

2022年度 油脂産業論文

主題

2050年油脂産業界展望

パーム廃材からのエメラルド水素製造システムによる  
カーボンネガティブなシン・油脂産業の提案

花王株式会社

生物科学研究所

たかはし ふみかず

高橋 史員

## <目次>

はじめに	1
第1章 カーボンネガティブに向けた動向と課題	
1-1. 脱炭素化に向けた技術開発動向	2
1-2. パーム農園における放棄パーム廃材	2
1-3. パーム廃材から水素を生み出しながら炭素を固定化する	4
第2章 解決へ向けた技術提案	
2-1. パーム廃材からのエメラルド水素製造システム	5
2-2. マレーシアケースでの炭素削減ポテンシャル	7
2-3. 2050年におけるマレーシアでのパーム油LCA	8
第3章 実現へ向けた取り組み案	
3-1. エメラルド水素製造システム商業1号機の構想	9
3-2. エメラルド水素、カーボンブラック利用による波及効果	14
3-3. 2050年の油脂産業界展望	16
おわりに	18
注釈	19
参考文献	20

## はじめに

地球温暖化の議論が始まって数十年がたつが、その原因は人間活動によるCO<sub>2</sub>を始めとした温室効果ガスによることが科学者の大部分、少なくともほぼすべての気候科学者の間で合意されている<sup>1)</sup>。国連気候変動枠組み条約締約国会議（COP26）で合意された、産業革命前からの気温上昇を1.5℃に抑えるという目標達成に向けCO<sub>2</sub>削減は喫緊の課題であり、2040年までに人為的CO<sub>2</sub>排出ゼロの達成が求められている<sup>2)</sup>。どうしても一部の産業では石油系原料の使用や産業活動に伴うCO<sub>2</sub>発生が避けられないことから、植林や植物バイオマスの利用、および大気からの直接的なCO<sub>2</sub>回収を通じ、人為的にCO<sub>2</sub>を吸収することが求められる。これは「カーボンネガティブ」と定義され、人間活動によるCO<sub>2</sub>などの温室効果ガス排出量より吸収量が上回る状態を指す。この活動は各国の政策のみならず民間での自律的な活動としても表面化してきており、Microsoft、Zホールディングス、花王などは自社の事業においてこれまでの「カーボンニュートラル（注1）」よりさらに進んだ「カーボンネガティブ」達成を目標に据えている<sup>3)4)5)</sup>。

大気中からのCO<sub>2</sub>回収に巨額の投資が集まっている一方で、油脂産業においては、大気中から固定化された炭素であるパーム廃材が悪者となっている現状がある。マレーシアにおけるパーム油生産量とほぼ同量の炭素が、すでに大気から固定化されているにもかかわらず無駄になっているのである。逆に言えば、油脂産業が大気中炭素の脱炭素化に最も貢献できる業界の一つであると私は考える。

本論文では脱炭素が求められている世界的潮流の中で、油脂産業の大気中CO<sub>2</sub>の除去・固定化技術の優位性に着目し、地球環境を守るための水素製造と炭素回収のためのシステムとなる「エメラルド水素製造システム」を提案する。さらには、油脂産業が先導して様々な産業と脱炭素化に貢献するシン・油脂産業構想を提案する。第1章では世界のカーボンネガティブを目指した施策、技術開発動向を概説した後、本提案の概要を述べる。第2章ではパーム産業でカーボンネガティブを達成するための要素技術と、本提案達成時の炭素低減への影響度を検討する。第3章では実現のための実証体制、2050年における進化した油脂産業像を提案する。

## 第1章 カーボンネガティブに向けた動向と課題

### 1-1. 脱炭素化に向けた技術開発動向

既存の省エネや再生エネルギーの利用はCO<sub>2</sub>排出量削減に向けて重要であるが、これらの活動のみではCO<sub>2</sub>発生量の抑制にしかならず、カーボンネガティブ実現には更にCO<sub>2</sub>を回収・貯留するネガティブエミッション技術の構築が必須であると言われている<sup>6)</sup>。CO<sub>2</sub>の回収・貯留技術としては、発電所や製鉄所などから発生するCO<sub>2</sub>の捕集、地下隔離（CCS：注2）の実用化が始まっている<sup>7)</sup>。それにとどまらず近年では、大気中から直接CO<sub>2</sub>を回収するDirect Air Capture（DAC）の開発に投資が集まっており、Microsoft社では10億ドルの資金を投入している。また回収したCO<sub>2</sub>を地中貯留する以外の手法として、CO<sub>2</sub>を化学品に変換、再利用する炭素固定化技術に関する技術開発が進んでいる。化学品への転換にはCO<sub>2</sub>を還元するための水素が必要であり、CO<sub>2</sub>を新たに発生することなく製造された水素（CO<sub>2</sub>フリー水素）が必須となる（図1）。大気からの炭素回収と地下貯留、または水素を用いた炭素還元技術が重要である。

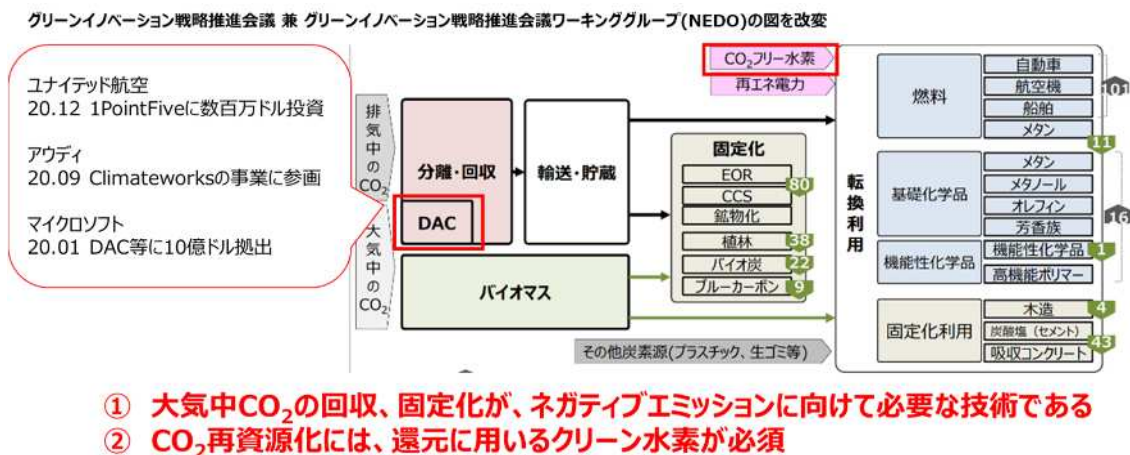


図1 CO<sub>2</sub>固定化技術開発の全体像

(出典 参考文献6)

### 1-2. パーム農園における放棄パーム廃材

昨今、本来カーボンニュートラルであるはずのパーム油が環境に悪いという主張が聞かれるようになった。同じエネルギーを得るために排出されるCO<sub>2</sub>は、火力発電と

同等という試算結果も認められる<sup>8)</sup>。原因として、新規農園開発のための森林破壊、泥炭地の乾燥による内在CO<sub>2</sub>の放出、パーム廃材（空果房や伐採した古木、葉）からのメタン放出、パーム搾油廃液（POME：注3）からのメタン発生などが挙げられる。図2にマレーシアでのパーム油脂産業から排出される廃棄物量をまとめた<sup>9)10)11)</sup>。マレーシアではパーム廃棄古木（OPT：注4）など年間数千万tのバイオマス由来炭素がメタン、またはCO<sub>2</sub>として大気に放出されている。CO<sub>2</sub>として大気に戻る分に関してはカーボンニュートラルであるが、メタンの場合はCO<sub>2</sub>の25倍の温暖化効果が生じてしまう。マレーシアにおいてPOMEからは20万t、パーム廃材であるパーム空果房（EFB：注5）からは8.2万tのメタンが放出されると報告<sup>12)</sup>されている。調査例は見当たらないが、EFB以外のその他パーム廃材からのメタン放出もあるものと考えられる。また、パーム廃材に関しては経済的な利用法に乏しく農園で放置されている例が大多数であり、ガノデルマなどパーム真菌症発生の原因との報告も認められる<sup>13)</sup>。1-1で示したように大気中からCO<sub>2</sub>を回収する技術開発に巨額の投資が集まっている一方で、東南アジアのパーム園では大気中から固定化された炭素であるパーム廃材が悪者となっている現状に、私は非常に強い違和感を覚えた。化学工業では工程収率は非常に重要視されるが、炭素固定という観点で考察した場合、農業では改善の余地が大いにあると考える。マレーシアにおけるパーム油生産量とほぼ同量の炭素が、すでに大気から固定化されているにもかかわらず無駄になっているのである。

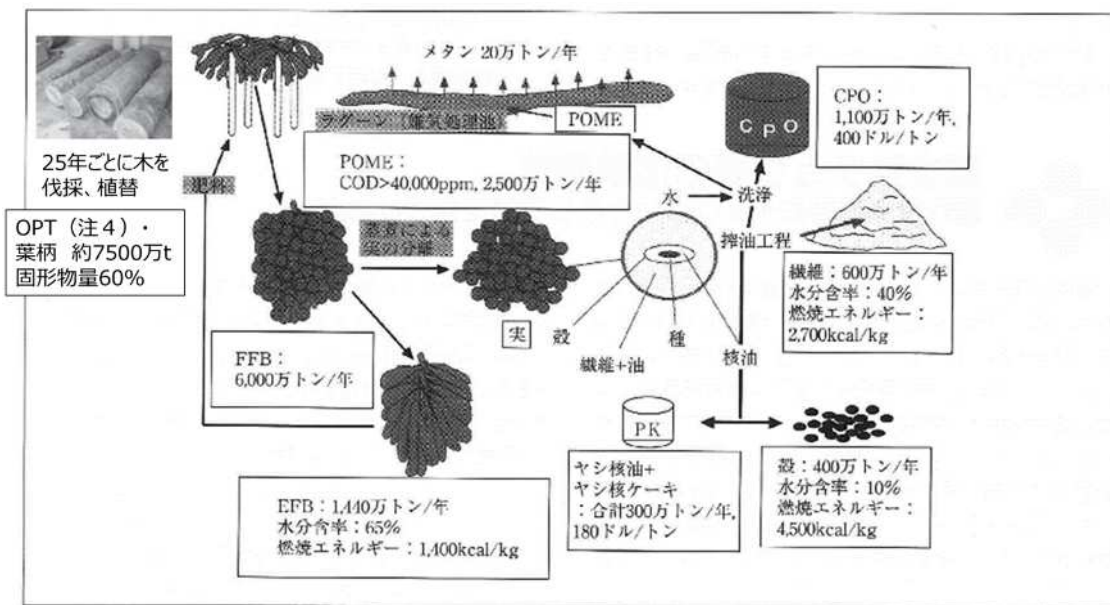


図 1 ■ マレーシアパームオイル産業における物質の流れ

FFB : fresh fruit bunch (油ヤシ房実), CPO : crude palm oil (粗ヤシ油)

**数千万tのバイオマス由来炭素が、  
メタン、またはCO<sub>2</sub>として大気放出されている**

## 図 2 パーム産業における廃棄物のマテリアルフロー

(出典 参考文献 9, 10, 11, 公開特許WO2018159818A1 三菱マテリアル株式会社)

### 1-3. パーム廃材から水素を生み出しながら炭素を固定化する

このパーム廃材を大気から除去された炭素とみなし、大気中に戻さずに大気中から直接CO<sub>2</sub>を回収するDACを成立させる方法を考察した。手法として、これまで悪者として論じてきたメタンに着目した。メタンはそのまま大気中に戻せば悪玉の温室効果ガスとなるが、天然ガスの主成分であり、発電エネルギーに利用することが可能である。パーム園でも一部ではPOME由来メタンを回収、バイオガス発電する設備が普及している<sup>11)</sup>。メタンに含まれる炭素の固定化技術について種々調査した結果、近年開発が進んでいるクリーン水素製造技術が有望であると考えた。

クリーン水素製造技術として、ブルー水素、ターコイズ水素、グリーン水素が存在する(図3)。原料や製造法、排出されるCO<sub>2</sub>の取り扱いに特徴がある。その一つであるターコイズ水素製造法は、天然ガスを1500℃の高温プラズマ熱分解によってカーボンブラックと水素を併産するものである。プラズマ・アークには電力が使用されるため、再生エネルギー由来の電力が必要となる。カーボンブラックは環境中で生



メタン発酵とは酸素のない環境下で複数の微生物で処理することで、排水や廃棄物中の有機物をメタンに変換する工程である。メタンの燃焼・発電設備と組み合わせた排水処理システムとして普及が進んでいる。パーム廃材からのメタン発酵技術として次の二つに着目した。一つはE F Bを粉砕した後、POMEを処理するメタン発酵池に投入するという単純な工程にて、メタン生成量が1 gのE F B（湿重）当たり0.055 g増加させるというものである<sup>15)</sup>。もう一つはパーム廃棄古木（OPT、注4）を粉砕、酵素糖化したのちにメタン発酵させることで、1 gのOPT（乾重）あたり0.19 gのメタンを生成させるというものである<sup>16)</sup>。これら技術をマレーシアの全パーム園に導入した場合、マレーシア1国で年間1047万tものメタンを産生でき、（表1、注7）この全量をメタン熱分解することでカーボンブラックを759万t、水素を228万t製造することができる（表2、注8）。油脂産業では酵素法を利用した油脂製造などバイオ技術の一つの強みとして有していること、およびメタン発酵設備が導入されているパーム農園は20%程度あり、メタン発酵の技術的素養が整っていると言える<sup>11)</sup>。本システムを確立することで、国際的に指摘をされている放置パーム廃材からの大気へのメタン放出防止とガノデルマ真菌症の発生源防止にもつながるなど、環境面で一石三鳥の技術となる。<sup>12) 13)</sup>

表1 マレーシアにおけるパーム廃材からのメタン生成ポテンシャル

	万t	固形分	メタン生成量(万t)
繊維	600	60%	56.5
殻	400	90%	56.5
EFB	1,440	35%	79.2
OPT	7,500	60%	855.0
		合計	1,047.2

参考文献15、16より0.19 g-CH<sub>4</sub>/g-OPT(乾重)、0.157 g-CH<sub>4</sub>/g-EFB(乾重)を使用して試算した。繊維、殻の乾重あたりのメタン発生量はEFB同等と仮定した

表2 エメラルド水素製造システム普及時のカーボンブラック生産量

	メタン発生量(万t)	CB生産量	水素生産量	回収率90%として	
				CB生産量	水素生産量
POME	20	14.2	4.3	12.8	3.8
パーム廃材	1,047	744.6	223.4	670.2	201.1
合計		758.9	227.7	683.0	204.9

CB：カーボンブラック。POMEメタン発酵槽の普及度、パーム廃材の回収量はそれぞれ90%と仮定した

続いて、製造するエメラルド水素、カーボンブラックの市場を考察する。クリーン水素の2030年製造量は年産800万tと予測されており、水素需要全体の8%に過ぎない<sup>17)</sup>。クリーン水素は鉄鋼製造のコークス代替や将来的にはCO<sub>2</sub>からの化学品生産など、不可欠な基幹原料である。また水素自動車や水素船などの不可欠なエネルギー源でもあり、争奪戦が予想されている。そのため表2で試算した200万tを超えるエメラルド水素は量的に将来の需要にも貢献できると考えられる。クリーン水素の価格帯に関しては、2030年の製造コストが1.3～3.5ドル/kg-水素になると予測されている<sup>17)</sup>。エメラルド水素の場合は、環境的価値がさらに高いことから炭素税の普及度合いによっては競合よりも高い販売価格の設定が可能であろう。

一方カーボンブラックは、現在世界市場1300万t、CAGRは2%であり、このままの成長が続けば2050年には2000万tを超えると考えられる<sup>18)</sup>。カーボンブラックの用途としてタイヤ添加剤、2次電池負極剤、炭素繊維などに使用されており、特に自動車や航空機分野は環境適合製品が求められる市場である。この増加する需要を考えると約700万tのカーボンブラック製造も市場に大きな貢献ができるであろう。さらには、従来の石油、天然ガス由来のカーボンブラックではなく、バイオマス由来カーボンブラックに置き換えることで他産業界の脱炭素にも貢献できると考えられる。価格帯としては、特に電極材料用途の導電性カーボンブラックはキロ当たり500円～7000円の価格帯であり、高付加価値用途が期待できる<sup>19)</sup>。

## 2-2. マレーシアケースでの炭素削減ポテンシャル

パーム製造廃液であるPOMEラグーンのメタン発酵設備普及率を現行の22.

5%から90%に引き上げ、かつパーム廃材の90%を回収しメタン発酵設備に投入すると仮定した。その場合、温室効果ガス削減量はPOME由来のメタン大気放出減少分として、CO<sub>2</sub>換算で337.5万t減少、カーボンブラックは12.8万t生産できると試算された(表3)。一方、パーム廃材の90%からメタン発酵、続いて熱分解を行った場合、670.2万tのカーボンブラックが生産され、合わせて683万tとなる。このカーボンブラック生産分の炭素を大気中に戻さなかったと考えられるため、2457万tのCO<sub>2</sub>を大気から除去したとみなされる。パーム油1kgあたり約2kgのCO<sub>2</sub>削減効果に相当する(図4,注9)。

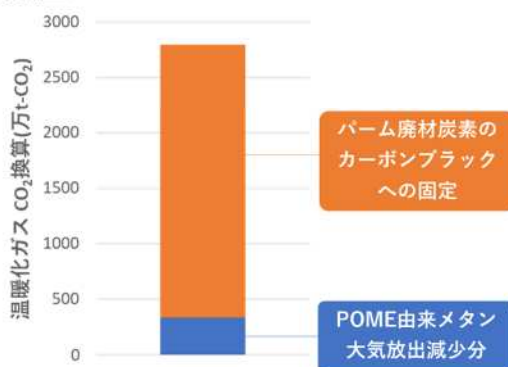
表3 POME嫌気発酵処理槽普及時の温室効果ガス削減効果の試算

	現行： バイオガス化 普及率	大気放出量 (万t)	CO <sub>2</sub> 換算 (万t)	目標： バイオガス化 普及率	CO <sub>2</sub> 削減効果 (万t)
POME由来メタン	22.5%	15.5	387.5	90%	337.5

①POMEメタン発酵普及率を、22.5%から90%に

②パーム廃材回収-メタン発酵利用を90%に

温室効果ガス削減量



大気放出分より、  
2795万t-CO<sub>2</sub>の削減効果  
-2kg-CO<sub>2</sub>/kg-パーム油

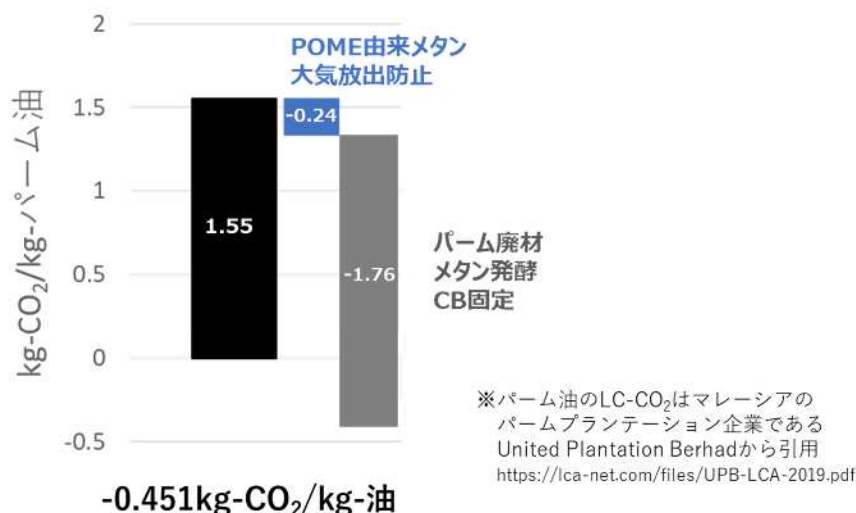
※パーム油は年産1400万t  
廃材回収分の発生CO<sub>2</sub>は  
カーボンブラックに計上

図4 マレーシアにてエメラルド水素製造システムを普及させた際の炭素削減効果

2-3. 2050年におけるマレーシアでのパーム油LCA

マレーシアはインドネシアと異なり、パーム増産が進んでいない。マレーシアオイルパーム庁の方針として、①パーム栽培面積に上限を設けていること、②泥炭地にパ

ームを植樹することを禁止していること、③国土面積中の森林地帯50%以上を守ること、を政策としている。実際に植樹活動なども盛んであり、2013年度より2017年度にかけて森林面積は増えている<sup>20)</sup>。すなわち、マレーシアでは、パーム油反対派が主張する新規農園のための熱帯雨林の伐採や、土地転用に付随する泥炭地からの炭素発生の影響が少ない。マレーシアにおけるパームプランテーション企業であるUnited Plantation BerhadのLCA(注10)報告書<sup>21)</sup>では、泥炭地からのCO<sub>2</sub>発生も含めて1.55kg-CO<sub>2</sub>/kg-パーム油、と試算されている。本論文で提案したパーム産業廃棄物からのエメラルド水素製造システムを導入すれば、カーボンネガティブなパーム油を製造することが可能である(図5)。



**パーム産業廃棄物のメタン発酵⇒カーボンブラック+水素生産により  
 カーボンネガティブなパーム油を製造できる可能性**

図5 マレーシア全域にエメラルド水素製造システムを普及させた際のパーム油製造LC-CO<sub>2</sub>

(出典 参考文献21)

第3章 実現へ向けた取り組み案

3-1. エメラルド水素製造システム商業1号機の構想

第2章まではマクロな観点から、エメラルド水素製造システムがパーム産業の脱炭素に貢献できる可能性を論じてきた。ここでは、本提案が経済的に成り立つかの検証

を行う。図6に構築したいサプライチェーン像を示した。



図6 構築したいサプライチェーン像

パーム油搾油工場ごとに隣接したメタン発酵設備を建設する。一方、メタン熱分解を行う工場は集約することで投資額を抑え、各搾油工場から液化メタンを輸送して原料として使用する。実証規模としては、Monolith社商業2号機と同規模を想定し、水素生産量年間6.9万t、メタン使用量約36.3万tとした。この場合、対象パーム園はマレーシア全体の3.4%となり、ネグリセンビラン州全域に相当する(図7)。メタン熱分解工場を1つ建設する場合、液化メタンの輸送距離は平均で約50kmとなる。コスト試算に関しては、複数の国家プロジェクト報告書からデータを引用した。プロセスフローとコスト試算結果は図8に、コスト試算の詳細は表4に示した。

EFBから紙パルプ製造実証試験を行った例<sup>22)</sup>では、製造コストは\$0.19/kg-紙パルプと試算されている。EFBのセルロース含有量は47.3%であり、乾燥EFBあたりで考えると工程コストは\$0.09となる。また、紙パルプ製造は収集、粉砕、アルカリ処理、紙作成の工程からなるため、本提案の粉砕工程より過剰な処理がなされコストは過大に算出されている。そのため輸送、粉砕コストは約半分の\$0.045、メタン当たりでは\$0.24/kg-メタンと推定した。続いてメタン発酵に関しては、マレーシアパーム園でのメタン製造国際実証事業<sup>23)</sup>では、メタンバイオガ

ス製造コストは33.7円/kgメタンと試算されている。この試算では発電設備が含まれており、本提案では必要ない発電設備が含まれているため、コストは過大に見積もっている。酵素添加コストは、酵素価格や必要添加量に不明な点が多く、実証事業での検証項目である。一方、日本は古くから酵素、微生物研究が盛んであり、バイオマス糖化酵素の技術開発も国家プロジェクトとして進み、日本企業での実施優位性が期待できる<sup>24)</sup>。

### 水素生産約7万t 対象パーム園はマレーシア全体の3.4%

平成19年12月12日 (maff.go.jp)

図表 3-1-16 アブラヤシの州・地域別・生産者別の栽培面積 (2010年)

州・地域	小規模農園	中央政府スキーム			州政府スキーム	民間大規模農園	合計
		FELDA	FELCRA	RISDA			
ジョホール	198,063	126,399	22,721	4,774	40,042	325,399	717,396
ケダ	19,539	717	1,124	981	2,450	53,728	78,539
クランタン	2,857	36,321	3,113	1,180	18,872	70,372	132,715
マラッカ	8,913	2,480	2,322	1,734	0	35,921	51,350
ネグリセンビラン	18,111	47,628	7,250	9,869	324	81,180	164,362
パハン	35,234	298,196	31,478	21,729	61,503	240,728	688,866
ペナン	7,903	0	511	25	0	5,156	13,595
ペラ	93,606	23,484	32,035	19,112	20,209	194,081	382,527
ペルリス	79	0	155	0	0	0	234
セランゴール	36,825	6,122	3,916	343	1,530	80,264	129,000
トレンガヌ	8,200	41,789	19,922	19,044	10,653	66,478	166,086
半島マレーシア (%)	429,330	583,116	124,545	78,791	155,583	1,153,307	2,524,672
	17.0	23.1	4.9	3.1	6.2	45.7	100.0
サバ州 (%)	165,039	114,838	15,210	0	86,566	1,027,423	1,409,676
	11.8	8.2	1.1	0.0	6.1	72.9	100.0
サラワク州 (%)	56,416	7,620	22,801	0	78,792	753,789	919,418
	6.1	0.8	2.5	0.0	8.6	82.0	100.0
マレーシア全体 (%)	651,385	705,574	162,556	78,791	320,841	2,934,519	4,853,768
	13.4	14.5	3.4	1.6	6.6	60.5	100.0

(資料) MPIC "Statistics on Commodities 2010"

### ネグリセンビラン州全域を占める

※赤枠はRSPO認定パーム園

GeORSPo | RSPO - Roundtable on Sustainable Palm Oil



## 図7 商業1号機の規模、対象パーム園の試算

(出典 農林水産省 マレーシアの農業・農業政策 平成19年12月12日  
[https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokusei/kaigai\\_nogyo/k\\_syokuryo/h23/pdf/asia03.pdf](https://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokusei/kaigai_nogyo/k_syokuryo/h23/pdf/asia03.pdf), RSPO HP, <https://rspo.org/members/georspo>, 2022年7月1日閲覧)

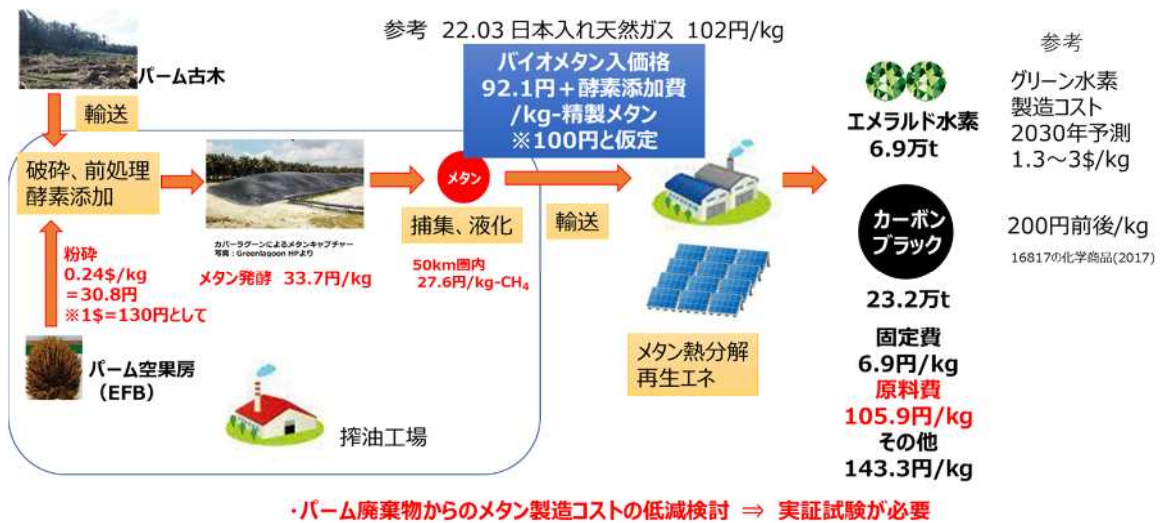


図8 商業1号機：各工程での想定コスト

(出典 参考文献11, 14, 22, 23, 24, 25, 27, 新電力ネットより天然ガス価格 \$18.03/百万Btu (23.085kg) <https://pps-net.org/statistics/gas>, 16817の化学商品 (化学工業日報社) 2017)

表4 メタン精製、輸送コストの試算

栗田成果報告書より	千円/年	
50kmケース	日本	マレーシア
精製設備	6,660	6,660
人件費	50,400	15,130
電力費	1,915	1,915
燃料費	18,144	18,144
車両整備費	450	450
	77,569	42,299
	円/kg	円/kg
メタンコスト	50.6	27.6

マレーシアケース労務費				
	従業員 18.6人			
マレーシア	月額	円/年	員数	労務費
ワーカー	\$413/m	644,280	16	10,050,768
エンジニア	\$840/m	1,310,400	2	2,620,800
管理職	\$1,576/m	2,458,560	1	2,458,560
				15,130 千円/年

マレーシア人件費は下記サイトを参照し月額データを使用した

(出典 Dualtap ブログ “海外進出でコスト削減。マレーシアと日本を徹底比較” 2019年7月23日, <https://www.dualtap-international.co.jp/blog/2019/07/23/%E6%B5%B7%E5%A4%96%E9%80%B2%E5%87%BA%E3%81%A7%E3%82%B3%E3%82%B9%E3%83%88%E5%89%8A%E6%B8%9B%E3%80%82%E3%83%9E%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%82%A2%E3%81%A8%E6%97%A5%E6%9C%AC%E3%82%92%E5%BE%B9%E5%BA%95/>)

メタンの捕集、液化、輸送に関してはメタンガスの精製・輸送実証試験例<sup>25)</sup>より、50 kmケース、労務費をマレーシアケースとして試算(表4)し、27.6円/kg-メタンと試算した。合計すると、メタン熱分解工場へのバイオメタンガス納入価格は92.1円+酵素添加費用/kg-メタンと試算された。22年3月時点での日本入れ天然ガス価格は102円/kgであり、より安価に入手することも期待できる。。酵素添加費用が不明ではあるが、仮にメタンの熱分解工場入れ価格100円として試算した。続いてメタン熱分解に関しては、過去には、Kvaerner によるCB&H プロセスで、商業プラントが建設され1999~2004年に稼働していたという報告があり、実績のあるプロセスである<sup>26)</sup>。またParkinsonらが水素製造コストを分析しており、80万tのメタン熱分解設備として約\$6400万と試算されている<sup>26)</sup>。本提案ではメタン36.3万t/年と想定しているため、0.6乗則を適用して約\$4000万、130円/\$として52億円と試算された。設置費用は設備費の3倍とし、投資額は208億円と試算した。これらのデータから、エメラルド水素、カーボンブラックの製造固定費は10年償却で6.9円/kg、原料費は106円と推定された。一方、メタン熱分解プラント(1500℃)における水素製造コストは、引用文献26にて\$1.72/kg-水素と推定されている。そのうち原材料費は\$0.57であり、これを本論文のバイオメタン原料費と置き換えると水素製

造費は\$ 1.97/kgと試算された。グリーン水素の製造コスト予測値である\$ 1.3~3.0、カーボンブラックの市場価格帯（200円前後、導電性カーボンブラック500~7000円）を考慮すると十分事業として成立すると考えられる。一方で製造費に対し原材料費が占める割合が高く、メタン発酵・収集システムの効率化、コスト低減が課題となる。

エメラルド水素生産システムの実現までに不足している情報は多数あるが、特に①パーム廃材からのメタン発酵生産性、②メタンの精製、回収、輸送、メタン熱分解工場の投資額、運用コストのフィージビリティスタディを進める必要がある（図9）。①に関してはパーム廃材収集、利活用がSATREPSプロジェクトで実施されており<sup>10)</sup>、メタン発酵に関しては上述のように日本企業での国際実証プロジェクトが複数行われている。コストが不明な糖化酵素に関しても研究知見を有している日本企業は多い。②に関しては現在Monolith社、C-ZERO社がメタン熱分解プロセスの技術開発、商業生産を始めているが、日本企業も彼らと提携し開発を始めている<sup>27)</sup>。オールジャパン体制で臨むことで本提案の実現は十分に可能であると考えられる。

① パーム古木の収集 EFBと合わせて糖化、メタン発酵性の検証



協働先候補  
SATREPS  
NEDO/環境省  
花王  
栗田・クボタ  
現地パートナー

② バイオガス導入済みパーム園でのメタン回収、精製設備導入、精製メタンの熱分解実証試験



協働先候補  
NEDO/環境省  
栗田/大阪ガス  
三菱重工  
/MONOLITH  
現地パートナー

図9 実証試験の想定

3-2. エメラルド水素、カーボンブラック利用による波及効果

油脂産業においても脂肪酸の還元によるアルコール製造、不飽和脂肪酸の還元などの反応にてクリーン水素が必要とされている。また、ボイラー等から発生するCO<sub>2</sub>を回収し地中隔離するにはパイプライン施工や隔離に適した地質が必要である一方、C

O<sub>2</sub>と水素を利用した化学品生産は場所を選ばずに実施可能である。将来的にはCO<sub>2</sub>からの油脂製造も可能になると期待できる。このように、エメラルド水素は油脂産業自体の低炭素化にも貢献が可能である。日本は2050年に向けて水素輸入国となる見通しであり、環境適合性のある水素調達は喫緊の課題である。我が国は2030年に最大300万トン/年、2050年に約2000万トン/年のカーボンフリー水素が必要となる<sup>28)</sup>。マレーシアで200万t超のエメラルド水素生産が可能となれば、油脂産業は環境適合性の高いエネルギー、基幹原料供給産業としても大きな貢献ができる。エメラルド水素生産システムは他国でも適用が可能と考えられ、インドネシアのパームオイル生産量(4650万t)から試算すると600万t超の水素生産が可能である。カーボンネガティブな水素を産業利用することにより、日本、アジア圏の産業全体の炭素負荷を下げるのが可能であり、近年EUにて議論されている越境炭素税にも対抗する産業基盤を作ることができる。

また、カーボンブラックはタイヤ、2次電池の陰極剤、炭素繊維として重要であり今後も需要の成長が期待されるが、油脂産業における使用方法としてバイオ炭の利用を提案したい。図10に農研機構にて議論されているバイオ炭利用の概念図を示した。脱炭素実現に向けて土壌への炭素貯留が議論されているが、農作物残渣であるバイオマスをもそのまま農地に漉き込むと、その場で分解されCO<sub>2</sub>やメタンの発生を引き起こす。一方、活性炭の様に炭化させることで生分解され難くなり、土壌炭素貯留効果が著しく向上する。また、炭素貯留だけでなく、土壌の保水性が50~60%向上、保肥性が8~9%向上したという報告もされている<sup>29)</sup>。パーム園からの温室効果ガス放出の原因として、泥炭地の乾燥による土壌貯留炭素の流出があげられるが、土壌の保水により泥炭地を乾燥から守ることでパーム園からのCO<sub>2</sub>放出を下げるという提案もされている<sup>30)</sup>。メタン熱分解により生成するカーボンブラックの粒子形状、物性にも依存すると考えられるが、電材用グレード、土壌改良用グレードなど作り分けることができれば、エメラルド水素製造システムより生成されたカーボンブラックはパーム園の環境保護にも有効となる。

バイオ炭利用による土壌炭素貯留  
(メカニズム)

技術テーマ⑳

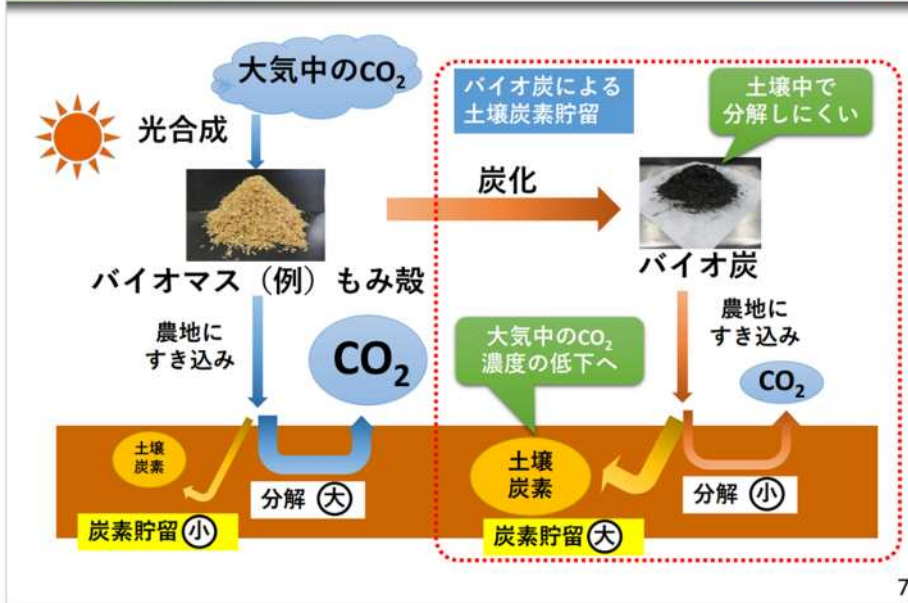


図10 バイオ炭利用による土壌炭素貯留

(出典 農研機構 第3回グリーンイノベーション戦略推進会議WG)

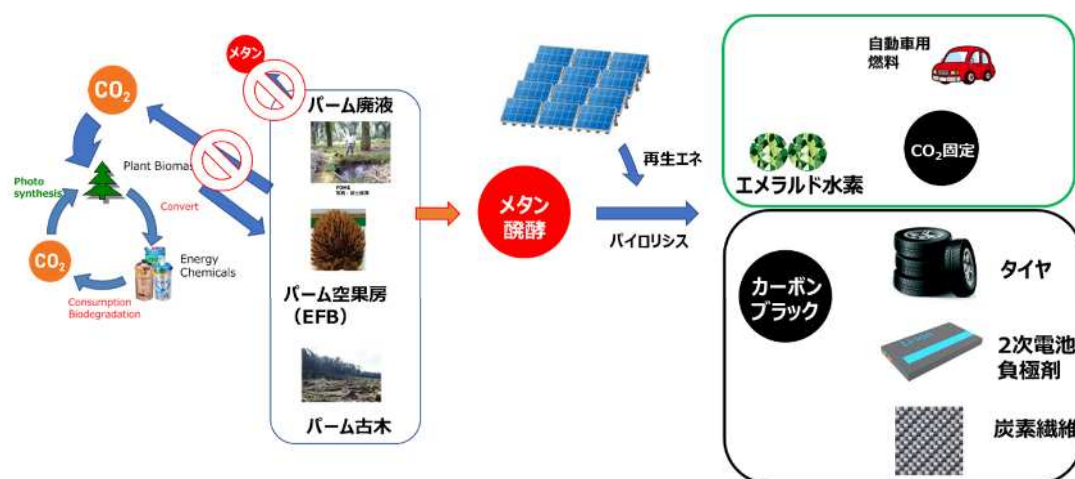
3-3. 2050年の油脂産業展望

本論文で提案した2050年までのマイルストーンを図11に示した。



図11 2050年までのマイルストーン

まず、パーム古木、E F Bの収集、およびパーム廃材を用いたメタン発酵性の検証と、メタン回収、精製システムの検証、そしてメタン熱分解プロセスの実証試験を行い、不足している要素データを収集する。その後、コストフィージビリティスタディ、LCA評価、生成物であるエメラルド水素とカーボンブラックの物性評価や実地試験、顧客開拓を行う。商業化できる可能性が確認できれば、マレーシアにおいて州規模での大規模実証・商用プラントでの評価を行い、約7万tのエメラルド水素製造を進める。2050年にマレーシア、インドネシアにエメラルド水素製造システムが広がれば、1億t以上のCO<sub>2</sub>削減効果が得られることになる。2030年における日本のCO<sub>2</sub>排出量の目標値が10億4200万t-CO<sub>2</sub>であるため、上記削減効果は大きなインパクトを与える。経済的観点では、EUの炭素税は2022年1月段階で1t-CO<sub>2</sub>あたり€85であり<sup>31)</sup>、6月以降も€80を超えている。2050年にはアジア圏でも現在のEU並みの炭素税が導入される可能性も十分に考えられ、その場合1億tのCO<sub>2</sub>削減効果は1兆円を超える。パーム油の市場規模が657億ドル(8.5兆円)であり<sup>32)</sup>、炭素税だけでも大きなビジネスになることが見て取れる。そこで、本論文では2050年の油脂産業のあるべき姿として、「サステナブルなパーム油産業」だけではなく、エメラルド水素製造により他産業の基盤を支える環境適合性エネルギー、基幹原料供給、および大気からの炭素回収産業として、真の意味で「パーム全体を使いこなすパーム産業」へ再構築することを提案する(図12)。



パーム廃材をCO<sub>2</sub>として大気に戻すのではなく、炭素を産業界内で使用、固定していく  
+ グリーン水素を他産業のエネルギー源、CO<sub>2</sub>固定用に供給

9/25

図12 提案 パーム油産業が2050年に目指す姿

おわりに

欧州を中心にパーム油産業に対して環境への悪影響を指摘される事例が増えているが、一方でパーム油は単位面積当たりの油脂生産性が既存の商業生産油脂の中でも最も優れている。本論文ではそのパームの炭素固定能力の高さを生かし、CO<sub>2</sub>排出低減という世界でも最優先の課題に対して油脂産業が貢献できるモデルを提案した。脱炭素に向け世界中で様々な技術開発や新しいビジネスモデルの検討が進む中で、油脂産業にも既存システム以外のビジネスチャンス創出を期待し、パーム廃材から放出されるメタンの熱分解プロセスによるエメラルド水素とカーボンブラックの生産システムを提案した。このように、他産業において実用化が進んでいる先進技術の積極的な獲得を進め、社会要請に合わせた次世代の油脂産業像を継続的に革新していくことが必要と考える。

森林伐採によりパーム油の増産を求める時代は終わり、限りある原料、農地、水を最大限活用することが重要である。これは決してパームだけの問題ではなく、ブラジルの森林破壊で問題になっている大豆など、大規模に生産されている農業資源共通の課題である。本論文をきっかけとして、油脂産業の置かれている状況、世の中の脱炭素に向けた取り組みを整理し、新たな油脂産業を考える機会となれば幸いである。また、農業未利用資源の有効利用は脱炭素に向けた新事業創生において、大きな可能性があることも確信した。今回の提案を実現するには、図9に示したような幅広い業界の連携が必要であるが、業界を超えて持続性のある未来を構築する一助となる技術を構築、提供できるよう、研究者として今後も邁進し続けていきたい。

## 注釈

(注1) カーボンニュートラル：製品の製造、廃棄、事業遂行におけるCO<sub>2</sub>排出量とCO<sub>2</sub>吸収、除去量が釣り合っている状態

(注2) CCS：Carbon dioxide Capture and Storageの略称 天然ガスなどを貯留している安定な地下岩盤にCO<sub>2</sub>ガスを輸送し貯留する技術

(注3) POME：Palm Oil Mill Effluent（パームオイル工場排水）の略称

(注4) OPT：Oil Palm Trunk（パーム廃棄古木）の略称 パームは平均25年に一度伐採、植え替えるため古木が発生する 現状は主にパーム園に放置されている

(注5) EFB：Empty Fruit Bunch（パーム空果房）の略称 パーム油が含まれる実を取り除いた残骸

(注6) メタン発酵：メタン生成微生物による酸素のない環境下で有機物を分解することによりメタンが発生する現象。有機物を多く含む排水の浄化、電力生産に利用される

(注7) EFBとパーム実由来繊維、殻の乾重当たりのメタン生成量は同一と仮定した

(注8) Monolith社HPより、CH<sub>4</sub> 1.4kg

⇒ C 1kg + H<sub>2</sub> 0.3kg + CO<sub>2</sub> 0.2kgを用いて試算

(注9) マレーシアでのパーム油生産量は参考文献9の値である1400万tを使用した。EFBなどのパーム産業廃棄物量が記載された参考文献9に記載の値

(注10) LCA：Life Cycle Assessmentの略。製品の原料調達から廃棄に至るまでの環境影響評価

## <参考文献>

- 1 江守 正多（国立環境研究所） “本当に二酸化炭素濃度の増加が地球温暖化の原因なのか” 地球環境研究センターニュース,  
<https://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201806/330006.html>, 2018年6月号
- 2 “IPCC第5次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約”（環境省）,  
[https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5\\_syr\\_spmj.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_syr_spmj.pdf), 2022年7月1日閲覧
- 3 Microsoft社HP,  
<https://news.microsoft.com/ja-jp/2020/01/21/200121-microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>, 2020年1月16日
- 4 Zホールディングス社HP,  
<https://www.z-holdings.co.jp/pr/press-release/2022/0202>, 2022年2月2日
- 5 花王株式会社HP,  
<https://www.kao.com/jp/corporate/news/sustainability/2021/20210519-001/>, 2021年5月19日
- 6 “CCUS／カーボンリサイクル関係資料”（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）） 第1回グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ,  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/green\\_innovation/pdf/001\\_07\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/001_07_01.pdf), 2020年7月7日
- 7 “アメリカ大陸におけるCCS／CCUS”（Global CCS Institute）,  
<https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/193093/fact-sheet-ccs-ccus-the-americas-japanese.pdf>, 2015年
- 8 “バイオマス燃料の安定調達・持続可能性等に係る調査報告書”（三菱UFJリサーチ&コンサルティング） p.112,  
[https://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/H30FY/000087.pdf](https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000087.pdf), 2019年2月
- 9 白井, 「パームオイルバイオマスの有効利用に向けて」『化学と生物』第42巻

第1号 p8-10, 2004年

- 10 小杉ら, (国際農林水産業研究センター) “オイルパーム農園の持続的土地利用と再生を目指したオイルパーム古木への高付加価値化技術の開発 平成30年度実施報告書” [https://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/h3001\\_h30.pdf](https://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/h3001_h30.pdf)
- 11 船橋, (株式会社富士経済) “発電用「農作物の収穫に伴って生じるバイオマス」のサステナビリティ確保に関するポイント”, <https://www.hbep.co.jp/assets/pdf/biomass-sustainable-activities.pdf>, 2018年11月13日
- 12 白井, 「マレーシアパームオイル産業での環境改善と地球温暖化防止戦略の中のCDM」, 『オレオサイエンス』, 第6巻10号 p525-533, 2006年
- 13 JICA HP, “オイルパーム農園の持続的土地利用と再生を目指したオイルパーム古木への高付加価値化技術の開発プロジェクト”, <https://www.jica.go.jp/oda/project/1800821/index.html>, 2022年7月1日閲覧
- 14 Monolith社HP, <https://monolith-corp.com/>, 2022年7月1日閲覧
- 15 Nurliyana M. Y., *et al*, (Universiti Putra Malaysia) “Effect of C/N ratio in methane productivity and biodegradability during facultative co-digestion of palm oil mill effluent and empty fruit bunch” *Industrial Crops and Products*, 76, p 409-415, 2015
- 16 Sitthikitpanya S., *et al*, (Khon Kaen University) “Two-stage thermophilic bio-hydrogen and methane production from oil palm trunk hydrolysate using *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* KKU19” *International J. Hydrogen Energy*, 42, p 28222-28322, 2017
- 17 三井住友DSアセットマネジメントHP, “次世代エネルギーの本命、再エネ由来の『グリーン水素』”, <https://www.smd-am.co.jp/market/daily/keyword/2022/01/key220127gl/>, 2022年1月27日
- 18 Mordor Intelligence社HP, “カーボンブラック市場-

- 成長、傾向、COVID-19 の影響、および予測（2022 年-2027 年）”  
<https://www.mordorintelligence.com/ja/industry-reports/carbon-black-market>, 2022年7月1日
- 19 富士キメラ総研 「2017年 高機能添加剤・ハイブリッド材料の現状と将来展望」2017年6月
- 20 経産省HP, “マレーシア持続可能なパーム油(MSPO)”  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/shin\\_energy/biomass\\_sus\\_wg/pdf/002\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/biomass_sus_wg/pdf/002_05_00.pdf), 2019年5月27日
- 21 United Plantations Berhad社HP, “Life Cycle Assessment of Palm Oil at United Plantations Berhad 2019”, <https://lca-net.com/files/UPB-LCA-2019.pdf>, 2022年7月1日閲覧
- 22 独立行政法人国際協力機構(JICA)、株式会社ピーアイシー、株式会社大善, 「インドネシア国パーム油産業のEFB廃棄物による紙パルプ製造事業にかかる案件化調査 業務完了報告書」2017年11月
- 23 NEDO、株式会社クボタ, “国際エネルギー消費効率化等技術普及協力事業 技術実証事業(FS) パーム油産業における膜型メタン発酵システムを用いたエネルギー回収技術実証事業(マレーシア) 調査報告書”平成23年1月
- 24 NEDO、花王株式会社ら, 「平成25年度～平成28年度成果報告書 バイオマスエネルギー技術研究開発 バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業 バイオ燃料事業化に向けた革新的糖化酵素工業生産菌の創製と糖化酵素の生産技術開発」2019年2月1日
- 25 NEDO、栗田工業株式会社, 「平成22～24年度 バイオマスエネルギー技術開発 戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業(実用化技術開発) 乾式メタン発酵技術における主要機器の低コスト化並びに効率的なバイオガス精製技術及びガス利用システムの実用化に関する研究開発 成果報告書」平成25年3月
- 26 株式会社東レリサーチセンター 平成29年度科学技術イノベーション創造推進委託事業エネルギー・環境分野における有望技術の技術課題に関する包括的調査 調査報告書 2018年3月
- 27 三菱重工HP, <https://www.mhi.com/jp/news/201130.html>, 2020年1

1月30日

- 28 経済産業省, 「今後の水素政策の課題と対応の方向性中間整理(案)」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/suiso\\_nenryo/pdf/025\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/025_01_00.pdf), 2021年3月22日
- 29 亀山ら, (国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所), 「樹皮由来バイオ炭の砂丘地圃場への施用による土壌の保水性・保肥性改善効果」, 『農業農村工学論文集』No. 301 p65-74, 2016
- 30 関口(ライオン(株)), 「パーム油の環境への影響と持続可能なパームに向けた取組みについて」, 『オレオサイエンス』第9巻第6号 p1-6, 2009
- 31 EMBER HP, “EU Carbon Price Tracker”  
<https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>, 2022年7月20日閲覧
- 32 deallab社HP, “パームオイル(油ヤシ)業界の世界市場シェアの分析”, <https://deallab.info/palm-oil/>, 2022年5月9日