第3回JST OPERAシンポジウム

「低CO_2と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファイナリーの創出」

パリ協定の「2030年度GHG排出量を2013年度比46%削減」の達成を目指した取組みの一環として、CO_2削減効果の大きい微細藻バイオ燃料の実用化は急務である。本領域では、実用化の妨げになっているバイオ燃料製造コストの低減を目指し、燃料生産と有用物質生産とを統合したバイオリファイナリー・プロセスの創出を目指す。このために、10あるキーテクノロジーを組合せることで、**5つの「研究開発課題」を策定して広く企業との共同研究を募集し、53の課題と4つの重点課題を策定した。今回はその中の代表的な12課題について紹介する。**

研究開発課題1「微細藻類3,000株スクリーニングと変異導入による高生産株の探索」

課題1-1

微細藻類3,000株の系統維持と供給、および論文とクロロフィル量調査

研究開発責任者（河地正伸　国立環境研究所）
共同研究参加者（河野重行　東京大学）

1　最終年度までに達成した研究開発内容の新規性と優位性

増殖性に優れた株、油脂生産する株、窒素(N)源として尿素を利用できる微細藻株を多数の分離株（3,000株）から、同一条件でスクリーニングした例は世界的に見てもない。図1のように安価な尿素で確実に増殖する株のみを選抜したのもその一例である。

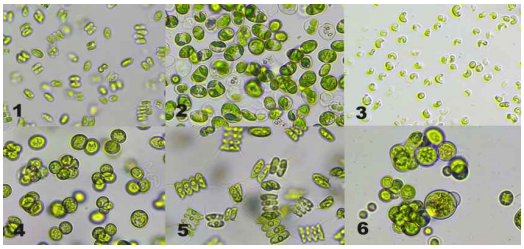


図1．尿素を窒素源とする培地で増殖中のNIES株　1. *Desmodesmus* sp. (NIES-4410), 2. *Oocystaceae* (NIES-4413), 3. *Raphidocelis* sp. (NIES-4429), 4. *Desmodesmus* sp. (NIES-4265), 5. *Desmodesmus communis* (NIES-4300), 6. *Botrydiopsis* sp. (NIES-2899).

2　今後取組む課題解決の展望（非競争領域で継続して取組むもの、競争領域で取組むこと）について

課題１「微細藻類3,000株スクリーニングと変異導入による高生産株の探索」のなかで、3,000株の供給元として効果的なスクリーニングが実施できた。今後はこれまで供給した株の中で、商業利用が期待される株についての「MTA（成果有体物移転契約）整備」についても平行して取り組みたい。

課題1-10

湖沼や海浜あるいは海洋における天然微細藻類の生産性とその資源量調査

研究開発責任者（河野重行　東京大学）
共同研究参加者（中野昌彦　㈱ドクターズチョイス）

1　最終年度までに達成した研究開発内容の新規性と優位性

本課題では、「天然由来シアノバクテリアの培養手法の確立と有用アミノ酸生産」を目指しており、東京大学と㈱ドクターズチョイスは「湖沼や海浜あるいは海洋における天然微細藻類の生産性とその資源量を調査する。　㈱ドクターズチョイスが使っているのは、米国オレゴン州のクラマス湖に自生するシアノバクテリア *Aphanizomenon flos-aquae*で(図1)、そこからUV吸収能に優れたマイコスポリン様アミノ酸(MAAs)を抽出して商品化している。天然資源の有効活用という意味で各方面から注目されている。そこで、新たな研究計画として、奄美大島で単離したイカダモの中藻を使って、クロレラやトレボキシア藻を用いて代替となるようなUV吸収物質の探索を実施した(図2)。

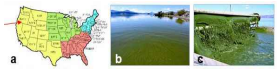


図1. 米国オレゴン州(a)にあるクラマス湖(b)のシアノバクテリア *A. flos-aquae*の収穫養場(c)の写真　クラマス湖には天然のシアノバクテリア*A. flos-aquae*が自生する。

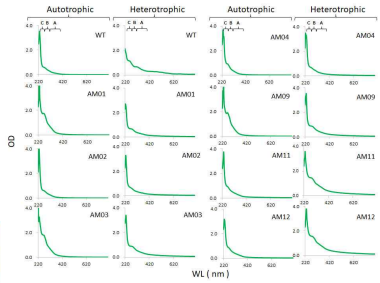


図2　奄美鉢培養上清のUV吸収スペクトル　独立栄養培養と従属栄養培養した奄美株の培地上清を測定した。上部スケールはUV-C（280 nm未満）、UV-B(280–315nm)、UV-A（315–400nm）に相当する。WTは*Parachlorella kessler*i NIES-2161、AM01～AM12はすべて奄美株である。

2　今後取組む課題解決の展望（非競争領域で継続して取組むもの、競争領域で取組むこと）について

新型コロナウイルスのパンデミックな感染拡大などがあると現地視察や輸入も自由に行えなくなる。同等の微細藻類が培養できるのは極めて重要である。OPERAが研究対象にしている微細藻類3,000株の中に優良株がいる可能性がある。そこで簡単な検査法を試験するとともに、国内で有望な未利用資源を探すため、今回は奄美大島で採取したイカダモを調べた。UV吸収波長域に特徴のある数株が見出された。今後はこの国内調査の範囲を広げたい。

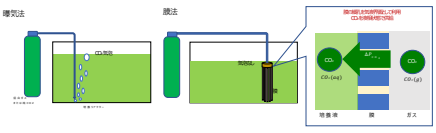
研究開発課題2「閉鎖系バイオリアクターによる微細藻類の培養と回収」

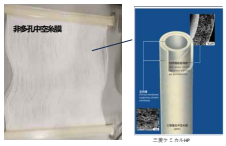
課題2-1

曝気レスCO_2供給システムによる500 L規模の微細藻類の大量培養を実現

研究開発責任者（山村寛　中央大学）
共同研究参加者（丁青、ジョイキ、ゴシュウエイ、リュウウテイ、石井崇晃　中央大学
中原禎仁、安保貴永、谷崎美江、竹内康雄、今北純哉　三菱ケミカル㈱
福井祐子、北井崇博　パナソニック㈱）

1　最終年度までに達成した研究開発内容の新規性と優位性





- **非多孔中空糸膜を用いて、曝気レスで微細藻類培養液に一定濃度のCO₂を供給できるシステムを開発した**　4倍！
- 曝気レスCO₂供給システムを用いて、純CO₂で屋内500 L規模の微細藻類培養を実現、開放型酸性pH培養において、CO₂利用効率を5%から21%までに向上できた　2倍！
- 曝気レスCO₂供給システムを用いて、実排ガスで屋外1500 L規模の微細藻類培養を実現、開放型酸性pH培養において、CO₂利用効率を5%から10%までに向上できた
- 溶存酸素の蓄積を抑制することで、曝気レスCO₂供給システムを閉鎖型微細藻類培養に適用

2　今後取組む課題解決の展望（非競争領域で継続して取組むもの、競争領域で取組むこと）について

- 曝気レスCO₂供給システムのユニット化と自律運転化を進め、エンジニアリング会社と協力して、国内外への販売体制を構築
- 屋外で低CO₂ロス、低駆動エネルギー化をめざした自律運転が可能となる次世代型大規模培養リアクターの開発を目指す

課題2-2

屋外バイオリアクターの整備拡張と大量培養スクリーニングの常時実施

研究開発責任者（河野重行　東京大学）
共同研究参加者（竹下 毅　㈱アルガルバイオ）

1　最終年度までに達成した研究開発内容の新規性と優位性

東京大学は、チェコ式バイオリアクター（開放型）2台を柏キャンパス生命棟の屋上から、㈱アルガルバイオの農業資材温室を利用した培養施設に移設して、150Lのバッチ培養の比較実験を可能にした。なお、懸案であった、1,200Lチューブ式バイオリアクター（閉鎖型）2台の導入については、㈱アルガルバイオがNEDOのシード期の研究開発型スタートアップの事業化支援の助成を受けて建設に漕ぎ着けた。これによって開放型と閉鎖型のバイオリアクターで大量培養のコスト計算やCO2収支を測定できるようになった。

図1　チューブ式バイオリアクターを用いたプロジェクトイメージ　NEDOのSTEP-0事業化支援で提案予定のマルチバイオリアクターシステム

図2　培養スケールの拡大で1KLチューブ式培養へ　図7アルガルバイオ社の1KLチューブ式培養設置は令和3年3月18日の参観者が見ても驚きました。

2　今後取組む課題解決の展望（非競争領域で継続して取組むもの、競争領域で取組むこと）について

チューブ式についてはNEDOの予算であることに加え㈱アルガルバイオが商業生産を始めるので、競争領域となることから、課題2-2は2023年3月31日で早期終了することに計画変更した。ただ、微細藻類の回収に関して、今後の培養規模拡大とさらなるコストダウンを視野に入れ、中央大学山村教授の開発した、中空糸膜を用いた膜分離法など非競争領域の技術も不可欠で今後バランスの取れた対応が望まれる。

研究開発課題3「触媒化学による微細藻類バイオマスからの燃料と機能性化学品合成」

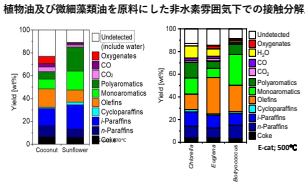
課題3-7

油脂の脱酸素化による効率的な炭化水素燃料への転換

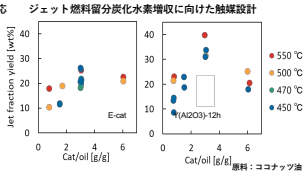
研究開発責任者（嶋田五百里　信州大学）
共同研究参加者（鈴木健吾、阿閉耕平　株式会社ユーグレナ）

1　最終年度までに達成した研究開発内容の新規性と優位性

植物油及び微細藻類油を原料にした非水素雰囲気下での接触分解反応



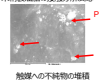
ジェット燃料留分炭化水素増収に向けた触媒設計



- 非水素雰囲気下で脱酸素反応が進行
- 芳香族化合物などの不飽和炭化水素の直接生成

メソ孔を発達させた触媒を用いると、工業用平衡触媒（E-cat）と比較してジェット留分炭化水素が増収（最大で40wt%）

2　今後取組む課題解決の展望（非競争領域で継続して取組むもの、競争領域で取組むこと）について



未精製油脂中に含まれる不純物（特にリン）が触媒上に堆積すると触媒活性が低下する

藻類油からのリン回収とリサイクル技術の確立

課題3-10

微細藻類の従属栄養大量培養による甜菜糖蜜から油脂へのバイオマス転換

研究開発責任者（河野重行　東京大学）
共同研究参加者（成田　忍　ホクレン農業協同組合連合会）

1　最終年度までに達成した研究開発内容の新規性と優位性

微細藻類の従属栄養大量培養による甜菜糖蜜から油脂へのバイオマス転換を可能とするために、優良油脂増産株をもちいて三相分離を含め新規の油脂抽出法を再検討する。糖業試算によれば2030年にはテンサイ糖蜜とショ糖合わせて14.6万ᵗ。が余剰分として供給可能である（図1）。微細藻類バイオマスの典型的な分子式 $CO_{0.48}H_{1.83}N_{0.11}P_{0.01}$であり、糖蜜（ショ糖）は$CH_{1.83}O_{0.917}$なので、バイオマス転換係数は1.22となり、14.6万ᵗ。の糖蜜から59.3万トンのバイオマスが生産できることになる。従属栄養の場合もオイル含量を約50%とすれば少なくとも油脂で4.7万ᵗ。となる。

図1　甜菜糖蜜によるクロレラ培養と油脂抽出　甜菜の栽培、収穫、ホクレン中斜里製糖工場での甜菜糖と糖蜜の生産、クロレラ培養とフクヂスレーによる油脂抽出を模式的に示した。

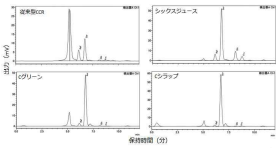


図2　HPLCによる典型的なテンサイ糖蜜の溶出パターン　右から単糖のフルクトース、グルコース、二糖のショ糖、三糖のラフィノースとなる。より高分子側のピークはペクチンと思われる。

タンク培養（従属栄養培養）による炭素固定効率は78%とされている。こうした培養に使われることが期待されているテンサイ糖蜜を分析した(図2)。クロレラはショ糖をグルコースとフルクトースに分解して使っているので、増殖を早めるためには糖蜜やショ糖は酸で加水分解して与えたほうがより効果的で、こうした新規の手法の検討が今後の具体的な課題となる。

2　今後取組む課題解決の展望（非競争領域で継続して取組むもの、競争領域で取組むこと）について

甜菜糖蜜を使った従属栄養培養により微細藻類の大量培養が可能になり大量のバイオマスが入手できるが、それに応じて油脂抽出方法を検討する必要がある。甜菜糖蜜による従属栄養培養で大量培養したバイオマスからの油脂の抽出法を検討し、甜菜糖蜜から油脂へのバイオマス転換を完結する。プロジェクト終了後、ホクレンは、大量培養と油脂抽出の実証実験設備を整えることは可能としており、東京大学と共同で大容量の油脂の抽出条件などを検討するが、競争領域での共同研究になる見込みである。