbon Dioxide, 二酸化炭素
CPO	: Crude Palm Oil, 粗パーム油
EFB	: Empty Fruit Bunch, オイルパームの空果房
FFA	: Free Fatty Acids, 遊離脂肪酸
FFB	: Fresh Fruit Bunch, オイルパームの果房
GHG	: Greenhouse Gas, 温室効果ガス
HC	: Hydrocarbon, 炭化水素
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change, 気候変動に関する政府間パネル
LCA	: Life Cycle Assessment, ライフサイクルアセスメント
L&DW	: Litter and dead wood, 落葉落枝、枯死木
N <sub>2</sub> O	: Nitrous Oxide, 一酸化二窒素
PDD	: Project Design Document, CDM プロジェクトのプロジェクト設計書
PM	: Particulate Matter, 粒子状物質
PME	: Palm Methyl Ester, パームメチルエステル（オイルパームを原料とするバイオディーゼル）
PME20	: 化石燃料起源の軽油に PME を 20%混合した燃料
POME	: Palm Oil Mill Effluent, パームオイルミル（搾油工場）から排出される廃水
RME	: Rapeseed Methyl Ester, 菜種メチルエステル（菜種を原料とするバイオディーゼル）
RPO	: Refined Palm Oil, 精製パームオイル
RSPO	: Roundtable on Sustainable Palm Oil, 持続可能なパームオイル生産に関する円卓会議
SME	: Soybean Methyl Ester, 大豆メチルエステル（大豆を原料とするバイオディーゼル）
SO <sub>x</sub>	: Sulfur Oxide, 硫黄酸化物
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change, 気候変動に関する国際連合枠組条約

## 第1章 序論

### 1-1 背景

#### 【地球温暖化問題・エネルギー問題】

地球の温暖化は人間活動によってもたらされていることが明らかになりつつある。気候変動に関する政府間パネル（IPCC: The Intergovernmental Panel on Climate Change）は、2007年2月に「IPCC 第4次評価報告書 Climate Change 2007<sup>\*74</sup>」を公表した。報告書では、気候システムの温暖化は疑う余地が無く（unequivocal）、この50年間の温暖化は人間活動に起因する温室効果ガス排出が原因である可能性がかなり高い（very likely）と結論づけている。気候変動によって、気温など多くの自然システムが影響を受けていることがより明確になってきており、人間活動が近年の気候変動の主要な原因であるという証拠は、以前の評価よりも強固になってきている。

このような状況のなかで、温室効果ガスの削減は国際社会にとって大きな課題となっている。交通分野においても、総排出量に占める排出割合が比較的高いため、その排出量の削減は先進国のみならず、自動車の利用が急増している開発途上国においても喫緊の課題となっている。

一方で、温室効果ガス排出の最大の要因となっている化石燃料については、資源の枯渇や原油価格の変動等のリスクがあり、世界各国で代替エネルギーの開発や導入が進んでいる。

#### 【バイオディーゼルの導入の拡大】

このような状況を背景として、バイオエタノールやバイオディーゼル等のバイオ燃料の生産量が世界的に増大している<sup>\*56</sup>。バイオディーゼルは、温室効果ガスの削減やエネルギーセキュリティの向上、資源の循環利用、エネルギーの地産地消、国際間の技術共有等の点で普及の意義があるとされ、昨今、国内外で導入が進められている。EU 諸国では主に菜種やひまわりを、また北米等では主に大豆を原料としてバイオディーゼルの生産している。また、インドネシアやマレーシア、タイ等の東南アジアでは、オイルパームを原料とするバイオディーゼル（パームメチルエステル（Palm Methyl Ester: PME））の生産を拡大している。日本でも、既に廃食用油など国内の資源を用いたバイオディーゼルの導入とともに、輸入も含めた本格的な導入が進みつつある。

また、京都議定書で定められた温暖化対策に関する柔軟措置の一つであるクリーン開発メカニズム（Clean Development Mechanism: CDM）を活用して、開発途上国でバイオディーゼルの生産を進め、

得られた炭素クレジットを先進国が得ようとするプロジェクトも始まりつつある。植物油起源のバイオディーゼルに関する CDM 方法論<sup>\*6</sup>が、2009 年 10 月の第 50 回 CDM 理事会で承認されたことから、今後、開発途上国のバイオディーゼルの生産が CDM プロジェクトとして実現されるケースが出てくると思われる。

### 【バイオディーゼルの導入による課題】

バイオ燃料の導入においては、食料との競合や、他の作物との土地利用の競合、土地利用転換等に伴う地域環境への悪影響の可能性などの課題があげられている。バイオディーゼルに関しては、特に、急増する需要に対応するために大規模な森林伐採が行われるケースもあり、インドネシア等での PME の生産は場合によっては環境に悪影響を及ぼすことが報告されている<sup>\*25</sup>。オイルパームプランテーションに利用される土地としては、荒地、熱帯林、耕作地、泥炭地など様々なケースが想定されるが、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、どのような土地でプランテーションの開発が行われるかで大きく異なる。特に、泥炭地を含む熱帯林でのオイルパームプランテーションの開発においては、土地利用の転換に伴い土壌中から温室効果ガスが多量に排出されるため、泥炭地起源の PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は化石燃料起源の軽油をはるかに上回る排出になると報告されている

<sup>\*27, \*65, \*148</sup>。

### 【持続可能なバイオ燃料生産】

このような環境課題への懸念から、世界各国では、バイオ燃料の持続可能性についてさまざまな具体的な取り組みが進められている。

EU では、2008 年 12 月、再生可能エネルギー利用促進指令<sup>\*19</sup>が採択され、第 17 条にはバイオ燃料等に関する持続可能性規準が定められた。これによって温室効果ガス排出に関しては、化石燃料に比べて 35%以上の削減を満たさなければならず、さらに 2017 年以降は 50%以上（2017 年以降新たに生産されるものについては 60%）の削減が得られなければならないこととなった。

バイオディーゼル（PME）の原料になるパームオイルについては、「持続可能なパームオイル生産に関する円卓会議（RSPO: The Roundtable on Sustainable Palm Oil<sup>\*68</sup>）」が設立され、持続可能なパームオイルの生産の規準づくりや、環境に配慮して生産されたパームオイルを認証する取り組みが行われている。

前述の CDM プロジェクトでは、温室効果ガス排出削減量の算定に必要なパラメータを毎年モニタリングし、一般に公表した上で、国連の厳格な審査を受ける必要がある。このため、温室効果ガス排

出量が削減されないプロジェクトや、開発途上国の持続可能な発展につながらず環境破壊につながるプロジェクトは自ずと実現できない。このため、バイオディーゼル導入プロジェクトを CDM プロジェクトとして実施することで、バイオディーゼルにかかわる環境課題の一端が解決できる可能性がある。

#### 【バイオディーゼルのライフサイクル評価の進展と課題】

バイオディーゼルの導入による化石燃料の低減効果や温室効果ガス排出削減効果を定量的に評価することは、日本および開発途上国における持続可能なバイオディーゼル生産、エネルギーセキュリティや地球温暖化対策への貢献等の観点から極めて重要である。バイオディーゼルの生産は、原料作物の栽培から燃料の生産・流通等の様々なプロセスを含むため、バイオディーゼルの導入による温室効果ガス排出量やエネルギー消費量の評価には LCA 等のライフサイクル的なアプローチが必要であり、これまでに数多くの研究がなされてきている。しかし、土地利用転換プロセスの評価など、依然として定量評価が十分になされているとは言えず、特に、主に開発途上国で生産されるオイルパームやココナツ、ジャトロファ等を原料とするバイオディーゼルについては、研究例が少ない状況にある。

## 1-2 既往の研究

---

### (1) バイオディーゼルのライフサイクル温室効果ガス排出量に関する研究

#### 【概要】

原料作物の栽培、バイオディーゼルの生産、自動車における走行等のプロセスを含めたバイオディーゼルのライフサイクル温室効果ガス排出量の研究は、バイオディーゼルの導入が進んでいる欧米での研究事例が多い。研究の対象とされている原料作物は、ヨーロッパや北米等で実用化されている菜種、ひまわり、大豆などが主であり、東南アジア等におけるパームやココナツ、ジャトロファを用いたバイオディーゼルの研究事例は少ないとされている<sup>\*48, \*62</sup>。

#### 【パームオイルを原料とするバイオディーゼル (PME: Palm Methyl Ester)】

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量に関する研究には、Beer ら<sup>\*4</sup>、Wicke ら<sup>\*148</sup>、Thamsiroj and Murphy<sup>\*89</sup>の例がある。

Beer ら<sup>\*4</sup>は、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量を化石燃料起源の軽油（低硫黄軽油および超低硫黄軽油）やキャノーラバイオディーゼル等と比較している（図 1-1）。原料のパームオイルを既存のプランテーションから得た場合、熱帯雨林を伐採した場合、泥炭地での栽培の場合についてそれぞれ算定し、トラックでの 1km 走行あたりの排出量として比較している。既存のプランテーション起源のパームオイルから製造された PME の場合（B20）、温室効果ガス排出量は、低硫黄軽油に比べて 15.1%小さい。ただし、熱帯雨林の場合は 170.8%、泥炭地の場合は 406.9%と軽油よりも非常に大きくなっている。なお、この解析にはパームオイル生産時の廃水処理に伴うメタン排出が含まれておらず、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量が過小評価されている可能性がある。



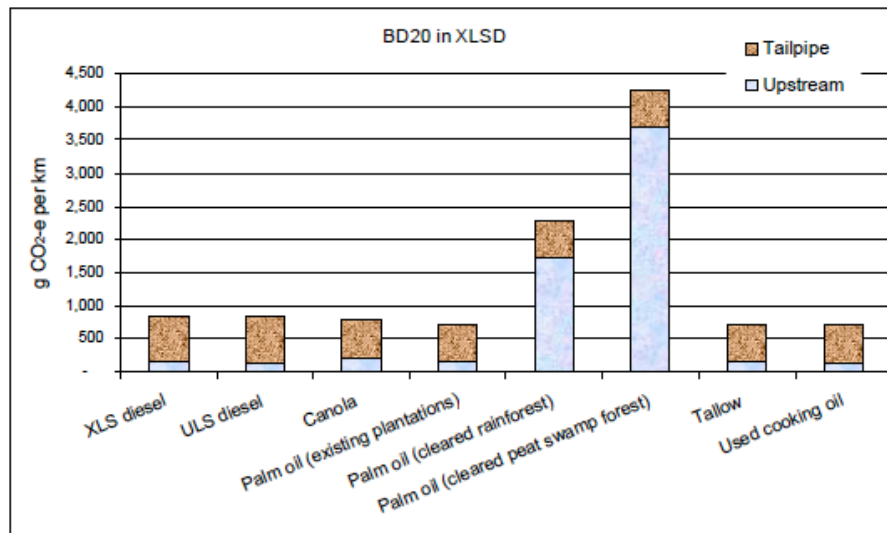


図 1-1 PME20%混合軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量(軽油および他のバイオディーゼルとの比較) (Beer ら<sup>\*4)</sup>)

Wicke ら<sup>\*148</sup> は、オイルパームプランテーション開発時の土地利用転換プロセスを含むパームオイルのライフサイクル温室効果ガス排出量に主眼を置き、さらに PME を製造した場合や、PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) を製造し発電所で混焼した場合の排出量についても比較している(表 1-1)。PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、logged-over forest 起源のパームオイルを使った場合に 32 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ と軽油の 88 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ に比べて 65%と最も小さい。また、荒地へのプランテーションの場合は -51 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ と正味の吸収源として働くとしている。しかし、熱帯雨林や泥炭地起源の場合は、それぞれ 107 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ、391 gCO<sub>2</sub>-eq/MJ と軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量よりも大きくなるとされている。

表 1-1 PME のライフサイクル温室効果ガス排出量等 (Wicke ら<sup>\*148</sup>)

	Emissions (gCO <sub>2</sub> -eqMJ <sup>-1</sup> CPO)		Emission reduction (%)	
	Biodiesel	CPO electricity <sup>a</sup>	Biodiesel	CPO electricity <sup>a</sup>
Peatland forest	391	407	-337	-528
Natural rain forest	107	123	-20	-90
Base case	32	48	65	25
Base case (animal feed)	61	n/a	32	n/a
Degraded land	-51	-35	157	154
Improvement	-53	-37	159	156

<sup>a</sup> Compared to Dutch average electricity production.

Thamsiriroj and Murphy <sup>\*89</sup> は、アイルランドにおけるバイオディーゼルの利用に関して 2 つのシナリオの比較をしている（表 1-2）。一つは、自国内で RME（Rapeseed Methyl Ester: 菜種を原料とするバイオディーゼル）を製造した場合（シナリオ 1）であり、もう一方はタイで粗パーム油（CPO: Crude Palm Oil）を製造し、アイルランドに輸送し、PME を製造した場合（シナリオ 2）である。この結果、シナリオ 2 のライフサイクル温室効果ガス排出量は 39.2 kgCO<sub>2</sub>/GJ であり、軽油に比べて 55.1%削減できるとしている。シナリオ 1 の場合は 62.16 kgCO<sub>2</sub>/GJ であり、削減率は 28.8%にとどまるとしている。なお、この解析にはパームオイル生産時の廃水処理に伴うメタン排出が含まれておらず、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量が過小評価されている可能性がある。

表 1-2 PME のライフサイクル温室効果ガス排出量等(Thamsiriroj and Murphy <sup>\*89</sup>)

(kg CO <sub>2</sub> /GJ)	Rape seed	Palm oil
Process emissions	58.35	35.21
Direct emissions	72.42	71.76
Short-term carbon emissions	-68.61	-67.77
Net emissions	62.16	39.2
% greenhouse-gas reduction @ total emissions of conv. diesel 87.3 kg CO <sub>2</sub> /GJ	28.8%	55.1%

Somporn and Shabbir <sup>\*75</sup> は、タイにおける PME の製造に関してライフサイクルのエネルギー評価をしている。PME の正味エネルギーバランス（Net Energy Balance）は 100.84 GJ/ha であり、正味エネルギー比率（Net Energy Ratio：総エネルギーアウトプット÷化石エネルギーインプット）は 2.42（副生成物を含まない場合）と算定している。

#### 【菜種を原料とするバイオディーゼル（RME: Rapeseed Methyl Ester）】

RME のライフサイクル温室効果ガス排出量に関する研究には、Elsayed ら <sup>\*18</sup>、Thamsiriroj and Murphy <sup>\*89</sup> の例がある。

Elsayed ら <sup>\*18</sup> は、様々な原料から製造されるバイオディーゼル（RME、廃食用油起源）やバイオエタノール（甜菜、小麦等）について、ライフサイクル温室効果ガス排出量等の評価を行っている。RME については、0.041±0.002 kgCO<sub>2</sub>-eq/MJ と算定している。

Thamsiriroj and Murphy <sup>\*89</sup> の研究については前述のとおりであり、Elsayed ら <sup>\*18</sup> よりも若干大きい値となっている。

IEA <sup>\*32</sup> は、RME の 1km あたりの Well to Wheel の温室効果ガス排出量は化石燃料起源の軽油と比較

しておよそ 40-60%の削減率となるとしている（図 1-2）。

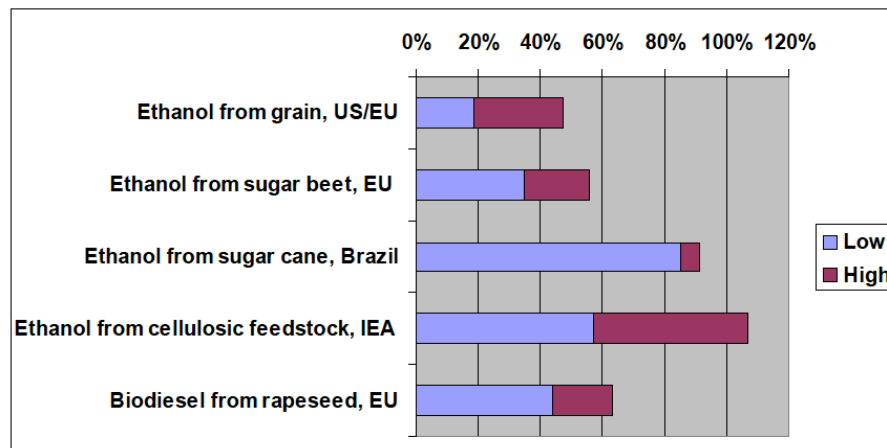


図 1-2 バイオ燃料の Well to Wheel GHG 推定削減量(1km 走行あたりの比較)(IEA<sup>\*32</sup>)

#### 【大豆を原料とするバイオディーゼル (SME: Soybeen Methyl Ester)】

SME のライフサイクル温室効果ガス排出量に関する研究には、Sheehan ら<sup>\*71</sup> の例がある。

#### 【多種のバイオディーゼルの比較】

バイオディーゼルのライフサイクル温室効果ガス排出量について原料による相違を比較した研究例も多い。

Quirin ら<sup>\*62</sup>は、入手可能な 800 に上るバイオ燃料の LCA に関する研究から 63 の研究論文を抽出し、解析、比較を行っている。図 1-3 および図 1-4 に、バイオ燃料の化石燃料に対する化石燃料消費削減量および温室効果ガス排出削減量を示す。バイオディーゼルについては、比較対象化石燃料は軽油であり、対象としている原料作物等は、菜種 (17 件)、ひまわり (7 件)、大豆 (3 件)、キャノーラ (2 件)、ココナツ (1 件)、再生植物油 (1 件)、動物油脂 (1 件)、廃食用油 (1 件) である。この論文では、自動車の単位走行距離(km)あたり、および単位面積あたりの削減量が算出されている。Quirin ら<sup>\*62</sup>は、PME に関する研究例が極めて少ないことを指摘しており、このレビュー結果にも PME は含まれていない。

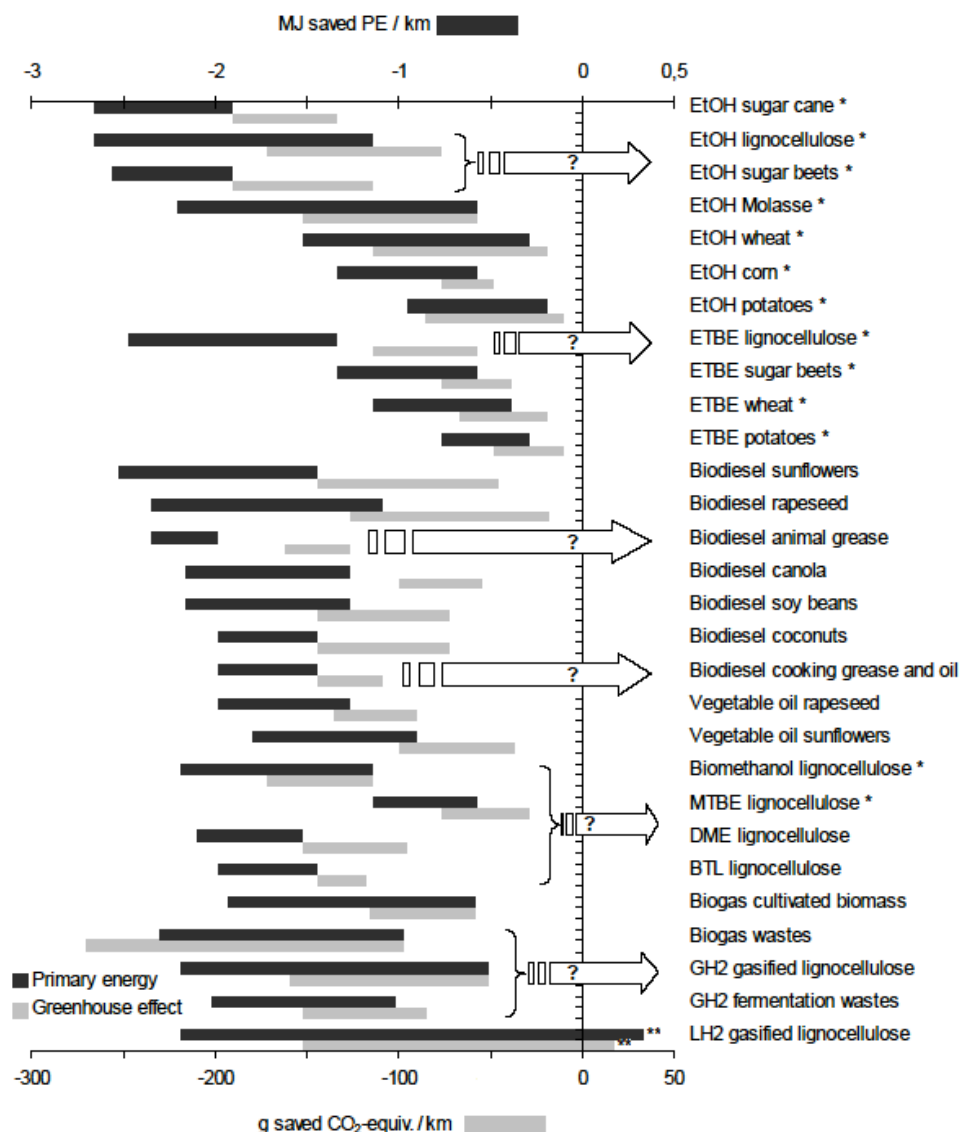


図 1-3 化石エネルギー削減量および温室効果ガス排出削減量(1km 走行あたり)  
(バイオエタノールは対ガソリン、バイオ ETBE は対 MTBE、バイオディーゼルは対軽油、等) (Quirin ら<sup>\*62)</sup>)

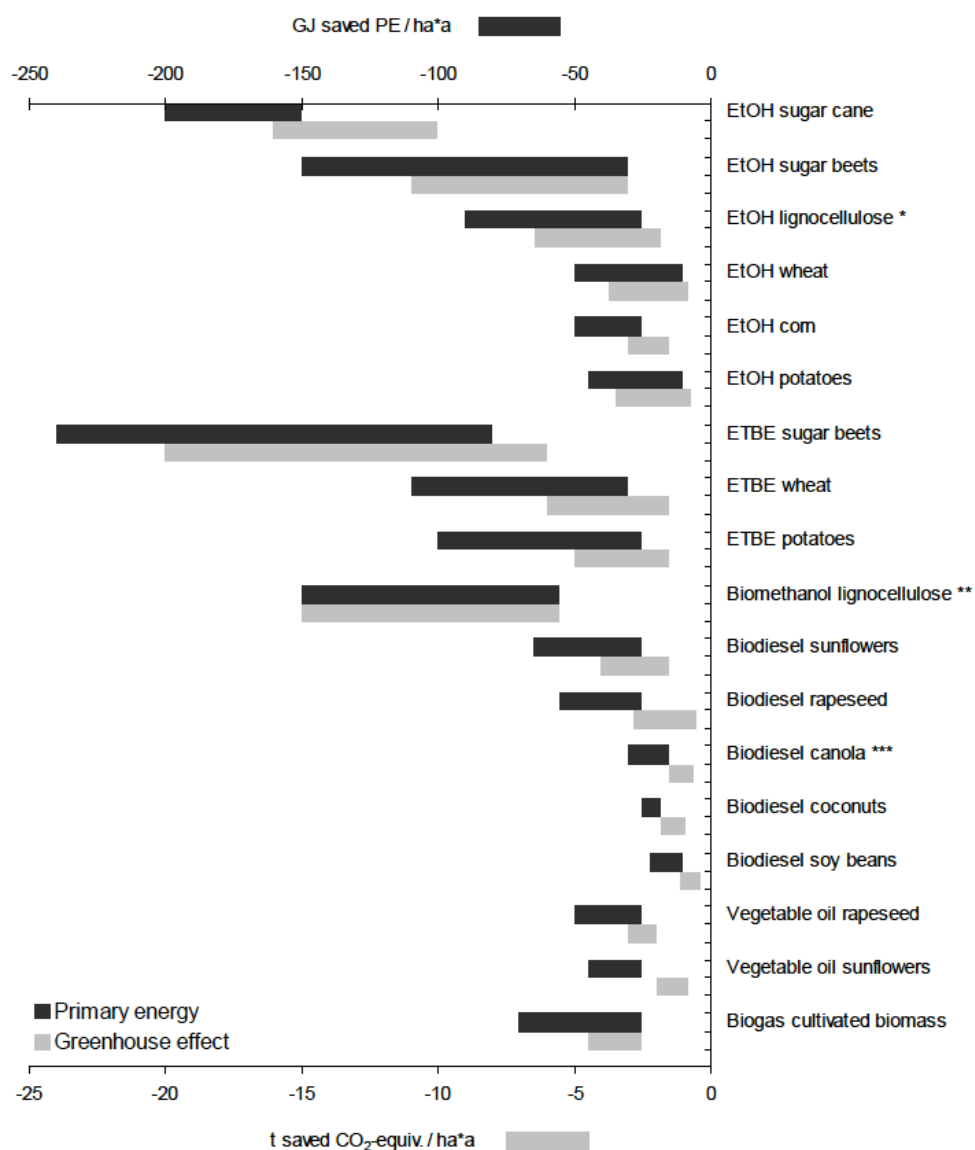


図 1-4 化石エネルギー削減量および温室効果ガス排出削減量(1ha あたり)

(バイオエタノールは対ガソリン、バイオ ETBE は対 MTBE、バイオディーゼルは対軽油、等) (Quirin ら<sup>\*62)</sup>)

Quirin らと同じ機関 (Institute for Energy and Environment Research Heidelberg, Germany) に所属する Reinhardt<sup>\*66</sup> は、その後、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量についても解析し、Quirin ら<sup>\*62</sup> にこれらの結果を加えている (図 1-5)。この資料では、1ha-1 年あたりの温室効果ガス排出削減量が算出されている。バイオディーゼルのなかでは、ひまわりが 2 - 4 tCO<sub>2</sub>-eq/ha\*a と比較的削減量が大きく、次いで菜種、ココナツ、キャノーラ、大豆などとなっている。PME については、オイルパームプランテーションを開発する前の土地の状況によって大きく異なり、荒地では 10 tCO<sub>2</sub>-eq/ha\*a 前後と非常に削減量が多いが、既存のプランテーションでは場合によっては削減量が得られない結果となっている。

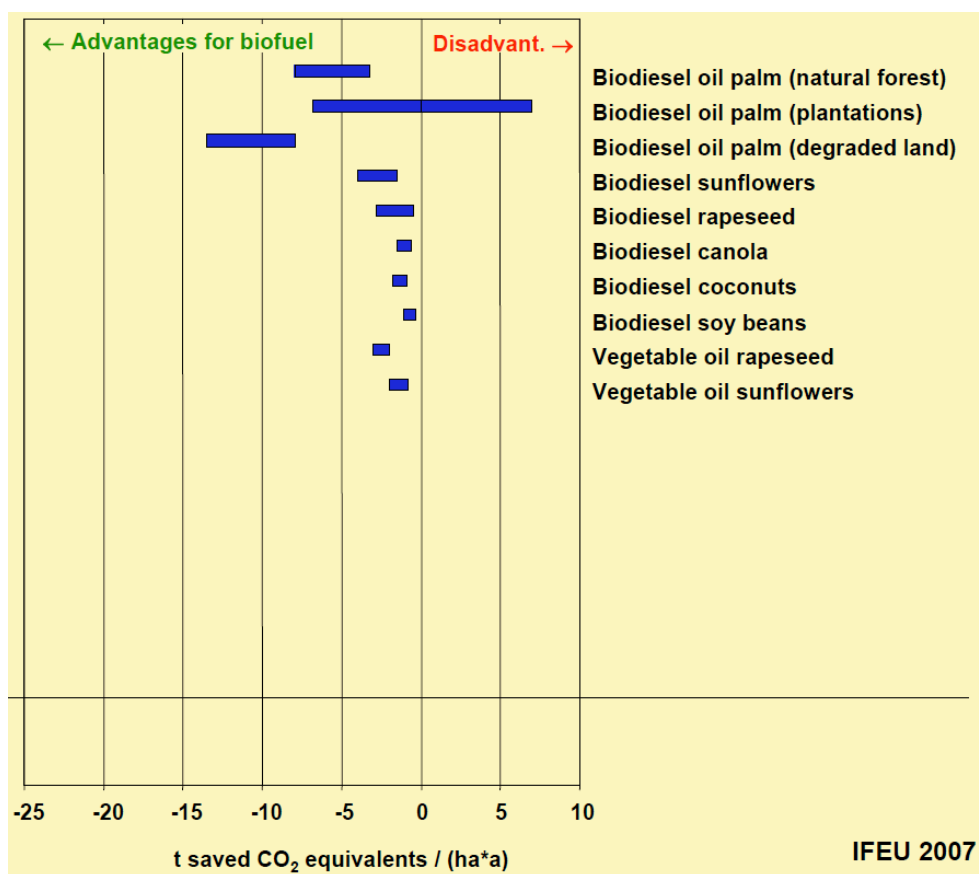


図 1-5 温室効果ガス排出削減量 (1ha-1 年あたり) (Reinhardt<sup>\*66</sup>)

経済産業省<sup>\*158</sup>は、主に日本でのバイオディーゼルの利用を目的として、ライフサイクル温室効果ガス排出量を評価している。マレーシアで生産したオイルパームを原料に現地でバイオディーゼル製造を行い日本に輸入するケース、国内で発生する廃食用油を回収しバイオディーゼルの原料とするケース、国内の休耕田に菜種を栽培しその菜種油を原料にバイオディーゼルの製造するケース、の3ケースを想定してライフサイクル温室効果ガス排出量やエネルギー消費量を試算している。この結果、バイオディーゼルのライフサイクル温室効果ガス排出量は、軽油からの排出量の 28～57%程度となり、軽油より優位であるとされている(図 1-6)。なお、ケース 1 および 2 の詳細については表 1-3 に示す。

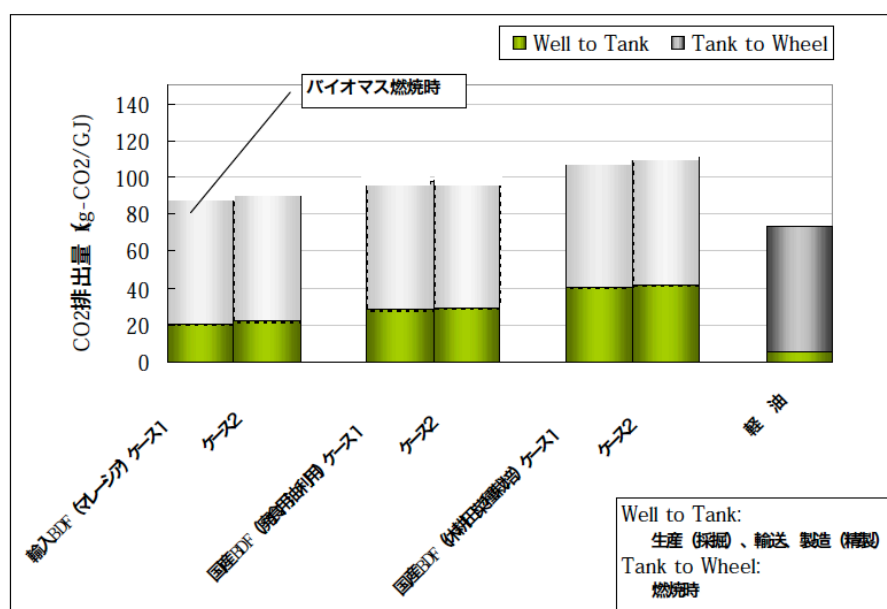


図 1-6 バイオディーゼルの LCA の評価結果(経済産業省<sup>\*158</sup>)

表 1-3 バイオディーゼルの LCA 評価におけるケース設定(経済産業省<sup>\*158</sup>)

	ケース 1	ケース 2
輸入 BDF	パームやし収量：18.8 t/ha BDF 製造プラント～積出港：100km	パームやし収量 17.0 t/ha BDF 製造プラント～積出港：300km
国産 BDF (廃食用油利用)	廃食用油収集距離：20 km BDF 製造プラント～流通拠点：100km	廃食用油収集距離：40 km BDF 製造プラント～流通拠点：300km
国産 BDF (休耕田菜種栽培)	菜種収量：1.4 t/ha BDF 製造プラント～積出港：100km	菜種収量 1.26 t/ha BDF 製造プラント～積出港：300km

### 【ライフサイクル温室効果ガス排出量のばらつきについて】

前述のとおり、バイオディーゼルのライフサイクル温室効果ガス排出量には大きな幅があることがわかる。これは第 1 に対象とする原料作物や用いる技術の相違に起因するものであるが、同一の原料作物であっても研究によって大きな差が生じている。これはライフサイクル評価時における前提条件の相違等によるものと考えられる。

Quirin ら<sup>\*62</sup>は、このようなばらつきの原因についての比較分析を行っている。例えば、窒素肥料の施肥量は小麦からのバイオエタノールでは 53 (Elsayed, 2003) -195 (Levington, 2000) kgN/ha、窒素肥料の生産時のエネルギー消費量もコーンからのバイオエタノールでは 42 (Pimentel, 2003) – 70 (GM, 2001) MJ/kgN、甜菜の収量は 56-86t/ha、小麦は 2.7-9.0t/ha などと研究によって大きく異なり、このような前提条件の違いがライフサイクル温室効果ガス排出量に差が生じていることを指摘している。

### 【温室効果ガス排出削減量の評価方法について】

バイオディーゼル等のバイオ燃料の化石燃料と比較したエネルギー削減量や温室効果ガス排出削減量の評価においては、多くの場合、熱量ベース (GJ) あるいは自動車の走行キロベース (vehicle-km) が用いられている。しかしながら、バイオマス作物からバイオ燃料を生産する場合、限られた土地を利用するため、土地利用効率といった点で単位面積あたりの削減量といった観点も非常に重要である。Quirin ら<sup>\*62</sup>やReinhardt<sup>\*66</sup>は、それぞれのバイオ燃料について単位面積あたりの削減量を整理している。



## (2) パームオイルのライフサイクル温室効果ガス排出量に関する研究

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量に関する研究例は前述のように少ない。しかしながら、PME の原料となるパームオイルのライフサイクル温室効果ガス排出量については、近年多くの研究がなされてきている。

Wicke ら<sup>\*148</sup>は、オイルパームプランテーションの土地利用転換プロセスを含むパームオイルのライフサイクル温室効果ガス排出量に主眼を置き、さらに PME を製造した場合や、PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) を製造し発電所で混焼した場合の排出量についても比較している。

Reijnders and Huijbregts<sup>\*65</sup>は、パームオイルの生産に伴う炭素起源の温室効果ガス排出量の評価を行っている。熱帯林からオイルパームプランテーションへの転換の際に生じる二酸化炭素放出、プランテーションにおける化石燃料の消費、パームオイルミルの嫌氣的廃水処理の際に生じるメタンを考慮し、パームオイル 1kg あたりの温室効果ガス排出量を  $2.8 - 19.7 \text{ kgCO}_2\text{-eq/kg-palm oil}$  と算定している。

Schmidt<sup>\*70</sup>は、パームオイルのライフサイクルアセスメントを行い、詳細なインベントリを作成している。また、様々なパラメータについて不確実性を考慮した感度解析を実施している。

Germer and Sauerborn<sup>\*27</sup>は、オイルパームプランテーションの開発時の温室効果ガス排出量を評価している (表 1-4)。熱帯地域の草地においてオイルパームプランテーションを開発する場合には、正味の吸収になることが示されている。一方、森林あるいは泥炭地の森林のケースでは大きな排出になることが示されている。これらから熱帯地域の草地におけるオイルパームプランテーションは、炭素の吸収源となり得ることを強調している。なお、この研究ではパームオイルの生産に伴う排出量は含まれていない。

表 1-4 オイルパームプランテーション開発時の温室効果ガス排出量 (Germer and Sauerborn<sup>\*27</sup>)

(単位:  $\text{tCO}_2\text{-eq/ha}$ )

	Land clearing	Change in soil carbon or peat decomposition	Fixation in oil palm plantation biomass	Balance
Grassland rehabilitation (zero burning)	$42 \pm 27$	$-48 \pm 24$	$-129 \pm 40$	$-136 \pm 37$
Grassland rehabilitation (burning)	$43 \pm 28$	$-48 \pm 24$	$-129 \pm 40$	$-134 \pm 36$
Forest conversion (zero burning) on mineral soil	$627 \pm 326$	$150 \pm 75$	$-129 \pm 40$	$647 \pm 361$
Forest conversion (burning) on mineral soil	$648 \pm 337$	$150 \pm 75$	$-129 \pm 40$	$668 \pm 372$
Forest conversion (zero burning) on peat	$627 \pm 326$	$816 \pm 393$	$-129 \pm 40$	$1314 \pm 679$
Forest conversion (burning) on peat	$648 \pm 337$	$816 \pm 393$	$-129 \pm 40$	$1335 \pm 690$

RSPO<sup>\*69</sup> は、様々な研究のレビューにより、パームオイル生産のライフサイクル温室効果ガス排出量を土地利用転換プロセスも含めて推計している（表 1-5）。排出量は、1ha、1 年あたりで 16,220 kgCO<sub>2</sub>-eq から 96,565 kgCO<sub>2</sub>-eq、1t の CPO 生産あたりで 3,930 kgCO<sub>2</sub>-eq から 30,240 kgCO<sub>2</sub>-eq と大きな幅を持つことが示されている。この幅はオイルパームプランテーションへの転換前の土地利用の相違によるところが大きい。

表 1-5 CPO のライフサイクル温室効果ガス排出量 (RSPO<sup>\*69</sup>)

GHG emission factor	Emissions per ha (kgCO <sub>2</sub> -eq/ha* annum)	Emissions per tonne CPO(kg CO <sub>2</sub> -eq/tonne CPO)	Note
<b>1.Operations</b>			
1a. fossil fuel use transport & machinery	+180 to + 404	+45 to + 125	-
1b. fertilizer use	+1,500 to +2,000	+ 250 to + 470	-
1c. fuel of mill & utilization of mill by-products	0	0	-
1d. POME	+2,500 to +4,000	+ 625 to + 1,467	-
Total operations	+4,180 to +6,225	+920 to + 2,007	-
<b>2.Emissions from carbon stock change</b>			
2a. 25 year discounted GHG emission from conversion of grass land/forest	+1,700 to + 25,000	+425 to +7,813	Based on a carbon stock change of 11.5 – 171 tonnes C/ha, which is discounted over 25 years and expressed as CO <sub>2</sub>
2b. Annual carbon sequestration by oil palms	- 7,660	-1,915 to -2,393	Henson [22]
2c. Emissions from oil palm on peat	+18,000 to + 73,000	+4,500 to +22,813	-
Total emissions related to carbon stock change	+12,040 to +90,340	+3,010 to + 28,233	-
Total	+16,220 to 96,565	+3,930 to +30,240	-

Note: a positive sign indicates a net GHG emission

### (3) バイオディーゼルの自動車排ガス試験に関する研究

植物油や動物性油をエステル交換等を行うことによって製造したバイオディーゼルは、化石燃料起源の軽油に比べて温室効果ガス排出量削減のポテンシャルを有しているとともに、自動車排ガス中の粒子状物質 (PM: Particulate matter) や一酸化炭素 (CO: Carbon monoxide)、炭化水素 (HC: Hydro carbon)、硫黄酸化物 (SOx: Sulfur oxide) などの大気汚染物質の低減に寄与する<sup>\*13, \*50, \*145</sup>。一般に、バイオディーゼルは、軽油と比べて自動車排ガス中の PM と CO の排出を低減し、窒素酸化物 (NOx: Nitrous oxide) の排出を増加させるという研究結果が数多く報告されている<sup>\*13, \*14, \*44, \*45, \*50 \*61, \*63, \*90, \*145, \*147, \*149</sup>。Demirbas<sup>\*13</sup>は、総説において、従来型のディーゼルエンジンでバイオディーゼルを使用した場合、未燃焼の炭化水素や CO、CO<sub>2</sub>、硫酸塩、多環芳香族炭化水素、ニトロ化多環芳香族炭化水素、オゾンを生成する炭化水素、PM が大きく低減されると報告している。アメリカ大気環境保護庁 (The U.S. Environmental Protection Agency) は、バイオディーゼルの自動車排ガス試験に関して包括的な解析を行っているが、大豆ベースのバイオディーゼル (B20 : 20%バイオディーゼル、80%軽油) は、100%軽油に比べて PM および CO がそれぞれ 10.1%、11.0%低減され、NOx は 2.0%増加すると報告している (図 1-7)<sup>\*146</sup>。また、排出量は、大豆、菜種、動物性油脂など原料によって大きく変化することも指摘している。McCormick ら<sup>\*53</sup>は、アメリカ大気環境保護庁の研究よりも、より新しいエンジンでの比較を行っているが、B20 は 100%軽油に比べて、PM および CO がそれぞれ 16.4%±10%、17.1%±6.1%低減され、NOx は 0.6%±1.8%増加すると報告している。Durbin ら<sup>\*15</sup>は、ARCO emissions control diesel (EC-D)と 3 種類 (黄色油脂と 2 種類の大豆ベースバイオディーゼル) の B20 をテストしているが、どのバイオディーゼルも軽油に比べて HC および CO の排出量が低減され、NOx はほとんど変わらないという結果を得ている。Labeckas ら<sup>\*46</sup>は、菜種メチルエステル 100%およびその軽油混合燃料について排ガス試験を実施しており、軽油に比べて CO、HC、PM は減少し、NO は増加すると報告している。一方、Mazzoleni ら<sup>\*52</sup>は、B20 は軽油に比べて PM 排出量は増加し、コールドスタート時の CO なども増加するとしている。なお、この結果は規格外 B20 について路上の実走行試験で得られたものである。Ropkins ら<sup>\*67</sup>も軽油と B5 について路上での実走行試験を実施しているが、B5 は軽油に比べて、NOx 排出量が 8-13%増加し、CO や CO<sub>2</sub>、HC については大きな変化は見られないと報告している。

Turrio-Baldassarria ら<sup>\*91</sup>は、軽油とバイオディーゼルについてバスの排ガス中の化学的および毒物学的特性を比較している。バイオディーゼルは軽油に比べて、ほとんどの芳香族あるいは多環芳香族が少量低減され、ホルムアルデヒドは 18%増加すると報告している。Dwivedia ら<sup>\*16</sup>は、軽油と B20 の

排ガス試験を実施し、金属やベンゼン、可溶性有機成分を分析している。B20 の排ガスに含まれる粒子状物質中の Cd (カドミウム)、Pb (鉛)、Na (ナトリウム)、Ni (ニッケル) などの金属は、軽油よりも少なく、Fe (鉄)、Cr (クロム)、Zn (亜鉛)、Mg (マグネシウム) は多い結果であった。

バイオディーゼルは北米やヨーロッパで主に生産、消費されている。原料は、ヨーロッパでは主に菜種であり、ひまわりなどからも作られている。北米では主に大豆であり、キャノーラからも生産されている。このため、バイオディーゼルの排ガス試験に関する研究は主にこれらの原料に焦点があてられてきた。しかしながら、他の原料から生産されたバイオディーゼルについてもさまざまな研究が実施されてきている。Narayana Reddy ら<sup>\*55</sup>は、ジャトロファオイルの排ガス試験を実施しており、HC やスモークの排出量が低減されたと報告している。Ramadhas ら<sup>\*64</sup>は、ゴムの種のメチルエステルを試験している。Puhan ら<sup>\*61</sup>は、マフア (Mahua) 油メチルエステルを試験しており、軽油に比べて CO や HC は大きく低減され、NOx は若干低減されることを示している。Raheman<sup>\*63</sup>は、カラランジャ (Karanja) メチルエステルの排ガス試験を実施しており、CO、スモーク、NOx がそれぞれ 80%、50%、26%低減されたとしている。Lapuerta ら<sup>\*47</sup>は、2 種類の廃食用油を試験しており、バイオディーゼルの混合率が高くなるほど PM の低減率が大きくなると報告している。

近年、熱帯や亜熱帯地域に位置する多くの開発途上国がバイオディーゼルの生産を検討あるいは実施している。これらの国でのバイオディーゼルの主な原料はパームオイルやココナツオイル、ジャトロファ等である。しかしながら、これらの排ガス試験については菜種や大豆に比べて研究例が非常に少ない。アメリカ大気環境保護庁の包括的な解析においても、大豆、菜種、キャノーラ、油脂、動物油、豚脂<sup>\*146</sup>が対象とされているが、パーム、ココナツ等は含まれていない。Kalam and Masjuki<sup>\*42</sup>は、パームメチルエステル (B7.5 および B15) の排ガス試験を行っており、軽油に比べて NOx や CO、HC が低減されると報告している。また、20%パームバイオディーゼルに 1%の酸化防止剤を添加することで、HC や CO、NOx がさらに低減されることを示している<sup>\*43</sup>。

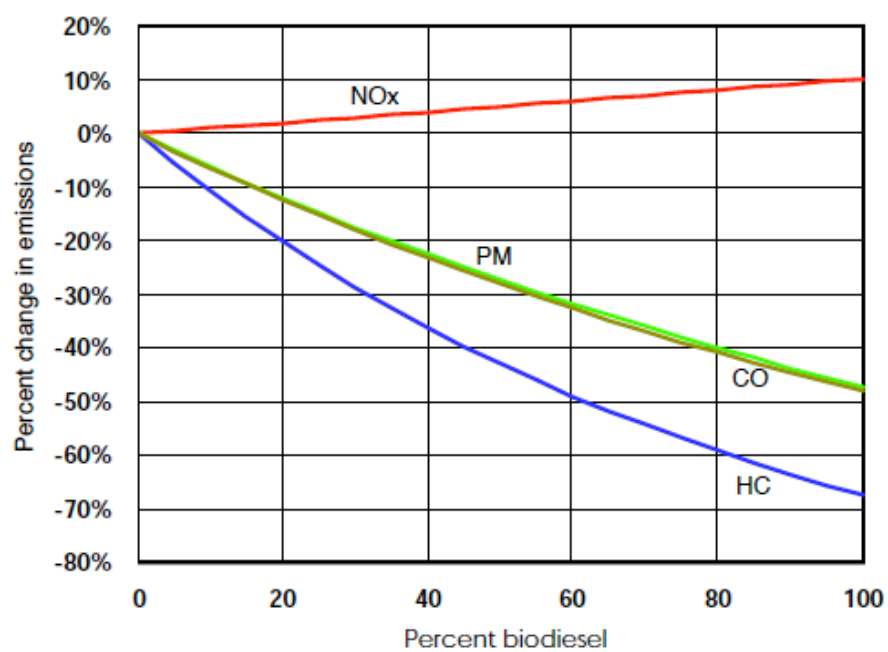


図 1-7 バイオディーゼルの自動車排ガス量への平均的な影響(U.S.EPA<sup>\*146</sup>)

### 1-3 目的

---

本研究の目的は以下のとおりである。

- ・ タイにおけるパームオイルを原料とするバイオディーゼル（Palm Methyl Ester（パームメチルエステル）：PME）の温室効果ガス排出削減対策としての効果を把握するために、そのライフサイクル温室効果ガス排出量を推計し、評価する。

特に、

- オイルパームプランテーションを開発する際の土地利用転換プロセスに着目し、様々な土地利用からの転換による排出量の相違を評価する。
  - 施肥量やオイルパームの単収、粗パーム油（CPO: Crude Palm Oil）生産効率等の諸条件の差異によって、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量がどの程度変化するかを評価する。
  - PME の生産過程において温室効果ガス排出低減対策を実施した場合のライフサイクル温室効果ガス排出量を評価する。
  - 自動車排ガス試験によって得られた PME の燃費や CO<sub>2</sub> 排出量等の基礎データを用いて、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量を評価する。
  - ❖ なお、土地利用転換プロセスを含む PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価に関する研究は、インドネシアやマレーシアの熱帯林や荒地での評価例はあるものの、タイを対象とし、かつゴム林や田畑等からの土地利用転換を考慮した研究例は無い。
- 
- ・ バイオディーゼル CDM プロジェクトの促進に資することを目的に、その実現可能性の評価、および、バイオディーゼル生産プロジェクト用の CDM 承認方法論の簡素化を提言する。
  - バイオディーゼル生産の CDM プロジェクトは未だ実現していないが、本研究における PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価結果等をもとに、PME を用いた CDM プロジェクトの実現可能性を評価する。
  - 現在、国連に承認されているバイオディーゼル生産プロジェクト用の CDM 承認方法論 ACM0017 は、温室効果ガス排出削減量の算定やモニタリングに必要なパラメータが非常に多く、バイオディーゼル生産 CDM プロジェクトを実施しようとする事業者の負担が大きい。また、適用可能なプロジェクトが荒地における新規専用プランテーションのみと非

常に限定的であるといった課題がある。

- このため、本研究におけるライフサイクル温室効果ガス排出量の評価結果等を活用し、算定式の簡素化とともに、適用可能条件の拡張を提言する。
- ❖ CDM プロジェクトでは、国連の厳格な審査のもとで、温室効果ガス排出量が削減されないプロジェクトや、開発途上国の持続可能な発展につながらないプロジェクトは実現できない。バイオディーゼルの生産は環境への悪影響が懸念されるケースがあるが、CDM プロジェクトとして推進することで、先進国への排出権の生成みならず開発途上国の持続可能な発展に寄与ができることから、バイオディーゼル生産プロジェクトにおける CDM の活用の意義は大きい。

## 1-4 構成

本論文の構成および全体像を表 1-6 および図 1-8 にそれぞれ示す。

表 1-6 本論文の構成

第 1 章	序論
第 2 章	タイにおけるバイオディーゼル生産の概要
第 3 章	タイにおける PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価
第 4 章	温室効果ガス低減対策実施時の PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価
第 5 章	バイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性および実現に向けた提言
第 6 章	結論

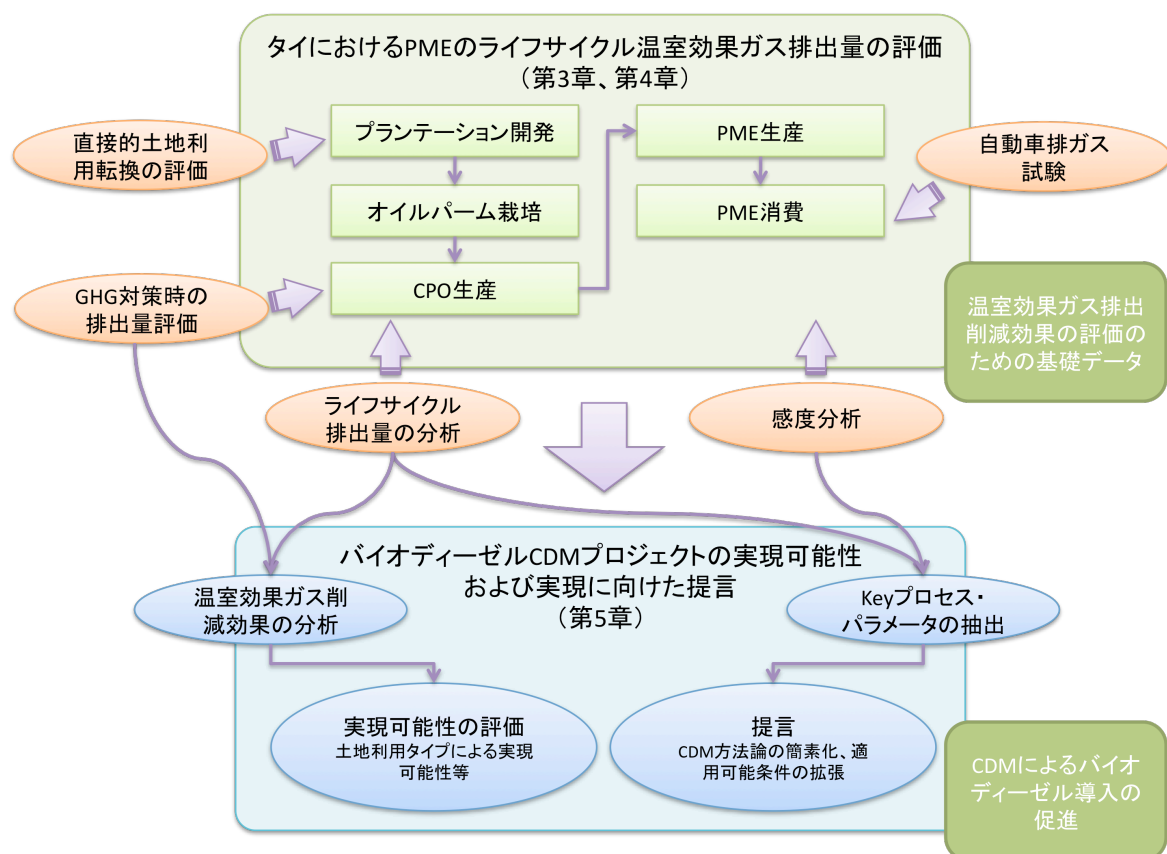


図 1-8 研究の全体像



## 第2章 タイにおけるバイオディーゼル生産の概要

### 2-1 バイオディーゼル普及計画

---

タイ政府は、2005年5月にバイオディーゼル開発・促進戦略を閣議決定した。この戦略では、2012年までに軽油をB10（化石燃料起源の軽油にバイオディーゼルの10%混合）とする目標を定めた。目標を達成するためには、B100換算で850万l/日のバイオディーゼルの生産が必要となり、原料となる粗パーム油（CPO: Crude Palm Oil）は年間247万t、オイルパームの作付面積はタイ国内に400万rai（64万ha）、ラオス等に100万rai（16万ha）を追加拡大する必要があった。

しかし、パームオイルの供給拡大が思うように進まず、タイ政府は2007年に下方修正した行動計画を発表した。この計画では、2022年にB100換算で450万l/日のバイオディーゼルの供給することとしている。このために必要なCPOは年間114万t、オイルパームの作付面積は600万rai（96万ha、2008年現在約363万rai（約58万ha））である。

行動計画の詳細なタイムスケジュールを表2-1に示す。計画では、バイオディーゼルの供給をB100換算で、2009年の日量135万リットルから2022年に日量450万リットルに増加させるとしている（図2-1）。オイルパームの作付面積は、2009年の64万haから徐々に増やし、2014年以降、96万haにする（図2-2）。また、CPOの生産量は2009年の165万tから2022年には340万tに増やし、このうちバイオディーゼル用に約1/3に相当する年間114万tを確保する計画である（図2-3）。

表 2-1 バイオディーゼル導入行動計画(2007 年発表)

Year		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Planting area	Million rai	4	4.5	5	5.5	5.9	6	6
	Million ha	0.64	0.72	0.80	0.88	0.94	0.96	0.96
FFB production	Million ton	9.18	10.17	12.06	13.56	13.86	15.57	16.75
CPO production	Million ton/year	1.65	1.83	2.23	2.51	2.56	2.88	3.1
CPO for food	Million ton/year	1.06	1.11	1.17	1.23	1.29	1.35	1.42
CPO for Biodiesel	Million ton/year	0.47	0.34	0.77	0.8	0.84	0.87	0.89
CPO for export	Million ton/year	0.08	0.38	0.25	0.48	0.42	0.65	0.78
Stock of CPO	Million ton/year	0.15	0.15	0.19	0.2	0.21	0.22	0.23
B100 demand	Million liter/day	1.35	1.35	3.02	3.14	3.31	3.42	3.53
Year		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Planting area	Million rai	6	6	6	6	6	6	6
	Million ha	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
FFB production	Million ton	17.81	18.42	18.65	18.67	18.58	18.52	18.40
CPO production	Million ton/year	3.29	3.41	3.45	3.45	3.44	3.43	3.4
CPO for food	Million ton/year	1.49	1.57	1.64	1.73	1.81	1.9	2
CPO for Biodiesel	Million ton/year	0.92	0.95	0.98	1.02	1.05	1.1	1.14
CPO for export	Million ton/year	0.87	0.88	0.81	0.7	0.56	0.42	0.25
Stock of CPO	Million ton/year	0.24	0.25	0.26	0.27	0.29	0.3	0.31
B100 demand	Million liter/day	3.64	3.75	3.87	4.01	4.15	4.32	4.50

出典: Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy<sup>\*85</sup>

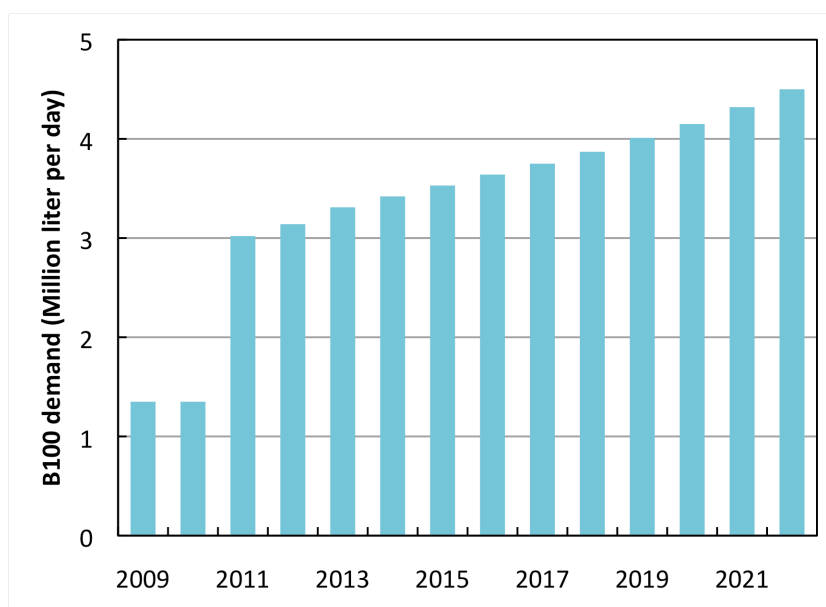


図 2-1 バイオディーゼル導入行動計画における B100 導入量

出典: Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy<sup>\*85</sup>

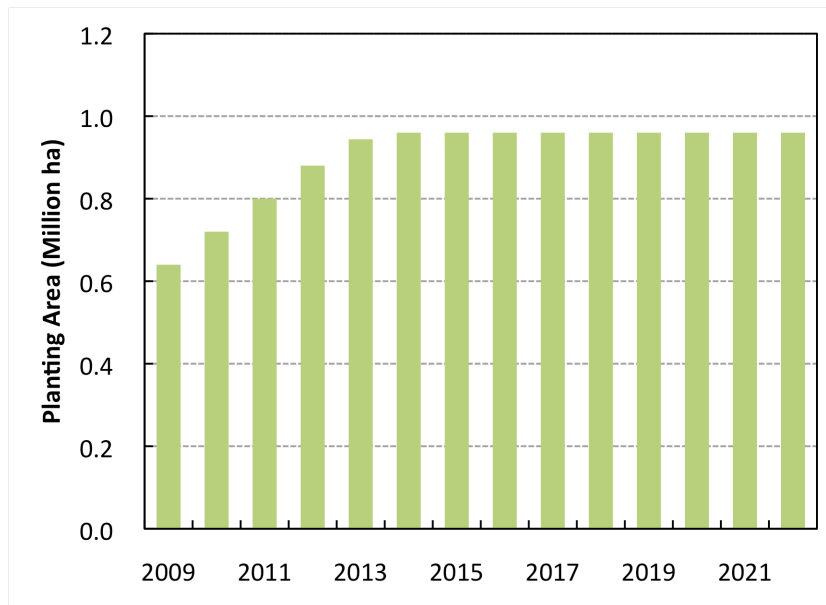


図 2-2 バイオディーゼル導入計画におけるオイルパーム作付計画

出典: Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy<sup>\*85</sup>

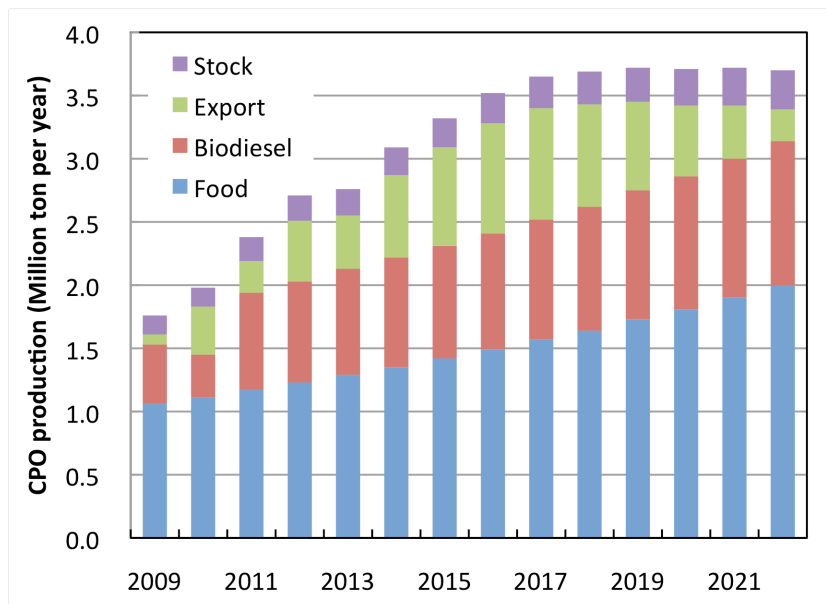


図 2-3 バイオディーゼル導入計画における CPO 生産計画

出典: Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy<sup>\*85</sup>

## 2-2 バイオディーゼル導入状況

### (1) 生産量の推移

タイにおけるバイオディーゼルの生産は 2007 年から本格化し、現在では日量 170 万リットル程度が生産されている。これはすでに計画（日量 135 万リットル（表 2-1 参照））を超える量となっている。なお、生産されたバイオディーゼルは、軽油に 5%あるいは 2%混合し、B5、B2 として販売されている。

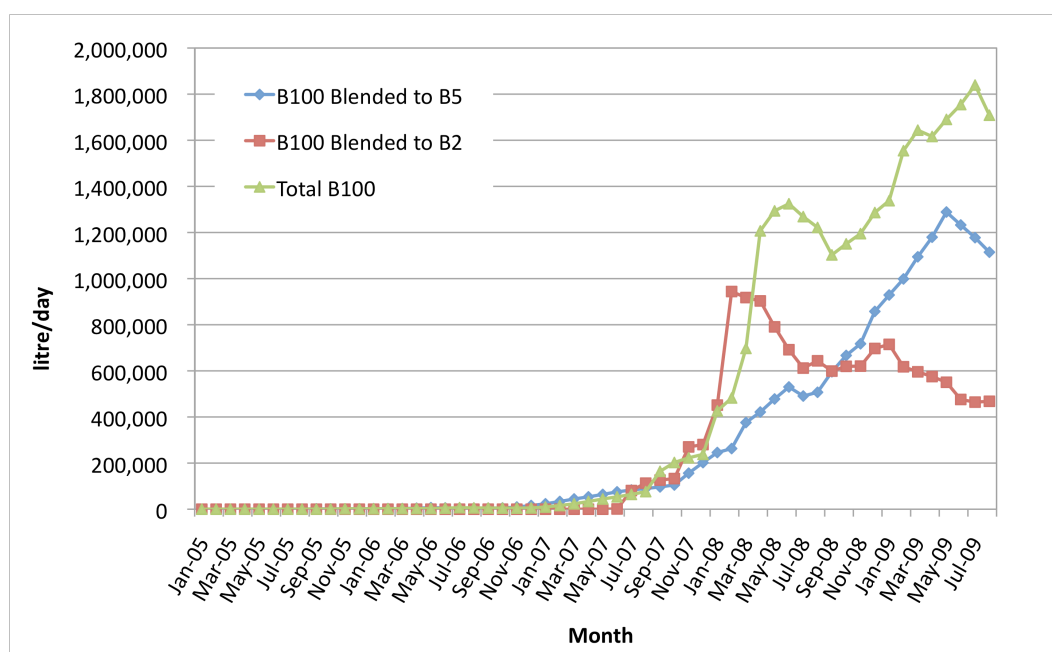


図 2-4 タイにおけるバイオディーゼル販売量の推移

出典: Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy<sup>\*83</sup>

## (2) 稼働中のバイオディーゼルプラント

タイで稼働しているバイオディーゼル製造プラントを表 2-2 に示す。2009 年現在、タイ全土で 14 のプラントが稼働しており、生産能力は合計で日量約 450 万リットルである。これらのプラントは 2007 年 5 月以降に政府の承認を受けており、ほとんどがパームオイル（パームステアリンや CPO 等）を原料にしている。廃食用油を原料とするプラントもある。CPO の生産はほとんどがタイ南部で行われているが、バイオディーゼル製造プラントの多くはバンコク都あるいはその近郊に位置している。

表 2-2 バイオディーゼル製造プラント(タイ政府承認を受けたプラント)

No	Biodiesel Plant	Capacity (l/day)	Raw Materials	Approval Date	Plant Site
1	Bangchak Petroleum Plc.	50,000	Used Vegetable Oil CPO	7.May.07	Bangkok
2	Bio Energy Plus	100,000	Palm Stearin	7.May.07	SriAyuddhaya
3	Pure Energy Plc.	200,000	Palm Stearin	7.May.07	Prachinburi
4	Pathum Vegetable Oil	800,000	RBD PO	7.May.07	Pathumthani
5	Bangkok Alternative Energy	200,000	Palm Stearin RBD PO	7.May.07	Chashoengsao
6	Green Power Corporation	200,000	Palm Stearin	15.May.07	Chumpond
7	AI Energy	250,000	Palm Stearin CPO, RBD PO	15.May.07	SamutSakorn
8	WeraSuwan	200,000	Palm Stearin RBD PO	15.May.07	SamutSakorn
9	Thai Olio Chemical	685,800	CPO	28.Dec.07	Rayong
10	New Biodiesel	220,000	RBD PO	1.Aug.08	Suratthani
11	Pure Biodiesel	300,000	CPO Palm Stearin	30.Dec.08	Rayong
12	Siam Gulf Petro Chemical	1,200,000	Palm Stearin	30.Dec.08	Petchburi
13	Technique Plus Engineering	1,200,000	Palm Stearin	26.Feb.08	Petchburi
14	E-Ester	50,000	Used Vegetable Oil Palm Stearin	24.Jul.09	ChiangRai
Total		4,455,800			

出典: Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy<sup>\*83</sup>

### (3) PME の生産プロセス

パームメチルエステル (PME) は、CPO を精製して RPO (Refined Palm Oil) を得て、これをエステル交換等によって製造する。本研究では、アルカリ触媒法によるエステル交換によって RPO から PME 製造するプロセスを対象とした。

アルカリ触媒法では、水酸化ナトリウム (NaOH) や水酸化カリウム (KOH) を触媒として、RPO とメタノールを常圧下、50-60℃にて数時間反応させることで PME が生成する (図 2-5)。エステル交換では、副生成物としてグリセロールが生成される。PME を分離回収後、水洗することで不純物を除去し、その後、加熱して水分を除去する。

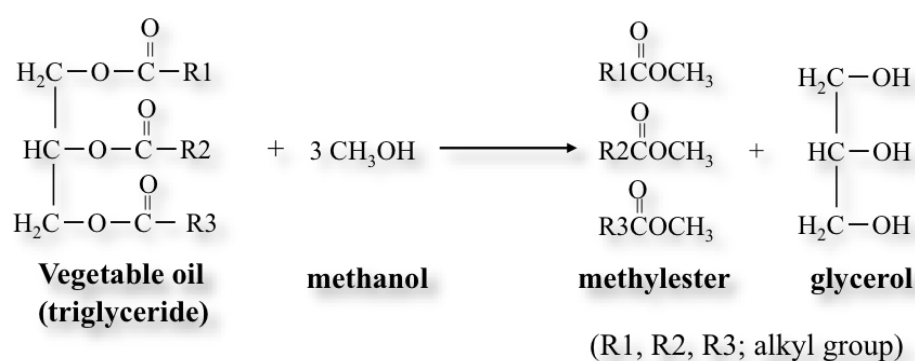


図 2-5 エステル交換反応

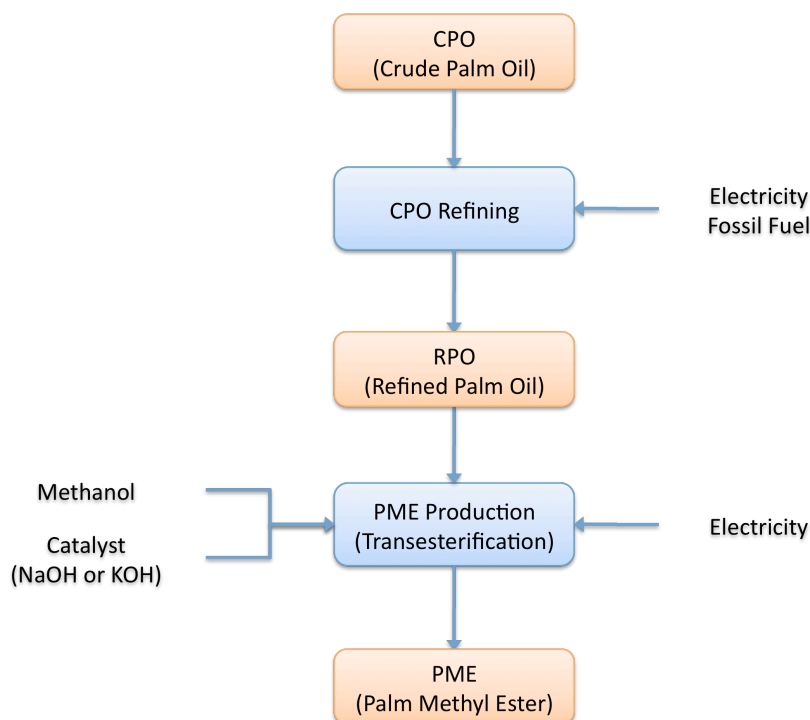


図 2-6 PME 生産のフロー

## 2-3 オイルパーム栽培状況

## (1) 収穫面積等の推移

タイにおけるオイルパームの収穫面積およびオイルパーム果房（Fresh Fruit Bunch: FFB）の生産量を図 2-7 に示す。オイルパームの収穫面積および生産量は 1980 年代から継続的に増加しており、バイオ燃料導入への機運が高まってきた 2000 年頃からさらに増加率が大きくなっている。2008 年現在の収穫面積は約 46 万 ha であり、生産量は FFB の重量で約 926 万 t である。なお、作付面積は 2008 年に約 58 万 ha となっている。また、タイ政府のバイオディーゼル導入計画では、作付面積を 96 万 ha まで拡大するとしているため、今後、40 万 ha 程度の拡大が必要となる。

オイルパームの単収の推移を図 2-8 に示す。単収は 2000 年頃までは増加傾向にあったが、その後は大きな増加はみられない。ただし、2008 年のみ 20 tFFB/ha（FFB: Fresh Fruit Bunch（オイルパームの果房））を超えている。なお、2000 年から 2008 年の平均値は 16.6 tFFB/ha である。マレーシアの同時期の平均値が 19.0 tFFB/ha であるため、タイにおけるオイルパームの単収はマレーシアに比べておよそ 13%低い。

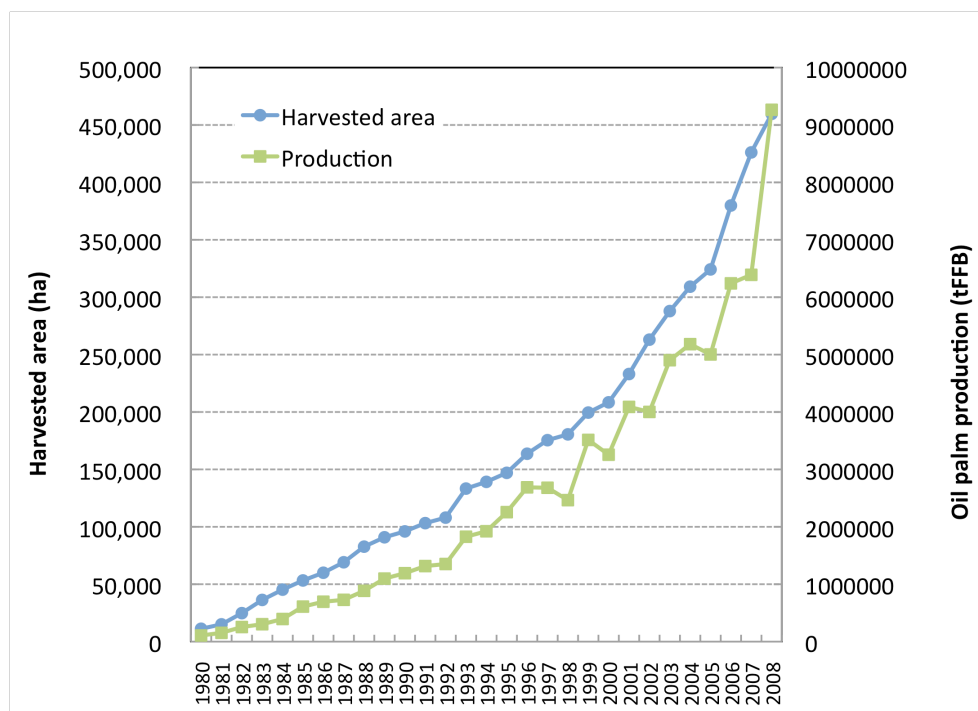


図 2-7 タイにおけるオイルパームの収穫面積および生産量(FFB 量)の推移

出典: Thailand in Figures 2008-2009, p.349<sup>\*88</sup>. 2007-2008 は Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives<sup>\*87</sup>

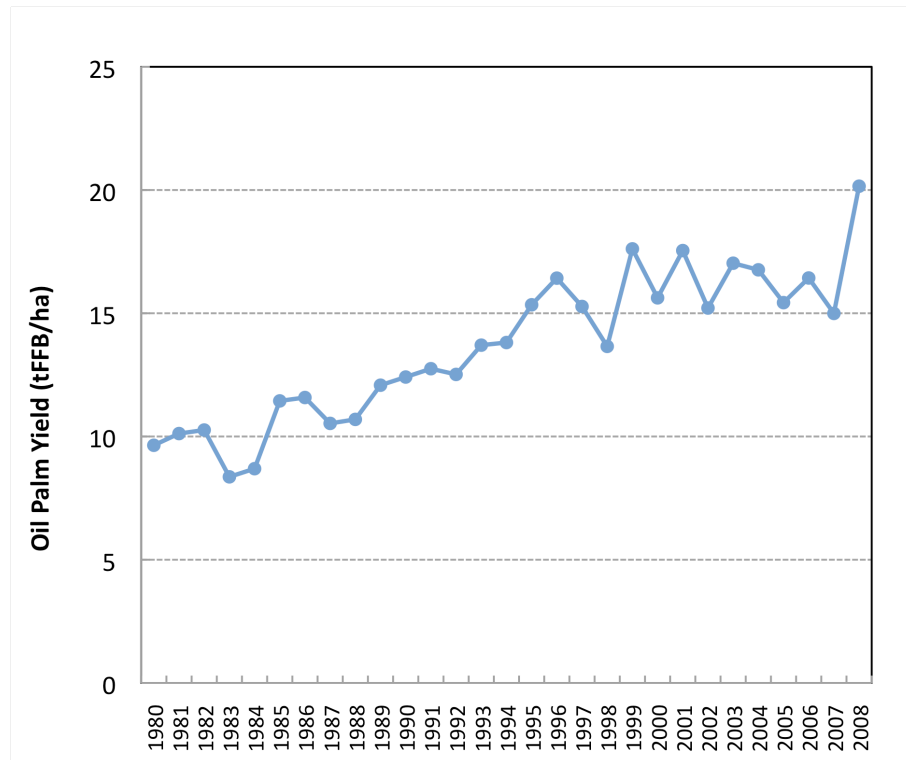


図 2-8 タイにおけるオイルパームの単収の推移

出典: Thailand in Figures 2008-2009, p.349<sup>\*88</sup>. 2007-2008 は Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives<sup>\*87</sup>



2008 年のタイの県別のオイルパーム収穫面積を図 2-10 に示す。オイルパームの栽培は、ほとんどがタイの南部で行われており、タイ南部のクラビ県 (Krabi)、スラタニ県 (Surat Thani)、チュンポン県 (Chumphon) で全体の収穫面積の約 77%を占めている。

2008 年のタイの県別のオイルパームの単収を図 2-11 に示す。単収は、12 tFFB/ha から 20 tFFB/ha と幅がある。最も単収が大きいのは収穫面積が最も大きいクラビ県 (Krabi) である。

なお、タイの各県の位置を表示した地図を図 2-9 に示す。



図 2-9 タイの地図

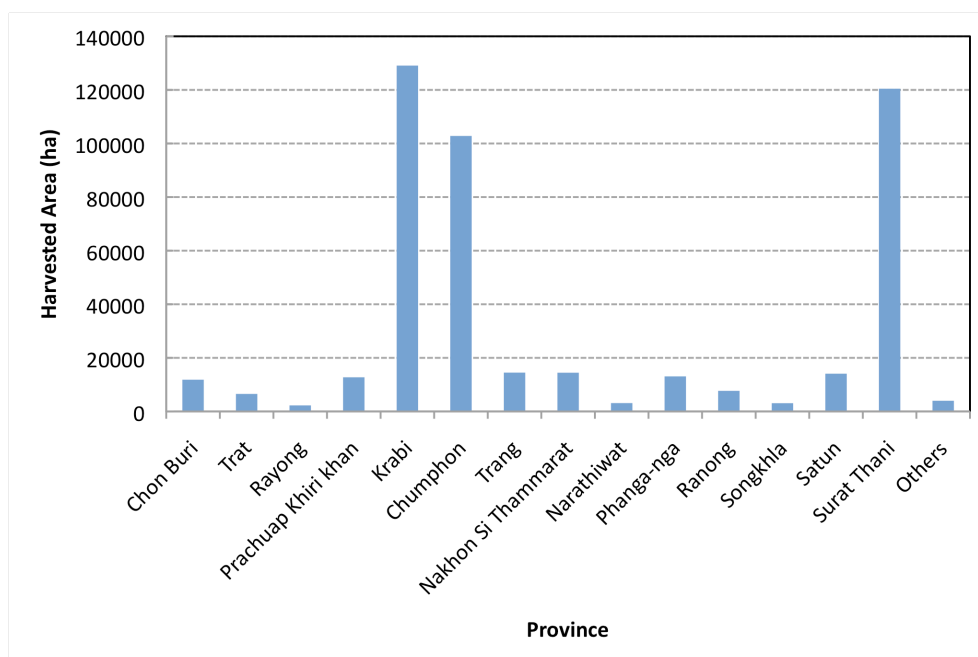


図 2-10 タイの県別のオイルパーム収穫面積(2008 年)

出典: Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives<sup>\*87</sup>

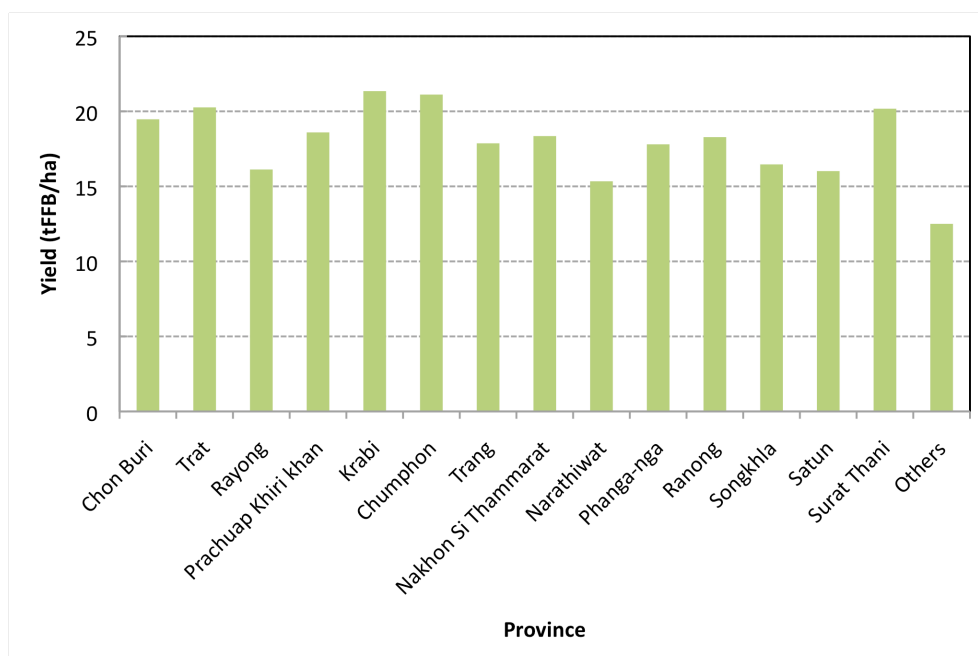


図 2-11 タイの県別のオイルパームの単収(2008 年)

出典: Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives<sup>\*87</sup>

## (2) オイルパームの栽培

オイルパームは多年性作物であり、幹の成長速度が速く、20 年間から 30 年間と長期間にわたって果実を収穫できる。また、果実からのオイル抽出率が極めて高い。オイルパームは以下のような環境で栽培されることが望ましい<sup>\*78</sup>。

- ・ 降水量：月間 120mm 以上、年間 1,800-2,300mm
- ・ 気温：22-23℃
- ・ 日照時間：最低でも 1 日 5 時間、年間 2,000 時間
- ・ 風：果房の熱をやわらげるための弱い風
- ・ 土壌：ローム土や粘土（75cm 以上の深さ、水はけが良いこと、弱酸性の土壌 pH4.5-6）

オイルパームは、約 1 年間、苗で栽培された後、プランテーションに植樹される。プランテーションには、1ha あたり 128 本から 148 本の密度で植えられる。FFB（Fresh Fruit Bunch：果房）の収穫は約 3 年後（プランテーションへの植樹後約 2 年）から可能となる。タイにおけるオイルパームの単収はおよそ 14t/ha から 20t/ha である（表 3-14）。オイルパームの単収は、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の大小を決定する大きなファクターの一つである。

オイルパームの栽培において、高い収量を得るために多量の化学肥料が施肥される。オイルパーム栽培にかかるコストのおよそ 35-60%は化学肥料のコストと言われている<sup>\*78</sup>。タイにおけるオイルパーム栽培時の施肥量は表 3-15 に示した。化学肥料の製造時および窒素肥料の施肥においては多量の温室効果ガスが排出されるため、施肥量の多少は PME のライフサイクル温室効果ガス排出量に大きな影響を及ぼす。



写真 2-1 オイルパームの栽培

（左：Suratthani Oil Palm Research Center、右：タイ・スラタニ市近郊）（筆者撮影）



写真 2-2 オイルパームの果実

(Suratthani Oil Palm Research Center) (筆者撮影)

## 2-4 土地利用状況

タイの土地利用状況を図 2-12 に示す。オイルパームが多く栽培されているタイ南部には、“多年生作物 (Perennial)” が多く分布していることがわかる。Perennial には、オイルパームの他、ゴムのプランテーションも含まれる。

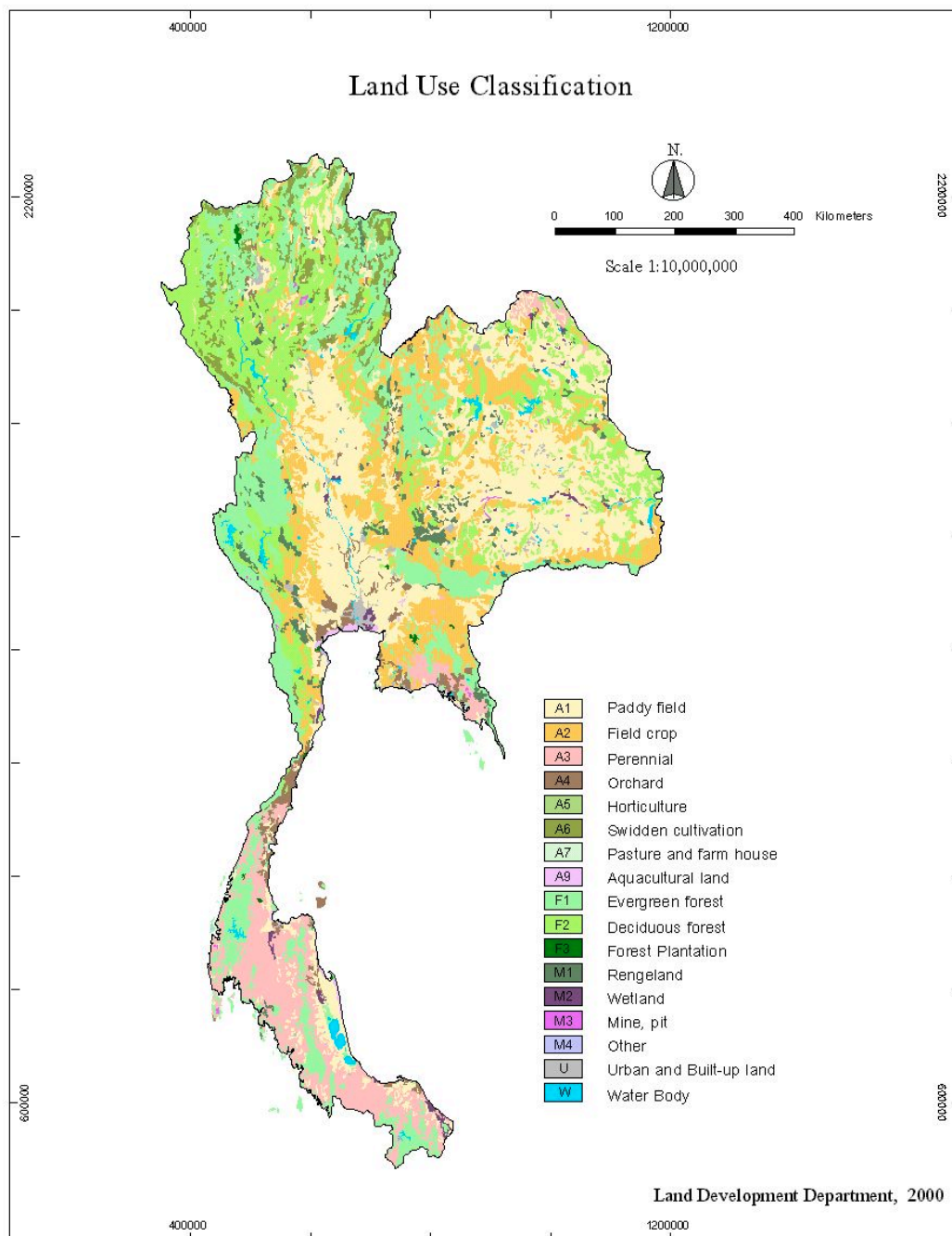


図 2-12 タイの土地利用状況(2000 年)

出典: Land Development Department, Thailand

タイにおける土地利用状況の推移を図 2-13 に示す。タイ全体およびオイルパーム栽培が盛んなタイ南部ともに、"Unclassified land (swamp land, sanitary district area, municipal area, rail roads, highway, public area)"が年々減少しており、逆に森林が増加している。農地については、2001 年から 2005 年にかけて横ばいである。

また、主要作物（オイルパーム、ゴム、ランブータン、米）の作付面積の推移（2001 年比）を図 2-14 に示す。タイ全体では、ゴムや"Out-season Rice"の作付面積の伸びが特に大きい。Out-season Rice とは、灌漑が行き届いている地域で雨期ではない季節に栽培される米である。タイ南部ではオイルパームの伸びが非常に大きく、ゴムも年々増加していることがわかる。一方、ランブータンや"In-season Rice"は減少している。In-season Rice とは雨期に栽培される米である。

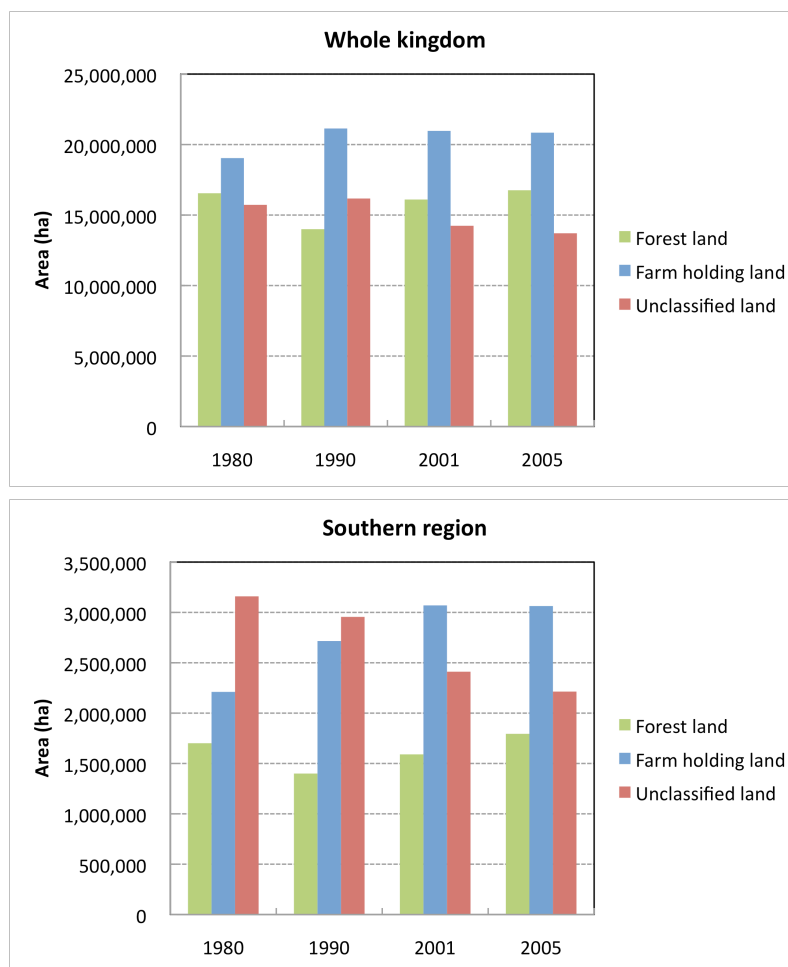


図 2-13 土地利用状況の推移(上図:タイ全体、下図:タイ南部)

出典: Thailand in Figures 2008-2009, p.38<sup>\*88</sup>

※Unclassified land: swamp land, sanitary district area, municipal area, rail roads, highway, public area



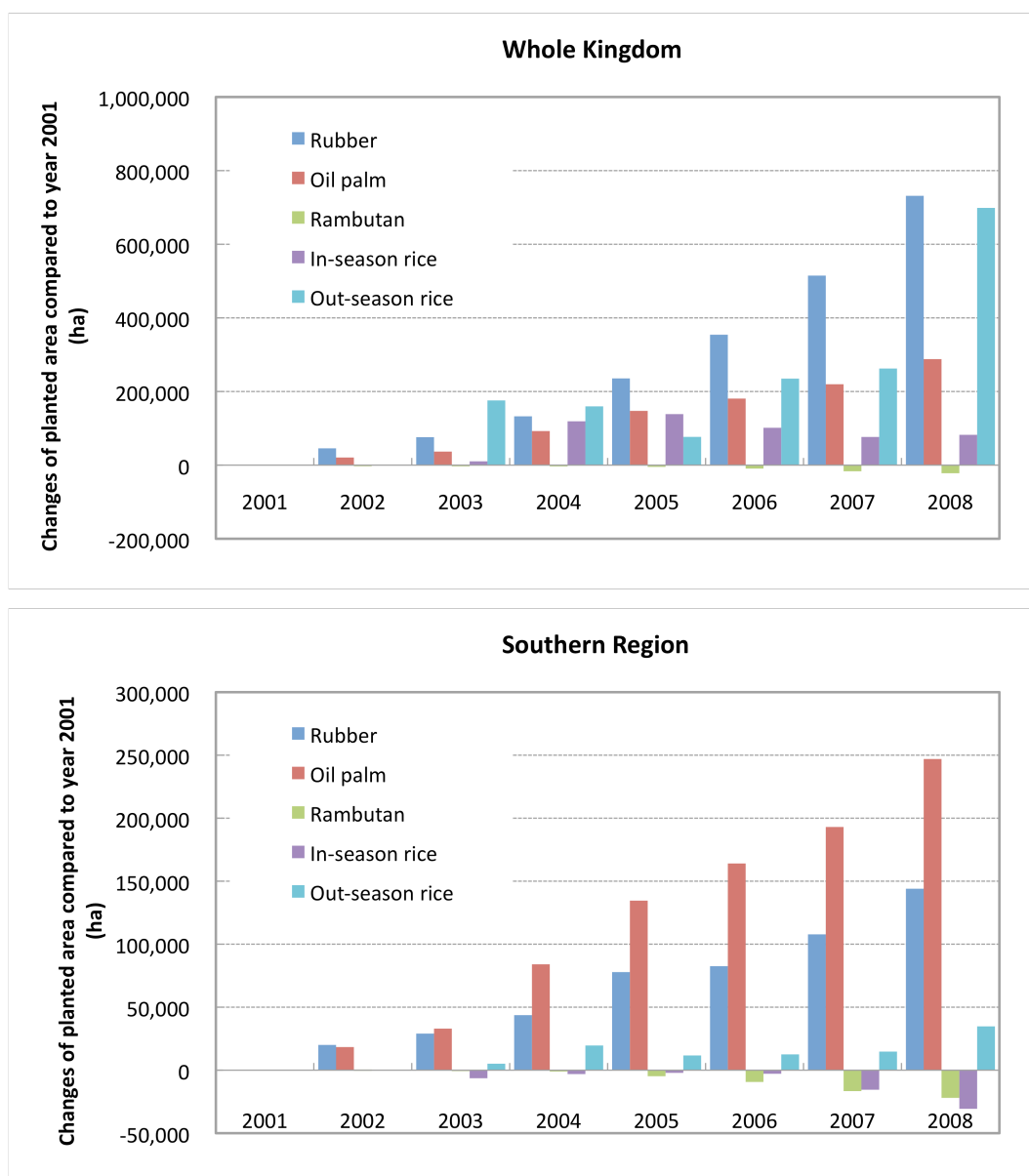


図 2-14 主要作物の作付面積の推移(2001 年比)(上図:タイ全体、下図:タイ南部)

出典: Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives<sup>\*87</sup>

※In-season rice: Start from June – October (rainy season) which have enough water for all part of Thailand to plant  
 Out- season rice: Start from January to March. In areas which have good irrigation supply. These rice plantations are not depending on rainy seasons.

## 2-5 パームオイル生産状況

### (1) パームオイルの生産状況

タイにおけるパームオイル生産量の推移を図 2-15 および表 2-3 に示す。CPO の生産量は 2004 年の約 82 万 t から 2008 年には約 154 万 t とおよそ 2 倍に増加している。なお、タイ政府の計画では、2022 年には CPO の生産量を 340 万 t に増やすことから、今後、生産量をさらに倍増させる必要がある。また、このうちバイオディーゼル用に約 1/3 に相当する年間 114 万 t を確保する計画である（図 2-3）。

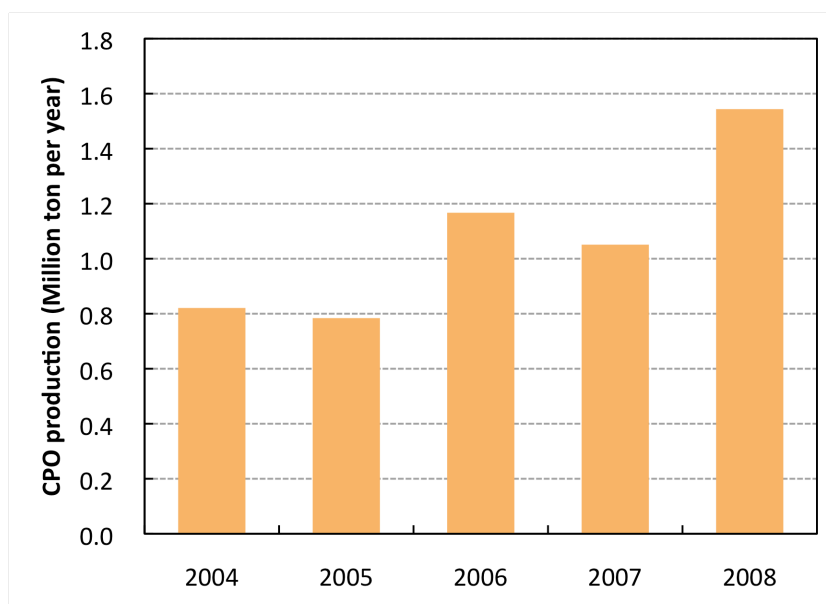


図 2-15 CPO の生産量の推移

出典：Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy<sup>\*85</sup>

表 2-3 CPO の生産量の推移

		2004	2005	2006	2007	2008
CPO production	ton	820,838	783,953	1,167,126	1,051,089	1,543,761

出典：Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy<sup>\*85</sup>



## (2) タイのパームオイルミル

タイのパームオイルミル（パームオイル生産工場）の一覧を表 2-4 に示す。タイには、処理能力が 15～90 tFFB/h のパームオイルミルが 38 か所あり、処理能力の合計は 1,610 tFFB/h である。そのほとんどが南部にある。

パームオイルミルではオイルパームの生産に伴い有機物を含む多量の廃水（POME: Palm Oil Mill Effluent）が排出されるが、多くのパームオイルミルではその嫌気ラグーン処理が行われている。この際、有機物の嫌気発酵に伴いバイオガス（CH<sub>4</sub> を多く含む）が発生している。バイオガスは発電等に用いることができ、マレーシアやインドネシアでは CDM プロジェクト等として導入が進んでいる。タイでは、バイオガスの発電利用をしているオイルミルは 2009 年 6 月現在で 3 か所存在し、4 か所で導入中である。

表 2-4(1) タイのパームオイルミル

Province	Name	Milling capacity (tFFB/h)	POME Biogas utilizations
Krabi	Thai Oil Palm Industry & Estate Co., Ltd (Univanich 1)	60	**
	Siam Palm Oil & Refinery Industry Co., Ltd. (Univanich 2)	30	**
	United Palm Oil Industry PCL	60	-
	Asian Palm Oil Co., Ltd.	45	*
	Srijaroen Palm Oil Co., Ltd	45	-
	Siam Modern Palm Co., Ltd.	45	-
	Nam Hong	45	-
	Andaman Palm Oil Co., Ltd.	15	-
	The Krabi Oil Palm Farmers Cooperative Federation Limited	45	-
	Palmorich Co., Ltd.	15	-
	Univanich Palm Oil PCL (Lamtap: Univanich 3)	45	**
	Wong Bandit	10	-
Chumporn	Chumporn Palm Oil Industry Public Co., Ltd.	60	*
	Vichitbhan Palm Oil Co., Ltd.	60	-
	Swee Palm	45	-
	Thung Thong	45	-
	Lang Suan Cooperative (LSC)	15	-
	Taweasilp Palm Oil Co., Ltd.	45	-

出典: Thailand, Department of Industrial Works<sup>\*86</sup>.

Biogas utilization: \*印は導入済み、\*\*印は導入中(2009 年 6 月現在<sup>\*142</sup>)

表 2-4(2) タイのパームオイルミル

Province	Name	Milling capacity (tFFB/h)	POME Biogas utilisation
Surat Thani	The Southern Palm I (TSP I)	45	-
	The Southern Palm II	60	-
	Unipalm Co., Ltd.	60	-
	Thai Talow & Oil I	45	-
	Thai Talow & Oil II	90	-
	Green Glory	45	**
	Thachana Palm Oil	30	*
	The Natural Palm	60	-
	Jiras Palm	45	-
	SPO Agro-industry	60	-
	Kanjanadit	15	-
	Ta Chang Palm	60	-
Ranong	Jaroen Palm Rachagroot	10	-
Trang	Trang Palm Oil Co., Ltd.	45	-
	Lam Soon (Thailand) PCL	45	-
	Otaco	45	-
Satun	Thai Palm Development Co., Ltd.	30	-
	Satun Industries Co., Ltd.	15	-
Chonburi	Suksomboon Palm Oil Co., Ltd.	30	-
Prachuab Khiri Khan	AST Palm	45	-
Total		1,610	-

出典: Thailand, Department of Industrial Works<sup>\*86</sup>.

Biogas utilization: \*印は導入済み、\*\*印は導入中(2009年6月現在<sup>\*142</sup>)

## (3) パームオイルの生産プロセス

パームオイルの生産は、パームオイルミルにおいて蒸気と圧搾機を用いてパーム果実からオイルを抽出することで行われる。これらのプロセスにおいて電力および化石燃料が使用される。標準的なパームオイルの生産プロセスを図 2-16 に示す。詳細を以下に示す<sup>\*86</sup>。

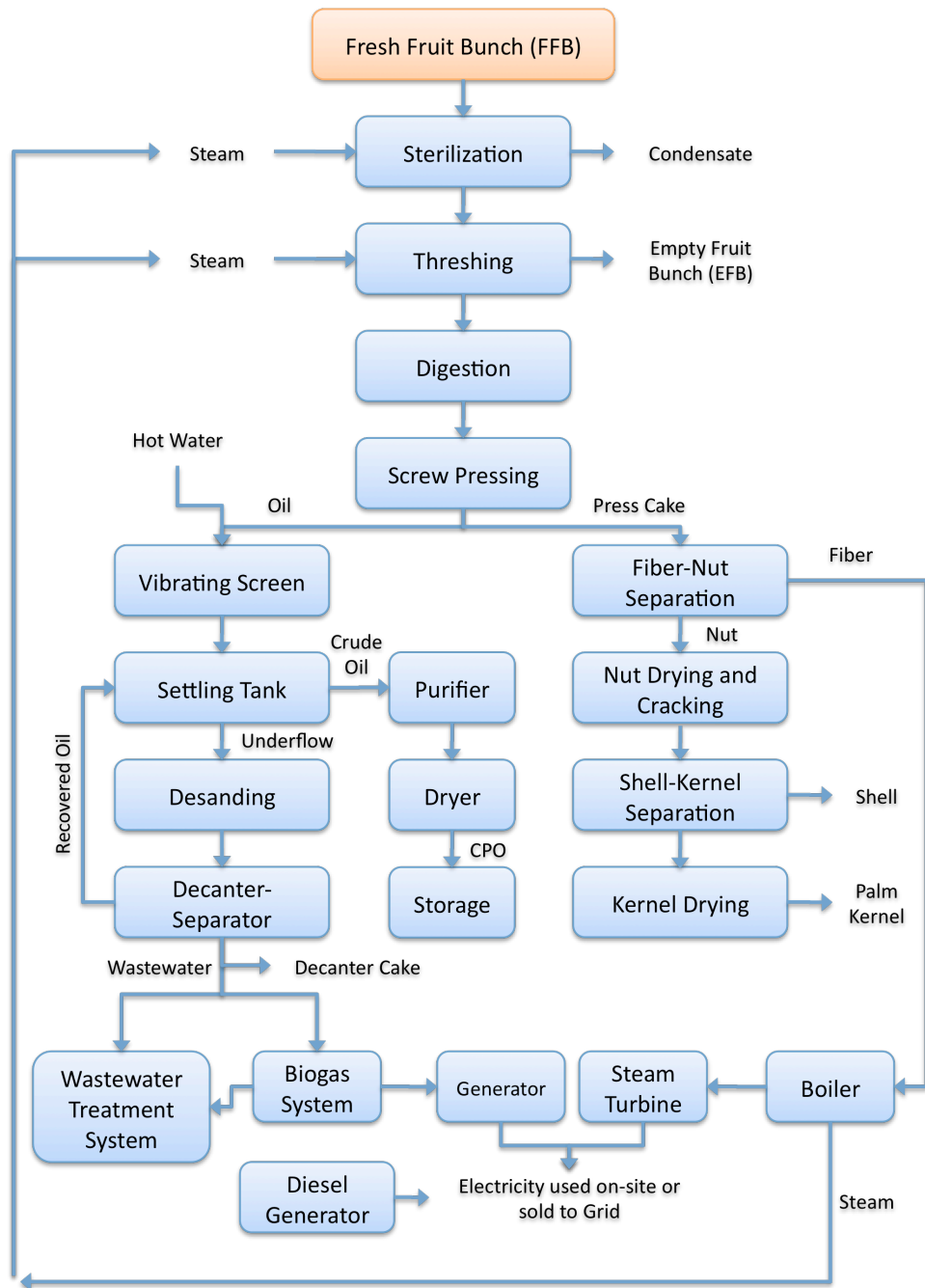


図 2-16 パームオイルの標準的な生産フロー

出典: Thailand, Department of Industrial Works<sup>\*86</sup>. バイオガスシステムが導入されているのはタイでは7か所のみ。



写真 2-3 パームオイルミルの全景(タイ・スラタニ市近郊)(筆者撮影)

### 滅菌 (Sterilization)

パームオイル中に遊離脂肪酸 (Free fatty acids: FFA) が過剰に生成されるのを防ぐために、FFB の滅菌は収穫から 72 時間以内に行われなければならない。通常の状態では、新鮮な果実から生産されたパームオイルは約 1% の FFA を含む。FFA 含有率は果実の成熟度によって急速に増加し、パームオイルの品質に影響を与える。FFB を滅菌することで、果実を柔らかくし、オイルを抽出しやすくする効果もある。滅菌は、20～30tFFB の処理能力の加圧滅菌器で 130 度、圧力 3.1bar で約 90 分間行われる。



写真 2-4 タイ・スラタニ市近郊のパームオイルミルの加圧滅菌器(筆者撮影)

### 果実分離 (Threshing)

滅菌された FFB は、ロータリードラム・スレッシャーに送られ、果房から果実が分離される。このプロセスでは、残渣として空果房 (EFB: Empty fruit bunch) が発生する。EFB は土壌中の水分を保つため有機肥料や土壌調整剤として活用される。地域の農家にキノコ栽培用として販売される場合もある。なお、EFB の水分を低くする EFB 圧縮機を導入しているオイルミルもあり、このようなミルでは

EFB を蒸気や電力を供給するボイラーシステムのバイオマス燃料として使っている。



写真 2-5 タイ・スラタニ市近郊のパームオイルミルのロータリードラム(筆者撮影)

### 消化 (Digestion)

分離された果実は、蒸気ジャケット付きのドラム（消化槽）に投入され、熱水を加えて、均質なオイル状の物質に転換される。この状態でオイル抽出プロセスにかけられる。

### スクリュープレス (Screw Pressing)

スクリュープレスはオイル状になった果実からパームオイルを抽出するプロセスである。抽出されたオイル相は精製プロセスにかけられ、ファイバーやナッツから成る固体の部分は分離される。

### オイル精製（浄化および乾燥） (Oil Purification (Clarification and Drying))

オイルの精製プロセスは、4 つのサブプロセスに分けられ、浮遊物質が原油から分離される。原油のスクリーニングは、液相から砂や繊維、果皮の破片などの大きい異物を分離するために行われる。分離を効率的に行うために、原油には水が加えられ振動ふるいにかけてられる。

#### ・オイルからの浮遊物質の分離 (Separation of Suspended Solids from Oil)

原油からオイル 90%、水 10%に分離するために実施される。水と浮遊物質からオイルを分離する典型的な方法は、オイル分離タンク法である。オイルは、重力分離を促進するために蒸気などにより加熱される。このプロセスにおける分離率はおよそ 50%と低い。このため、分離されたオイルは、高い濃度の浮遊物質を含んでいる。また、オイルを高温に長時間さらすため、オイルの品質が低下する。分離プロセスを向上させるために、沈殿槽システムから、遠心分離器を用いたより効率的なシステム

に改善しているオイルミルもある。沈殿槽の上部に分離されたオイルは回収され、オイル精製システムに送られる。沈殿槽の底層水はスラッジタンクで集められ、続くオイル回収プロセスに送られる。

#### ・精製 (Purification)

精製プロセスで微小な浮遊物質が原油から分離、除去される。沈殿槽から回収した原油は、沈殿槽の底層水を処理した回収オイルと一緒にされる。遠心分離器によって最終精製される。

精製された原油には多量の水分が含まれるため、オイルの乾燥および冷却が必要となる。精製された原油は真空蒸発システムに通された後、貯蔵タンクで保存される。

#### 沈殿槽の底層水からのオイルの回収

オイル回収プロセスは、オイルを回収し、液状残渣の有機物を減少させるために、2つのサブプロセスから成る。沈殿槽の沈殿スラッジはおよそ14%と高い割合でオイルを含有しており、高い濃度の有機物（溶溶性あるいは浮遊物質）も含んでいる。液相には微細なファイバーや砂も含まれる。

#### ・デサンディング (Desanding)

デサンディングプロセスは、沈殿スラッジをデキャンターに通す前に清浄化するプロセスであり、以降のプロセスで用いる機器を保護する目的で行われる。沈殿スラッジは、マイクロストレーナー・液体サイクロンを用いて清浄化される。

#### ・デキャンティング (Decanting-Separating)

デキャンティングプロセスでは、沈殿槽の沈殿スラッジに含まれるオイルを回収する。回収されたオイルは沈殿槽に戻される。このプロセスで、回収されたオイル、デキャンタケーキ、排水が生じる。排水は廃水処理プラントで処理される。

#### パーム核回収プラント (Kernel Recovery Plant)

スクリュープレスにおいて、オイル状になった果実からファイバーとナッツ (nuts) が分離される。ファイバーは工場内のボイラー燃料として用いられる。ナッツはパーム核 (palm kernel) を回収するためにナッツ割機に送られる。殻 (Shell) はパーム核から分離・収集され、他の工業用燃料として販売される。少量の殻はパームオイルミルのボイラー燃料として用いられる。



### ボイラー

パームオイルの生産において、蒸気は様々なプロセスで使われる。例えば、滅菌や消化プロセスである。ボイラーの燃料としてはファイバー（fibre）が用いられる。ファイバーが不足した場合にはシェル（shell）も使われる。



写真 2-6 タイ・スラタニ市近郊のパームオイルミルから排出されるファイバー(筆者撮影)

### 廃水処理

パームオイルミルから排出された廃水（POME: Palm Oil Mill Effluent）は、通常、排水規準を遵守するために生物学的排水処理される。多くのパームオイルミルでは嫌気ラグーン処理がおこなわれている。排水は有機物含有量が高いため、ラグーンにおける嫌気発酵に伴い  $\text{CH}_4$  を多く含むバイオガスが発生する。バイオガスを発電利用するオイルミルもあるが、タイでは数少ない。このようなバイオガスの回収・利用の有無で温室効果ガス排出量が大きく異なるため、廃水処理プロセスは、温室効果ガス排出の観点から極めて重要なプロセスである。



写真 2-7 タイ・スラタニ市近郊のパームオイルミルの嫌気性ラグーン(筆者撮影)

## バイオガスシステム

パームオイルミルの廃水は有機物を多量に含むため、嫌気処理システムを用いたバイオガスの生成に適している。最も一般的な廃水処理はラグーン処理であるが、嫌気ラグーンから発生するメタンはこれまで活用されないことが多かった。一般的に、 $1\text{m}^3$  の廃水から  $12\text{-}16\text{m}^3$  のバイオガスを発生させることができる。このバイオガスを用いて発電し、発生した電力を売電する。バイオガスシステムでは、処理された廃水中の有機物負荷が低減されるため、水質汚濁も軽減できる。

## CPO の輸送

生産された CPO はローリーによって輸送される。タイ南部のパームオイルミルの場合は、CPO はスラタニ港などからバンコク等へ船舶等によって輸送される。なお、タイ南部からバンコク近郊まで陸路で輸送される場合もある。



写真 2-8 タイ・スラタニ市のパームオイル出荷施設(筆者撮影)



## 第3章 タイにおける PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価

## 3-1 評価方法

## 3-1-1 評価対象プロセス

## (1) 対象プロセス

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量算定の対象プロセスは、PME およびその原料の主要な生産過程である表 3-1 の各項目とした（オイルパームプランテーション開発時の直接的な土地利用転換、オイルパーム栽培、CPO 生産、PME 生産、自動車における PME の消費、FFB/CPO/PME の輸送）。

なお、PME の生産においては、既存のオイルパームプランテーションからのパームオイルを使う場合と新規プランテーションを行う場合が想定される。直接的な土地利用転換は新規プランテーションを整備する場合にのみ生じる。また、間接的な土地利用転換は既存/新規のいずれの場合も生じる可能性があるが、不確実性が大きく定量的な評価が困難なことから本研究では含めないこととした。間接的な土地利用転換については(2)に詳述した。

図 3-1 に本研究のバウンダリーのイメージを示す。オイルパームの栽培および CPO の生産はタイ南部のスラタニ県やクラビ県、PME の生産および消費はバンコク首都圏にて行われると想定した。また、CPO はスラタニ港からバンコクまで海上輸送されると想定した。

なお、オイルパームの栽培、パームオイルの生産、PME の生産に関する詳細は第 2 章に記載のとおりである。

表 3-1 対象プロセス

Processes	Y/N
Land use change	-
Direct land use change	Y (In case of establishment of new plantation)
Indirect land use change	N
Oil palm cultivation	Y
CPO production	Y
PME production (Including refining CPO)	Y
PME consumption	Y
Transportation of FFB, CPO, PME	Y

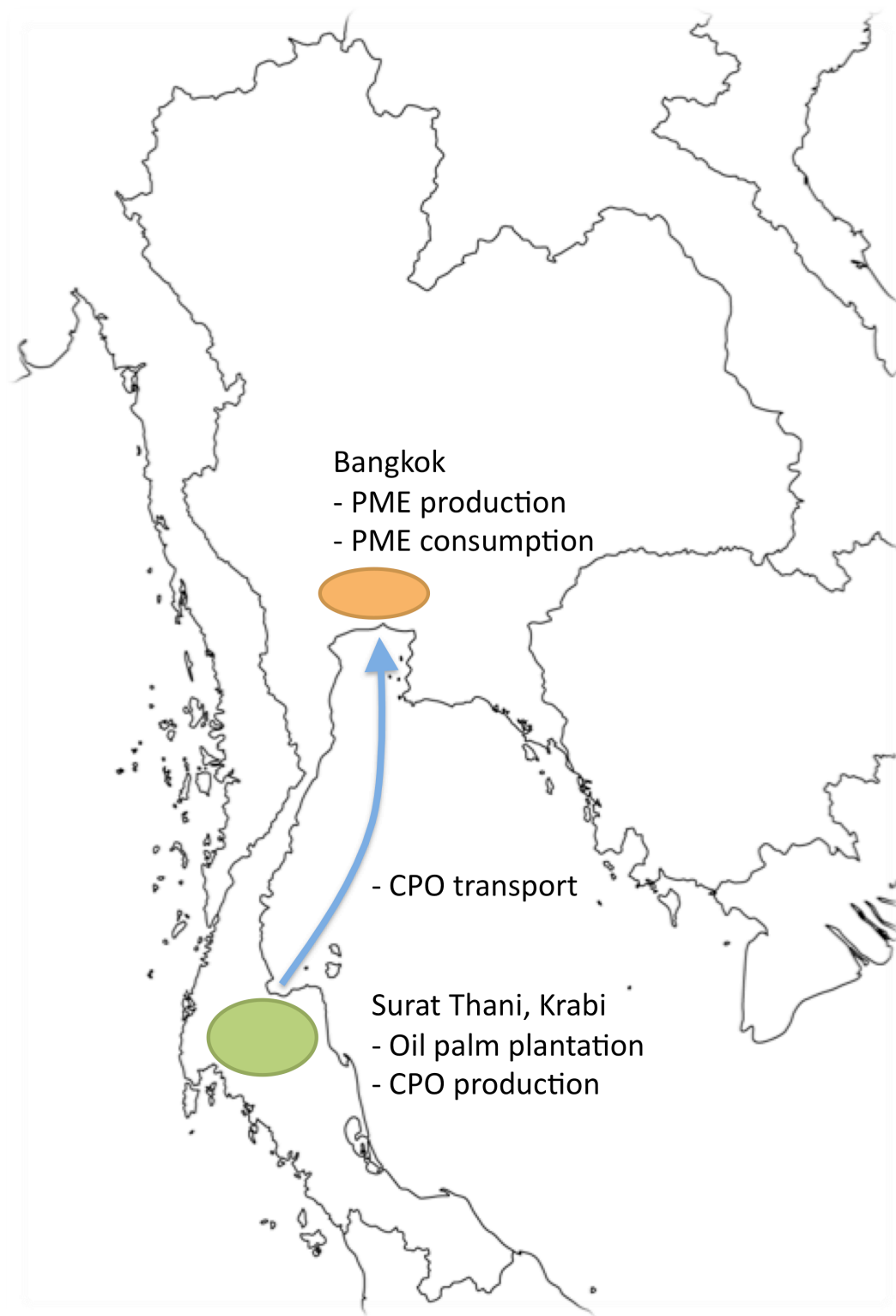


図 3-1 バウンダリーのイメージ

## (2) 土地利用転換プロセス

### 【対象とした土地利用分類】

土地利用転換プロセスについては、タイで想定される、荒地、草地、ゴム林、果樹園、水田、熱帯林からオイルパームプランテーションへの土地利用転換を対象とした（それぞれの土地利用分類の定義は Appendix I 参照）。

### 【間接的土地利用転換について】

新規のオイルパームプランテーション開発においては、直接的な土地利用転換とともに、転換以前の土地が有する機能を維持するために、場合によっては間接的な土地利用転換が生じると想定される。直接的な土地利用転換とは、既存の土地利用（農地、森林等）からオイルパームプランテーションへの転換そのものである。間接的な土地利用転換とは、上記の直接的な土地利用転換に伴って生じる 2 次的な土地利用転換のことを言う。例えば、農地を転換して新たにオイルパームプランテーションを実施する場合、農産物の供給が減少することで、当該農産物の需給バランスによっては、それを補うために他の土地あるいは他国でこれらの生産が行われる可能性がある。このとき、森林伐採等が新たに引き起こされ、CO<sub>2</sub> の正味放出を伴う場合が想定される。具体的な例として、ゴム林からオイルプランテーションへの転換が行われる場合、天然ゴムの需要を満たすために、他の場所で熱帯林を伐採してゴム林のプランテーションが行われる可能性がある。

CDM プロジェクトにおいては、このような間接的な土地利用転換による温室効果ガス排出量の増加を「リーケージ（プロジェクト実施者の管理の及ばない排出）」としてケースによっては適切に評価する必要があるとされている。植林の CDM で使用する方法論（Approved afforestation and reforestation baseline and monitoring methodology AR-AM0004 “Reforestation or afforestation of land currently under agricultural use” (Version 03)<sup>\*93</sup>）においては、植林によって追いやられる可能性がある農業や酪農、チャコールなど燃料用木材の生産等の活動の転換によるリーケージの算出方法が詳細に示されている。

本研究において対象とした土地利用のなかで、このような間接的な土地利用転換の可能性があるのは、特にゴム林、果樹園、水田の場合である。一方、熱帯林や荒地のような人手の入っていない自然あるいは放棄状態の土地利用では生じない場合が多いと考えられる。また、農地からの転換の場合は、直接的な土地利用転換よりも、間接的な土地利用転換による CO<sub>2</sub> 放出量の方が大きくなる場合も想定される。このため、土地利用転換による CO<sub>2</sub> 放出量の評価においては、特に農地の場合、直接的および間接的な土地利用転換の両者を評価することが望ましい。しかしながら、間接的な土地利用転換の

有無や規模は、国や地域の農産物需給等の状況に大きく左右され、また条件によっては生じない場合もあるなど、その定量化はそれぞれのプロジェクトケースに依存するものである。

このため、本研究では、いずれの土地利用についても直接的な土地利用転換を対象とし、間接的な土地利用転換は評価範囲に含めないこととした。

#### 【土地の機能の統一について】

LCA（ライフサイクルアセスメント）では、環境負荷低減効果を比較する場合、厳密には機能の統一あるいは補正をしなければならないとされている<sup>\*154</sup>。

対象としたそれぞれの土地利用は複数の機能を有している（表 3-2）。このため、その土地がオイルパームプランテーションに転換された場合、元の機能を維持するために他の場所で生産活動等が営まれる可能性がある。この際に、前述の間接的な土地利用転換等により、直接的な土地利用転換以上の温室効果ガスが排出される可能性がある。このため、土地利用転換に伴う温室効果ガス排出量を評価する際には、「元の機能の維持」の際に生じる排出量を適切に推計することが重要である。一方、どのような条件下で元の機能が維持され、どのような場所であるいはどの程度の機能が新たに生じるかは、プロジェクトの実施場所や当該農産物の生産状況や役割等に大きく依存するため、「元の機能の維持」についての評価は極めて難しい。例えば、米が不足している国や地域の水田が他の土地利用に転換されれば、他の場所で米の生産が行われることは容易に想像できる。一方、タイにおける米のように、国内需要の減少により供給が過剰な状況になっている国や地域の場合、「元の機能の維持」が継続しない場合もあり得る。また、農産物の役割や必要量は時間的に変化する。また、前述のとおり、評価範囲の機能を統一しようとするれば、転換後に他の場所で行われる農産物の生産について、その前の土地利用形態を考慮しなければならず、評価範囲が連鎖的に拡大する。さらに、土地利用転換には時間差が生じるため、評価範囲を拡大しても厳密な機能の統一はできないとも考えられる。

本研究では、土地利用転換プロセスにおける温室効果ガス排出量の評価においては、第一に「直接的な土地利用転換」に伴う二酸化炭素の放出・吸収量の評価が重要と考えた。このため、本研究では各土地利用の「炭素貯蔵の機能」のみに着目し、オイルパームプランテーションへの転換時の CO<sub>2</sub> 放出量を評価、比較することとした。

以上、特に直接的な土地利用転換に伴う炭素貯蔵量の変化が一義的に重要であること、機能の統一による評価については上記のような不確実性が高いことから、本研究では、機能の統一や補正をせず、炭素貯蔵の機能に限定して温室効果ガス排出量の評価を行った。機能の統一については今後の課題である。

表 3-2 対象とした土地利用分類が有する機能の一例

土地利用	機能の一例
ゴム林、果樹園、水田	食料生産（米、果樹等）、産業原料生産（ゴム等）、廃棄物処理（堆肥利用等）、エネルギー生産（ゴム伐採木、粃殻等）、炭素貯蔵、等
熱帯雨林	原生林の保持、生物多様性の保持、林産資源生産（地域居住者の薪等の燃料等）、水源涵養、炭素貯蔵、等
草地	畜産資源生産、炭素貯蔵、等

※大村<sup>\*155</sup>は、農業の機能として、食料生産、廃棄物処理、エネルギー生産の 3 つをあげている。廃棄物処理とは、農業および他産業に由来する有機性廃棄物の堆肥化とその利用を指し、エネルギー生産とは、有機性廃棄物の嫌気発酵によるバイオガス発生とバイオガス燃焼による発電・熱回収、また、木質バイオマスやエネルギー作物の栽培とその燃焼による発電・熱回収を指す。

### (3) 温室効果ガスの排出源および種類

各対象プロセスにおける温室効果ガスの排出源および対象とした温室効果ガスを表 3-3 に示す。

直接的な土地利用転換プロセスでは、地上部・地下部バイオマス、落葉・枯死木、土壌炭素の変化に伴う CO<sub>2</sub> 放出量を対象とした。なお、本研究では、土地利用転換に伴う炭素貯蔵量の変化のみに着目し、水田からの CH<sub>4</sub> 放出量は対象外とした。オイルパーム栽培プロセスでは、農機の稼働に伴う CO<sub>2</sub> 排出量、施肥に伴う N<sub>2</sub>O 排出量、肥料の製造に伴う GHG 排出量を対象とした。CPO 生産プロセスでは、系統電力および化石燃料の消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量、POME からの CH<sub>4</sub> 排出量を対象とした。PME 生産プロセスでは、系統電力の消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量、エステル交換に用いるメタノールの生産時の CO<sub>2</sub> 排出量を対象とした。PME 消費プロセスでは、メタノール中の化石燃料起源の炭素が燃焼することによる CO<sub>2</sub> 排出量を対象とした。輸送プロセスでは、オイルパームプランテーションからパームオイルミルへの FFB 輸送、パームオイルミルから積出港へのローリーによる CPO 輸送、積出港から荷揚港への船舶による CPO 輸送、PME 生産プラントから軽油・バイオディーゼル混合施設への PME 輸送に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を対象とした。

表 3-3 各プロセスにおける温室効果ガス排出源

Processes	Emission sources and GHGs
Direct land use change	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> emissions associated with the changes of carbon stocks in above and below ground biomass, litter and dead wood, soil, that is caused by direct land use changes from previous vegetation to oil palm plantation</li> <li>- CH<sub>4</sub> emissions from paddy field is excluded</li> </ul>
Oil palm cultivation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> emission from fossil fuel consumption for agricultural operations</li> <li>- N<sub>2</sub>O emission from application of fertilizers</li> <li>- GHG emissions from production of synthetic fertilizer</li> </ul>
CPO production	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> emission from grid electricity consumption</li> <li>- CO<sub>2</sub> emission from fossil fuel consumption</li> <li>- CH<sub>4</sub> emission from POME (Palm Oil Mill Effluent)</li> </ul>
PME production	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> emission from grid electricity consumption</li> <li>- GHG emission from production of methanol that is used for trans-esterification process</li> </ul>
PME consumption	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> emission from combustion of fossil carbon contained in methanol that is chemically bound in PME during the trans-esterification process</li> <li>*Oil palm derived carbon is deemed as carbon neutral</li> </ul>
Transportation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> emission from transportation of FFB, CPO and PME</li> </ul>

※PME 生産プロセスには、CPO の精製プロセスを含む。

### 3-1-2 評価単位

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価単位は、以下のとおりとした。PME の単位重量あたり、単位熱量あたりの排出量とともに、単位栽培面積あたりの排出量も算定した。

表 3-4 評価単位

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PME 1t あたり</li> <li>・ PME 1MJ あたり</li> <li>・ オイルパーム栽培 1ha あたり</li> <li>・ 自動車走行 1km あたり</li> </ul> |
|--|

### 3-1-3 感度解析

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の算定における主要なパラメータ（表 3-5）について、タイで実態ベースでどのくらいの値の幅があるかを様々な資料・論文から調査した。また、各パラメータの値を最小値から最大値まで変化させた場合のライフサイクル温室効果ガス排出量を算定し、各パラメータの変化幅がライフサイクル温室効果ガス排出量に与える影響を解析した。

表 3-5 感度解析の対象パラメータ

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ FFB の収量</li> <li>・ 施肥量</li> <li>・ CPO 生産効率</li> <li>・ CPO 生産時のエネルギー消費量（電力・軽油）</li> <li>・ CPO 生産時の POME 排出量</li> <li>・ PME 生産効率</li> <li>・ PME 生産時のエネルギー消費量（電力）</li> </ul> |
|--|

## 3-2 推計方法

### 3-2-1 土地利用転換

#### (1) 直接的な土地利用転換

新たにオイルパームプランテーションが開発される場合、土地利用の転換前後の炭素プール<sup>\*35</sup>（地上部・地下部バイオマス、落葉落枝、枯死木、土壌炭素）の変化に伴い CO<sub>2</sub> が放出される。本研究では、荒地、草地、ゴム林、果樹園、水田、熱帯林からオイルパームプランテーションへの直接的な土地利用転換に伴う CO<sub>2</sub> 放出量を対象とした。CO<sub>2</sub> 放出量の計算のイメージは図 3-2 のとおりである。なお、転換前の土地の樹木はオイルパームプランテーション開発時に伐採され、燃焼等によってすべて CO<sub>2</sub> に変換されると想定した。例えば、熱帯林を伐採して得られた木材資源を有効活用する場合については考慮していない。

熱帯林や荒地、草地からオイルパームプランテーションへの転換に伴う炭素貯蔵量の変化については、マレーシアやインドネシアを対象とした既往の研究におけるデータを用いて推計した。ゴム林、果樹園、水田からオイルパーム林への転換に伴う炭素貯蔵量の変化については、タイにおける炭素貯蔵量の研究例を参考に算定した。また、荒地、草地、ゴム林、熱帯林については、IPCC<sup>\*37, \*38, \*39</sup> で炭素貯蔵量等のデフォルト値が提供されており、これらを用いた推計もあわせて行った。

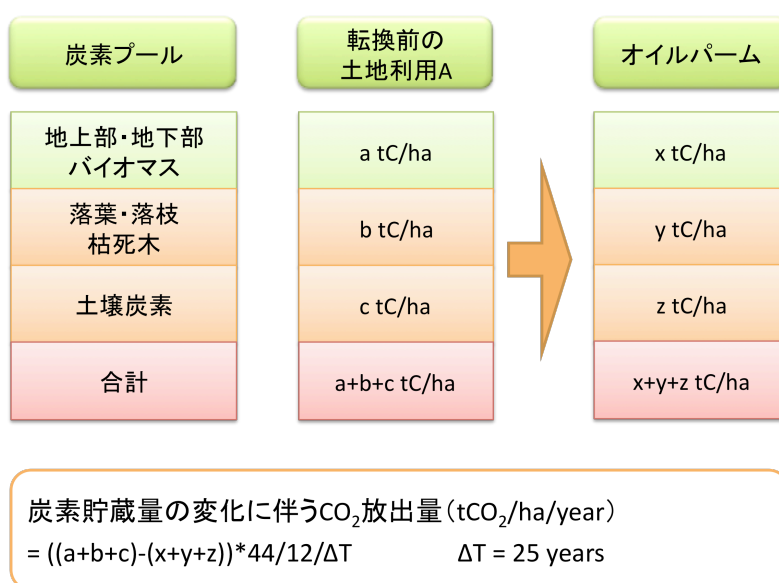


図 3-2 直接的な土地利用転換に伴う CO<sub>2</sub> 放出量の計算イメージ



## 【既往の研究ベース】

熱帯林や荒地からオイルパームプランテーションへの転換における炭素貯蔵量の変化を評価した研究は、Wicke et al<sup>\*148</sup>、Reijnders and Huijbregts<sup>\*65</sup>、Germer and Sauerborn<sup>\*27</sup>、Beer<sup>\*4</sup> 等がある。

Wicke et al<sup>\*148</sup> は、熱帯雨林、泥炭地、荒地からオイルパームプランテーションへの転換に伴う温室効果ガス排出量を評価している。論文に掲載された値から、対象とした土地利用の炭素貯蔵量を表 3-6 に整理した。これらから熱帯雨林からオイルパームプランテーションへの転換による CO<sub>2</sub> 正味放出量は 515.2 tCO<sub>2</sub>/ha と算定された。なお、一般的にオイルパームは植樹から生産性が落ちる約 25 年後に伐採されるため、オイルパームプランテーションのライフタイムを 25 年と設定すると、1 年あたりの放出量は平均で 20.6 tCO<sub>2</sub>/ha と割り当てることができる。同様に、泥炭地におけるオイルパームプランテーション開発では 67.6 tCO<sub>2</sub>/ha/year、荒地での開発の場合は 4.5 tCO<sub>2</sub>/ha/year の正味吸収と算定された。

Reijnders and Huijbregts<sup>\*65</sup> は、熱帯雨林からオイルパームプランテーションへの転換に伴う温室効果ガス排出量を評価している。論文に掲載された値から、対象とした土地利用の炭素貯蔵量を表 3-7 に整理した。これらから熱帯雨林からオイルパームプランテーションへの転換による CO<sub>2</sub> 放出量は 28.4 tCO<sub>2</sub>/ha/year、泥炭地の場合は最大で 83.4 tCO<sub>2</sub>/ha/year、最小で 65.1 tCO<sub>2</sub>/ha/year と算定された。

Germer and Sauerborn<sup>\*27</sup> は、熱帯低地林からオイルパーム林への転換に伴う温室効果ガス排出量を評価している。論文に掲載された値から、対象とした土地利用の炭素貯蔵量を表 3-8 に整理した。これらからオイルパーム林への転換による CO<sub>2</sub> 放出量は 25.9±17.7tCO<sub>2</sub>/ha/year、泥炭地の場合は 52.5±30.4 tCO<sub>2</sub>/ha/year と算定された。なお、これらの計算では開墾における森林の野焼きは無いものと想定している。一方、草地からオイルパーム林への転換の場合は、-5.4±3.7 tCO<sub>2</sub>/ha/year（正味の吸収）と算定された。

ゴム林、果樹園、水田からオイルパーム林への転換に伴う炭素貯蔵量の変化については、タイにおける炭素貯蔵量の研究例を参考に算定した<sup>\*28</sup>。Gnanavelrajah ら<sup>\*28</sup> は、タイの様々な種類の農地の炭素貯蔵量をフィールド調査により評価している。調査地点はタイ東部沿岸地域のクローンヤイ（Khlong Yai）周辺である。論文に掲載された値から、ゴム林、果樹園、水田の炭素貯蔵量は、それぞれ、240.77 tC/ha（地上部・地下部バイオマス中の炭素: 136.66, 土壌炭素: 104.11）、184.67tC/ha（地上部・地下部バイオマス中の炭素: 104.44, 土壌炭素: 80.23）、71.0tC/ha（地上部・地下部バイオマス中の炭素: 7.2, 土壌炭素: 63.8, 水田から自然に放出されているメタンは含まない）と算定された（表 3-9）。なお、Gnanavelrajah ら<sup>\*28</sup> では、オイルパームの炭素貯蔵量については評価されていない。このためオイルパームプランテーションの炭素貯蔵量は、地上部・地下部バイオマスと落葉落枝の合計については

Wicke<sup>\*148</sup>の値(53.1 tC/ha)を、また土壌炭素についてはGnanavelrajah<sup>\*28</sup>のゴム林の場合と同様(104.11 tC/ha)とした。これらから、ゴム林、果樹園、水田からオイルパームプランテーションへの転換に伴うCO<sub>2</sub>放出量はそれぞれ12.3 tCO<sub>2</sub>/ha/year、4.0 tCO<sub>2</sub>/ha/year、-12.6 tCO<sub>2</sub>/ha/yearと算定された。なお、水田について、Gnanavelrajah<sup>\*28</sup>では、自然に放出されているメタンについては考慮されていないため、これらを適切に評価した場合には、水田からオイルパームプランテーションへの直接的な土地利用転換によるCO<sub>2</sub>吸収量はさらに大きくなると推測される。ただし、前述のとおり、本研究では間接的な土地利用転換を評価範囲に含めていないことに留意が必要である。

オイルパームは一般的に生産性が落ちる約25年後に伐採されるため、オイルパームプランテーションのライフタイムを25年と想定し、CO<sub>2</sub>放出量を1年間に割り当てた。

以上の結果を表3-10に整理した。

表 3-6 対象とした土地利用の炭素貯蔵量(Wicke<sup>\*148</sup>より算定)(単位:tC/ha)

	Carbon Pool	Low	Base	High	Note
Oil Palm	AGB	-	47.2	-	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	5.9	-	-
	Soil Carbon	-	40	-	C loss from drained peatland to oil palm plantation: 10.7 tC/ha/year N <sub>2</sub> O loss from drained peatland to oil palm plantation: 8 kgN <sub>2</sub> O-N/ha/year
	Total	-	93.1	-	-
Tropical rain forest	AGB	-	171.5	-	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	2.1	-	-
	Soil Carbon	-	60	-	-
	Total	-	233.6	-	-
Degraded land	AGB	-	2.5	-	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	60	-	-
	Total	-	62.5	-	-

表 3-7 対象とした土地利用の炭素貯蔵量(Reijnders ら<sup>\*65</sup>より算定)(単位:tC/ha)

	Carbon Pool	Low	Base	High	Note
Oil Palm	AGB	-	48	-	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	-	-	Soil C loss from tropical rain forest to oil plam plantation: 0.27 tC/ha/year C loss from drained peatland: Low case 10 tC/ha/year, high case 15 tC/ha/year
	Total	-	-	-	CO <sub>2</sub> emission from tropical rain forest to oil plam plantation: 28.4 tCO <sub>2</sub> /ha/year CO <sub>2</sub> emission from tropical rain forest on peatland to oil plam plantation: Low case 65.1 tCO <sub>2</sub> /ha/year, High case 83.4 tCO <sub>2</sub> /ha/year
Tropical rain forest	AGB	-	235	-	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	-	-	See note above
	Total	-	-	-	See note above

表 3-8 対象とした土地利用の炭素貯蔵量 (Germer ら<sup>\*27</sup>より算定) (単位: tC/ha)

	Carbon Pool	Low	Base	High	Note
Oil Palm	AGB	24.3	35.3	46.3	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	-	-	Soil C loss from tropical rain forest to oil palm plantation: Low case 75 tC/ha, Middle case: 150 tC/ha, High case: 225 tC/ha Soil C loss from grassland to oil palm plantation: Low case -72 tC/ha, Middle case: -48 tC/ha, High case: -24 tC/ha Soil C loss from tropical rain forest on peatland to oil palm plantation: Low case 423 tC/ha, Middle case: 816 tC/ha, High case: 1,209 tC/ha
	Total	-	-	-	CO <sub>2</sub> emission from tropical rain forest to oil palm plantation: Low case 43.6 tCO <sub>2</sub> /ha/year, Middle case: 25.9 tCO <sub>2</sub> /ha/year, High case: 8.2 tCO <sub>2</sub> /ha/year CO <sub>2</sub> emission from grassland to oil palm plantation: Low case -1.8 tCO <sub>2</sub> /ha/year, Middle case: -5.4 tCO <sub>2</sub> /ha/year, High case: -9.1 tCO <sub>2</sub> /ha/year CO <sub>2</sub> emission from tropical rain forest on peatland to oil palm plantation: Low case 22.2 tCO <sub>2</sub> /ha/year, Middle case: 52.5 tCO <sub>2</sub> /ha/year, High case: 82.9 tCO <sub>2</sub> /ha/year
Tropical lowland forest	AGB	71.5	147.5	223.5	-
	BGB	10.5	23.5	36.5	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	-	-	See note above
	Total	-	-	-	See note above
Grassland	AGB	1.7	4.8	7.8	-
	BGB	2.3	6.7	11.0	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	-	-	See note above
	Total	-	-	-	See note above

※AGB: 地上部バイオマス (Above ground biomass), BGB: 地下部バイオマス (Below Ground Biomass), L&DW: 落葉落枝、枯死木 (Litter and dead wood)

表 3-9 対象とした土地利用の炭素貯蔵量 (Gnanavelrajah ら<sup>\*28</sup>より算定) (単位: tC/ha)

	Carbon Pool	Low	Base	High	Note
Oil Palm	AGB	-	47.2	-	Wicke et al. <sup>*148</sup>
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	5.9	-	Wicke et al. <sup>*148</sup>
	Soil Carbon	-	104.11	-	Same as rubber
	Total	-	157.2	-	-
Rubber	AGB	-	136.66	-	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	104.11	-	-
	Total	-	240.77	-	-
Mixed orchard	AGB	-	104.44	-	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	80.23	-	-
	Total	-	184.67	-	-
Paddy	AGB	-	7.2	-	-
	BGB	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-
	Soil Carbon	-	63.8	-	-
	Total	-	71.0	-	-

※AGB: 地上部バイオマス (Above ground biomass), BGB: 地下部バイオマス (Below Ground Biomass), L&DW: 落葉落枝、枯死木 (Litter and dead wood)

表 3-10 オイルパームプランテーションへの直接的な土地利用転換による CO<sub>2</sub> 放出量 (既往研究ベース)

Previous land use	CO <sub>2</sub> emission (tCO <sub>2</sub> /ha/year)
Degraded land	-4.5
Grassland	-1.8 - -9.1
Rubber	12.3
Mixed orchard	4.0
Paddy	-12.6
Tropical rain forest	20.6 - 28.4
Tropical lowland forest	8.2 - 43.6
Tropical rain forest (Peat)	65.1 - 83.4
Tropical lowland forest (Peat)	22.2 - 82.9

※本結果は、既往研究 (Wicke ら<sup>\*148</sup>, Reijnders ら<sup>\*65</sup>, Germer ら<sup>\*27</sup>, Gnanavelrajah ら<sup>\*28</sup>) による炭素貯蔵量データ等を用いて筆者が算定したものである

# 【IPCC ベース】

IPCC<sup>\*37, \*38, \*39</sup>では、国別の温室効果ガス排出源・吸収源インベントリの作成に関して、各土地利用状況の炭素貯蔵量の推計方法がガイドラインとして示されている。ここでは、IPCC<sup>\*37, \*38, \*39</sup>で提供されているデフォルト値を用いて、表 3-11 に示すそれぞれの土地利用（荒地、草地、ゴムリン、熱帯雨林、熱帯湿性落葉林）からオイルパームプランテーションへの転換による CO<sub>2</sub> 放出量を算定した。なお、タイは IPCC の定義による Tropical moist および Tropical wet の両方の気候区分に属するため（Appendix II 参照）、両気候区分の場合について算定した。

表 3-11 対象とした土地利用(植生)

Previous land use	Climate Region
Degraded land (Severely Degraded Land)	Tropical, Moist
	Tropical, Wet
Degraded land (Moderately degraded grassland)	Tropical, Moist
	Tropical, Wet
Grassland	Tropical, Moist
	Tropical, Wet
Rubber	Tropical Wet or Moist
Tropical rain forest	-
Tropical moist deciduous forest	-

IPCC<sup>\*37, \*38, \*39</sup>から、各土地利用の炭素プール（地上部・地下部バイオマス、落葉落枝、枯死木、土壌炭素）の炭素貯蔵量を表 3-12 のように整理した。なお、土壌炭素については、IPCC<sup>\*37, \*38, \*39</sup>の Tier 1 方法に基づき、"Reference Soil"に"Stock change factor"を乗ずることで算定した。計算の詳細は Appendix III に示す。地下部バイオマスについてはデフォルト値がほとんどのケースについて提供されておらず、計算の対象外とした。

表 3-12(1) 対象とした土地利用の炭素貯蔵量(IPCC ベース<sup>\*37, \*38, \*39</sup>)(単位: tC/ha)

	Carbon Pool	Climate Region	Low	Base	High	Note
Oil Palm	AGB	-	31	68	101	Table 5.3
	BGB	-	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-	-
	Soil Carbon	Tropical, Moist	47.58	57.34	79.30	Calculated; $F_{LU}$ :1.0, $F_{MG}$ :1.22, $F_I$ :1.0 (Table 5.5)
		Tropical, Wet	53.68	73.20	80.52	
	Total	Tropical, Moist	78.6	125.3	180.3	-
		Tropical, Wet	84.7	141.2	181.5	-
Rubber	AGB	-	-	89	-	Table 5.3
	BGB	-	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-	-
	Soil Carbon	Tropical, Moist	47.58	57.34	79.30	Calculated; $F_{LU}$ :1.0, $F_{MG}$ :1.22, $F_I$ :1.0 (Table 5.5)
		Tropical, Wet	53.68	73.20	80.52	
	Total	Tropical, Moist	136.6	146.3	168.3	-
		Tropical, Wet	142.7	162.2	169.5	-
Tropical Rain Forest	AGB	-	60	140	340	Table 4.7
	BGB	-	-	-	-	-
	L&DW	-	1	2.1	3	Table 2.2
	Soil Carbon	Tropical, Wet	44	60	66	Table 2.3
	Total	Tropical, Wet	105.0	202.1	409.0	-
Tropical Moist Deciduous Forest	AGB	-	5	90	280	Table 4.7
	BGB	-	-	-	-	-
	L&DW	-	1	2.1	3	Table 2.2
	Soil Carbon	Tropical, Moist	39	47	65	Table 2.3
	Total	Tropical, Moist	45.0	139.1	348.0	-
Grassland	AGB	-	-	8.1	-	Table 6.4
	BGB	-	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-	-
	Soil Carbon	Tropical, Moist	39	47	65	Calculated; $F_{LU}$ :1.0, $F_{MG}$ :1.0, $F_I$ :1.0 (Table 6.2)
		Tropical, Wet	44	60	66	
	Total	Tropical, Moist	47.1	55.1	73.1	-
		Tropical, Wet	52.1	68.1	74.1	-

※炭素貯蔵量は、2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories の Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use の Table の引用値、またはそれを用いて筆者が算定したものである (Note 欄の "Calculated")

※AGB: 地上部バイオマス (Above ground biomass), BGB: 地下部バイオマス (Below Ground Biomass), L&DW: 落葉落枝、枯死木 (Litter and dead wood)

※Oil Palm, Rubber, Grassland の Soil Carbon は、( $\text{Reference soil carbon} * F_{LU} * F_{MG} * F_I$ )により算出

表 3-12(2) 対象とした土地利用の炭素貯蔵量(IPCC ベース<sup>\*37, \*38, \*39</sup>)(単位:tC/ha)

	Carbon Pool	Climate Region	Low	Base	High	Note
Moderately degraded grassland	AGB	-	-	-	-	-
	BGB	-	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-	-
	Soil Carbon	Tropical, Moist	37.83	45.59	63.05	Calculated; $F_{LU}:1.0$ , $F_{MG}:0.97$ , $F_I:1.0$ (Table 6.2)
		Tropical, Wet	42.68	58.20	64.02	
	Total	Tropical, Moist	37.83	45.59	63.05	-
		Tropical, Wet	42.68	58.20	64.02	-
Severely degraded land	AGB	-	-	-	-	-
	BGB	-	-	-	-	-
	L&DW	-	-	-	-	-
	Soil Carbon	Tropical, Moist	27.30	32.90	45.50	Calculated; $F_{LU}:1.0$ , $F_{MG}:0.7$ , $F_I:1.0$ (Table 6.2)
		Tropical, Wet	30.80	42.00	46.20	
	Total	Tropical, Moist	27.30	32.90	45.50	-
		Tropical, Wet	30.80	42.00	46.20	-
Soil Carbon	Reference Soil	Tropical, Moist	39	47	65	High/low activity clay soil and sandy soil (Table 2.3)
		Tropical, Wet	44	60	66	

※炭素貯蔵量は、2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories の Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use の Table の引用値、またはそれを用いて筆者が算定したものである (Note 欄の "Calculated")

※AGB: 地上部バイオマス (Above ground biomass), BGB: 地下部バイオマス (Below Ground Biomass), L&DW: 落葉落枝、枯死木 (Litter and dead wood)

※Degraded land の Soil Carbon は、( $\text{Reference soil carbon} * F_{LU} * F_{MG} * F_I$ )により算出



各土地利用の炭素貯蔵量（表 3-12）から、オイルパームプランテーションへの直接的な土地利用転換による CO<sub>2</sub> 放出量を表 3-13 のとおり算定した。なお、既往研究ベースの場合と同様に、オイルパームプランテーションのライフタイムを 25 年と想定し、土地利用転換に伴う炭素貯蔵量の変化量を 25 年で除して、CO<sub>2</sub> 放出量として 1 年間に割り当てた。

表 3-13 オイルパームプランテーションへの直接的な土地利用転換による CO<sub>2</sub> 放出量  
(IPCC ベース)

Previous land use	Climate Region	CO <sub>2</sub> emission (tCO <sub>2</sub> /ha/year)		
		Low	Base	High
Degraded land (Severely Degraded Land)	Tropical, Moist	-19.77	-13.56	-7.52
	Tropical, Wet	-19.85	-14.55	-7.90
Degraded land (Moderately degraded grassland)	Tropical, Moist	-17.20	-11.70	-5.98
	Tropical, Wet	-17.23	-12.17	-6.16
Grassland	Tropical, Moist	-15.73	-10.31	-4.62
	Tropical, Wet	-15.76	-10.73	-4.79
Rubber	Tropical Wet or Moist	-1.76	3.08	8.51
Tropical rain forest	-	2.98	8.93	33.36
Tropical moist deciduous forest	-	-4.93	2.02	24.60

※本結果は、IPCC ガイドライン<sup>\*37, \*38, \*39</sup>による炭素貯蔵量データ等を用いて筆者が算定したものである

## (2) 間接的な土地利用転換

間接的な土地利用転換の有無や規模は、国や地域の農産物需給等の状況に大きく左右され、また条件によっては生じない場合もあるなど、その定量化はそれぞれのプロジェクトケースに依存するものである。このため、本研究では、間接的な土地利用転換による CO<sub>2</sub> 放出量は定量的には算定せず、どのような間接的な土地利用転換が生じる可能性があるかを考察するにとどめた。

### 3-2-2 オイルパーム栽培

オイルパームは多年生の作物であり、植樹後およそ3年から収穫ができ、一般的に生産性が落ちる約25年後に伐採される。オイルパームの栽培プロセスの詳細は第2章に記載した。

オイルパームの栽培時には、温室効果ガスの発生を伴う様々なエネルギーや物質などの投入が必要となる。本研究では、特に農機の稼働や施肥に伴う温室効果ガスを対象とした。

オイルパーム栽培に関わる最も基本的なパラメータとしてはオイルパームの収量（1haあたりの果房（Fresh Fruit Bunch: FFB）の収量）があるが、タイにおける実績値および文献値を表3-14に示す。FFBの収量は14 tFFB/haから20.2tFFB/haまでと幅がある。本研究ではこれらの平均値である16.7tFFB/haを用いた。これはマレーシア（19.03 tFFB/ha：2007年実績値）と比較するとやや低い値である<sup>\*51</sup>。農機の稼働に伴うCO<sub>2</sub>排出量は、軽油の消費量に軽油のCO<sub>2</sub>排出係数を乗ずることで算定した。タイにおけるオイルパーム栽培時の農機の稼働に伴う軽油消費量は0.33 l/FFBとした<sup>\*76</sup>。窒素系肥料の施用による土壌からの一酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）の放出量はIPCCの方法を用いて算定した<sup>\*40</sup>。オイルパーム栽培における施肥量はInternational Fertilizer Industry Association<sup>\*30</sup>およびタイにおける実績値等をみるとかなり幅がある（表3-15）。これは土壌の種類等によって施肥量が異なることが一因と考えられる。一方、肥料の製造に伴う温室効果ガス排出量は、肥料の種類別の施肥量にそれぞれのGHG排出係数を乗ずることで算定した。

オイルパーム栽培に伴う温室効果ガス排出量の計算に用いた主な条件を表3-16に示した。また、計算式等の詳細をAppendix IIIに示した。

表 3-14 タイにおける FFB 収量

Value (tFFB/ha)	Comments	Source
14	-	International Fertilizer Industry Association <sup>*30</sup>
18	-	
16.9	Average yield in 2001	Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives <sup>*87</sup>
15.2	Average yield in 2002	
17.0	Average yield in 2003	
16.8	Average yield in 2004	
15.4	Average yield in 2005	
17.7	Average yield in 2006	
15.0	Average yield in 2007	
20.2	Average yield in 2008	
17	-	Sompornら <sup>*75</sup>

表 3-15 タイにおけるオイルパーム栽培に必要な施肥量

Type	Value	Unit	Source
N	107.5	kgN/ha/year	International Fertilizer Industry
	134.4		Association <sup>*30</sup>
	204.0		Chavalparit <sup>*6</sup>
	132.4		Somporn et al. <sup>*75</sup>
	130.4		Suratthani Oil Palm Research Center <sup>*78</sup>
	88.1		
	118.0		
	113.3		
	183.0		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	64.0	kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/year	International Fertilizer Industry
	84.5		Association <sup>*30</sup>
	120.5		Chavalparit <sup>*6</sup>
	0.9		Somporn et al. <sup>*75</sup>
	65.6		Suratthani Oil Palm Research Center <sup>*78</sup>
	72.1		
	72.1		
	98.3		
	85.2		
K <sub>2</sub> O	230.4	kgK <sub>2</sub> O/ha/year	International Fertilizer Industry
	384.0		Association <sup>*30</sup>
	168.6		Chavalparit <sup>*6</sup>
	245.0		Somporn et al. <sup>*75</sup>
	256.5		Suratthani Oil Palm Research Center <sup>*78</sup>
	196.7		
	213.8		
	342.0		
	342.0		

表 3-16 オイルパーム栽培に伴う温室効果ガス排出量の算定に用いた主なパラメータ

Parameter		Value				Unit	
		Min.	Average	Max.	95% CI		
					Lower		Higher
CO <sub>2</sub> emission factor of petroleum diesel		-	0.0741 <sup>*33</sup>	-	-	-	tCO <sub>2</sub> /GJ
FFB yield		14.0	16.7	20.2	15.7	17.7	tFFB/ha
Consumption of petroleum diesel in agricultural operations		-	0.33 <sup>*76</sup>	-	-	-	l/tFFB
Fertilizer use	Ammonium nitrate	88.1	134.6	204.0	110.6	158.6	kgN/ha/year
	Phosphate rock	0.9	73.7	120.5	52.4	95.0	kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/year
	Potassium chloride	168.6	264.3	384.0	215.7	312.9	kgK <sub>2</sub> O/ha/year
GHG emission factors of fertilizers	Ammonium nitrate	-	7.1 <sup>*150</sup>	-	-	-	kgCO <sub>2</sub> /kgN
	Phosphate rock	-	2.0 <sup>*150</sup>	-	-	-	kgCO <sub>2</sub> /kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Potassium chloride	-	0.4 <sup>*150</sup>	-	-	-	kgCO <sub>2</sub> /kgK <sub>2</sub> O

### 3-2-3 CPO 生産

パームオイルミルでは、FFB の加熱、果実の FFB からの剥離、CPO の抽出等のプロセスにより、FFB から CPO が生産される。生産プロセスの詳細は第 2 章に記載した。

これらのプロセスにおいては電力や化石燃料が用いられる。タイのパームオイルミルにおける系統電力消費量を表 3-17 に示す。また、ボイラーの始動時等に用いられる軽油消費量を表 3-18 に示す。なお、5 か所のパームオイルミル（生産規模は 30、40、45、60（2 か所）（tFFB/hour））の実績値から、パームオイルミルにおける電力消費量の 84%は、CPO を生産する過程で発生する廃棄物であるファイバーや殻を用いた発電によって賄われており、残りの不足電力には系統電力が使われている<sup>\*6</sup>。電力や化石燃料の消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量は、それぞれの消費量と系統電力の CO<sub>2</sub> 排出係数、軽油の CO<sub>2</sub> 排出係数を乗ずることで算定した。

CPO の生産の際には多量の蒸気や水を用いるため、同時に多量の廃水(POME: Palm Oil Mill Effluent)が排出される。POME は有機質を多く含むため、一般に嫌気性ラグーン処理など嫌気的条件下で処理された後に河川等に放流される。このようなラグーンではメタン（CH<sub>4</sub>）が発生していると想定されるため、CH<sub>4</sub> 発生量を IPCC の方法を用いて算定した<sup>\*41</sup>。POME の排出量はタイのパームオイルミルの実績値および文献値から設定した（表 3-19）。

パームオイルの生産効率についてもタイのパームオイルミルの実績値および文献値から設定した（表 3-20）。

なお、CPO から RPO（Refined Palm Oil）等への精製プロセスは、PME の生産プロセスに含めた。

CPO 生産に伴う温室効果ガス排出量の計算に用いた主な条件を表 3-21 に示した。また、計算式等の詳細を Appendix III に示した。

表 3-17 タイにおける CPO 生産時の系統電力消費量

Value (kWh/tFFB)	Comments	Source
2.45	タイのパームオイルミル A の実績値	Chavalparit <sup>*6</sup>
1.68	タイのパームオイルミル B の実績値	
3.18	タイのパームオイルミル C の実績値	
2.66	タイのパームオイルミル D の実績値	
0.88	タイのパームオイルミル E の実績値	
0.329	-	Somporn et al. <sup>*75</sup>

※\*6 については、総電力消費量の 16%が系統電力。残りは所内で発生するバイオマスを利用した発電電力

表 3-18 タイにおける CPO 生産時の軽油消費量

Value (l/tFFB)	Source
0.12	Chavalparit <sup>*6</sup>
0.87	Somporn et al. <sup>*75</sup>

表 3-19 タイにおける CPO 生産時の POME 発生量

Value (m <sup>3</sup> /tFFB)	Comments	Source
0.59	タイのパームオイルミル A の実績値	Chavalparit <sup>*6</sup>
0.50	タイのパームオイルミル B の実績値	
0.58	タイのパームオイルミル C の実績値	
0.55	タイのパームオイルミル D の実績値	
0.50	タイのオイルミルでの実績値	Univanich Lamthap POME Biogas CDM Project <sup>*113</sup>
0.45	文献値	Somporn et al. <sup>*76</sup>
0.57	文献値	

表 3-20 タイにおける CPO 生産効率

Value (tCPO/tFFB)	Comments	Source
0.155	タイのパームオイルミル A の実績値	Chavalparit <sup>*6</sup>
0.164	タイのパームオイルミル B の実績値	
0.165	タイのパームオイルミル C の実績値	
0.170	タイのパームオイルミル D の実績値	
0.178	タイのパームオイルミル E の実績値	
0.190	-	Somporn et al. <sup>*76</sup>
0.160	-	Somporn et al. <sup>*76</sup>
0.163	-	Somporn et al. <sup>*75</sup>

表 3-21 CPO 生産に伴う温室効果ガス排出量の算定に用いた主なパラメータ

Parameter	Value					Unit
	Min.	Average	Max.	95% CI		
				Lower	Higher	
CO <sub>2</sub> emission factor of grid electricity	-	0.5057 <sup>*84</sup>	-	-	-	tCO <sub>2</sub> /MWh
CO <sub>2</sub> emission factor of diesel fuel	-	0.0741 <sup>*33</sup>	-	-	-	tCO <sub>2</sub> /GJ
Net calorific value of diesel fuel	-	43.0 <sup>*33</sup>	-	-	-	GJ/tonne
Grid electricity consumption	0.33	1.86	3.18	0.98	2.74	kWh/tFFB
Diesel consumption	0.12	0.62	1.19	-	-	l/tFFB
CPO production efficiency	0.125	0.168	0.201	0.160	0.176	tCPO/tFFB
Quantity of POME	0.45	0.54	0.59	0.49	0.57	m <sup>3</sup> /tFFB
COD concentration of POME	-	0.051 <sup>*6</sup>	-	-	-	tCOD/m <sup>3</sup>

### 3-2-4 PME 生産

本研究においては、PME の生産プラントとしてバッチ式のプラントを想定した。生産プロセスについては第 2 章に記載した。

PME の生産過程では、反応槽の加温等のために電力を用いる。電力の消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量は、系統電力の消費量と系統電力の CO<sub>2</sub> 排出係数を乗ずることで算定した。電力消費量を表 3-22 に示す。Somporn ら<sup>\*76</sup>では、1 日あたり最大 60 kl のバイオディーゼルの生産が可能なバッチ式の生産プラントが想定されている。なお、CPO から RPO (Refined Palm Oil 等) への精製の際の系統電力消費量も本プロセスに含めた。また、PME の生成効率を表 3-23 に示す。

PME の生産においてはメタノールが用いられるが、その製造時の温室効果ガス排出量は、メタノール消費量にメタノール製造時の GHG 排出係数を乗ずることで算定した。

副生成物であるグリセリンの処理・消費等に伴う排出量は算定していない。

PME 生産に伴う温室効果ガス排出量の計算に用いた主な条件を表 3-24 に示した。また、計算式等の詳細を Appendix III に示した。

表 3-22 タイにおける PME 生産時の系統電力消費量

Value (kWh/tPME)	Comments	Source
257.73	Including grid electricity consumptions at refine process of	Somporn et al. <sup>*76</sup>
31.23	CPO to RPO (Refined Palm Oil): 1.23 kWh/tPME <sup>*57</sup>	Somporn et al. <sup>*75</sup>

表 3-23 タイにおける PME の生産効率

Value (tPME/tCPO)	Source
0.877	Somporn et al. <sup>*76</sup>
0.885	Somporn et al. <sup>*75</sup>



表 3-24 PME 生産に伴う温室効果ガス排出量の算定に用いた主なパラメータ

Parameter	Value					Unit
	Min.	Average	Max.	95% CI		
				Lower	Higher	
CO <sub>2</sub> emission factor of grid electricity	-	0.5057 <sup>*84</sup>	-	-	-	tCO <sub>2</sub> /MWh
Electricity consumption	31.23	144.48	257.73	-	-	kWh/tPME
Methanol consumption	-	0.15 <sup>*76</sup>	-	-	-	tCH <sub>3</sub> OH /tPME
GHG emission factor of methanol production	-	1.95 <sup>*95</sup>	-	-	-	tCO <sub>2</sub> /tCH <sub>3</sub> OH
PME production efficiency	0.877	0.881	0.885	-	-	tPME/tCPO

### 3-2-5 PME 消費

自動車等における PME の消費時には、化石燃料起源の軽油等と同様に、PME 中の炭素が酸化されることで  $\text{CO}_2$  が排出される。PME 中の炭素は植物起源（オイルパーム）とメタノール起源のものとで構成されるが、このうち植物起源の炭素の燃焼によって排出される  $\text{CO}_2$  は計上しないこととした<sup>\*34</sup>。

一方、メチルエステル化の過程で、メタノール中のメチル基は、油脂の主成分であるトリグリセリドと結合し、脂肪酸メチルエステルを形成する。すなわち、メタノール中の炭素原子は PME 中に結合することになり、PME 生産時に化石燃料から製造されたメタノールを使用する場合、生産された PME は植物起源の炭素だけではなく、一部は化石燃料起源の炭素から構成されることになる。本研究では、天然ガスなど化石燃料を原料として製造されたメタノールが用いられると想定した。このため、PME の消費（自動車エンジンにおける燃焼時）において、メタノール起源の炭素の酸化による  $\text{CO}_2$  排出量を算定した。計算式等の詳細を Appendix III に示した。





### 3-2-6 PME 消費（自動車排ガス試験）

タイの環境省公害管理局（PCD: Pollution Control Department）の自動車排ガス試験設備において、PME20（PME20%、軽油 80%混合燃料）と軽油 100%の 2 種類の燃料による自動車排ガス性状の比較実験を行った。具体的には、排ガス中の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、および主要な大気汚染物質である一酸化炭素（CO）、炭化水素（HC）、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、粒子状物質（PM）の濃度や走行距離等を測定した。これらの結果からそれぞれの物質の単位走行距離あたりの排出係数や燃料消費率を算出した。なお、試験には、バンコクの BMTA（Bangkok Mass Transit Authority: バンコク大量輸送公社）が所有する路線バス 2 台および軽トラック 2 台を用いた。また、比較のために CME20（Coconut Methly Ester 20%、軽油 80%混合燃料）についても試験を行ったため、あわせてこの結果も示す。

自動車排ガス試験の概要を表 3-25 に示す。また、PCD のシャシダイナモ試験設備の概要、試験に供した燃料、車両、走行モードをそれぞれ表 3-26、表 3-27、表 3-28、表 3-29、図 3-3、図 3-4 に示す。

本試験は、国土交通省の「平成 16 年度地球環境問題解決のためのクリーン開発メカニズム（CDM）推進事業」の一環として実施されたものであり、本項の内容は Shirakawa ら<sup>\*72</sup>に公表している。

表 3-25 自動車排ガス試験の概要

項目	概 要	
設備	タイ政府天然資源・環境省の公害管理局（PCD ; Pollution Control Department）の大型ディーゼル車用、小型ディーゼル用のシャシダイナモ施設を利用	
燃料	各車両について以下の 3 種類の燃料をテスト ○軽油 100% ○バイオディーゼル混合軽油（軽油 80%、PME20%） ○バイオディーゼル混合軽油（軽油 80%、CME20%） ※PME : Palm Olein Methyl Ester（パーム（オレイン）メチルエステル（タイ海軍からの提供）） ※CME : Coconut Methyl Ester（ココナツメチルエステル（フィリピンの事業者からの提供））	
車両	○バス 2 台および小型トラック 2 台	
	○バス 1 車名 : Hino 年式 : 1994  	○バス 2 車名 : DAEWOO 年式 : 1997  



	<p>○小型トラック 1 車名：TOYOTA TIGER 年式：2002 年</p> 	<p>○小型トラック 2 車名：TOYOTA HILUX 年式：1990 年</p> 
走行モード	<p>○バス</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バンコク実走行モード Phase 2 (平均速度 9.4km/h) *24</li> <li>・バンコク実走行モード Phase 4 (平均速度 24.0km/h) *24</li> <li>・ETC Urban transient cycle</li> <li>・AC2540</li> </ul> <p>○小型トラック</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バンコク実走行モード Phase 2 (平均速度 15.0km/h) *24</li> <li>・バンコク実走行モード Phase 4 (平均速度 34.9km/h) *24</li> <li>・ECE15+ ECE15</li> <li>・EUDC cycle for low-powered vehicles</li> <li>・AC2540</li> </ul>	
測定項目	<p>バッグサンプリング : THC, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 濃度</p> <p>連続測定 : THC, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, PM 濃度</p> <p>フィルターサンプリング : PM 質量</p> <p>その他 : 実験室内の気温、湿度、気圧</p>	

表 3-26 PCD の自動排ガス試験設備の概要

Facilities	Items	Heavy Duty Diesel	Light Duty Diesel
Chassis dynamometer	Manufacturer	Schench Komeg (Germany)	Schench Pegasus (Germany)
	Types	FP500/GS 500	EMDY 48
Emission analysis system	Manufacturer	PIERBURG (Germany)	PIERBURG (Germany)
	Types	AMA2000 TYPE D	AMA2000 TYPE D
	NO <sub>x</sub> analyzer	CLD PM-2000	CLD PM-2000
	THC analyzer	FID PM-2000	FID PM-2000
	CO/CO <sub>2</sub> analyzer	NDIR PIA-2000	NDIR PIA-2000
	HC analyzer	NDIR PIA-2000	NDIR PIA-2000
Other facilities	CVS*1)	CVS 150 WT	CVS 60 CFV
	PS*2)	PS 2000 D	PS 2000 D

\*1) CVS: Constant Volume Sampling System

\*2) PS: Particulate Sampling

表 3-27 試験車両の概要

	Light Duty Truck 1	Light Duty Truck 2	Bus 1	Bus 2
Vehicle manufacturer	Toyota (Tiger)	Toyota (Hilux)	Hino	Daewoo
Gross vehicle weight (kg)	2,580	2,580	15,300	15,300
Engine model year	2002	1990	1994	1997
Engine displacement (L)	2.5	2.5	8.0	8.0
Engine power (hp)	107hp/ 3800 rpm	89 hp / 4200 rpm	250 hp / 2400 rpm	240 hp / 2400 rpm

表 3-28 試験燃料の性状

Characteristics	Petroleum diesel	PME20	CME20
Density (g/L)	0.830	0.840	0.838
Sulfur content (mass%)	0.0236	0.0222	0.0176
Cetane Number	57.8	56.7	54.2
C content (mass%)	86.6	84.6	83.9
H content (mass%)	13.4	13.2	13.2
O content (mass%)	-	2.2	2.9

表 3-29 PME および CME の脂肪酸プロファイル (wt %)

	PME	CME
Methyl caprylate (C8)	-	7.6
Methyl caprate (C10)	-	6.7
Methyl Laurate (C12)	0.4	53.1
Methyl Myristate (C14)	0.9	19.6
Methyl Palmitate (C16)	38.5	7.6
Methyl Stearate (C18:0)	0.1	1.3
Methyl Oleate (C18:1)	58.1	3.2
Methyl Linoleate (C18:2)	1.8	0.6
Methyl Linolenate (C18:3)	0.1	-
Others	0.1	0.3
C content	76.4	73.3
H content	12.4	12.3
O content	11.2	14.4

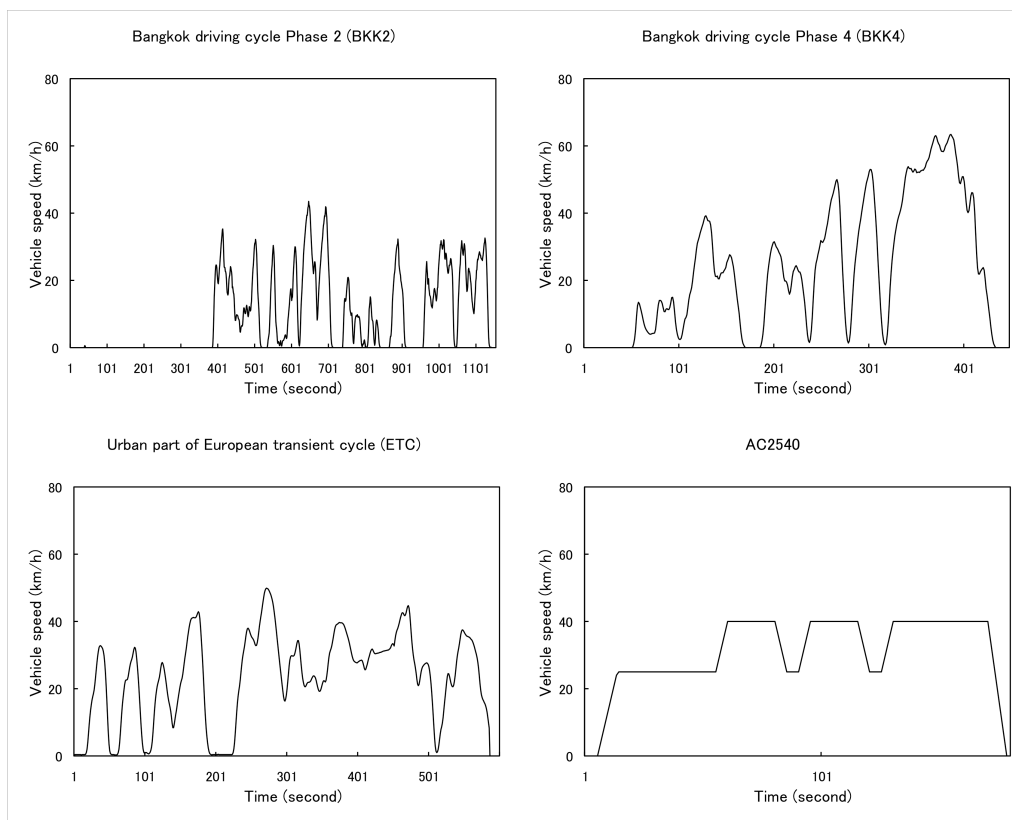


図 3-3 バスの自動車排ガス試験用の走行モード

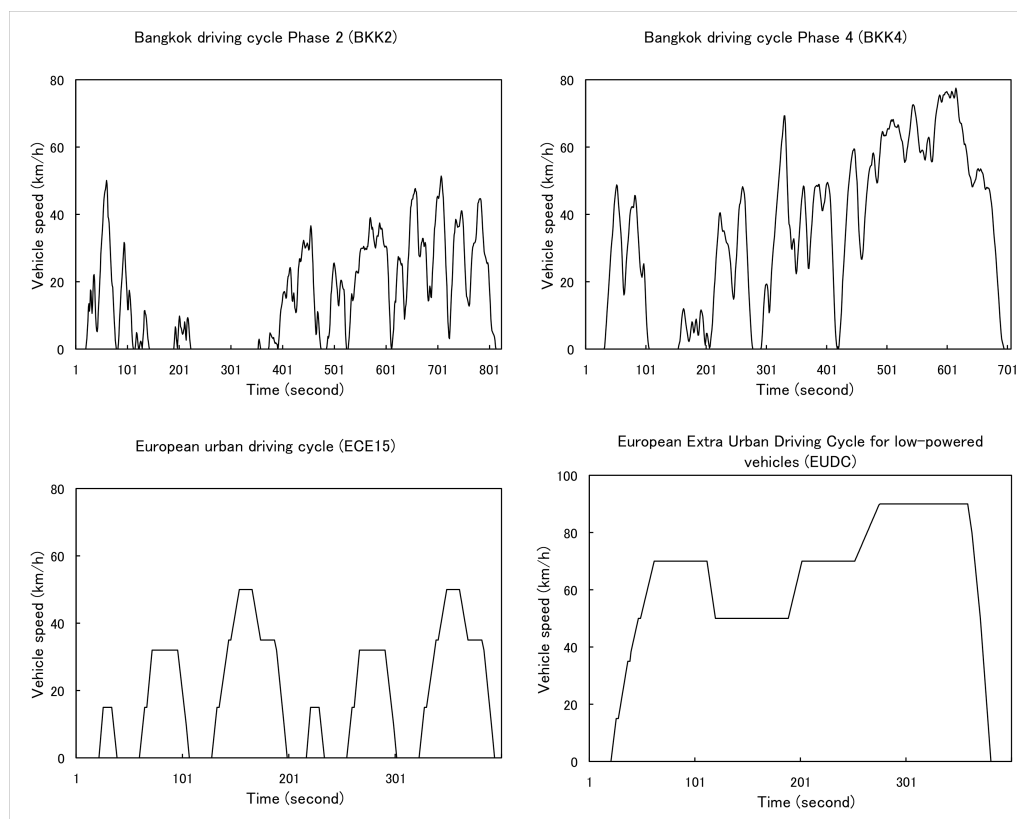


図 3-4 小型トラックの自動車排ガス試験用の走行モード

### 3-2-7 原料・燃料輸送

原料および燃料の輸送については、以下のそれぞれについて CO<sub>2</sub> 排出量を算定した。

- ・ オイルパームプランテーションからパームオイルミルへのトラックによる FFB の輸送
- ・ パームオイルミルから積出港（スラタニ港を想定）へのローリーによる CPO の輸送
- ・ 積出港から荷揚港（バンコク港を想定）への船舶による CPO の輸送
- ・ PME 生産プラントから軽油・バイオディーゼル混合施設へのローリーによる PME の輸送

原料および燃料の輸送に伴う温室効果ガス排出量の計算に用いた主な条件を表 3-30 に示した。なお、FFB や CPO、PME の輸送に用いる車両の平均積載量や輸送距離は想定値である。CPO の海上輸送に関してはスラタニの海運会社のヒアリングによる値<sup>\*160</sup>を用いた。計算式等の詳細を Appendix III に示した。

表 3-30 原料および燃料の輸送に伴う温室効果ガス排出量の算定に用いた主なパラメータ

Parameter	Value	Unit
FFB transportation	-	-
Average load of trucks	5	ton
Average distance traveled by trucks for a return trip	50	km
CO <sub>2</sub> emission factor of trucks	0.001	tCO <sub>2</sub> /km
CPO transportation (Land)	-	-
Average load of tank trucks	20	ton
Average distance traveled by tank trucks for a return trip	100	km
CO <sub>2</sub> emission factor of tank trucks	0.001	tCO <sub>2</sub> /km
CPO transportation (Maritime)	-	-
CO <sub>2</sub> emission factor of fuel oil	0.0774 <sup>*33</sup>	
Net calorific value of fuel oil	40.4 <sup>*33</sup>	
Fuel consumption from Suratthani to Bangkok (a return trip)	10 <sup>*160</sup>	ton
Amount of CPO transported in a trip	3,000 <sup>*160</sup>	ton
PME transportation	-	-
Average load of tank trucks	20	ton
Average distance traveled by tank trucks for a return trip	100	km
CO <sub>2</sub> emission factor of tank trucks	0.001	tCO <sub>2</sub> /km

### 3-2-8 化石燃料起源の軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量との比較

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量について、化石燃料起源の軽油との比較を行った。

比較の方法は、以下のとおりとした。

- ・ PME の単位発熱量・単位重量あたりの排出量の比較
- ・ 単位走行距離あたりの排出量の比較（PME20（PME20%、軽油 80%）と軽油 100%の比較）

また、土地利用転換を含む場合について、PME で軽油を代替した場合の温室効果ガス排出削減量を以下について評価した。

- ・ PME の単位重量あたり
- ・ 単位面積あたり

なお、単位走行距離あたりの排出量の比較においては、タイ・バンコク市の公害管理局（Pollution Control Department: PCD）で実施した自動車排ガス試験の結果（燃費）を用いた。試験方法の詳細は 3-2-6 項に示した。

軽油の Well to Tank（原油の採掘・輸送・精製、軽油の輸送）の温室効果ガス排出量等、比較に用いたパラメータを表 3-31 に示す。いずれも既往の研究による値である。

表 3-31 化石燃料起源の軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量の比較に用いた主なパラメータ

Parameter	Value	
	Value	Unit
GHG emission factor of mining and transportation of crude oil, refining and transportation of petrodiesel	0.527 <sup>*79</sup>	tCO <sub>2</sub> -eq/tonne
CO <sub>2</sub> emission factor of diesel fuel	0.012	tCO <sub>2</sub> -eq/GJ
CO <sub>2</sub> emission factor of diesel fuel	0.0741 <sup>*33</sup>	tCO <sub>2</sub> /GJ
Net calorific value of petroleum diesel fuel	43.0 <sup>*33</sup>	GJ/tonne
Net calorific value of PME	38.07 <sup>*75</sup>	GJ/tonne



### 3-3 結果

#### 3-3-1 PME のライフサイクル温室効果ガス排出量（土地利用転換以外のプロセス）

本研究では、オイルパームを新規に栽培する土地の利用状況の相違による PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の差異を評価した。土地利用転換以外のプロセス（オイルパーム栽培、CPO 生産、PME 生産、PME 消費、原料・燃料輸送）は土地利用の種類に関わらず共通するため、この結果を本項で示し、3-3-3 項に土地利用転換を含むライフサイクル温室効果ガス排出量を示す。

本項の結果は、既存のオイルパームプランテーションで生産されたオイルパームを利用した PME 生産におけるライフサイクル温室効果ガス排出量に相当する。新規のオイルパームプランテーションの開発のケースは 3-3-3 項（土地利用転換を含む排出量）が相当する。なお、いずれの場合も間接的な土地利用転換は含んでいない。

土地利用転換以外のプロセスで排出される温室効果ガス排出量を図 3-5 および表 3-32 に示す。オイルパームの栽培から PME の消費までのプロセスにおける温室効果ガス排出量の合計は、PME 1.0 ton あたり 2.34 tCO<sub>2</sub>-eq と算定された。全排出量に占める割合が比較的高いのは、CPO 生産時に排出される POME のラグーン処理に伴う CH<sub>4</sub> 排出（34.6%）、肥料の生産に伴う GHG 排出（20.9%）、オイルパーム栽培時の施肥に伴う N<sub>2</sub>O 排出（15.0%）、である。また、PME 生産時のエステル交換の際に用いるメタノールに関連する排出は、メタノールの生産に伴う排出、およびメタノール中の化石燃料起源の炭素が PME 中に結合し燃焼されることによる排出があるが、これらをあわせると 21.4%と高い割合である。以上から、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量においては、肥料関連（35.9%）、POME（34.6%）、メタノール関連（21.4%）の排出割合が高く、これらのプロセスで 91.9%を占めている。一方、CPO や PME の生産時の電力や化石燃料の消費に伴う排出量の割合は低く、原料等の輸送に伴う排出量もわずかである。

表 3-33 に単位量あたりのライフサイクル温室効果ガス排出量を示す。単位熱量（1MJ）あたり、単位栽培面積（1ha）あたり、単位走行距離（1km）あたりの排出量は、それぞれ、0.061 tCO<sub>2</sub>-eq、5.78 tCO<sub>2</sub>-eq、1.32 tCO<sub>2</sub>-eq であった。ここで PME の発熱量は 38.07 MJ/kg<sup>\*75</sup> として計算した。

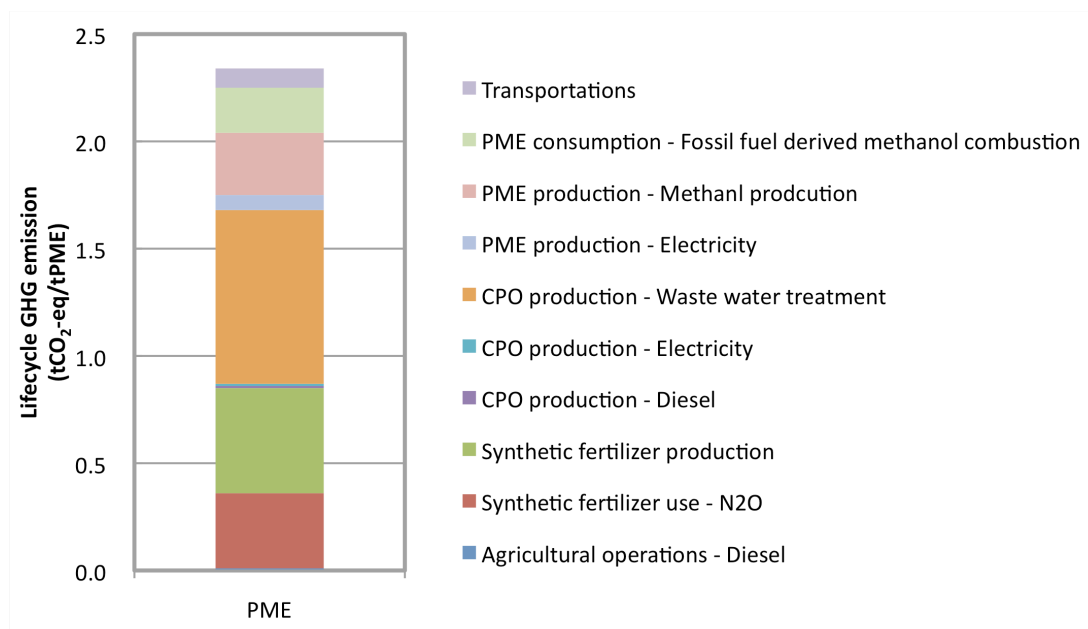


図 3-5 PME のライフサイクル温室効果ガス排出量(土地利用転換以外のプロセス)

表 3-32 PME のライフサイクル温室効果ガス排出量(土地利用転換以外のプロセス)

Processes	GHG emissions (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)	Percentages (%)
Oil palm cultivation	0.85	36.3%
Agricultural operations	0.01	0.4%
Synthetic fertilizer use	0.35	15.0%
Synthetic fertilizer production	0.49	20.9%
CPO production	0.83	35.5%
Diesel	0.01	0.4%
Electricity	0.01	0.4%
Waste water treatment	0.81	34.6%
PME production	0.36	15.4%
Electricity	0.07	3.0%
Methanol production	0.29	12.4%
PME consumption (Fossil fuel derived methanol combustion)	0.21	9.0%
Transportations	0.09	3.8%
Total	2.34	100.0%

表 3-33 単位量あたりの PME ライフサイクル温室効果ガス排出量(土地利用転換以外のプロセス)

	GHG emissions	Unit
per ton of PME	2.34	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
per GJ of PME	0.061	tCO <sub>2</sub> -eq/GJ
per ha of oil palm cultivation area	5.78	tCO <sub>2</sub> -eq/ha
per km of driving distance	1.32*	tCO <sub>2</sub> -eq/km

\*PME20 で 1km 走行した場合(表 3-47)

次に、主要なパラメータの最大値・最小値あるいは 95%信頼区間を考慮した排出量の上限値および下限値を算定し、表 3-34 および図 3-6 に示した。ライフサイクル温室効果ガス排出量の下限値は 1.94 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME、上限値は 2.78 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME である。なお、主要なパラメータの最大値・最小値あるいは 95%信頼区間は、表 3-16、表 3-21 等に示した。これらの結果から、タイにおける PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、1.94 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME から 2.78 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME の幅を有する。

表 3-34 PME ライフサイクル温室効果ガス排出量の上限値・下限値

	排出量 (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)	条件
上限値	2.78	FFB 単収 : 15.7 tFFB/ha <sup>※</sup> 施肥量 : 158.6 kgN/ha/year <sup>※</sup> CPO 生産効率 : 0.160 tCPO/tFFB <sup>※</sup> CPO 生産時の電力消費量 : 2.74 kWh/tFFB CPO 生産時の軽油消費量 : 0.67 liter/tFFB CPO 生産時の POME 排出量 : 0.57 m <sup>3</sup> /tFFB <sup>※</sup> PME 生産効率 : 0.877 tPME/tCPO PME 生産時の電力消費量 : 257.73 kWh/tPME
下限値	1.94	FFB 単収 : 17.7 tFFB/ha <sup>※</sup> 施肥量 : 110.6 kgN/ha/year <sup>※</sup> CPO 生産効率 : 0.176 tCPO/tFFB <sup>※</sup> CPO 生産時の電力消費量 : 0.98 kWh/tFFB CPO 生産時の軽油消費量 : 0.12 liter/tFFB CPO 生産時の POME 排出量 : 0.49 m <sup>3</sup> /tFFB <sup>※</sup> PME 生産効率 : 0.885 tPME/tCPO PME 生産時の電力消費量 : 31.23 kWh/tPME

※ 印は 95%信頼区間を考慮したパラメータ。無印は最大値または最小値。

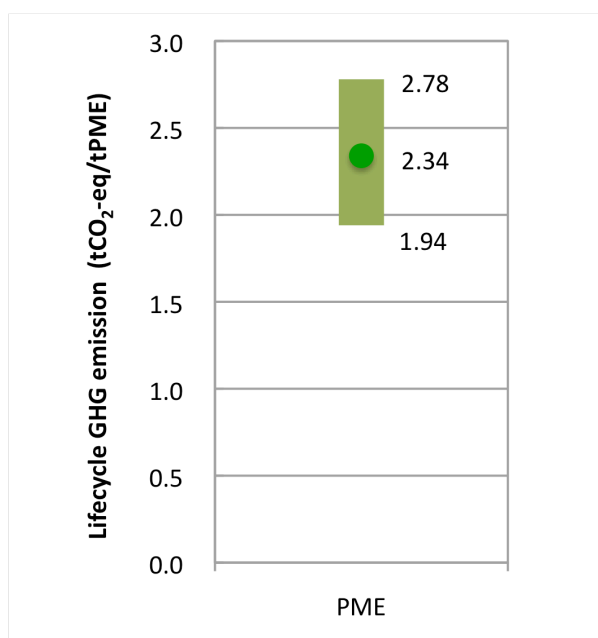


図 3-6 PME ライフサイクル温室効果ガス排出量の上限值・下限値

プロセス毎のエネルギー（系統電力、化石燃料）および肥料の投入量と温室効果ガス排出量を図 3-7 に示した。PME を 1 ton 生産するためには、1.135 ton の CPO を要し、6.756 ton の FFB が必要となる。この結果からも肥料や POME、メタノール関連の排出が大きいことが読み取れる。

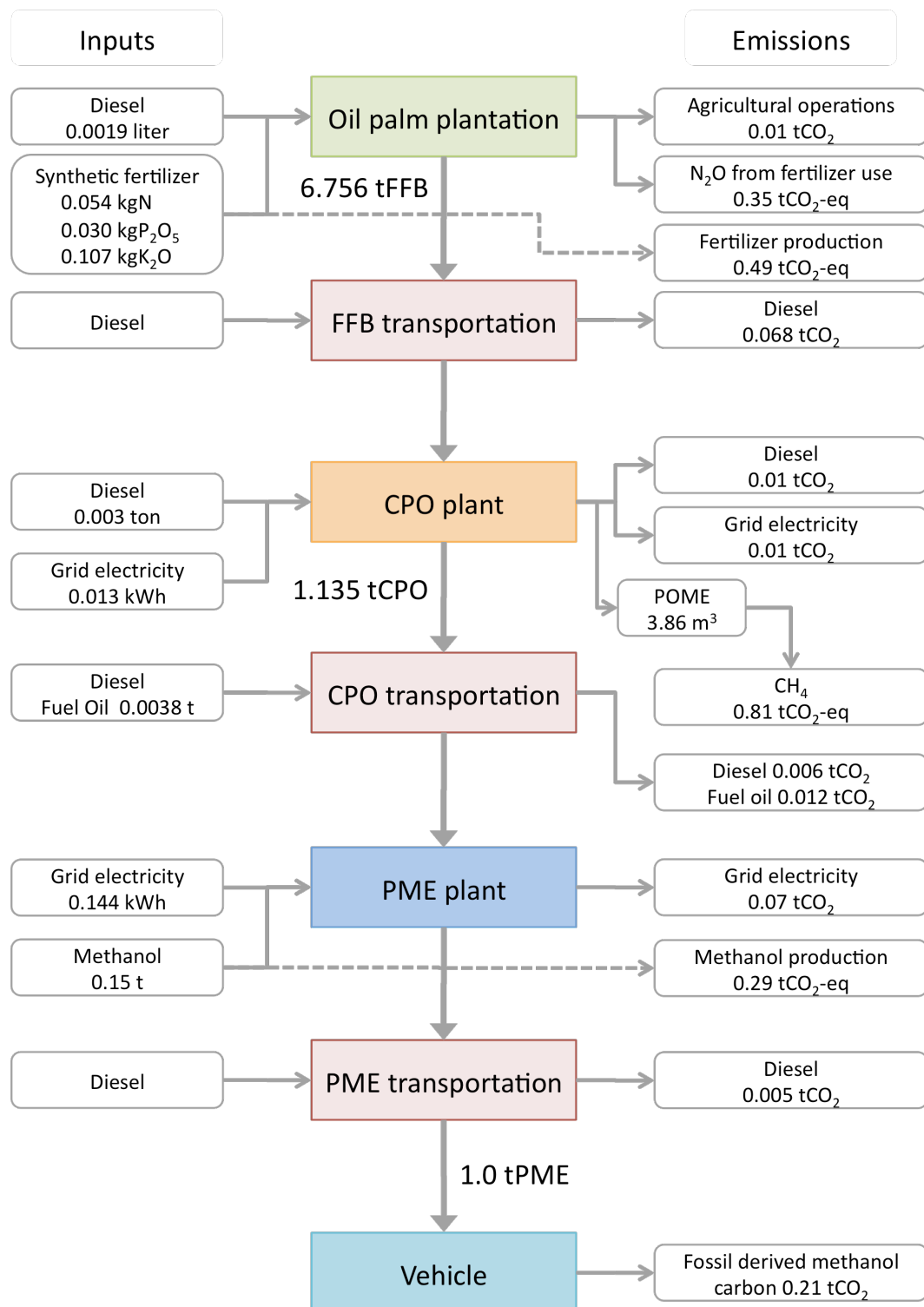


図 3-7 プロセス毎のエネルギー等のインプットと温室効果ガス排出量

### 3-3-2 感度解析結果

本研究では、以下に示す主要なパラメータについて、タイにおいて実態ベースでどのくらいの値の幅があるかをさまざまな資料・論文から調査した。なお、それぞれのパラメータの変化幅については 3-2 節および表 3-35 に記載した。

- ・ FFB の収量
- ・ 施肥量
- ・ CPO 生産効率
- ・ CPO 生産時のエネルギー消費量（電力・軽油）
- ・ CPO 生産時の POME 排出量
- ・ PME 生産効率
- ・ PME 生産時のエネルギー消費量（電力）

なお、それぞれのパラメータの値の幅の一因として以下が考えられる。

- ・ FFB 収量：気候（気温、降水量）、オイルパームの品種、栽培土壌、施肥量等の相違
- ・ 施肥量：オイルパームの品種、栽培土壌等の相違
- ・ CPO 生産効率：オイルパーム果実中のオイル分、生産設備等の相違
- ・ CPO 生産時のエネルギー消費量（電力・軽油）：生産設備等の相違
- ・ CPO 生産時の POME 排出量：生産設備等の相違
- ・ PME 生産効率：生産設備等の相違
- ・ PME 生産時のエネルギー消費量（電力）：生産方法、生産設備等の相違

各パラメータの値を最小値から最大値まで変化させた場合の PME ライフサイクル温室効果ガス排出量を算定した。この結果を図 3-8 および表 3-35 に示す。

図 3-8 から、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量に与える影響（感度）が特に大きいパラメータは、直線の傾きが大きいパラメータ、すなわち、CPO 生産効率、施肥量、FFB 単収、CPO 生産時の POME 排出量などである。ライフサイクル温室効果ガス排出量を精度良く算定するためには、このように感度が高いパラメータについては比較的高い精度で値を設定する必要がある。

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、2.34 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME と算定されたが、このような各パ

ラメータの変化により、2.01～2.78 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME と大きな幅を持つ。なお、この結果はそれぞれ一つのパラメータのみを変化させた場合の排出量である。

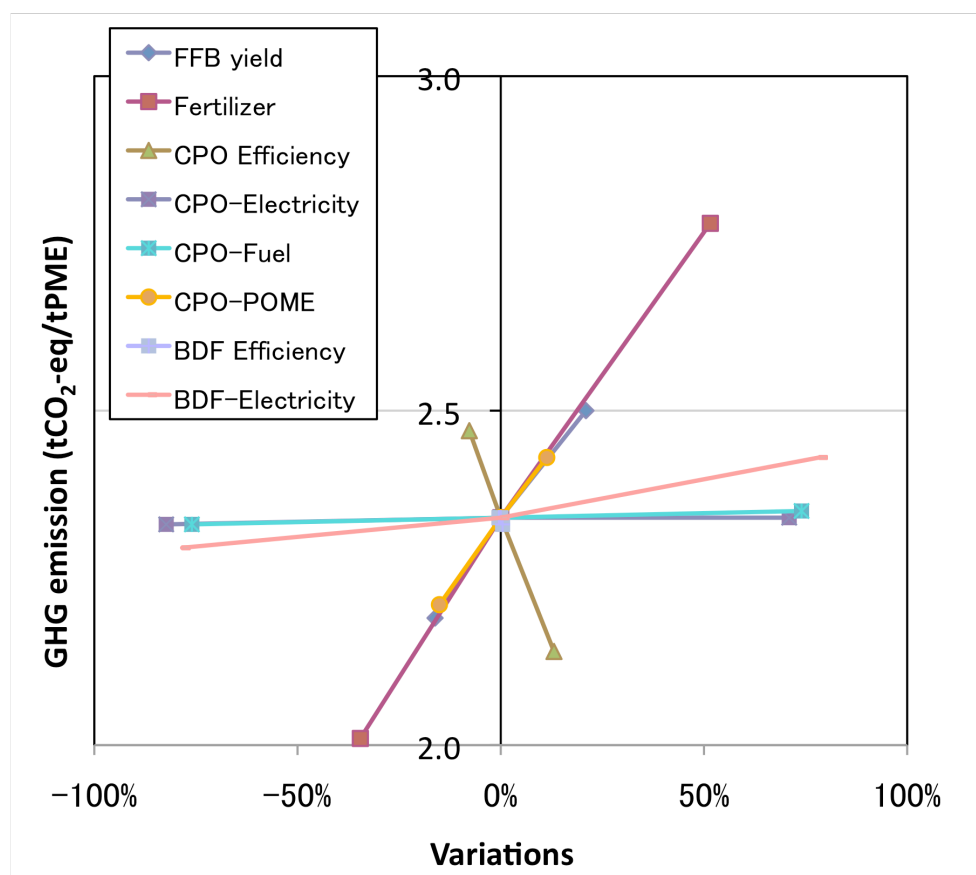


図 3-8 主要なパラメータの変化率と PME ライフサイクル温室効果ガス排出量

表 3-35 主要なパラメータの変化と PME ライフサイクル温室効果ガス排出量

パラメータ	項目	最小値	平均値	最大値	単位
FFB 単収 (FFB yield)	パラメータ値	14.0	16.7	20.2	tFFB/ha
	パラメータ変化率	-16.2%	0.0%	21.0%	-
	排出量	2.19	2.34	2.50	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
	排出量変化率	-6.4%	0	6.8%	-
施肥量 (Fertilizer)	パラメータ値	88.1	134.6	204.0	kgN/ha/year
	パラメータ変化率	-34.5%	0.0%	51.6%	-
	排出量	2.01	2.34	2.78	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
	排出量変化率	-14.1%	0	18.8%	-
CPO 生産効率 (CPO Efficiency)	パラメータ値	0.16	0.17	0.19	tCPO/tFFB
	パラメータ変化率	-7.7%	0.0%	13.1%	-
	排出量	2.47	2.34	2.14	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
	排出量変化率	5.6%	0	-8.5%	-
CPO 生産時の電力消費量 (CPO-Electricity)	パラメータ値	0.3	1.9	3.2	kWh/tFFB
	パラメータ変化率	-82.3%	0.0%	71.0%	-
	排出量	2.33	2.34	2.34	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
	排出量変化率	-0.4%	0	0.0%	-
CPO 生産時の軽油消費量 (CPO-Fuel)	パラメータ値	0.1	0.5	0.9	liter/tFFB
	パラメータ変化率	-76.0%	0.0%	74.0%	-
	排出量	2.33	2.34	2.35	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
	排出量変化率	-0.4%	0	0.4%	-
CPO 生産時の POME 排出量 (CPO-POME)	パラメータ値	0.45	0.53	0.59	m <sup>3</sup> /tFFB
	パラメータ変化率	-15.1%	0.0%	11.3%	-
	排出量	2.21	2.34	2.43	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
	排出量変化率	-5.6%	0	3.8%	-
PME 生産効率 (BDF Efficiency)	パラメータ値	0.877	0.881	0.885	tPME/tCPO
	パラメータ変化率	-0.5%	0.0%	0.5%	-
	排出量	2.34	2.34	2.33	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
	排出量変化率	0.0%	0	-0.4%	-
PME 生産時の電力消費量 (BDF-Electricity)	パラメータ値	31.2	144.5	257.7	kWh/tPME
	パラメータ変化率	-78.4%	0.0%	78.4%	-
	排出量	2.30	2.34	2.43	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
	排出量変化率	-1.9%	0	3.8%	-



## 3-3-3 PME のライフサイクル温室効果ガス排出量（直接的土地利用転換を含む）

オイルパームプランテーションへの直接的な土地利用転換プロセスを含む PME のライフサイクル温室効果ガス排出量を図 3-9、表 3-36、表 3-37 に示す。土地利用転換に伴う排出量は 3-2-1 項に示したとおりであるが、ここでは PME 1.0 ton あたりの排出量に換算し、土地利用転換以外のプロセスからの排出量 ( $2.34 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$ ) と合計した。1.0 ton の PME を 1 年間に製造するために必要なオイルパーム栽培面積は  $0.405 \text{ ha}$  ( $=1/(16.7 \text{ tFFB/ha/year} * 0.168 \text{ tCPO/tFFB} * 0.881 \text{ tPME/tCPO})$ ) である。

なお、本項の結果は、新規のオイルパームプランテーションの開発のケースに相当する。また、間接的な土地利用転換は含んでいない。

既往の研究および IPCC のデフォルト値をベースとした推計結果から、土地利用転換を含む PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、転換される前の土地利用の種類によって大きく異なる結果が得られた。

特に、熱帯雨林からオイルパームプランテーションへの転換を伴う PME 生産においては、多量の温室効果ガスが排出される。既往の研究をベースに算定したところ  $10.67 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  から  $36.08 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$ 、IPCC ベースでは  $0.35 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  から  $15.84 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  とほとんどの場合で化石燃料起源の軽油 ( $3.29 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME-eq}$ ) を大きく上回る。特に、泥炭地における開発を伴う場合は軽油の 10 倍前後の排出量となった。なお、これらの結果は、伐採された樹木が燃焼等によってすべて  $\text{CO}_2$  に変換されると想定した計算結果であることに留意が必要である。例えば、熱帯林を伐採して得られた木材資源を有効活用する場合については考慮していない。

荒地および草地からの転換の場合では多くのケースでオイルパームプランテーションへの転換が炭素の吸収源として働き、軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量を下回る結果となった。荒地では、既往研究ベースで  $0.52 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  であり、IPCC ベースでは  $-5.69$  から  $-0.08 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  とほとんどの場合で正味吸収であった。草地では、既往研究ベースで  $-1.34$  から  $1.62 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  であり、IPCC ベースで  $-4.04$  から  $0.47 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  であった。

タイにおいては、荒地の活用とともに、ゴム林や果樹園、水田からの転換も実態として生じると想定されるが、これらの土地利用からの転換を伴う PME 生産によるライフサイクル温室効果ガス排出量は、熱帯林と比較すると少ない。ゴム林からの転換の場合は、既往研究ベースで  $7.32 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  であり、IPCC ベースで  $1.63$  から  $5.78 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  であった。果樹園からの転換の場合は、既往研究ベースで  $3.96 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  であった。また、水田の場合は、既往研究ベースで  $-2.76 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  と

正味吸収であった。

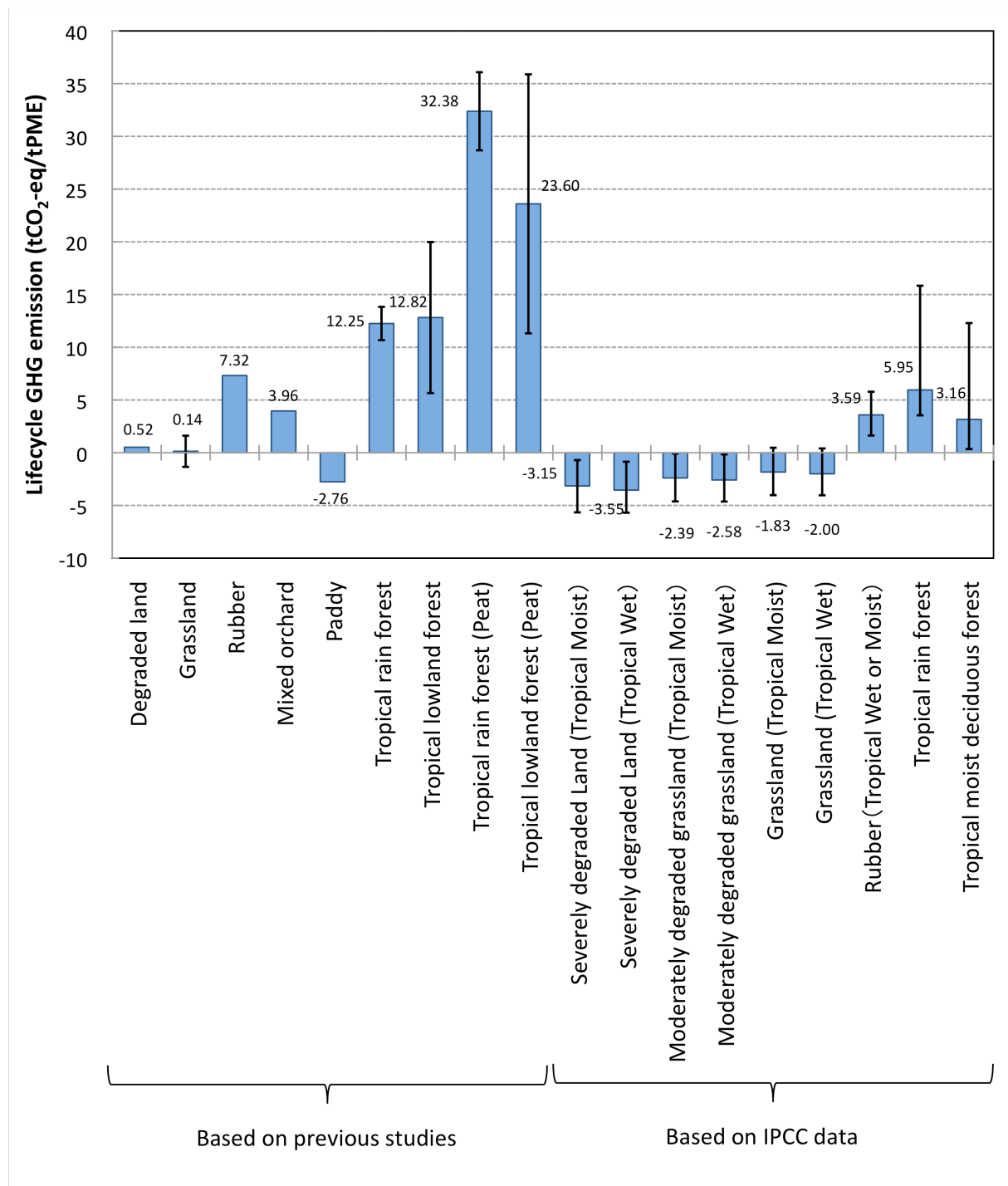


図 3-9 直接的な土地利用転換プロセスを含む PME ライフサイクル温室効果ガス排出量

表 3-36 直接的な土地利用転換プロセスを含む PME ライフサイクル温室効果ガス排出量（既往研究ベース）

Previous land use	PME lifecycle GHG emissions (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)
Degraded land	0.52
Grassland	0.14 ± 1.48
Rubber	7.32
Mixed orchard	3.96
Paddy	-2.76
Tropical rain forest	12.25 ± 1.58
Tropical lowland forest	12.82 ± 7.16
Tropical rain forest (Peat)	32.38 ± 3.70
Tropical lowland forest (Peat)	23.60 ± 12.28

表 3-37 直接的な土地利用転換プロセスを含む PME ライフサイクル温室効果ガス排出量（IPCC ベース）

Previous land use	Climate Region	PME lifecycle GHG emissions (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)		
		Low	Base	High
Degraded land (Severly Degraded Land)	Tropical, Moist	-5.66	-3.15	-0.70
	Tropical, Wet	-5.69	-3.55	-0.86
Degraded land (Moderately degraded grassland)	Tropical, Moist	-4.62	-2.39	-0.08
	Tropical, Wet	-4.63	-2.58	-0.15
Grassland	Tropical, Moist	-4.02	-1.83	0.47
	Tropical, Wet	-4.04	-2.00	0.40
Rubber	Tropical Wet or Moist	1.63	3.59	5.78
Tropical rain forest	-	3.55	5.95	15.84
Tropical moist deciduous forest	-	0.35	3.16	12.29

なお、本研究では間接的な土地利用転換の定量評価は行わないこととしたが、タイにおけるオイルパームプランテーションの開発時には、次のような間接的な土地利用転換に伴い温室効果ガスが排出される可能性がある。

- ・ 新規オイルパームプランテーションの場合：

タイでの新規オイルパームプランテーションの開発は、荒地等の未利用地の他、ゴム林、水田、果樹園からの転換によって行われている。ゴム林、水田、果樹園からの転換を行う場合、これらの作物供給が不足し、他の場所で新たに栽培が進められる可能性がある。この過程で土地が開墾され、土壌炭素等を含む温室効果ガスが排出される。ただし、新たに開墾される土地が荒地や草地、耕作放棄地等の場合には正味の排出にはならない可能性がある。

- ・ 既存オイルパームプランテーションの場合：

PME の生産に既存のオイルパームプランテーション起源のパームオイルを用いる場合、パームオイルの供給が不足し、他の場所で新たにオイルパームの栽培が進められる可能性がある。この過程で土地が開墾され、土壌炭素等を含む温室効果ガスが排出される。ただし、新たに開墾される土地が荒地や草地、耕作放棄地等の場合にはオイルパームプランテーションへの転換が正味の吸収源として働く可能性がある。

### 3-3-4 PME の自動車排ガス試験

PCD で実施した自動車排ガス試験の結果を以下に示す。本項では、ライフサイクル温室効果ガス排出量の算定に必要な CO<sub>2</sub> および燃費の結果のみを示し、その他の物質については Appendix IV に示した。

なお、本試験は、国土交通省の「平成 16 年度地球環境問題解決のためのクリーン開発メカニズム (CDM) 推進事業」の一環として実施されたものであり、本項の内容は Shirakawa ら<sup>\*72</sup>に公表している。

#### (1) 二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub> の排出係数については、PME20 と軽油とでほとんど変わらない結果が得られた。また、年式、車種、走行モードに依存した傾向もみられない。PME は軽油よりも発熱量が低いため、単位走行距離あたりでは CO<sub>2</sub> 排出量が大きくなると予想されるが、表 3-28 に示したように PME の方が炭素含有量が少ないため、発熱量の効果と相殺されて CO<sub>2</sub> 排出量は大きく変わらない結果となったと推測される。

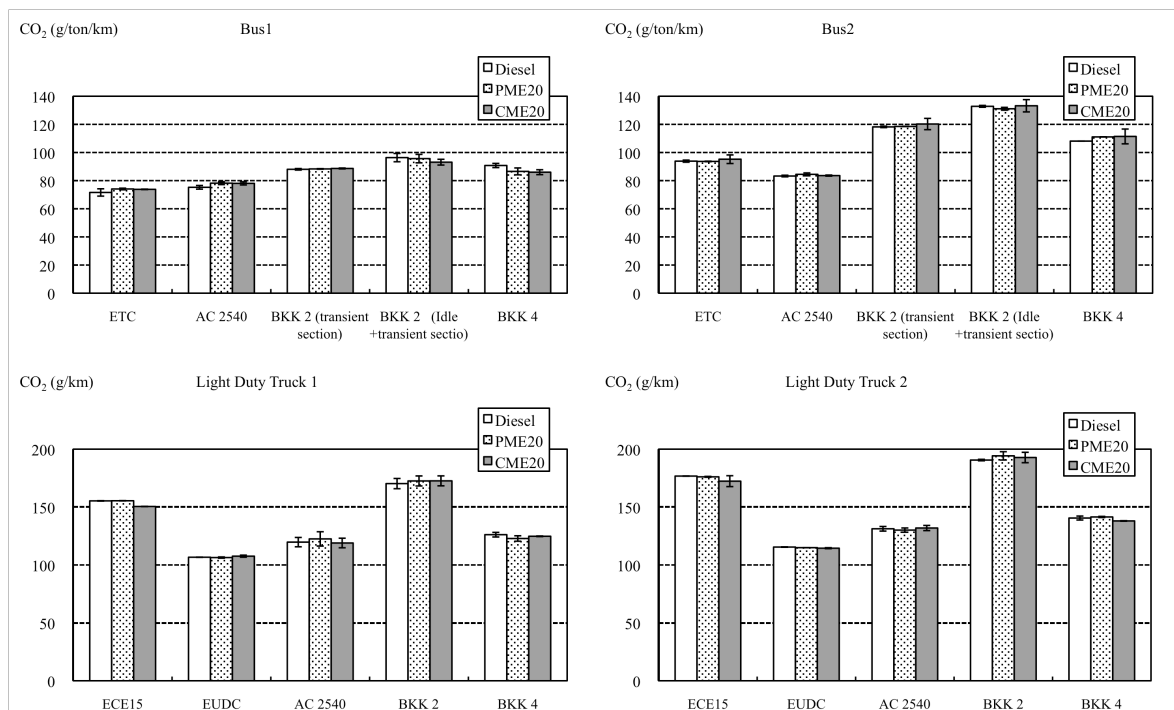


図 3-10 試験車両の走行モード別燃料別 CO<sub>2</sub> 排出係数

(左上:バス 1、右上:バス、左下:小型トラック 1、右下:小型トラック 2)

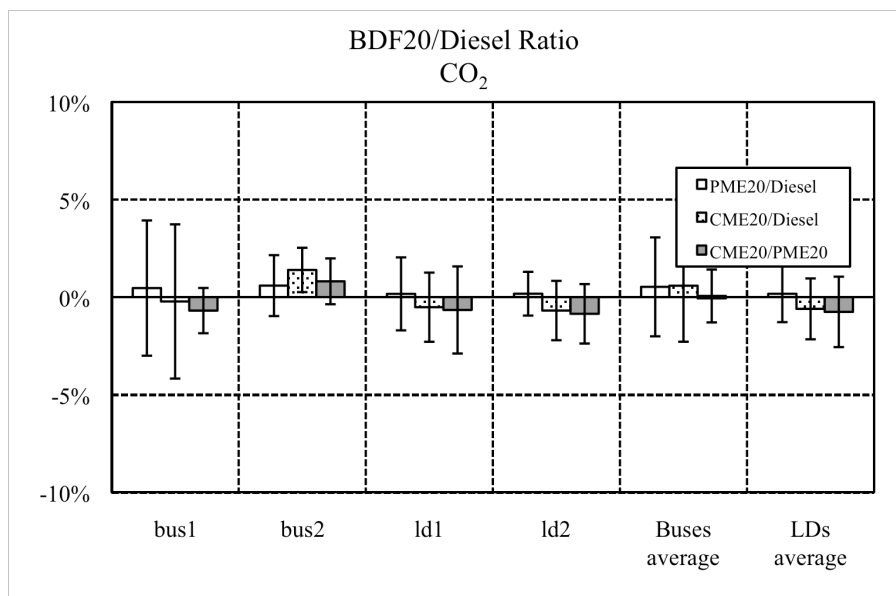


図 3-11 BDF20 の CO<sub>2</sub> 排出係数 (対軽油比)

表 3-38 試験車両の走行モード別燃料別 CO<sub>2</sub> 排出係数

	Bus 1					Bus 2				
	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4
Diesel										
Average (g/ton/km)	71.60	75.26	88.05	96.37	90.76	93.85	83.28	118.20	132.82	108.10
Std. dev. (g/ton/km)	2.6014	1.3039	0.5424	2.9448	1.4899	0.7545	0.5749	0.5162	0.6503	0.0424
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/ton/km)	74.07	78.19	88.33	95.66	86.57	93.66	84.47	118.52	131.08	111.08
Std. dev. (g/ton/km)	0.5742	1.0225	0.2029	3.0043	2.4409	0.1966	1.0225	0.0849	1.0038	0.0424
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/ton/km)	73.81	78.06	88.66	93.12	86.00	95.23	83.59	120.25	133.22	111.42
Std. dev. (g/ton/km)	0.1747	1.1356	0.3118	2.0495	1.7402	3.0597	0.3769	4.0022	4.3574	5.2609
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
	Light-Duty Truck 1					Light-Duty Truck 2				
	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4
Diesel										
Average (g/km)	155.34	106.68	119.72	170.26	126.16	176.76	115.46	131.24	190.58	140.52
Std. dev. (g/km)	0.1768	0.0636	4.0305	4.4260	1.9870	0.0919	0.1626	1.9940	0.6355	1.7112
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/km)	155.44	106.39	122.50	172.54	122.85	176.10	114.94	130.10	194.22	141.44
Std. dev. (g/km)	0.1485	0.5445	6.1872	4.3303	2.3547	0.3889	0.0495	1.8314	3.5993	0.5091
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/km)	150.51	107.59	118.97	172.63	124.78	172.37	114.48	131.90	192.79	138.02
Std. dev. (g/km)	0.0778	0.8839	4.1366	4.2950	0.2687	4.7023	0.4243	2.2345	4.4849	0.2121
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2

表 3-39 BDF20 の CO<sub>2</sub> 排出係数(対軽油比)

		Bus 1	Bus 2	LD 1	LD 2	Buses average	LDs average
PME20/Diesel	Average	0.5%	0.6%	0.2%	0.2%	0.5%	0.2%
	Std. dev.	3.5%	1.6%	1.9%	1.1%	2.5%	1.5%
CME20/Diesel	Average	-0.2%	1.4%	-0.5%	-0.7%	0.6%	-0.6%
	Std. dev.	4.0%	1.1%	1.8%	1.5%	2.9%	1.6%
CME20/PME20	Average	-0.7%	0.8%	-0.7%	-0.9%	0.1%	-0.8%
	Std. dev.	1.2%	1.2%	2.2%	1.5%	1.4%	1.8%

## (2) 燃費

燃費については、PME20 は軽油に比べて若干の低下がみられた。年式、車種、走行モードに依存した傾向はみられない。

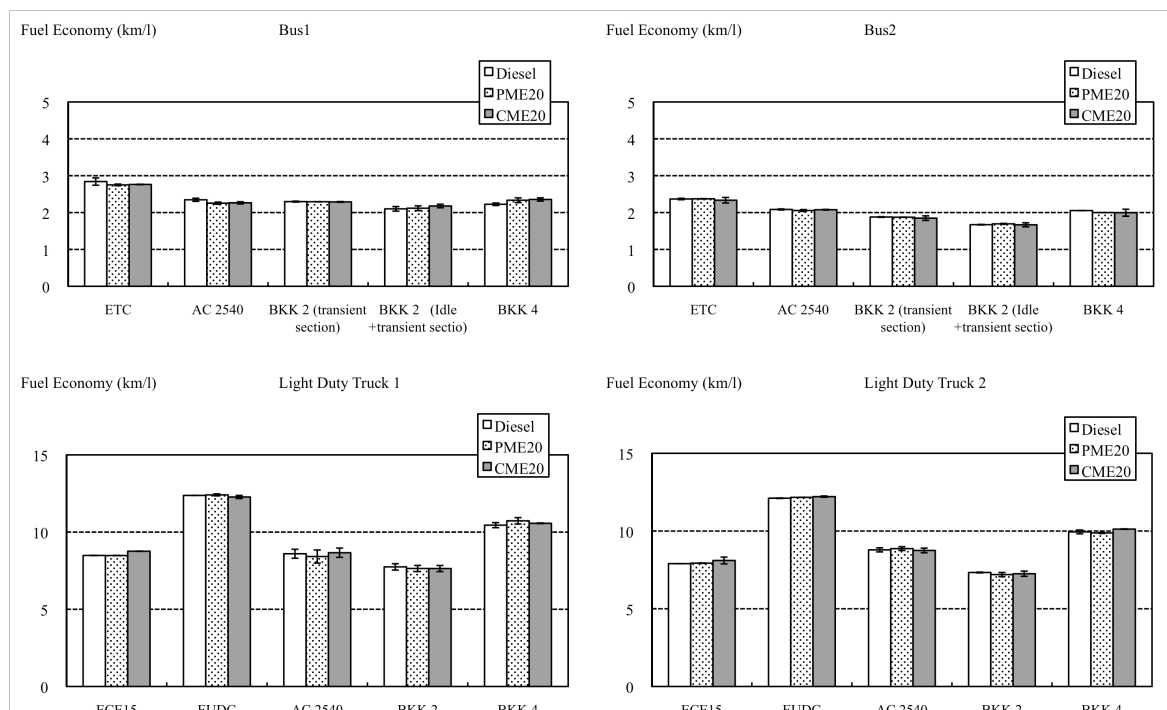


図 3-12 試験車両の走行モード別燃料別燃費

(左上:バス 1、右上:バス、左下:小型トラック 1、右下:小型トラック 2)

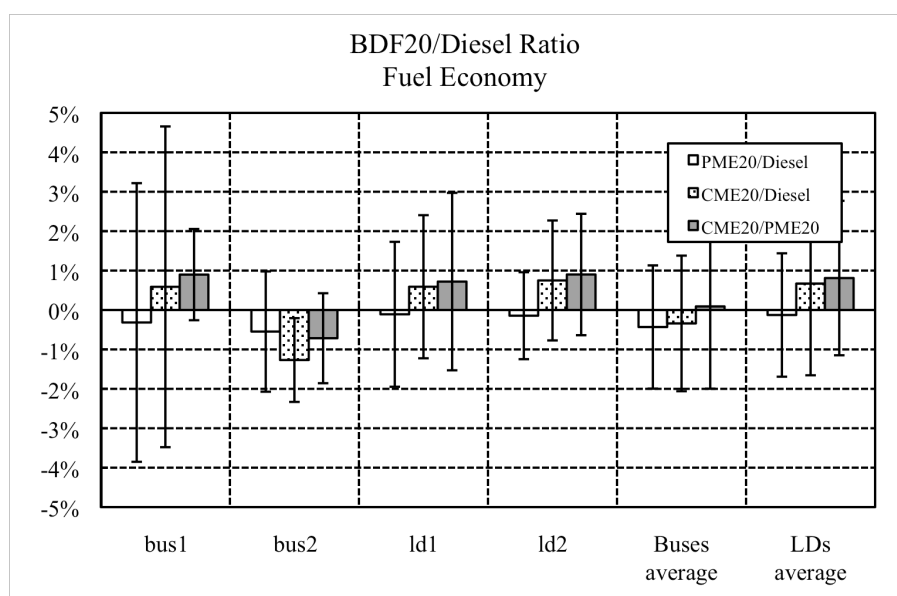


図 3-13 BDF20 の燃費(対軽油比)



表 3-40 試験車両の走行モード別燃料別燃費

	Bus 1					Bus 2				
	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4
Diesel										
Average (km/l)	2.84	2.35	2.30	2.10	2.23	2.37	2.08	1.88	1.67	2.05
Std. dev. (km/l)	0.099	0.042	0.013	0.062	0.034	0.005	0.029	0.010	0.047	0.044
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (km/l)	2.75	2.25	2.29	2.12	2.33	2.37	2.06	1.87	1.69	2.00
Std. dev. (km/l)	0.023	0.029	0.003	0.064	0.064	0.005	0.025	0.001	0.012	0.001
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (km/l)	2.76	2.26	2.29	2.18	2.36	2.33	2.08	1.85	1.67	2.00
Std. dev. (km/l)	0.005	0.029	0.010	0.047	0.044	0.075	0.009	0.062	0.054	0.094
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
	Light-Duty Truck 1					Light-Duty Truck 2				
	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4
Diesel										
Average (km/l)	8.49	12.37	8.60	7.75	10.45	7.90	12.11	8.79	7.33	9.94
Std. dev. (km/l)	0.009	0.006	0.289	0.205	0.165	0.003	0.019	0.130	0.025	0.121
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (km/l)	8.48	12.41	8.42	7.64	10.73	7.93	12.17	8.87	7.20	9.88
Std. dev. (km/l)	0.008	0.064	0.425	0.200	0.204	0.015	0.003	0.122	0.135	0.035
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (km/l)	8.48	12.41	8.42	7.64	10.73	8.11	12.21	8.75	7.25	10.13
Std. dev. (km/l)	0.006	0.100	0.301	0.199	0.023	0.219	0.042	0.149	0.168	0.015
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2

表 3-41 BDF20 の燃費(対軽油比)

		Bus 1	Bus 2	LD 1	LD 2	Buses average	LDs average
PME20/Diesel	Average	-0.3%	-0.5%	-0.1%	-0.1%	-0.4%	-0.1%
	Std. dev.	3.5%	1.5%	1.8%	1.1%	1.6%	1.6%
CME20/Diesel	Average	0.6%	-1.3%	0.6%	0.7%	-0.3%	0.7%
	Std. dev.	4.1%	1.1%	1.8%	1.5%	1.7%	2.3%
CME20/PME20	Average	0.9%	-0.7%	0.7%	0.9%	0.1%	0.8%
	Std. dev.	1.2%	1.1%	2.3%	1.5%	2.1%	2.0%

### 3-3-5 化石燃料起源の軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量との比較

#### (1) 単位発熱量・単位重量あたりの排出量の比較

##### 【土地利用転換以外】

化石燃料起源の軽油および PME の単位発熱量あたりのライフサイクル温室効果ガス排出量を図 3-14 および表 3-42 に示す。PME の単位重量あたりの排出量についても同様に示した。これらには土地利用転換プロセスは含まれていない。また、化石燃料起源の軽油のライフサイクル温室効果ガス排出量は、 $0.086 \text{ tCO}_2\text{-eq/GJ}$  または  $3.29 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME-eq}$  (tPME-eq: PME1ton 相当の熱量を持つ軽油) である。

これらの結果から、単位熱量（または単位重量）あたりでは、PME は化石燃料起源の軽油よりもライフサイクル温室効果ガス排出量が 28.8%少ない。これは軽油を PME で代替することで 28.8%の温室効果ガスが削減できることを示している。

また、主要なパラメータの最大値・最小値あるいは 95%信頼区間を考慮した PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は  $1.94 \sim 2.78 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  であることから（表 3-34 および図 3-6）、軽油と比較した削減率は 15.4%～41.0%の幅をもつ。

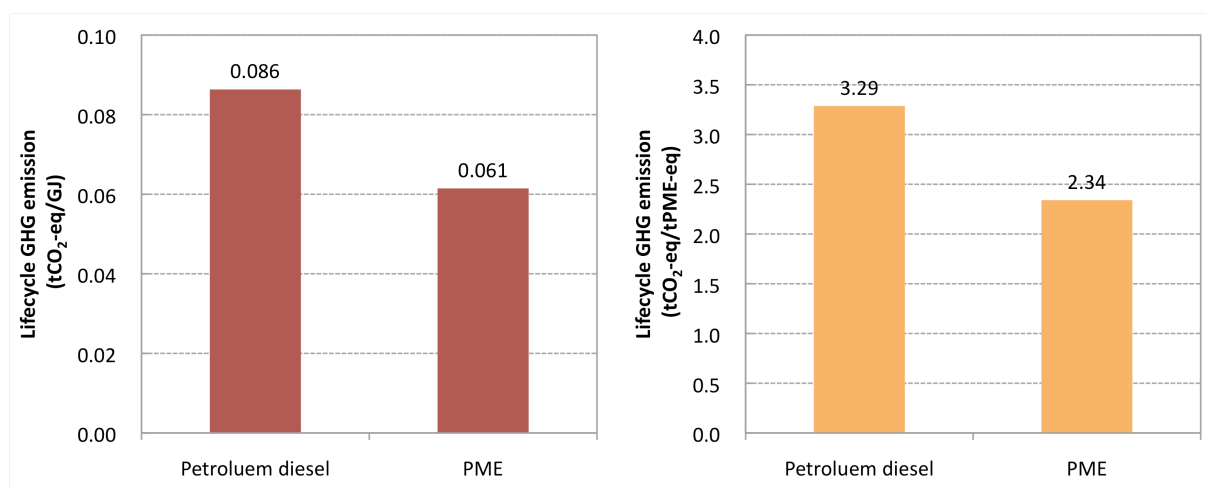


図 3-14 化石燃料起源の軽油および PME のライフサイクル温室効果ガス排出量

表 3-42 化石燃料起源の軽油および PME のライフサイクル温室効果ガス排出量

Parameter		Value	Unit	Source
Petroleum diesel	Well to Tank	0.012	tCO <sub>2</sub> -eq/GJ	*79
		0.467	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME -eq	Calculated
	Tank to Wheel	0.0741	tCO <sub>2</sub> /GJ	*33
		2.820	tCO <sub>2</sub> /tPME-eq	Calculated
	Total	0.086	tCO <sub>2</sub> -eq/GJ	Calculated
		3.29	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME-eq	Calculated
PME		0.061	tCO <sub>2</sub> -eq/GJ	This study
		2.34	tCO <sub>2</sub> -eq/tPME	This study

### 【土地利用転換含む】

化石燃料起源の軽油を 1 ton の PME で代替した場合の温室効果ガス排出削減量（軽油 – PME）の結果を図 3-15 に示す。この結果は、土地利用転換プロセスを含んでおり、土地利用別に削減量を示した。また、既往研究ベースと IPCC ベースの計算結果の両方をあわせた結果である。なお、これらの結果の詳細を表 3-43 および表 3-44 に示した。

PME の生産において土地利用転換を必要としない場合には、化石燃料起源の軽油を代替することで PME 1.0 ton あたりおよそ 0.95 tCO<sub>2</sub>-eq (= 3.29 – 2.34)、28.8%の温室効果ガス排出量の削減が見込まれる。荒地や草地、水田への新規プランテーションの場合は、それぞれ、2.77～8.98 tCO<sub>2</sub>-eq、1.68～7.33 tCO<sub>2</sub>-eq、6.05 tCO<sub>2</sub>-eq とさらに大きな削減効果が得られる可能性がある。果樹園やゴム林からの転換の場合は、若干の排出削減もしくは排出増になる（果樹園：-0.67 tCO<sub>2</sub>-eq、ゴム林：-4.03～1.66 tCO<sub>2</sub>-eq）。一方で、熱帯林からの転換の場合は、非常に大きな幅を持ち、ほとんどのケースで軽油と比べて大きく排出が増える結果となった（-32.79～2.94 tCO<sub>2</sub>-eq）。なお、これらの結果は、伐採された樹木が燃焼等によってすべて CO<sub>2</sub>に変換されると想定した計算結果であることに留意が必要である。例えば、熱帯林を伐採して得られた木材資源を有効活用する場合については考慮していない。

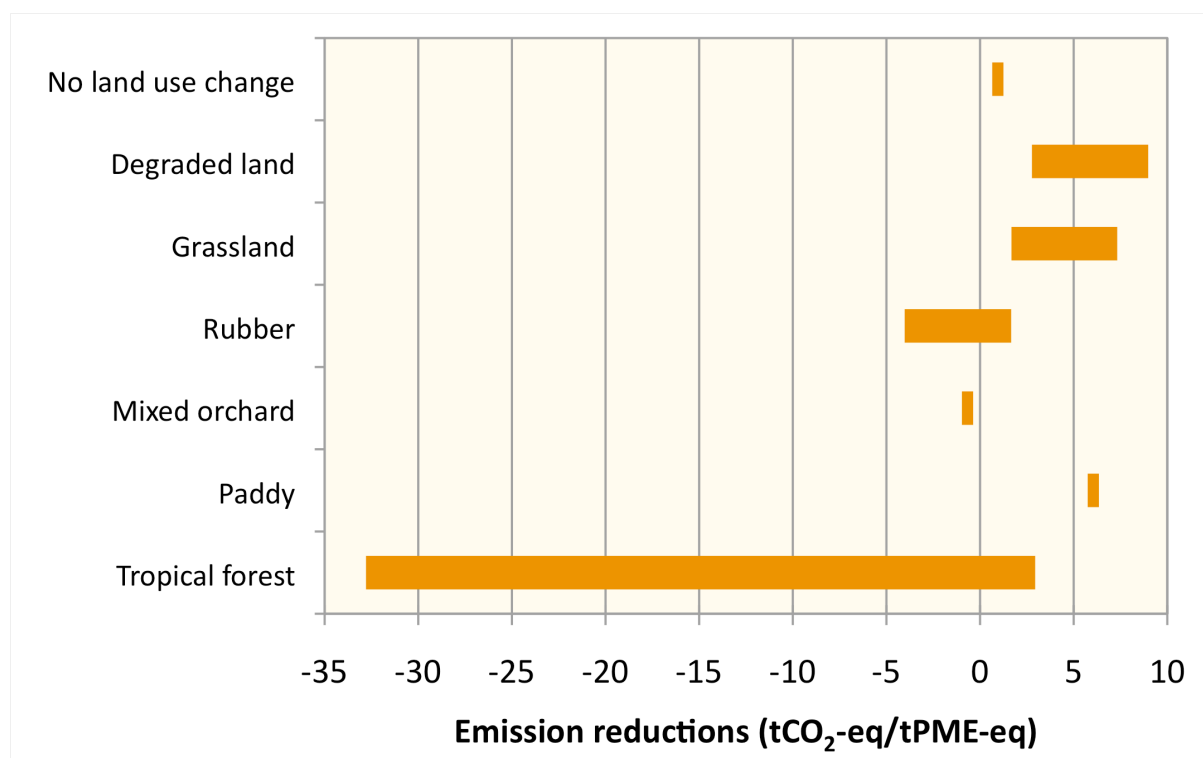


図 3-15 化石燃料起源の軽油を PME で代替した場合の温室効果ガス排出削減量（土地利用別、PME1 ton あたり）

表 3-43 化石燃料起源の軽油を PME で代替した場合の温室効果ガス排出削減量(土地利用別、PME1 ton あたり)(既往研究ベース)

Previous land use	GHG emission reductions (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME-eq)
Degraded land	2.77
Grassland	1.68 - 4.63
Rubber	-4.03
Mixed orchard	-0.67
Paddy	6.05
Tropical rain forest	-10.54 - -7.38
Tropical lowland forest	-16.69 - -2.37
Tropical rain forest (Peat)	-32.79 - -25.39
Tropical lowland forest (Peat)	-32.59 - -8.03

表 3-44 化石燃料起源の軽油を PME で代替した場合の温室効果ガス排出削減量(土地利用別、PME1 ton あたり)(IPCC ベース)

Previous land use	Climate Region	GHG emission reductions (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME-eq)		
		Low	Base	High
Degraded land (Severely Degraded Land)	Tropical, Moist	3.99	6.44	8.95
	Tropical, Wet	4.15	6.84	8.98
Degraded land (Moderately degraded grassland)	Tropical, Moist	3.37	5.68	7.91
	Tropical, Wet	3.44	5.87	7.92
Grassland	Tropical, Moist	2.82	5.12	7.31
	Tropical, Wet	2.89	5.29	7.33
Rubber	Tropical Wet or Moist	-2.49	-0.30	1.66
Tropical rain forest	-	-12.55	-2.66	-0.26
Tropical moist deciduous forest	-	-9.00	0.13	2.94

次に、土地利用転換プロセスを含む場合の、1 ha あたりの温室効果ガス排出削減量（軽油 – PME）の結果を図 3-16 に示す。この結果は、既往研究ベースと IPCC ベースの計算結果の両方をあわせたものである。なお、これらの結果の詳細を表 3-45 および表 3-46 に示した。1 ha あたりの削減量は、前述の PME 1ton あたりの削減量を、PME 1ton を生産するために必要な面積（0.405 ha/tPME（3-3-3 項参照））で除することで算定した。

荒地や草地、水田への新規プランテーションの場合は、それぞれ、6.85～22.20 tCO<sub>2</sub>-eq、4.15～18.11 tCO<sub>2</sub>-eq、14.95 tCO<sub>2</sub>-eq と大きな削減効果が得られる可能性がある。果樹園やゴム林からの転換の場合は、若干の排出削減もしくは排出増になる（果樹園：-1.65 tCO<sub>2</sub>-eq、ゴム林：-9.95～4.11 tCO<sub>2</sub>-eq）。一方で、熱帯林からの転換の場合は、非常に大きな幅を持ち、ほとんどのケースで軽油と比べて大きく排出が増える結果となった（-81.05～7.28 tCO<sub>2</sub>-eq）。

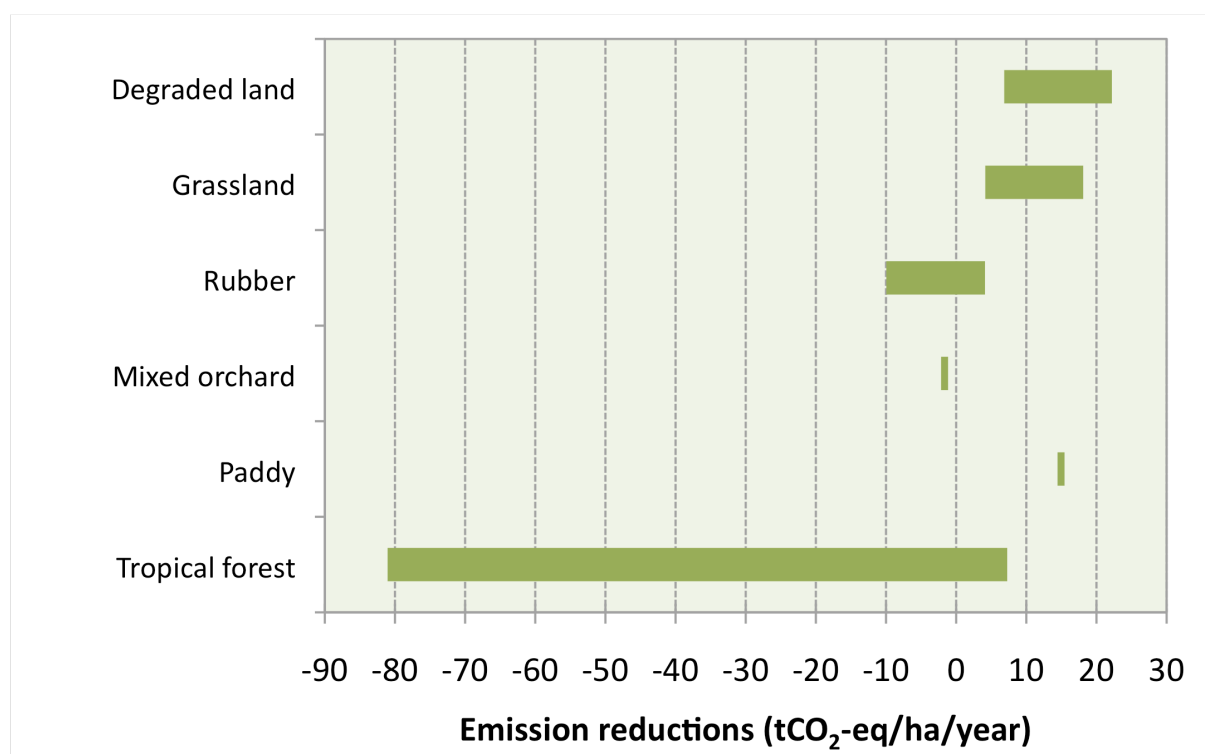


図 3-16 化石燃料起源の軽油を PME で代替した場合の温室効果ガス排出削減量（土地利用別、1ha\*1 年あたり）

表 3-45 化石燃料起源の軽油を PME で代替した場合の温室効果ガス排出削減量(土地利用別、1ha\*1  
年あたり)(既往研究ベース)

Previous land use	GHG emission reductions (tCO <sub>2</sub> -eq/ha/year)
Degraded land	6.85
Grassland	4.15 - 11.45
Rubber	-9.95
Mixed orchard	-1.65
Paddy	14.95
Tropical rain forest	-26.05 - -18.25
Tropical lowland forest	-41.25 - -5.85
Tropical rain forest (Peat)	-81.05 - -62.75
Tropical lowland forest (Peat)	-80.55 - -19.85

表 3-46 化石燃料起源の軽油を PME で代替した場合の温室効果ガス排出削減量(土地利用別、1ha\*1  
年あたり)(IPCC ベース)

Previous land use	Climate Region	GHG emission reductions (tCO <sub>2</sub> -eq/ha/year)		
		Low	Base	High
Degraded land (Severely Degraded Land)	Tropical, Moist	9.87	15.91	22.12
	Tropical, Wet	10.25	16.90	22.20
Degraded land (Moderately degraded grassland)	Tropical, Moist	8.33	14.05	19.55
	Tropical, Wet	8.51	14.52	19.58
Grassland	Tropical, Moist	6.97	12.66	18.08
	Tropical, Wet	7.14	13.08	18.11
Rubber	Tropical Wet or Moist	-6.16	-0.73	4.11
Tropical rain forest	-	-31.01	-6.58	-0.63
Tropical moist deciduous forest	-	-22.25	0.33	7.28

## (2) 単位走行距離あたりの排出量の比較

単位走行距離あたりの排出量においては、タイの公害管理局（Pollution Control Department: PCD）で実施した自動車排ガス試験のバスの結果を用いた。試験内容等は 3-2-6 項に示した。なお、ここでは PME20 と化石燃料起源の軽油の比較を示す。PME20 の結果には土地利用転換プロセスは含まれていない。

軽油の場合のバスの燃費は、2 台のバスおよびすべての走行モードの平均で 2.187 km/l であった。PME20 の場合は、同様に 2.175 km/l であった。PME20 の方が 0.4%程度、軽油より燃費が低い。CDM 方法論などでは、発熱量の差分だけバイオディーゼルの方が燃費が落ちるとして削減量を計算することになっているが、本研究結果ではほとんど変わらない（PME20 と軽油の発熱量の差は 2.3%。軽油および PME の発熱量を 43.0GJ/ton、38.07GJ/ton として計算）。

これらの燃費の結果から 1km あたりの燃料消費率を算出し、軽油および PME のライフサイクル温室効果ガス排出係数等を乗ずることで 1km 走行あたりの排出量を算定した。この結果を図 3-17 および表 3-47 に示す。

これらの結果から、単位走行距離あたりでは、PME20 は軽油よりもライフサイクル温室効果ガス排出量が約 6.4%少ない。

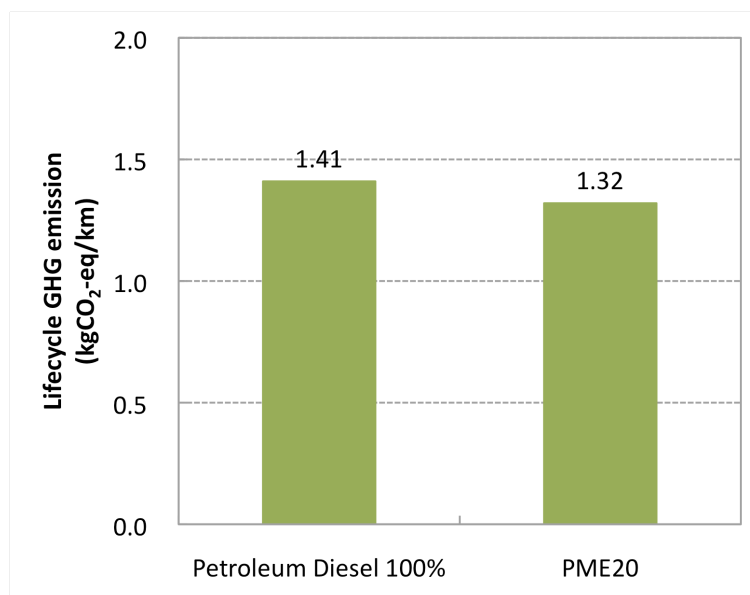


図 3-17 化石燃料起源の軽油および PME20 のライフサイクル温室効果ガス排出量



表 3-47 化石燃料起源の軽油および PME20 のライフサイクル温室効果ガス排出量

Parameter		PME20	Petroleum diesel	Unit
Fuel economy		2.175	2.187	km/l
Fuel efficiency		0.460	0.457	l/km
		0.386	0.380	kg/km
GHG emission factor	Well to Tank	2.34*	0.527	tCO <sub>2</sub> -eq/ton
	Tank to Wheel	0.00*	3.186	tCO <sub>2</sub> -eq/ton
GHG Emission	Well to Tank	0.34	0.20	kgCO <sub>2</sub> -eq/km
	Tank to Wheel	0.98	1.21	kgCO <sub>2</sub> -eq/km
	Total	1.32	1.41	kgCO <sub>2</sub> -eq/km

\*PME100 の場合の値

## 3-4 考察

## 【土地利用転換プロセスを含まない PME ライフサイクル温室効果ガス排出量】

土地利用転換プロセスを除く PME のライフサイクル温室効果ガス排出量（オイルパームの栽培から PME の消費までのプロセスの排出量の合計）は、PME 1.0 ton あたり 2.34 tCO<sub>2</sub>-eq であった。また、主要なパラメータの最大値・最小値あるいは 95%信頼区間を考慮した排出量の上限值、下限値はそれぞれ 2.78 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME、1.94 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であった。また、単位熱量（1GJ）あたり、単位栽培面積（1ha）あたり、単位走行距離（km）あたりの排出量は、それぞれ、0.061 tCO<sub>2</sub>-eq/GJ、5.78 tCO<sub>2</sub>-eq/ha、1.32 kgCO<sub>2</sub>-eq/km であった。

プロセス毎にみると、CPO 生産時に排出される POME のラグーン処理に伴う CH<sub>4</sub> 排出が 34.6%と高い割合を占めている。タイでは POME は多くの場合、ラグーンにより嫌気処理されているが、POME 対策によって PME ライフサイクル温室効果ガス排出量が大きく低減できる可能性がある。これについては次章に詳述する。また、化学肥料の使用に関連する排出量は 35.9%に上る結果となった。PME のライフサイクル温室効果ガス排出量を低減するためには、オイルパーム栽培時の化学肥料の適正な施用も重要な要素の 1 つであることが示唆された。なお、バイオ燃料の生産においては、施肥による N<sub>2</sub>O 放出が、バイオ燃料による化石燃料の代替による CO<sub>2</sub> 削減効果よりも大きい場合があることが指摘されている<sup>\*10</sup>。

また、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量への感度が高いパラメータは、CPO 生産効率や施肥量、FFB 単収、CPO 生産時の POME 排出量などであった。この結果から、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量を精確に算定するためには、これらのパラメータを高い精度で把握する必要があることが示唆された。

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量に関する既往の研究例は少ないが、Wicke ら<sup>\*148</sup>は 0.032 tCO<sub>2</sub>-eq/GJ、Thamsiriroj ら<sup>\*89</sup>は 0.0392 tCO<sub>2</sub>-eq/GJ と算定している。本研究結果の 0.061 tCO<sub>2</sub>-eq/GJ に比べて低い値であるが、Thamsiriroj ら<sup>\*89</sup>の結果にはライフサイクル温室効果ガス排出量のなかで最も大きい割合を占める POME からのメタン排出量が含まれていない。また、Beer ら<sup>\*4</sup>は PME20 など異なる燃料混合率のバイオ燃料について単位走行距離あたりの排出量を算出しているが、PME20 については 0.708 kgCO<sub>2</sub>-eq/km としている。この算定にも POME からのメタンは含まれていない。また、対象としている車種も本研究とは異なる。異なる研究者によるライフサイクル温室効果ガス排出量の評価結果を適切に比較するためには、対象とするプロセスや排出源の統一が必要となる。

オイルパーム以外の作物を原料とするバイオディーゼルについては、菜種油起源のバイオディーゼ

ル(RME)について既往の研究例が多く、Elsayed ら<sup>\*18</sup>は0.041 tCO<sub>2</sub>-eq/GJ、Calais ら<sup>\*5</sup>は0.048 tCO<sub>2</sub>-eq/GJ、Thamsiriroj ら<sup>\*89</sup>は0.062 tCO<sub>2</sub>-eq/GJなどと算定している。RMEの結果は本研究よりも低い値であるが、PME の場合にはパームオイル生産時の POME からのメタン排出量が多いことなどが一因として考えられる。

#### 【土地利用転換プロセスを含む PME ライフサイクル温室効果ガス排出量】

土地利用転換を含む PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、転換される前の土地利用の種類によって大きく異なる結果が得られた。土地利用状況の相違によるライフサイクル温室効果ガス排出量の差は、荒地の-5.69 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME から熱帯雨林(泥炭地)の 36.08 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME と非常に大きい。土地利用転換プロセス以外で最も排出量が多いのは、CPO 生産時の POME からの排出 (0.81 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME) であるが、その約 50 倍の幅を持つ。これらの結果は、PME の生産におけるライフサイクル温室効果ガス排出量においては、土地利用転換プロセスが重要なファクターであることを示唆している。

特に、熱帯雨林からオイルパームプランテーションへの転換を伴う PME 生産においては、最大 36.08 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME と多量の温室効果ガスが排出され、かつ大きな不確実性を持つ。なお、これらの結果は、伐採された樹木が燃焼等によってすべて CO<sub>2</sub>に変換されると想定した計算結果であることに留意が必要であり、例えば、熱帯林を伐採して得られた木材資源を有効活用する場合については考慮していない。

一方、タイにおいては、荒地の活用とともに、ゴム林や果樹園、水田からの転換が多いと想定されるが、これらの土地利用からの転換を伴う PME 生産によるライフサイクル温室効果ガス排出量は、熱帯林と比較すると少ない。特に荒地や草地、水田の場合は、オイルパームプランテーションへ転換することで正味の吸収源になる可能性も示唆している。

なお、特にゴム林、果樹園、水田起源の PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の相互の比較や、これらと軽油との比較の際には、本研究の結果が非常に限られたデータをもとに算定したものであることに留意が必要である。

さらに、前述のように対象とした土地利用形態は複数の機能を有している。例えば、果樹園や水田は、食料生産、エネルギー生産(穀穀)、炭素貯蔵等、ゴム林は、産業原料生産、エネルギー生産(ゴム伐採木)、炭素貯蔵等、熱帯林は、原生林の保持、生物多様性の保持、林産資源生産(地域居住者の薪等の燃料等)、水源涵養、炭素貯蔵等の機能を有する。LCA では、環境負荷低減効果を比較する場合、厳密には機能の統一をしなければならないが、本研究では機能の統一や補正をせず、炭素貯蔵の

機能に限定して温室効果ガス排出量の評価を行った。このように、機能の統一をしていないこと、また土地利用転換において他の機能の維持のために生じ得る間接的な土地利用転換による温室効果ガス排出を評価していないことにも留意が必要である。

#### 【軽油との比較】

PME の生産において土地利用転換を必要としない場合には、化石燃料起源の軽油を代替することで PME 1.0 ton あたりおよそ 0.95 tCO<sub>2</sub>-eq (= 3.29 – 2.34)、28.8%の温室効果ガス排出量の削減が見込まれる。また、主要なパラメータの 95%信頼区間を考慮した PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は 1.94~2.78 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であることから、軽油と比較した削減率は 15.4%~41.0%の幅をもつ。ただし、既存のオイルパームプランテーションから原料を調達することで食料等の他用途との競合が生じ、オイルパームの生産量を増加させるために間接的な土地利用転換が引き起こされる場合はこの限りではない。

また、荒地や草地、水田への新規プランテーションの場合の PME 1.0 ton あたりの削減量は、それぞれ、2.77~8.98 tCO<sub>2</sub>-eq、1.68~7.33 tCO<sub>2</sub>-eq、6.05 tCO<sub>2</sub>-eq とさらに大きな削減効果が得られる可能性がある。果樹園やゴム林からの転換の場合は、若干の排出削減もしくは排出増になる（果樹園：-0.67 tCO<sub>2</sub>-eq、ゴム林：-4.03~1.66 tCO<sub>2</sub>-eq）。一方で、熱帯林からの転換の場合は、非常に大きな幅を持ち、ほとんどのケースで軽油と比べて大きく排出が増える結果となった（-32.79~2.94 tCO<sub>2</sub>-eq）。特に、泥炭地における開発を伴う場合は軽油の 10 倍前後の排出量となった。単位面積あたりの温室効果ガス排出削減量も単位重量あたりの場合と同様の傾向が得られた。なお、これらの削減量においては、間接的な土地利用転換の評価、熱帯林等における伐採木の有効利用の評価、各土地利用が有する機能の統一を行っていないことに留意が必要である。

以上の結果は、温室効果ガス排出削減対策として PME を利用する場合には、どのような土地で生産されたオイルパームを原料とするかが重要な要素の一つとなることを示唆している。

## 第4章 温室効果ガス低減対策実施時の PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価

### 4-1 評価方法

---

3-3 で詳述したとおり、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、POME の処理、施肥、メタノール生産等のいくつかのプロセスの排出量が全排出量の多くの割合を占めている（POME からのメタン排出（34.6%）、施肥に伴う  $\text{N}_2\text{O}$  排出（15.0%）、肥料製造時の排出（20.9%）、メタノール製造時の排出（12.4%）、メタノール消費時の排出（9.0%）であり、これら 5 つのプロセスで 91.9%）。このため、これらのプロセスにおいて温室効果ガス低減対策を実施すれば、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は大きく低減できる可能性がある。

本章では、以下のプロセスについて温室効果ガス排出量を低減する対策技術を既往の研究や CDM プロジェクトのプロジェクト設計書（PDD: Project Design Document）等より調査した。特に、CPO 生産における POME 対策については、低減対策を実施した場合のライフサイクル温室効果ガス排出量を定量的に評価した。

- ・ CPO 生産時の POME 対策
- ・ オイルパーム栽培時の肥料対策
- ・ PME 生産・消費時のメタノール対策

#### 4-1-1 CPO 生産時の POME 対策

CPO を生産する際には、高濃度の有機物を含んだ多量の廃水（POME: Palm Oil Mill Effluent）が排出される。POME は、多くの場合、嫌気処理池（ラグーン）で処理されており、多量の CH<sub>4</sub> が大気中に放出されている。3-3 節に示したように、このプロセスの排出量は全体の 34.6% と非常に大きいため、POME 対策を講じることでライフサイクル温室効果ガス排出量を大きく低減できる可能性を示している。

POME を有効利用し、温室効果ガス排出量を低減する方法としては、POME から発生するバイオガスのフレアリング（CH<sub>4</sub> を燃焼させ CO<sub>2</sub> に変換）やバイオガス発電・熱利用、POME と EFB（Empty Fruit Bunch: 空果房）とのコンポスト化等がある。これらの技術は、近年、CDM を活用して特にマレーシア等に数多く導入されつつある。これらの CDM プロジェクトの登録状況を表 4-1 に示す。

本研究では、これらの対策から以下の代表的な 2 つの技術を定量評価の対象とした。

- ・ POME から発生するバイオガスの発電利用
- ・ POME・EFB のコンポスト利用

表 4-1(1) POME 対策 CDM プロジェクトの登録状況(2009 年 10 月 30 日時点)

Technology/Project	Country	Estimated GHG Emission reduction (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Reference number	Registration date
フレアリング				
Methane Recovery in Wastewater Treatment, Project AMA07-W-01, Perak, Malaysia	Malaysia	57,094	1616	17.Jun.08
バイオガス発電・熱利用				
Kim Loong Methane Recovery for Onsite Utilization Project at Kota Tinggi, Johor, Malaysia	Malaysia	55,934	867	8.Apr.07
Methane recovery and utilization project at United Plantations Berhad, Jendarata Palm Oil Mill, Malaysia	Malaysia	20,271	1153	8.Nov.07
Methane recovery and utilization project at TSH Kunak Oil Palm Mill, Sabah, Malaysia	Malaysia	77,640	916	19.Mar.08
KKSL Lekir Biogas Project, Project BCM07_SLK_14	Malaysia	33,955	1888	27.Sep.08
Methane Recovery for Onsite Utilisation Project at Desa Kim Loong Palm Oil Mill, Sook, Keningau, Sabah, Malaysia	Malaysia	38,685	1737	22.Oct.08
Methane capture from POME for electricity generation in Batu Pahat.	Malaysia	52,950	1783	24.Oct.08

表 4-1(2) POME 対策 CDM プロジェクトの登録状況(2009 年 10 月 30 日時点)

Technology/Project	Country	Estimated GHG Emission reduction (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Reference number	Registration date
バイオガス発電・熱利用				
Methane Capture and On-site Power Generation Project at Syarikat Cahaya Muda Perak (Oil Mill) Sdn. Bhd. In Tapah, Perak, Malaysia	Malaysia	67,133	2181	26.Jan.09
Methane Capture and On-site Power Generation Project at Sungai Kerang Palm Oil Mill in Sitiawan, Perak, Malaysia	Malaysia	78,962	2185	26.Jan.09
Univanich Lamthap POME Biogas Project	Thailand	27,897	2076	1.Feb.09
Chumporn applied biogas technology for advanced waste water management	Thailand	23,448	2148	9.Feb.09
Methane recovery and utilization through organic wastewater treatment in Malaysia	Malaysia	43,152	2313	14.Feb.09
FELDA Seriting Hilir Biogas Power Plant Project	Malaysia	35,476	2336	15.Mar.09
Methane recovery and utilization project at TSH Sabahan Palm Oil Mill, Sabah, Malaysia.	Malaysia	53,439	2332	19.Mar.09
Methane recovery and utilization project at TSH Lahad Datu Palm Oil Mill, Sabah, Malaysia	Malaysia	33,356	2330	20.Mar.09
FELDA Besout POME Biogas Project	Malaysia	22,803	2542	18.Jul.09
Univanich TOPI Biogas Project	Thailand	41,174	2661	24.Aug.09
Thachana Palm Oil Company Wastewater Treatment Project in Thailand	Thailand	23,844	2644	29.Aug.09
Green Glory Wastewater Treatment and Electricity Generation in Suratthani, Thailand	Thailand	16,916	2658	31.Aug.09
Felda Pancing and Pasoh Biogas Project	Malaysia	34,313	2603	4.Sep.09
Felda Chalok and Jerangau Barat Biogas Project	Malaysia	32,679	2651	19.Sep.09
Felda Maokil and Kemahang POME Biogas Project	Malaysia	42,799	2653	15.Oct.09
コンポスト化				
Co-composting of EFB and POME – MG BioGreen Sdn.Bhd (MGBG)	Malaysia	35,322	1198	4.Nov.07
Golden Hope Composting Project – Lavang	Malaysia	30,379	984	14.Dec.07
Golden Hope Composting Project – Melalap	Malaysia	3,382	1054	14.Dec.07
Golden Hope Composting Project – Kerdau	Malaysia	20,136	1107	14.Dec.07
Golden Hope Composting Project – Merotai	Malaysia	30,449	1108	14.Dec.07
Avoidance of methane production in POME treatment through Boustead Biotherm Palmass Technology	Malaysia	20,914	1795	25.Aug.08

表 4-1(3) POME 対策 CDM プロジェクトの登録状況(2009 年 10 月 30 日時点)

Technology/Project	Country	Estimated GHG Emission reduction (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Reference number	Registration date
コンポスト化				
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Tanjung Panjang Palm Oil Mill Sdn. Bhd.	Malaysia	31,058	2242	15.Feb.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Taclico Company Sdn. Bhd	Malaysia	14,856	2258	15.Feb.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Kilang Kelapa Sawit Selumpur Sdn. Bhd.	Malaysia	30,015	2274	19.Mar.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Lian Hup Palm Oil Mill (Owned by Harn Len Corporation Bhd., Palm Oil Mill Division)	Malaysia	14,778	2356	18.May.09
Co-composting with AVC POME Treatment System for Jugra Palm Oil Mill	Malaysia	30,763	2495	4.Jun.09
FELDA Trolak and Sampadi Composting Plants	Malaysia	20,259	2517	4.Jun.09
Co-composting with AVC POME Treatment System for Haranky Palm Oil Mill	Malaysia	25,621	2494	5.Jun.09
Co-composting with AVC POME Treatment System for Ban Dung Palm Oil Mill	Malaysia	25,098	2493	15.Jun.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Tong Len 2 Palm Oil Mill (Owned by QL Plantation Sdn. Bhd.)	Malaysia	23,204	2354	26.Jun.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Banting Palm Oil Mill Sdn. Bhd.	Malaysia	25,434	2355	29.Jun.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Malmaju Bina Sdn. Bhd.	Malaysia	18,432	2357	6.Jul.09



表 4-1(4) POME 対策 CDM プロジェクトの登録状況(2009 年 10 月 30 日時点)

Technology/Project	Country	Estimated GHG Emission reduction (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Reference number	Registration date
コンポスト化				
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Kilang Kelapa Sawit Bukit Pasir Sdn. Bhd.	Malaysia	23,602	2261	12.Jul.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Syarikat Peladang Dan Perusahaan Minyak Sdn. Bhd.	Malaysia	25,438	2358	13.Jul.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Seri Ulu Langat Palm Oil Mill Sdn. Bhd.	Malaysia	25,053	2352	19.Jul.09
Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Ever-Yield Sdn. Bhd. (Palm Oil Mill)	Malaysia	24,461	2492	19.Aug.09

※タイおよびマレーシアの登録プロジェクトを示す。これら以外にインドネシアやコロンビアで登録例がある。

### (1) POME から発生するバイオガスの発電利用

パームオイルミルでは、一般に図 4-1 のような POME 処理が行われている。POME は、パームオイルの製造プロセスにおいて 80℃～90℃という高温度で排出される。POME を冷却するため、まず冷却池で数時間貯留される。ここでは滞留時間が短いため、POME は嫌気状態になりにくく CH<sub>4</sub> は発生しない。その後、POME はラグーンに送られて嫌気処理が施される。滞留時間は約 80 日で、ラグーンの深さは 3m～8m 程度のものが使用されている。嫌気状態のもとで有機物は CH<sub>4</sub> として大気中に放出される。次に、別のラグーンで好気処理が行われる。滞留時間は約 40 日間で、ラグーンの深さは嫌気用ラグーンより浅く、1m 程度である<sup>\*162</sup>。以下では、このような通常の処理方法をベースラインという。

対策実施時（以下、プロジェクト）の処理方法としては、ここでは図 4-2 のように、嫌気処理池の代わりに嫌気性バイオガスダイジェスターを導入し、発生するバイオガス（主に CH<sub>4</sub>）を回収し、ボイラー燃料として用いることを想定した。本技術を導入することで、主に、ベースラインで大気中に放出されていたバイオガスを回収・燃焼することで温室効果ガス排出量が削減される。ベースライン排出量は、嫌気処理池から大気中に放出されていた CH<sub>4</sub> の排出量である。プロジェクト排出量は、主に、バイオガスの回収・燃焼時のリークや未燃焼分に伴う排出、およびバイオガスダイジェスター処理後の廃水から発生する若干の CH<sub>4</sub> 排出量である。

ベースラインとプロジェクトにおける POME 処理等の概要を表 4-2 に示した。

プロジェクト実施時の温室効果ガス排出削減量については、表 4-1 の各 CDM プロジェクトの PDD (Project Design Document) から、バイオガス回収・発電を導入することによる POME からの CH<sub>4</sub> 排出量（二酸化炭素換算）の削減率を算定し、これを本対策の削減率とした。なお、バイオガスによる発電電力によって系統電力を代替した場合の温室効果ガス排出量はカウントしないこととした。

タイにおいては、2009 年 6 月現在、3 か所でバイオガス利用が行われており、さらに 4 か所で導入が進められている（表 2-4 参照）<sup>\*142</sup>。

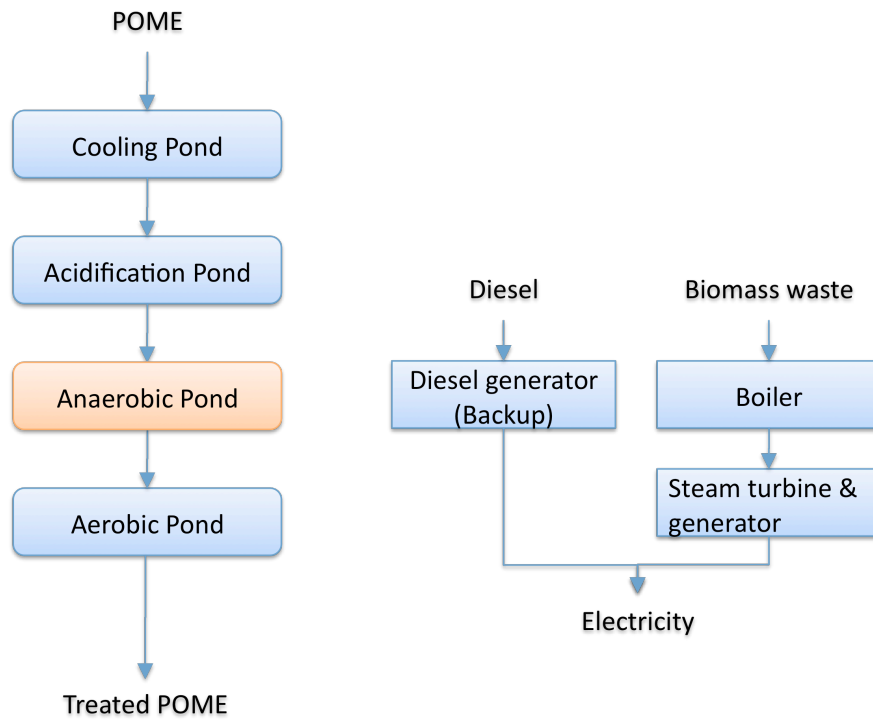


図 4-1 ベースラインの処理フロー（嫌気ラグーン処理、バイオガス回収無し）

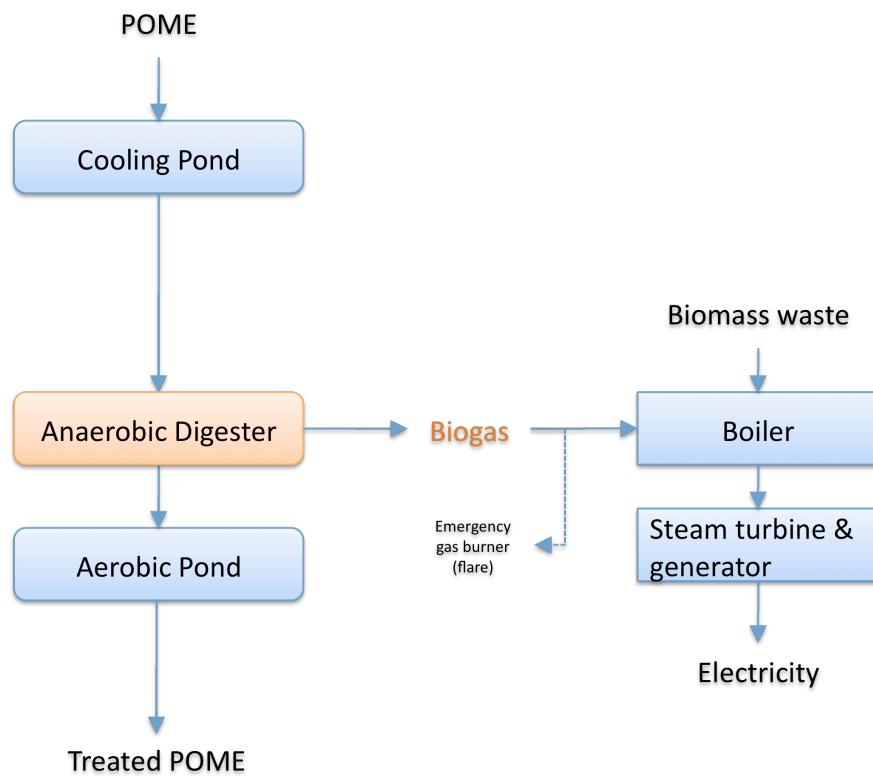


図 4-2 プロジェクトの処理フロー（嫌気処理、バイオガス回収・発電）

表 4-2 ベースラインとプロジェクトの概要(バイオガス回収・発電)

	Baseline	Project
POME treatment and biogas capture	Treated in open anaerobic lagoons and aerobic lagoons without methane recovery/capture	Treated in an anaerobic digester with biogas capture
Treated POME and sludge	Effluent after the anaerobic lagoons was treated in the other lagoons Sludge is pumped out to sludge drying beds before soil application	Effluent after the anaerobic digester will be further treated in the other lagoons Sludge is pumped out to sludge drying beds before soil application
Generator and boiler	Diesel generators, and biomass boilers using palm kernel and fibers are used	Biogas will be used in biomass boiler and will displace the diesel generator Excess biogas will be flared

## (2) POME・EFB のコンポスト利用

パームオイルミルでは、一般に図 4-3 のような POME および EFB の処理が行われている。POME の処理については前述のとおりである。EFB は、オイルミルの敷地内外に野積みあるいは投棄されていることが多い。なお、オイルパームプランテーションのマルチングやオイルミルのボイラー燃料に使われる場合もある。

プロジェクト実施時の処理方法としては、ここでは図 4-4 のように、嫌気処理池で処理されていた POME と、投棄されていた EFB を混合してコンポスト化することを想定した。本技術を導入することで、嫌気処理池から大気中に放出されていたバイオガスの発生を抑制できることから、温室効果ガス排出量が削減される。ベースライン排出量は、嫌気処理池から大気中に放出されていた  $\text{CH}_4$  の排出量である。プロジェクト排出量は、コンポスト処理に必要なエネルギー消費に伴う排出、およびコンポスト処理後の廃水から発生する若干の  $\text{CH}_4$  排出量である。

ベースラインとプロジェクトにおける POME 処理等の概要を表 4-3 に示した。

プロジェクト実施時の温室効果ガス排出削減量については、表 4-1 の各 CDM プロジェクトの PDD (Project Design Document) から、POME と EFB をコンポスト化することによる POME からの  $\text{CH}_4$  排出量（二酸化炭素換算）の削減率を算定し、これを本対策の削減率とした。

なお、現在のところ、タイにおいてはこのようなコンポスト利用技術の導入は確認されていない。

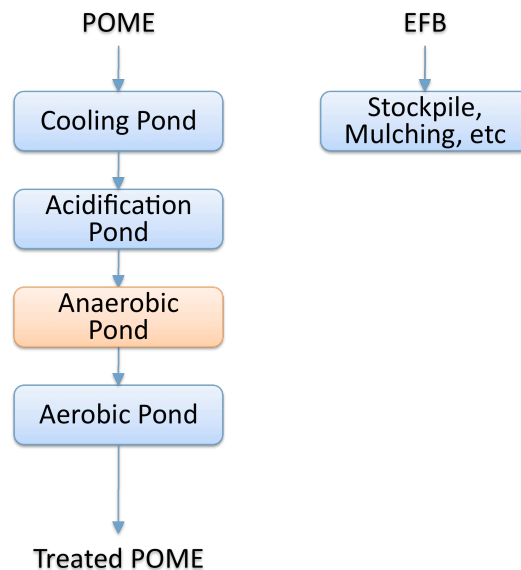


図 4-3 ベースラインの処理フロー（嫌気ラグーン処理、バイオガス回収無し）

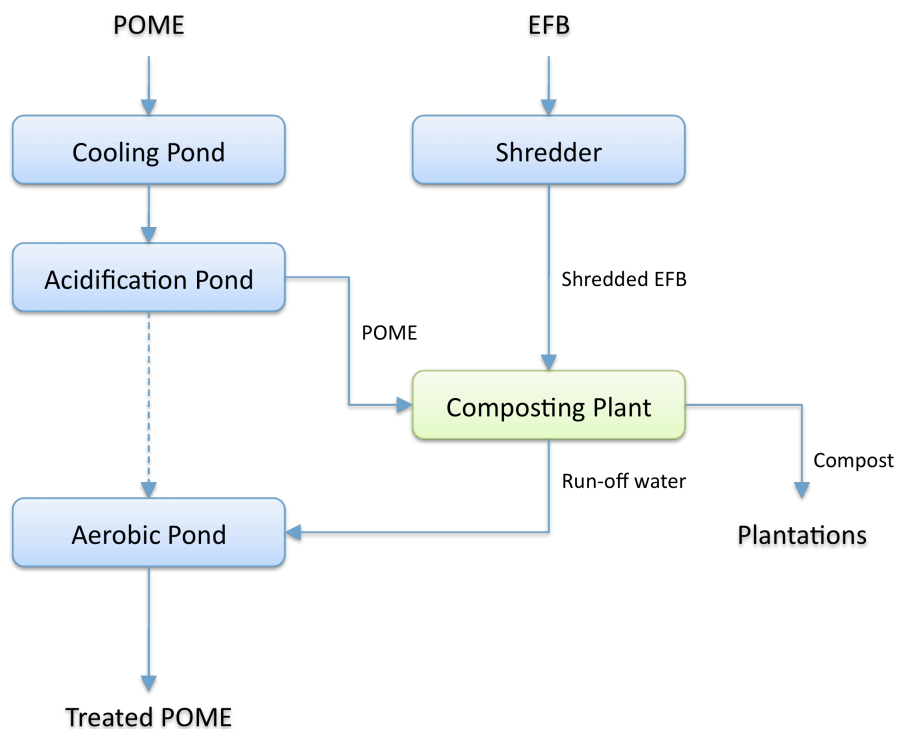


図 4-4 プロジェクトの処理フロー(POME・EFB コンポスト化)

表 4-3 ベースラインとプロジェクトの概要(POME・EFB コンポスト化)

	Baseline	Project
POME treatment	Treated in open anaerobic lagoons and aerobic lagoons without methane recovery/capture	Treated in a composting facility with EFB
Treated POME and sludge	Effluent after the anaerobic lagoons was treated in the other lagoons Sludge is pumped out to sludge drying beds before soil application	Effluent after the composting facility will be further treated in the other lagoons Sludge is pumped out to sludge drying beds before soil application

#### 4-1-2 オイルパーム栽培時の施肥対策

オイルパーム栽培における化学肥料の施肥量の改善等による温室効果ガス排出量低減の可能性について、既往の研究から定性的に考察し、4-2-2 項に示した。

#### 4-1-3 PME 生産・消費時のメタノール対策

PME 生産におけるバイオメタノールの使用による温室効果ガス排出量低減の可能性について、既往の研究から定性的に考察し、4-2-3 項に示した。

## 4-2 評価結果

---

### 4-2-1 CPO 生産時の POME 対策

#### (1) POME から発生するバイオガスの発電利用

表 4-1 に示した CDM プロジェクトとして登録されている 21 の POME バイオガス発電のプロジェクトの PDD（プロジェクト設計書：Project Design Document）から、各プロジェクト（バイオガス発電の導入）を実施することによる温室効果ガス排出削減率（POME からの CH<sub>4</sub> の削減率）は、52.0% から 100.0%であった（表 4-4）。この結果から、バイオガス発電導入時の温室効果ガス排出削減率は 21 のプロジェクトの平均値である 85.0%とした。なお、削減率の 95%信頼区間は 79.1% - 90.9%であった。対策無しの場合の POME からの温室効果ガス排出量は 0.81 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であることから、対策導入時の排出量は、0.12 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME ( $=0.81 \times (1-0.850)$ ) と算定された。

#### (2) POME・EFB のコンポスト利用

表 4-1 に示した CDM プロジェクトとして登録されている 21 の POME・EFB コンポストプロジェクトの PDD から、各プロジェクト（コンポスト技術の導入）を実施することによる温室効果ガス排出削減率（POME からの CH<sub>4</sub> の削減率）は、92.3%から 99.6%であった（表 4-5）。この結果から、コンポスト利用導入時の温室効果ガス排出削減率は 21 のプロジェクトの平均値である 97.3%とした。なお、削減率の 95%信頼区間は 96.6% - 97.9%であった。対策無しの場合の POME からの温室効果ガス排出量は 0.81 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であることから、対策導入時の排出量は、0.02 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME ( $=0.81 \times (1-0.973)$ ) と算定された。



表 4-4 POME バイオガスの発電利用技術導入時の温室効果ガス排出削減率等(計画値)

Reference number	Baseline emission (from POME) (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Project emission (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Emission reduction (from POME) (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Emission reduction rate
867	57,943	2,009	55,934	96.5%
1153	20,832	4,239	16,593	79.7%
916	69,945	5,105	64,840	92.7%
1888	58,212	24,257	33,955	58.3%
1737	38,616	472	38,144	98.8%
1783	50,707	7,730	42,977	84.8%
2181	67,137	4.2	67,133	100.0%
2185	78,967	4.9	78,962	100.0%
2076	32,892	7,522	25,370	77.1%
2148	39,175	16,632	22,543	57.5%
2313	50,803	7,651	43,152	84.9%
2336	39,821	5,973	33,848	85.0%
2332	56,493	3,259	53,234	94.2%
2330	35,280	2,074	33,206	94.1%
2542	25,730	3,264	22,466	87.3%
2661	45,481	7,468	38,013	83.6%
2644	21,855	722	21,133	96.7%
2658	28,089	13,474	14,615	52.0%
2603	38,889	5,040	33,849	87.0%
2651	37,183	4,761	32,422	87.2%
2653	48,205	6,219	41,986	87.1%
			Minimum	52.0%
			Average	85.0%
			Maximum	100.0%
			Standard deviation	13.8%
			95% CI	79.1% - 90.9%

※上記はいずれもプロジェクトが開始される前の推計値である。

※登録番号(Reference number)は表 4-1 参照

※プロジェクト排出量: バイオガス発電システムからのメタンのリーク、未燃焼分のメタン、嫌気処理後の POME からのメタン排出量等が含まれる。

表 4-5 POME・EFB コンポスト技術導入時の温室効果ガス排出削減率等(計画値)

Reference Number	Baseline emission (from POME) (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Project emission (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Emission reduction (from POME) (tCO <sub>2</sub> -eq/year)	Emission reduction rate
1198	14,884	1,147	13,737	92.3%
984	30,634	255	30,379	99.2%
1054	3,404	22	3,382	99.4%
1107	20,423	287	20,136	98.6%
1108	30,634	185	30,449	99.4%
1795	21,274	360	20,914	98.3%
2242	32,027	970	31,058	97.0%
2258	15,377	521	14,856	96.6%
2274	30,968	953	30,015	96.9%
2356	15,293	515	14,778	96.6%
2495	31,752	989	30,763	96.9%
2517	20,347	88	20,259	99.6%
2494	26,460	839	25,621	96.8%
2493	25,931	833	25,098	96.8%
2354	23,965	760	23,205	96.8%
2355	26,239	805	25,434	96.9%
2357	19,051	619	18,432	96.8%
2261	24,356	754	23,602	96.9%
2358	26,248	811	25,437	96.9%
2352	25,850	797	25,053	96.9%
2492	25,244	783	24,461	96.9%
			Minimum	92.3%
			Average	97.3%
			Maximum	99.6%
			Standard deviation	1.5%
			95% CI	96.6% - 97.9%

※上記はいずれもプロジェクトが開始される前の推計値である。

※登録番号(Reference number)は表 4-1 参照

※プロジェクト排出量:コンポスト施設における電力や化石燃料消費に伴う二酸化炭素排出量、コンポスト処理後の流出 POME からのメタン排出量等が含まれる。

### (3) POME 対策実施時の PME ライフサイクル温室効果ガス排出量

POME 対策実施時の PME のライフサイクル温室効果ガス排出量を図 4-5 および表 4-6 に示す。

ベースラインでは、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は 2.34 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME である。POME から放出されるバイオガスの回収・発電を導入した場合は 1.65 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であり、ベースラインに比べて 29.5%削減される。POME および EFB のコンポスト化では 1.55 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であり、33.8%削減される。

また、表 4-4 および表 4-5 においてバイオガス回収・発電およびコンポスト化導入の際の削減率の 95%信頼区間を計算し、POME からの排出量およびライフサイクル温室効果ガス排出量の 95%信頼区間を算定し、表 4-6 にあわせて示した。

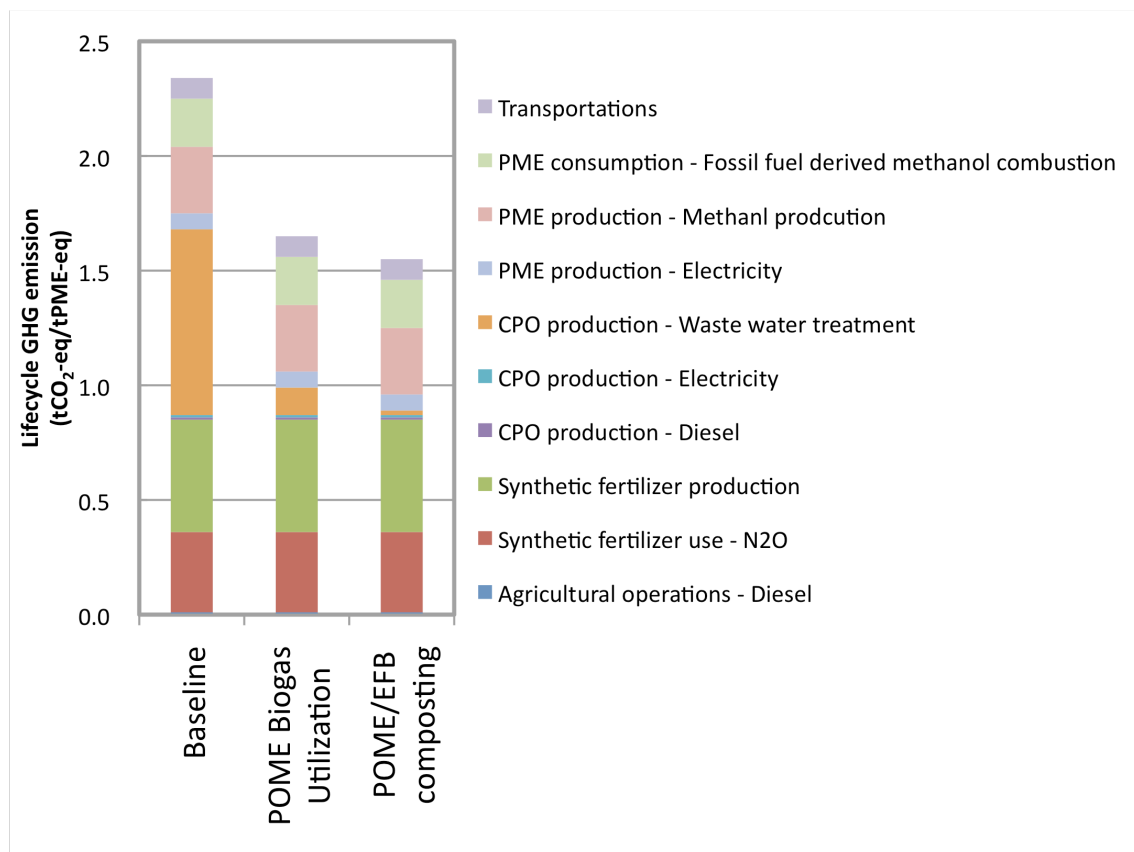


図 4-5 POME 対策実施時の PME ライフサイクル温室効果ガス排出量

表 4-6 POME 対策実施時の PME ライフサイクル温室効果ガス排出量

	Baseline (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)	POME Biogas Utilization (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)	POME/EFB composting (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)
Oil palm cultivation	0.85	1.00	1.00
Agricultural operations – Diesel	0.01	0.01	0.01
Synthetic fertilizer use – N <sub>2</sub> O	0.35	0.35	0.35
Synthetic fertilizer production	0.49	0.49	0.49
CPO production	0.83	0.14 (0.09-0.19)	0.04 (0.04-0.05)
Diesel	0.01	0.01	0.01
Electricity	0.01	0.01	0.01
Waste water treatment	0.81	0.12 (0.07-0.17)	0.02 (0.02-0.03)
PME production	0.36	0.36	0.36
Electricity	0.07	0.07	0.07
Methanol production	0.29	0.29	0.29
PME consumption – Fossil fuel derived methanol combustion	0.21	0.21	0.21
Transportations	0.09	0.09	0.09
Total	2.34	1.65 (1.60-1.70)	1.55 (1.55-1.56)
Reduction rate	-	29.5% (27.4-31.6%)	33.8% (33.3-33.8%)

※()内は 95%信頼区間。削減率の 95%信頼区間は表 4-4 および表 4-5 参照。

## 4-2-2 オイルパーム栽培における施肥対策

オイルパーム栽培における化学肥料の施肥量の改善等による温室効果ガス排出量低減の可能性について、既往の研究結果から考察した。

オイルパーム栽培においては、有機肥料として EFB (Empty Fruit Bunch: 空果房) が使われるケースがあり、その化学肥料の代替効果についていくつかの研究例がある。EFB は、パームオイルミルにおいてパームオイルの生産の際に排出される残渣であり、一部はオイルパームプランテーション等でマルチング用途として用いられるが、ほとんどは廃棄または野積みにされている。

Asy Syura ら<sup>\*1</sup>は、マレーシアのジョホール州の FELDA 社の Maokil7 農園において、EFB によって化学肥料を一部代替した場合と、化学肥料のみの場合とでオイルパームの収量を比較している。実験は 3 か所 (①土壌 A (Sandy Cempaka Liat)、②土壌 B (Cempaka Lating)、③土壌 B (河川に隣接)) で実施されており、①および②の場合には、化学肥料のみの施肥に比べてそれぞれ 21%、26%収量が落ち、③の場合には有意な差はなかったとしている。

Chiew ら<sup>\*8</sup>は、施肥量や EFB の投入量を変えた場合のオイルパームの収量等について、フィールドにおいて実験をしている。この結果の一部を表 4-7 に示す。窒素系肥料の施肥量を増加させると収量が増えることがわかる。特に施肥量がゼロの場合は収量が非常に低い結果となっている。また、EFB を一定量 (37.5t) 投入することで収量が増加するとの結果も示されている。さらに、EFB を 75t 投入した場合には、窒素系肥料が 0kg であっても一定の収量 (34.03 tFFB/ha/year) が得られる結果となっている。これは窒素系肥料を 0.735kgN/palm/year 施肥したケース (EFB 投入量はゼロ) を超える収量である。参考までに 0.735kgN/palm/year (108.8 kgN/ha/year) は、本研究におけるタイでの平均値 (134.6 kgN/ha/year) よりも若干低い量である。

表 4-7 N 施肥量および EFB 投入量を変化させた場合のオイルパームの収量 (tFFB/ha/year)

		Application of N fertilizer kgN/palm/year		
		0	0.735	1.47
Application of EFB tEFB/ha/year	0	21.03	32.84	34.20
	37.5	29.94	35.57	37.19
	75	34.03	35.44	35.75

以上より、EFB を化学肥料の代替肥料として投入することで、収量を減少させることなく化学肥料

の使用を減らすことができる可能性はある。しかしながら、その定量的な評価を行っている研究は多くなく、また土壌や諸処の条件によって異なる結果になると想像される。また、多くの場合は、EFB は化学肥料の代替ではなく、化学肥料に追加的に投入するといった使われ方がなされている。EFB や 其他有機肥料による化学肥料の削減効果についての定量的な評価は、今後の研究が待たれるところである。

#### 4-2-3 PME 生産・消費時のメタノール対策

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量において、メタノールに関連する排出割合は以下のとおり高い割合を占めている（表 3-32）。

①メタノールの生産に伴う GHG 排出量：12.4%

②PME 消費時におけるメタノール起源の炭素の燃焼に伴う CO<sub>2</sub> 排出量：9.0%

天然ガスから製造するメタノールなど化石燃料起源のメタノールをエステル交換に用いる限り、②の排出量は削減することはできないが、バイオマス起源のバイオメタノールを用いることができれば、PME に含まれる炭素はすべてバイオマス起源となることから、②はゼロとみなすことができる。

一方、①のメタノールの生産に伴うエネルギー消費量について、トヨタ自動車ら<sup>\*161</sup>の研究では、天然ガスからの製造の場合が 0.777～1.205 MJ/MJ であり、木質バイオマスからのメタノール製造の場合は 0.657～1.321 MJ/MJ と両方で大きくは変わらないことを報告している。

以上より、エステル交換反応において、天然ガス起源のメタノールの代わりにバイオメタノールを用いることで温室効果ガス排出量を削減できる可能性はある。しかし、原料収集、生産コストの低減等、バイオメタノールの実用化に向けた課題をクリアする必要がある。

### 4-3 考察

#### 【対策の効果】

本研究では、特に POME のラグーン処理において発生する CH<sub>4</sub> 低減対策の効果について定量的に評価した。POME からの CH<sub>4</sub> 低減対策としては、バイオガスの回収・発電、EFB との混合コンポスト化、フレアリング等がある。近年、CDM プロジェクトとして、インドネシアやマレーシアにおいてバイオガスの回収・発電やコンポスト化等がそれぞれ 20 件以上登録されている。本研究では、これらの CDM プロジェクトの実例を参考に低減効果を定量的に評価した。

特段の対策をしないケース（ベースライン）では、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は 2.34 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であった。POME から放出されるバイオガスの回収・発電を導入した場合は 1.65 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME でありベースラインに比べて 29.5%削減され、POME および EFB のコンポスト化では 1.55 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であり 33.8%と、それぞれ大きく削減される結果となった。

これらの結果から、近年の POME 対策 CDM プロジェクトによって、パームオイルミルでの温室効果ガス排出量が削減されているばかりでなく、そこで生産されるパームオイルを原料とする PME のライフサイクル温室効果ガス排出量も大きく低減されてきていると言える。しかし、タイにおいてはこれらの技術が導入されているパームオイルミルは 38 か所中、7 か所のみである（2009 年 6 月現在）。

また、オイルパーム栽培における施肥対策として、既往の研究から、EFB を化学肥料の代替肥料として投入することで、収量を減少させることなく化学肥料の使用を減らすことができる可能性を示す研究例があるが、実態としては多くの場合は、EFB は化学肥料の代替では無く、化学肥料に追加的に投入するといった使われ方がなされている。このため、EFB やその他有機肥料による化学肥料の削減効果についての定量的な評価は、今後の研究が待たれるところである。

#### 【軽油との比較】

PME の生産において土地利用転換を必要としない場合には、化石燃料起源の軽油を代替することで PME 1.0 ton あたりおよそ 0.95 tCO<sub>2</sub>-eq (= 3.29 – 2.34)、28.8%の温室効果ガス排出量の削減が見込まれることは既に示した（図 3-14）。POME から放出されるバイオガスの回収・発電を導入した場合は軽油に比べて 1.64 tCO<sub>2</sub>-eq (= 3.29 – 1.65)、49.8%の削減となる。POME および EFB のコンポスト化では 1.74 tCO<sub>2</sub>-eq (= 3.29 – 1.55)、52.9%とさらに大きく削減される。

これらの結果から、PME を利用する場合には、POME 対策が施されているオイルミルからのパームオイルを活用することで比較的大きな温室効果ガス排出削減量が得られることが示唆される。

## 第5章 バイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性および実現に向けた提言

### 5-1 バイオディーゼル CDM プロジェクトの現状と課題

#### 5-1-1 CDM の概要

クリーン開発メカニズム（Clean Development Mechanism : CDM）は、京都議定書により温室効果ガス排出削減が義務づけられている先進国（国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の附属書 I 国）と削減義務を有していない開発途上国（UNFCCC 非附属書 I 国）の間での温室効果ガス排出削減スキームである。

CDM では、非附属書 I 国で温室効果ガス排出削減プロジェクトを実施し、温室効果ガス排出量を削減する。附属書 I 国は、そのプロジェクトによって発行されたクレジット（Certified Emission Reduction : CER）を獲得することができる（図 5-1）。CDM の実施を通じて、附属書 I 国（投資国）の温室効果ガス排出削減の目標達成を支援すると同時に、非附属書 I 国（ホスト国）の持続可能な開発に貢献することを目的としている<sup>\*157</sup>。

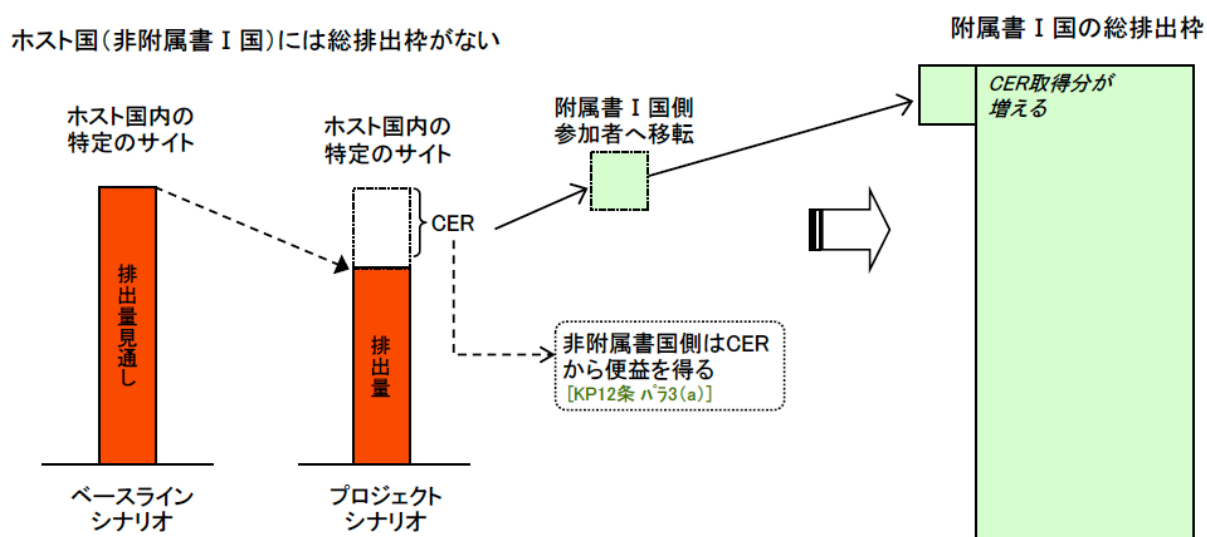


図 5-1 CDM プロジェクトのイメージ

出典：図解京都メカニズム<sup>\*159</sup>



CDM プロジェクトを実現するためには、UNFCCC（United Nations Framework Convention on Climate Change：気候変動に関する国際連合枠組条約）の CDM 理事会によって承認された「方法論」に従って、プロジェクトの技術や温室効果ガス排出削減量、モニタリング方法を記述した PDD（Project Design Document：プロジェクト設計書）を作成する必要がある。方法論は、プロジェクトによる温室効果ガス排出削減量を算定・モニターする方法を示す手順書であり、プロジェクトの種類や技術毎に既に多くの方法論が CDM 理事会によって承認されている。当該プロジェクトに適用できる方法論が既にある場合はそれに従って PDD を作成する。無い場合には、プロジェクトを実施する事業者あるいはコンサルタント等が新方法論を作成し、CDM 理事会の承認を得なければならない。CDM プロジェクトの実施フローの概要を図 5-2 に示す。

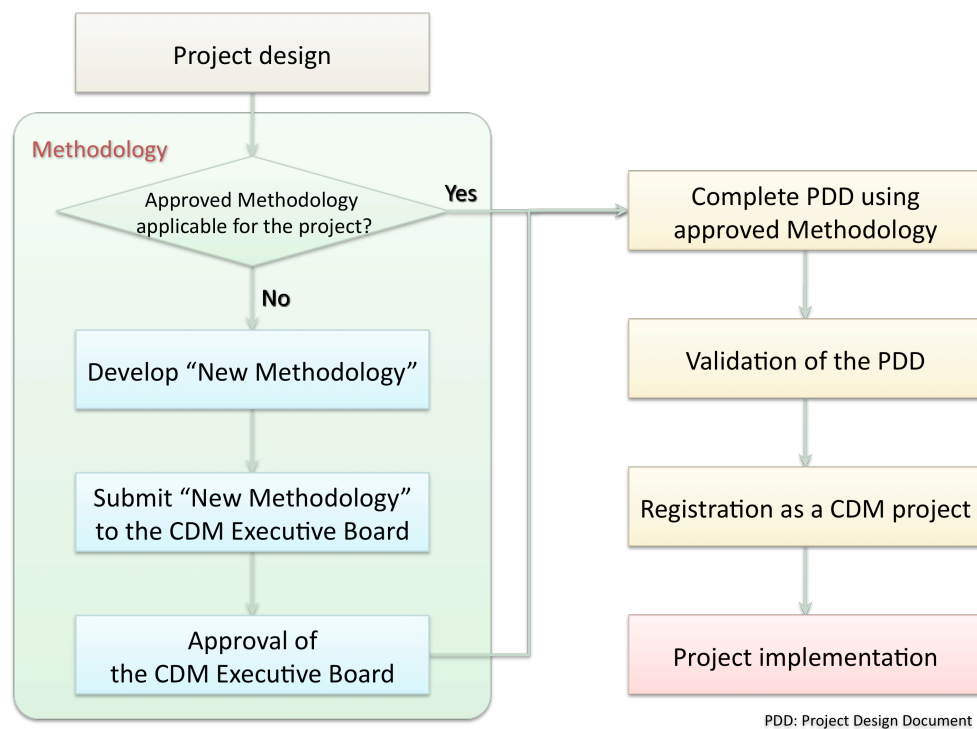


図 5-2 CDM プロジェクトの実施フローの概要

## 5-1-2 バイオディーゼル CDM プロジェクトの意義と現状

### 【CDM を活用したバイオディーゼルプロジェクト推進の意義】

バイオエタノールやバイオディーゼル等のバイオ燃料の導入は、化石燃料消費の低減によるエネルギー対策や温室効果ガス排出削減対策として推進されているが、森林や既存の土地利用の転換等による地域環境の悪化、食料との競合等、様々な悪影響が懸念されている。また、温室効果ガス排出の削減に寄与しないのではないかという懸念もある。

CDM プロジェクトでは、温室効果ガス排出削減量の算定に必要なパラメータを毎年モニタリングし、削減量を算定し、一般に公表した上で、第三者機関による有効化審査、国連の厳格な審査を受ける必要がある。このため、温室効果ガス排出量が削減されないプロジェクトは制度的に実現できない。さらに、CDM プロジェクトでは、実施にあたって開発途上国の政府承認（主に環境影響や持続可能な開発に寄与するかどうかのチェック）を得る必要があるため、開発途上国の持続可能な発展に寄与せず、環境破壊につながるプロジェクトは実現できない。特に、バイオディーゼルの CDM プロジェクトの承認方法論では、森林破壊や食料との競合等が生じないように適用可能な条件（開墾可能な土地利用のタイプ等）が厳密に定められており、またライフサイクルでの排出量を算定することとされている。このため、バイオディーゼル導入プロジェクトを CDM プロジェクトとして実施することで、バイオディーゼルに関して懸念されている環境課題の一端が解決できる可能性がある。

さらに、CDM プロジェクトとして実施する場合には、温室効果ガス排出削減量に応じてクレジット（CER: Certified Emission Reduction）を得ることができ、プロジェクト実施者は、CER を先進国等に売却することで追加的な収入が得られる。CER 売却による追加的な収入は、バイオディーゼル生産プロジェクトの採算性の向上に寄与するばかりでなく、プロジェクト実施者の裁量により、バイオディーゼルの販売価格の低減、パームオイルミルの環境対策への投資、オイルパーム生産農家への還元など様々な使い方ができる。特に、オイルパーム生産農家へ一部還元することで、様々な効果が期待できる。例えば、荒地や耕作放棄地での新規プランテーションの場合には、それらの土地へ栽培農家を呼び込み、農家が新たに栽培をはじめるインセンティブとなり得る。環境保全の観点からは、栽培農家を巻き込んで化学肥料を低減した有機栽培等を促進するプログラム等を組織することで、温室効果ガスの排出をさらに低減したバイオディーゼル生産プロジェクトを実現できる。また、新規プランテーションの開発を伴うプロジェクトで他の農地（例えば果樹園）からの転換の場合、従来の農家へ追加的な収入を配分することで彼らが他の土地へ移転することを抑えることができる可能性があり、間接的な土地利用転換を防ぐ手立てとなり得る。

# 【バイオディーゼル CDM プロジェクトの現状】

世界で最初の CDM プロジェクト<sup>\*99</sup>が 2004 年 11 月 18 日登録されてからおよそ 5 年が経過するが、バイオディーゼルの自動車用燃料として用いた CDM プロジェクトは未だ実現していない。これはこれまでバイオディーゼルプロジェクトに適用できる承認方法論が無かったためである。

植物油起源のバイオディーゼルに関する方法論は、筆者らが 2005 年 10 月に提案していたが<sup>\*98</sup>、およそ 4 年の歳月を要して第 50 回 CDM 理事会（2009 年 10 月 13 日～16 日）でようやく承認されたばかりである（ACM0017: Production of biodiesel for use as fuel (version 01)<sup>\*96</sup>）。このため、これまでは植物油起源のバイオディーゼルプロジェクトは CDM として実施できなかった。方法論が承認されたため、今後、植物油起源のバイオディーゼル CDM プロジェクトが少しずつ進んでいくと思われる。なお、廃食用油起源のバイオディーゼルに適用できる方法論は 2007 年 2 月に承認されている（AM0047 ver.2: Production of biodiesel based on waste oils and/or waste fats from biogenic origin for use as fuel<sup>\*95</sup>）。バイオディーゼルプロジェクト用の CDM 方法論はこれまでに様々な事業者やコンサルタントから UNFCCC CDM 理事会に提案されてきた。これらのタイトルと CDM 理事会での審査結果を表 5-1 に整理した。

表 5-1 バイオディーゼルプロジェクト用 CDM 方法論の提案状況および CDM 理事会審査結果

Proposed CDM Methodology for Biodiesel Projects	CDM EB Decision
NM0108-rev : Production of biodiesel from perennial non-edible oil crops for use as fuel (Formerly NM0069, NM0108)	Rejected (2007/3/23)
NM0129-rev : Generalized baseline methodology for transportation Bio-Fuel production project with Life-Cycle-Assessment (Formerly NM0109, NM0129)	Rejected (2007/3/23)
NM0233 : Methodology for vegetable-derived fatty acid methyl ester biodiesel production for transportation (Formerly NM0142, NM0142-rev)	Approved and consolidated with NM0228 and AM0047 -> ACM0017 (2007/10/16)
NM0180 : Production of waste cooking oil based biodiesel for use as fuel	Approved as AM0047 (2007/2/16)
NM0224 : A baseline and monitoring methodology for project activity producing bio-diesel from crude palm oil/ Jatropha oil/oil from any another oil crop for consumption as replacement of liquid fossil fuel	Rejected (2007/10/19)
NM0228 : Biodiesel production from oil seeds cultivated in dedicated plantations on severely degraded land and under-utilized grazing land for use as fuel by identified consumers	Approved and consolidated with NM0233 and AM0047 -> ACM0017 (2007/10/16)

方法論では、冒頭にその方法論を適用できるプロジェクトの条件が規定されている（Applicability conditions）。バイオディーゼルプロジェクト用の方法論 ACM0017 の適用可能条件は表 5-2 に示しておりである。特に注目すべき点は、「荒地または荒廃しつつある土地での専用プランテーションから供給される作物を用いた植物油起源のバイオディーゼル」にのみ適用可能という冒頭の部分である。

筆者らは、特に土地利用の種類を限定しない、また既存のプランテーションからの作物供給も可能な方法論を UNFCCC に提案していた。しかしながら、以下の課題が想定されることから、荒地に新規に開発された専用プランテーションに限定して承認された。

- ・ 土地利用転換による炭素の放出：

開墾の際の炭素放出量は、荒地以外では大きな量になる可能性があり、バイオディーゼルプロジェクトによる GHG 排出削減量がマイナスになる可能性がある。

- ・ 間接的な土地利用転換の影響：

既存の土地をオイルパーム栽培に転用すること、あるいは既存のプランテーションからの作物をバイオディーゼル用に供給することで、その作物の従来用途の不足分を補うために他の土地で間接的な土地利用転換が生じる可能性がある。これに伴う温室効果ガス排出量を適切に評価する必要がある。

表 5-2 ACM0017: Production of biodiesel for use as fuel の適用可能条件

<p><u>Applicability</u></p> <p>The methodology is applicable to project activities that reduce emissions through the production, sale and consumption of blended biodiesel that is used as fuel, where the biodiesel is produced from:</p> <p>(a) Waste oil/fat; and/or</p> <p>(b) <b><u>Vegetable oil that is produced with oil seeds from plants that are cultivated on dedicated plantations established on lands that are degraded or degrading at the start of the project activity.</u></b></p> <p>The methodology ensures that the CERs can only be issued to the producer of the biodiesel and not to the consumer. The following conditions apply to the methodology:</p> <p><u>Feedstock inputs</u></p> <p>(a) If the biodiesel in the project plant is only partly produced from the two sources (a) and (b) as specified above, any volumes of biodiesel that are also produced in the project biodiesel production plant but from other feedstock sources, are not included in the quantity of biofuel for which emission reductions are claimed;</p> <p>(b) The alcohol used for esterification is methanol from fossil fuel origin. Volumes of biodiesel produced with alcohols other than methanol (for example, ethanol) are not included in the quantity of biodiesel for which emission reductions are claimed.</p> <p><u>Dedicated plantations (the following applicability conditions have to be met only if the feedstock is vegetable oil</u></p>
--

from oil seeds produced in dedicated plantations):

- (a) The project activity does not lead to a shift of pre-project activities outside the project boundary, i.e. the land under the proposed project activity can continue to provide at least the same amount of goods and services as in the absence of the project;
- (b) The plantations are established:
  - (i) On land which was, at the start of the project implementation, classified as degraded or degrading as per the iTool for the identification of degraded or degrading lands for consideration in implementing CDM A/R project activities; OR
  - (ii) On a land area that is included in the project boundary of one or several registered A/R CDM project activities.
- The land area of the dedicated plantations will be planted by direct planting and/or seeding;
- (d) After harvest, regeneration will occur either by direct planting, seeding or natural sprouting.

#### Biodiesel plant and products

- (a) The petrodiesel, the biodiesel and the blended biodiesel comply with national regulations (if existent) or with suitable international standards such as ASTM D6751, EN14214, or ANP42;
- (b) The project activity involves construction and operation of a biodiesel production plant;
  - The by-product glycerol is not disposed of or left to decay. It should be either incinerated or used as raw material for industrial consumption;
- (d) If biomass or biofuels are used at the site of the biodiesel production plant or the oil production plant(s) for fuel combustion (e.g. for heat or electricity generation), then at least 95% of the biomass and biofuel used in these plants should be either biomass residues from the dedicated plantations established under the project activity or biodiesel generated in the project activity biodiesel production plant. The amount of biodiesel used should not be included in the quantity of biodiesel for which emission reductions are claimed.

#### Consumption of biodiesel

- (a) The (blended) biodiesel is supplied to consumers within the host country who use the (blended) biodiesel for fuel combustion in existing stationary installations (e.g. diesel generators) and/or in vehicles;
- (b) The consumer and the producer of the (blended) biodiesel are bound by a contract that allows the producer to monitor the consumption of (blended) biodiesel and that states that the consumer shall not claim CERs resulting from its consumption;

No modifications in the consumer stationary installations or in the vehicles engines are necessary to consume/combust the (blended) biodiesel. In case of stationary installations, biodiesel or blended biodiesel with any blending fraction between 0 and 100% can be used. In case of vehicles, only blended biodiesel can be used and the blending proportion must be low enough to ensure that the technical performance characteristics of the blended biodiesel do not differ significantly from those of petrodiesel. This condition is assumed to be met if the blending proportion is up to 20% by volume (B20). If the project participants use a blending proportion of more than 20%, they shall demonstrate in the CDM-PDD that the technical performance characteristics of the blended biodiesel do not differ significantly from those of petrodiesel and comply with all local regulations.

Blending is done by the producer, the consumer or a third party who is contractually bound to the producer to ensure that blending proportions and amounts are monitored and meet all regulatory requirements;

- (d) In case of vehicles, the consumer (end-user) of the blended biodiesel is a captive fleet of vehicles;
- (e) Only biodiesel consumed in excess of mandatory regulations is eligible for the purpose of the project activity.

### 5-1-3 バイオディーゼルプロジェクト用 CDM 方法論の課題

植物油起源のバイオディーゼルプロジェクト用の方法論が承認され、開発途上国におけるバイオディーゼルの導入が CDM プロジェクトとして実現できることになった。しかし、実現に向けては、方法論の観点から以下のような課題が残されている。

#### 【限定的な適用可能条件】

承認された方法論 ACM0017 は、荒地での新規専用プランテーションから供給される作物を用いたプロジェクトにしか適用できないため、拡張性がきわめて低い。タイなどでは、休耕田やゴム林、果樹園等からオイルパームプランテーションへの転換が行われているが、このようなプロジェクトには適用できない状況である。

#### 【計算式・パラメータの多さ】

ACM0017 では、ライフサイクル温室効果ガス排出量を算定する必要がある。このため、削減量の算出には、70 以上のパラメータを用いて、20 以上の数式を解かなければならない。また、この方法論では、CDM プロジェクトの実施において削減量の算定のために毎年継続してモニタリングしなければならないパラメータは 40 近くに上る。CDM プロジェクトを実施する事業者が、様々なパラメータを独自に収集するのはきわめて時間やコストがかかる作業であり、事業者の負担は非常に大きく、バイオディーゼル CDM プロジェクトの実現の障害となり得る。

## 5-2 バイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性

本研究におけるライフサイクル温室効果ガス排出量の評価結果および CDM 方法論の現状から、タイにおける PME を用いたバイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性を、CDM 方法論の観点から評価した。なお、ここではコストや経済性等については考慮していない。

実現可能性は、オイルパームプランテーションを新規に行うか、あるいは既存のオイルパームプランテーション起源の CPO を利用するかで異なる。また、3-3 節に示したように、新規プランテーションの場合はどのような土地を開発するかで実現可能性は大きく異なる。

特に間接的な土地利用転換の有無は重要な要素の一つである。既存のプランテーションを利用する場合は、それまでに他用途に供給されていた CPO がバイオディーゼル生産に用いられることで、他用途用の原料が不足するなどの可能性がある。その場合、その不足分を補うために、他の土地で新たにプランテーションが開発され、間接的な土地利用転換が生じ得る。新規の専用プランテーションの場合は、そのような懸念は無い。しかし、プランテーションとする前の土地利用の状況によっては、間接的な土地利用転換が生じ得る。例えば、オイルパームプランテーションを新たに開発する土地が、以前にはゴム林だった場合、ゴムの供給が不足し、その供給を補うために他の土地でゴム林が開発され、その間接的な土地利用転換によって GHG が排出される可能性がある。CDM プロジェクトを実施するには、このような”Shift of preproject activity”による間接的な土地利用転換の有無が重要な検討要素となる。植林 CDM の承認方法論 AR-AM0004 (Approved afforestation and reforestation baseline and monitoring methodology: Reforestation or afforestation of land currently under agricultural use)<sup>\*93</sup>において例があるように、CDM プロジェクトにおいては、”Shift of preproject activity”が生じ得る場合、どのような土地でどの程度の間接的な土地利用転換が生じるかを定量化し、温室効果ガス排出削減量に反映しなければならない。AR-AM0004 では、植林時に、対象地においてプロジェクト実施以前に農業や放牧、薪の収集等の活動が営まれている場合、それらの移転による間接的土地利用変化の影響を定量的に把握することとしているが、これは極めて時間やコストを要するため、CDM プロジェクトの実施事業者にとっては困難な作業である。

なお、当然ながら、プロジェクトによる温室効果ガス排出削減量の大小も実現可能性に大きく影響を与える。

ここでは、現状の方法論の適用可能条件、温室効果ガス排出削減量、”Shift of preproject activity”の可能性を評価指標として、オイルパームを用いたバイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性を評価した。評価結果を表 5-3 に示す。また図 5-3 にその結果を図式化した。

現状の承認方法論（ACM0017）では、荒地での新規専用プランテーションから供給される植物油を用いたプロジェクトのみが CDM プロジェクトとして実現可能である。しかしながら、Shift of preproject activity による間接的な土地利用転換が無いことが証明できれば、既存のプランテーションや、草地や水田からの転換の場合にも一定の削減量が得られる可能性がある。これらについては ACM0017 の修正が必要であるが、CDM プロジェクトとしての実現可能性は高いと評価した。一方、Shift of preproject activity が生じる場合は、間接的な土地利用転換がどのような場合にどの程度生じるかが、プロジェクトのみならず、当該国の農産物の需給状況や輸出入の状況等、さまざまな条件に依存するために、既存プランテーション、新規プランテーションのいずれの場合も CDM プロジェクトとしての実現は困難と評価した。また、ゴム林や果樹園からの転換の場合は、本研究結果では削減量が得られないとされたため（ゴム林からの転換の場合は得られるケースも有り）、実現可能性は低いと評価した。ただし、実際の炭素貯蔵量が本研究結果で用いたゴム林や果樹園の値よりも小さい場合などについては、場合によっては削減量が得られるケースもあると考えられる。熱帯林については、多くの場合で温室効果ガスの放出源となるために実現は困難と評価した。

適用可能条件や Shift of preproject activity 等の方法論的な課題がクリアされ、様々なプロジェクトが CDM プロジェクトとして実施できる可能性が出た場合、事業性を判断する材料として排出削減量が重要なファクターとなる。前述のとおり、オイルパームプランテーションに転換する以前の土地利用状況がどのようなものであるかによって軽油代替による温室効果ガス排出削減量は大きく左右される。第4章に示したように、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、POME 対策や肥料対策の有無によって大きく異なる。POME 対策が進んでいるパームオイルミルからの CPO の供給を受けたり、化学肥料を低減した農法等を採用することによって、削減量は大きくなる。例えば、POME からのメタン回収や POME や EFB を用いたコンポスト化等の環境対策を推進しているパームオイルミルからの CPO を用いることで、 $0.69\sim 0.79 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  の追加的な削減が可能となり、削減量は  $1.64\sim 1.74 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$  になる。CDM プロジェクトとしての事業性を高めるためには、このような POME 対策や施肥対策が施されているプランテーションやパームオイルミルからの原料供給を受けて、より多くの削減量を得ることが効果的である。



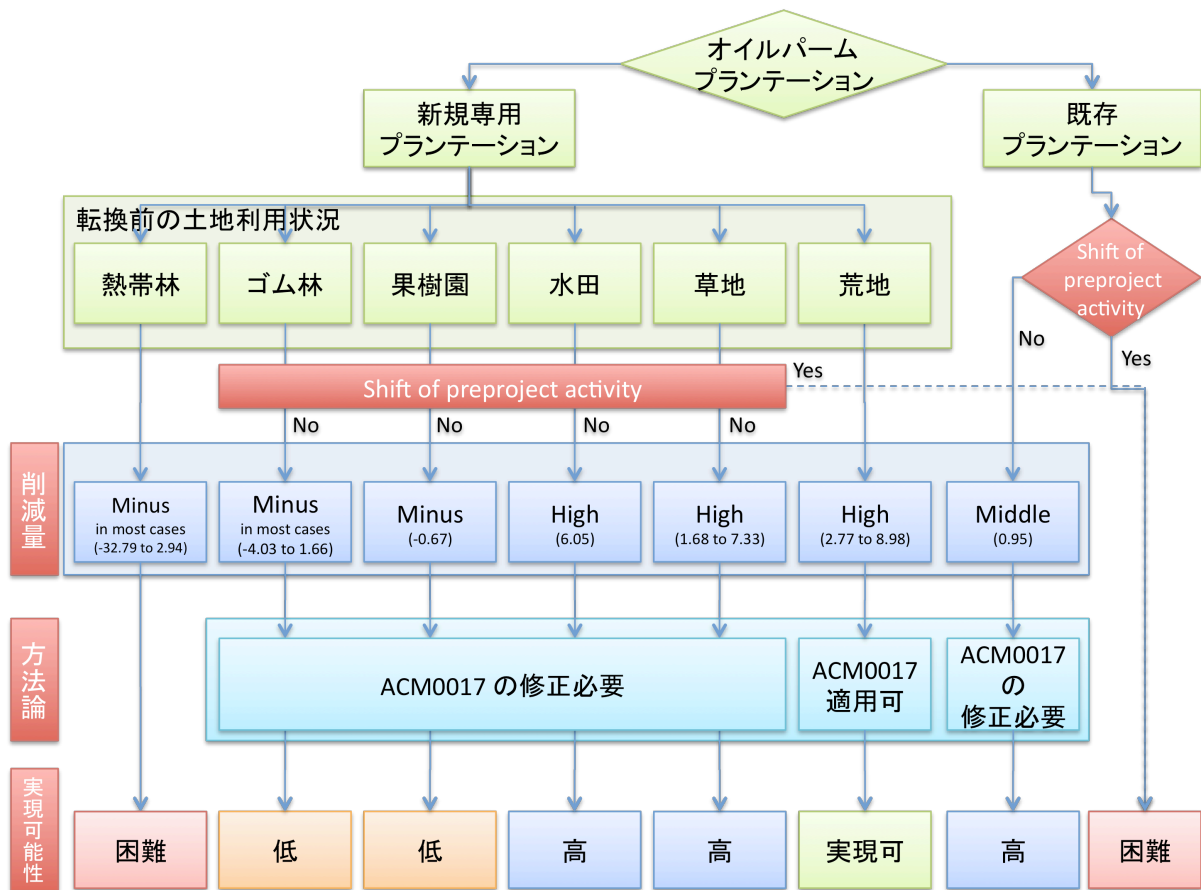


図 5-3 オイルパームを用いたバイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性の概要

※削減量の数値の単位は tCO<sub>2</sub>-eq/tPME

表 5-3(1) オイルパームを用いたバイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性

プランテーション	オイルパーム栽培前の土地利用状況	方法論 (ACM0017) 適用可能性	温室効果ガス排出削減量 (軽油との比較)	Shift of preproject activity の可能性	実現可能性
既存	-	×	中 (0.95)	高 (既存プランテーションからの CPO 供給が無くなることで、地域全体での CPO の供給が不足する可能性がある。不足分を補うために、新たに土地が開墾され、GHG が追加的に排出される可能性がある。ただし、周辺地域等 (当該パーム農園からの出荷先地域) での CPO の需要が伸びていない、または減少している場合は、Shift は生じないと考えられる)	Shift 有 : 困難 Shift 無 : 高 (Shift が無いことが証明できれば、削減量も多く実現可能性は高い。その場合、方法論 ACM0017 の修正が必要。)
新規	荒地	○	多 (2.77~8.98)	低	高
	草地	△ (土地が荒廃しつつあることが言えれば可)	多 (1.68~7.33)	低 (牧草地の場合は、牧畜等が他の地域に移る可能性がある)	高 (場合によっては、方法論 ACM0017 の修正が必要。)
	熱帯雨林	×	ほとんどのケースでマイナス (-32.79~2.94)	中 (地域居住者が森林内で薪等の燃料用に木々を利用している場合に可能性がある)	実現し得ない (GHG 削減の観点からマイナス。他の環境影響からも×)
	ゴム林	×	ほとんどのケースでマイナス (-4.03~1.66)	中 (既存ゴム林からの原料供給が無くなることで、地域全体でのゴムの供給が不足する可能性がある。不足分を補うために、新たに土地の開墾がされ、GHG が追加的に排出される可能性がある。ただし、周辺地域等 (当該ゴム林からの出荷先地域) でのゴムの需要が伸びていない、または減少している場合は、Shift は生じないと考えられる))	Shift 有 : 困難 Shift 無 : 低 (オイルミルの POME 対策がとられているケース等、削減量が得られるケースも可能性としては有り。方法論 ACM0017 の修正が必要。)

※削減量は Shift of preproject activity が無い場合。( ) 内の数値は本研究の結果。単位はすべて tCO<sub>2</sub>-eq/tPME。

表 5-3(2) オイルパームを用いたバイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性

プランテーション	オイルパーム栽培前の土地利用状況	方法論 (ACM0017) 適用可能性	温室効果ガス排出削減量 (軽油との比較)	Shift of preproject activity の可能性	実現可能性
新規	果樹園	×	マイナス (-0.67)	中 (既存果樹園からの果実供給が無くなることで、地域全体での果樹の供給が不足する可能性がある。不足分を補うために、新たに土地の開墾がされ、GHG が追加的に排出される可能性がある。ただし、周辺地域等 (当該果樹園からの出荷先地域) での果樹の需要が伸びていない、または減少している場合は、Shift は生じないと考えられる)	Shift 有 : 困難 Shift 無 : 低 (オイルミルの POME 対策がとられているケース等、削減量が得られるケースも可能性としては有り。方法論 ACM0017 の修正が必要。)
	水田	×	多 (6.05)	中 (既存水田からの稲供給が無くなることで、地域全体での米の供給が不足する可能性がある。不足分を補うために、新たに土地の開墾がされ、GHG が追加的に排出される可能性がある。ただし、周辺地域等 (当該水田からの出荷先地域) での米の需要が伸びていない、または減少している場合は、Shift は生じないと考えられる)	Shift 有 : 困難 Shift 無 : 高 (方法論 ACM0017 の修正が必要。)

※削減量は Shift of preproject activity が無い場合。() 内の数値は本研究の結果。単位はすべて tCO<sub>2</sub>-eq/tPME。

### 5-3 提言

---

植物油起源のバイオディーゼルプロジェクトに適用できる方法論 ACM0017 が、2009 年 10 月、第 50 回 UNFCCC CDM 理事会によって承認された。これによって、タイなどの開発途上国におけるバイオディーゼルの導入を CDM プロジェクトとして実現できることになった。しかし、5-1 節に示したように、この方法論を用いてバイオディーゼル CDM プロジェクトを実現するためには、依然として以下のようないくつかの課題がある。

- ・ 適用可能なプロジェクトが極めて限定的なこと（荒地での新規専用プランテーションに限定）
- ・ プロジェクトによる排出削減量の算定のために、非常に多くのパラメータをモニタリングしなければならないこと

そこで、本研究では、上記の課題を解消すべく以下を提案する。

提言 1：ACM0017 の適用可能条件の拡張（荒地以外への適用）

提言 2：ACM0017 の算定式の簡素化（パラメータの絞り込み）

### 5-3-1 提言 1：ACM0017 の適用可能条件の拡張

ACM0017 において、CDM プロジェクトとして実現可能性が最も高い“荒地での新規プランテーション”に限定したのは妥当な判断である。しかしながら、5-2 節に示したように、熱帯林以外の特に Shift of preproject activity が無いケース（既存のプランテーション、新規プランテーション（草地、水田））についても CDM プロジェクトとしての実現可能性が高いことから、以下のケースにも適用できる方法論とすべく提言する。

- ・ 既存のプランテーション
- ・ 荒地以外の新規のプランテーション（耕作地や草地からの転換のうち、温室効果ガス排出削減量が確保できるもの）

※ いずれも間接的な土地利用転換が生じないケースに限定

#### (1) 既存のプランテーションへの拡張

方法論 ACM0017 について以下の修正を提案する。

- ・ 方法論の適用可能条件に以下の条件を追加する  
「既存のプランテーションからの作物の供給のうち、間接的な土地利用転換が生じないケースに適用可能」
- ・ 「間接的な土地利用転換が生じないケース」の条件を追加する ((3)参照)

#### (2) 荒地以外の新規のプランテーションへの拡張

方法論 ACM0017 について以下の修正を提案する。

- ・ 方法論の適用可能条件に以下の条件を追加する  
「耕作地や草地からの土地利用転換を伴う新規プランテーションからの作物の供給のうち、間接的な土地利用転換が生じないケースに適用可能」
- ・ 「間接的な土地利用転換が生じないケース」の条件を追加する ((3)参照)
- ・ プロジェクト排出量の計算方法に、土地利用転換による炭素貯蔵量の変化に伴う CO<sub>2</sub> 放出量の算定方法を追加する ((4)参照)

### (3) 間接的な土地利用転換が生じない条件

Shift of preproject activity による間接的な土地利用転換が生じない条件については、バイオマス CDM プロジェクトに関するガイダンス (“General guidance on leakage in biomass project activities/ver.03”<sup>\*97</sup>) 等を参考に以下のように提案する。

#### Shift of preproject activity による間接的な土地利用転換が生じない条件

提案プロジェクトが以下の条件を満たす場合は、Shift of preproject activity による間接的な土地利用転換が生じないと判断できる。

(以下、PME のケース)

##### ■既存のプランテーションから供給されるオイルパームを用いるケース

原料の調達を予定しているパームオイルミルにおける非バイオディーゼル用（食用等）の CPO 供給量がプロジェクト開始後に年々減少していないこと（ミルの余力分等で BDF 用の CPO を生産するため、当該ミルからの供給量は減少しないなどのケース）

減少している場合は、以下のいずれかが証明できること

プロジェクト開始後に、CPO の需要が供給先（地域、国など）で減少していること（供給先の地域（県など）で CPO の需要が減少しているなどのケース）

または、

プロジェクト開始後に、原料の調達を予定しているパームオイルミルにおける非バイオディーゼル用 CPO 供給量の減少量が、当該パームオイルミルを含む周辺地域（県など）からの非バイオディーゼル用 CPO 供給量の 10%以下であること（10%の根拠は“General guidance on leakage in biomass project activities/ver.03”<sup>\*97</sup> に基づく）

##### ■新規プランテーションを開発するケース

- ・ 草地からの転換の場合  
酪農等の活動が行われていない非管理状態の草地であること
- ・ 耕作地（ゴム、米、果樹園等）からの転換の場合

- ・ 耕作放棄地であること
- ・ 耕作放棄地でない場合、以下のいずれかが証明できること  
プロジェクト開始後に、当該作物の需要が供給先（地域、国など）で減少していること  
または、  
プロジェクト開始後に、土地所有者が転換前後で変わらず、かつ、転換によって失われる  
当該作物の供給量が、周辺地域（県など）からの当該作物の供給量の 10%以下であるこ  
と（10%の根拠は “General guidance on leakage in biomass project activities/ver.03”<sup>\*97</sup> に基づ  
く）

#### (4) 炭素貯蔵量の変化に伴う CO<sub>2</sub> 放出量の算定方法

プロジェクト排出量の計算方法に、土地利用転換による炭素貯蔵量の変化に伴う CO<sub>2</sub> 放出量の算定方法として以下を追加することを提案する。これらは IPCC<sup>\*35</sup> で示されている方法に準じた。

なお、計算された  $PE_{plc,y}$  がゼロ以上の場合のみにプロジェクト排出量に加算することとする。すなわち、オイルパームプランテーションが正味の吸収源になる効果は保守的にみて含まないこととする。この吸収源としての効果を含める場合には、植林の CDM 方法論 AR-AM0004<sup>\*93</sup> 等が別途適用することができると考える。

$$PE_{plc,y} = -(\Delta C_{LB} + \Delta C_{soils}) \times 44/12$$

$$\Delta C_{LB} = A_{conv,direct} \times (L_{conv} + \Delta C_{growth})$$

$$L_{conv} = C_{after} - C_{before}$$

$$\Delta C_{growth} = \sum (A_{ij} \times G_{TOTALij} \times CF_{ij})$$

$$G_{TOTALij} = \sum [G_{Wk} \times (1 + R_k)]$$

$$\Delta C_{soils} = \Delta C_{mineral} - \Delta C_{organic} - \Delta C_{liming}$$

$$\Delta C_{mineral} = [SOC_0 - SOC_{(0-25)} \times A_{conv,direct}] / 25$$

$$SOC_0 = SOC_{REF} \times F_{LU(0)} \times F_{MG(0)} \times F_{I(0)}$$

$$SOC_{(0-25)} = SOC_{REF} \times F_{LU(0-25)} \times F_{MG(0-25)} \times F_{I(0-25)}$$

$$\Delta C_{organic} = A_{conv,direct} \times EF_{COS}$$

$$\Delta C_{liming} = A_{conv,direct} \times (M_{Limestone-1ha} \times EF_{Limestone} + M_{Dolomite-1ha} \times EF_{Dolomite})$$

$PE_{plc,y}$	: Total CO <sub>2</sub> emission from land conversion from cropland or forest to oil crop plantation (tCO <sub>2</sub> /yr)
$\Delta C_{LB}$	: Change in carbon stocks in living biomass in cropland or forest converted to oil crop plantation (tC/yr)
$\Delta C_{Soils}$	: Change in carbon stocks in soil in cropland or forest converted to oil crop plantation (tC/yr)
$A_{conv,direct}$	: Annual area of cropland or forest converted directly to oil crop plantation (ha/yr)
$L_{conv}$	: Carbon stock change per area for that type of conversion when cropland or forest is converted to oil crop plantation (tC/ha)
$\Delta C_{growth}$	: Changes in carbon stocks from one year of oil crop growth (tC/ha)
$C_{after}$	: Carbon stocks in biomass immediately after conversion to oil crop plantation (tC/ha)
$C_{before}$	: Carbon stocks in biomass immediately before conversion to oil crop plantation (tC/ha)
$\Delta C_{mineral}$	: Change in carbon stocks in mineral soils in cropland or forest converted to oil crop plantation (tC/ha)
$A_{i,j}$	: Area of land remaining as oil crop plantation (ha)
$G_{TOTALi,j}$	: Mean annual biomass growth (t d.m./ha/yr)
$CF_{i,j}$	: Carbon fraction of dry matter (tC/t d.m.)
$i$	: Ecological zone ( $i = 1$ to $n$ )
$j$	: Climate domain ( $j = 1$ to $m$ )
$G_{Wk}$	: Average annual above-ground biomass growth for a specific woody vegetation type (t d.m./ha/yr)
$R_k$	: Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass (t below-ground d.m. biomass/t above-ground d.m. biomass)
$SOC_0$	: Soil organic carbon stock in the inventory year (tC/ha)
$SOC_{(0-25)}$	: Soil organic carbon stock 25 years prior to the inventory (tC/ha)
$SOC_{REF}$	: The reference carbon stock (tC/ha)
$F_{LU(0)}$	: Stock change factor for land use or land-use change type in the last year of an inventory time period
$F_{MG(0)}$	: Stock change factor for management regime in the last year of an inventory time period
$F_{I(0)}$	: Stock change factor for input of organic matter in the last year of an inventory time period
$F_{LU(0-25)}$	: Stock change factor for land use or land-use change type at the beginning of the inventory time period
$F_{MG(0-25)}$	: Stock change factor for management regime at the beginning of the inventory time period
$F_{I(0-25)}$	: Stock change factor for input of organic matter at the beginning of the inventory time period
$\Delta C_{organic}$	: Annual C emissions from cultivated organic soils converted to oil crop plantation (estimated as net annual flux) (tC/ha)



$EF_{COS}$  : Emission factor for cultivated organic soil (tC/ha/yr)

$\Delta C_{liming}$  : Annual C emissions from agricultural lime application on cropland or forest converted to oil crop plantation (tC/ha)

$M_{Limestone-1ha}$  : Annual amount of calcic limestone ( $CaCO_3$ ) per 1 ha (t/yr/ha)

$EF_{Limestone}$  : Emission factor (tC/t-Limestone or Dolomite)

$M_{Dolomite-1ha}$  : Annual amount of dolomite ( $CaMg(CO_3)_2$ ) per 1 ha(t/yr/ha)

$EF_{Dolomite}$  : Emission factor (tC/t-Limestone or Dolomite)

Parameters	Value	References or Sources	Monitored?	Comments
$A_{conv,direct}$	Provided by project participants (P.P.)	To be obtained from P.P. or from farmers related to the project, checking against i.e. land registry book of local government.	Yes	-
$C_{after}$	0	IPCC GPG-LULUCF, p.3.87	No	In the reference, for the Tier 1 method, it is assumed that all biomass is cleared when preparing a site for oil crop plantation, thus $C_{after}$ is set as 0.
$C_{before}$	Selected by P.P.	IPCC GPG-LULUCF, Table 3.3.7, p.3.87	No	Appropriate value for corresponding land-use category and cropland or forest types by climate regions is to be chosen from the table.
$A_{ij}$	Provided by P.P.	National statistics	Yes	-
$CF_{ij}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 4.3	No	Appropriate value for corresponding climate and ecology is to be chosen from the table.
$G_{wk}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Tables 4.9,4.10 and 4.12	No	Appropriate value for corresponding climate and ecology is to be chosen from the table.
$R_k$	Deemed as zero or Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 4.4	No	Appropriate value for corresponding climate is to be chosen from the table. if assuming no changes of below-ground biomass allocation patterns,R must be set to zero.
$SOC_{REF}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 2.3, p.2.32	No	Appropriate value for corresponding climate and soil type is to be chosen from

				the table.
$F_{LU(0)}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 5.10, p.5.35	No	Appropriate value for corresponding climate type is to be chosen from the table.
$F_{MG(0)}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 5.10, p.5.35	No	Appropriate value for corresponding climate type is to be chosen from the table.
$F_{I(0)}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 5.10, p.5.35	No	Appropriate value for corresponding climate type is to be chosen from the table.
$F_{LU(0-25)}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 5.5, p.5.17	No	Appropriate value for corresponding climate type is to be chosen from the table.
$F_{MG(0-25)}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 5.5, p.5.17	No	Appropriate value for corresponding climate type is to be chosen from the table.
$F_{I(0-25)}$	Selected by P.P.	IPCC(2006),Table 5.5, p.5.17	No	Appropriate value for corresponding climate type is to be chosen from the table.
$EF_{COS}$	Selected by P.P.	IPCC GPG-LULUCF, Table 3.3.5, p.3.79	No	Appropriate value for corresponding climate type is to be chosen from the table.
$M_{Limestone-1ha}$	Provided by P.P.	To be obtained from farmers cooperatives of the region related to the project, or agricultural institute etc.	Yes	If $M_{Limestone-1ha}$ values are different from producer to producer in the region related to the project, the highest value should be selected to ensure conservativeness.
$EF_{Limestone}$	0.12	IPCC GPG-LULUCF, p.3.80	No	This value is recommended to use without differentiating between variable compositions of lime material.
$M_{Dolomite-1ha}$	Provided by P.P.	To be obtained from farmers cooperatives of the region related to the project, or agricultural institute etc.	Yes	If $M_{Dolomite-1ha}$ values are different from producer to producer in the region related to the project, the highest value should be selected to ensure conservativeness.
$EF_{Dolomite}$	0.12	IPCC GPG-LULUCF, p.3.80	No	This value is recommended to use without differentiating between variable compositions of lime material.

P.P. : Project participants  
GPG-LULUCF : IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry  
IPCC(2006) : 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

## 5-3-2 提言 2：ACM0017 の算定式の簡素化

バイオディーゼル導入プロジェクトにおける温室効果ガス排出削減量を算定するためには、多くのパラメータと数式を用いて計算する必要がある。承認方法論 ACM0017 では、70 以上のパラメータを用いて、20 以上の数式を解かなければならない。また、毎年モニタリングしなければならないパラメータも 40 近くに上る。このため、バイオディーゼル CDM プロジェクトを実施しようとする事業者の負担は大きいと想像される。これを軽減すべく、方法論の簡素化を提言する。

CDM プロジェクトにおいては、真の排出削減量との誤差が生じる場合は、保守的 (conservative) な値、すなわち削減量が小さくなる値を採用しなければならない。削減量が小さくなれば得られる排出権も少なくなるため、プロジェクト実施者は誤差をできるだけ小さくするために努力をする。誤差は小さいほど望ましいが、モニタリング時のコストを勘案し、最も効果的な算定方法等を考える必要がある。

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量についても、すべてのパラメータを精度良く把握し、計算する場合、モニタリング等におけるプロジェクト実施者の負担は相当なものになる。「ライフサイクル温室効果ガス排出量に占める割合が大きい排出プロセス」や「ライフサイクル温室効果ガス排出量に与える影響 (感度) が大きいいくつかのパラメータ」を精度良く把握すれば、排出削減量を一定の精度で算定できるはずである。ここでは、CDM が標榜する保守性 (Conservativeness) と透明性 (Transparency) <sup>\*143</sup> を満たしつつ、簡素化する以下の方法を検討した。

- 簡素化の検討 1 (一定の精度を確保した簡素化)
  - ・ 排出プロセスの絞り込み (ライフサイクル温室効果ガス排出量に占める割合が大きいプロセス)
  - ・ パラメータの絞り込み (ライフサイクル温室効果ガス排出量に与える影響が大きいパラメータ)
  - ・ モニタリングすべきパラメータ、デフォルト値の設定が可能なパラメータの分類
  - ・ 算定式の簡素化
- 簡素化の検討 2 (CDM 実施事業者の負担を最大限軽減する方法)
  - ・ 簡易排出係数の検討

## (1) 簡素化の検討 1（一定の精度を確保した簡素化）

### 【排出プロセスの絞り込み】

ライフサイクル温室効果ガス排出量に占める割合が大きい排出プロセスは、POME からのメタン排出（34.6%）、肥料製造時の排出（20.9%）、施肥に伴う  $\text{N}_2\text{O}$  排出（15.0%）、メタノール製造時の排出（12.4%）、メタノール消費時の排出（9.0%）であり、これら 5 つのプロセスで 91.9%を占める（表 5-4 参照）。

また、これら 5 つの排出プロセスに関わる主要なパラメータを最大値・最小値あるいは 95%信頼区間内で変化させ、5 プロセス排出割合の下限值を見いだした。この結果、下限値は 87.7%であった（ライフサイクル温室効果ガス排出量は  $2.12 \text{ tCO}_2\text{-eq/tPME}$ ）（表 5-5）。

これらの結果は、5 つのプロセスの排出量を精度良く算定することで、保守的にみても PME のライフサイクル温室効果ガス排出量のおよそ 87%が把握できることを示している。

なお、表 5-4 に、ACM0017 に基づいて温室効果ガス排出削減量を計算するために必要なパラメータおよび数式の数プロセス毎にあわせて示した。計算に必要な数式は 25、パラメータは 74（要モニタリングは 39）に上る。荒地からオイルパームプランテーションへの転換に伴う土壌炭素の放出量の評価を含まない場合は、数式は 17、パラメータは 51（要モニタリングは 28）である。

表 5-4 各プロセス排出量の算定に必要な数式・パラメータの数

プロセス	数式の 数	パラメータの 数		ライフサ イクル排 出量に占 める割合	累積
		要モ ニタ ー	定数		
CPO production - Waste water treatment	1	2	3	34.6%	34.6%
Oil palm cultivation - Synthetic fertilizer production	1	1	1	20.9%	55.6%
Oil palm cultivation - Synthetic and organic fertilizer use - N <sub>2</sub> O	3	4	1	15.0%	70.5%
PME production - Methanol production	1	1	1	12.4%	82.9%
PME consumption - Fossil fuel derived methanol combustion	1	1	2	9.0%	91.9%
PME production - Electricity	1	1	1	3.0%	94.9%
Transportations	1	4	0	3.8%	98.7%
Oil palm cultivation - Agricultural operations – Diesel	1	1	1	0.4%	99.1%
CPO production – Diesel	1	1	1	0.4%	99.6%
CPO production – Electricity	1	1	1	0.4%	100.0%
Oil palm cultivation – Urea application*	1	1	1	0.0%	100.0%
Oil palm cultivation – Limestone and dolomite application*	1	2	2	0.0%	100.0%
Oil palm cultivation – Field burning of biomass*	1	3	4	0.0%	100.0%
Oil palm cultivation – Direct N <sub>2</sub> O emissions from land management at the plantation*	3	9	4	-	-
Oil palm cultivation – Changes in soil carbon stocks following land use changes or changes in the land management practices*	5	2	8	-	-
Baseline emission	2	6	1	-	-
Total	17 (25)	28 (39)	23 (35)	100.0%	100.0%

※数式・パラメータの数は ACM0017 ベース(本研究での算定も同等)。合計は重複を 1 としてカウントした正味数。

※\*印は ACM0017 で対象となっているが、本研究では算定の対象外としたもの。(なお、Urea、Limestone、Dolomite の施肥あるいは Field burning は無いと想定し、これらからの排出量はゼロとした。Direct N<sub>2</sub>O emissions from land management at the plantation は土地利用転換およびバイオマス残渣の土壌へのインプットが無いとしたため対象外。Changes in soil carbon stocks は、上記は土地利用転換が無いと想定した結果なので対象外。)

※( )内の数値は土地利用転換に伴う土壌炭素の放出量の算定が必要な場合

表 5-5 5 プロセス排出割合の下限值およびその際の主要パラメータの条件

プロセス	ライフサイクル排出量に占める割合	累積
CPO production - Waste water treatment	33.5%	33.5%
Oil palm cultivation - Synthetic and organic fertilizer use - N <sub>2</sub> O	17.9%	51.4%
Oil palm cultivation - Synthetic fertilizer production	13.7%	65.1%
PME production - Methanol production	12.7%	77.8%
PME consumption - Fossil fuel derived methanol combustion	9.9%	87.7%
PME production - Electricity	6.1%	93.9%
Transportations	4.2%	98.1%
Oil palm cultivation - Agricultural operations – Diesel	0.9%	99.1%
CPO production – Diesel	0.5%	99.5%
CPO production – Electricity	0.5%	100.0%
Total	100.0%	100.0%

パラメータ	値	備考
FFB 単収	16.7 tFFB/ha	平均値
施肥量	110.6 kgN/ha/year, 52.4 kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/year, 215.7 kgK <sub>2</sub> O/ha/year	95%CI 下限値
CPO 生産効率	0.176 tCPO/tFFB	95%CI 上限値
CPO 生産時の電力消費量	2.74 kWh/tFFB	95%CI 上限値
CPO 生産時の軽油消費量	0.87 liter/tFFB	最大値
CPO 生産時の POME 排出量	0.49 m <sup>3</sup> /tFFB	95%CI 下限値
PME 生産効率	0.885 tPME/tCPO	最大値
PME 生産時の電力消費量	257.73 kWh/tPME	最大値

### 【パラメータの絞り込み】

全排出量に占める割合が高い前述の 5 つのプロセスの排出量を算定するためには、以下のパラメータが必要となる。

- ・ POME メタン : POME 量、COD 濃度、その他係数 3 種
- ・ 施肥 N<sub>2</sub>O : 施肥量 (N 分含む)、N<sub>2</sub>O 排出係数、その他係数 1 種
- ・ 肥料製造 : 施肥量、肥料別排出係数

- ・ メタノール製造 : メタノール消費量、メタノール生産時排出係数
- ・ メタノール消費 : メタノール消費量

なお、ライフサイクル温室効果ガス排出量に与える影響（感度）が大きいパラメータは、第 3 章の 3-3-2 項の結果から、CPO 生産効率、施肥量、POME 量である。施肥量と POME 量は、すでに上記に含まれている。また、CPO 生産効率は、FFB 投入量と CPO 生産量をモニターすれば良いが、これはパームオイルミルで CDM とは関係なく工場の運用管理の一環として常時把握しているパラメータである。

#### 【モニタリングすべきパラメータ、デフォルト値の設定が可能なパラメータの絞り込み】

上記にあげたパラメータのうち、「排出係数」と名のつくものは、方法論においてプロジェクトに依らないデフォルト値を提供することができる。このため、精度良く把握し、モニターする必要があるパラメータは、以下の 4 種類に限定される。これらのパラメータを精度良く把握すれば保守的にみても 87%の排出量を精度良く算定できることになる。

- ・ オイルパーム栽培時の施肥量（有機肥料等、肥料の種類が増えた場合、パラメータ数は増える）
- ・ パームオイルミルにおける POME 量
- ・ パームオイルミルにおける POME 中の COD 濃度
- ・ PME 生産時のメタノール消費量

文献等からデフォルト値の提供が可能なパラメータは以下のとおりである。

- ・ 施肥に伴う  $\text{N}_2\text{O}$  排出係数
- ・ 肥料別排出係数
- ・ メタノール生産時排出係数
- ・ その他の係数

#### 【算定式の簡素化】

前述のとおり、主要な 5 プロセス（POME からのメタン排出、施肥に伴う  $\text{N}_2\text{O}$  排出、肥料製造時の

排出、メタノール製造時の排出、メタノール消費時の排出) の排出量を精確に算定することで、保守的にみても全排出量のおよそ 87%を精度良く把握できる。また、これら 5 プロセスの排出量を算定するためには、基本的には 4 種類のパラメータ (オイルパーム栽培時の施肥量、パームオイルミルにおける POME 量、パームオイルミルにおける POME 中の COD 濃度、PME 生産時のメタノール消費量) をモニターすれば良い。

以上から、排出削減量の算定式を以下のように簡素化できる。

$$ER = BE - PE$$

BE : PME によって代替される軽油の消費に伴う排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq) (Appendix 参照)

PE : PME のライフサイクル温室効果ガス排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

$$= (PE_{POME} + PE_{FN} + PE_{FP} + PE_{MP} + PE_{MC}) / Fact$$

ここで、

PE<sub>POME</sub> : POME からの CH<sub>4</sub> 排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE<sub>FN</sub> : 施肥に伴う N<sub>2</sub>O 排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE<sub>FP</sub> : 肥料製造時の温室効果ガス排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE<sub>MP</sub> : メタノール製造時の温室効果ガス排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE<sub>MC</sub> : PME 中に含まれるメタノール起源の炭素の燃焼に伴う CO<sub>2</sub> 排出量 (tCO<sub>2</sub>)

Fact : 0.87 (「排出プロセスの絞り込み」本文参照)

- なお、この方法では、POME からの CH<sub>4</sub> 排出量を詳細に計算するため、パームオイルミルでバイオガス発電やコンポスト化等の POME 対策がとられている場合にも対応できる。
- 土地利用転換に伴う排出量の算定は含んでいない。耕作地等からの土地利用転換が生じるケースについては、地上部/地下部バイオマス、土壌炭素等の炭素貯蔵量の変化に伴う二酸化炭素放出量について詳細な算定が必要となる。
- 「荒地での新規専用プランテーション」には適用できるが、荒地からのオイルパームプランテーションへの転換の場合、土壌炭素等も含めて正味吸収になるため、これは計算せずに 0 とカウントする (CDM における保守性の観点)。
- PE<sub>POME</sub>、PE<sub>FN</sub>、PE<sub>FP</sub>、PE<sub>MP</sub>、PE<sub>MC</sub> の算出式は Appendix III 参照



## (2) 簡素化の検討 2 (CDM 実施事業者の負担を最大限軽減する方法)

CDM プロジェクトを実施しようとする事業者にとって、数多くのパラメータを用いて排出削減量を計算するのは大きな負担である。特に、プロジェクト実施後に継続的にモニタリングしなければならないパラメータが多い場合、多大なコストがかかる可能性もある。

ここでは、事業者の負担を最大限軽減する方法として、最も簡易的に PME のライフサイクル温室効果ガス排出量を算定する方法を検討した。

最も簡易的な方法としては、PME の消費量に PME1t あたりの GHG 排出係数 (PME1t あたりの GHG 排出量) を乗ずることでライフサイクル温室効果ガス排出量を算定する方法が考えらる。この方法では、CDM 理事会に受け入れられるためには、いかに妥当な係数を設定するかが重要となる。CDM プロジェクトでは保守性 (conservativeness) <sup>\*143</sup> が重視されるため、排出削減量を過大に評価しない係数を提案する必要がある。

本研究結果では、PME1t あたりの GHG 排出係数は平均値として 2.34 tCO<sub>2</sub>-eq が得られた。しかしながら、昨今の CDM 理事会の審査動向を踏まえると、より保守的な値 (PME 排出量が大い値) を採用する必要がある。第 22 回 CDM 理事会での決定では、不確実性のあるパラメータについては 95% 信頼区間においてより保守的な値を採用することとされている。

本研究では、主要なパラメータについて最大値・最小値あるいは 95%信頼区間を考慮した PME ライフサイクル温室効果ガス排出量を表 3-34 に示した。CDM 理事会等の動向を踏まえて、ここではより保守的な値 (95%信頼区間の上限値に相当) である 2.8 tCO<sub>2</sub>-eq (2.78 tCO<sub>2</sub>-eq を切り上げ) を採用することとした。これは CPO 生産において特段の温室効果ガス排出削減対策がとられていない場合の係数である。なお、この場合の排出量の内訳を表 5-6 に示した。

POME 対策としてバイオガス回収・発電やコンポスト化が導入されているパームオイルミルからの CPO を原料とする場合には、対策をとらない場合と排出量が大きく異なるため、それぞれの場合の PME1t あたりの GHG 排出係数を設定した。バイオガス発電導入時およびコンポスト化導入時の温室効果ガス排出削減率は、CDM での保守性を考慮して 95%信頼区間の下限値である 79.1%および 96.6% とし (表 4-4)、バイオガス発電導入時およびコンポスト化導入時の PME のライフサイクル温室効果ガス排出量を表 5-6 のように算定した。

表 5-6 PME のライフサイクル温室効果ガス排出量(簡素化計算用)

Processes	GHG emissions (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)		
	Conservative case (95%CI Upper)	POME Biogas Utilization	POME/EFB composting
Oil palm cultivation	1.12	1.12	1.12
Agricultural operations	0.01	0.01	0.01
Synthetic fertilizer use	0.46	0.46	0.46
Synthetic fertilizer production	0.65	0.65	0.65
CPO production	0.94	0.22	0.06
Diesel	0.02	0.02	0.02
Electricity	0.01	0.01	0.01
Waste water treatment	0.91	0.19	0.03
PME production	0.42	0.42	0.42
Electricity	0.13	0.13	0.13
Methanol production	0.29	0.29	0.29
PME consumption (Fossil fuel derived methanol combustion)	0.21	0.21	0.21
Transportations	0.09	0.09	0.09
Total	<b>2.78</b>	<b>2.06</b>	<b>1.90</b>

以上の結果から、PME1t あたりの GHG 排出係数は以下のように設定した。

表 5-7 PME1t あたりの GHG 排出係数(CDM 簡素化計算用)

Base Case	2.8 tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
With POME Biogas Utilization	2.1 tCO <sub>2</sub> -eq/tPME
With POME/EFB composting	1.9 tCO <sub>2</sub> -eq/tPME

### (3) 算定式の簡素化の提言

前述の検討を踏まえて、現状の ACM0017 の排出量算定方法を簡素化すべく、以下の 2 つの方法を提案する。なお、CDM プロジェクトを実施しようとする事業者は、温室効果ガス排出削減量の計算の際に、これら 2 つの方法および現状の ACM0017 の方法から、いずれかを選択できるように提案する。

Option 1： 主要 5 プロセスの排出量を詳細に算定し、総排出量を補正計算する。排出削減量の精度を確保しつつ、モニターが必要なパラメータを 28 から 7 に減らせる。ただし、保守的な手法(プロジェクト排出量が大きくなる方法)を採用しているため、排出削減量は Base case (現状の ACM0017 の方法) よりも小さく計算される。

Option 2： PME1 トンあたりの排出係数を用意し、PME 生産量を乗ずることで総排出量を計算する。排出削減量の精度は Option 1 よりも低くなるが、モニターが必要なパラメータはわずかに 1 つだけとなる。ただし、保守的な手法 (プロジェクト排出量が大きくなる方法) を採用しているため、排出削減量は Base case よりも小さく計算される。

表 5-8 各提案オプションの数式数、パラメータ数

Option	計算方法	数式数	パラメータ数	
			要モニター	定数
Base case	ACM0017 の方法	17 (25)	28 (39)	23 (35)
Option 1	(主要プロセス排出量※) ÷ (Factor: 0.87) ※POME メタン+施肥 N <sub>2</sub> O+肥料製造+メタノール消費・製造	7	7	8
Option 2	(PME ライフサイクル GHG 排出係数※) × (PME 消費量) ※2.8 tCO <sub>2</sub> -eq/tPME (POME 対策無し) ※2.1 tCO <sub>2</sub> -eq/tPME (POME バイオガス回収・発電) ※1.9 tCO <sub>2</sub> -eq/tPME (POME・EFB コンポスト化)	1	1	1

※Base case の()内の数値は土地利用転換に伴う土壌炭素の放出量の算定が必要な場合

### Option 1

$$ER = BE - PE$$

BE : PME によって代替される軽油の消費に伴う排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE : PME のライフサイクル温室効果ガス排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

$$= (PE_{POME} + PE_{FN} + PE_{FP} + PE_{MP} + PE_{MC}) / Fact$$

ここで、

PE<sub>POME</sub> : POME からの CH<sub>4</sub> 排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE<sub>FN</sub> : 施肥に伴う N<sub>2</sub>O 排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE<sub>FP</sub> : 肥料製造時の温室効果ガス排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE<sub>MP</sub> : メタノール製造時の温室効果ガス排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE<sub>MC</sub> : PME 中に含まれるメタノール起源の炭素の燃焼に伴う CO<sub>2</sub> 排出量 (tCO<sub>2</sub>)

Fact : 0.87

- この方法では、POME からの CH<sub>4</sub> 排出量を詳細に計算するため、パームオイルミルでバイオガス発電やコンポスト化等の POME 対策がとられている場合にも対応できる。
- 土地利用転換に伴う排出量の算定は含んでいない。耕作地等からの土地利用転換が生じるケースについては、地上部/地下部バイオマス、土壤炭素等の炭素貯蔵量の変化に伴う二酸化炭素放出量について詳細な算定が必要となる。
- 「荒地での新規専用プランテーション」には適用できるが、荒地からのオイルパームプランテーションへの転換の場合、土壤炭素等も含めて正味吸収になるため、これは計算せずに 0 とカウントする (CDM における保守性の観点)。
- PE<sub>POME</sub>、PE<sub>FN</sub>、PE<sub>FP</sub>、PE<sub>MP</sub>、PE<sub>MC</sub> の算出式は Appendix III 参照

## Option 2

$$ER = BE - PE$$

BE : PME によって代替される軽油の消費に伴う排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

PE : PME のライフサイクル温室効果ガス排出量 (tCO<sub>2</sub>-eq)

$$= FC_{PME} \times EF_{PME}$$

ここで、

FC<sub>PME</sub> : PME 消費量 (tPME)

EF<sub>PME</sub> : PME1t あたりの GHG 排出係数 (tCO<sub>2</sub>-eq/tPME)

※2.8 (POME 対策無し)

※2.1 (POME バイオガス回収・発電)

※1.9 (POME・EFB コンポスト化)

- 土地利用転換に伴う排出量の算定は含んでいない。耕作地等からの土地利用転換が生じるケースについては、地上部/地下部バイオマス、土壌炭素等の炭素貯蔵量の変化に伴う二酸化炭素放出量について詳細な算定が必要となる。
- 「荒地での新規専用プランテーション」には適用できるが、荒地からのオイルパームプランテーションへの転換の場合、土壌炭素等も含めて正味吸収になるため、これは計算せずに 0 とカウントする (CDM における保守性の観点)。



## 第6章 結論

### 6-1 まとめ

本研究では、オイルパーム起源のバイオディーゼル（PME: Palm Methyl Ester）のライフサイクル温室効果ガス排出量をタイを事例として評価するとともに、PME 生産プロジェクトの CDM プロジェクトとしての実現可能性を評価し、CDM 承認方法論の適用可能条件の拡張、温室効果ガス排出削減量算定式の簡素化を提言した。

#### タイにおける PME のライフサイクル温室効果ガス排出量

タイにおける PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、土地利用転換プロセスを除くと PME 1.0 ton あたり 2.34 tCO<sub>2</sub>-eq と推計された。また、主要なパラメータの最大値・最小値あるいは 95%信頼区間を考慮した排出量の上限值、下限値はそれぞれ 2.78 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME、1.94 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であった。さらに、単位熱量（1GJ）あたり、単位栽培面積（1ha）あたり、単位走行距離（km）あたりの排出量は、それぞれ、0.061 tCO<sub>2</sub>-eq/GJ、5.78 tCO<sub>2</sub>-eq/ha、1.32 kgCO<sub>2</sub>-eq/km と推計された。

プロセス別にみると、CPO 生産時に排出される POME のラグーン処理に伴う CH<sub>4</sub> 排出が全体の 34.6%と高い割合を占めており、POME から放出される CH<sub>4</sub>の低減対策が PME のライフサイクル温室効果ガス排出量において重要であることが示唆された。POME からの CH<sub>4</sub>低減対策としては、バイオガスの回収・発電、EFB との混合コンポスト化、フレアリング等があり、近年、CDM プロジェクトとして、インドネシアやマレーシアにおいてバイオガスの回収・発電やコンポスト化等がそれぞれ 20 件以上登録されている。本研究では、これらの事例から、パームオイルミルにおいてバイオガスの回収・発電やコンポスト化を行った場合のライフサイクル温室効果ガス排出量を定量的に評価した。この結果、POME から放出されるバイオガスの回収・発電を導入した場合は 1.65 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であり、導入しない場合に比べて 29.5%削減され、POME および EFB のコンポスト化では 1.55 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME であり 33.8%とさらに削減される結果となった。また、全体の排出量のうち高い割合を示す項目としては、化学肥料の使用に関連する排出量（施肥による N<sub>2</sub>O 放出、肥料製造時の温室効果ガス排出）が全体の 35.9%に上ることがわかり、施肥対策も PME のライフサイクル温室効果ガス排出量において重要なファクターであることが示唆された。施肥対策としては EFB の投入やコンポストの利用がなされているが、その効果の定量化に必要な十分な情報が得られなかった。施肥対策の定量化については今後の課題である。

PME の生産において土地利用転換を必要としない場合には、化石燃料起源の軽油を代替することで PME 1.0 ton あたりおよそ 0.95 tCO<sub>2</sub>-eq (= 3.29 – 2.34)、28.8%の温室効果ガス排出量の削減が見込まれる。パームオイルミルにおいて、POME から放出されるバイオガスの回収・発電を導入した場合は軽油に比べて PME 1.0 ton あたり 1.64 tCO<sub>2</sub>-eq (= 3.29 – 1.65)、49.8%、POME および EFB のコンポスト化では 1.74 tCO<sub>2</sub>-eq (= 3.29 – 1.55)、52.9%と算定された。

荒地、草地、ゴム林、果樹園、水田、熱帯林など様々な土地利用状況からオイルパームプランテーションへの直接的な土地利用転換プロセスを含む PME のライフサイクル温室効果ガス排出量は、転換される前の土地利用の種類によって大きく異なる結果が得られた。土地利用状況の相違によるライフサイクル温室効果ガス排出量の差は、荒地の-5.69 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME から熱帯雨林（泥炭地）の 36.08 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME と非常に大きい結果となり、新規プランテーションの開発を含む PME のライフサイクル温室効果ガス排出量においては、土地利用転換プロセスが重要なファクターであることを示唆している。特に、熱帯雨林からオイルパームプランテーションへの転換を伴う PME 生産においては、最大 36.08 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME と多量の温室効果ガスが排出され、かつ大きな不確実性を持つ。一方、タイにおいては、荒地の活用とともに、ゴム林や果樹園、水田からの転換が多いと想定されるが、これらの土地利用からの転換を伴う PME 生産によるライフサイクル温室効果ガス排出量は、熱帯林と比較すると少ない。特に荒地や草地、水田の場合は、オイルパームプランテーションへ転換することで正味の吸収源になる可能性も示唆している。

化石燃料起源の軽油を PME で代替することによる PME 1ton あたりの温室効果ガス排出削減量は、荒地や草地、水田への新規プランテーションの場合は、それぞれ、2.77～8.98 tCO<sub>2</sub>-eq、1.68～7.33 tCO<sub>2</sub>-eq、6.05 tCO<sub>2</sub>-eq、果樹園やゴム林からの転換の場合は、若干の排出削減もしくは排出増になる（果樹園：-0.67 tCO<sub>2</sub>-eq、ゴム林：-4.03～1.66 tCO<sub>2</sub>-eq）と算定された。一方、熱帯林からの転換の場合は、軽油と比べて大きく排出が増える結果となった（-32.79～2.94 tCO<sub>2</sub>-eq）。特に、泥炭地における開発を伴う場合は軽油の 10 倍前後の排出量となった。単位面積あたりの温室効果ガス排出削減量も単位重量あたりの場合と同様の傾向が得られた。

これらの結果から、PME の生産を温室効果ガス排出削減の観点からみると、土地利用転換プロセスが極めて重要なファクターであり、荒地や草地、休耕田等においてプランテーションを行うことで比較的大きな軽油代替効果が得られることが示唆された。また、パームオイルミルから排出される POME 対策（バイオガス発電、コンポスト化等）も軽油代替効果を高めるために重要な要素であることが示唆された。



なお、土地利用転換を含むライフサイクル温室効果ガス排出量の評価においては、間接的な土地利用転換の評価、熱帯林等における伐採木の有効利用の評価、各土地利用が有する機能の統一を行っていないことに留意が必要である。

#### バイオディーゼル CDM プロジェクトの実現可能性

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価結果や既存のバイオディーゼル用 CDM 方法論の適用可能条件等を勘案し、PME 生産プロジェクトの CDM プロジェクトとしての実現可能性を評価した。

CDM プロジェクトとして実現させるためには、"Shift of preproject activity"による間接的な土地利用転換の有無が重要な検討要素となる。既存のプランテーションを利用する場合は、それまでに他用途に供給されていた CPO がバイオディーゼル用に用いられることで、他用途用の原料が不足するなどの可能性がある。その場合、その不足分を補うために、他の土地で新たにプランテーションが開発され、間接的な土地利用転換が生じ得る。新規の専用プランテーションの場合は、そのような懸念は無いが、プランテーションとする前の土地利用の状況によっては、間接的な土地利用転換が生じ得る。例えば、オイルパームプランテーションを新たに開発する土地が、以前にはゴム林だった場合、ゴムの供給が不足し、その供給を補うために他の土地でゴム林が開発され、その間接的な土地利用転換によって GHG が排出される可能性がある。このような間接的な土地利用転換の有無や規模は、国や地域の農産物需給等の状況に大きく左右され、また条件によっては生じない場合もあるなど、その定量化は極めて困難である。このため、既存のプランテーション起源の CPO を PME 生産の原料として用いたり、これまでに他用途に使われていた土地を新たに開墾してオイルパームを栽培する場合で、このような間接的な土地利用転換が生じる場合には、CDM プロジェクトとして実現させるのは困難と評価した。

一方で、間接的な土地利用転換が生じないことが証明できれば、既存のプランテーション起源の CPO を用いた PME 生産プロジェクトは実現可能性が高い。また、荒地や草地、休耕田において新規プランテーションを開発し、得られる CPO を用いて PME を生産するケースについても温室効果ガス削減量が比較的大きく実現可能性が高い。特に荒地については、既に CDM 理事会による承認方法論があるため、即座に CDM プロジェクトとして実現が可能である。ゴム林や果樹園からの転換のケースについては、間接的な土地利用転換が生じない場合でも削減量は小さく、実現可能性は低いと評価した。

## バイオディーゼル CDM プロジェクトの実現に向けた提言

バイオ燃料の導入は、化石燃料消費の低減によるエネルギー対策や温室効果ガス排出削減対策として推進されているが、地域環境の悪化、食料との競合、温室効果ガスの削減につながらないなど様々な悪影響が懸念されている。CDM プロジェクトでは、国連が定める厳格なプロセスに則ってプロジェクトによる温室効果ガス排出削減量について審査を受ける必要があるため、温室効果ガス排出量が削減されないプロジェクトは制度的に実現できない。さらに、CDM プロジェクトでは、実施にあたって開発途上国の政府承認を得る必要があるため、開発途上国の持続可能な発展に寄与せず、環境破壊につながるプロジェクトは実現できない。特に、バイオディーゼルの CDM プロジェクトの承認方法論では、森林破壊や食料との競合等が生じないように適用可能な条件（開墾可能な土地利用のタイプ等）が厳密に定められており、またライフサイクルでの排出量を算定することとされている。このため、バイオディーゼル導入プロジェクトを CDM プロジェクトとして実施することで、バイオディーゼルに関して懸念されている環境課題の一端が解決できる可能性がある。

さらに、CDM プロジェクトとして実施する場合には、温室効果ガス排出削減量に応じてクレジット（CER: Certified Emission Reduction）を得ることができ、プロジェクト実施者は、CER を先進国等に売却することで追加的な収入が得られる。CER 売却による追加的な収入は、バイオディーゼル生産プロジェクトの採算性の向上に寄与するばかりでなく、バイオディーゼルの販売価格の低減、パームオイルミルの環境対策への投資、オイルパーム生産農家への還元など様々な使い方ができる。特に、オイルパーム生産農家へ一部還元することで、化学肥料を低減した有機栽培等を促進するプログラムの実現や農家の移転による間接的土地利用転換の防止等、様々な効果が期待できる。

2009 年 10 月、バイオディーゼルプロジェクトに適用可能な方法論 ACM0017 が UNFCCC CDM 理事会によって承認され、開発途上国におけるバイオディーゼルの導入を CDM プロジェクトとして実現できることになった。しかし、この方法論は、適用可能なプロジェクトが極めて限定的なこと（荒地での新規専用プランテーションに限定）や、プロジェクトによる排出削減量の算定のために、非常に多くのパラメータをモニタリングしなければならないことなど課題がある。本研究では、PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の評価結果等を活用し、これらの課題を解消するための提言を行った。

提言の一つは、方法論 ACM0017 の適用可能条件の拡張である。荒地での新規専用プランテーション以外で CDM プロジェクトとして実現可能性が高い、「既存のプランテーションからの作物の供給のうち、間接的土地利用転換が生じないケース」および「耕作地や草地からの土地利用転換を伴う新

規プランテーションからの作物の供給のうち、間接的な土地利用転換が生じないケース」に適用できるような方法を検討した。同時に、「間接的な土地利用転換が生じない条件」および「土地利用転換による炭素貯蔵量の変化に伴う CO<sub>2</sub> 放出量の算定方法」についても検討した。

提言の二つ目は、方法論 ACM0017 で提示されている算定式の簡素化である。この方法論に基づいてバイオディーゼル導入プロジェクトにおける温室効果ガス排出削減量を算定するためには、多くのパラメータと数式を用いて計算する必要がある。ACM0017 では、70 以上のパラメータを用いて、20 以上の数式を解かなければならない。また、毎年モニタリングしなければならないパラメータも 40 近くに上る。このため、バイオディーゼル CDM プロジェクトを実施しようとする事業者の負担は大きいと想像される。本研究の成果から、主要 5 プロセス（POME からのメタン排出、施肥に伴う N<sub>2</sub>O 排出、肥料製造時の排出、メタノール製造時の排出、メタノール消費時の排出）の排出量を算定することで、保守的にみても全排出量のおよそ 87%を精度良く把握できることがわかった。この結果から総排出量を補正計算することで、排出削減量の精度を確保しつつ、モニターが必要なパラメータを 28 から 7 に減らすことができる。さらに、PME 1 ton あたりのライフサイクル温室効果ガス排出係数を示し、PME 生産量を乗ずることで総排出量を計算するより簡便な方法についても提案した。排出係数は、本研究の成果から、CDM プロジェクトにおける保守性（conservativeness）を勘案し、POME 対策無しの場合が 2.8 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME、POME バイオガス回収・発電および POME・EFB コンポスト化の場合がそれぞれ 2.1 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME、1.9 tCO<sub>2</sub>-eq/tPME と設定した。

## 6-2 今後の課題

---

今後の研究課題としては、以下が挙げられる。

### 炭素貯蔵量に関するデータの蓄積・精緻化

本研究においては、果樹園、水田の炭素貯蔵量については限定的なデータを用いた。今後、特にこれらのデータを精緻化することで、それぞれの土地利用を起源とする PME のライフサイクル温室効果ガス排出量の精度を高めていく必要がある。また、実際にタイ等でのオイルパームプランテーションへの土地利用転換の事例を調査し、フィールド調査により炭素貯蔵量の研究を深めていくことも必要と考える。

### 間接的な土地利用転換の定量化

本研究では、それぞれの土地利用がオイルパームプランテーションへ転換する際に生じる可能性がある間接的な土地利用転換は評価範囲に含めなかったが、間接的な土地利用転換が生じ得る条件（農産物の需給バランス等）や、間接的な土地利用転換面積の定量化、およびそれに伴う CO<sub>2</sub> 放出量の評価は今後の重要な研究課題の一つである。

### オイルパーム栽培時の施肥対策等の定量評価

PME のライフサイクル温室効果ガス排出量においては施肥に伴う排出割合が大きいことから、オイルパーム栽培時の施肥対策が温室効果ガス排出の観点から重要であることが示唆された。しかし、オイルパーム栽培における有機肥料の有用性等、化学肥料の低減効果については十分な定量的なデータが得られなかった。今後、オイルパーム栽培時の施肥対策等の定量化も温室効果ガス排出量の評価の観点から重要と考える。

### 大気環境や水質等のローカルな環境影響の観点からのライフサイクル評価

バイオディーゼルの導入は温室効果ガス排出削減の観点のみならず、地域への環境影響といった観点からも非常に重要な意味を持つ。例えば、バイオディーゼルを使用した場合には自動車排ガス成分が軽油の場合と比べて変化することが知られていることから、大気環境への影響といった観点での評価は非常に重要である。また、オイルパームの栽培やパームオイルの生産のプロセスにおける水質や土壌環境への影響についての評価も地域環境の観点から必要な研究と考える。

### マレーシアやインドネシアにおける PME のライフサイクル温室効果ガス排出量との比較

マレーシアやインドネシアにおける PME のライフサイクル温室効果ガス排出量との精緻な比較を行うことで、タイにおける PME 生産に係る温室効果ガス排出量の課題等を抽出することができると考える。



## Appendix I 土地利用分類の定義

表 土地利用分類の定義(1)

本研究での引用論文	本研究での土地利用分類名		引用論文での定義
Wicke et al <sup>*148</sup>	Tropical rain forest		Natural rain forest との記載があるが、詳細な定義は無し
	Degraded land		Grass land (Imperata cylindrica) との記載があるが、詳細な定義は無し
Reijnders and Huijbregts <sup>*65</sup>	Tropical rain forest		Pristine tropical forest との記載があるが、詳細な定義は無し
Germer and Sauerborn <sup>*27</sup>	Tropical lowland forest		“The forest type most frequently converted for oil palm growing” との記載があるが、詳細な定義は無し
	Grassland		Imperata 等の植生を含む記載があるが、詳細な定義は無し
Gnanavelrajah <sup>*28</sup>	Rubber		Para rubber (Hevea brasiliensis)
	Mixed orchard		詳細な定義は無し
	Paddy		Lowland paddy (Oryza sativa)
IPCC <sup>*37, *38, *39</sup>	Degraded land (Severly Degraded Land)	Tropical, Moist Tropical, Wet	Degraded land の定義は下表参照 気候区分は Appendix II 参照
	Degraded land (Moderately degraded grassland)	Tropical, Moist Tropical, Wet	Degraded land の定義は下表参照 気候区分は Appendix II 参照
	Grassland	Tropical, Moist	Grassland の定義は下表参照
		Tropical, Wet	気候区分は Appendix II 参照
	Rubber	Tropical Wet or Moist	気候区分は Appendix II 参照
	Tropical rain forest	-	Forest の定義は下表参照
	Tropical moist deciduous forest	-	Forest の定義は下表参照

表 土地利用分類の定義(2)

分類	定義	出典
Forest	Land spanning more than 0.5 hectare with trees higher than 5 meters and a canopy cover of more than 10 percent, or trees able to reach these thresholds in situ. It does not include land that is predominantly under agricultural or urban land use.  Forest is determined both by the presence of trees and the absence of other predominant land uses. The trees should be able to reach a minimum height of 5 meters in situ. Areas under reforestation that have not yet reached but are expected to reach a canopy cover of 10 percent and tree height of 5 meters are included, as are temporarily unstocked areas, resulting from human intervention or natural causes, which are expected to regenerate.	IPCC <sup>*37</sup> , FAO <sup>*20</sup>

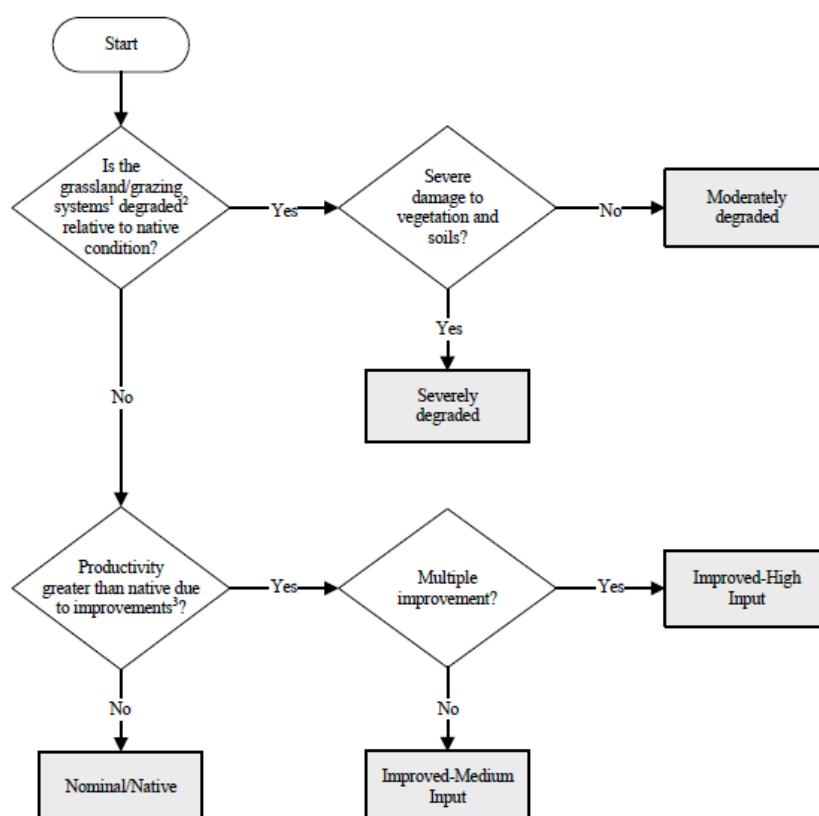
	<p>Includes: areas with bamboo and palms provided that height and canopy cover criteria are met; forest roads, firebreaks and other small open areas; forest in national parks, nature reserves and other protected areas such as those of specific scientific, historical, cultural or spiritual interest; windbreaks, shelterbelts and corridors of trees with an area of more than 0.5 hectare and width of more than 20 meters; plantations primarily used for forestry or protective purposes, such as rubber-wood plantations and cork oak stands.</p> <p>Excludes: tree stands in agricultural production systems, for example in fruit plantations and agroforestry systems. The term also excludes trees in urban parks and gardens.</p>	
Grassland	Land with herbaceous types of cover. Tree and shrub cover is less than 10%	Earthtrends <sup>*17</sup>
Degraded land	Land which due to natural processes or human activity is no longer available to sustain properly an economic function and / or the original ecological function	FAO <sup>*21</sup>
	<p>The presence of one of the following is enough for demonstrating that land is “degraded” and/or “degrading”:</p> <p>(a) Provide documented evidence that the area has been classified as “degraded” under verifiable local, regional, national or international land classification system or peer-review study, participatory rural appraisal, satellite imagery and/or photographic evidence in the last 10 years. If the documented evidence of degradation is older than ten years then:</p> <p>(i) Provide evidence that the natural or anthropogenic degradation drivers and pressures that led to the land becoming “degraded” are still present and/or that there are no insufficient land management interventions to reverse degradation.</p> <p>(b) Demonstrate through a comparative study that the candidate lands in the proposed project area have similar or equivalent conditions (e.g. vegetation, soil, climate, topography, altitude, soil class and land use) and socio-economic pressures and drivers of degradation to reference degraded lands elsewhere, verifiably classified and documented as degraded lands. The proof of similarity of lands should be made through verifiable documentation and/or visual field assessment and data sets:</p> <p>(c) Demonstrate through direct evidence based on selected indicators of land degradation that the area is “degraded” and/or “degrading” through conducting either a visual assessment of the state and condition of the indicators or a verifiable participatory rural appraisal (PRA). The indicators of degradation should be locally relevant and verifiable. Candidate lands shall be declared as “degraded” and/or “degrading” if they show at least one of the following:</p> <p>(i) The severity and extent of soil compaction and soil erosion, as determined by the presence of: reductions in topsoil depth (as shown by root exposure, presence of pedestals; exposed sub-soil horizons or armour layers); gully, sheet or rill erosion, landslides, or other forms of mass-movement erosion;</p> <p>(ii) Decline in organic matter content and/or recession of vegetation cover as shown by reduction in plant cover or productivity due to overgrazing or other land</p>	UNFCCC <sup>*144</sup>



management practices, thinning of topsoil organic layer, scarcity of topsoil litter and debris (GPS and photo evidence should be provided);

(iii) Presence of plant species locally known to be related to the condition of degradation of the land or field/lab tests showing nutrient depletion (e.g. reduced growth, leaf loss, dessication, leaf chlorosis), salinity or alkalinity, toxic compounds and heavy metals;

(iv) A reduction in plant cover or productivity due to overgrazing or other land management practices.



Note:

1: Includes continuous pasture, hay lands and rangelands.

2: Degradation is equated with C input to the soil relative to native conditions, which may be caused by long-term heavy grazing or planting less productive plants relative to native vegetation.

3: Productivity refers explicitly to C input to soil (management improvements that increase input e.g., fertilization, organic amendment, irrigation, planting more productive varieties, liming, and seeding legumes).

#### 図 Grassland の分類方法

Source: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 6: Grassland, p.6.18

## Appendix II IPCC による気候区分

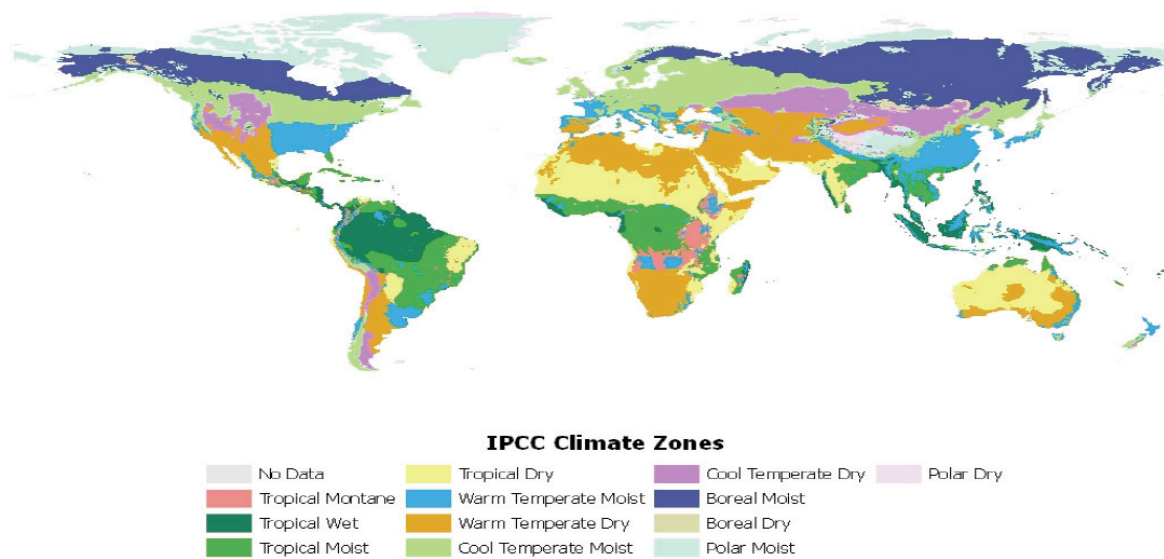


図 IPCC による気候区分

Source: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 3: Consistent Representation of Lands, p.3.38, Figure 3A.5.1.

表 IPCC による気候区分

TABLE 4.1 CLIMATE DOMAINS (FAO, 2001), CLIMATE REGIONS (CHAPTER 3), AND ECOLOGICAL ZONES (FAO, 2001)					
Climate domain		Climate region	Ecological zone		
Domain	Domain criteria		Zone	Code	Zone criteria
Tropical	all months without frost; in marine areas, temperature >18°C	Tropical wet	Tropical rain forest	TAr	wet: ≤ 3 months dry, during winter
		Tropical moist	Tropical moist deciduous forest	TAWa	mainly wet: 3-5 months dry, during winter
		Tropical dry	Tropical dry forest	TAWb	mainly dry: 5-8 months dry, during winter
			Tropical shrubland	TBSh	semi-arid: evaporation > precipitation
			Tropical desert	TBWh	arid: all months dry
		Tropical montane	Tropical mountain systems	TM	altitudes approximately >1000 m, with local variations
Sub-tropical	≥ 8 months at a temperature >10°C	Warm temperate moist	Subtropical humid forest	SCf	humid: no dry season
		Warm temperate dry	Subtropical dry forest	SCs	seasonally dry: winter rains, dry summer
			Subtropical steppe	SBSH	semi-arid: evaporation > precipitation
			Subtropical desert	SBWh	arid: all months dry
		Warm temperate moist or dry	Subtropical mountain systems	SM	altitudes approximately 800 m-1000 m
Temperate	4-8 months at a temperature >10°C	Cool temperate moist	Temperate oceanic forest	TeDo	oceanic climate: coldest month >0°C
			Temperate continental forest	TeDc	continental climate: coldest month <0°C
		Cool temperate dry	Temperate steppe	TeBSk	semi-arid: evaporation > precipitation
			Temperate desert	TeBWk	arid: all months dry
		Cool temperate moist or dry	Temperate mountain systems	TeM	altitudes approximately >800 m
Boreal	≤ 3 months at a temperature >10°C	Boreal moist	Boreal coniferous forest	Ba	coniferous dense forest dominant
		Boreal dry	Boreal tundra woodland	Bb	woodland and sparse forest dominant
		Boreal moist or dry	Boreal mountain systems	BM	altitudes approximately >600 m
Polar	all months <10°C	Polar moist or dry	Polar	P	all months <10°C
Climate domain: Area of relatively homogenous temperature regime, equivalent to the Köppen-Trewartha climate groups (Köppen, 1931). Climate region: Areas of similar climate defined in Chapter 3 for reporting across different carbon pools. Ecological zone: Area with broad, yet relatively homogeneous natural vegetation formations that are similar, but not necessarily identical, in physiognomy. Dry month: A month in which Total Precipitation (mm) ≤ 2 x Mean Temperature (°C).					

Source: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 4: Forest Land, p.4.46, Table 4.1.

## Appendix III PME ライフサイクル温室効果ガス排出量の計算

### 1. 土地利用転換

直接的な土地利用転換に伴う二酸化炭素放出量は下式により算出した。

$$\begin{aligned} PE_{plc,y} &= (\Delta C_{LB} + \Delta C_{soil}) \times 44/12 \\ &= ((C_{LB\_pv} + C_{soil\_pv}) - (C_{LB\_op} + C_{soil\_op}))/25 \times 44/12 \end{aligned}$$

土壌中の炭素貯蔵量は、IPCC ガイドライン<sup>\*36</sup>に基づいて下式により算出した。

$$\begin{aligned} C_{soil\_pv} &= SOC_{REF} \times F_{LU(pv)} \times F_{MG(pv)} \times F_{I(pv)} \\ C_{soil\_op} &= SOC_{REF} \times F_{LU(op)} \times F_{MG(op)} \times F_{I(op)} \end{aligned}$$

$PE_{plc,y}$	: Total CO <sub>2</sub> emission from land conversion from previous land use to oil palm plantation (tCO <sub>2</sub> /ha/year)
$\Delta C_{LB}$	: Change in carbon stocks in living biomass in previous land use converted to oil palm plantation (tC/ha/year)
$\Delta C_{Soil}$	: Change in carbon stocks in soil in previous land use converted to oil palm plantation (tC/yr)
$C_{LB\_op}$	: Carbon stocks in biomass of oil palm plantation (tC/ha)
$C_{LB\_pv}$	: Carbon stocks in biomass of previous land use (tC/ha)
$C_{soil\_op}$	: Soil organic carbon stock of oil palm plantation (tC/ha)
$C_{soil\_pv}$	: Soil organic carbon stock of previous land use (tC/ha)
$SOC_{REF}$	: The reference carbon stock (tC/ha)
$F_{LU(op)}$	: Stock change factor for land use or land-use change type in the last year of an inventory time period
$F_{MG(op)}$	: Stock change factor for management regime in the last year of an inventory time period
$F_{I(op)}$	: Stock change factor for input of organic matter in the last year of an inventory time period
$F_{LU(pv)}$	: Stock change factor for land use or land-use change type at the beginning of the inventory time period
$F_{MG(pv)}$	: Stock change factor for management regime at the beginning of the inventory time period
$F_{I(pv)}$	: Stock change factor for input of organic matter at the beginning of the inventory time period

## 2. オイルパーム栽培

$$PE_{pOC} = PE_{pf} + PE_{psf} + PE_{pa}$$

$PE_{pOC}$  : CO<sub>2</sub> emission from oil crop cultivation (tCO<sub>2</sub>-eq/tPME)

$PE_{pa}$  : Emissions from fossil fuel consumption in agricultural operations (tCO<sub>2</sub>/tPME)

$PE_{pf}$  : N<sub>2</sub>O emission from fertilizer use in cultivation (tCO<sub>2</sub>-eq/tPME)

$PE_{psf}$  : Emissions from production of synthetic fertilizer (tCO<sub>2</sub>-eq/tPME)

### 2-1 農機の稼働に伴う CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{pa} = FC_{pa} \times NCV_{PD} \times EF_{CO_2,PD} \times CA_{OC}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{pa,y}$	Emissions from fossil fuel consumption in agricultural operations (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.01	Calculated
$FC_{pa}$	Consumption of petroleum diesel in agricultural operations (ton/ha)	0.0047	= 0.33 (liters/tFFB) * 0.85 (kg/liter) * 16.7 (tFFB/ha) / 1,000 See Section 3-2.
$NCV_{PD}$	Net calorific value of petroleum diesel (GJ/ton)	43.0	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 1: Introduction, Table 1.2
$EF_{CO_2,PD}$	CO <sub>2</sub> emission factor of petroleum diesel (tCO <sub>2</sub> /GJ)	0.0741	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 1: Introduction, Table 1.4
$CA_{OC}$	Oil crop cultivation area to produce a ton of PME (ha/tPME)	0.405	= 1 / (0.881 (tPME/tCPO) * 0.168 (tCPO/tFFB) * 16.7 (tFFB/ha)) See Section 3-2.

### 2-2 施肥に伴う N<sub>2</sub>O 排出量

施肥に伴う N<sub>2</sub>O 排出量は、IPCC ガイドライン<sup>\*40</sup> に準じて下式により算出した。

$$PE_{pf} = SF_{lha} \times w_{N,sf} \times CA_{OC} \times (EF_{fN_2Oa} + F_{GASF} \times EF_{fN_2Ob} + F_{LEACH} \times EF_{fN_2Oc}) \times (44/28) \times GWP_{N_2O}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{pfy}$	N <sub>2</sub> O emission from fertilizer use in cultivation (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)	0.351	Calculated
$SF_{N-Iha}$	N Fertilizer use per ha (ton-N/ha/yr)	0.1346	
$CA_{OC}$	Oil crop cultivation area to produce a ton of PME (ha/tPME)	0.405	= 1 / (0.881 (tPME/tCPO) * 0.168 (tCPO/tFFB) * 16.7 (tFFB/ha)) See Section 3-2.
$EF_{fN2Oa}$	Emission factor for N <sub>2</sub> O emissions from N inputs (kgN <sub>2</sub> O-N/kg-N)	0.01	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume4,Chapter11,p.11.10
$EF_{fN2Ob}$	Emission factor for N <sub>2</sub> O emissions from atmospheric deposition of N on soils and water surfaces (kgN <sub>2</sub> O-N/kgNH <sub>3</sub> -N and NOx-N volatilised)	0.01	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume4,Chapter11,p.11.24
$EF_{fN2Oc}$	Emission factor for N <sub>2</sub> O emissions from N leaching and runoff (kgN <sub>2</sub> O-N/kgN leached and runoff)	0.0075	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume4,Chapter11,p.11.24
$F_{GASF}$	Fraction of synthetic fertiliser nitrogen applied to soils that volatilises as NH <sub>3</sub> and NOx (kg NH <sub>3</sub> -N and NOx-N/kg of N input)	0.10	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume4,Chapter11,p.11.24
$F_{LEACH}$	Fraction of all N added to/mineralised in managed soils in regions where leaching/runoff occurs that is lost through leaching and runoff (kg N/kg of N additions)	0.01	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume4,Chapter11,p.11.24
$GWP_{N2O}$	Global warming potential of N <sub>2</sub> O	310	

## 2-3 肥料の製造に伴う GHG 排出量

$$PE_{psf} = (SF_{N-1ha} \times EF_{CO2e,psf-N} + SF_{P-1ha} \times EF_{CO2e,psf-P} + SF_{K-1ha} \times EF_{CO2e,psf-K}) \times CA_{OC}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{psf}$	Emissions from production of synthetic fertilizer (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)	0.47	Calculated
$EF_{CO2e,psf-N}$	Greenhouse gas emission factor of N synthetic fertilizer production (kgCO <sub>2</sub> -eq/kgN)	7.1	
$EF_{CO2e,psf-P}$	Greenhouse gas emission factor of P synthetic fertilizer production (kgCO <sub>2</sub> -eq/kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2.0	
$EF_{CO2e,psf-K}$	Greenhouse gas emission factor of K synthetic fertilizer production (kgCO <sub>2</sub> -eq/kgK <sub>2</sub> O)	0.4	
$SF_{N-1ha}$	N Fertilizer use per ha (ton-N/ha/yr)	0.1346	See Section 3-2.
$SF_{P-1ha}$	P Fertilizer use per ha (ton-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/yr)	0.0737	See Section 3-2.
$SF_{K-1ha}$	K Fertilizer use per ha (ton-K <sub>2</sub> O/ha/yr)	0.2643	See Section 3-2.
$CA_{OC}$	Oil crop cultivation area to produce a ton of PME (ha/tPME)	0.405	= 1 / (0.881 (tPME/tCPO) * 0.168 (tCPO/tFFB) * 16.7 (tFFB/ha)) See Section 3-2.

### 3. CPO 生産

#### 3-1 系統電力消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{pCPO-E} = EC_{pCPO} \times EF_{CO_2,ELEC}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{pCPO-E}$	CO <sub>2</sub> emission from grid electricity consumption in CPO production (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.01	Calculated
$EC_{pCPO}$	Grid electricity consumption in CPO production (MWh/tPME)	0.013	=1.86 (kWh/tFFB) * 16.7 (tFFB/ha) * 0.405 (ha/tPME)/1000 See Section 3-2.
$EF_{CO_2,ELEC}$	CO <sub>2</sub> emission factor of grid electricity (tCO <sub>2</sub> /MWh)	0.5057	

#### 3-2 化石燃料消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{pCPO-F} = FC_{pCPO} \times NCV_{PD} \times EF_{CO_2,PD}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{pCPO-F}$	CO <sub>2</sub> emission from consumption of petroleum diesel in CPO production (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.01	Calculated
$FC_{pCPO}$	Petroleum diesel consumption in CPO production (ton/tPME)	0.003	=0.50 (liters/tFFB) * 0.85 (kg/liter) * 16.7 (tFFB/ha) * 0.405 (ha/tPME) / 1,000 See Section 3-2.
$NCV_{PD}$	Net calorific value of petroleum diesel (GJ/ton)	43.0	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 1: Introduction, Table 1.2
$EF_{CO_2,PD}$	CO <sub>2</sub> emission factor of petroleum diesel (tCO <sub>2</sub> /GJ)	0.0741	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 1: Introduction, Table 1.4

#### 3-3 POME からの CH<sub>4</sub> 排出量

POME からの CH<sub>4</sub> 排出量は、IPCC ガイドライン<sup>\*41</sup>に基づいて下式により算出した。

$$PE_{POME} = COD \times B_o \times MCF \times GWP_{CH_4}$$



Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{POME}$	CH <sub>4</sub> emission from anaerobic treatment of POME in CPO production (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)	0.81	Calculated
$Q_{POME}$	Amount of POME treated anaerobically in CPO production plant in year y (m <sup>3</sup> /tPME)	3.58	= 0.53 (m <sup>3</sup> /tFFB) * 16.7 (tFFB/ha) * 0.405 (ha/tPME) See Section 3-2.
COD	Chemical Oxygen Demand (COD) of wastewater (tCOD/m <sup>3</sup> )	0.051	See Section 3-2.
$B_o$	Maximum methane producing capacity (kgCH <sub>4</sub> /kgCOD)	0.21	
MCF	Methane conversion factor	1.0	
$GWP_{CH_4}$	Global warming potential of CH <sub>4</sub>	21	

#### 4. PME 生産

##### 4-1 系統電力消費に伴う CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{pBD} = PE_{pBD\_E} + PE_{pBD\_F}$$

$$PE_{pBD\_E} = EC_{pBD} \times EF_{CO_2,ELEC} \times 10^{-6}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{pBD}$	CO <sub>2</sub> emission from grid electricity and fossil fuel consumption in biodiesel production (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.07	Calculated
$PE_{pBD\_E}$	CO <sub>2</sub> emission from grid electricity consumption in biodiesel production (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.07	Calculated
$PE_{pBD\_F}$	CO <sub>2</sub> emission from consumption of fossil fuel type <i>i</i> in Biodiesel production (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0	No fossil fuel is used in PME production.
$EC_{pBD}$	Grid electricity consumption in biodiesel production (MWh/tPME)	0.144	See Section 3-2.
$EF_{CO_2,ELEC}$	CO <sub>2</sub> emission factor of grid electricity (gCO <sub>2</sub> /kWh)	0.5057	

##### 4-2 エステル交換に用いるメタノールの生産時の CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{pMe} = MC \times EF_{CO_2,pMe}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{pMe}$	Emissions from production of methanol (tCO <sub>2</sub> -eq/tPME)	0.29	Calculated
MC	Fossil fuel (i.e. natural gas) derived methanol consumption in biodiesel production (ton/tPME)	0.15	=1.0 (tPME) * 15 %
$EF_{CO_2,pMe}$	Greenhouse gas emission factor of methanol production (tCO <sub>2</sub> -eq/tCH <sub>3</sub> OH)	1.95	

## 5. PME 消費

### 5-1 メタノール中の化石燃料起源炭素の燃焼による CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{cMe} = MC \times 12/32 \times 44/12$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{cMe,y}$	Emissions from combustion of fossil carbon content in biodiesel (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.21	Calculated
MC	Fossil fuel (i.e. natural gas) derived methanol consumption in biodiesel production (ton/tPME)	0.15	=1.0 (tPME) * 15 %

## 6. 原料・燃料輸送

### 6-1 オイルパームプランテーションからパームオイルミルへの FFB 輸送時の CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{tFFB} = W_{FFB}/TL_{FFB} \times ADT_{tFFB} \times EF_{CO_2,hdt} \times 10^{-6}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{tFFB}$	CO <sub>2</sub> emission from petroleum diesel consumption by trucks to transport FFB (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.068	Calculated
$W_{FFB}$	Weight of FFB processed to produce CPO (tFFB/tPME)	6.8	= 1/(0.168 (tCPO/tFFB) * 0.881 (tPME/tCPO)) See Section 3-2.
$TL_{FFB}$	Average truck load for vehicles transporting FFB (ton)	5	See Section 3-2.
$ADT_{tFFB}$	Average distance travelled by trucks transporting FFB (km)	50	See Section 3-2.
$EF_{CO_2, hdt}$	Carbon dioxide emissions factor for trucks transporting FFB (tCO <sub>2</sub> /km)	0.0010	See Section 3-2.

## 6-2 パームオイルミルから積出港へのローリーによる CPO 輸送時の CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{tCPO\_L} = W_{CPO} / TL_{CPO} \times ADT_{tCPO} \times EF_{CO_2, hdt} \times 10^{-6}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{tCPO}$	CO <sub>2</sub> emission from petroleum diesel consumption by trucks to transport CPO (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.006	Calculated
$W_{CPO}$	Weight of CPO produced (tCPO/tPME)	1.1	= 1/0.881 (tPME/tCPO) See Section 3-2.
$TL_{CPO}$	Average truck load for vehicles transporting CPO (ton)	20	See Section 3-2.
$ADT_{tCPO}$	Average distance travelled by trucks transporting CPO (km)	100	See Section 3-2.
$EF_{CO_2, hdt}$	Carbon dioxide emissions factor for trucks transporting CPO (tCO <sub>2</sub> /km)	0.0010	See Section 3-2.

## 6-3 積出港から荷揚港への船舶による CPO の輸送時の CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{tCPO\_M} = FC_{tCPO\_M} \times NCV_{FO} \times EF_{CO_2, FO}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{tCPO}$	CO <sub>2</sub> emission from petroleum diesel consumption by trucks to transport CPO (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.012	Calculated
$FC_{tCPO\_M}$	Consumption of fuel oil by vessels to transport CPO (ton/tPME)	0.0038	= (5 ton of fuel consumption from Suratthani to Bangkok ; obtained by transportation company) * 2 / 3,000 (transportation of CPO in one time in ton) / 0.881 (tPME/tCPO)
$NCV_{FO}$	Net calorific value of fuel oil (GJ/tonne)	40.4	
$EF_{CO_2,FO}$	Carbon dioxide emissions factor for fuel oil (tCO <sub>2</sub> /GJ)	0.0774	

#### 6-4 PME 生産プラントからバイオディーゼル混合施設への PME 輸送時の CO<sub>2</sub> 排出量

$$PE_{tPME} = W_{PME} / TL_{PME} \times ADT_{tPME} \times EF_{CO_2, hdt} \times 10^{-6}$$

Parameters	Descriptions	Value	References or Sources
$PE_{tPME}$	CO <sub>2</sub> emission from petroleum diesel consumption by trucks to transport PME (tCO <sub>2</sub> /tPME)	0.005	Calculated
$W_{PME}$	Weight of PME produced (tPME)	1.0	
$TL_{PME}$	Average truck load for vehicles transporting PME (ton)	20	See Section 3-2.
$ADT_{tPME}$	Average distance travelled by trucks transporting PME (km)	100	See Section 3-2.
$EF_{CO_2, hdt}$	Carbon dioxide emissions factor for trucks transporting PME (tCO <sub>2</sub> /km)	0.0010	Default: 1,097, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Reference Manual, p.1.75

#### 6-5 原料・燃料輸送合計

$$PE_t = PE_{tFFB} + PE_{tCPO\_L} + PE_{tCPO\_M} + PE_{tPME} = 0.09$$

### 7. 合計

$$\begin{aligned}
 PE_y &= PE_{plc,y} + (PE_{pa} + PE_{pf} + PE_{psf}) + PE_{pCPO-E} + PE_{pCPO-F} + PE_{POME} + PE_{pBD} + PE_{pMe} + PE_{cMe} + PE_t \\
 &= 0 + (0.01+0.35+0.49) + 0.01+0.01+0.81+0.07+0.29+0.21+0.09 \\
 &= 2.34 \text{ tCO}_2/\text{tPME}
 \end{aligned}$$

## Appendix IV 自動車排ガス試験結果

本試験は、国土交通省の「平成 16 年度地球環境問題解決のためのクリーン開発メカニズム (CDM) 推進事業」の一環として実施されたものであり、本項の内容の一部は Shirakawa ら<sup>\*72</sup>に公表している。

### 1. 排出係数の算出方法

#### 排出係数等の算出

シャーシダイナモ試験から得られた濃度、走行距離等の測定結果より、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、および主要な大気汚染物質である一酸化炭素 (CO)、炭化水素 (HC)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、粒子状物質 (PM) の排出係数、燃料消費率を算出した。なお、排出係数等の算出にあたっては、THC のみ連続測定を用い、その他はバッグサンプリングの結果を用いた。排出係数の算出方法を以下に示す。

Step1 : 各物質濃度 (体積濃度 ; %, ppm 等) を排出量 (g) に換算 (換算式は各物質毎に次ページ以降に示す)

Step2 : 連続測定結果利用の場合は、Step1 では 1 秒毎の排出量が算出されるが、これらを 1 テスト時間分積分し、1 テスト時間内に排出された排出量 (g) を算出

Step3 : 排出量をテスト時間内の走行距離 (km) で除することで排出係数を (g/km) 算出

Step4 : バスの場合は、車体重量 (ton) で除した排出係数 (g/km/ton) を算出

#### 二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)

CO<sub>2</sub>の排出量は、次式により求めた。

$$CO_2mass = V_{mix} \times CO_2dens \times CO_2conc \times 10^{-2}$$

$$CO_2conc = CO_2e - CO_2d \left(1 - \frac{1}{DF}\right)$$

CO<sub>2</sub>mass : CO<sub>2</sub>の排出量(g/sec)

V<sub>mix</sub> : 希釈排出ガス量 (標準状態 (20℃、1 気圧) ) (L/sec)

CO<sub>2</sub>dens : CO<sub>2</sub>1 リットル当たりの質量 (標準状態) (g/L)

CO<sub>2</sub>e : 希釈排出ガスの CO<sub>2</sub>濃度(%)

CO<sub>2</sub>d : 希釈空気中の CO<sub>2</sub>濃度(%)

DF : 希釈率 (希釈率 : Dilution Factor)

$$DF = \frac{A}{CO_2e + (HCe + COe) \times 10^{-4}}$$

$$A = 100 \times \frac{x}{x + \frac{y}{2} + \alpha \times \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right)}$$

DF : 希釈率

CO<sub>2e</sub> : 希釈排出ガス中の CO<sub>2</sub>濃度(%)

HCE : 希釈排出ガス中の HC 濃度(ppmC)

CO<sub>e</sub> : 希釈排出ガス中の CO 濃度(ppm)

x、y、z : 酸素含有燃料 C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>

α : 空気に含まれる O<sub>2</sub> の割合に対する N<sub>2</sub> の割合の比 (=3.76)

### 一酸化炭素 (CO)

CO の排出量は、次式により求めた。

$$CO_{mass} = V_{mix} \times CO_{dens} \times CO_{conc} \times 10^{-6}$$

$$CO_{conc} = CO_e - CO_d \left(1 - \frac{1}{DF}\right)$$

CO<sub>mass</sub> : CO の排出量(g/sec)

V<sub>mix</sub> : 希釈排出ガス量 (標準状態) (L/sec)

CO<sub>dens</sub> : CO1 リットル当たりの質量 (標準状態) (g/L)

CO<sub>e</sub> : 希釈排出ガス中の CO 濃度(ppm)

CO<sub>d</sub> : 希釈空気中の CO 濃度(ppm)

DF : 希釈率

### 炭化水素 (HC)

HC の排出量は、次式により求めた。

$$HC_{mass} = V_{mix} \times HC_{dens} \times HC_{conc} \times 10^{-6}$$

$$HC_{conc} = HC_e - HC_d \left(1 - \frac{1}{DF}\right)$$

HC<sub>mass</sub> : HC の排出量(g/sec)

V<sub>mix</sub> : 希釈排出ガス量 (標準状態) (L/sec)

HC<sub>dens</sub> : HC1 リットル当たりの質量 (標準状態。燃料の HC 比等は 3 章に示した) (g/L)

HC<sub>e</sub> : 希釈排出ガス中の HC 濃度(ppmC)

HC<sub>d</sub> : 希釈空気中の HC 濃度(ppmC)

DF : 希釈率

### 窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)

NO<sub>x</sub> の排出量は、次式により求めた。

$$NOxmass = Vmix \times NOxdens \times NOxconc \times KH \times 10^{-6}$$

$$NOxconc = NOxe - NOxd \left(1 - \frac{1}{DF}\right)$$

NOxmass : NOx の排出量(g/sec)

Vmix : 希釈排出ガス量 (標準状態) (L/sec)

NOx dens : NOx1 リットル当たりの質量 (標準状態。NOx の全量が NO<sub>2</sub> と仮定) (g/L)

KH : 湿度補正係数

NOxe : 希釈排出ガス中の NOx 濃度(ppm)

NOxd : 希釈空気中の NOx 濃度(ppm)

DF : 希釈率

### 粒子状物質 (PM)

PM の排出量は、次式により求めた。

$$PMmass = Vmix \times \frac{PMp}{Vp} \times 10^{-6}$$

PMmass : PM の排出量(g/sec)

Vmix : 希釈排出ガス量 (標準状態) (L/sec)

PMp : 希釈排出ガスの PM の捕集質量(μg)

Vp : 希釈排出ガスサンプル流量 (標準状態) (L)

なお、PM の捕集質量 (PMp) については、以下の計算式から捕集効率を求めて、その効率に応じた方法によって求めた。

- ・捕集効率が 95%を超える場合

PM の捕集質量は、一次捕集フィルタの捕集質量 (PM<sub>1</sub>) とした。

- ・捕集効率が 85%を超え 95%以下の場合

PM の捕集質量は、一次捕集フィルタの捕集質量 (PM<sub>1</sub>) に二次捕集フィルタの捕集質量 (PM<sub>2</sub>) を加えた。

$$\eta = \frac{PM_1}{PM_1 + PM_2} \times 100$$

η : PM の捕集効率(%)

PM<sub>1</sub> : 一次捕集フィルタの捕集質量(μg)

PM<sub>2</sub> : 二次捕集フィルタの捕集質量(μg)

### 燃料消費率の算出式

燃料消費率の排出量はカーボンバランス法を用い、次式により求めた。

$$FE = \frac{CWF \times D \times 10^3}{0.429 \times CO_{ef} + \left[ 12.0107x / (12.0107x + 1.00794y) \right] \times THC_{ef} + 0.273 \times CO_{2ef}}$$

FE : 燃料消費率(km/L)

CWF : 燃料の炭素含有率(gC/g)

D : 燃料の密度(g/cm<sup>3</sup>)

CO<sub>ef</sub> : CO 排出係数(g/km)

THC<sub>ef</sub> : THC 排出係数(g/km)

CO<sub>2ef</sub> : CO<sub>2</sub> 排出係数(g/km)

x、y : 酸素含有燃料 C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>



## 2. NO<sub>x</sub> (窒素酸化物)

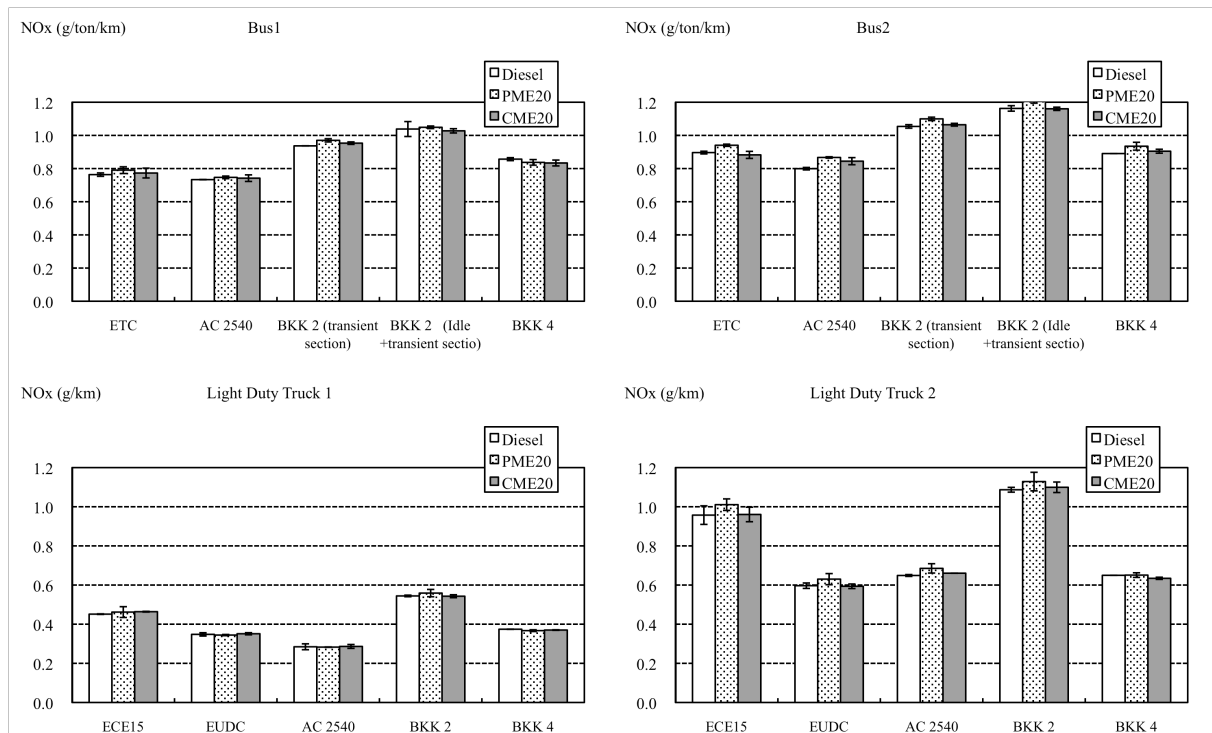


図 試験車両の走行モード別燃料別 NO<sub>x</sub> 排出係数

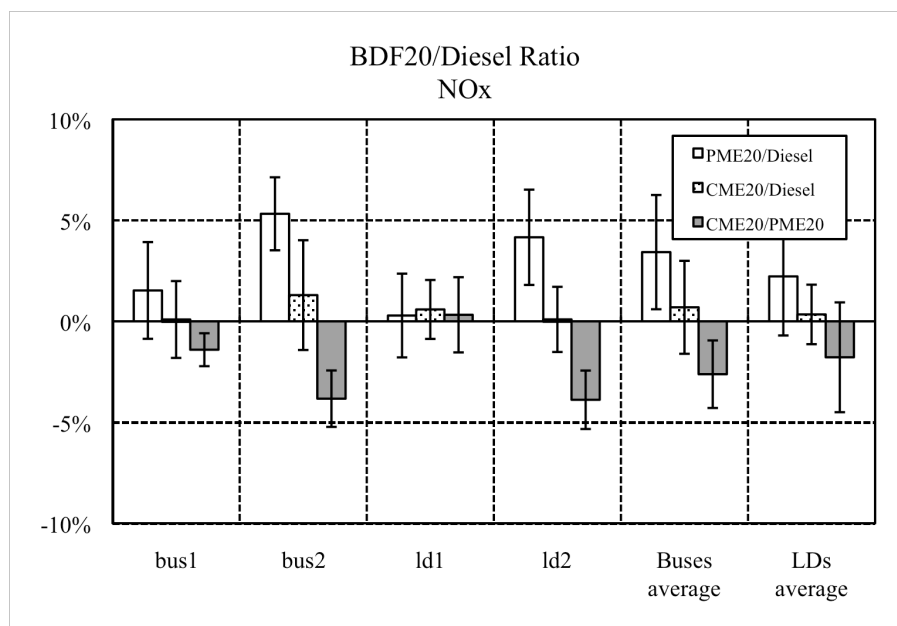


図 BDF20 の NO<sub>x</sub> 排出係数(対軽油比)

表 試験車両の走行モード別燃料別 NOx 排出係数

	Bus 1					Bus 2				
	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4
Diesel										
Average (g/ton/km)	0.76	0.73	0.94	1.04	0.86	0.90	0.80	1.05	1.16	0.89
Std. dev. (g/ton/km)	0.0102	0.0009	0.0006	0.0450	0.0089	0.0081	0.0073	0.0105	0.0165	0.0000
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/ton/km)	0.79	0.75	0.97	1.05	0.84	0.94	0.87	1.10	1.21	0.93
Std. dev. (g/ton/km)	0.0203	0.0078	0.0098	0.0078	0.0170	0.0066	0.0042	0.0102	0.0143	0.0238
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/ton/km)	0.77	0.74	0.95	1.03	0.83	0.88	0.84	1.06	1.16	0.90
Std. dev. (g/ton/km)	0.0296	0.0198	0.0076	0.0129	0.0177	0.0213	0.0214	0.0083	0.0098	0.0119
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
	Light Duty Truck 1					Light Duty Truck 2				
	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4
Diesel										
Average (g/km)	0.45	0.35	0.28	0.54	0.37	0.96	0.60	0.65	1.09	0.65
Std. dev. (g/km)	0.0015	0.0084	0.0151	0.0041	0.0003	0.0474	0.0139	0.0047	0.0123	0.0001
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/km)	0.46	0.34	0.28	0.56	0.37	1.01	0.63	0.69	1.13	0.65
Std. dev. (g/km)	0.0276	0.0031	0.0009	0.0187	0.0045	0.0294	0.0284	0.0239	0.0474	0.0119
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/km)	0.46	0.35	0.29	0.54	0.37	0.96	0.59	0.66	1.10	0.63
Std. dev. (g/km)	0.0019	0.0054	0.0099	0.0075	0.0015	0.0371	0.0117	0.0005	0.0268	0.0056
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2

表 BDF20 の NOx 排出係数 (対軽油比)

		Bus 1	Bus 2	LD 1	LD 2	Buses average	LDs average
PME20/Diesel	Average	1.5%	5.3%	0.3%	4.2%	3.4%	2.2%
	Std. dev.	2.4%	1.8%	2.1%	2.4%	2.8%	2.9%
CME20/Diesel	Average	0.1%	1.3%	0.6%	0.1%	0.7%	0.3%
	Std. dev.	1.9%	2.7%	1.5%	1.6%	2.8%	2.9%
CME20/PME20	Average	-1.4%	-3.8%	0.3%	-3.9%	-2.6%	-1.8%
	Std. dev.	0.8%	1.4%	1.9%	1.4%	1.7%	2.7%

### 3. CO (一酸化炭素)

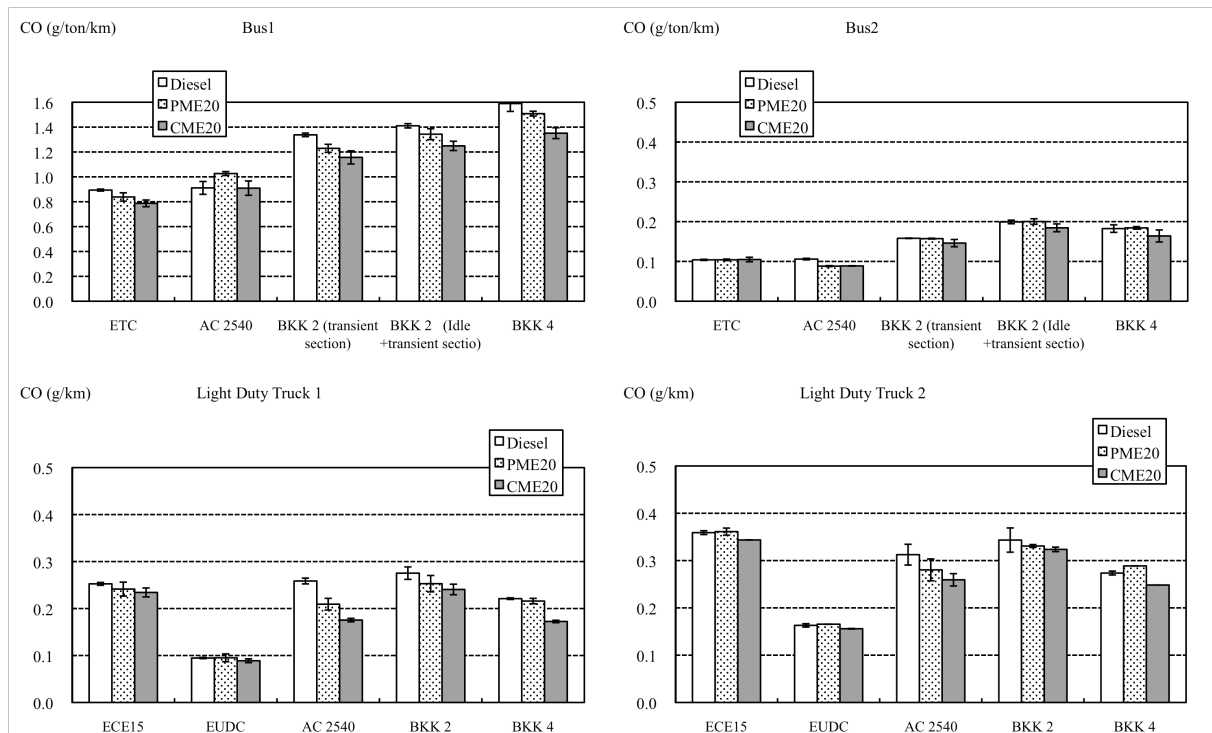


図 試験車両の走行モード別燃料別 CO 排出係数

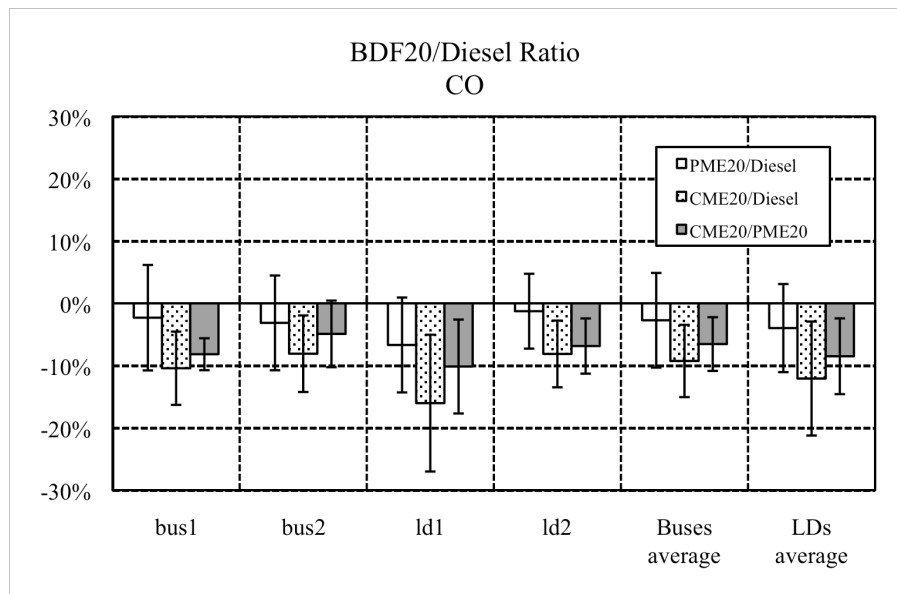


図 BDF20 の CO 排出係数(対軽油比)

表 試験車両の走行モード別燃料別 CO 排出係数

	Bus 1					Bus 2				
	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4
Diesel										
Average (g/ton/km)	0.89	0.91	1.34	1.41	1.59	0.10	0.11	0.16	0.20	0.18
Std. dev. (g/ton/km)	0.0079	0.0517	0.0144	0.0172	0.0634	0.0014	0.0019	0.0006	0.0045	0.0095
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/ton/km)	0.84	1.03	1.23	1.34	1.51	0.10	0.09	0.16	0.20	0.18
Std. dev. (g/ton/km)	0.0335	0.0156	0.0325	0.0439	0.0193	0.0020	0.0013	0.0011	0.0070	0.0032
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/ton/km)	0.79	0.91	1.16	1.25	1.35	0.10	0.09	0.15	0.18	0.16
Std. dev. (g/ton/km)	0.0270	0.0577	0.0527	0.0374	0.0436	0.0056	0.0005	0.0091	0.0098	0.0151
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
	Light Duty Truck 1					Light Duty Truck 2				
	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4
Diesel										
Average (g/km)	0.25	0.09	0.26	0.28	0.22	0.36	0.16	0.31	0.34	0.27
Std. dev. (g/km)	0.0030	0.0013	0.0062	0.0133	0.0018	0.0040	0.0036	0.0219	0.0256	0.0041
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/km)	0.24	0.10	0.21	0.25	0.22	0.36	0.17	0.28	0.33	0.29
Std. dev. (g/km)	0.0148	0.0083	0.0125	0.0175	0.0058	0.0075	0.0003	0.0231	0.0031	0.0002
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/km)	0.23	0.09	0.18	0.24	0.17	0.34	0.16	0.26	0.32	0.25
Std. dev. (g/km)	0.0095	0.0041	0.0038	0.0112	0.0026	0.0001	0.0006	0.0130	0.0047	0.0001
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2

表 BDF20 の CO 排出係数(対軽油比)

		Bus 1	Bus 2	LD 1	LD 2	Buses average	LDs average
PME20/Diesel	Average	-2.3%	-3.1%	-6.7%	-1.3%	-2.7%	-4.0%
	Std. dev.	8.5%	7.6%	7.6%	6.0%	7.6%	7.1%
CME20/Diesel	Average	-10.4%	-8.1%	-16.0%	-8.1%	-9.3%	-12.1%
	Std. dev.	5.9%	6.1%	11.0%	5.4%	7.6%	7.1%
CME20/PME20	Average	-8.2%	-4.9%	-10.1%	-6.9%	-6.5%	-8.5%
	Std. dev.	2.6%	5.3%	7.5%	4.4%	4.3%	6.1%

#### 4. THC (総炭化水素)

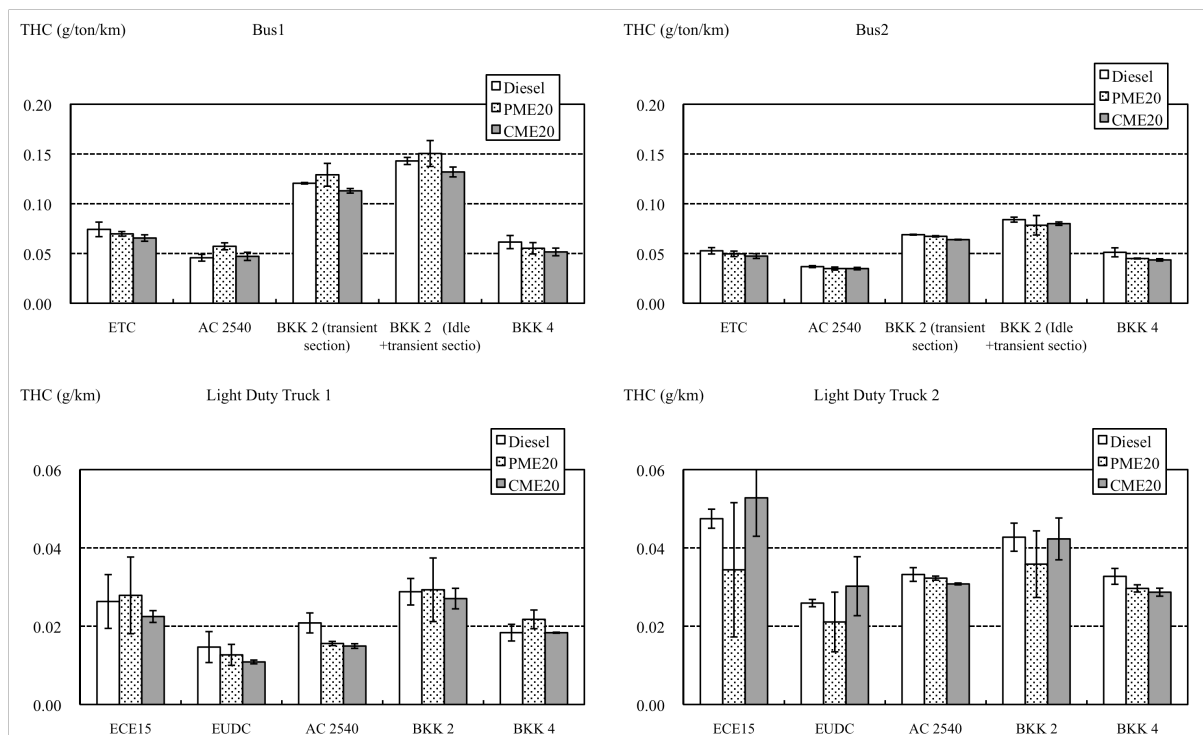


図 試験車両の走行モード別燃料別 THC 排出係数

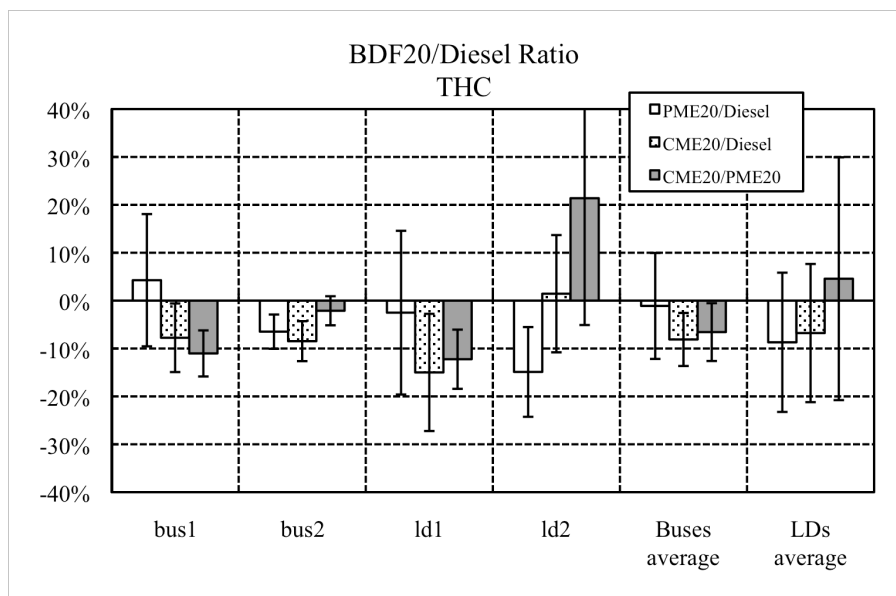


図 BDF20 の THC 排出係数 (対軽油比)

表 試験車両の走行モード別燃料別 THC 排出係数

	Bus 1					Bus 2				
	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4	ETC	AC2540	BKK2 (Transient Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4
Diesel										
Average (g/ton/km)	0.07	0.05	0.12	0.14	0.06	0.05	0.04	0.07	0.08	0.05
Std. dev. (g/ton/km)	0.0073	0.0034	0.0007	0.0036	0.0066	0.0032	0.0010	0.0004	0.0025	0.0045
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/ton/km)	0.07	0.06	0.13	0.15	0.06	0.05	0.03	0.07	0.08	0.04
Std. dev. (g/ton/km)	0.0023	0.0035	0.0115	0.0130	0.0057	0.0028	0.0015	0.0006	0.0098	0.0004
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/ton/km)	0.07	0.05	0.11	0.13	0.05	0.05	0.03	0.06	0.08	0.04
Std. dev. (g/ton/km)	0.0032	0.0041	0.0023	0.0050	0.0038	0.0024	0.0012	0.0003	0.0017	0.0012
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
	Light Duty Truck 1					Light Duty Truck 2				
	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4
Diesel										
Average (g/km)	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03
Std. dev. (g/km)	0.0069	0.0040	0.0026	0.0034	0.0021	0.0024	0.0009	0.0018	0.0036	0.0020
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/km)	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03
Std. dev. (g/km)	0.0098	0.0027	0.0005	0.0081	0.0024	0.0171	0.0076	0.0005	0.0085	0.0009
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/km)	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03
Std. dev. (g/km)	0.0015	0.0005	0.0006	0.0026	0.0001	0.0098	0.0075	0.0002	0.0053	0.0010
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2

表 BDF20 の THC 排出係数 (対軽油比)

		Bus 1	Bus 2	LD 1	LD 2	Buses average	LDs average
PME20/Diesel	Average	4.3%	-6.5%	-2.5%	-14.9%	-1.1%	-8.7%
	Std. dev.	13.8%	3.6%	17.1%	9.4%	11.1%	14.5%
CME20/Diesel	Average	-7.8%	-8.5%	-15.0%	1.4%	-8.1%	-6.8%
	Std. dev.	7.2%	4.2%	12.2%	12.2%	5.5%	14.4%
CME20/PME20	Average	-11.0%	-2.1%	-12.2%	21.4%	-6.6%	4.6%
	Std. dev.	4.8%	3.0%	6.2%	26.5%	6.0%	25.4%

## 5. PM (粒子状物質)

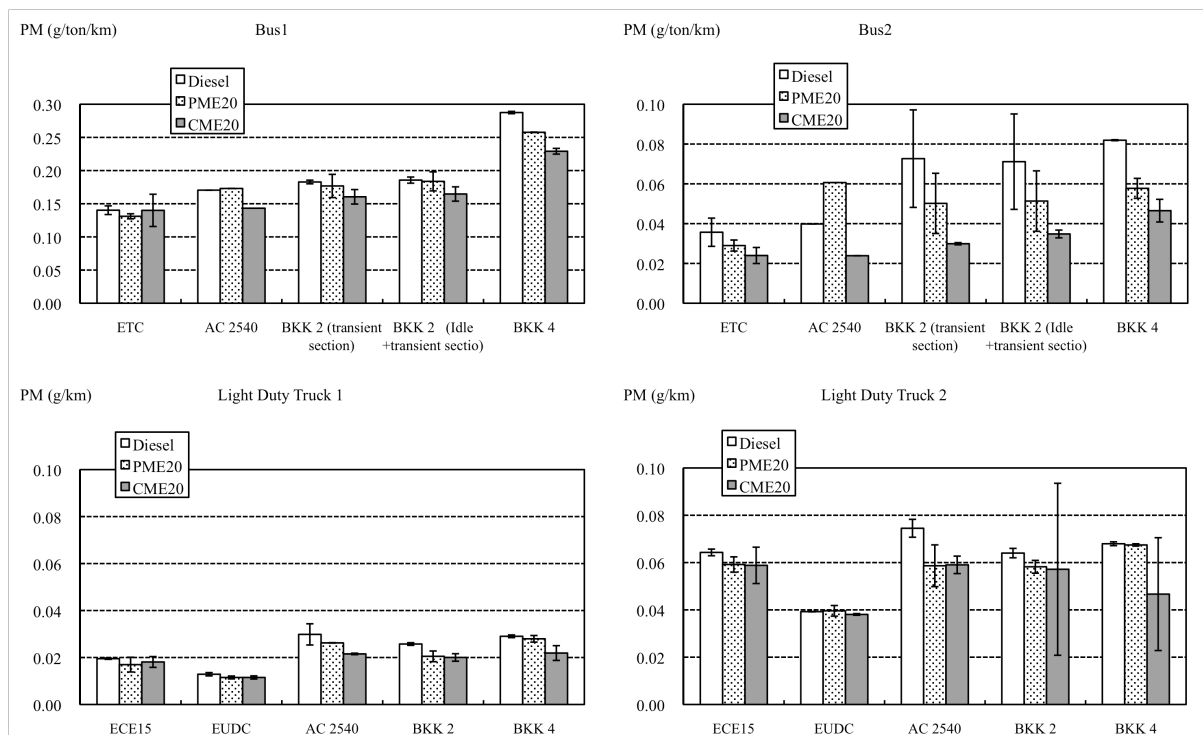


図 試験車両の走行モード別燃料別 PM 排出係数

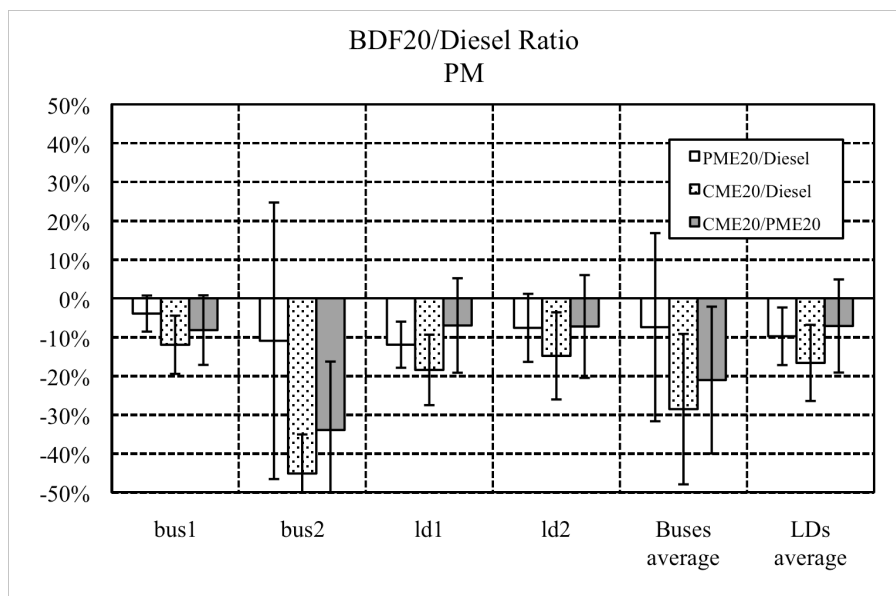


図 BDF20 の PM 排出係数(対軽油比)

表 試験車両の走行モード別燃料別 PM 排出係数

	Bus 1					Bus 2				
	ETC	AC2540	BKK2 (Transient t Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4	ETC	AC2540	BKK2 (Transient t Section)	BKK2 (Idle + Transient Section)	BKK4
Diesel										
Average (g/ton/km)	0.14	0.17	0.18	0.19	0.29	0.04	0.04	0.07	0.07	0.08
Std. dev. (g/ton/km)	0.0065	-	0.0027	0.0046	0.0017	0.0071	-	0.0245	0.0240	0.0002
N	2	1	2	3	2	2	1	2	3	2
PME20										
Average (g/ton/km)	0.13	0.17	0.18	0.18	0.26	0.03	0.06	0.05	0.05	0.06
Std. dev. (g/ton/km)	0.0038	-	0.0175	0.0143	0.0004	0.0028	-	0.0151	0.0152	0.0050
N	2	1	2	3	2	2	1	2	3	2
CME20										
Average (g/ton/km)	0.14	0.14	0.16	0.16	0.23	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05
Std. dev. (g/ton/km)	0.0243	-	0.0109	0.0108	0.0043	0.0040	-	0.0006	0.0020	0.0057
N	2	1	2	3	2	2	1	2	3	2
	Light Duty Truck 1					Light Duty Truck 2				
	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4	ECE15	EUDC	AC2540	BKK2	BKK4
Diesel										
Average (g/km)	0.02	0.01	0.03	0.03	0.03	0.06	0.04	0.07	0.06	0.07
Std. dev. (g/km)	0.0003	0.0007	0.0045	0.0006	0.0006	0.0014	0.0001	0.0038	0.0020	0.0008
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
PME20										
Average (g/km)	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.06	0.04	0.06	0.06	0.07
Std. dev. (g/km)	0.0031	0.0006	0.0001	0.0023	0.0014	0.0032	0.0023	0.0088	0.0027	0.0005
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2
CME20										
Average (g/km)	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.06	0.04	0.06	0.06	0.05
Std. dev. (g/km)	0.0023	0.0007	0.0003	0.0016	0.0031	0.0077	0.0004	0.0037	0.0364	0.0239
N	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2

表 BDF20 の PM 排出係数(対軽油比)

		Bus 1	Bus 2	LD 1	LD 2	Buses average	LDs average
PME20/Diesel	Average	-3.9%	-11.0%	-12.0%	-7.6%	-7.5%	-9.8%
	Std. dev.	4.7%	35.7%	5.9%	8.8%	24.3%	7.4%
CME20/Diesel	Average	-12.0%	-45.2%	-18.5%	-14.9%	-28.6%	-16.7%
	Std. dev.	7.5%	10.1%	9.1%	11.2%	24.3%	7.4%
CME20/PME20	Average	-8.2%	-34.0%	-7.0%	-7.3%	-21.1%	-7.1%
	Std. dev.	9.0%	17.6%	12.2%	13.3%	18.9%	12.0%



## Appendix V PME のエネルギー収支

## 1. 評価方法

PME の生産における投入エネルギー（化石燃料起源）に対して得られるエネルギーの比（NER: Net Energy Ratio）を算定した。対象プロセスおよび各プロセスにおけるエネルギー消費量の算定に用いたパラメータは下表のとおりとした。FFB の収量や施肥量、CPO 生産効率、PME 生産効率等の基本的なパラメータは、温室効果ガス排出量の算定時と同じ値を用いた。

表 対象プロセス

Processes	Energy consumptions
Oil palm cultivation	- Fossil fuel consumption for agricultural operations - Energy consumptions for production of synthetic fertilizer
CPO production	- Grid electricity consumption - Fossil fuel consumption
PME production	- Grid electricity consumption - Energy consumptions for production of methanol that is used for trans-esterification process
Transportation	- Fossil fuel consumptions from transportation of FFB and CPO

※PME 生産プロセスには、CPO の精製プロセスを含む。

表 オイルパーム栽培に伴うエネルギー消費量の算定に用いた主なパラメータ

Parameter	Value	Unit
FFB yield	16.7	tFFB/ha
Net calorific value of petroleum diesel	43.0 <sup>*33</sup>	tCO <sub>2</sub> /GJ
Consumption of petroleum diesel in agricultural operations	0.33	l/tFFB
Fertilizer use	Ammonium nitrate	134.6 kgN/ha/year
	Phosphate rock	73.7 kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/year
	Potassium chloride	264.3 kgK <sub>2</sub> O/ha/year
Energy consumptions of fertilizer productions	N-fertilizer	57.47 <sup>*75</sup> MJ/kgN
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -fertilizer	7.04 <sup>*75</sup> MJ/kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	K <sub>2</sub> O-fertilizer	6.85 <sup>*75</sup> MJ/kgK <sub>2</sub> O

表 CPO 生産に伴うエネルギー消費量の算定に用いた主なパラメータ

Parameter	Value	Unit
CO <sub>2</sub> emission factor of grid electricity	0.5057 <sup>*84</sup>	tCO <sub>2</sub> /MWh
Net calorific value of diesel fuel	43.0 <sup>*33</sup>	GJ/tonne
Grid electricity consumption	1.86	kWh/tFFB
Diesel consumption	0.62	l/tFFB
CPO production efficiency	0.168	tCPO/tFFB
Conversion factor	9.9 <sup>*75</sup>	MJ/kWh

表 PME 生産に伴うエネルギー消費量の算定に用いた主なパラメータ

Parameter	Value	Unit
CO <sub>2</sub> emission factor of grid electricity	0.5057 <sup>*84</sup>	tCO <sub>2</sub> /MWh
Electricity consumption	144.48	kWh/tPME
Methanol consumption	0.15 <sup>*76</sup>	tCH <sub>3</sub> OH /tPME
Energy consumptions of methanol production	30 <sup>*95</sup>	GJ/tCH <sub>3</sub> OH
PME production efficiency	0.881	tPME/tCPO
Conversion factor	9.9 <sup>*75</sup>	MJ/kWh

表 原料および燃料の輸送に伴うエネルギー消費量の算定に用いた主なパラメータ

Parameter	Value	Unit
FFB transportation	-	-
Average load of trucks	5	ton
Average distance traveled by trucks for a return trip	50	km
Fuel economy of trucks	1.628 <sup>*75</sup>	km/l
Net calorific value of diesel fuel	43.0 <sup>*33</sup>	GJ/tonne
CPO transportation (Land)	-	-
Average load of tank trucks	20	ton
Average distance traveled by tank trucks for a return trip	100	km
Fuel economy of tank trucks	1.628 <sup>*75</sup>	km/l
CPO transportation (Maritime)	-	-
Net calorific value of fuel oil	40.4 <sup>*33</sup>	GJ/tonne
Fuel consumption from Suratthani to Bangkok (a return trip)	10 <sup>*160</sup>	ton
Amount of CPO transported in a trip	3,000 <sup>*160</sup>	ton
PME transportation	-	-
Average load of tank trucks	20	ton
Average distance traveled by tank trucks for a return trip	100	km
Fuel economy of tank trucks	1.628 <sup>*75</sup>	km/l

PME の発熱量は 38.07 MJ/kgPME とした<sup>\*75</sup>。また、1 年間に 1.0 ton の PME を製造するために必要なオイルパーム栽培面積は 0.405 ha (=1/(16.7 tFFB/ha/year \* 0.168 tCPO/tFFB \* 0.881 tPME/tCPO)とした (3-3-3 項参照)。

## 2. 評価結果

前述の各パラメータを用いて各プロセスにおけるエネルギー消費量(PME1tonあたり)を算定した。なお、PMEの生産に伴う副生成物のエネルギーは考慮していない。

表 PME 生産の各プロセスにおけるエネルギー消費量

Processes	Energy consumptions (GJ/tPME)	Percentages (%)
Oil palm cultivation	4.15	33.9%
Agricultural operations - Diesel	0.08	0.7%
Synthetic fertilizer production	4.07	33.3%
CPO production	0.24	2.0%
Diesel	0.12	1.0%
Electricity	0.12	1.0%
PME production	5.93	48.5%
Electricity	1.43	11.7%
Methanol production	4.50	36.8%
Transportations	1.91	15.6%
<b>Total</b>	<b>12.23</b>	<b>100.0%</b>

上表および PME の発熱量が 38.07 GJ/tPME としたことから、投入エネルギーに対して得られるエネルギーの比 (NER: Net Energy Ratio) は、3.11 (=38.07/12.23) と算定される。

タイで生産される PME について同様の評価をした Somporn ら<sup>\*75</sup>は、NER は 2.42 (=38.07/15.75) と算定しており、本研究の結果よりもかなり低い値である。プロセス毎に本研究の結果と比較したところ、輸送のプロセスで約 3.0 GJ/tPME だけ本研究の方が小さい結果であった。この分だけ本研究の総エネルギー消費量が小さくなっている。ここで、Somporn ら<sup>\*75</sup>では、本研究と同様にタイ南部でオイルパーム、CPO を生産し、バンコクに輸送することを想定しているが、タイ南部からバンコクへの輸送はタンクローリーを用いることとしている。一方、本研究では海上輸送を想定しているため、このように大きな差が生じている。



## 参考文献

- 1 Asy Syura, M., and Tsan F.Y. (2008). The impact of organic fertilizer application to oil palm production in FELDA Maokil 7: A case study. International Plantation Industry Conference & Exhibition 2008.  
<http://www.ipicex.com/paper.html>
- 2 Bangkok Post, March 7, (2008).
- 3 Basha S.A., Raja Gopal K., Jebaraj S. (2009). A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 1628–1634.
- 4 Beer, T., Grant, T., and Campbell, P.K. (2007). The greenhouse and air quality emissions of biodiesel blends in Australia, Report Number KS54C/1/F2.27, CSIRO.
- 5 Calais P., Sims R. (1999). A comparison of life-cycle emissions of liquid biofuels and liquid and gaseous fossil fuels in the transport sector. *Renewable Energy Transforming Business*.
- 6 Chavalparit, O. (2006). Clean technology for the crude palm oil industry in Thailand, PhD Thesis, Wageningen University.
- 7 Chavalparit, O., Rulkens, H., Mol, A.P.J., and Khadohairi, S. (2006). Options for Environmental Sustainability of the Crude Palm Oil Industry in Thailand through Enhancement of Industrial Ecosystems, *Environment, Development and Sustainability*, 8: 271.
- 8 Chiew, L.K. and Rahman Z.A. (2002). The effects oil palm empty fruit bunches on oil palm nutrition and yield, and soil chemical properties. *Journal of Oil Palm Research* 14(2): 1-9.
- 9 CONCAWE, Joint Research Centre of the EU Commission, and European Council for Automotive R&D, (2004). Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, version 1b.
- 10 Crutzen, P.J., Mosier, A.R., Smith, K.A., and Winiwarter, W. (2007). N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 7: 11,191.
- 11 Delucchi, M.A. Lifecycle analyses of biofuels (draft manuscript). (2006). Institute of Transportation Studies University of California, Davis One Shields Avenue Davis, CA 95616.
- 12 Delucchi M.A. (2003). A Lifecycle Emissions Model (LEM): Lifecycle emission from transportation fuels, motor, vehicles, transportation modes, electricity use, heating and cooking fuels, and materials. UCD-ITS-RR-03-17, MAIN REPORT, December 2003, Institute of Transportation Studies, University of California.
- 13 Demirbas, A. (2007). Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy* 35(9):4661-4670.
- 14 Demirbas A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management* 50: 14–34.
- 15 Durbin, T. and Norbeck A. (2002). Effects of biodiesel blends and Arco EC-Diesel on emissions from light heavy-duty diesel vehicles. *Environmental Science and Technology* 36(8):1686-1691.

- 16 Dwivedi, D., Agarwal, A.K., Sharma, M. (2006). Particulate emission characterization of a biodiesel vs diesel-fuelled compression ignition transport engine: A comparative study. *Atmospheric Environment* 40:5586-5595.
- 17 Earthtrends (2007). WRI Earthtrends database: Forests, grasslands and drylands: open and closed shrubland, grassland and savannas. <http://earthtrends.wri.org/>
- 18 Elsayed, M.A., Matthews, R., and Mortimer, N.D. (2003). Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuel Options. Resources Research Unit, Sheffield Hallam University, UK.
- 19 EU (2008). DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the promotion of the use of energy from renewable sources amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2008-0609+0+DOC+XML+V0//EN>
- 20 FAO (2006). Global forest resources assessment 2005: Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations, editor. Rome, Italy. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/A0400E/A0400E00.pdf>
- 21 FAO (2007). Land Degradation Assessment in Drylands (LADA) - Selected Definitions. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/lada/seldefs.stm>
- 22 Farrell, A.E., Plevin R.J., Turner B.T., Jones A.D., O'Hare M., and Kammen D.M. (2006). Ethanol can contribute to energy and environmental Goals. *Science* 311: 506-508.
- 23 Frischknecht, R. (1995). Eco-inventory for Energy Systems, Vol. 1, p.245, ETH Zurich.
- 24 Fukuda, A., Fukuda, T., Shirakawa, Y., Maeyama, N., Kobayashi, S., and Masutomo, R. (2007). Possibility of promoting clean development mechanism in transport sector in developing country, Thailand: Preliminary stage perspective. Transport Research Board 86th Annual Meeting.
- 25 Fitzherbert, E.B., Struebig, M.J., Morel, A., Danielsen, F., Bruhl, C.A., Donald, P.F., and Phalan, B. (2008). How will oil palm expansion affect biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution* 23(10): 538.
- 26 Gartner, S.O., Reinhardt, G.A., and Braschkat, J. (2003). Life Cycle Assessment of Biodiesel: Update and New Aspects. Institute for Energy and Environmental Research, Heidelberg, Germany.
- 27 Germer, J., and Sauerborn, J. (2008). Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environment, Development and Sustainability* 10, 697.
- 28 Gnanavelrajah, N., Shrestha, R.P., Schmidt-Vogt, D. and Samarakoon, L. (2008). Carbon stock assessment and soil carbon management in agricultural land-use in Thailand. *Land Degradation and Development*, 19, 242.
- 29 Graboski, M.S., McCormick, R.L., Alleman, T.L., and Herring, A.M. (2003). The effect of biodiesel composition on engine emissions from a DDC series 60 diesel engine. Final Report/Report 2 in a series of 6 (NREL/SR-510-31461). National Renewable Energy Laboratory.
- 30 Halliday, D.J., Trenkel, M.R., and Wichmann, W. (1992) IFA World Fertilizer Use Manual, International Fertilizer Industry Association.

- 31 Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., and Tiffany, D. (2006). Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)* 103:11206-11210.
- 32 International Energy Agency (2005). *Biofuels for Transport: An International Perspective*. OECD.
- 33 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy, Chapter 1: Introduction. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- 34 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy, Chapter 3: Mobile Combustion.
- 35 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 1: Introduction.
- 36 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories.
- 37 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 4: Forest Land.
- 38 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 5: Cropland.
- 39 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 6: Grassland.
- 40 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application.
- 41 IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste, Chapter 6: Wastewater Treatment and Discharge.
- 42 Kalam, M.A., and Masjuki, H.H. (2002). Biodiesel from palmoil—an analysis of its properties and potential. *Biomass and Bioenergy* 23(6):471-479.
- 43 Kalam, M.A., and Masjuki, H.H. (2008). Potential and properties of palm diesel as alternative fuel for automotive engines. *International Energy Journal* 9(Special issue on biofuels: opportunities and technologies):37-42.
- 44 Kegl, B. (2008). Effects of biodiesel on emissions of a bus diesel engine. *Bioresource Technology*, 99(4):863-873.
- 45 Knothe, G., Sharp, C.A., and Ryan, T.W. (2006). Exhaust emissions of biodiesel, petrodiesel, neat methyl esters, and silkanes in a new technology engine. *Energy Fuels* 20(1):403-408.
- 46 Labeckas, G. and Slavinskas, S. (2006). The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Energy Conversion and Management* 47:1954-67.

- 47 Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J. and Agudelo, J.R. (2008). Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel. *Bioresource Technology* 99(4):731-740.
- 48 Larson, E.D. (2005). Liquid Biofuel Systems for the Transport Sector: a Background Paper. Draft for discussion at the 6 August 2005, GEF/STAP Workshop on Liquid Biofuels, 29 August - 1 September 2005.
- 49 Levington (2000). Energy Balances in the growth of Oilseed Rape for Biodiesel and of Wheat for Bioethanol. Report for the British Association of Bio Fuels and Oils (BABFO).
- 50 Lindhjem, C., and Pollack, A. (2003). Impact of biodiesel fuels on air quality and human health: Task 1 Report, Incorporate biodiesel data into vehicle emissions databases for modeling (NREL/SR-540-33794). National Renewable Energy Laboratory.
- 51 Malaysian Palm Oil Board (2007). Malaysian Oil Palm Statistics 2007.  
[http://econ.mpob.gov.my/economy/annual/stat2007/EID\\_statistics07.htm](http://econ.mpob.gov.my/economy/annual/stat2007/EID_statistics07.htm)
- 52 Mazzoleni, C., Kuhns, H.D., Moosmuller, H., Witt, J., Nussbaum, N.J., Chang, O. M.-C., Parthasarathy, G., Nathagoundenpalayam, S.K.K., Nikolich, G. and Watson, J.G. (2007). A case study of real-world tailpipe emissions for school buses using a 20% biodiesel blend. *Science of the Total Environment* 385(1-3):146-159.
- 53 McCormick, R.L., Graboski, M.S., Alleman, T.L., Herring, A.M., and Tyson, K.S. (2001). Impact of biodiesel source material and chemical structure on emissions of criteria pollutants from a heavy-duty engine. *Environmental Science and Technology* 35(9):1742-1747.
- 54 McCormick, R.L., Williams, A., Ireland, J., Brimhall, M., and Hayes, R.R. (2006). Effects of biodiesel blends on vehicle emissions. Fiscal Year 2006 Annual operating plan milestone 10.4, Milestone Report (NREL/MP-540-40554). National Renewable Energy Laboratory.
- 55 Narayana Reddy J. and Ramesh A. (2006). Parametric studies for improving the performance of a Jatropha oil-fuelled compression ignition engine. *Renewable Energy* 31(12):1994–2016.
- 56 OECD/IEA (2008). From 1st- to 2nd-Generation Biofuel Technologies, An Overview of Current Industry and RD&D Activities.
- 57 Pimentel, D. (2003). Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics and Environmental Impacts are Negative. *Natural Resources Research*, Vol.12, No.2.
- 58 Pimentel D. and Patzek T.W. (2005). Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Research*, Vol. 14, No. 1, March 2005.
- 59 Prasertsan, S. and Prasertsan P. (1996). Biomass Residues from Palm Oil Mills in Thailand: An Overview on Quantity and Potential Usage. *Biomass & Bioenergy*. Vol.11, No.5.
- 60 Prasertsana S., Sajjakulnukit B. (2006). Biomass and biogas energy in Thailand: Potential, opportunity and barriers. *Renewable Energy* 31: 599–610.
- 61 Puhan, S., Vedaraman, N., Boppana, V.B.R., Sankarnarayanan, G., and Jeychandran, K. (2005). Mahua oil (Madhuca Indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics. *Biomass and bioenergy* 28(1):87-93.
- 62 Quirin, M., Gartner, S.O., Pehnt, M., and Reinhardt, G.A. (2004). CO<sub>2</sub> Mitigation Through Biofuels in the



- Transport Sector: Status and Perspectives, Main Report. Institute for Energy and Environmental Research (IFEU), Heidelberg, Germany.
- 63 Raheman, H. and Phadatare, A.G. (2004). Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. *Biomass and Bioenergy* 27(4):393-397.
  - 64 Ramadhas, A.S., Muraleedharan, C. and Jayaraj, S. (2005). Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. *Renewable Energy* 30(12):1789–1800.
  - 65 Reijnders, L., and Huijbregts M.A.J. (2008). Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production* 16(4):477-482.
  - 66 Reinhardt, G. (2007). Environmental Assessment of Biofuels for Transport and the Aspects of Competition for Land, –Conference – “Modelling Global Land Use and Social Implications in the Sustainability Assessment of Biofuels”, Copenhagen, DK, 4-5 June 2007.
  - 67 Ropkins, K., Quinn, R., Beebe, J., Li, H., Daham, B., Tate, J., Bell, M. and Andrews, G. (2007). Real-world comparison of probe vehicle emissions and fuel consumption using diesel and 5% biodiesel (B5) blend. *Science of the Total Environment* 376:267-284.
  - 68 Roundtable on Sustainable Palm Oil. <http://www.rspo.org/default.aspx>
  - 69 Roundtable on Sustainable Palm Oil (2009). GHG emissions from palm oil production, Literature review and proposals for amendments of RSPO Principles & Criteria, Draft for public consultation, 10 July 2009.
  - 70 Schmidt, J.H. (2007). Lifecycle assessment of rapeseed oil and palm oil. Ph.D. thesis, Part 3: Life cycle inventory of rapeseed oil and palm oil. Department of Development and Planning, Aalborg University. 15-Jun-2007.
  - 71 Sheehan J., Camobreco V., Duffield J., Graboski M., Shapouri H. (1998). Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, Final Report (1998)., May 1998, NREL/SR-580-24089 UC Category 1503.
  - 72 Shirakawa, Y., Kobayashi, S., Fukuda, A., Masutomo, R., Koike, I., Yokoyama, S., Imou, K. (2009). Emissions from In-use Buses and Light Duty Trucks Operating on Palm Methyl Ester and Coconut Methyl Ester in Thailand. *International Energy Journal* 10(3): 145-156.
  - 73 Siriwardhana M., Opathella G.K.C., Jha M.K. (2009) Bio-diesel: Initiatives, potential and prospects in Thailand: A review. *Energy Policy* 37: 554–559.
  - 74 Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L. (eds.) (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
  - 75 Somporn P., Shabbir H.G. (2009). Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand. *Applied Energy*, Volume 86, Supplement 1.
  - 76 Somporn, P., Shabbir, H.G., and Garivait, S. (2004). Environmental evaluation of biodiesel production from palm oil in a life cycle perspective, The Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE)”, 1-3 December 2004, Hua Hin, Thailand.

- 77 Sumathi S., Chai S.P., Mohamed A.R. (2008). Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 2404–2421
- 78 Suratthani Oil Palm Research Center. Oil Palm Handbook, Instruction : How to use chemical fertilizer in Oil Palm Field. Office of Agriculture Research and Development Region 7, Department of Agriculture Thailand, ISBN : 974-436-433-5.
- 79 Swiss Ecoinventory of Energy Systems (1995), Vol. 1, p.245
- 80 Tan K.T., Lee K.T., Mohamed A.R., Bhatia S. (2009). Palm oil: Addressing issues and towards sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 420–427.
- 81 Tat, M.E., Van Gerpen, J.H., Soylu, S., Canakci, M., Monyem, A., and Wormley, S. (2000). The speed of sound and isentropic bulk modulus of biodiesel at 21°C from atmospheric pressure to 35 Mpa. *Journal of the American Oil Chemists Society* 77(3):285-289.
- 82 Tat, M.E., and Van Gerpen, J.H. (2003). Measurement of biodiesel speed of sound and its impact on injection timing; Final Report/Report 2 in a series of 6 (NREL/SR-510-31462). National Renewable Energy Laboratory.
- 83 Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=1044>
- 84 Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, (2007). The estimation of emission factor for an electricity system in Thailand 2007.
- 85 Thailand, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. ヒアリング
- 86 Thailand, Department of Industrial Works (2006). Management Information System (MIS) Guideline for Eco-efficiency Palm Oil Industry, May 2006.
- 87 Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives ヒアリング
- 88 Thailand in Figures 2008-2009, Alpha Research Co., Ltd. (Refereing “Agricultural Statistics of Thailand, Center for Agricultural Statistics Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives”)
- 89 Thamsiriroj T. and Murphy J.D. (2009). Is it better to import palm oil from Thailand to produce biodiesel in Ireland than to produce biodiesel from indigenous Irish rape seed? *Applied Energy*, Volume 86, Issue 5, May 2009, Pages 595-604.
- 90 Tsolakisa, A., Megaritisb, A., Wyszynskia, M.L., and Theinnoia, K. (2007). Engine performance and emissions of a diesel engine operating on diesel-RME (rapeseed methyl ester) blends with EGR (exhaust gas recirculation). *Energy* 32(11):2072-2080.
- 91 Turrio-Baldassarri, L., Battistellia, C.L., Contia, L., Crebellia, R., De Berardisa, B., Iamicelia, A.L., Gambinob, M. and Iannaccone, S. (2004). Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and ‘biodiesel’ blend. *Science of the Total Environment* 327:147-162.
- 92 UNFCCC. CDM Project Design Document of “Surat Thani Biomass Power Generation Project in Thailand”. <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1200412599.62/view>
- 93 UNFCCC. CDM Approved afforestation and reforestation baseline and monitoring methodology AR-AM0004

“Reforestation or afforestation of land currently under agricultural use” (Version 03)

- 94 UNFCCC. CDM Approved Methodology; AM0047: Production of biodiesel based on waste oils and/or waste fats from biogenic origin for use as fuel.  
<http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/9VAZZNRUOQDOT21XIY3VKJRABETLEE/view.html>
- 95 UNFCCC. CDM Approved Methodology, AM0047 : Production of biodiesel based on waste oils and/or waste fats from biogenic origin for use as fuel - version 2,  
<http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/9VAZZNRUOQDOT21XIY3VKJRABETLEE/view.html>
- 96 UNFCCC. CDM Approved Methodology; ACM0017: Production of biodiesel for use as fuel – Version 1.  
<http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/TBV2VEW8QIJX1H7VBORAQEDYSHUHB1/view.html>
- 97 UNFCCC. CDM General Guidance on Leakage in biomass project activities – Version 3.  
[http://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/ssc/index\\_guid.html](http://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/ssc/index_guid.html)
- 98 UNFCCC. CDM New Methodology; NM0142: Baseline Methodology for Palm Methyl Ester or Coconut Methyl Ester Biodiesel Fuel Production for Transportation using Life Cycle Assessment approach.  
[http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/publicview.html?status=pending&meth\\_ref=NM0142](http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/publicview.html?status=pending&meth_ref=NM0142)
- 99 UNFCCC. CDM Project 0008 : Brazil NovaGerar Landfill Gas to Energy Project.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1095236970.6/view>
- 100 UNFCCC. CDM Project 867 : Kim Loong Methane Recovery for Onsite Utilization Project at Kota Tinggi, Johor, Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1169205863.92/view>
- 101 UNFCCC. CDM Project 916 : Methane recovery and utilisation project at TSH Kunak Oil Palm Mill, Sabah, Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1170423084.93/view>
- 102 UNFCCC. CDM Project 984 : Golden Hope Composting Project – Lavang.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1173273636.45/view>
- 103 UNFCCC. CDM Project 1054 : Golden Hope Composting Project – Melalap.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1175251492.41/view>
- 104 UNFCCC. CDM Project 1107 : Golden Hope Composting Project – Kerdau.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1177655097.9/view>
- 105 UNFCCC. CDM Project 1108 : Golden Hope Composting Project – Merotai.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1177655112.33/view>
- 106 UNFCCC. CDM Project 1153 : Methane recovery and utilisation project at United Plantations Berhad, Jendarata Palm Oil Mill, Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1181122330.1/view>
- 107 UNFCCC. CDM Project 1198 : Co-composting of EFB and POME – MG BioGreen Sdn.Bhd (MGBG)  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1182332980.06/view>
- 108 UNFCCC. CDM Project 1616 : Methane Recovery in Wastewater Treatment, Project AMA07-W-01, Perak,

- Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1202922119.15/view>
- 109 UNFCCC. CDM Project 1737 : Methane Recovery for Onsite Utilisation Project at Desa Kim Loong Palm Oil Mill, Sook, Keningau, Sabah, Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1205408484.51/view>
- 110 UNFCCC. CDM Project 1783 : Methane capture from POME for electricity generation in Batu Pahat.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1207602299.44/view>
- 111 UNFCCC. CDM Project 1795 : Avoidance of methane production in POME treatment through Boustead Biotherm Palmass Technology.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1207720173.04/view>
- 112 UNFCCC. CDM Project 1888 : KKSL Lekir Biogas Project, Project BCM07\_SLK\_14.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1214554831.51/view>
- 113 UNFCCC. CDM Project 2076 : Univanich Lamthap POME Biogas Project.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1218475905.14/view>
- 114 UNFCCC. CDM Project 2148 : Chumporn applied biogas technology for advanced waste water management.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1218620986.14/view>
- 115 UNFCCC. CDM Project 2181 : Methane Capture and On-site Power Generation Project at Syarikat Cahaya Muda Perak (Oil Mill) Sdn. Bhd. in Tapah, Perak, Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1218645135.67/view>
- 116 UNFCCC. CDM Project 2185 : Methane Capture and On-site Power Generation Project at Sungai Kerang Palm Oil Mill in Sitiawan, Perak, Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1218647963.33/view>
- 117 UNFCCC. CDM Project 2242 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Tanjung Panjang Palm Oil Mill Sdn. Bhd.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1222594435.52/view>
- 118 UNFCCC. CDM Project 2258 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Taclico Company Sdn. Bhd.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1224058167.25/view>
- 119 UNFCCC. CDM Project 2261 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Kilang Kelapa Sawit Bukit Pasir Sdn. Bhd.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1224409088.5/view>
- 120 UNFCCC. CDM Project 2274 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Kilang Kelapa Sawit Selumpur Sdn. Bhd.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1226234654.65/view>
- 121 UNFCCC. CDM Project 2313 : Methane recovery and utilization through organic wastewater treatment in Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1227690408.04/view>

- 122 UNFCCC. CDM Project 2330 : Methane recovery and utilisation project at TSH Lahad Datu Palm Oil Mill, Sabah, Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1227799476.62/view>
- 123 UNFCCC. CDM Project 2332 : Methane recovery and utilisation project at TSH Sabahan Palm Oil Mill, Sabah, Malaysia.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1227800277.92/view>
- 124 UNFCCC. CDM Project 2336 : FELDA Seriting Hilir Biogas Power Plant Project.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1227808382.8/view>
- 125 UNFCCC. CDM Project 2352 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Seri Ulu Langat Palm Oil Mill Sdn. Bhd.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1231293300.04/view>
- 126 UNFCCC. CDM Project 2354 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Tong Len 2 Palm Oil Mill (Owned by QL Plantation Sdn. Bhd.)  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1231298483.95/view>
- 127 UNFCCC. CDM Project 2355 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Banting Palm Oil Mill Sdn. Bhd.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1231307524.74/view>
- 128 UNFCCC. CDM Project 2356 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Lian Hup Palm Oil Mill (Owned by Harn Len Corporation Bhd., Palm Oil Mill Division)  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1231309961.19/view>
- 129 UNFCCC. CDM Project 2357 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Malmaju Bina Sdn. Bhd.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1231311932.75/view>
- 130 UNFCCC. CDM Project 2358 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Syarikat Peladang Dan Perusahaan Minyak Sdn. Bhd.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1231332859.35/view>
- 131 UNFCCC. CDM Project 2492 : Composting of solid biomass waste separated from the Palm Oil Mill Effluent (POME) through the use of AVC Sludge Dewatering System at Ever-Yield Sdn. Bhd. (Palm Oil Mill)  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1239624853.15/view>
- 132 UNFCCC. CDM Project 2493 : Co-composting with AVC POME Treatment System for Ban Dung Palm Oil Mill.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1239632710.01/view>
- 133 UNFCCC. CDM Project 2494 : Co-composting with AVC POME Treatment System for Haranky Palm Oil Mill.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1239689461.43/view>
- 134 UNFCCC. CDM Project 2495 : Co-composting with AVC POME Treatment System for Jugra Palm Oil Mill.

- <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-RHEIN1239692273.73/view>
- 135 UNFCCC. CDM Project 2517 : FELDA Trolak and Sampadi Composting Plants.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1239811519.68/view>
- 136 UNFCCC. CDM Project 2542 : FELDA Besout POME Biogas Project.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SIRIM1240570936.59/view>
- 137 UNFCCC. CDM Project 2603 : Felda Pancing and Pasoh Biogas Project.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1243418372.88/view>
- 138 UNFCCC. CDM Project 2644 : Thachana Palm Oil Company Wastewater Treatment Project in Thailand.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/JQA1244423537.12/view>
- 139 UNFCCC. CDM Project 2651 : Felda Chalok and Jerangau Barat Biogas Project.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244459250.37/view>
- 140 UNFCCC. CDM Project 2653 : Felda Maokil and Kemahang POME Biogas Project.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244474068.28/view>
- 141 UNFCCC. CDM Project 2658 : Green Glory Wastewater Treatment and Electricity Generation in Suratthani, Thailand.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1244504896.17/view>
- 142 UNFCCC. CDM Project 2661 : Univanich TOPI Biogas Project.  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1244541770.27/view>
- 143 UNFCCC. Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol.
- 144 UNFCCC. CDM EB. Tool for the identification of degraded or degrading lands for consideration in implementing CDM A/R project activities
- 145 U.S. Department of Energy (2006). 2006 Biodiesel handling and use guidelines.
- 146 U.S. Environmental Protection Agency (2002). A Comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions (EPA420-P2-001).
- 147 Wang, W.G., Lyons, D.W., Clark, N.N., Gautam, M., and Norton, P.M. (2000). Emissions from nine heavy trucks fueled by diesel and biodiesel blend without engine modification. *Environmental Science and Technology* 34(6):933-939.
- 148 Wicke, B., Dornburg, V., Junginger, H.M., and Faaij, A.P.C. (2008). Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biomass and Bioenergy* 32(12):1322-1337.
- 149 Win Lee, S., Herage, T., and Young, B. (2004). Emission reduction potential from the combustion of soy methyl ester fuel blended with petroleum distillate fuel. *Fuel* 83(11-12):1607-1613.
- 150 Wood, S., and Cowie, A. (2004). A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertilizer Production. IEA Bioenergy Task 38.
- 151 Yeea K.F., Tana K.T., Abdullaha A.Z. and Lee K.T. (2009). Life cycle assessment of palm biodiesel: Revealing

- facts and benefits for sustainability. *Applied Energy*, Volume 86, Supplement 1, November 2009, Pages S189-S196.
- 152 Yusoff S. (2006). Renewable energy from palm oil e innovation on effective utilization of waste. *Journal of Cleaner Production* 14, 87-93.
- 153 Yusoff S. and Hansen S.B. (2007). Feasibility Study of Performing an Life Cycle Assessment on Crude Palm Oil Production in Malaysia. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12 (1) 50 – 58.
- 154 伊坪徳宏, 田原聖隆, 成田暢彦 (2007). LCA 概論, 社団法人産業環境管理協会発行.
- 155 大村道明 (2002). 農業地域 LCA の手法—評価の前提と枠組, 農業経済研究報告, No.34, 35-50.
- 156 環境省, 平成 15 年 7 月 29 日. 「石油代替燃料の環境性能等調査検討会」, 中央環境審議会「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について (第 7 次答申)」.
- 157 環境省, CDM/JI 事業実施マニュアル 2008.
- 158 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会燃料政策小委員会第 2 次中間報告書, 2004.
- 159 財団法人 地球環境戦略研究機関, 「図解京都メカニズム (2009 年 8 月、第 11 版)」.
- 160 タイ・スラタニ市海運会社ヒアリング.
- 161 トヨタ自動車株式会社、みずほ情報総研株式会社. 輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価、日本における輸送用燃料製造 (Well-to-Tank) を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告書. 平成 16 年 11 月.
- 162 マレーシア・パームオイル工場排水処理施設の改善による CDM 事業化調査報告書、平成 18 年 3 月、(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル.





## 謝辞

本論文は、筆者が東京大学大学院 農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻 博士課程に在籍中の研究成果をまとめたものです。同専攻教授の横山伸也先生には、再び大学で学ぶきっかけを与えてくださり、指導教官として本研究の遂行において終始ご指導をいただきました。ここに深謝申し上げます。同専攻准教授の芋生憲司先生には、研究に関するご助言等をいただき、大変感謝しております。また、本論文の審査にあってくださいました大政謙次教授、溝口勝教授、中島康博准教授には、適切なコメントをいただき大変感謝しております。生物機械工学研究室の皆様には、ゼミなどを通じて研究に関して多くの示唆を与えていただくとともに、研究室での生活・庶務について親切に教えていただきました。ここに御礼申し上げます。

自動車排ガス試験については、国土交通省総合政策局国際業務課（現国際業務室）のプロジェクトの一環として大変貴重な場を与えていただきました。当時の稲葉一雄課長、竹田聡国際協力政策企画官、山下幸男国際協力企画官をはじめとする国際業務課の皆様には、深謝申し上げます。バンコクでの試験においては、タイの運輸省および天然資源環境省の皆様には献身的なご協力をいただきました。特に、天然資源環境省の Supat Wangwongwatana 博士、PCD の Ittipol Paw-armart 氏、Natchanok Pala-en 氏には、実験遂行にあたって多大なるご協力を賜りました。改めて御礼申し上げます。

タイ運輸省の Chutinthorn Pradiphet 氏には、自動車排ガス試験のみならず、タイ関係各所へのヒアリングやデータ収集において多大なる支援をいただきました。その支援無くしては本研究の成果は得られなかったと思っております。ここに深謝申し上げます。

日本大学教授の福田敦先生には、博士課程への進学の勧めを説いてくださり、タイでの自動車排ガス試験をはじめ、さまざまな情報収集等において大変なご支援をいただきました。改めて御礼申し上げます。また、タイにおいて私の人脈を広げ、多くの情報を提供して下さった日本大学の Tuenjai Fukuda 博士に御礼申し上げます。社団法人海外運協力協会の舩巴亮氏には、本テーマへ取り組むきっかけを与えて下さったほか、大学で改めて研究を始めることを強く後押ししていただきましたことに感謝いたします。国立環境研究所の小林伸治博士には、特に自動車排ガス試験およびその結果の解析において技術的な側面から多大なるご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。株式会社アルメックの小池勇氏には、バイオディーゼルについて多くの知見をご教示いただきましたことを御礼申し上げます。私の前職である一般財団法人日本気象協会の当時の上司や諸氏、特に嶋健一首都圏支社長には仕事と大学との両立をお許しいただいたことに大変感謝しております。

本論文は、上記の方々とともに多くの方々のご助言・ご協力をいただき完成したものです。有限会社クライメート・エキスパーツの松尾直樹博士、IGES の田辺清人氏、森林総合研究所の高橋正通博士、農業環境技術研究所の大倉利明博士をはじめとするご協力いただいた皆様に御礼申し上げます。

最後に、仕事とともに大学での研究へ時間を割くことを寛大にも許してくれた妻の祐美子には心から感謝しています。そして3年間にわたって遊びの時間を我慢してくれた優（6～8歳）と美優（3～5歳）、ありがとう。