

【産業競争力懇談会2011年度 プロジェクト 最終報告】

【微細藻類を利用した燃料の開発】

2012年3月6日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ】

1. 背景

世界的なエネルギー需要の増大に伴い、CO₂の増加による地球温暖化が喫緊の課題となっている。その中で日本においては1975~2005年での産業部門のCO₂排出量は省エネ技術の進展により横ばいであるが、運輸部門は約2倍に増加しておりその削減が重要な課題である。

運輸部門で見ると、自動車部門のCO₂削減策として、自動車の燃費向上やHV/EVの導入、交通システムの円滑化などに加え、燃料面ではエタノールなどのバイオ燃料の導入が進められている。ただし、食料との競合の課題がありセルロース系バイオエタノールなどの技術開発が進められている。一方、航空部門ではIATA(International Air Transport Association : 国際航空運送協会)は、2009-2020年に年平均1.5%の燃料効率改善、2020-2050年に炭素中立的な成長達成、2050年までに2005年比で50%のCO₂排出削減達成を目標にしている。航空部門のCO₂削減策として、航空機の燃費向上や運航システムの省エネ化があるが、動力源の転換は難しく自動車に比べ選択肢は限られる。このため、ジェット燃料代替としてのバイオ燃料が有力な削減策として期待されている。

菜種やパーム等を原料とする既存のバイオ燃料は食料との競合の課題があるのに対し、微細藻類はこれらの陸生植物に対して高い油脂生産性を持ち、食料との競合を緩和できる可能性があることから、バイオ燃料の原料として注目されている。

微細藻類燃料は以下の効果が期待されている。

- ・ 持続可能な輸送用燃料としてGHG排出量削減に寄与できる。
- ・ エネルギー資源の多様化や自主開発エネルギー源の獲得に貢献できる。
- ・ 既存石油系燃料と同様に扱え、輸送機器や燃料供給インフラへの新規投資が不要。
- ・ 抽出残渣は飼料等としての利用が期待でき、食料生産にも貢献できる可能性がある。

微細藻類培養からバイオ燃料に至る工程は図1の通りである。まだ研究開発段階であり、大量生産レベルに到達するには多くの課題があるものの、上述の効果が期待されることから世界各地で開発競争が繰り広げられている。特にエネルギー資源に乏しい日本は、この開発に総力を結集して取組むべきと考える。よって、本プロジェクトでは、燃料事業に必要な3E(環境適合性 : Environmental Harmony、経済性 : Economic Efficiency、供給安定性 : Energy Security)の視点を踏まえ、どこに課題があり、どう取組むべきかを検討した。その結果を踏まえ、課題解決のための技術開発ロードマップを策定し、開発体制を提案する。

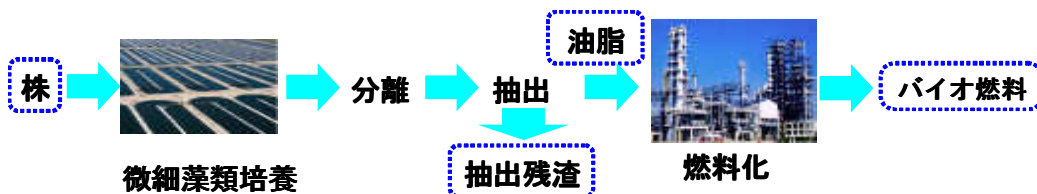


図1 微細藻類培養から燃料製造に至る工程

2. 課題と解決手法

微細藻類燃料の一貫生産システムの技術完成のためには、各要素技術課題を解決し、一貫生産システムとして全体最適化する必要がある。また、開発の加速には株の培養に関する基盤技術を強化していく必要もある。表1に要素技術および基盤技術の課題と解決手法を示す。

要素技術においては、ラボでの油脂生産性を屋外培養でも維持できるかが重要な課題である。ラボ培養と屋外培養間の油脂生産性の相関データを取得し、培養条件の最適化を図ることが必要である。培養から抽出に至る各工程での低コスト・省エネ技術の確立も課題であり、最適技術を選定した上でスケールアップ検証をすることが必要となる。全体の採算性をあげるには抽出残渣の有効活用も課題であり、飼料等への用途開発が必要である。

基盤技術については、更に燃料生産に適した株の獲得や改良が課題であり、株の評価・選抜手法等の開発や微細藻類に適した遺伝子組換え等の手法開発等が必要となる。

表1 要素技術および基盤技術の課題と解決手法

項目		技術課題	解決手法
要素技術	培養	屋外での生産性の維持 大量・高生産性培養技術	ラボ培養⇄屋外培養間の相関データの取得 培養条件の最適化
	分離・抽出	低コスト・省エネ技術の確立	最適技術の選定
	燃料化		スケールアップ検証
	抽出残渣	水素化/異性化技術の油脂への適用	水素化/異性化技術の最適化
基盤技術	抽出残渣	抽出残渣の有効活用	飼料等への用途開発
		更に燃料生産に適した株の獲得・改良 株の長期・安定的な保管	株の評価・選抜手法の開発 微細藻類に適した遺伝子組換え等の手法開発 微細藻類に適した保管手法の確立

事業環境整備の課題では、持続可能性基準を達成するためには、従属栄養でなく独立栄養培養(光合成培養)での開発が前提となる。海外培養を前提とすると、国内株の海外持込や海外現地株の利用について事業地における規制を調査し、現地法に則した対応を取る必要がある。

3. 技術開発ロードマップおよび開発体制について

3.1 技術開発ロードマップ

事業化目標として以下を設定し、技術開発ロードマップを策定した(表2)。

- ・前提：燃料生産規模 10 万 kL/年(培養面積:3000ha)、既存燃料比で CO₂ 排出量 50%削減
 - ・技術完成の目標:2020 年度末(開発期間は 2012~2020 年度の 9 年間)
 - ・コスト目標：既存水素化バイオ燃料(現状では 120 円/L(1ドル 80 円前提))と同等以下
- 開発期間は 3 ステップ(各 3 年間)であり、その概要は以下の通りである。

期間(年度)	開発ステップ	目的
2012~2014	要素技術開発	最適な要素技術を選定する。
2015~2017	要素技術実証(小規模)	選定した要素技術の実証を踏まえ、要素技術を確立する。
2018~2020	一貫生産システム開発	要素技術を組み合わせ全体最適化を行い、一貫生産システムとして技術完成させる。

3.2 開発体制

技術開発においては、要素技術と一貫生産システム技術の各々に課題がある。このため、一貫生産システムの技術完成を目指し、要素技術開発を行っている企業グループが、これらの課題に取り組むことが必要である。また、技術開発を支える基盤技術を強化し、技術完成に必要な共通課題を解決していくことが、開発の加速には不可欠である。この2つの活動に連携して取り組むためのオールジャパンの協議会体制を図2の通り提案する。

協議会は、一貫生産システムの開発の効率的な推進を目的に、技術開発と基盤技術強化を連携させると共に、ロードマップの実行に必要な施策を提案していく。

協議会の最優先課題は、技術開発の推進に必要な共通課題の抽出と解決策の検討である。

共通課題の検討を含め、技術開発と基盤技術強化の推進にあたっては、図2に示す取組が必要であり、その遂行にあたっては国の支援を求めていく。

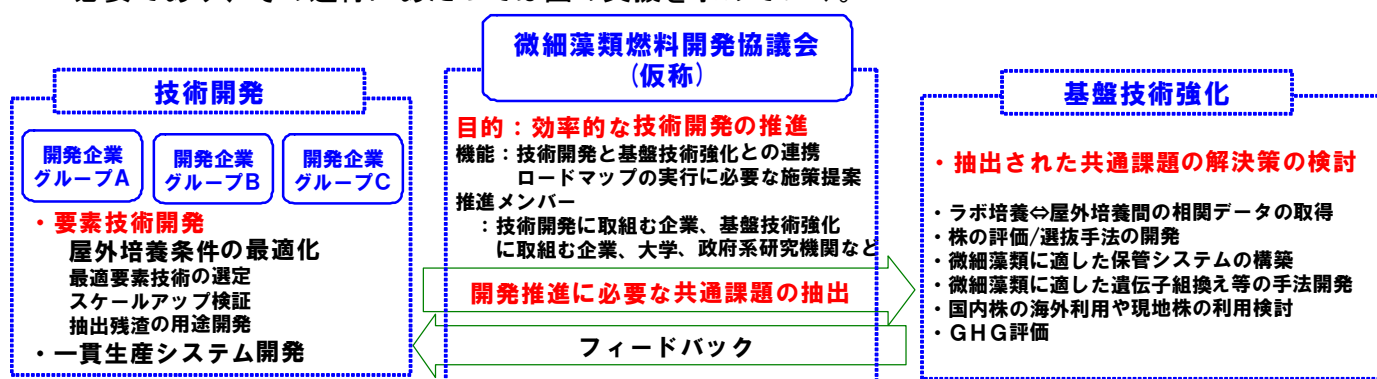


図2 微細藻類燃料開発協議会(仮称)の機能

4. まとめ

4.1 産業競争力強化のための提言

国際競争力強化の観点からも微細藻類燃料開発は、国内の知見を結集したオールジャパン体制による取組みが必要である。一貫生産システムの技術開発と、それを支える基盤技術を密接に連携させながら、取り進めるべきである。

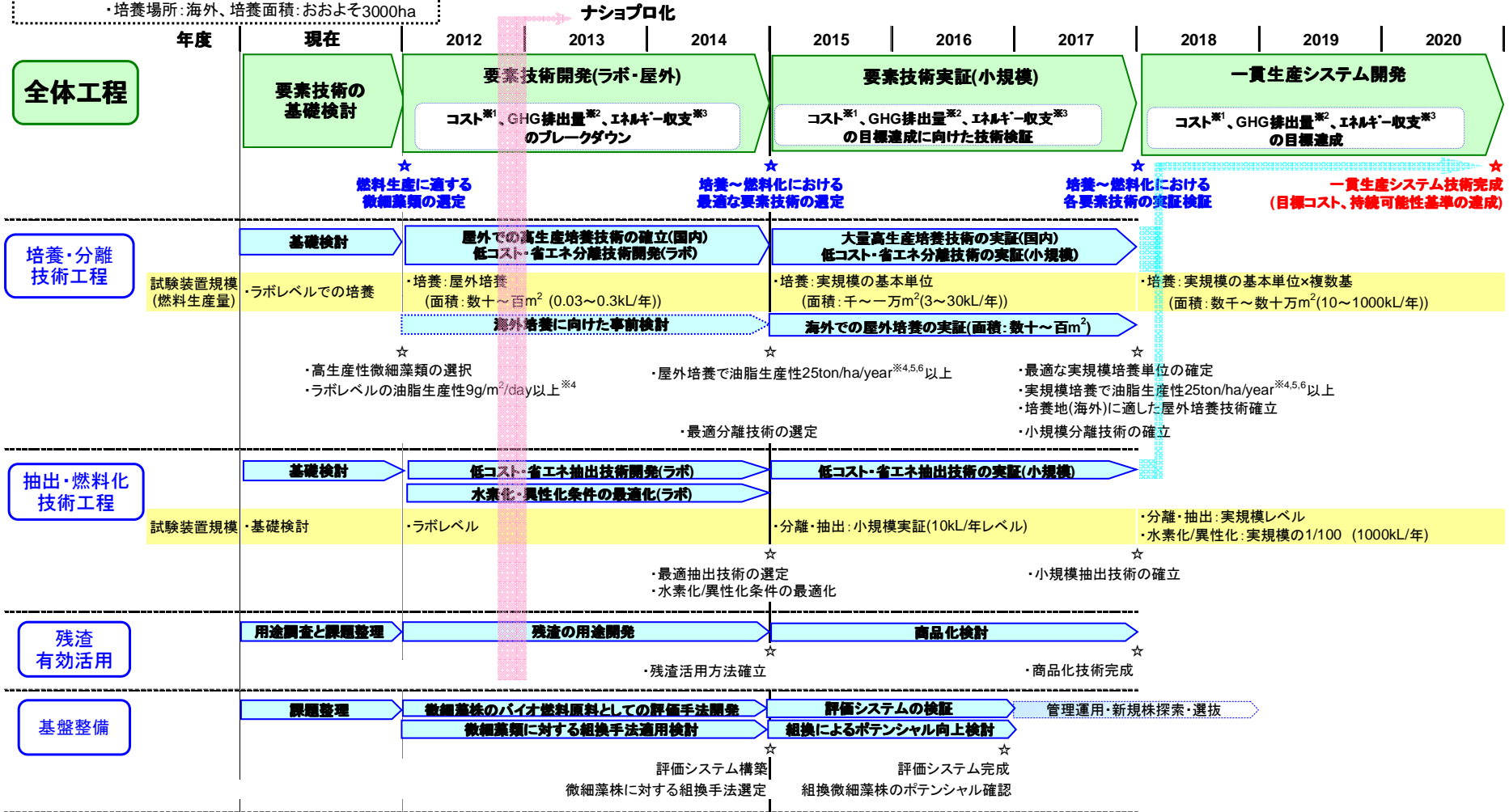
4.2 産業競争力強化のための施策

政府に求める施策は以下の通り。

- ①技術開発への支援
 - ・微細藻類燃料の一貫生産システムの技術開発への支援
 - ・技術開発を支える基盤技術の強化への支援、および、基盤技術研究に関する大学・研究機関との連携
 - ・オールジャパンで推進する技術開発体制への支援
- ②事業化への支援
 - ・海外培養に向けた海外との協力体制構築への支援
 - ・微細藻類燃料の市場導入への支援

事業前提
 ・技術完成:2020年度末、事業規模:10万kL/年
 ・培養場所:海外、培養面積:おおよそ3000ha

表2 微細藻類燃料の技術開発ロードマップ



※1 事業化時の目標コストは既存の水素化バイオ燃料(現状では120円/L(1ドル80円前提)※7)コストと同等以下とする。
 ※2 エネルギー供給構造高度化法では、バイオエタノールのGHG排出量はガソリン比で50%以上の削減が求められており、微細藻類からのバイオ燃料も同等とする。
 ※3 経済産業省「バイオ燃料革新技術計画」の技術革新ケースにおいて、バイオエタノールはエネルギー収支2.0以上を目標としており、微細藻類からのバイオ燃料も同等とする。
 ※4 光合成による独立栄養培養条件。
 ※5 比較として、植物で油脂生産性の高いパーム油における油脂生産性は6ton/ha/year程度。
 ※6 目標達成へのブレークダウンによっては、油脂生産性の目標値について見直される場合もある。
 ※7 "The Outlook for Sustainable Aviation Fuels. John Cooper. BP plc Transport Energy Policy Sept 2011"より。今後変動する可能性あり。

【目次】

はじめに	P1
微細藻類を利用した燃料の開発プロジェクトメンバー	P2
本文	
1. プロジェクトの基本的な考え方	P3
1.1 運輸部門のCO ₂ 削減の必要性	P3
1.2 微細藻類燃料開発の位置付け	P4
1.3 オールジャパンの取組みの必要性	P5
1.4 プロジェクトの目的	P5
2. 検討課題	P6
2.1 技術開発課題	P6
2.2 事業環境整備の課題	P6
3. 課題と解決手法	P7
3.1 事業モデルケースの設定	P7
3.2 技術開発の課題	P8
3.2.1 微細藻類燃料の一貫生産システム開発推進	P8
3.2.2 一貫生産システム開発を支える基盤技術強化	P9
3.3 事業環境整備の課題	P10
3.3.1 微細藻類燃料の培養から燃料製造に至る工程のGHG試算	P10
3.3.2 生態影響調査	P14
3.3.3 製造工場規制に関する調査	P15
3.3.4 抽出残渣の飼料活用に関する調査	P17
4. 技術開発ロードマップおよび開発体制案	P20
4.1 技術開発ロードマップ	P20
4.2 開発体制案	P23
5. まとめ	P23
5.1 産業競争力強化のための提言	P23
5.2 産業競争力強化のための施策	P24

【はじめに】

2009年度からのCOCN「農林水産業と工業との連携研究会」において、農林水産業と工業技術を組合せることで、どのような社会的・経済的効果が生み出せるか議論を重ねてきた。その結果、期待される分野の一つとして微細藻類燃料を取り上げることとし、2010年度は「農林水産業と工業との連携研究会」の下に「微細藻類燃料分科会」を設け、その分科会の中で、微細藻類燃料の開発に向けた課題について整理した。

微細藻類燃料を取り上げた理由は、地球温暖化対策としてのCO₂排出量削減やエネルギーセキュリティ確保が輸送用燃料に求められており、バイオ燃料がその両方を満足するものとして期待されているからである。特に、微細藻類は、単位面積あたりの油脂生産性が高く、食料との競合を緩和できることから、次世代バイオ燃料の原料バイオマスとして大きな期待がもたれている。ただし、大量生産レベルに到達するには多くの課題があり、世界各地で開発競争が繰り広げられている。

そこで、3年目となる今年度は、研究会からプロジェクトにステップアップし、事業化の視点から「微細藻類を利用した燃料の開発」の検討に取り組むこととした。

具体的には、食料との競合を緩和でき、単位面積あたりの油脂生産性が高いという特長を活かして、食料と競合するパーム油等を原料とする既存の水素化バイオ燃料と同等以上のコスト競争力をもつ微細藻類燃料生産を実現するための技術課題を明らかにした。また、事業環境整備の課題を纏めた。最後に、これらの検討を踏まえ、技術開発ロードマップおよびオールジャパンでの開発体制を提案する。

微細藻類燃料は、食料との競合を緩和でき、かつ、持続可能な輸送用燃料としてGHG排出量削減に寄与できるだけでなく、エネルギー資源の多様化や自主開発エネルギー源の獲得に貢献できる。また、抽出残渣を飼料等に利用することで食料生産にも貢献できる可能性があることなど、我が国の産業競争力強化において様々な点で効果があり、我が国の産業発展に資するものである。

産業競争力懇談会
会長（代表幹事）
榊原 定征

【微細藻類を利用した燃料の開発プロジェクトメンバー】

プロジェクトリーダー：

吉田正寛（JX 日鉱日石エネルギー株式会社）

メンバー機関：

株式会社デンソー
株式会社日立プラントテクノロジー
栗田工業株式会社
出光興産株式会社
株式会社 IHI
三菱商事株式会社
伊藤忠商事株式会社
いであ株式会社
独立行政法人産業技術総合研究所
JX 日鉱日石エネルギー株式会社

アドバイザー：

名古屋大学 小俣達男教授
経済産業省 資源エネルギー庁 省エネ・新エネ部
経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部
経済産業省 製造産業局生物化学産業課
農林水産省 農林水産技術会議事務局
製品評価技術基盤機構 バイオテクノロジーセンター

事務局：

JX 日鉱日石エネルギー株式会社

【本 文】

1. 本プロジェクトの基本的な考え方

1.1 運輸部門の CO₂ 削減の必要性

世界的なエネルギー需要の増大に伴い、CO₂ の増加による地球温暖化が喫緊の課題となっている。

日本での CO₂ 排出量については、産業部門は省エネの進展により横ばいであるが、運輸部門の CO₂ 排出量は約 2 倍に増加しており、その削減が重要な課題となっている(図 3)。

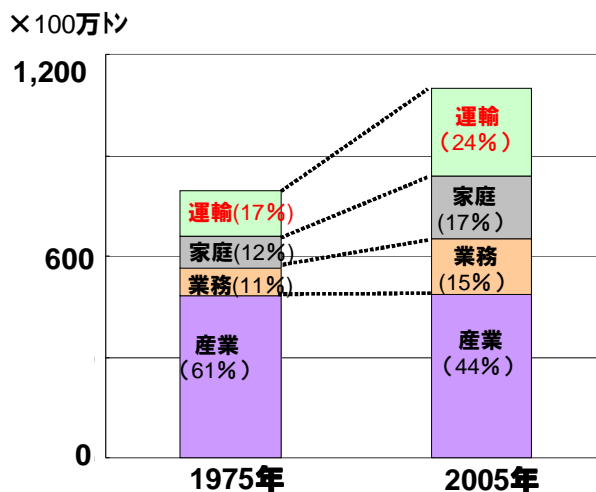


図3 部門別CO₂排出量の推移

(EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2009年度版)より編集)

自動車分野については、燃費向上や交通システムの円滑化、モーダルシフトへの取り組み等が行われている。一方、燃料面からは、2009年にエネルギー供給構造高度化法が成立し、石油精製業者に対し2017年度に原油換算で50万KL/年のバイオエタノール利用の達成が義務付けられた。また、今後のバイオ燃料の導入条件として、供給安定性、経済性、LCAの観点からのCO₂削減効果、食料との競合の緩和、生態系の維持が提示された。バイオエタノール革新技術研究組合等が、食料との競合を緩和できるセルロース系バイオエタノールの一貫生産システムの技術開発を行っている。

航空分野については、IATA(International Air Transport Association : 国際航空運送協会)は、2009-2020年に年平均1.5%の燃料効率改善、2020-2050年に炭素中立的な成長達成、2050年までに2005年比で50%のCO₂排出削減達成を目標にしている。欧州では、欧州委員会が2011年3月、2050年までの将来の運輸に関するロードマップ(Roadmap to a Single European Transport Area)を策定している。その中において、航空分野では、2050年までに全ジェット燃料の40%を持続可能性のある低炭素燃料に置換する目標を掲げている。更に、2012年よりEU域内外のCO₂排出規制を予定しており、一定基準の排出量を超えた航空会社は、2012年以降、EU-ETS(欧州排出量取引制度)に従って市場からの排出権の買取り義務が生じる。このため、航空会社は燃費の良い航空機の導入、航行システムの改善、搭載機材の軽量化を進めている。一方、燃料面では電気などへの動力源の転換は技術的にまだ難しくジェットエンジンの使用は当面続くと予想され、ジェットエンジンに適合するジェット燃料のCO₂削減のために、バイオ燃料開発に期待が寄せられている。

なお、2010年6月18日に策定されたエネルギー基本計画では「バイオ燃料については、LCAでの温室効果ガス削減効果等の持続可能性基準を導入し、同基準を踏まえ、十分な温室

効果ガス削減効果や安定供給、経済性の確保を前提に、2020年に全国のガソリンの3%相当以上の導入を目指す。さらに、セルロース、藻類等の次世代バイオ燃料の技術を確立することにより、2030年に最大限の導入拡大を目指す。」とあり、持続可能性基準を踏まえた微細藻類燃料の開発が求められている。

1.2 微細藻類燃料開発の位置付け

微細藻類は、食料との競合を緩和するだけでなく、陸生植物に比べ単位面積当たりの油脂生産性が高いため、バイオ燃料原料として注目されている(表3)。また、以下の効果も期待されている。

- ・ 持続可能な輸送用燃料として GHG 排出量削減に寄与できる
- ・ エネルギー資源の多様化や自主開発エネルギー源の獲得に貢献できる。
- ・ 既存石油系燃料と同様に扱え、輸送機器や燃料供給インフラへの新規投資が不要。
- ・ 抽出残渣は飼料等としての利用が期待でき、食料生産にも貢献できる可能性がある。

しかし、微細藻類燃料は多くの課題があり大量生産レベルには達しておらず、世界各地で開発競争が行われている。

表3 主なバイオ燃料の特徴

原料	燃料化への製法	燃料	バイオマス生産性 Ton/ha/y	収率 Ton/ha	食糧との競合緩和
糖質植物 (サトウキビ/甜菜) 	エタノール発酵	エタノール	70	4.9	×
澱粉質植物 (トウモロコシ) 	糖化⇒エタノール発酵	エタノール	10	3.8	×
草本セルロース (ネピアグラス) 	前処理⇒糖化⇒エタノール発酵	エタノール	50	9.5	○
微細藻 	濃縮乾燥⇒抽出⇒水素化・異性化	炭化水素	47-140 (油脂分として)	33-98	○

主な課題として、雑菌や雑藻の汚染に弱く、コンタミ防止などの対応が必要になることや、株ごとに培養条件や油脂成分が異なるため、株に合わせた工程の最適化が必要になることなどが挙げられる。また、培養後の微細藻の濃縮から油抽出の各工程での低コスト・低エネルギー技術も求められる。更には、各要素技術の開発だけでなく、株の特性を踏まえた全体最適化の技術開発も課題である。

1.3 オールジャパンの取組みの必要性

日本での微細藻類燃料に関する主な研究動向を表4に示す。JST CREST(独立行政法人 科学技術振興機構)では、電源開発らが海産性の *Fistulifera* 属による研究を進めており、農水省プロジェクトではデンソーらが、淡水性の *Pseudochoricystis ellipsoidea* による研究を進めている。NEDO ではデンソーらの研究の他、JX 日鉱日石エネルギーらによる *Euglena gracilis* の研究、JFE エンジニアリング・筑波大による *Botryococcus braunii* の研究が進められている。この他、IHI、G>、ネオ・モルガン研究所は *Botryococcus braunii* による研究を行っている。

更に、学術的な研究も多くなされているが、全体的には培養技術を中心とした要素技術開発に偏る傾向がある。しかし、一貫生産システムを完成させるには、培養・分離・抽出・燃料化の各要素技術について部分最適のみならず、コスト、エネルギー収支、ハンドリング等を考慮して全体最適化していく必要がある。例えば、後段プロセスのコストや処理のし易さを考慮した培養技術の開発などの視点が求められる。このため、現状の小規模アライアンスによる要素技術開発では一貫生産システムの技術完成には至らないため、産官学のオールジャパンでの取組みが必要である。

表4 日本企業が参画する主な微細藻類燃料開発プロジェクト

企業	大学	フェーズ	対象株	環境	油脂	燃料	ファンド
電源開発、ヤマハ発動機	東農工大	ラボ	<i>Fistulifera</i> 属	海水	トリグリセリド	ディーゼル	CREST
デンソー、トヨタ、豊田中研、マイクロアルジェ	中央大、京大 お茶大、佐賀大	ラボ	<i>Pseudochoricystis ellipsoidea</i>	淡水	不飽和炭化水素 トリグリセリド	ディーゼル	MAFF
デンソー	中央大	ラボ	<i>Pseudochoricystis ellipsoidea</i>	淡水	不飽和炭化水素 トリグリセリド	ディーゼル	NEDO
JX 日鉱日石エネルギー ユーグレナ 日立プラントテクノロジー	慶応大	ラボ	<i>Euglena gracilis</i>	淡水	モノグリセリド	ジェット燃料	NEDO
JFE エンジニアリング	筑波大	ラボ	<i>Botryococcus braunii</i>	淡水	炭化水素	重油相当	NEDO
IHI、G> ネオ・モルガン研究所		ラボ	<i>Botryococcus braunii</i>	淡水	炭化水素	ジェット燃料 重油	

1.4 プロジェクトの目的

3E(環境適合性: Environmental Harmony、経済性: Economic Efficiency、供給安定性: Energy Security)を満たす微細藻類燃料の開発において、一貫生産システムの開発課題を検討し、技術開発ロードマップおよびオールジャパンでの技術開発の体制を提案することをプロジェクトの目的にした。

2. 検討課題

2.1 技術開発課題

単位面積当たりの油脂生産性が高く、かつ食料との競合を緩和できるという微細藻類の特長を活かした燃料の大量生産を実現するための技術課題を明らかにした。具体的には、微細藻類の培養、分離、抽出、燃料化に至る工程および抽出残渣の活用に関する技術課題について検討した(図 1)。また、微細藻類燃料生産に適した株の獲得・改良に向けた基盤技術の課題も検討した。

2.2 事業環境整備の課題

GHG 排出量評価、生態影響・製造工場等の規制・抽出残渣の飼料活用時の課題とその対応について検討した(表 5)。

微細藻類燃料の開発には、エネルギー基本計画にも示されているように持続可能性を踏まえる必要がある。そこで、微細藻類燃料の GHG 排出量の評価を行い、既存の石油系燃料の GHG 排出量と比較するとともに、持続可能性基準に適合する燃料生産の方向性を検討した。

また、海外で培養する場合、対象国における他地域からの株持込の規制や、現地株を使用するにおいても何らかの制約が予想される。培養においても、株の系外流出等を想定した管理体制、安全性評価、生態影響評価も必要になるものと考えられる。よって、対象国における生態影響を調査した。

海外で培養等の工場設備を建設する場合、対象国における工場等に関する規制や、取水や排水に関する規制にも対応する必要がある。これらの規制を調査した。

抽出残渣を飼料利用するにあたり、対象国における飼料市場および飼料認可プロセスを把握する必要があり、調査を行った。

表 5 GHG 排出量評価、および事業促進に必要なルールの調査項目

項目	GHG 排出量評価	事業促進に必要なルール		
		生態影響	製造工場等	抽出残渣の飼料活用
検討内容	既存燃料と GHG 排出量を比較し、課題を整理	<ul style="list-style-type: none">・ 外来種の規制・ 現地株の規制・ 生物多様性関連法・ 遺伝子組み換え規制	<ul style="list-style-type: none">・ 工場立地規制・ 水利用の課題・ 下水処理規制	<ul style="list-style-type: none">・ 飼料市場・ 認可プロセス、課題

3. 課題と解決手法

検討スキームは以下の通りである。

- ・燃料事業として妥当な規模を想定して事業モデルケースを設定した。
- ・事業モデルケースを基に、技術開発および事業環境整備の視点での課題を検討した。
- ・技術開発ロードマップおよび体制案を策定した。

加えて、将来に向けて、微細藻類燃料事業を更に促進するためには、燃料生産に適する新たな株をどのように見つけ、適用していくかが鍵となる。このため、将来に向けた基盤技術の位置付けで、燃料生産に関する統一した株の評価軸の構築や、その評価軸に基づき、燃料生産に適する更なる優良株を探索し収集するための枠組みを構築していく必要があり、そのための課題を整理した。

3.1 事業モデルケースの設定

燃料事業として課題を検討していくために、石油精製の装置規模や CO₂ 排出量の削減効果を踏まえ妥当な規模を想定する必要がある。

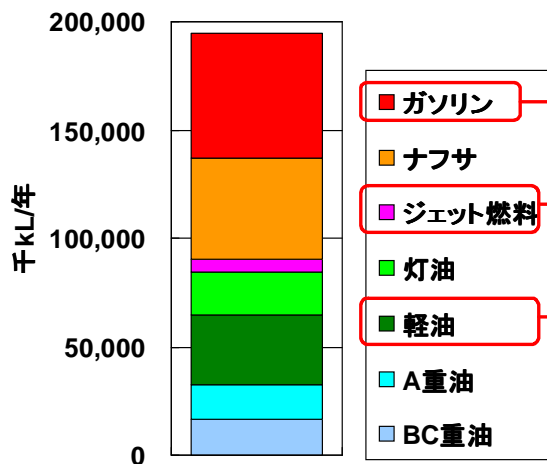


図4 2009年度国内燃料需要
(石連「今日の石油産業 2011年」より)

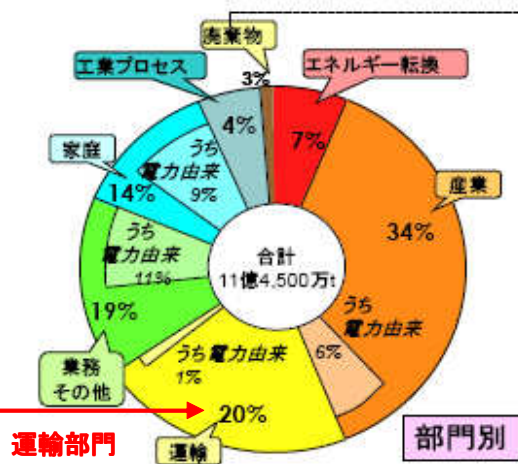


図5 2009年度CO₂排出量内訳
(環境省「2009年度の温室効果ガス排出量」より)

図4に示すように、2009年度の国内燃料油需要はガソリン5,700万kL、軽油3,200万kL、ジェット燃料530万kLであった(ちなみに、輸出量はガソリン100万kL、軽油1,200万kL、ジェット燃料830万kL)。また、図5に示すように、国内における運輸部門のCO₂排出量は2.3億tonであり、総排出量の20%を占めている。

仮に、国内の航空部門のCO₂排出量1,540万ton/年(2009年度)の1%をバイオジェット燃料で削減する場合、バイオジェット燃料の持続可能性基準を50%、ジェット燃料のLCA-GHGを81.7gCO₂eq/MJ(ガソリンLCA-GHGと同等)と仮定すると、バイオジェット燃料としては約10万kL/年が必要になると推測される。

一方、石油精製の装置は数万 B/D 規模(1 万 B/D で 58 万 kL/年)が一般的であり、石油精製の装置規模や CO₂ 排出量の削減効果を踏まえ、燃料事業としては数十万 kL/年規模が求められる。この規模に必要な微細藻類の培養には数千 ha 規模が必要になるものと予想され、海外生産も想定した技術開発を行う必要がある。

以上を踏まえ、表 6 に示すように事業モデルケースの設定を行った。

表 6 事業モデルケースの概要 (藻類のポテンシャル 100ton/ha/year で推定)

項目		設定
燃料生産規模		10 万 kL/年(単位規模として)
培養	場所	豪州・タイ
	面積	2,500ha
	方法	オープンポンドでの光合成による培養(独立栄養培養)
分離		凝集剤による沈殿・ろ過・低温廃熱利用による乾燥
抽出	方法	ヘキサン抽出
	抽出残渣利用	飼料として利用
燃料化		水素化・異性化による炭化水素化

事業モデルケースとしては、燃料事業としての妥当性を踏まえ、燃料生産規模を 10 万 kL/年に設定した。また、微細藻類の培養については、持続可能性を踏まえオープンポンドでの光合成による培養(独立栄養培養)を設定した。光合成での藻類のポテンシャルを考慮し、10 万 kL/年の生産に必要な培養面積を 2,500ha と設定した。これを国内で確保するのは難しく、海外生産を想定し、その場合の候補地として豪州とタイを設定した。

微細藻類培養後の分離方法としては、凝集剤による沈殿・ろ過、隣接する工場の低温廃熱を利用した分離を想定した。油脂の抽出はヘキサン抽出を、抽出残渣は飼料として利用することを考え、抽出油は水素化・異性化により炭化水素燃料にするとした。

3.2 技術開発課題と解決手法

3.2.1 微細藻類燃料の一貫生産システム開発推進

表 1 に示すように、微細藻類燃料の一貫生産システムの技術完成のためには、各要素技術課題を解決し、一貫生産システムとして全体最適化する必要がある。また、開発の加速には株の培養に関する基盤技術を強化していく必要もある。

要素技術においては、ラボでの油脂生産性を屋外培養でも維持できるかが重要な課題である。ラボ培養と屋外培養間の油脂生産性の相関データを取得し、培養条件の最適化を図ることが必要である。培養から抽出に至る各工程での低コスト・省エネ技術の確立も課題であり、最適技術を選定した上でスケールアップ検証をすることが必要となる。全体の採算性をあげるには抽出残渣の有効活用も課題であり、飼料等への用途開発が必要である。

これらの技術課題をどう取り組むかについては、4.1 章の技術開発ロードマップで述べることにする。

3.2.2 一貫生産システム開発を支える基盤技術強化

(微細藻類燃料生産に適した株の獲得・改良に向けた基盤技術)

微細藻類燃料開発において、バイオ燃料原料としての優良株の選定は、最も重要なポイントの一つである。バイオ燃料原料としての微細藻株に求められる要件としては、安定的に高い油脂生産量を持つ光独立培養株を選択するのは当然のこととして、粗放培養が可能であること、藻体の回収・脱水が容易であること、油脂抽出が容易であること、生成する油脂成分が安定であり、燃料への改質が容易であること等、様々な項目が挙げられる。しかしながら、このような様々な要件を前提としたバイオ燃料原料としての微細藻株のポテンシャルを総合的に量る指標は提示されていない。このため、既存取得株あるいは新規採取株等の効率的な統一評価方法を確立し、燃料生産に適した株の探索・選抜システムを構築することが、微細藻類燃料競争力強化の鍵となる。

また、バイオ燃料原料としての微細藻類のポテンシャル向上の一手法として、野生株の育種や遺伝子組換えが提案されている。しかしながら、一部の株を除き、微細藻類に対する育種・遺伝子組換え技術は確立されていない。

さらには、開放系での屋外大量培養を想定した場合、株の系外流出等による生態系への影響を最小化する必要があるが、この対策については十分に検討されていない。

一方、有望な微細藻株が見出された場合においては、継続的で安定した油脂生産が期待される訳であるが、多くの場合、油脂生産は株の生存に対するストレスであることから、株の長期保管に当たっては、変質や劣化のリスクが伴う。このことから、現在行なわれている継代保存（植え継ぎ）では、目的となる油脂の生産能を長期・安定的に保持できない可能性が指摘されている。

以上の点から、油脂生産性(成長速度・油脂含有率)や、培養のロバスト性、油脂の回収の容易さ、油脂の燃料化の容易さ等、油脂生産株を評価するための項目を整理し、バイオ燃料原料としての微細藻類に対する統一された株の評価・選抜手法を開発し、その評価軸を確立するための体制の構築が求められる。さらには、確立した評価軸に基づき、燃料生産に適する更なる優良株を探索・収集・長期保存するための体制についても検討が必要である。また、原料株のポテンシャル向上の一手法として、生産性向上・生物学的封じ込め等を視野にいれた野生株の育種・遺伝子組換え手法の確立も求められる。

これらの検討には産官学の知見を集約して当てる必要があるが、中長期的な取り組みが必要であること、また手法確立後の確実な運用が求められることから、特に官学の積極的な参画が重要である。

ここで重要なのは、確立された手法の長期に渡る継続的かつ実効的な運用であり、確立された手法に従ったカルチャーコレクションの維持管理、燃料生産に適した新規株の探索や評価の実施等の推進においては、政府の支援が不可欠である。

3.3 事業環境整備の課題

3.3.1 微細藻類燃料の培養から燃料製造に至る工程の GHG 試算

微細藻類を利用した燃料製造のライフサイクルでの GHG 排出量の計算を行い、ブレークスルーが必要な製造工程を把握することを目的とした。なお、生産される藻類燃料は全量既存ジェット燃料と同等のものであり、利用時の燃費、排ガス等は容量あたり同じものであると仮定し、粗製品の輸送(藻類ジェット燃料基材をブレンド工場に輸送)は含まないこととした。

また、評価対象システムからは飼料が副生するので、製品として重量ベースで加算した。副生する藻類飼料は全量既存配合飼料と同等とし、利用時の栄養価等は重量当たり同等と仮定した。土地利用変化は考慮しないこととした。

比較対象は以下の通りである。

- ・ 既存システム：ジェット燃料 10 万 kL と、バイオ燃料生産時に副生する配合飼料相当量の GHG 排出量とした。なお、ジェット燃料は日本の環境省発表の GHG 排出係数を、配合飼料は MILCA(産業環境管理協会)の GHG 排出係数を用いた。
- ・ 比較システム：日本でのバイオ燃料持続可能性基準(化石燃料比 50%以上削減)に準じて GHG 排出係数の 50%で設定した。なお、比較のため、バイオ燃料生産時に副生する配合飼料相当量の GHG 排出量を加算している。

評価範囲を図 6 に示す。火力発電所等の周辺に立地するものと仮定し、燃焼排ガスおよび排熱(乾燥で利用できる品質レベル)が入手できるものとする。

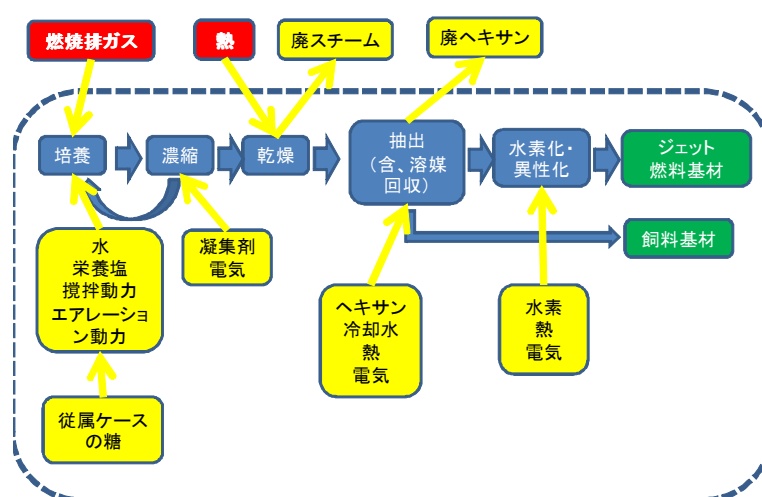


図 6 微細藻類を利用した燃料化工程の GHG 評価の範囲

表 7 GHG 評価の前提条件

項目	前提	備考
燃料生産規模	100,000 kL	
藻類成長速度	31 g/m ² /day	
生産ロス	0%	0-20% : 回収ロス含む
油脂含有率	40%	30-50%
油脂比重	0.8 kg/L	
年稼働日	330 日/年	
オープンポンド深さ	0.2 M	
水蒸発量	3 L/m ² /day	
藻類組成関係 藻類中 C 含量	40%	油脂を除く
油脂	CH ₂ とする	
N 肥料濃度	70 mg-N/L	
P 肥料濃度	17 mg-P/L	
K 肥料濃度	10 mg-K/L	
N/C	7.1	5~8
N/P	4.11765	N、P、K が 7 : 1.7 : 1 の重量比
N/K	7	
エアレーション関係 CO ₂ 利用率	25 %	
供給ガス中 CO ₂ 濃度	20% vol/vol	
エアレーション差圧	0.1 MPa	
エアレーションポンプ効率	100%	
攪拌動力	0.1 W/m ²	
藻類培養濃度	1 g/L	
従属栄養、代謝呼吸等ロス	0%	
濃縮工程 藻類回収濃度	10 g/L	5-30
凝集剤/藻類	5 g/kg_dry	
濃縮エネルギー	0.1 kWh/m ³	
乾燥工程 回収率	100%	
乾燥後水分	4%	3-5%
蒸発潜熱	40.69 kJ/mol	化工便覧より
抽出工程 スチーム	260 kg/Ton_原料	
(1MPa 飽和蒸気)	2,014kJ/kg_steam	Steam Tables
冷却水	11 Ton/Ton_原料	
電力	25 kWh/Ton_原料	
油脂抽出率	100%	
抽出溶媒メイクアップ量	2 L/Ton-Dry 藻体	
ヘキサン比重	0.673 kg/L	化工便覧@20°C
従属栄養、土地面積計算、糖生産	30 Ton/ha/y	

・ N,P,K の重量比 : 出典、武智芳郎、微細藻類培養法、公開特許公報 : 特開昭 48-13590、藻類種はクロレラ。

前提条件は表 7 の通りである。製品をジェット燃料 10 万 kL+副生配合飼料とし、配分は実施しない条件で試算した。以下に示す GHG 結果は相対評価であり、影響領域内エンドポイント、閾値からの超過度、安全性の限界またはリスクへの影響を予測するものではない。

また、以下の仮定を行っている。

- ・ 生成エネルギーには藻類飼料の熱量は含まないこととした。
- ・ 独立+乾燥熱ケースでは、投入エネルギーに乾燥熱(水の蒸発潜熱)を加算した。

- ・ 従属栄養ケースでは投入エネルギーに糖生産時の投入エネルギーを加算する必要がある。糖生産(栽培・収穫・輸送・抽出・精製)における投入エネルギーは不確実性が高いことから、ここではエネルギー収支比 1(得られる糖の熱量/糖生産の投入エネルギー=1)と仮定して糖の熱量から試算した。

図 7 に結果を示す。独立栄養(乾燥熱は廃熱利用によりゼロと推定)では、投入エネルギーよりも多くのエネルギーを産出できるが、従属栄養や、乾燥熱を外部より導入する場合の独立栄養では、投入エネルギーよりも生成エネルギーが少なくなる結果となった。

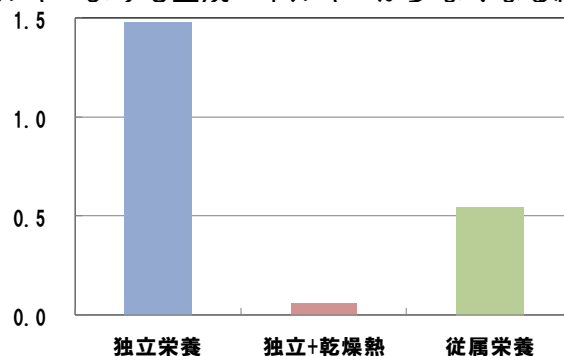


図 7 各培養ケースにおける直接エネルギー収支比(生成エネ/投入エネ)

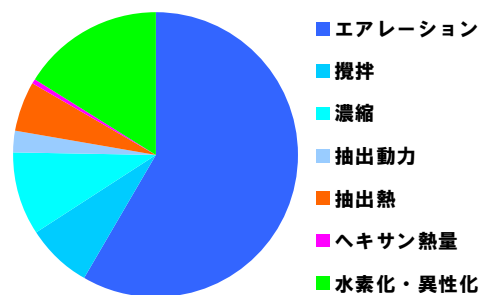


図 8 独立栄養ケースにおける投入エネルギー内訳

投入エネルギーの内訳を図 8 に示す。CO₂のエアレーションが最も大きく、50%以上の結果となった。続いて、水素化・異性化、濃縮にかかるエネルギーが大きい結果となった。

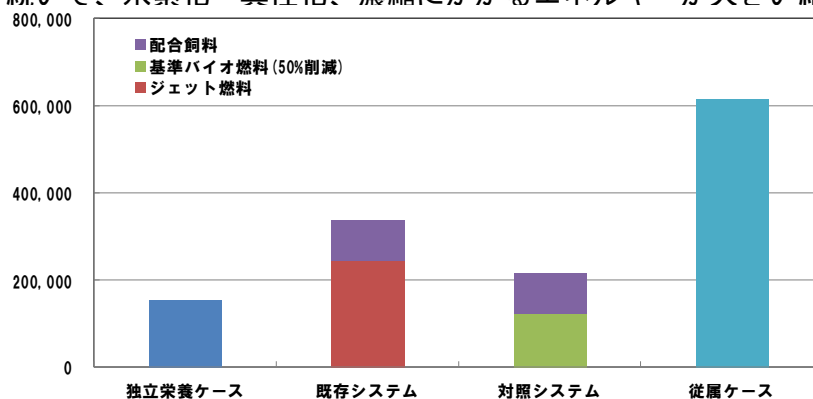


図 9 各培養ケースにおける GHG 排出量(Ton-CO₂/システム)

各培養ケースの GHG 排出量を図 9 に示す。なお、従属栄養の代謝呼吸等によるロスを 0% と仮定した。GHG 排出量の少ない順に、独立栄養ケース、対照システム、既存システム、従属ケースとなった。独立栄養ケースと従属ケースとの差は、糖の GHG 排出量分である。

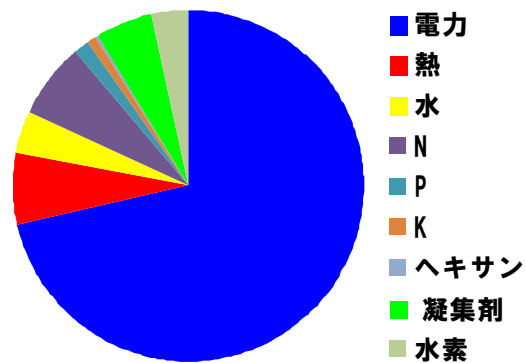


図 10 独立栄養ケースにおける GHG 排出量の内訳

独立栄養ケースにおける GHG 排出量の内訳を図 10 に示す。投入エネルギーの内訳と同様に、CO₂エアレーションに要する電力の GHG 排出量が過半を占める。

以上を纏めると、従属栄養では GHG 排出量削減には寄与せず、持続可能性基準への適合は難しいと考えられる。独立栄養でも廃熱利用による乾燥を前提にしないと持続可能性基準への達成は困難と考えられる。このため、火力発電所等の周辺への立地が前提であり、立地制約が存在することや、抽出残渣の飼料利用が前提であり、GHG 排出量結果でもこの考慮の有無で結果が大きく異なるため、これらが今後の技術開発課題と考える。

3.3.2 生態影響調査

生態影響については、藻類の流出のリスクが重要と考えられる。流出要因は、排水、洪水、事故、風波、動物・作業員・機材等への付着、人為活動流出が考えられる。流出による生態影響は、環境水中での増殖や、増殖により藻類産生物質の環境への流入が考えられる。それにより、大量増殖での悪影響や、環境中に生息する競合種や動物プランクトン等の捕食者への影響が考えられる。食物連鎖の上位に位置する魚類や底生動物等への影響も考えられる。

対策としては、培養・飼育実験による毒性や流出先での増殖特性等の確認、オープンポンドの配置・設計等への流出防止策の組み込みなどが必要になると考えられる。また、流出時の影響等の環境影響評価も必要になると考えられる。豪州とタイの状況を表8に示す。

表8 豪州とタイにおける生態影響に関連する規制状況と課題

	国	規制等の状況	課題等
遺伝子組換え株(GMO)利用	豪州	<ul style="list-style-type: none"> ・カルタヘナ議定書に未加入。 ・GMOの研究開発～商業生産は遺伝子技術法(Gene Technology Act 2000)で規制されている。 ・州によりGMO解禁の動きあり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遺伝子組換え株利用の可能性あり。 ・今後継続調査が必要。
	タイ	<ul style="list-style-type: none"> ・カルタヘナ議定書締約国である。 ・植物防疫法(1964)、動物病害管理法(1962)、国家環境増進保護法(1992)、輸出入品法(1979)等が関係。 ・農業協同組合省は加工食品を除く40種類のGMO農産物を植物防疫法上の輸入禁止植物に(1994)。 ・研究目的の持込みについてガイドラインあり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遺伝子組換え株利用のハードルはやや高い。 ・現況確認が必要。
環境アセス	豪州	<ul style="list-style-type: none"> ・環境・生物多様性保護法(EPBC法：1999)とそれに基づくアセスでは、湿地など重要な環境要素が対象。 ・州によりそれぞれ手続きを定めている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・環境アセスが必要。 ・州による手続き等を確認する必要がある。
	タイ	<ul style="list-style-type: none"> ・国家環境保全推進法(1992)がある。(ダム、灌漑、石油化学工場など23事業が対象) 	<ul style="list-style-type: none"> ・環境アセス手続上、大きな制約はないと想定される。
国内株の持込	豪州	<ul style="list-style-type: none"> ・検疫法(1908)と環境・生物多様性保護法(EPBC法：1999)により規制されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・国内株の持込規制があるが現地研究機関等との開発フェーズからの共同実施等により国内株の持込が可能となるケースがある。 ・国内株と現地株の活用の両方を考える必要がある。
	タイ	<ul style="list-style-type: none"> ・植物防疫法(1964)、動物病害管理法(1962)、国家環境増進保護法(1992)、輸出入品法(1979)等が関連する。 ・検疫が実施されているが日本の農産物は輸入可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・国内株の持込は規制状況を確認する必要があるが、不明点も多い。
株の探索(ABS)	豪州	<ul style="list-style-type: none"> ・環境・生物多様性保護法(EPBC法)で規制。 ・国(環境遺産省)の許可(合意)と利益配分契約が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・EPBC法の簡略化が検討されており、株の探索時には最新動向を確認する必要がある。
	タイ	<ul style="list-style-type: none"> ・名古屋議定書への署名・批准は未定。 ・国内法検討中(2011.8)。関連法規あり。 ・植物、動物、国立公園、王室保有林へのアクセスに関する国内法あり。探索にはタイ共同研究者が必須。 	<ul style="list-style-type: none"> ・制度が整備されており、株の探索は可能。

生態影響の課題と対応策については、対象国の最新規制動向を調査する必要がある。具体的には環境アセスの手続きの詳細(スクリーニングなど)、天災時の対応などの規制の詳細、藻類の培養、検疫等に関する規制の詳細、GMO、ABSに関する運用等が挙げられる。特に、各国の生態系保全の取り組みは強化されており、生態影響に関連する規制は今後も更新される

ものと考えられる。このため、対象国の関連省庁、研究者等への聞き取り等による最新情報の確認も必要になるものと考えられる。

3.3.3 製造工場規制に関する調査 (1) 豪州

豪州は連邦規制も存在するが、州での権限も強く工場規制に関しても、州ごとに規制が異なるのが現状である。降水量、日射量、土地の利用可能性などを踏まえると、西豪州やクイーンズランド州が候補になると考えられる。ここでは、図 11 に示すように、栽培適地の一つと考えるクイーンズランド州を対象に調査した。

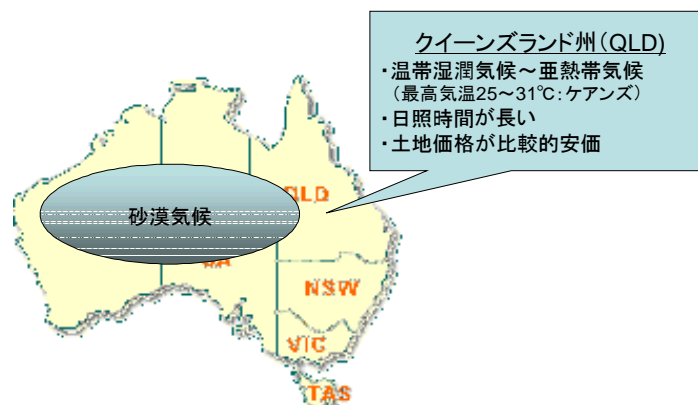


図 11 豪州における州の区割り

藻類培養施設に対する規制は明文化されていない。州政府に開発承認申請を出し、議論しながら設定していく必要がある。認可までは通常 1～3 年(通常 18 ヶ月以上)かかる。開発承認申請は豪州企業と共同で提出されるのが一般的である。環境アセスメントに関するおおまかな流れは、Impact Assessable Application(大規模プロジェクトに適用)に沿って、Initial Advice Statement(事業計画書)の提出し、州政府による審査(外部コンサルによるアドバイスも含む)を受ける。その後、Environmental Impact Statement(環境影響評価書)の提出、補正書の提出などを通して認可の運びとなる。

また、外国企業が既定条件以上の土地を取得する場合は審査があり、審査機関は豪州政府外国投資審査委員会(FIRB)になるなど、土地所有には厳しい規制があるため、本事業では借用が原則となるであろう。

水利用上の規制については、Water Efficiency Management Plans の提出(州政府)が義務付けられており、水利用のガイドラインも規定されている。

臭気、排ガス、排水に関する環境規制は以下の通りである。

- ・臭気規制：養豚場などに対する規制：10 ou/m³ (ou:odor unit)
→乾燥設備を培養設備の中央に配置して対応
- ・排ガス規制：NO_x、SO_x、CO、鉛などの金属、ベンゼンなどの溶剤、煤塵の規制。
→現プロセスでは問題にならないと思われる。

- ・排水規制：懸濁物質、溶存ガスなど各種規制あり。
(pH9.5-8.5、周囲の水との水温差 2℃以内など) →現在は排水設定なし。

(2) タイ

土地取得に関する規制に関しては表 9 に示す通りである。

表 9 タイにおける土地所有に関する規制内容

法規制	規制内容
土地法	外国人または株式会社で外国人が資本金の 49%超を有するか、外国人株主が全株主の半数を超える場合、原則として土地所有は認められない (97 条)。
外国人事業法	外資系企業の参入を規制する 43 業種に対して下記の三段階に分けて規定している。 ① I 種<絶対禁止> (9 業種) ⇒メディア関連や農業、畜産、林業、漁業など ② II 種<禁止> 【安全補償／文化・工芸保護／環境・資源保護の観点から】(13 業種) ⇒武器製造、陸上／航空運輸、骨董品、民芸品販売、製塩事業など ③ III 種<禁止> 【競争力が劣っているタイ企業の保護の観点から】(21 業種) ⇒漁業 (養殖)、精米・製粉、植林など

地下水については、地下水法により採取規制区域(採取が制限)と採取許可区域(採取の認可が必要)が規定されている。なお、地下水の取水については地方自治体の管轄となっている。よって、取水が制限されており、工業用には地下水の利用は難しいものと考えられる。一方、河川からの取水は許認可制であり、関係団体の認可が必要となる。産業用水はタイの水道公社や指定給水業者から購入することになる。

工場排水(放流)に関する規制については、タイ国工業団地公社による法規制では、団地内工場の排水、大気、騒音、廃棄物等を規制している。一方、工場法においては、排水、排気、廃棄物の処分や安全性管理のための環境標準を制定している。排水水質基準については、一般的な排出基準に関しては工業省が排水水質基準を公示している。工業団地では、より厳格な排水水質規準を設定しているケースも見られる。

業種別や放流先別の規制については、現段階では業種別の排水水質基準設定は確認されていない。日本における閉鎖性水域での COD 総量規制のような、特定放流先に対する法規制は確認されていないが、灌漑用河川への排水放流は上乘せ基準が適用される可能性がある。

培養時の CO₂ 導入において、工場の排ガスを利用する事が想定されるが、現在のところ排ガス利用に関する規制は確認されていない。

以上を踏まえると、豪州、タイ共に、各種規制に基づき適切な措置を担保すれば、大きな障害はないと考えられる。

3.3.4 抽出残渣の飼料活用に関する調査 (1) 豪州

豪州における配合飼料生産量は約 1100~1200 万 ton/年と推定されている(放牧、牧草肥育やサイレージ・フィードロットは含まず)。飼料用途で見ると、肉牛・乳牛・家禽類合計で 7 割、水産飼料は全体の 0.5%未満となっている(図 12)。豪州での主要な穀物の消費量は表 10 の通りである。

豪州の主要飼料穀物総自給率は 180~200%で推移している(図 13)。特に大麦は豪州の重要な輸出品目となっている。

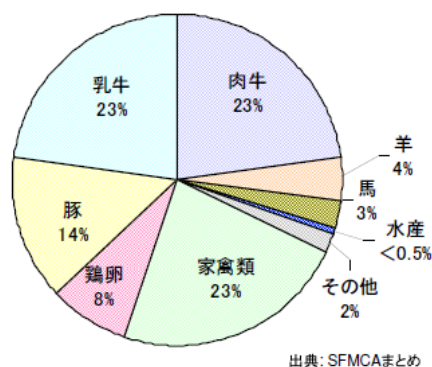


表 10 豪州における主要穀物の消費量

区分	2009/2010 年度 単位: 千トン)	割合※
小麦 (飼料用)	1,940	35%
大麦 (食用・飼料)	2,370	22%
オーツ (食用・飼料)	918	9%
ソルガム (食用・飼料)	1,136	15%
トウモロコシ (食用・飼料)	293	2%
トリティカレ (食用・飼料)	529	5%

図 12 豪州の家畜別飼料消費量

出典(http://www.sfmca.com.au/info_centre/facts_and_figures/) ABARES, Australian commodities statistics 2010]

* 飼料全体に占める利用割合(2004~2010 年平均)

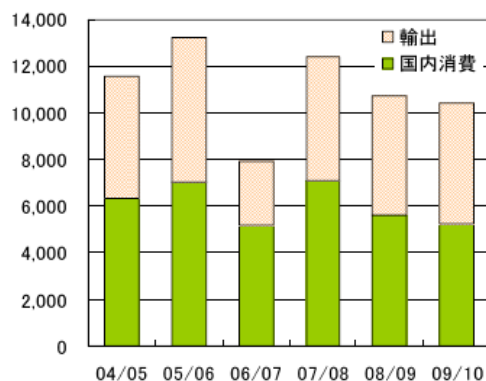


図 13 主要粗穀類国内消費量(小麦を除く)

豪州飼料穀物価格は世界のコモディティー市場に連動し上昇基調にある。天候要因、国際需給バランスにより変動するが、主要品目間の価格差は限定的であり、概ね\$30/ton 以内に収まる傾向にある。なお、最近の QLD 州における配合飼料価格は用途により開きはあるものの、凡そ\$350~\$450/ton レベル(2011 年上期参考)で推移している(図 14)。

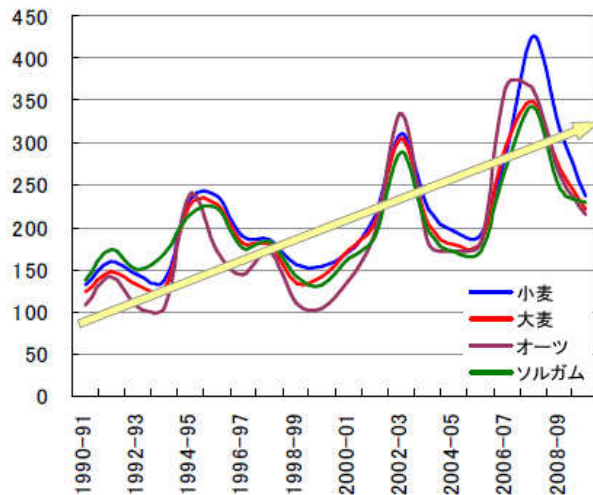


図 14 主要飼料穀物価格推移(\$/ton)

豪州では他の先進諸国同様、農産物・畜産物等における農薬等の化学物質の残留許容量 (Maximum Residue Limits : MRL) を連邦基準で定めている。同基準は豪州農薬・家畜医薬品局 (Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority : APVMA) が編纂しており、都度更新されている。飼料における MRL については主に原料となる飼料穀物栽培に使用される農薬、添加物等が対象であり、約 200 種類の化学物質について、原料となる作物毎に基準値が決められている。(http://www.apvma.gov.au/residues/standard.php#top 参照)

州における飼料の許認可は National Registration Standard に基づき、APVMA が一元管理しているが、表 11 の通り細目については各省庁との連携のもと許認可判断が行われる事になる。(http://www.apvma.gov.au/about/index.php (APVMA ホームページ参照))

表 11 飼料利用に関する規制項目と関連省庁

項目	関連省庁
人体への影響 (毒性、作業上の健康安全管理)	The Office of Chemical Safety (OCS)
環境への影響	Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities (DSEWPC)
食品摂取上のリスク評価	Food Standards Australian New Zealand (FSANZ)
遺伝子組換え関連	Office of the Gene Technology Regulator
対象となる動植物の安全性	州・テリトリー
有効性	個別専門家

National Registration Standard は既に施行(1995 年)から 15 年を経過しており、許認可プロセスも含め現在の市場環境に合せ改訂の議論が進められている。

豪州では過去 GMO に対して否定的な政策を取ってきたが、2001 年の Gene Technology Act 2000 施行に伴い、国内でも綿花を中心に GM 作物の栽培が拡大している。この法令施行にあわせ、Office of Gene Technology Regulator(OGTR)が設立され、GMO 許認可、各種ガイドラ

インの作成等の実務を担っている(<http://www.ogtr.gov.au/> (OGTR ホームページ参照))。

豪州国内における GM 飼料の使用割合は約 5%(50 万 ton)程度と見られている。これには国内で栽培された綿実や、海外からの輸入される飼料穀物の総計となっている。(輸入にあたっては Australian Quarantine Inspection Service: AQIS が検査を実施している)

抽出残渣の飼料利用については表 12 の通り整理される。

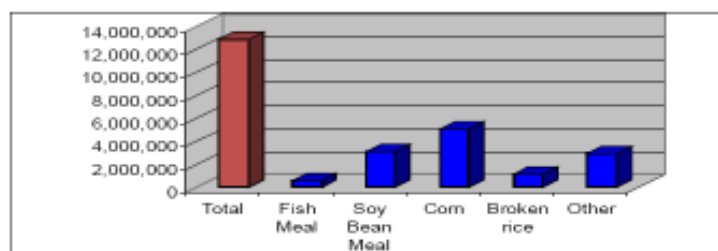
表 12 豪州において抽出残渣を利用する際の課題

用途	地域	課題
肉用牛	QLD 州	配合飼料・フィードロットなど、給餌形態が多岐に亘ることから、最終消費者（畜産農家）のニーズに合せた柔軟な供給形態が求められる。
家禽類 (鶏卵含む)	MSW 州 VIC 州	肉用牛と比較し、養鶏業者一戸あたりの飼料需要量は少ない。適切な流通の確保が重要となる。

登録・許認可については、微細藻類からの抽出残渣という新しい飼料原料になるため、関係省庁との調整に加え畜産農家を始めとした最終消費者に対する安全性や飼料価値の説明も必要となる。微細藻類の飼料価値については、一般的な飼料穀物と異なり、抽出残渣の適正価格(飼料価値)については、その栄養価等から単純に算出できるものではなく、最終消費者の判断に大きく委ねられると考えられる。

(2) タイ

タイの飼料生産を図 15 に示す。2010 年は 1200 万 ton 余りであり、トウモロコシ、大豆粕といった穀物原料が中心となっている。主エネルギー源となるトウモロコシの多くを国産で賄っていること(国産トウモロコシの 90%を飼料用として内需に組み込む)、コメを配合原料として使用されていることが特徴である。畜種別生産比率で見るとブロイラー：31%、肉用豚：25%、子取雌豚：6%、採卵鶏：11%、水産系：10%となっている(図 16)。



Total	: 12,850,211.00 mt
Fish Meal	: 578,462.50 mt
Soy Bean Meal	: 3,079,213.60 mt
Corn	: 5,086,122.70 mt
Rice Broken	: 1,154,780.00 mt
Others	: 2,951,632.20 mt

Year 2010

図 15 2010 年におけるタイの飼料生産量

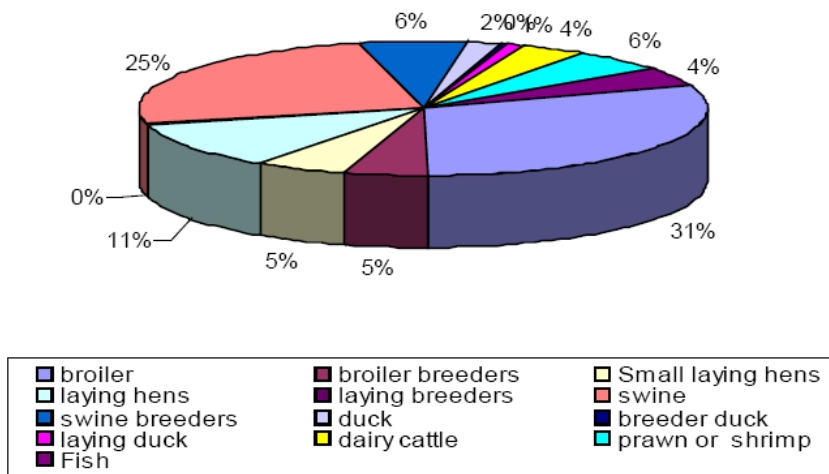


図 16 タイの飼料生産 — 畜種別生産比率

豪州およびタイの飼料市場状況を踏まえ、抽出残渣を 20 万 ton/年と仮定すると、各国の飼料生産量の 2%程度に相当し、既存市場に与えるインパクトは限定的と見られる。このため、市場価値や安全性等が担保されれば、有用な活用法となり得ると考えられる。なお、燃料生産規模が数十万 kL/年に拡大すると、抽出残渣もそれに比例して増加する。これを飼料利用する場合には、既存市場に与えるインパクトを考慮する必要が生じる。

4. 技術開発ロードマップおよび開発体制案について

4.1 技術開発ロードマップ

表 7 に示す事業モデルを基に事業化を実現するために必要な技術開発ロードマップの詳細版を表 13 に示す。2020 年度末に微細藻類から燃料製造に至る一貫生産システムの技術を完成することを最終目標としている。なお、培養面積の設定について、事業モデルケースでは 2500ha としたが、技術開発ロードマップでは微細藻類の油脂生産性の目標を再検討し、培養面積を 3000ha としている。

ゴールから見た時の技術開発ロードマップを概観する。

2018～2020 年度では、2020 年度末の一貫生産システムの技術完成を目的に、培養から燃料製造に至る要素技術を組み合わせ一貫生産システムとしての技術実証を行い、持続可能性基準を満たすことを前提に、目標コストを達成することが必要である。

2015～2017 年度では、コストや持続可能性基準の目標達成に向けた各要素技術を検証することを目的に、各要素技術を小規模で実証することが必要である。

2012～2014 年度では、最適な要素技術の選定を目的に、各要素技術のラボ検討や屋外培養の技術開発を進め、コストや持続可能性基準の目標達成へのブレークダウン行うことが必要である。

各期での必要規模と技術について述べる。

2018～2020 年度は実規模基本単位×複数基(培養面積:数千～数万 m²、実規模の数分の一、海外)での培養技術の確立、実機レベルでの分離・抽出技術の実証、実機の 1/100 レベルの水素化/異性化技術の実証が必要である。

2015～2017 年度は、実規模基本単位×一基(培養面積:千～一万 m²)での培養技術を実証すると共に、分離・抽出技術の小規模実証(10kL/年)を通して、コスト、GHG 排出量、エネルギー収支の目標達成への技術を検証することが必要である。また、海外培養の事前検討として海外での屋外培養の実証(培養面積：数十～百 m²)も必要である。

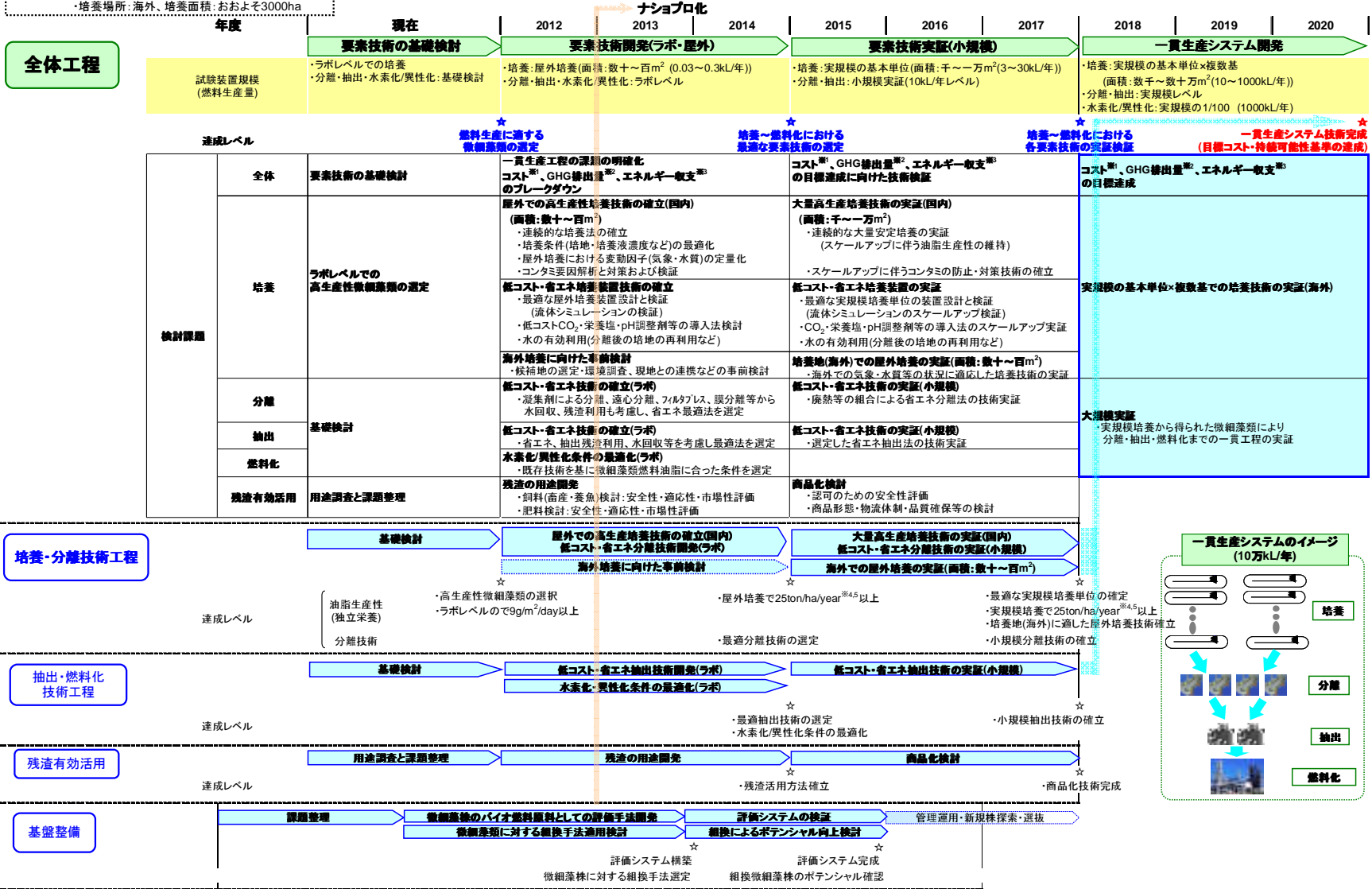
主な技術課題を述べる。培養技術では大量高生産性培養の技術実証、培養装置のスケールアップに伴うコンタミの防止・対策技術の確立が挙げられる。培養装置技術では、低コスト化・省エネ化に向け最適な実規模培養単位の装置設計と検証、CO₂・栄養塩・pH 調整剤等の導入法の検討、分離後の培地の再利用を含む水の有効利用の検討が挙げられる。また、海外での気象・水質等の状況に応じた培養の技術実証も必要である。分離・抽出技術については低コスト・省エネ技術の実証が課題となる。

2012～2014 年度は、数十～百 m²の屋外培養技術を確立すると共に、分離・抽出技術の選定、水素化/異性化条件の最適化を通して、コスト、GHG 排出量、エネルギー収支のブレークダウンを行うことが必要である。

主な技術課題を述べる。まず、ラボでの油脂生産性を屋外培養でも維持できるかが重要な課題である。ラボ培養と屋外培養間の油脂生産性の相関データを取得し、培養条件の最適化を図ることが必要である。屋外での高生産性培養技術の確立のために、連続培養法の確立、培養条件の最適化、屋外培養における変動因子の定量化、コンタミ要因解析と対策および検証が課題となる。培養装置技術では、最適な培養装置設計と検証、低コスト CO₂・栄養塩・pH 調整剤等の導入法の検討、分離後の培地の再利用を含む水の有効利用の検討などが挙げられる。また、海外培養に向けた事前検討として候補地の選定、環境調査、現地との連携などの検討が課題として挙げられる。分離・抽出技術の課題は最適な手法の選定である。水素化/異性化は既存技術を基に微藻類燃料油脂に合った条件の最適化が課題となる。

事業前提：技術完成：2020年度末、事業規模：10万kL/年
 培養場所：海外、培養面積：おおよそ3000ha

表13 微細藻類燃料の技術開発ロードマップ



※1 事業化時の目標コストは既存の水素化バイオ燃料(現状では120円/L(1ドル80円前掲) ※6)コストと同等以下とする。
 ※2 エネルギー供給構造高度化法では、バイオエタノールのGHG排出量はガソリン比で50%以上の削減が求められており、微細藻類からのバイオ燃料も同等とする。
 ※3 経済産業省「バイオ燃料革新技術計画」の技術革新ケースにおいて、バイオエタノールはエネルギー収支2.0以上を目標としており、微細藻類からのバイオ燃料も同等とする。
 ※4 比較として、植物で油脂生産性の高いパーム油における油脂生産性は6ton/ha/year程度。
 ※5 目標達成へのブレークダウンについては、油脂生産性の目標値について見られる場合もある。
 ※6 "The Outlook for Sustainable Aviation Fuels. John Cooper. BP plc Transport Energy Policy Sept 2011"より、今後変動する可能性あり。

副生される抽出残渣の有効活用もコスト面で必要である。2018年からの一貫生産システム開発段階では大量の抽出残渣が生産されるため、2017年度末には商品化技術を完成させる必要がある。遡ること2014年度末には抽出残渣の活用方法の確立が必要である。

微細藻類燃料生産に適した株の獲得・改良に向けた基盤技術も、微細藻類培養の技術開発を行う上で必要である。2016年度末の評価手法の完成を目指し、微細藻株のバイオ燃料原料としての評価手法の開発および検証、遺伝子組換え手法の確立及び確立された手法の適用によるポテンシャル向上の検証を進めていく必要がある。並行して、海外での事業化を前提とした環境整備も必要である。特に国内株の海外持ち出し利用あるいは海外現地株の利用について、生物多様性条約への対応を含め、想定される対象国について実証から事業化にわたる実行上の課題の抽出を実施し、その課題解決を図る。

4.2 開発体制案

技術開発においては、要素技術と一貫生産システム技術の各々に課題がある。このため、一貫生産システムの技術完成を目指し、要素技術開発を行っている企業グループが、これらの課題に取り組むことが必要である。また、技術開発を支える基盤技術を強化し、技術完成に必要な共通課題を解決していくことが、開発の加速には不可欠である。この2つの活動に連携して取り組むためのオールジャパンの協議会体制を図2の通り提案する。

協議会は、一貫生産システムの開発の効率的な推進を目的に、技術開発と基盤技術強化を連携させると共に、ロードマップの実行に必要な施策を提案していく。その推進メンバーは、技術開発に取り組む企業と、基盤技術強化に取り組む企業、大学、政府系研究機関などである。

協議会の最優先課題は、技術開発の推進に必要な共通課題の抽出と解決策の検討である。

共通課題の検討を含め、技術開発と基盤技術強化の推進にあたっては、図2に示す取組が必要であり、その遂行にあたっては国の支援を求めていく。

5. まとめ

5.1 産業競争力強化のための提言

国際競争力強化の観点からも微細藻類燃料開発は、国内の知見を結集したオールジャパン体制による取組が必要である。一貫生産システムの技術開発と、それを支える基盤技術強化とを密接に連携させながら、取り進めるべきである。

5.2 産業競争力強化のための施策

政府に求める施策として以下を考える。

①技術開発への支援

(1)微細藻類燃料の一貫生産システム開発推進

これまでに述べてきたように、微細藻類燃料は、食料との競合を緩和でき、かつ、持続可能な輸送用燃料として GHG 排出量削減に寄与できるだけでなく、エネルギー資源の多様化や自主開発エネルギー源の獲得に貢献できる。また、抽出残渣を飼料等に利用することで食料生産にも貢献できるなど、我が国の産業競争力強化において様々な点で効果あることから、開発を推進するための技術開発助成が必要と考える。

(2)一貫生産システム開発を支える基盤技術強化、および、基盤技術研究に関する大学・研究機関との連携

微細藻類燃料生産に適した株の獲得・改良に向けた微細藻株の評価・選抜手法の開発、微細藻類に適した長期安定的な株の保管方法の検討及び、微細藻類に適した遺伝子組換え等の手法の開発等の技術基盤強化を進めていくための技術開発助成が必要と考える。更には、基盤技術確立後のカルチャーコレクションの維持管理、燃料生産に適した新規株の探索や評価の実施等の推進においても、政府の支援が不可欠である。また、これら基盤技術研究に関する大学・研究機関との連携も必要と考える。

(3) オールジャパンで推進する技術開発体制への支援

本プロジェクトでは図 2 に示す協議会体制を提案した。これを進めるにあたり、産学だけでなく、官も含めたオールジャパン体制が技術開発を強力に推進するには必要と考える。このため、体制の構築、運営にあたり政府の支援が必要と考える。

②微細藻類燃料事業化への支援

(1)海外での微細藻類培養に向けた海外との協力体制構築への支援

事業時の微細藻類の培養には、培養に適する気候を有する広大な土地が必要になる。これを国内で確保するのは難しく、海外での培養を考える必要がある。このため、培養地となる対象国と協力体制を構築するための支援が必要と考える。

(2)微細藻類燃料の市場導入への支援

温室効果ガスの削減に寄与できる持続可能な輸送用燃料の導入は国の施策でもあるため、微細藻類燃料の導入促進のための政府支援が必要と考える。

産業競争力懇談会（COCN）

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 〒100-8280

日本生命丸の内ビル（株式会社日立製作所内）

Tel : 03-4564-2382 Fax : 03-4564-2159

E-mail : cocn.office.aj@hitachi.com

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄