

JPR

Independent Research & Advisory

ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社

“藻から石油が取れるの？” —市民のためのマリンバイオエネルギー理解講座—

“出遅れている日本の藻から石油の実証研究 ～間に合うのか？”

主催：石巻専修大学共創研究センター

会場：石巻専修大学 5号館3階 5301教室

2011年9月14日（水）15:10～15:40

藻から石油の実証研究の世界の動向

産業の発展ステージ

基礎研究ステージ

応用・実証研究ステージ

パイロットプラントステージ

大規模商業化準備 (ファイナンス・大手企業参入)

大規模商業化初期

産業として定着

米国

- エクソンモービルなどがベンチャー企業に600millionドル投資するなど大規模商業化への動きが盛ん
- 今後5年で商業化を目指す企業が続出
- 一方で老舗であったGreenFuelが倒産するなど、産業化にはなお非常に不安定な状態
- 政府は微細藻エネルギーへの投資についてセルロースと同様に加速度償却を認めることへ
- 各種技術を産官学で総合的に検証するエネルギー省主導のプロジェクトが主導

欧州

- 欧州藻類バイオマス協会は商業化が今後10年から15年かかると見込むなど、産業に発展には長期かかるとの見通し
- 欧州藻類バイオマス協会は、研究者のコンソーシアム開催や、藻類美ビジネスへの税金での優遇措置を提案するなど、欧州全体の動きを促進
- 2020年までにバイオ燃料を10%を運輸用燃料で利用することを義務づける指令をEUが採択

日本

- 大手企業が参画し始めているが、なお実証段階の域を出ていない。
- しかし、日本は藻の基礎研究は世界的にリードしており、商業化のための基礎は高い
- また、最も藻類を食する経験のある国民である
- 日本の海洋環境・海洋生物多様性藻類ビジネスにとってプラスの環境
- ただし、微細藻エネルギーの海外主要コンファレンスには日本人のスピーカーはおらず、商業化の世界的レースには取り残されている
- 平成21年以降、微細藻エネルギー関連の政府委託研究事業が複数採択

米国は大規模商業化準備のステージ・日本はパイロットプラントステージ

1 リットル100円台の石油への道

①高油脂比率・高生産性・高付加価値の種発見・育成・改良

②未利用炭素・栄養源(N,K,P)の大量安定供給源の確立

③低コスト大量培養技術の確立

④低コスト大量濃縮・収穫・抽出・精製技術の確立

⑤副産物の高付加価値用途の商業化

⑥関連法規制の整備

① 高油脂比率・高生産性・高付加価値の種発見・育成・改良

■ 1 リットル100円台の燃料：原価に占める固定費は50-100円/リットル程度

● 上記目標の達成に必要なターゲット：

- 1 リットル1グラム/日以上バイオマス成長性
- 高い油脂比率：例50%

■ 重要論点：

- 光合成と従属栄養の混合
- 有用成分の割合が高い種の選定・特定・育成・品種改良
- 未利用バイオマス資源の炭素源・栄養素としての活用
 - (セルロース、五炭糖、汚水、下水、排水、食糧残渣)
- 石油以外の高付加価値用途：スクワレン、βカロチン、DHA、EPA、飼料
- 酵素、細胞組織機能／代謝メカニズムの解明による有用物組成スピード
- 生息地域・コンタミネーション

■ 幅広い地域・環境での探索・品種改良・遺伝子操作・突然変異の加速

探索の可能性は膨大であり、今後さらに有望な品種の発見の可能性がある

生産性のターゲット：1グラム/1リットル/1日の重要性

| 1ヘクタールの培養ファーム | | | |
|---------------|----------|----|-----------------------------|
| 固定費計算項目 | 数値 | 単位 | 前提・説明 |
| 人員 | 5名 | | |
| ① 人件費年間 | 15百万円 | | 1名年間人件費 3百万円 |
| 建設費/平米 | 20,000円 | | |
| 1ヘクタール | 200百万円 | | |
| 償却年数 | 10年 | | |
| ② 年間減価償却費 | 20百万円 | | |
| ①+② 年間固定費 | 35百万円 | | |
| ÷ 100円 | 350トン | | 目標油脂1リットル固定費で固定費を割ると目標油脂生産高 |
| 油脂比率 | 50% | | |
| 年間バイオマス生産量 | 700トン | | |
| 培養面積比率 | 50% | | 敷地面積の半分が培養槽の面積 |
| 培養面積 | 5,000平米 | | |
| 深さ | 30cm | | 太陽光を利用する前提：光が届く深さ |
| 培養体積 | 1,500立方米 | | 培養面積×深さ |
| 1日当たりバイオマス生産高 | 1.279グラム | | 年間バイオマス生産量÷培養槽体積÷365 |

**ビニールハウスプラスアルファ程度の設備を前提とすれば、
1グラム/1リットル/1日の生産性が事業化では極めて重要な条件。**

高付加価値用途の開発・商業化の重要性

5%でも単価は大幅アップ

| 構成要素 | 単価 | 割合 | 1リットル/キロ当たり |
|-----------------|-------|-----|-------------|
| 油脂 | 100円 | 50% | 50円 |
| 高付加価値原料 | 2000円 | 15% | 300円 |
| 飼料原料 | 100円 | 25% | 25円 |
| 残渣 | 0円 | 10% | 0円 |
| 1リットル/キロ当たり最終単価 | | | 375円 |

高付加価値原料の割合と単価の最終単価（円）

| | | 高付加価値単価単価（円/kg） | | | | |
|--------------------------|-----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1,000 | 2,000 | 3,000 | 4,000 | 5,000 |
| バイオマス1キログラム当たり高付加価値物質の割合 | 0% | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| | 5% | 135 | 185 | 235 | 285 | 335 |
| | 10% | 180 | 280 | 380 | 480 | 580 |
| | 15% | 225 | 375 | 525 | 675 | 825 |
| | 20% | 270 | 470 | 670 | 870 | 1,070 |

年間固定費負担可能額も大幅アップ

1ヘクタール年間固定費負担700トン年間/ヘクタールを前提（百万円）

| | | 高付加価値単価単価（円/kg） | | | | |
|--------------------------|-----|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1,000 | 2,000 | 3,000 | 4,000 | 5,000 |
| バイオマス1キログラム当たり高付加価値物質の割合 | 0% | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| | 5% | 95 | 130 | 165 | 200 | 235 |
| | 10% | 126 | 196 | 266 | 336 | 406 |
| | 15% | 158 | 263 | 368 | 473 | 578 |
| | 20% | 189 | 329 | 469 | 609 | 749 |

割合が低くても高付加価値用途が存在することで、設備投資費用に関する制約が大きく緩和

年間固定費負担が2-5億円まで拡大することも可能に

特に産業育成黎明期・スタートアップ時期においては極めて重要な要素

世界の藻類ビジネスの最新状況

| 会社名 | バリューチェーン | 現状の培養状況(生産性) | 商業化(生産性) | 1平米当たり1日のバイオマス生産量(オイル含有量25%換算) | 利用している藻 | 燃料 | 派生商品 | 技術強み | その他特徴 | 主な政府プロジェクト | 資金調達状況 | 提携企業 |
|--------------------|----------------------|---|---|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------|---|-------------------------------------|---------------------------|-----------------|--|
| Solazyme | 種の選定・培養・収穫・抽出・精製 | クローズドシステム&糖分による発酵による培養・油抽出 | 2010年中 | - | 遺伝子操作微細藻類(高い生産性) | ディーゼル・ジェット燃料 | 栄養素 | 合成生物技術 遺伝子操作 | | | 76million USD | Chevron メルセデス ベンツ |
| Sapphire Energy | 種の選定・培養・収穫・抽出・精製 | オープンポンド 海水 100エーカー | 2011年に1millionガロン、2018年までに100millionガロン生産 | - | 自然界の藻類 | ガソリン ディーゼル (ASTM認証) ジェット燃料 | 栄養素 | オープンポンドでの高い生産性 | | 50millionUSD補助金(米国エネルギー省) | 105million USD | |
| PetroAlgae | 種の選定・培養・収穫・抽出・精製 | オープンポンド | ライセンス供与実施 | 61グラム | 自然界の藻類 | | 栄養素 | 水のリサイクル | インドでの展開 | | 200million USD | Siemens |
| Synthetic Genomics | 種の選定(遺伝子操作) | 半クローズド実証施設 | | - | 遺伝子操作微細藻類(高い生産性) | | 栄養素 | 遺伝子操作 | | | 600million USドル | Exxon |
| Algenol | 種の選定・培養・収穫(精製・抽出が省略) | 海水・バイオリアクター(4000リットル×3,100器)運営 6000ガロン/エーカー/年 | 2010年とされていたがなお未確認(10000エーカー) | 61グラム | 糖分を生産する微細藻(酵素によりエタノールを直接精製) | エタノール | | CO2供給技術・抽出技術が不要なエタノール生産ノウハウ(酵素により細胞内で糖分を生産) | メキシコの石油会社への供給契約締結(850millionUSDの取引) | 25millionUSD補助金(米国エネルギー省) | 70million USD | Dow Chemical Valero Energy Corporation |
| Aurora Biofuels | 種の選定・培養・収穫・抽出・精製 | 海水・オープンポンド(20エーカーの試験プラント運営) | 2012年目標(2000エーカー、1000万ガロン/年) | 51グラム | 遺伝子操作微細藻類(高い生産性) | 実証試験にてバイオディーゼル(ASTM認証)精製済み | | 高い生産性の遺伝子操作微細藻類 | | | 25millionUSD | |
| OriginOil | 培養・収穫・抽出・精製 | 光バイオリアクター | 2015年 | - | 未公表 | | 栄養素・生物化学製品・飼料 | 水圧粉碎技術による油脂抽出技術 将来的にはLEDライトも利用 | | | | 筑波バイオテック研究所 |
| Solix | 種の選定・培養・収穫・抽出・精製 | クローズド光バイオリアクター | 2011年 | - | 未公表 | エタノール メタン | 栄養素・生物化学製品・飼料 | CO2供与ノウハウ(火力発電利用) | | 10 million Yen | | |
| Cellana | 種の選定・培養・収穫・抽出・精製 | ハワイで培養槽運営/海水オープンポンドと光バイオリアクターの併用 | 2011年 20000ヘクター | - | 未公表 | バイオディーゼル、エタノール・固形燃料 | 動物・魚介類飼料その他栄養素 | 光合成促進・CO2栄養付与/ノウハウ 汚染対策 | | | | Shell |
| Seambiotic | 培養・収穫 | 1000平米 | 2012年 12ヘクター(10億円の建設費) | 20-40グラム | 自然界の藻類 | | | CO2の注入技術(火力発電所利用) | | | | スメープ ジャパン |
| Aquatic Energy | 培養・収穫・抽出・精製 | 4ヘクターの培養槽 | 2012年ごろ | - | 未公表 | | 食品 | | 東南アジアで展開予定 | | | |

(出所) 各種資料よりジェイフェニックスリサーチ作成

1リットル/1日換算だと、なお0.2グラム程度が世界最先端=1リットル100円には程遠い

②未利用炭素・栄養源(N,K,P)の大量安定供給源の確立

■バイオマス1キロ当たり必要な炭素源・栄養源の例

- 二酸化炭素：2キロ

➤光合成：排ガスの利用、従属栄養：未利用有機炭素化合物

- 窒素：窒素炭素比率（CN比率）5 = 200グラム
- リン：窒素の20%

■二酸化炭素

- 食用1トン5万円 = 1キロ50円

■窒素：1キログラム：130円程度

工業原料を栄養素として利用すると1キロ・リットル100円台の燃料製造は極めて困難。
未利用資源・下水のリサイクルなどで、安定的供給可能な低コストの
炭素源・栄養源の供給システム・リサイクルシステムの確立が必須

③ 低コスト大量培養技術の確立

■ 基本設計

- オープンポンド、閉鎖型、タンク型、素材

■ 立地

- 温度、水資源、面積、土地利用規制

■ 培養ノウハウ

- 光合成メカニズムの最大効率化・攪拌方法・流体力学
- エアレーション：CO₂、栄養源の効率的吸収・供給システム
- 酸素濃度、PH、コンタミネーション
- オープンポンドの雨・台風対策
- 蒸発対策・凍結対策
- 収穫のタイミング・濃度測定・成分組成測定ノウハウ
- 成長速度回復・種の保存

■ ランニングコスト

- 攪拌エネルギー・CO₂、栄養源の供給システム
- 清掃コスト

エンジニアリング・生化学の総合的ソリューション
経験の積み重ねと学術的考察

④ 低コスト大量濃縮・収穫・抽出・精製技術の確立

濃縮・収穫・抽出

- 物理的方法物理的方法
 - 遠心分離・乾燥・太陽光
- 沈殿・凝固・フィルター
- 自然抽出
- マイクロウェーブ利用・超音波
- 超臨界・亜超臨界
- 超音波利用
- 破碎・分離
- 溶剤利用
 - ジメチルエーテル
 - 環境問題・規制問題対応
- ベルトコンベア
- 生化学的・化学的手法

精製

- 熱化学的変換
 - 水熱処理・高圧・高温処理
 - 電気・化学的処理
 - 超臨界・亜超臨界
- 生物化学的変換
 - メタン発酵
 - ブタノール発酵
 - エタノール発酵
- 化学的変換
 - エステル化
 - 溶剤の利用
- 酸化対策
- 残渣の固形化
- 環境問題・規制問題

化学・物理学・生物学・エンジニアリグの総合的ソリューション

⑤ 副産物の高付加価値用途の商業化例: オメガ3

- 全世界の食品、飲料、サプリー市場において、オメガ3の市場規模は安定して拡大している。
- オメガ3の健康維持への効能の検証結果も急速に拡充している。
 - Harvard School of Public Health ではオメガ3の食生活での欠乏が米国で年間9万6千人の死亡を引き起こしていると推定している。
- プロセス技術の進化により、オメガ3は様々な形態で提供されるようになり、今後もパン、ヨーグルトなどの食品、牛乳やソフトドリンク、機能性ミネラルウォーターなどの飲料、サプリー、乳幼児の栄養補給など用途も拡大している。特に現在商品化が少ないソフトドリンク、機能性ミネラルウォーターの市場拡大が予想される。

| 企業 | 魚および藻由来オメガ3系原料の年間世界市場規模推定 | | 年成長率推定 |
|------------------------------|--------------------------------------|---|--------|
| | 金額 | 重量 | |
| DSM (オランダの医薬品、食品原料製造会社) | \$1.2bn-\$1.5bn (1,128億円-1,410億円) | | 10-13% |
| Frost & Sullivan (調査会社) | | 世界:71,452 トン 北米:26,948トン アジア:21,145 トン EU:13,596トン その他:5,762トン 金額による市場規模を\$1.3bnとすると、オメガ3の平均原料価格は\$18.2/キロと推定される | 30-40% |
| Croda (イギリスの医薬品、食品原料製造会社) | \$1.3bn (1,222億円) | | 25% |

※1ドル=94円で計算 出典: "Omega-3 fatty acid use is growing rapidly," ICIS.com, November, 2, 2009
<http://www.icis.com/Articles/2009/11/09/9260250/omega-3-fatty-acid-use-is-growing-rapidly.html>

⑤ 副産物の高付加価値用途の商業化例:ワムシのエサ

- ワムシは、仔魚に対する優れた培養餌料として知られていて、魚の養殖における重要な餌料である。
- 近年のワムシ大量培養で利用されている主な培養用餌料は以下の三つ。

| 名称 | 大きさ | 利点 | 欠点 |
|-----------|--------|---|---|
| ナンノクロロプシス | 2~6μm | <ul style="list-style-type: none"> ・ 農業用肥料で容易に培養できる ・ ワムシへの餌料価値が高い ・ 海水由来なので海水中でも生存して水質悪化が起こりにくい ・ EPAなど高度不飽和脂肪酸を含む | <ul style="list-style-type: none"> ・ 培養が天候に大きく左右される ・ 培養状態により栄養価が変化し品質が不安定 |
| パン酵母 | 4~7μm | <ul style="list-style-type: none"> ・ 市販品があるため入手が容易で冷蔵保存可能 ・ 単価が安い | <ul style="list-style-type: none"> ・ ワムシへの餌料価値が低い ・ 海水中では短時間で死滅して水質悪化を招きやすい ・ 原生動物や細菌等が増殖しやすい |
| 淡水クロレラ | 2~10μm | <ul style="list-style-type: none"> ・ 市販品があるため入手が容易で冷蔵保存可能 ・ 品質が安定している ・ ワムシへの餌料価値が高い ・ ワムシの必須ビタミンであるB₁₂を含有 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 海水中では短時間で死滅して水質悪化を引き起こす可能性がある ・ パン酵母に比べ単価が高い ・ EPAなど高度不飽和脂肪酸の含有量がすくない |

(出所)水産総合研究センター、農林水産省研究情報総合センター資料より作成

- 2006年度のワムシ培養に関するアンケート調査では、淡水クロレラを単独利用する機関が全体の51%で、他の餌料との併用利用を含めると92%を占めることから、近年のワムシ培養では淡水クロレラが主餌料である。
- EPAなどの高度不飽和脂肪酸を含むナンノクロロプシスは栄養価の高いワムシを育成し、健康な仔魚ために栄養価が高いものの、安定供給が困難であった。一方で、淡水クロレラは入手が容易であることから利用が進んでいる。
- 独立行政法人水産総合研究センター能登島栽培漁業センターの研究によれば、ナンノクロロプシスによる飼育でのワムシの高度不飽和脂肪酸の増加テンポは、淡水クロレラよりも早いことが示されている。
- したがって、高品質のナンノクロロプシスの安定供給体制が確立できれば市場が拡大する可能性がある。
- **現状のナンノクロロプシスの値段は乾燥重量で1キロ1万円以上**

⑥ 関連法規制の整備

藻類エネルギー産業の特徴

農業と工業のハイブリッド

- 農業規制・工業規制の双方が関与
- 培養地に攪拌装置：農業？工業？
- 土地利用規制の整備が極めて重要

生物化学と産業技術のハイブリッド

- 代謝メカニズムと培養技術
- 最終用途と精製する各種産業・エンジニアリング技術

**藻類産業は、農業・水産・工業のすべてに関連
規制・業界横断的な問題点の把握と対応・法整備が必要**

今から日本は追いつけるか？ 弊社の見解

- 最大のボトルネックは、高い生産性の藻の大量培養技術の確立
- 現在の最先端でも30グラム／m²であり、1リットル100円の燃料実現にめどをつけている企業は皆無
- 米国では、抽出・精製技術には進展がみられるが、低コストの高い生産性の藻の大量培養技術の確立ではブレークスルー的進展はなおみられない。軍向け高単価燃料の生産はすすむ
- 日本では、藻の生化学的基礎研究では世界をリード
- 藻の生化学的基礎研究での最先端の成果を大量培養技術に結びつける部分に重点的に投資すれば、世界のトップに立つことは十分に可能
- そのためには、極めて広い産業・利害関係者の力の結集が必要。幅広い産官学の力・知恵を結集するには地域の協力体制・オーナーシップ意識が不可欠
- 世界的に見ても産業複合的な動きは未整備であるため、短期的に特定の地域で産官学の協力推進体制が進み、戦略的に重点課題に資金を集中して産業育成に取り組めば、世界の最先端になることは十分に可能と考える

**震災復興をばねに産官学および地域が協力すれば
世界最先端となることは夢ではない**

弊社の今後の取り組み

- 下記プロジェクトにおいて藻類産業発展の課題を整理する技術ロードマップの作成に従事

- 藻類産業創成コンソーシアム（理事長：筑波大学井上勲教授）

平成23年度農山漁村6次産業化対策事業

緑と水の環境技術革命プロジェクト事業

「農山漁村における藻類バイオマスファームの事業化可能性調査」

- 上記の成果を踏まえ、有望事業の事業化戦略策定、財務計画策定、投資ファンドからの資金調達等を支援していく予定

ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社

©ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社（JPR）。無断転載を禁ず。/本誌記載のデータは各種の情報源から入手したものです
が、その正確性を保証するものではありません。要請に応じ追加情報を提供いたします。/JPRは本誌で取り上げられた企業に対
してアドバイザー業務を含むサービスを提供、またはそれらのサービスを勧誘する場合があります。/本誌は情報提供を目的と
しており、記載されている意見や予想は証券、オプション、先物等を勧誘するものではありません。また、特定の投資目的や特定
のニーズに応えたものではありません。将来的に予想通りの結果とならない可能性があります。過去の実績は必ずしも将来の業績
を示唆するものではありません

ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社
〒105-0003 東京都港区西新橋1-2-9
日比谷セントラルビル 14階

TEL : 03-5532-7647 FAX : 03-5532-7373 E-mail:info-jpr@j-phoenix.com