

# 概 要

# 概要

## 1. 調査研究の目的

石油資源の枯渇を背景に、環境負荷やエネルギーセキュリティの観点から、食糧生産と競合しない微細藻類を原料とする第3世代バイオ燃料の実用化が期待されている。航空機用ジェット燃料の代替には、重量エネルギー密度と体積エネルギー密度が既存ジェット燃料と同等<sup>1</sup>で、環境負荷が低く、技術的連続性に優れたバイオ燃料が有力視されている<sup>2</sup>。本調査研究では、国内外の研究機関のみならず産業界からも注目を集める微細藻類を用いたバイオ燃料生産を取り上げ、産業連関分析と感度分析により、経済と環境への波及効果を定量的に分析する。分析結果から、バイオ燃料生産の特徴と課題を明らかにし、社会実装に向けた今後の研究開発の方向性について検討する。

## 2. 微細藻類を用いたバイオ燃料生産方法

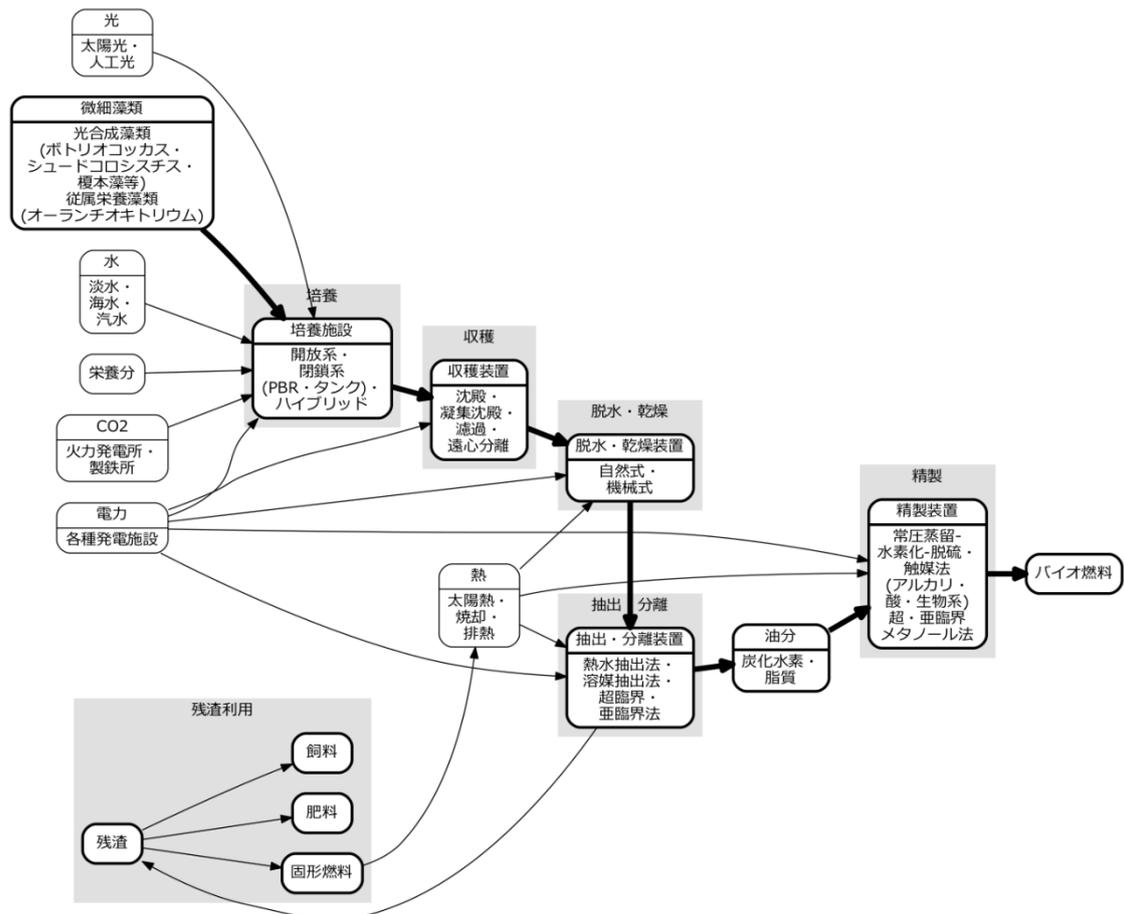
微細藻類を用いたバイオ燃料生産では、原料とする微細藻類の種類だけでなく、培養、収穫、脱水・乾燥、抽出・分離、精製等の工程において、様々な技術的選択肢が存在する(概要図1)。ここでは、詳細な検討が進められている簡易フォトバイオリアクタ(Photobioreactor: PBR)方式と大規模開放池方式を例に、既存の産業連関表を拡張し、経済と環境への波及効果を定量的に分析した。簡易PBR方式と大規模開放池方式のバイオ燃料生産施設の面積はそれぞれ、東京ドームのおおよそ4倍と530倍に相当する。簡易PBR方式では、プラスチックパイプの代わりに安価なプラスチックフィルムのチューブを利用する。簡易PBR方式の場合、コンタミネーション等の問題が発生しにくいいため、成長速度が速く、油脂含有率も比較的高い微細藻類が生産できると仮定した(概要表1)。

概要表1 微細藻類バイオ燃料生産施設

	簡易PBR	大規模開放池
成長速度 [g/m <sup>2</sup> day]	73.5	31
油脂含有率 [%]	45	40
培養方式	簡易PBR	開放池
収穫方式	凝集沈殿・濾過	凝集沈殿・濾過
抽出・分離	ヘキサン抽出	ヘキサン抽出
稼動日数 [day]	365	330
水路の面積 [ha]	19	2,500
水路の深さ [m]	0.3	0.2
水路の体積 [m <sup>3</sup> ]	57,000	5,000,000

<sup>1</sup> 水素燃料も検討されているが、体積エネルギー密度が低く、燃料タンクが大型化するため航空機には適さない。

<sup>2</sup> 微細藻類は成長時に光合成でCO<sub>2</sub>を吸収するため、微細藻類を原料とするバイオ燃料生産により大気中のCO<sub>2</sub>が微細藻類に固定される。また、バイオ燃料の燃焼時にCO<sub>2</sub>が排出されるが、大気中に存在していたCO<sub>2</sub>を循環させているに過ぎない。



概要図1 微細藻類を用いたバイオ燃量生産工程

### 3. 微細藻類を用いたバイオ燃料生産による経済・環境への波及効果

微細藻類バイオ燃料生産による経済への波及効果を評価するために生産誘発額と雇用誘発数を推計し、環境への波及効果を評価するためにエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を推計した<sup>3</sup>。波及効果に関する産業部門別の分析から、微細藻類バイオ燃料生産における簡易PBR方式と大規模開放池方式の特徴を明らかにする。さらに、波及効果の継続期間に注目し、波及効果をバイオ燃料生産のための施設建設と経常運転に分割して分析する。施設建設による波及効果は建設期間に限定されるが、経常運転による波及効果は継続的に現れるという違いがある。以下に、拡張産業連関表を用いた生産誘発額とCO<sub>2</sub>排出量の産業部門別分析の結果を示す。

#### 3.1 拡張産業連関表による生産誘発額の産業部門別分析

##### (a) 施設建設

簡易PBR方式(概要図2(a))では、「プラスチック製品」、「化学機械」、「ポンプ及び圧縮機」などの装置

<sup>3</sup> バイオ燃料の精製工程にもバイオテクノロジー等の技術革新が期待されるが、産業連関表を拡張するための装置等の情報収集が困難であったため、ここでは既存の石油精製工程を仮定した。ここでは、バイオ燃料生産方式による波及効果を比較するために、バイオ燃料の精製工程の波及効果を除いて分析した。

による生産誘発額が大きく<sup>4</sup>、大規模開放池方式(概要図 2(b))では、「その他の土木建設」による生産誘発額が突出している。簡易PBR方式の場合、プラスチックフィルム等の素材産業や装置産業に波及効果が現れるが、大規模開放池方式の場合、土木工事に波及効果が集中するという相違点が明らかになった。

#### (b) 経常運転

各種装置の運転に電力を使用するため、簡易PBR方式(概要図 2(c))と大規模開放池方式(概要図 2(d))のいずれも、事業用発電部門<sup>5</sup>における生産誘発額が大きい点は共通している。大規模開放池方式では、大量の水を使用するためを「上水道・簡易水道」部門の生産誘発額が大きいという特徴がある<sup>6</sup>。

### 3.2 拡張産業連関表による CO<sub>2</sub> 排出量産業部門別分析

#### (a) 施設建設

簡易 PBR 方式(概要図 3(a))では、「銑鉄」、「事業用火力発電」部門の CO<sub>2</sub> 排出量が多く、大規模開放池方式(概要図 3(b))では、「セメント」、「銑鉄」、「事業用火力発電」部門の CO<sub>2</sub> 排出量が多い。「銑鉄」の CO<sub>2</sub> 排出は間接 4 次以降に現れることから、鉄鋼を用いる様々な産業部門における CO<sub>2</sub> 排出要因となっていることが推測される。大規模開放池方式では、「その他の土木建設」部門において大量のセメントが使用されるため、「セメント」部門における間接 2 次・3 次の CO<sub>2</sub> 排出量が多いという特徴が見られる。

#### (b) 経常運転

簡易 PBR 方式(概要図 3(c))と大規模開放池方式(概要図 3(d))のいずれも施設設備は電力で運転されるため、「事業用火力発電」部門の CO<sub>2</sub> 排出量が突出している。

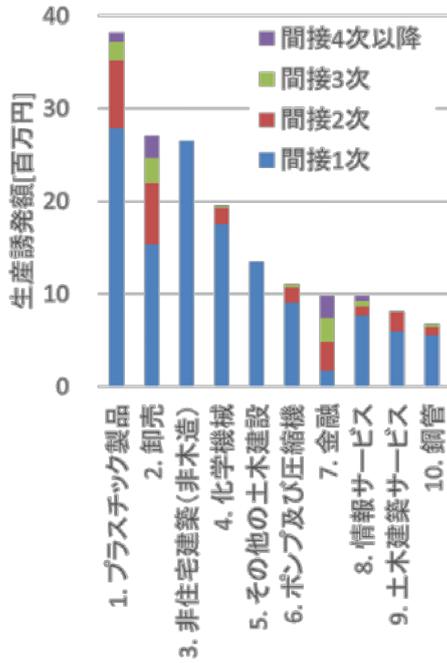
施設建設における CO<sub>2</sub> 排出量削減を考えると、鉄鋼に関連する様々な産業からの波及効果が大きい「銑鉄」部門における CO<sub>2</sub> 排出量削減が最優先課題であることがわかる。一方、継続的に発生する経常運転の CO<sub>2</sub> 排出量削減には、事業用火力発電部門における CO<sub>2</sub> 排出量削減の寄与が大きいことがわかる。継続的な CO<sub>2</sub> 排出量削減を重視するのであれば、施設建設費用は増加しても、太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギー発電施設を併設する、あるいは、微細藻類から得られる残渣を燃料に用いる熱エネルギーシステムの導入も検討課題と言える。

---

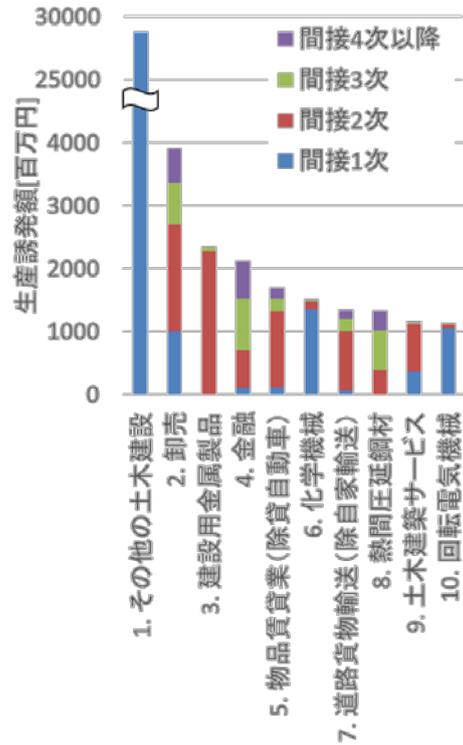
<sup>4</sup> 施設建設の場合、「卸売」や「非住宅建築(非木造)」等の生産誘発額が一般的に大きい。

<sup>5</sup> 総務省「平成 17 年産業連関表」調査時点の電源構成が反映されている。

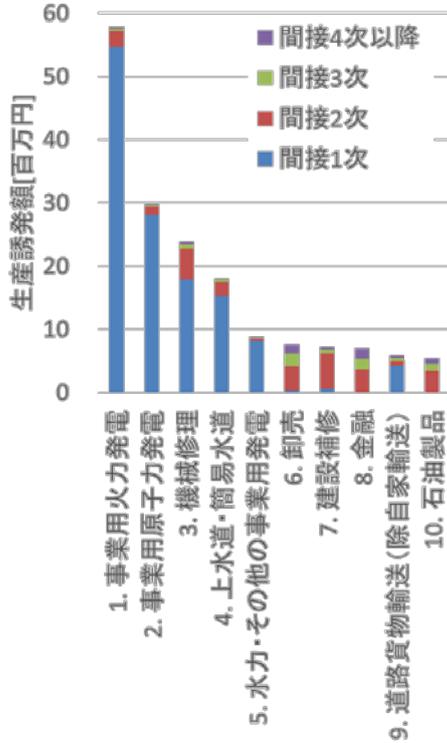
<sup>6</sup> 工業用水の利用も考えられるが立地条件に依存し、取水設備の費用が必要になることから、この分析では上水道を仮定した。



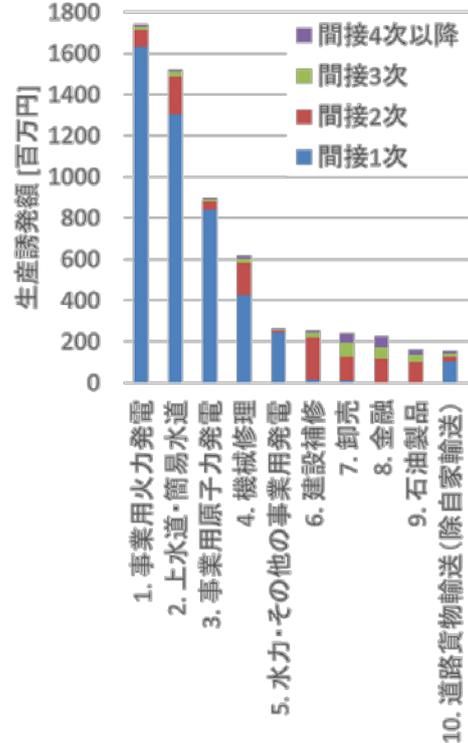
(a) 簡易 PBR 方式 施設建設



(b) 大規模開放池方式 施設建設

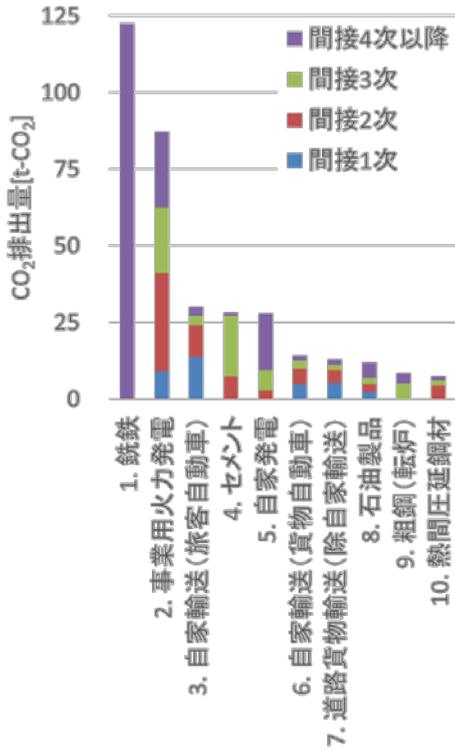


(c) 簡易 PBR 方式 経常運転

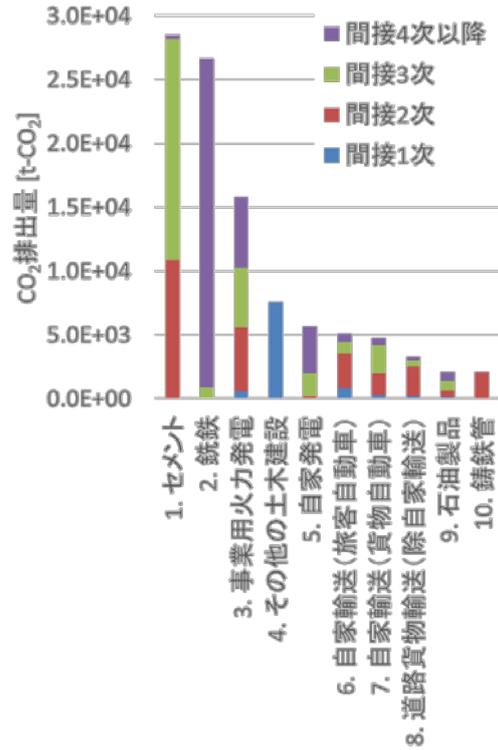


(d) 大規模開放池方式 経常運転

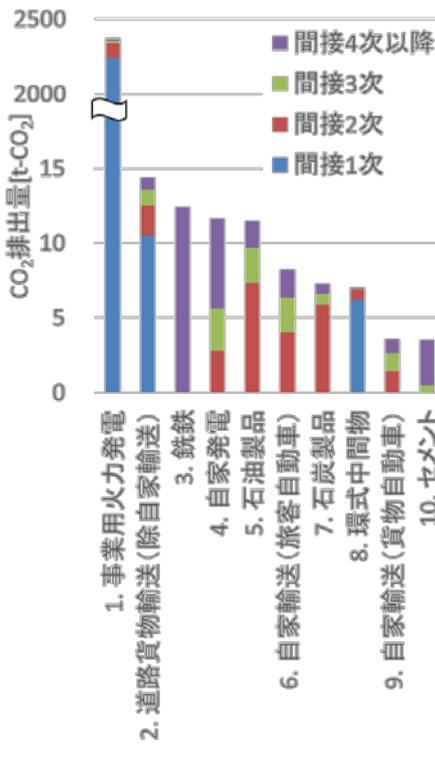
概要図 2 微細藻類バイオ燃料生産による産業部門別生産誘発額  
(生産誘発額の間接効果上位 10 部門)



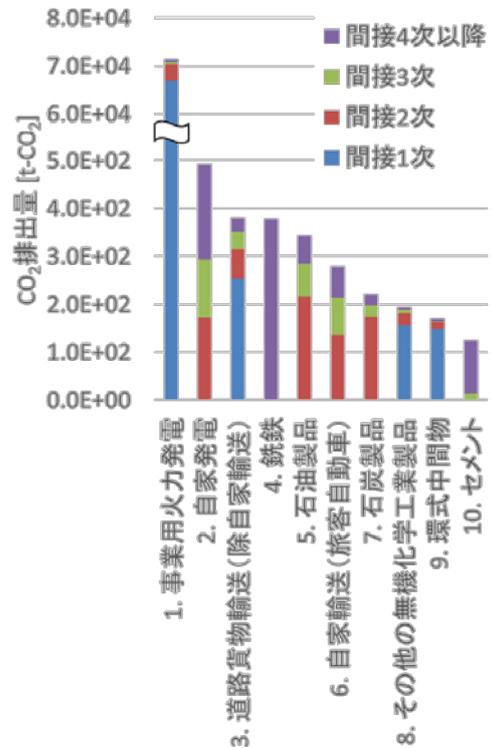
(a) 簡易 PBR 方式 施設建設



(b) 大規模開放池方式 施設建設



(c) 簡易 PBR 方式 経常運転



(d) 大規模開放池方式 経常運転

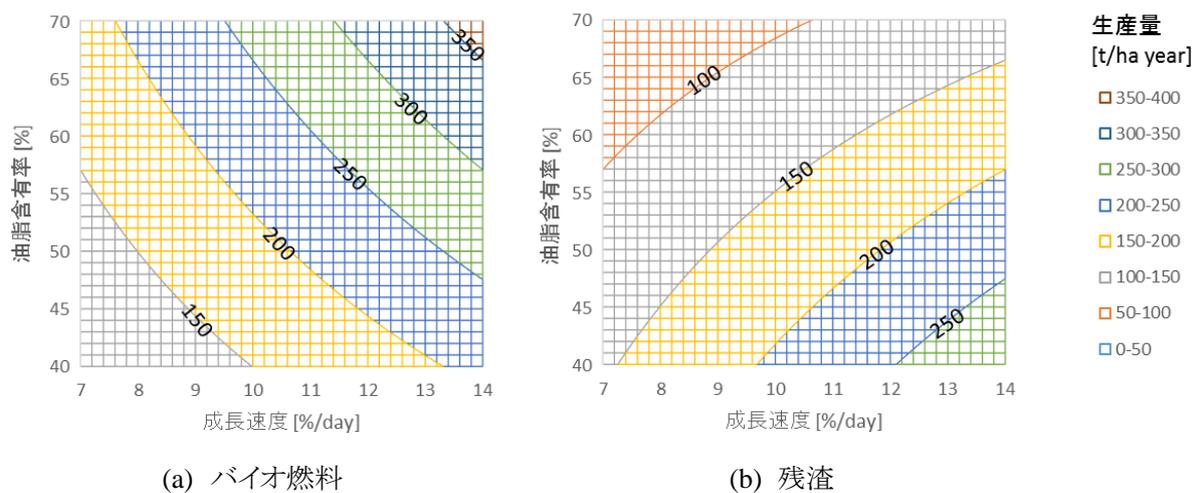
概要図 3 微細藻類バイオ燃料生産施設建設による産業部門別 CO<sub>2</sub> 排出量 (CO<sub>2</sub> 排出量の間接効果上位 10 部門)

#### 4. 残渣利用を含むバイオ燃料生産の感度分析

微細藻類を用いたバイオ燃料生産工程では、油分抽出後に微細藻類の残渣が残り、(1) 固形燃料、(2) 肥料、(3) 飼料等の生産にも残渣が利用される。微細藻類からバイオ燃料及び固形燃料、肥料、飼料を生産した場合の生産額と CO<sub>2</sub> 排出削減量は、微細藻類の成長速度と油脂含有率等を変数とするモデルにより推計ができる。ここでは、成長速度や油脂含有率を変数とする感度分析により、生産額と CO<sub>2</sub> 排出削減量の変化を分析し、今後の微細藻類研究の目指す方向性について検討する。

##### 4.1 バイオ燃料の生産量向上

バイオ燃料の生産量を向上させるには、成長速度が速く、油脂含有率の高い微細藻類<sup>7</sup>の生産が適している(概要図 4(a))。バイオ燃料生産時に発生する残渣は、微細藻類からバイオ燃料となる油分を除いた成分であるため、油脂含有率が低いほど残渣生産量が増加する (概要図 4(b))。

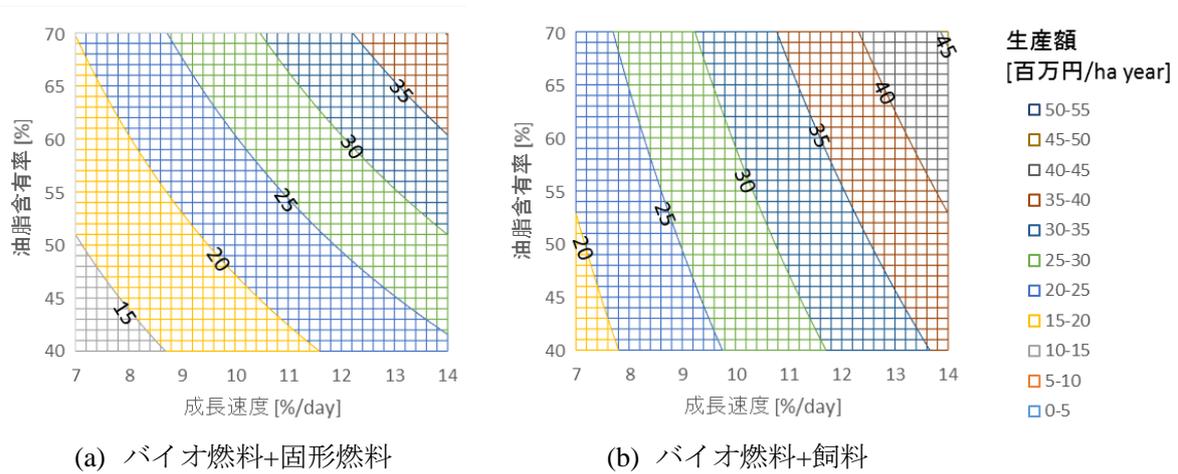


概要図 4 簡易 PBR 方式によるバイオ燃料・残渣の単位面積当たり年間生産量と微細藻類の成長速度・油脂含有率との関係

##### 4.2 残渣利用を含むバイオ燃料生産による生産額の向上

バイオ燃料及び残渣から生産した固形燃料と飼料の生産額を比較すると、同一の成長速度、油脂含有率であれば、バイオ燃料と飼料を合わせた生産額の大きいことがわかる(概要図 5)。微細藻類の成長速度、油脂含有率と生産額の関係から、生産額を向上させるには、油脂含有率が高くなるとも、成長速度の速い微細藻類からバイオ燃料を生産し、残渣から付加価値の高い飼料を生産すればよいことがわかる。結果として、油脂含有率よりも、成長速度の速い微細藻類を用いたバイオ燃料生産により、大きな経済効果が期待されることが示された。

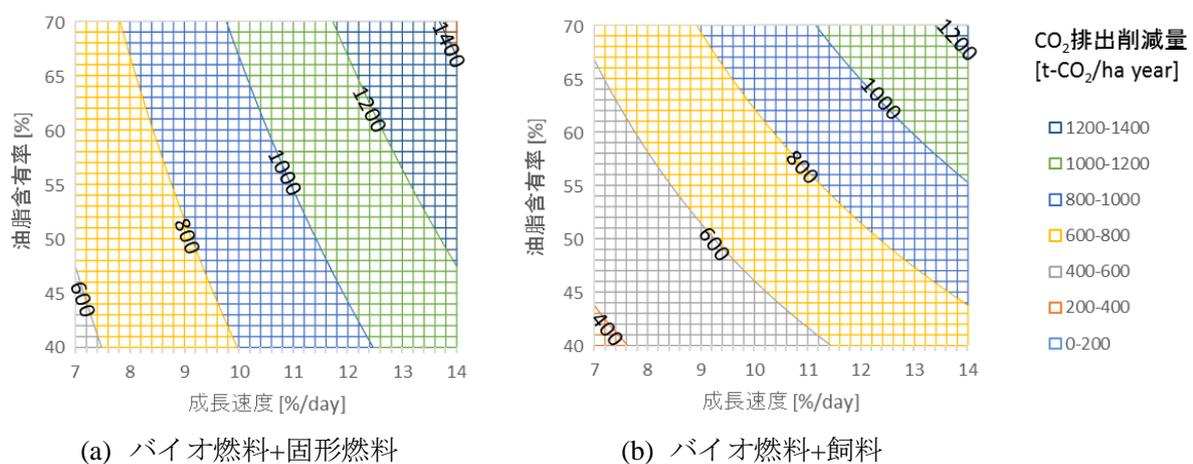
<sup>7</sup> 成長速度と油脂含有率の下限値はすでに実現されている水準であり、上限値は今後の研究成果により実現が期待される値とした。



概要図 5 簡易 PBR 方式のバイオ燃料・残渣利用による単位面積当たりの年間生産額と微細藻類の成長速度と油脂含有率の関係

### 4.3 残渣利用を含むバイオ燃料生産による CO<sub>2</sub> 排出削減量の向上

既存の化石燃料がバイオ燃料に代替されることにより CO<sub>2</sub> 排出量は削減される。バイオ燃料生産による CO<sub>2</sub> 排出削減量の向上には、成長速度が速く、油脂含有率の高い微細藻類を生産すればよい。バイオ燃料及び残渣から生産した固形燃料と飼料による CO<sub>2</sub> 排出削減量を比較すると、同一の成長速度、油脂含有率であれば、微細藻類からバイオ燃料と固形燃料を生産した方が CO<sub>2</sub> 排出削減量の大きいことがわかる(概要図 6)。残渣利用を含むバイオ燃料生産による CO<sub>2</sub> 排出削減量の向上には、油脂含有率が高くなくとも成長速度の速い微細藻類からバイオ燃料と CO<sub>2</sub> 排出削減量の大きい固形燃料を生産すればよい。



概要図 6 簡易 PBR 方式バイオ燃料生産と微細藻類残渣を用いた固形燃料と飼料生産による単位面積当たり年間 CO<sub>2</sub> 排出削減量と微細藻類の成長速度と油脂含有率の関係

このような感度分析により、目的に応じて、効果的な微細藻類バイオ燃料生産の残渣利用方法が選択できる。結果として、経済効果と環境負荷という 2 つの観点から、社会実装に向けた研究開発の方向性について、定量的な根拠(エビデンス)に基づく議論が可能となった。