



低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

**藻類からの燃料油製造**  
－ CO<sub>2</sub> 排出量と経済性評価－

令和 2 年 3 月

**Fuel Oil from Algal Biomass:**  
Evaluation on CO<sub>2</sub> Emission and Economy

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2019-PP-13

## 概要

光合成により藻類バイオマス生成作用を利用した燃料油製造が、液体燃料のカーボンフリー化への動きに合わせて注目されている。最近では、電動化が困難とされる航空機用燃料として実用化への試行もみられる。LCSでは、2012年以来、この技術分野に着目して、菌体の生産性や菌体組成などのデータを基にプロセス評価を行ってきた（① 筑波大グループ、② ニュージーランド NIWA）が、コスト面での現実的な優位性を見いだすことが出来なかった。最近、製品燃料コストが市場価格に対抗できる範囲のデータが公表された（③ 米国 DOE）ので、このプロセス評価を行い、さらに、これら①～③の藻類バイオマスからの燃料製造プロセスについて、CO<sub>2</sub> 排出負荷の観点を加えて比較検討を行った。

その結果、藻類バイオマスからの燃料油製造プロセスでは、化石資源起源のCO<sub>2</sub>を利用する前提では、低CO<sub>2</sub>負荷燃料は実現しないことが明らかになった。今後、カーボンフリー液体燃料の実現については、他の非化石資源からのルート、あるいは、化石資源とDACプロセスの組み合わせルートなど、さらなる多面的な検討が必要であることが明らかになった。

## Summary

Fuel oil production utilizing algae biomass production by photosynthesis has been attracted with the trend toward carbon-free liquid fuels. In recent years, challenges have been made to put it into practical use as an aircraft fuel, which is difficult to electrify. While LCS has been focusing on this technology field since 2012, and has been working on process evaluations based on data such as cell productivity and cell composition (①University of Tsukuba, ②NIWA, New Zealand), it has been difficult to find a real cost advantage. Recently, data on the range at which algae biomass fuel cost can compete with market prices have been published (③DOE, USA), and we have made a process comparison on these ①～③ processes while adding the viewpoint of CO<sub>2</sub> emission load.

The results demonstrated that a fuel oil production process based on algal biomass utilizing fossil fuel derived CO<sub>2</sub> cannot produce low-CO<sub>2</sub> emission load fuel. In order to realize a carbon-free liquid fuel, further studies are needed to search for routes such as finding other non-fossil fuel resources or combining fossil fuel resources with a DAC process.



## 目次

### 概要

1. はじめに.....	1
2. 検討範囲の設定と設計前提条件.....	1
3. 各ケースのフローと前提条件ならびに検討結果.....	2
3.1 ケース1（筑波大 G）.....	2
3.2 ケース2（米国 DOE）.....	4
3.3 ケース3（ニュージーランド NIWA）.....	11
4. 結論.....	15
参考文献.....	16



## 1. はじめに

液体燃料の非化石資源化は、輸送用燃料の脱炭素化に欠かせない。特に、蓄電池化が困難とみられている航空機用燃料については、バイオマス起源の液体燃料導入の動きがみられるが、それらの課題解決に向けて、藻類からの燃料油製造プロセスが提案されてきた。([1-4])  
LCSでは、これらのプロセスについて検討し、コスト面ならびにCO<sub>2</sub>負荷面からの課題を示した。

## 2. 検討範囲の設定と設計前提条件

以下の3ケースについて検討した。各ケースの設計前提条件を表1に示す。

ケース1 (筑波大学G) : ボトリオコッカス (筑波大学グループ) の性能を基本にして構成した燃料油製造プロセス[1]

ケース2 (米国 DOE) : 培養池のサイズの大型化と燃料油製造工程を組み合わせた、米国 (DOE) の燃料油製造プロセス[3,4]

ケース3 (ニュージーランド NIWA) : 下水道処理場排水を原料とする、NIWA (the National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand) における燃料油製造プロセス評価[2]

なお、各ケースとも、光入射エネルギー入力は、日本平均の約2倍の年間2MWh/m<sup>2</sup>として光合成率を2%で試算した。また、ケース1、3の燃料油生産量は33t/年、ケース2の燃料油生産量は79,900t/年と大きく異なるが、バイオマス培養池設備は平面設置であり、スケールの影響は少ないという前提条件で比較検討した。

表1 藻類からの燃料油製造 各ケースの設定条件

	ケース1 筑波大G	ケース2 DOE	ケース3 NIWA
1モジュール(ha)	1	40	1.25
培養池規模(ha)	1	4	1.25
培養池タイプ	密閉型、コンクリート製水槽 (ポリカーボネートカバー付)	開放型,HRAP (High Rate Algal Pond) 部分ライニング	開放型,HRAP (High Rate Algal Pond) 全面ライニング
栄養源	海水	アンモニア, DAP(Diammonium Phosphate)	下水処理場 一次処理水
CO <sub>2</sub> 源	火力発電所排ガス CO <sub>2</sub> 濃度5%、未反応 CO <sub>2</sub> をリサイクル	火力発電所 排ガス捕集 CO <sub>2</sub> 濃度100%	下水処理場 消化ガス 発電排ガス
1モジュール当たり バイオマス年間生産量(t/y)	66	3,300	82.5
モジュール数	1	50	1
バイオマス総生産量(t/y)	66	165,000	82.5
燃料油生産量(t/y)	33	79,900	33

### 3. 各ケースのフローと前提条件ならびに検討結果

#### 3.1 ケース1 (筑波大G)

##### 3.1.1 プロセス概要とプロセスフロー

面積1haの培養槽(100m×100m×0.5m、コンクリート水槽、透明カバー付き)に、入口藻濃度を0.1%に調整した原料を250m<sup>3</sup>/dにて供給し、滞留日数を20日とした場合の、培養槽出口の藻濃度を0.18%[1]とした。炭素源として、発電所排ガス(CO<sub>2</sub>濃度:5%)を導入し、さらに、未反応のCO<sub>2</sub>をリサイクル利用した。また、藻類バイオマスの栄養源としては外部からの養分供給に代えて、海水利用を前提とした。

図1に藻類(*Botryococcus*)からの燃料油製造フロー図を示す。

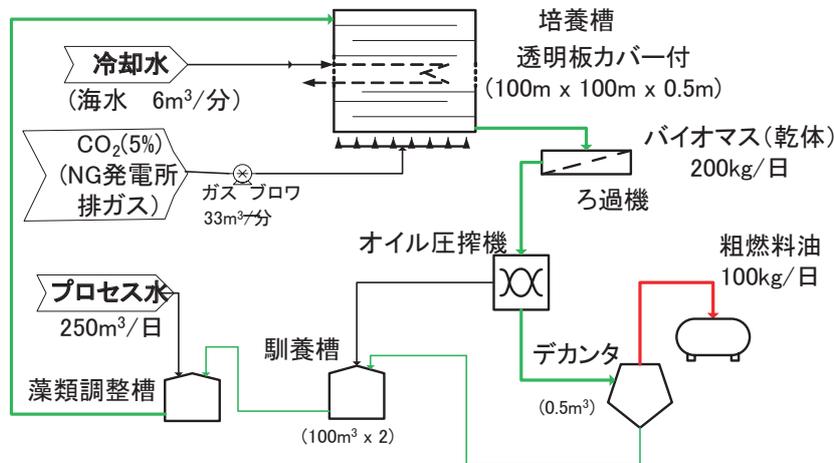


図1 藻類(*Botryococcus*)からの燃料油製造フロー図

##### 3.1.2 機器費・機器重量・建設費

機器リストを表2に示す。総建設費276百万円のうち、バイオマス培養槽工程は198百万円、燃料油製造工程は78百万円である。

表2 ケース1 機器リスト

機器名	概略仕様	価格(百万円)	重量(ton)	材質	電力(kW)
培養槽	100m×100m×0.7m	51	5,860	コンクリート	
熱交(パイプ)	1B×6,000m SUS	4	15	SUS	
ガス配管(供給)	2B×5,000m	2	27	CS	
ガス配管(リサイクル)	2B×5,000m	2	27	CS	
ガスブロー	33m <sup>3</sup> /min×500mmAq	2	0.5	SUS	5.5
リサイクルガスブロー	33m <sup>3</sup> /min×100mmAq	0.9	0.2	SUS	1.1
冷水ポンプ	6m <sup>3</sup> /min×10mH	2	0.5	SUS	15
培養槽カバー	PC(ポリカーボネート) 10,000m <sup>2</sup> ×1mm	6	12	PC	
ろ過機	フィルタープレス 0.8m <sup>3</sup> ×2基	24	12	CS	3
オイル圧搾機	0.2m <sup>3</sup> ×2基	15	7.5	CS	3
藻類調整槽	50m <sup>3</sup>	5	7	CS	
馴養槽	100m <sup>3</sup> ×2基	18	22	CS	
中間タンク	50m <sup>3</sup>	5	7	CS	
デカンター	500L	1	0.3	CS	
機器合計		138	5,997		28
総建設費		276			

### 3.1.3 製造コストとCO<sub>2</sub>負荷

表3に製造コストとCO<sub>2</sub>負荷を、またCO<sub>2</sub>換算した炭素バランスを図2に示す。

燃料油製造コストは、35円/MJ、CO<sub>2</sub>負荷は、170g/MJとなった。なお、CO<sub>2</sub>負荷算出方法について、以下に記す。

#### 1) バイオマス転化CO<sub>2</sub>

火力発電所からの排ガスCO<sub>2</sub>濃度を5%、CO<sub>2</sub>注入時間を年間2,000時間、未反応CO<sub>2</sub>は全量リサイクルされ、さらに、バイオマス中の炭素は50wt%を占めるという前提条件で求めた。

#### 2) 電力起源CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>排出量原単位を400g/kWhとして求めた。

#### 3) 設備起源CO<sub>2</sub>

基本的な方法は、既刊のLCS提案書「プロセス機器選定と製造コスト、環境負荷算出のための基礎データベース作成」[5]に記述されているように、機器の材質別重量を求め、それぞれの排出量原単位から総排出量を算出し、利用年数から年間排出量を求める方法である。なお、排出量原単位については、外部LCAデータの改定を反映させ、また、利用年数をこれまでの償却年数の代わりに設備寿命として原則30年とした。なお、固定費算出の際は、設備の補修費として、年経費率15%の場合は2%を計上している。

表3 ケース1 燃料油製造コストとCO<sub>2</sub>負荷

バイオマス生産性(g/m <sup>2</sup> /日)	20	
年間燃料油生産量(t/y)	33	(光合成効率:2%)
培養池面積(ha)	1	
総建設費(百万円)	276	

製造コスト	年間費用 百万円	製造コスト 円/kg	備考
変動費			
年間電力費	1.7	52	14円/kWh
年間工業用水費	0.2	6	50円/m <sup>3</sup>
	1.9	58	
固定費			
設備関連	41	1,254	年経費率0.15
人件費(日勤1人)	5	152	5百万円/人/年
固定費計	46	1,405	
合計	48.3	1,464	

CO <sub>2</sub> 負荷	t-CO <sub>2</sub> /y	備考
バイオマス転化CO <sub>2</sub>	121	藻類中のC 50%
電力起源CO <sub>2</sub>	49	400g-CO <sub>2</sub> /kWh
設備起源CO <sub>2</sub>	64	
合計	234	

製造コスト	CO <sub>2</sub> 負荷
円/MJ	g-CO <sub>2</sub> /MJ
35	170

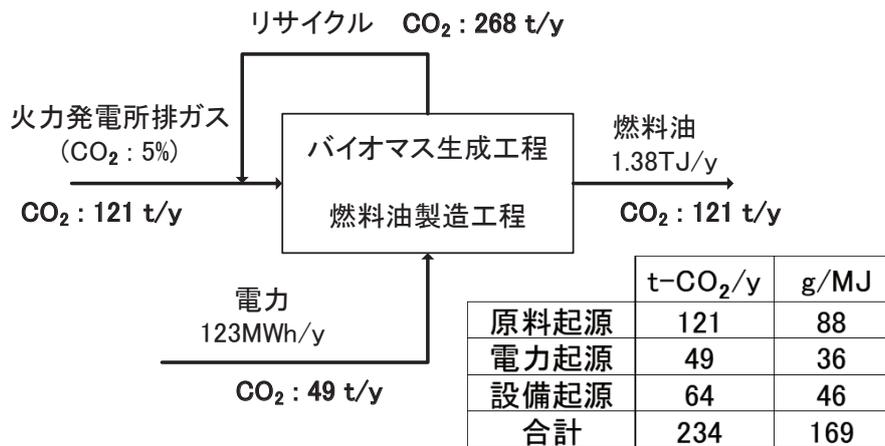


図2 ケース1のCO<sub>2</sub>バランス図

### 3.2 ケース2 (米国 DOE)

ケース2では、火力発電所の排ガスをCCSにて捕集、液化したCO<sub>2</sub>を原料として利用しているが、さらに副原料として、アンモニア、DAP (Di-Ammonium Phosphate)、ヘキササン、水素、天然ガス等を利用している。

#### 3.2.1 バイオマス (Algae) 生産工程

##### 3.2.1.1 プロセス概要とプロセスフロー

培養池は、後述のケース3と同じHRAP (High Rate Algal Pond)の発展型であり、開放型でパドル付きで構成され、池の造りはコンクリートを用いず、掘削、圧密のみ、さらに堰堤には、PEシートの部分ライニングで建設費の低減を図った。流量50,000t/時、滞留日5日にて、培養池出口で藻類 (*Scenedesmus*) 0.5g/Lを得る。次に、沈降槽、中空糸メンブレン、さらに遠心濃縮機を用いて、200g/Lに濃縮しバイオマス製品500t/日(乾体換算)を生産する。この場合、火力発電所にて捕集した高純度CO<sub>2</sub>を1日当たり、1,100t注入する。また、藻類バイオマスの成長に必要な養分(窒素分、リン分)として、アンモニアおよびDAPを供給する。

図3にバイオマス生産工程を示す。

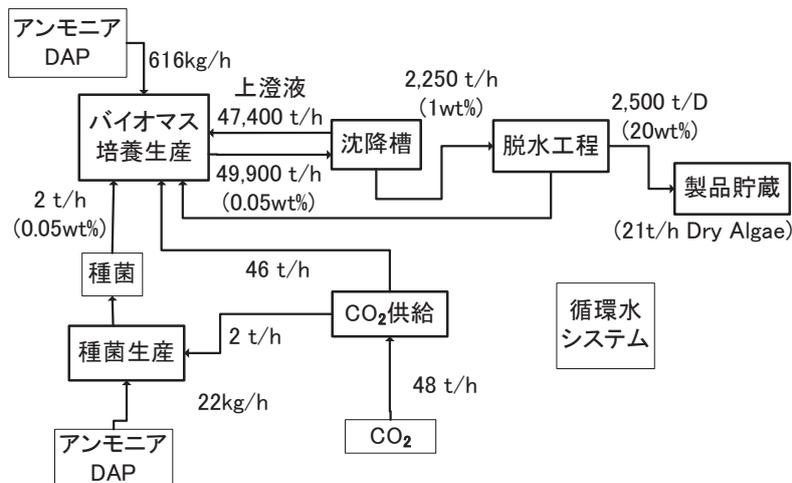


図3 藻類からの燃料油フロー (バイオマス生成)

培養池の概要を図4に示す。1つのモジュールは、広さ4haの培養池が10個、計40haで構成され、全体で50モジュール、計2,000haの培養面積である。モジュールは、大略1,400m×330m、全体の敷地は、10,000m×2,900mを想定した。

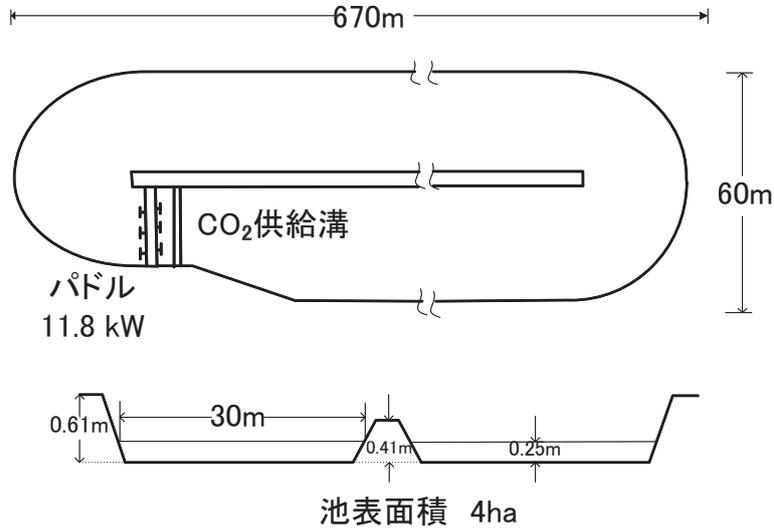


図4 4ha培養池の概要

### 3.2.1.2 機器費・機器重量・建設費

表4に、工程別にまとめた機器・材料費、重量と建設費を示す。

表4 機器・材料費、機器・材料重量と建設費

	機器・材料費	機器・材料重量	建設費	材質別機器重量				Concrete
	百万円	トン	百万円	CS	SUS	HDPE	PVC	
バイオマス生産	3,170	6,660	16,740	650		3,120	2,890	42,860
種菌生産	490	770	2,110	10	40	720		
CO <sub>2</sub> 供給	230	600	770	210		390		
循環水システム	180	680	830	360	0	320		
脱水工程	2,380	2,860	5,000	70	380	210	2,200	9,200
貯蔵	120	100	210	20	80			
設計・工事監督			5,130					
合計	6,570	11,670	30,790					

### 3.2.1.3 製造コスト

表 5 に燃料油製造の原料となる藻類バイオマスの製造コストを示す。

表 5 藻類バイオマス (Algae) 製造コスト

藻類バイオマス生産量 (Dry Algae)	(トン/年)	166,180				
	(kg/h)	21,078				
年間操業率	日	330				
総建設費	百万円	30,790				
年経費率		0.15				
総運転人員数		80				
年間労務費単価	百万円	5				
	原単位		年間消費量		単価	
CO <sub>2</sub>	kg/kg-Algae	2.3	ton/y	377,160	円/ton	5,000
NH <sub>3</sub>	kg/kg-Algae	0.020	ton/y	3,400	円/ton	94,000
DAP	kg/kg-Algae	0.010	ton/y	1,650	円/ton	76,000
電力	kWh/kg-Algae	0.51	10GWh/y	85	円/kWh	14.0
工業用水	ton/kg-Algae	0.053	kton/y	8,800	円/ton	50
年間変動費合計	百万円	3,960		変動費計	円/kg	23.8
年間設備費	百万円	4,620		固定費設備	円/kg	27.8
年間労務費	百万円	400		固定費労務	円/kg	2.4
年間固定費合計	百万円	5,020		固定費計	円/kg	30.2
				合計	円/kg	54.0

### 3.2.2 燃料油製造工程

#### 3.2.2.1 プロセス概要とプロセスフロー

燃料油製造工程を図5に示す。原料バイオマスは酸処理の後、糖化工程を経てエタノール発酵工程によりエタノールを生産し、製品の一部とする。発酵残渣は、溶媒抽出工程で油分を抽出し、水素化工程に送られ、高温、高圧反応にて軽油相当分を生成しこれを主成分とする。溶媒抽出残渣は嫌気性発酵工程に送られ、発酵メタンによる電力、蒸気に変換される。

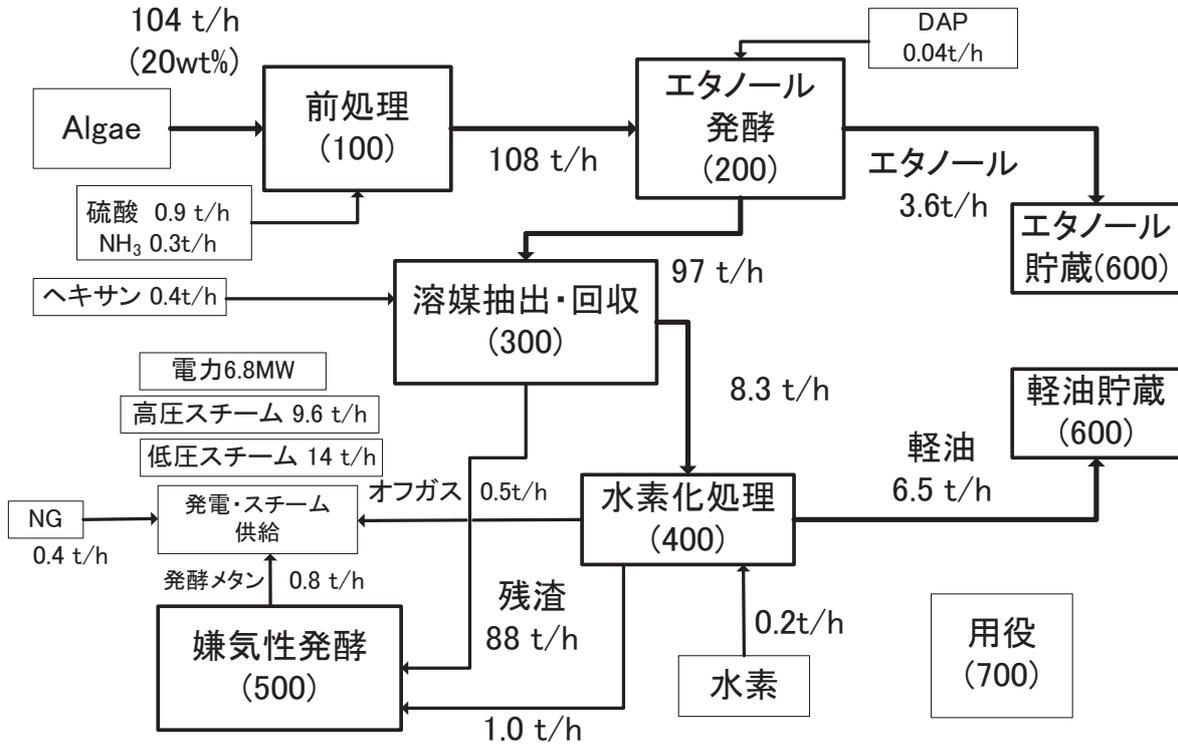


図5 藻類からの燃料油フロー（製造）

#### 3.2.2.2 機器費・重量・建設費

表6に藻類バイオマスを原料とする燃料製造プロセスの工程別にまとめた機器費、重量と建設費を示す。

表6 機器費・機器重量・建設費

工程名	機器費 百万円	機器重量 トン	建設費 百万円	材質別機器重量		
				CS	SUS	Incoloy
100 前処理	1,830	440	2,750	0	290	150
200 エタノール発酵	740	780	1,490	60	720	0
300 溶媒抽出・回収	1,900	650	3,800	0	650	0
400 水素化処理	1,010	460	2,440	430	30	0
500 嫌気性発酵	1,370	1,240	2,310	1,240	0	0
600 製品貯蔵	580	760	1,160	740	20	0
700 用役	200	90	400	90	0	0
設計費			2,530			
総建設費			16,880			

### 3.2.2.3 製造コスト

表7に藻類バイオマス（Algae）からの燃料油製造コストを示す。

表7 Algaeからの燃料油製造コスト

製品	(トン/年)	TJ/y
エタノール	28,420	760
燃料油(ディーゼル)	51,510	2,280
合計	79,930	3,040

年間操業率日数	日	330
総建設費	百万円	16,880
年経費率		0.15

運転人員/シフト/系列		7
総運転人員数		28
年間労務費単価	百万円	5

	原単位		年間消費量	単価		年間変動費
			t/y			百万円
Algae			165,000	54.0	円/kg	8,920
ヘキサン	kg/ton-Algae	18.0	2,970	130	円/kg	390
硫酸	kg/ton-Algae	44.2	7,290	20	円/kg	150
NH <sub>3</sub>	kg/ton-Algae	14.2	2,350	94	円/kg	220
DAP	kg/ton-Algae	2.0	340	76	円/kg	30
NG	kg/ton-Algae	57.0	9,410	30	円/kg	280
H <sub>2</sub>	kg/ton-Algae	9.9	1,630	200	円/kg	330
工業用水	kg/ton-Algae	1.6	260	50	円/kg	10
燐酸	kg/ton-Algae	0.8	130	100	円/kg	10
シリカ	kg/ton-Algae	0.4	70	250	円/kg	20
白粘土	kg/ton-Algae	0.8	140	75	円/kg	10

年間変動費	百万円	10,370
年間設備費	百万円	2,530
年間労務費	百万円	140
年間固定費合計	百万円	2,670

変動費計	円/MJ	3.4
固定費設備	円/MJ	0.83
固定費労務	円/MJ	0.05
固定費計	円/MJ	0.9
合計	円/MJ	4.3

### 3.2.3 燃料油一貫製造プラントでの製造コストとCO<sub>2</sub>負荷

バイオマス生成と燃料油製造を統合した場合の燃料油製造コストとCO<sub>2</sub>負荷を表8に、またCO<sub>2</sub>換算した炭素バランスを図6に示す。

表8 燃料油一貫製造プラントでのコストとCO<sub>2</sub>負荷

	百万円	CO <sub>2</sub> 負荷	t-CO <sub>2</sub> /y	備考
年間変動費	5,400	原料CO <sub>2</sub>	248,280	34%リサイクル
年間設備費	7,150	副原料起源CO <sub>2</sub>	74,360	表10参照
年間労務費	540	電力起源CO <sub>2</sub>	26,770	400g-CO <sub>2</sub> /kWh
年間固定費合計	7,690	設備起源CO <sub>2</sub>	5,760	
		合計	355,170	

	製造コスト 円/MJ	CO <sub>2</sub> 負荷 g-CO <sub>2</sub> /MJ
変動費計	1.8	
固定費設備	2.35	
固定費労務	0.18	
固定費計	2.5	
	4.3	117

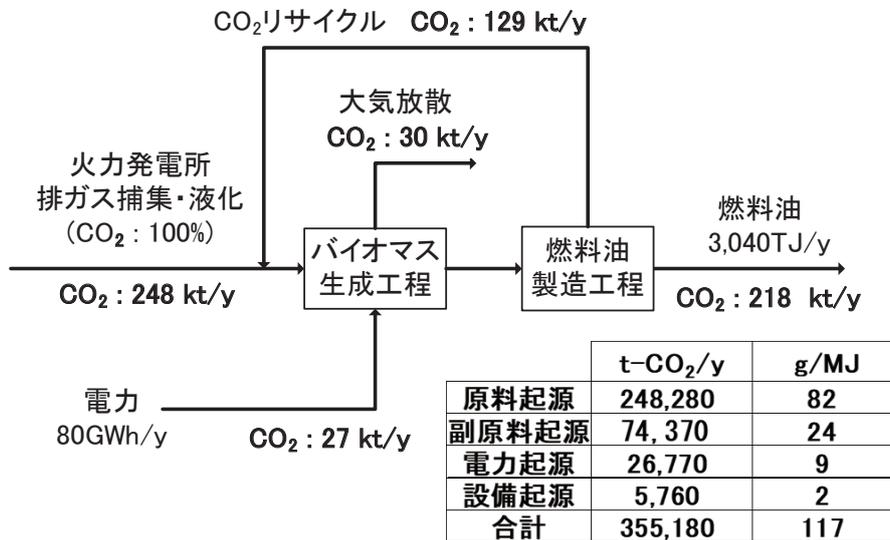


図6 ケース2のCO<sub>2</sub>バランス図

藻類バイオマスからの燃料油製造工程での CO<sub>2</sub> 負荷を以下の方法で求めた。

1) 原料起源 CO<sub>2</sub>

表 9 に炭素バランスを示す。藻類中の炭素含有率を 0.574[1]として、系外への排出量を求めた。培養池生成に供給される CO<sub>2</sub>のうち、34%がリサイクルされる。

2) 副原料（アンモニア、DAP、ヘキサン、硫酸、天然ガス、水素）の製造工程での CO<sub>2</sub>

各物質の排出量原単位と消費量から CO<sub>2</sub>負荷を求め、表 10 に示した。

3) 電力起源 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>排出量原単位を 400 g/kWh として求めた。

4) 設備起源 CO<sub>2</sub>

基本的な方法は、既刊の提案書「プロセス機器選定と製造コスト、環境負荷算出のための基礎データベース作成」[5]に記述されているように、機器の材質別重量を求め、それぞれの排出量原単位から総排出量を算出し、利用年数から、年間排出量を求める方法である。なお、排出量原単位については、外部 LCA データの改定を反映させ、また、利用年数をこれまでの償却年数の代わりに設備寿命として原則 30 年とした。なお、固定費算出の際は、設備の補修費として、年経費率 15%の場合は 2%を計上している。

表 9 炭素バランス

		流量	C含有率	炭素量	CO <sub>2</sub> 換算
		トン/年		トン/年	トン/年
供給	CO <sub>2</sub> 供給	377,160			377,160
	藻類バイオマス	165,000	0.574	94,710	347,270
	培養池での排出CO <sub>2</sub>				29,890
排出	製品1(ディーゼル)	51,510	0.849	43,750	160,420
	製品2(エタノール)	28,420	0.522	14,830	54,380
	製品3(ナフサ)	1,170	0.837	980	3,590
	計			59,560	218,390
	系外への排出CO <sub>2</sub>				248,280

表 10 副原料起源 CO<sub>2</sub>排出量

	排出量 原単位	バイオマス 生成	燃料油 製造	計
副原料名	kg-CO <sub>2</sub> /kg	トン		
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	1.04	0	3,090	3,090
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.07	0	510	510
NH <sub>3</sub>	2.18	7,410	5,120	12,530
DAP	3.06	5,040	1,030	6,070
NG	3.60	0	33,880	33,880
H <sub>2</sub>	11.20	0	18,290	18,290
				74,370

### 3.3 ケース3 (ニュージーランド NIWA)

#### 3.3.1 プロセス概要とプロセスフロー

藻類培養には、ケース2の培養池を原型として、面積1.25haの開放型高速培養池(HRAP: High Rate Algal Pond)を用いる。このHRAPは、粘土質の地面を掘削、整地し、PE製のライニングを施し、パドル、ハーベスター、CO<sub>2</sub>注入管を設置したものである。そこに、ニュージーランドの群生藻類を含む一次処理水500m<sup>3</sup>/日を供給し、滞留日数を9日とした場合、培養池出口の藻濃度を0.45g/L[2]を得た。炭素源として、下水処理場での消化ガス発電からの排ガスの導入を想定した。

図7に下水処理場排水からの燃料油製造フロー図を示す。

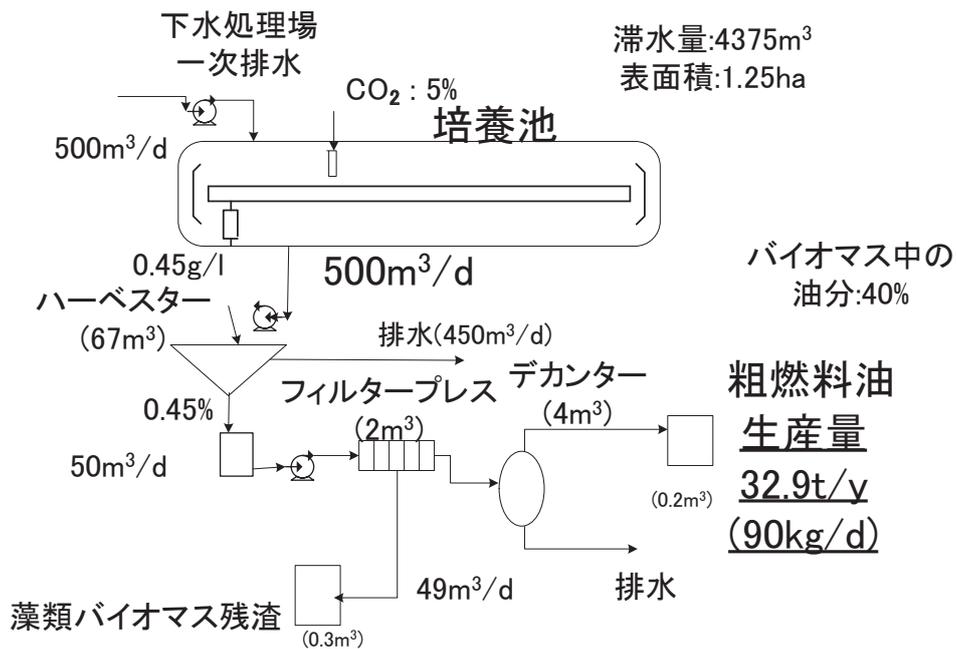


図7 下水処理場排水からの燃料油製造フロー

### 3.3.2 機器費・機器重量・建設費

機器リストを表 11 に示す。総建設費 81 百万円のうち、バイオマス培養槽工程は 53 百万円、燃料油製造工程は 28 百万円である。

表 11 ケース 3 機器リスト

機器名	概略仕様	価格(百万円)	重量(トン)	材質	動力(kW)
供給ポンプ	350L/min × 5m	1	0.25	SUS	0.4
パドル	6m × 8枚羽 × 0.8m	1	0.2	CS	6.8
suction pump	350L/min × 10m	1	0.25	SUS	0.8
harvester	67m <sup>3</sup> 、5mH、V字槽	6	3	CS	
タンク	5m <sup>3</sup>	2	3	CS	
排ガス 配管	5B × 5,000m	2	75	CS	
ガスブロー	33m <sup>3</sup> /min、500mmAq	2	0.5	CS	5.5
PH コントロール		0.8			
end baffle		0.5	1	CS	
加圧濾過機	2m <sup>3</sup> /hr × 5atm、2m <sup>2</sup>	10	5	CS	
油水分離機	4m <sup>3</sup>	2	3	CS	
オイルタンク	200L	0.4	0.6	CS	
スラッジタンク	300L	0.5	0.8	CS	
濾過機供給ポンプ	10m <sup>3</sup> /h、50m	1	0.4	SUS	1.7
<b>機器費 計</b>		<b>30.2</b>	<b>93</b>		
培養池工事費 (材工込み)	シート 15,000m <sup>2</sup> (5mm、75m <sup>3</sup> )	14.2	68	HDPE	
	掘削(8,800m <sup>3</sup> )	1.8			
	基面整正(12,500m <sup>2</sup> )	4.7			
<b>培養池工事費 計</b>		<b>20.7</b>			
<b>機器重量計</b>			<b>161</b>		
<b>設備動力計</b>					<b>15.2</b>
<b>総建設費</b>	<b>機器費 × 2 + 培養池工事費</b>	<b>81.1</b>			

### 3.3.3 製造コストと CO<sub>2</sub> 負荷

表 12 に製造コストと CO<sub>2</sub> 負荷を、また CO<sub>2</sub> 換算した炭素バランスを図 8 に示す。

燃料油製造コストは、13 円/MJ、CO<sub>2</sub> 負荷は、45 g/MJ となった。

なお、CO<sub>2</sub> 負荷算出方法については、以下に記す。

#### 1) バイオマス転化 CO<sub>2</sub>

下水処理場での消化ガス発電からの排ガス利用のため、カーボンニュートラルとなり、CO<sub>2</sub> 負荷は 0 とした。

#### 2) 電力起源 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> 排出量原単位を 400 g/kWh として求めた。

#### 3) 設備起源 CO<sub>2</sub>

基本的な方法は、既刊の提案書「プロセス機器選定と製造コスト、環境負荷算出のための基礎データベース作成」[5]に記述されているように、機器の材質別重量を求め、それぞれの排出量原単位から総排出量を算出し、利用年数から、年間排出量を求める方法である。なお、排出量原単位については、外部 LCA データの改定を反映させ、また、利用年数をこれまでの償却年数の代わりに設備寿命として原則 30 年とした。なお、固定費算出の際は、設備の補修費として、年経費率

15%の場合は2%を計上している。

表 12 ケース 3 燃料油製造コストと CO<sub>2</sub> 負荷

バイオマス生産性(g/m <sup>2</sup> /日)	20	
年間燃料油生産量(t/y)	33	光合成効率:2%
培養池面積(ha)	1.25	
総建設費(百万円)	81.1	

	年間費用	製造コスト	備考
	百万円	円/kg	
変動費			
年間電力費	1.2	38	14円/kWh
固定費			
設備関連	12.2	369	年経費率0.15
人件費(日勤1人)	5	151	5百万円/人/年
固定費計	17.2	520	
合計	18.4	558	

CO <sub>2</sub> 負荷	t-CO <sub>2</sub> /y	備考
バイオマス転化CO <sub>2</sub>	0	下水処理場 発電排ガス
電力起源CO <sub>2</sub>	35	400g-CO <sub>2</sub> /kWh
設備起源CO <sub>2</sub>	27	
合計	62	

製造コスト	CO <sub>2</sub> 負荷
円/MJ	g-CO <sub>2</sub> /MJ
13	45

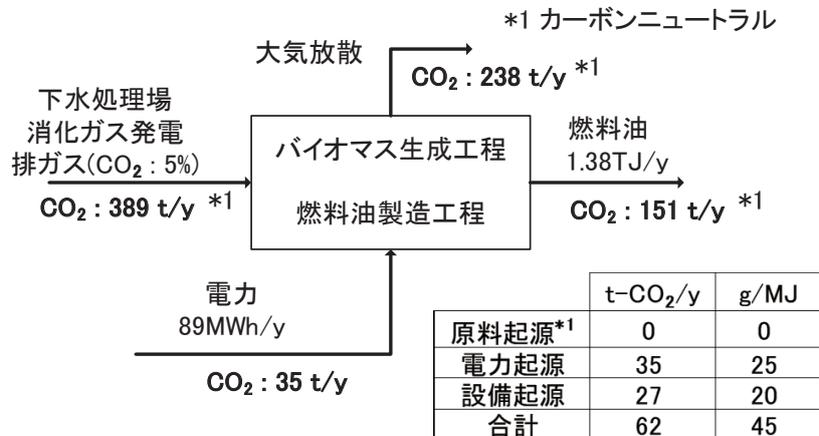


図 8 ケース 3 の CO<sub>2</sub> バランス図

### 3.4 藻類からの燃料油製造まとめ

これまでの検討結果を表 13 に示す。

表 13 藻類からの燃料油の比較

	ケース1 筑波大G	ケース2 US DOE	ケース3 NZ NIWA
藻類	<i>Botryococcus</i>	<i>Scenedesmus</i>	群生藻類
生産性 (g/m <sup>2</sup> /day)	20	25	20
培養日数	20	5	9
1モジュール (ha)	1	40	1.25
培養池規模 (ha)	1	4	1.25
CO <sub>2</sub> 源	火力発電所排ガス CO <sub>2</sub> 濃度5%、未反応CO <sub>2</sub> をリサイクル	火力発電所 排ガス捕集 CO <sub>2</sub> 濃度100%	下水処理場消化 ガス発電排ガス CO <sub>2</sub> 濃度5%
1モジュール当たり バイオマス年間生産量 (t/y)	66	3,300	82.5
モジュール数	1	50	1
バイオマス総生産量 (t/y)	66	165,000	82.5
燃料油生産量 (t/y)	33	79,900	33
(TJ/y)	1.38	3,040	1.38
建設費 (百万円)	276	47,670	81
年経費率	0.15	0.15	0.15
運転員数 (シフト)		27	
年間運転員 (人/年)	1	108	1
労務費単価 (百万円/年)	5	5	5
年間変動費 (百万円)	1.9	5,400	1.2
年間設備費 (百万円)	41.4	7,150	12.2
年間労務費 (百万円)	5	540	5
年間固定費 (百万円)	46.4	7,690	17.2
年間総費用 (百万円)	48.3	13,090	18.4
燃料油コスト (円/kg)	1,462	164	558
変動費 (円/kg)	57	68	38
固定費 (円/kg)	1,405	96	520
燃料油コスト (円/MJ)	35	4	13
変動費 (円/MJ)	1	2	1
固定費 (円/MJ)	34	2	12
燃料発熱量 (MJ/kg LHV)	41.8	38.1	41.8
投入エネルギー (TJ/y)	0.68	712	0.32
生産エネルギー (TJ/y)	1.38	3,040	1.38
エネルギー効率	2.0	4.3	4.3
	CO <sub>2</sub> 負荷 (g/MJ)		
原料起源	88	82	0
副原料起源	0	24	0
電力起源 (400g-CO <sub>2</sub> /kWh)	36	9	25
設備起源	46	2	20
合計	170	117	45

1. 製造コストでは、ケース1、ケース3とも、現状の燃料油価格（税なし）である50円/kgに対して、11倍～29倍であるが、ケース2では、約3倍となった。ケース1と2では、火力発電所排ガスのCO<sub>2</sub>濃度の違いや、培養池の構造の違い（密閉型・コンクリート壁と開放型・プラスチックライニング）ならびに滞留日数による製造コストの差異が生じている。ケース2とケース3では、大型化と培養池部分ライニング施工並びに滞留時間の差によって、製造コストの差異が生じている。
  2. エネルギー効率では、ケース1、ケース3が5+で、ケース1の2倍程度である。
  3. CO<sub>2</sub>負荷では、ケース1、2、3それぞれで、170、117、45g/MJとなった。現状のガソリンのCO<sub>2</sub>排出量70g/MJに比べ、ケース1、2では1.7～2.4倍と高くなり、ケース3では0.6倍程度である。
    - 1) 原料起源CO<sub>2</sub>  
ケース1の88g/MJは、火力発電所排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度が5%で、注入時間を年間2,000時間、バイオマス中の炭素が50wt%という条件で求めた数値であり、製品から88g/MJとなっている。これに対し、ケース2の82g/MJでは、捕集した高純度CO<sub>2</sub>を注入する条件で、製品から72g/MJ、培養池から大気へ10g/MJという内訳になっている。両ケースとも、炭素源は化石燃料起源であり、CO<sub>2</sub>負荷に計上される。これに対し、ケース3では、カーボンニュートラルの炭素源のため、CO<sub>2</sub>負荷は計上されない。
    - 2) 副原料起源CO<sub>2</sub>  
ケース2の24g/MJは、各副原料の消費量と、CO<sub>2</sub>排出原単位データから求めた。
    - 3) 電力起源CO<sub>2</sub>  
将来の電源構成を想定すれば、CO<sub>2</sub>排出はほぼゼロに低減でき、その場合、全CO<sub>2</sub>負荷は、ケース1では134g-CO<sub>2</sub>/MJ、ケース2では、108g-CO<sub>2</sub>/MJ、さらにケース3では、20g-CO<sub>2</sub>/MJとなる。
    - 4) 設備起源CO<sub>2</sub>  
投入材料の材質別重量から算出した。
- 以上をまとめると、藻類からの燃料油について、いずれのケースでも低CO<sub>2</sub>負荷燃料は実現しないこと、さらに、将来電源を利用しても低CO<sub>2</sub>負荷燃料が実現できないことが明らかになった。

#### 4. 結論

- 1) 藻類バイオマスからの燃料油プロセスでは、化石資源起源のCO<sub>2</sub>を利用する前提では、低CO<sub>2</sub>負荷燃料は実現していないことが明らかになった。今後、カーボンフリー液体燃料の実現については、他の非化石資源からのルート、あるいは、化石資源とDACプロセス[6]の組み合わせルートなど、さらなる多面的な検討が必要である。
- 2) 国内でのCO<sub>2</sub>貯留が可能であるという前提で、DACプロセス[6]を用いてCO<sub>2</sub>処理（処理費40円/kg-CO<sub>2</sub>）を行った場合のCO<sub>2</sub>フリー燃料コストを試算すると、ケース2では、CO<sub>2</sub>処理費は4.8円/MJ、製造費と合わせて9.0円/MJとなるが、天然ガスでは、処理費2.2円+販売価格1.2円、計3.4円/MJとなる。CO<sub>2</sub>フリー燃料としては、天然ガスの直接燃焼プラスDACの方が藻類バイオ燃料プラスDACに比べ、はるかに有利である。
- 3) ケース3の下水道処理場の消化メタン利用については、ケース1、2に比べ、CO<sub>2</sub>負荷は低いいため、低CO<sub>2</sub>負荷燃料としての可能性はある。ただし、日本の現在の下水汚泥からのメタン生成量 $1.1 \times 10^9 \text{ Nm}^3/\text{年}$ を炭素源にした場合、約100万t/年の燃料油が得られる程度で大きくはない。

## 参考文献

- [1] 戦略的創造研究推進事業 CREST, “オイル産生緑藻類 (*Botryococcus* (ボトリオコッカス) 高アルカリ株の高度利用技術 研究終了報告書”, 2012.
- [2] M.A.Borowitzka *et al.*, “Algae for Biofuels and Energy”, Springer, 2013.
- [3] R. Davis *et al.*, “Process Design and Economics for the production of Algal Biomass”, NREL/TP-5100-64772, 2016.
- [4] R. Davis *et al.*, “Process Design and Economics for the Conversion of Algal Biomass to Biofuels”, NREL/TP-5100-62368, 2014.
- [5] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “プロセス機器選定と製造コスト、環境負荷算出のための基礎データベース作成—製造機器・材料・コスト情報の構造化—”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2015年3月.
- [6] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “二酸化炭素の Direct Air Capture (DAC) 法のコストと評価”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2020年2月.

---

---

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

**藻類からの燃料油製造**  
— CO<sub>2</sub> 排出量と経済性評価 —

令和2年3月

**Fuel Oil from Algal Biomass:**  
**Evaluation on CO<sub>2</sub> Emission and Economy**

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies,  
Center for Low Carbon Society Strategy,  
Japan Science and Technology Agency,  
2020.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

---

**本提案書に関するお問い合わせ先**

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 上席研究員 三森 輝夫 (MITSUMORI Teruo)  
上席研究員 岩崎 博 (IWASAKI Hiroshi)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階  
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp  
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2020 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

---

---