

## 平成 26 年度活動報告

### バイオマスによる持続可能な社会構築への貢献と課題を探る研究集会

#### ～電源開発株式会社 施設研修～

11月29日（土）第12回となる「バイオマスによる持続可能な社会構築への貢献と課題を探る研究集会」と題した施設研修会を北九州市にある電源開発株式会社若松研究所において参加者34名を得て実施した。

研修会は、当学会九州支部の星野幹事長の挨拶に始まり、技術開発部若松研究所バイオ研究室課長の松本様による「微細藻類を用いたグリーンオイル生産技術開発におけるJ-POWERの取組について」と題した講演と国内最大規模の屋外培養施設の視察、そして質疑の順で約3時間に亘って熱心に行われた。

電源開発株式会社若松研究所バイオ研究室では、CO<sub>2</sub>起源による地球温暖化対策のため、非食料系原料である微細藻類を用いた太陽エネルギーのグリーンオイル（バイオディーゼル燃料、ジェット燃料などのバイオ燃料）への変換技術の開発に取り組んでいる。微細藻類を用いたグリーンオイルの生産技術は、1970年代から長年にわたって開発が進められ、淡水微細藻類の活用による生産技術開発は確立されてきたものの、広大な土地や豊富な水源を確保しなければならないことが課題となっていた。近年では、オイル生産性の高い海洋微細藻類が発見され海洋の表層を利用した培養技術開発の研究が進んだこと、原油価格や食料価格の高騰などの社会情勢の影響を受けにくいこと、新たな耕地造成などの環境破壊を回避できること等のメリットがあることから再評価されており、多くの企業や研究者により技術開発が積極的に進められている。

我が国では、①エネルギー消費地から近い場所（理想は5km圏内）に広大な土地（最低1ha以上、理想は10ha以上）が確保することが困難であること、②冬季には曇天が多く水温も低くなるため微細藻類の培養速度が遅くなること、③海水だけでは微細藻類の生育のための栄養分が不足すること、④冬季の海水温度のコントロールを図ること等の課題がある。

その対応策として、①省エネルギー化及び自動化を考慮した簡易な培養装置の技術開発と維持管理上の改善、②冬季の低温にも耐えられる北方の海域から分離した海洋微細藻類の活用、③下水・排水に含まれる有機物のマテリアルリサイクル（排水中の細菌類に耐えられる海洋微細藻類の選定が重要）、④工場からの蒸気・温水等の熱供給による効率化等の日本型の研究開発を行っており、来年度はグリーンオイルの抽出設備を増設し一貫生産プロセスの検証を行う準備を進めているとの説明があった。

今後の研究を進めるうえで重要な視点として、次の2点があげられ、海洋微細藻類（JPCC DA0580株）を用いたグリーンオイル生産の全プロセスをイメージしながら、個別プロセスの技術開発、EPRの最大化の検討を続け、EPRを持ってプロセス全体の評価を行っていくとの説明があり、研究の方向性を示唆された。

<研究に当たっての重要な視点>

- (1) どのような方法で培養し、どのような燃料に転換するのか、どの分野に貢献するのかなどのグリーンオイル生産の全体戦略を練り上げること、ならびに各個別プロ

セスの開発（微細藻類の選定、大量培養、回収、オイル抽出、燃料化、排水処理など）だけでなく、グリーンオイル生産の全プロセスをイメージして一貫して研究していく必要がある。

- (2) 付加価値の高い物質生産などは、主に経済的な収支を追えばよいが、エネルギー生産プロセスとする場合はプロセス全体の  $ERP(\text{Energy Profit Ratio} : \text{Output energy}/\text{Input energy} \geq 1$  : できるだけ大きくする) を評価するとともに、 $\text{CO}_2$  固定プロセスとなっているかの評価が重要である。

このように研究開発の進歩は加速しているものの、現状では、エネルギー生産性や  $\text{CO}_2$  固定などの限界、ならびに大規模及び大量処理を必要とするプロセスの適用には高い壁があり、微細藻類からのグリーンオイル（バイオ燃料）生産の実用化の目処については、大量培養技術(用地の確保、周辺技術)や燃料の生産量やコスト等の克服すべき課題を解決するのに、革新的な技術進歩がない限り、少なくとも 10 年間程度の研究開発期間が必要であろうとの見解であった。

以上の講演、視察の後に質疑応答が行われた。質疑応答の詳細は事項掲載のとおりであるが、グリーンオイル生産技術や維持管理上の課題、今後の具体的な計画等の質問もあり、活発な質疑が交わされた。

今回の研修を通して、最新のバイオマスによる持続可能な社会構築への技術開発の取組状況及び微細藻類を用いたグリーンオイル生産技術開発の重要な課題と中長期的な将来展望を理解できたことは今回の研修の大きな成果であった。

最後に、今回の施設研修開催に当たりご協力いただいた電源開発株式会社若松研究所の松本様をはじめ関係者の皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。

※微細藻類：数  $\mu\text{m}$  ～数十  $\mu\text{m}$  程度の大きさで光合成を行いながら生育する。微細藻類は太陽光変換システムである光合成機能を活用し、微細藻類の中には、細胞内に中性脂肪や油分を大量に蓄積するものもいる。

施設研修部会幹事

## 質疑応答議事録

Q 1 : 石油の原油と比べて、生成された中性脂質は一体どのような性状のものか。

A 1 : 中性脂質はパーム油と同じようなものと見てもらいたい。パーム油はほぼ食品用として使われているが、3割程度は潤滑油や界面活性剤に使用されている。石油のように分留すればいろいろなものが取れるというような油の性質ではないので、用途に合わせて改良（変換）していく技術が必要になる。プラスチック原料やグリセリンにしたい場合には、化学（ケミカル）の力を使って、それぞれの素材に代えていくことになる。一つのプロセスで色々な物が出来て来るわけではない。

Q 2 : 説明資料の「藻体回収プロセスの更なる低エネルギー化」で助剤としてパーライトを添加とあるが、この助剤とは凝集剤のことか。

A 2 : パーライトはシリカを主成分とする食品添加物で、フィルルタープレスが目詰まりを起こしてしまうので、そのパーライトが緩衝剤として搾り易くする働きを持っている。PAC等の凝集剤ではなく、凝集助剤としてシリカのガラス系の素材を使っている。

Q 3 : 油を搾った後に搾り滓が出てくるが、油1トン当たりに対してどの程度の油滓が発生するのか。また、どのように処分しているのか。

A 3 : 単純計算で、乾燥状態の藻体が2トン発生するとして、うち40%が油で、60%が残渣になるので1.2トンが滓として発生する。それにパーライト分が加わりおそらく等量（約2トン）ぐらい出てくるとみている。

その滓をどのように処理・処分するかは、現在アイデア段階ではあるが、埋め立てるだけではもったいないので、バイオマス源としてプラスチック原料（バイオプラスチック源）に利用できないか検討中である。この他、微粒子状のシリカが混入しているので触媒の単体に使えないとか、あるいは強度をあまり必要としない、使い捨ての皿、コップ、スプーンとかいろいろ模索しており、再利用が叶えばその分石油資源が削減できるのではないかと考えている。

Q 4 : 油は内燃機関にも使えるのか。

A 4 : 一般的に食用油をバイオ燃料として使用しているところが、ここエコタウンでもあるが、普通にディーゼル燃料として使用できる。もちろん、ディーゼルトラックにも問題なく使える。このプロジェクトの最終目標はジェット燃料による航空機への利用である。

Q 5 : 視察した屋外実験施設は何名でオペレートしているのか。

A 5 : 現在4名で動かしている。ただし、現施設には自動化装置は付けていない。計画として、1haあたりに2名を想定しており、全自動でバルブ等も操作できるようにしたい。人海戦術でできないわけではないが、その場合人件費が相当かかるのではないかと考えている。

Q 6 : 日射が少ない曇天が続いた場合はどのように対処されるのか。

A 6 : よく質問を受けるが、太陽光は室内光よりもはるかに強いので、それほど心配はない。確かに晴天時に比べれば少ないが、足りないかといえばそうでもない。太陽光はコントロールできないので、なるようにしかならないと思っている。

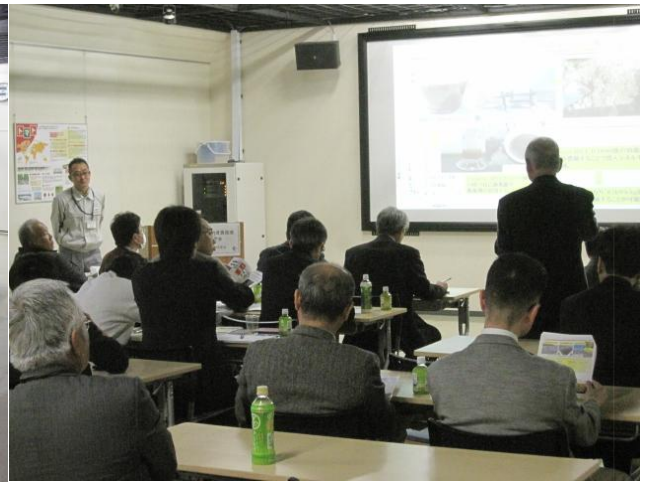
Q 7 : 大変ということは理解できたが、もう少し夢を語ってもらいたい。

A 7 : 1 ha 規模のものが動きだせば夢が語れるかもしれないが、現時点ではまだ夢を画ける状況ではない。遺伝子組み換えも厳しめで見ている。仮に我々が遺伝子組み換えをできたとしても、光をエネルギーとする光合成微生物は複雑な生き物なので、せいぜい 2~3 割程度の向上しか望めないのではないかとと思っている。

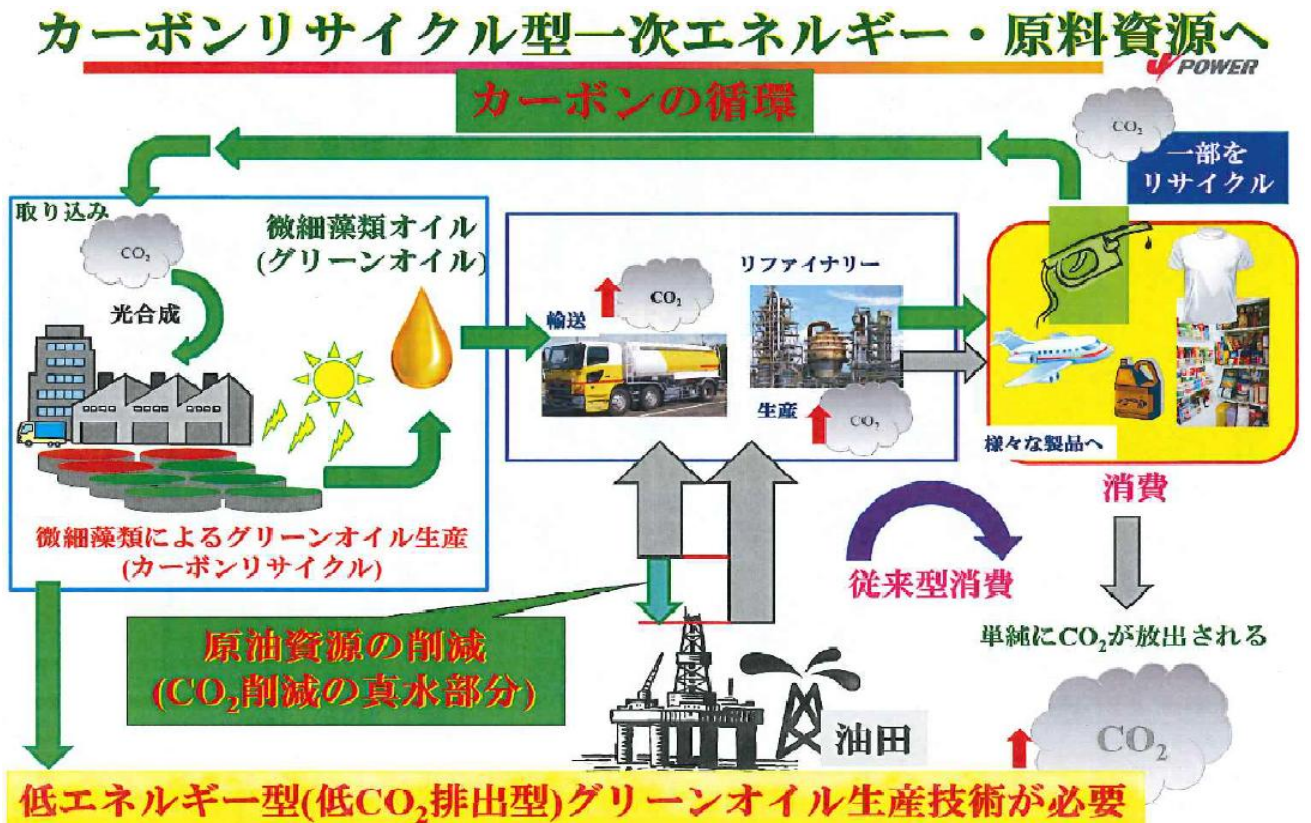
Q 8 : 御社は火力発電を主事業にされておられるので、熱源等の不足するものを補完しあえる状況にあると思われるが、そうしたコラボレーションの予定はないのか。

A 8 : 発電所の敷地の中に建設するというのはある。ただし、発電所の隣に何百 ha の敷地が確保できるのか、また出てきた油をどの用途に使うのか、パフォーマンスとしては可能でも、事業化という面では現実的ではないと思われる。小規模、少量生産ではいけると思うが、それ以上の話になった時には発電所の隣ということではなく、一般的に大規模集中排出源から経済的な達成ができる範囲（5km 圏内）から立地場所を探してカーボンを入れることになるのではないかと。事業性をよく検討して判断すべきと思う。

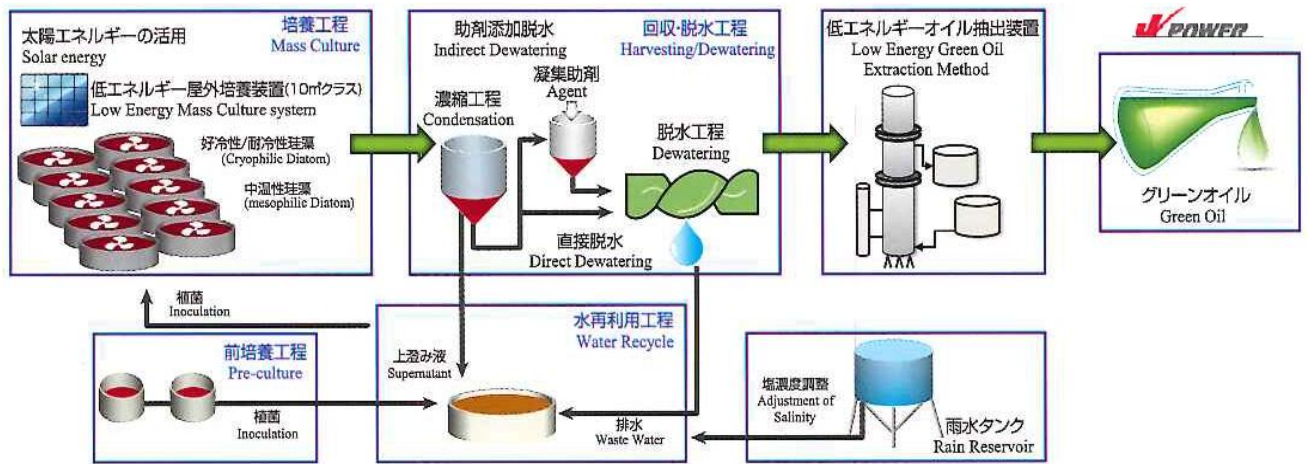
以上



施設研修の講演風景



参考図 1 グリーンオイル生産技術の概要

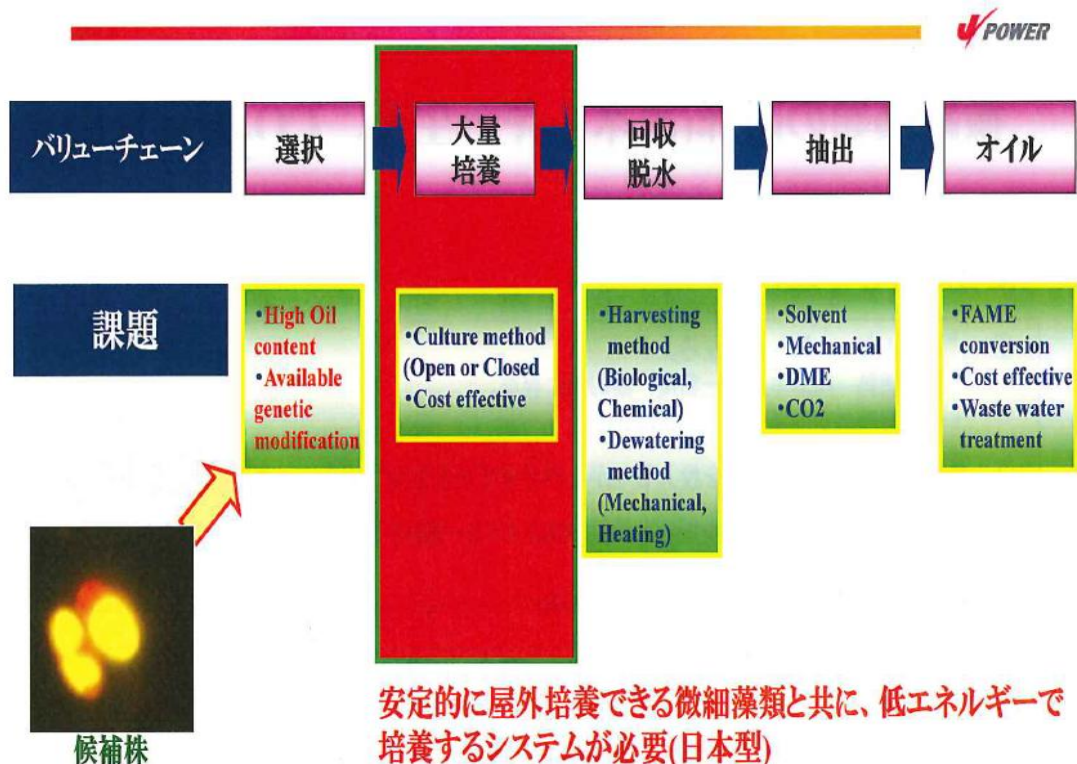


### グリーンオイルー貫生産プロセス(SOLARIS プロセス)

**研究規模** : 敷地面積3,000㎡、屋外培養容量 200㎡ (10㎡水槽×20基)  
**微細藻類生産量** : 2,000kg/年程度(200㎡規模で稼働した際の想定値)  
**グリーンオール生産量** : 1,000 ℓ/年程度(200㎡規模で稼働した際の想定値)

**体制** : NEDO(委託)⇒J-POWER(研究総括、大量培養研究)  
 日揮(株)(低エネルギー化、オイル抽出技術開発)  
 東京農工大(遺伝子解析、光合成効率向上研究)

参考図 2 グリーンオイルー貫生産プロセス研究の概要



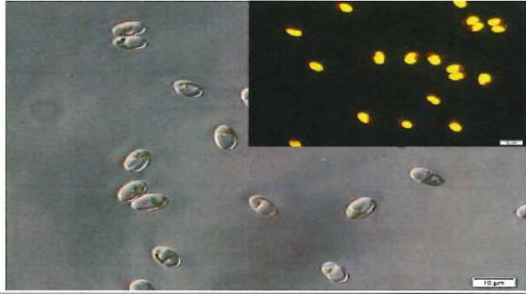
参考図 3 大量培養プロセスの重要性

# J-POWERが保有する海洋ケイ藻



## ルナリス株

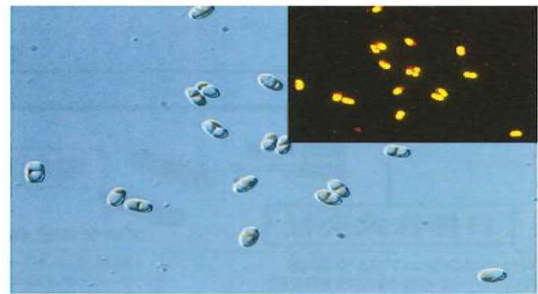
*Mayamaea* sp. JPCC CTDA0820



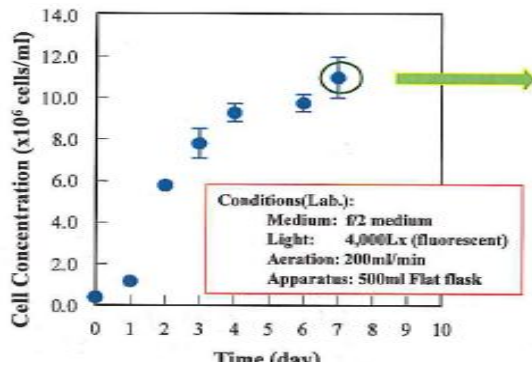
サイズ: ~10 $\mu$ m  
 オイル含有量: up to 60wt% (実験室)  
 生育: 10 days (0.5g/L: 10 $^{\circ}$ C)  
 適用温度範囲: 4~25 $^{\circ}$ C  
 オイル: 中性脂質  
 主となる脂肪酸: C16:1, C16, EPA

## ソラリス株

*Fistulifera solaris* JPCC DA0580

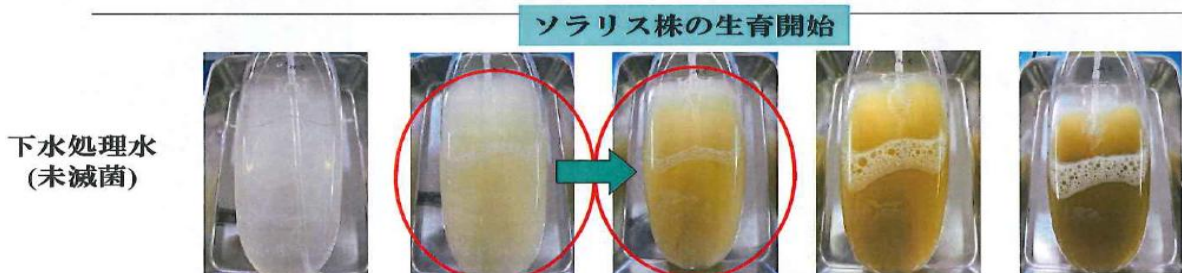
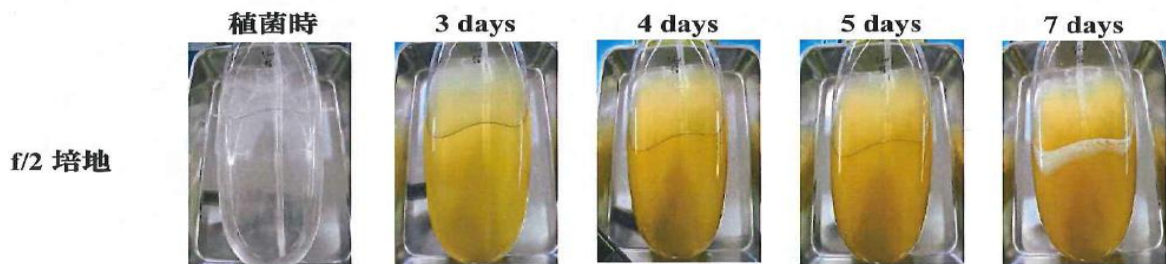


サイズ: ~10 $\mu$ m  
 オイル含有量: up to 65wt% (実験室)  
 生育: 7 days (0.5g/L: 25 $^{\circ}$ C)  
 適用温度範囲: 15~45 $^{\circ}$ C  
 オイル: 中性脂質  
 主となる脂肪酸: C16:1, C16, EPA



参考図 4 電源開発バイオ研究室が保有する微細藻類

# 下水処理水を用いたソラリス株の培養

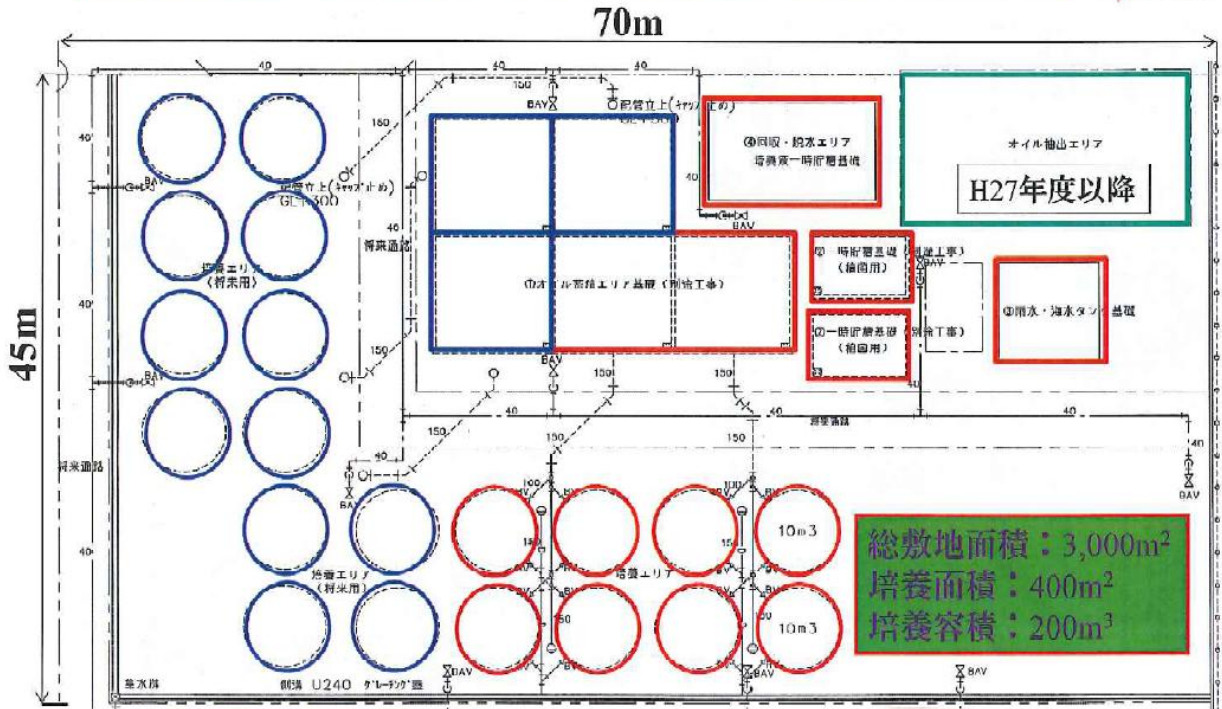


細菌の増殖

激しい細菌のコンタミネーションに対しても増殖できる。

参考図 5 下水処理水を用いたソラリス株の培養

# グリーンオイル一貫生産プロセス設備全体図



藻体生産量: 2,000kg/年  
グリーンオイル生産量: 1,000L/年

赤線: H25年度設置  
青線: H26年度設置



## *F. solaris* JPCC DA0580株の屋外培養試験(4月~9月:春季~秋季)



- 培養条件:**
- ① 培養容量: 約10,000L  
水深: 0.5m (Run03は0.4m)
  - ② 通気: 通気、無通気
  - ③ 培地成分: f/2培地、50%人工海水
  - ④ 培養期間: 10日間
  - ⑤ pH制御: 8.2~9.0でコントロール  
(CO<sub>2</sub>吹き込み)
  - ⑥ 温度制御: なし
  - ⑦ 雨天対策: なし
  - ⑧ 機器滅菌: なし
  - ⑨ 前培養: 屋外2,000L培養
  - ⑩ 培養液輸送: 水中ポンプ

参考図 6 実験施設の概要と屋外培養施設の状況



# CO<sub>2</sub>固定量試算



試算：  
 藻体のC比：50%(実測値)  
 培養規模：1 ha(培養装置:250基)  
 培養日数：10日(年間300日稼働)  
 投入エネルギー(kWh/1基・10日)：10kWh(実測値)  
 CO<sub>2</sub>排出原単位：0.7kg CO<sub>2</sub>/kWh (石油火力)と仮定  
 藻体回収：10日間で6.0kg回収  
 培養容積：10m<sup>3</sup>

・CO<sub>2</sub>放出量(培養に必要なエネルギー)  
 すべて化石燃料由来のエネルギーで補った場合  
 =10kWh x 0.7kg CO<sub>2</sub>/kWh (石油火力原単位)  
 =7.0 kg CO<sub>2</sub>

培養時に7kgのCO<sub>2</sub>を放出する。

・CO<sub>2</sub>固定量  
 =反連続培養  
 =6.0(kg)  
 =6.0(kg)x0.5(C比)  
 =3.0kg C CO<sub>2</sub>換算=11.0kg CO<sub>2</sub>  
 1基当たり10日間培養で11.0kg CO<sub>2</sub>を固定。

まとめ

・NetのCO<sub>2</sub>固定量  
 =11.0-7.0  
 =4.0 kg CO<sub>2</sub>

1ha、1年間培養した場合では、  
 =4.0 CO<sub>2</sub> (kg/回) x 30(回/年/基) x 250(基/ha)  
 =30.0 (t/ha/y)・・・森林の約6倍。

参考：森林：5t/ha/y

参考図7 CO<sub>2</sub>固定量の試算例

表1 バイオ研究室で保存しているJPCC株

種類	株数	保存方法
海洋微細藻類	890	液体培地
海洋細菌	7,511	-80℃
酵母	866	-80℃
放線菌	962	-80℃
その他	492	寒天培地、-80℃
合計	10,721	

図1 JPCCデータベース



図2 サンプル採取地

- 海外
- 千葉県内
- 広島県内
- 山口県内
- 高知県内
- 福岡県内
- 長崎県内
- 宮城県内
- 鹿児島県内
- 大隈諸島
- 奄美諸島
- 沖縄諸島
- 宮古諸島
- 大島諸島
- 八重山諸島
- その他

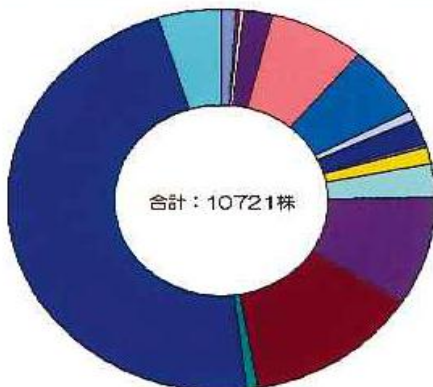
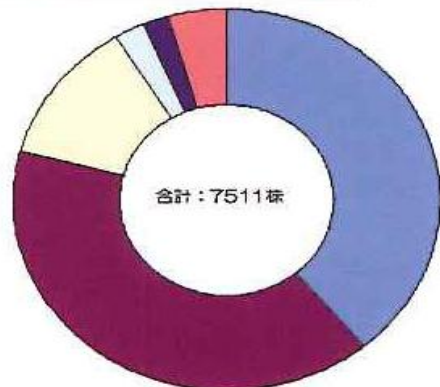


図3 JPCCに保存している細菌数及び分離源

- 海洋
- 海洋生物
- マングローブ
- 汽水
- 河川
- 陸域



参考図8 バイオ研究室で保有する微生物類データ