

論文・解説

17

## 微細藻類を利用したバイオ燃料生産に向けた取り組み

## Initiatives to Produce Biofuel Using Microalgae

前田 真一郎<sup>\*1</sup> 興梠 武久<sup>\*2</sup> 市川 和男<sup>\*3</sup>  
Shinichiro Maeda Takehisa Koroki Kazuo Ichikawa  
田中 博己<sup>\*4</sup>  
Hiromi Tanaka

## 要約

生産性が高く食糧競合がない微細藻類が生成する油脂を原料とするバイオ燃料は、カーボンニュートラルに向けた液体燃料の有力候補である。マツダでは微細藻類の中でも、藻体乾燥重量当たり最大50%以上油脂を蓄積することができる海産性微細藻類ナンノクロロプシスによる燃料生産の研究に取り組んでいる。実用化には製造コストが課題となるが、モデルによる検討で油脂生産効率の向上が製造コスト削減に効果的であることがわかった。そこで、ナンノクロロプシスの油脂生産効率向上に産学連携で取り組んだ結果、一般的な微細藻類培養のおよそ8倍となる油脂生産効率を屋内培養（5Lスケール）で達成した。更に、培養時に必要な栄養の確保について、マツダ工場排水の中から油脂生産効率を落とすことなく培養に利用できる排水を見出した。また、取り組みを加速するため、自動車開発に用いているモデルベース開発技術の考え方を、微細藻類バイオ燃料研究へ適用する取り組みも進めており、培養から燃料製造まで机上検討できるモデル基盤の構築を進めている。

## Abstract

Biofuels made from oils produced by microalgae, which are highly productive and do not compete with food sources, are promising candidates for liquid fuels toward carbon neutrality. Mazda is currently conducting research into fuel production using the marine microalgae *Nannochloropsis*, which can accumulate up to 50% oil per dry weight. Production costs remain a challenge for practical application, but modeling studies have shown that improving oil production efficiency would be an effective way to reduce production costs. Therefore, through industry-academia collaboration, we worked to improve the oil production efficiency of *Nannochloropsis*, and as a result, we achieved an oil production efficiency in indoor cultivation (5L scale) that was approximately eight times higher than that of general microalgae cultivation. Furthermore, to ensure the necessary nutrients for cultivation, they discovered that wastewater from the Mazda factory could be used for cultivation without reducing oil production efficiency. To accelerate this effort, we are applying the model-based development technology we use in automobile development to our research into microalgae biofuel, and working to build a model platform that will enable desktop studies of everything from cultivation to fuel production.

**Key words** : Algae Biofuel, Alternative fuel, Energy manufacturing

## 1. はじめに

自動車のカーボンニュートラル化（以下CN化）は、life-cycle assessment（以下LCA）の視点で取り組む必要がある。これは、車両走行時に排出されるCO<sub>2</sub>に加え、車両の製造、物流、走行時に用いる燃料及び電気の製造、

リサイクル及び廃棄に至るまでの包括的なCO<sub>2</sub>排出量を下げることが意味する。電気自動車（以下EV）は走行時にCO<sub>2</sub>を排出しないという点で、CN化に向けた有効なソリューションの一つである。一方、「LCA」の視点では、再生可能エネルギーが普及することにより、発電時や車両製造・廃棄時にCO<sub>2</sub>を排出しない前提が必要とな

\*1~3 技術研究所  
Technical Research Center

\*4 プラント技術部  
Plant Engineering Dept.

る。加えて、自動車の使われ方はさまざまであり、航続距離、充電時間など、EVには内燃機関搭載車と特性が異なる課題が存在する。

そこでマツダは、内燃機関や電動化技術などパワーユニットの展開を適材適所で行う「マルチソリューション戦略」を掲げ、本質的なCO<sub>2</sub>削減の取り組みを進めている。その中で内燃機関と組み合わせて用いるバイオ液体燃料は、実現性の高い重要なソリューションの一つと考えており、バイオ燃料の使用について内燃機関の検証試験も進めている<sup>(1)(2)</sup>。バイオ燃料は大気中のCO<sub>2</sub>を材料として成長した植物のバイオマスから生産しているため、発生するCO<sub>2</sub>の収支はゼロとみなすことができるため、CN化に向けた新たな再生可能エネルギーとして、さまざまな機関で研究開発が行われている<sup>(3)</sup>。しかし、一般的に植物が太陽エネルギーを用いてバイオマスを生産する効率は低いことから、自動車用燃料のような需要量の大きなものを生産しようとする場合、広大な土地が必要になるため、森林破壊の懸念や、原料が穀物の場合には食糧利用と競合する懸念が生じる。その中で微細藻類が生成する油脂を原料とするバイオ燃料（以下微細藻類バイオ燃料）は単位面積あたりの生産性がパームヤシの10倍以上、トウモロコシの数十倍と効率が優れる上に<sup>(4)</sup>、元々、食料利用されていないことから食糧との競合が起きないため、数あるバイオ燃料の中でも有力な候補の一つである。本稿は筆者らが産学連携で取り組んできた微細藻類バイオ燃料の実用化に向けた取り組みについて紹介する。

## 2. 微細藻類バイオ燃料の課題

大きなポテンシャルをもつ微細藻類バイオ燃料だが、製造コストが普及に向けた課題となっている。Fig. 1はマツダが構築したコストモデルを用いて、油脂生産効率と培養スケールを変化させ製造量と製造コストを試算した結果である。レースウェイ型培養器を用いた屋外培養における一般的な油脂生産効率を0.027 [g/L/day]とし1haの培養規模で藻類バイオ燃料生産を行った場合、市場導入には大幅なコスト削減が必要である。例えばFig. 1の油脂生産効率を0.027 [g/L/day]、培養面積1haの点から燃料製造コスト半減を目指す場合、油脂生産効率が0.027 [g/L/day]の前提では10haの培養面積が必要であるのに対し、油脂生産効率をその5倍の0.135 [g/L/day]とすれば、1haの培養面積で達成可能であることがわかる。この結果から油脂生産効率の向上が微細藻類バイオ燃料普及への近道であると考えた。

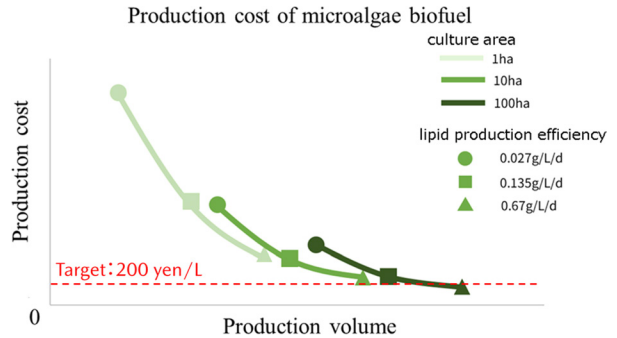


Fig. 1 Microalgae Biofuel Production Cost Prediction Results

## 3. 油脂生産効率向上に向けた研究

近年、生物学の分野では、情報科学的及び合成生物学的アプローチを組み合わせ、物質生産性を高めた細胞（スマートセル）を効率良く生み出す取り組みが登場した。マツダでも2017年4月に微細藻類バイオ燃料の研究拠点として国立大学法人広島大学（以下広島大学）大学院統合生命科学研究科内に共同研究講座「次世代自動車技術共同研究講座 藻類エネルギー創成研究室」を開設した。目的は油脂生産効率の革新であり、Fig. 2に示す研究体制で取り組んでいる。

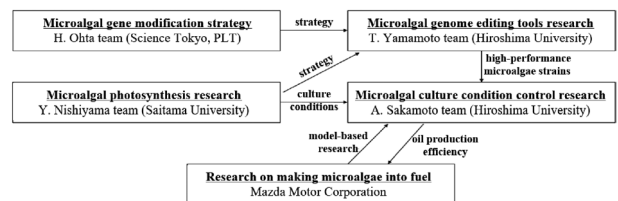


Fig. 2 Organization Chart of Microalgae Biofuel Research

まず、東京科学大学及び(株)ファイトリピッド・テクノロジーズ太田チームが植物脂質代謝メカニズムからの知見に基づき藻類遺伝子改変戦略を構築する。次に、広島大学山本チームが藻類遺伝子改変戦略を実現するゲノム編集ツールを構築し、油脂蓄積能力を飛躍的に向上しながらも遺伝子組換えに該当しない新規高性能藻類を作成する。次に、広島大学坂本チームが植物環境応答メカニズムから高性能株のポテンシャルを最大限引き出す培養条件制御戦略を構築する。更に、埼玉大学西山チームは光合成メカニズムから、藻類遺伝子改変戦略及び培養条件制御戦略の構築を行う。また、広島大学中井チームがマツダ工場内から排出される排水を栄養塩として培養に用いる技術を構築し、微細藻類バイオ燃料の製造コスト・CO<sub>2</sub>排出量の低減に貢献する。マツダは上記試験結果を統合し、モデルベース開発技術を活用した研究全体の推進を担っている。

### 3.1 藻類遺伝子改変戦略の導出

マツダは、燃料製造のベース藻体としてナンノクロロプシス (NIES-2145 株) を用いた。ナンノクロロプシスは微細藻類の中でも油脂を藻体乾燥重量当たり最大 50% 以上蓄積できる能力をもち<sup>(5)</sup>、水資源の問題が生じない海水で高密度に培養することが可能である。また、前述した油脂蓄積能力に加えて軽油主成分となる C16 炭化水素を豊富に含む特性をもっていることも製造コスト削減に資すると考えられる。Fig. 3 は同藻体内にて蓄積した脂肪酸の組成を比較した結果である。微細藻類は種類によって炭素鎖長が C12 から C22 のものまで、さまざまな脂肪酸を生産できることが特徴の一つであるが、ナンノクロロプシスでは軽油製造に適した炭素鎖長 C16 の脂肪酸を多分に含む。また、同時に 20:5 の脂肪酸を多分に含んでおり、これはエイコサペンタエン酸 (以下 EPA) 等の高度不飽和脂肪酸 (以下 PUFA) を多量に生産できることを示している。EPA はさまざまな生理活性をもち、健康食品として販売されるだけでなく、高純度の物は中性脂肪値改善のための医薬品として利用されている。しかし、現状は魚油から精製されるため安定的な原料供給について課題をもっている。ナンノクロロプシスが生産するこれらの成分を余すことなく利活用することで、燃料製造だけではなく、PUFA の安定的原料供給を実現することで医療や健康分野への貢献が期待できる。

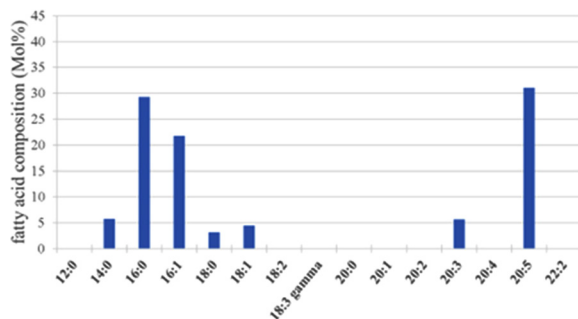


Fig. 3 Fatty Acid Composition of Nannochloropsis

遺伝子改変戦略について、油脂合成機能の強化、油脂分解機能の抑制、油脂蓄積調節因子の改変、光合成機能の強化の 4 つの方向から進めている。そのうち、油脂蓄積調節因子の改変株について紹介する。

多くの微細藻類は窒素が培養液から欠乏した時に油脂を蓄積し始める特性をもち、この特性は産業的油脂生産のトリガーとして広く用いられているが、一方で藻類の増殖が著しく阻害されるという課題があった。この課題に対し、ナンノクロロプシスでは窒素と同じく培養液に含まれる無機栄養塩であるリンの欠乏条件において、藻類の増殖を維持しながら油脂を高蓄積することが分かっている<sup>(6)</sup>。

そこでリン欠乏条件を油脂蓄積のトリガーとして用いることとし、更に、遺伝子改変によりリン欠乏トリガーに対する油脂蓄積応答を強化することによる油脂生産性

向上を試みた。ナンノクロロプシスのリン欠乏条件培養下における遺伝子発現解析と、そこから導出した候補遺伝子に対する相同組換えによる遺伝子破壊株の構築と培養評価により、SPX2 遺伝子の破壊がリン欠乏応答を強化し、油脂蓄積量が増加することを確認した (Fig. 4)。この SPX2 遺伝子は遺伝子破壊によってナンノクロロプシス細胞内リン蓄積量 (ポリリン酸量) の減少が確認されており、細胞内のリンが減少することにより培養液のリン欠乏に対する応答が強化されている可能性が示唆されている。

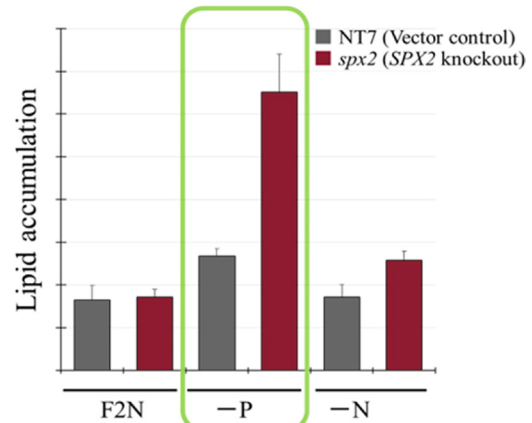


Fig. 4 Increased Lipid Accumulation by SPX2 Knockout

### 3.2 ゲノム編集による高性能藻類株の構築

バイオ燃料生産を目的とした微細藻類の遺伝子改変では、ゲノムの狙った場所に正確かつ高効率にデザインした変異を起こすことができるだけでなく、屋外大規模培養に使用できる技術であることが求められる。そのためには、生物の多様性の確保を目的として制定された、遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性確保に関する法律 (平成 15 年法律第 97 号、以下「カルタヘナ法」) における遺伝子組換え生物に該当しない遺伝子改変技術構築が重要となる<sup>(7)</sup>。広島大学山本チームは正確かつ高効率なゲノム編集ツールである Platinum TALEN 技術を保有しており、Fig. 5 に示すとおり、この技術をナンノクロロプシス用にデザインし、複数の遺伝子改変を行った後に細胞内からゲノム編集ツールを除去する機能を加えることに成功した<sup>(8)(9)</sup>。

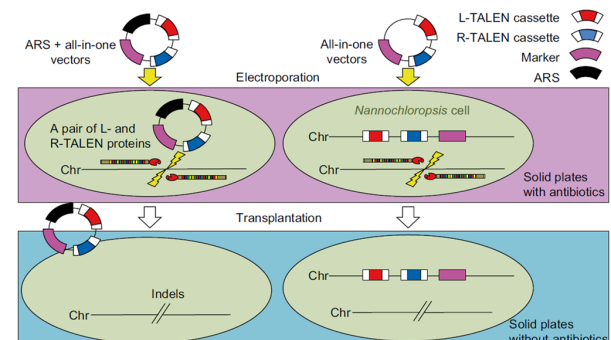


Fig. 5 Genome Editing Tools for Nannochloropsis

この技術により作成した藻類株は、最終的に得られた生物に細胞外で加工した核酸が含まれないため、カルタヘナ法における遺伝子組換え生物に該当しない。このシステムによる SPX2 遺伝子の破壊を行い、リン欠乏時培養での油脂生産性について、相同組換え技術により作成した SPX2 遺伝子破壊株と同等であることが確認できた。

### 3.3 培養条件制御による油脂生産効率最大化

ここでは SPX2 遺伝子破壊株の油脂生産効率最大化に向けた取り組みを紹介する。微細藻類培養の制御因子は光環境、培養液成分、通気攪拌条件、温度などがあり、更にそれらの制御因子を培養のステージに応じて適切に選択していくことが求められるため、総当たりの手法では実験数が膨大となる。そこで、あらかじめ研究者間で合意した目標油脂生産効率達成に向けたプロセス決定計画図 (PDPC 法) を作成して進めることで、評価ポイントを絞った取り組みとしている。また、培養のスケールについては、微細藻類のポテンシャルの評価は制御因子の物理的な制限を受けにくい試験管スケール (40mL) で評価し、そこから 500mL、5L とスケールアップの影響を評価している。その結果、光強度と CO<sub>2</sub> 濃度に加え、培養液の組成に工夫を加えることで、野生株において一般的な屋外培養の油脂生産効率と想定している 0.027 [g/L/day] から 5 倍となる 0.135 [g/L/day] を屋内培養 (5L) で達成した。更に SPX2 遺伝子破壊株では 8 倍に向上した 0.22 [g/L/day] の油脂生産性を屋内培養 (5L) で達成した。本稿では油脂蓄積調節因子の改変について報告したが、他の遺伝子改変についても検討を進めており、今後、遺伝子の多重改変による相加効果により、更なる油脂生産性の向上を目指す。

### 3.4 排水を活用した微細藻類培養の実現

微細藻類の培養には、陸上植物と同じく、光・水・栄養が必要になる。屋外での培養を前提とすると光は太陽光の利用を想定しており、水についてはナンノクロロプシスが海産性の微細藻類であるため海水が利用できる。一方で、栄養については必要量を購入した場合燃料のコスト増につながるだけでなく、栄養製造時のエネルギーに由来する CO<sub>2</sub> 排出が燃料の CO<sub>2</sub> 削減率に影響を及ぼす。そこで、自動車製造工場の排水の中から高生産性を実現できる栄養を見出し、藻類培養へ利用する技術の構築に取り組んだ。

Table 1 は一般的にナンノクロロプシスの培養に用いられる培養液の組成である。必要な栄養塩の中で大半を占めるのは、リンと窒素成分であることが分かる。リンについては、3.1 節で述べたとおり、リン欠乏培養を油脂蓄積のための培養条件として選択しているため、必要量は少ない。そこで、窒素成分についてマツダ工場排水で培養に使用できる可能性があるものを探索した。結果、

ナンノクロロプシスの培養に適する、硝酸態、亜硝酸態窒素を排出する製造工程が見つかった。一般的に植物の培養に用いられる窒素源はアンモニア態窒素と硝酸態窒素に大別されるが、ナンノクロロプシスは後者が培養に適していることが分かっており、排水を用いても生産効率を高い水準で維持できることが期待できる。

Table 1 The Component of f/2n Medium<sup>(10)</sup>

f/2 medium		f/2 metals	
NaNO <sub>3</sub>	7.5 mg	Na <sub>2</sub> EDTA · 2H <sub>2</sub> O	440 mg
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.6 mg	FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	316 mg
Vitamin B12	0.05 μg	CoSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1.2 mg
Biotin	0.05 μg	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	2.1 mg
Thiamine HCl	10 μg	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	18 mg
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	1 mg	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.7 mg
f/2 metals*	0.1 mL	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.7 mg
Seawater	99.9 mL	Distilled water	100 mL

\* See f/2 metals

また、排水処理という視点から考えると、工場では、専用の処理槽でこの排水にメタノールを添加しながら生物的な還元処理を行っており、処理のために CO<sub>2</sub> を排出している。この排水を資源に転換できれば、エネルギー生産及び排水処理の両面から CO<sub>2</sub> 削減に貢献できる。マツダは、実現可能性を評価するため、ナンノクロロプシスを用いた培養評価試験を実施した。

まず、通常の培地から窒素成分を除き、代わりに当該排水で窒素成分を補った培養液を作成し、通常用いる高生産性の培地 (通常培地) と比較する培養試験を実施した。その結果を Fig. 6 に示す。

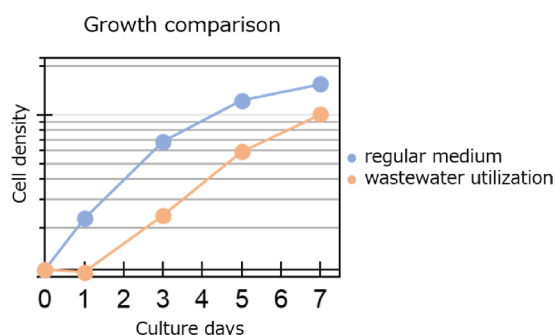


Fig. 6 Comparative Culture Test Results

前処理を行わない状態で培養液に添加したにもかかわらず、細胞が増殖していることが分かる。しかし、通常培地よりも細胞密度 (1mL あたりの細胞数) が全体的に低くなっている。この要因は、培養開始から 1 日目あたりまで細胞の増殖が止まっていることに起因しており、排水に硝酸塩と同時に含まれている亜硝酸塩の影響が考えられた。そこで、加える排水の濃度を 1/2 倍として同様の試験を実施した結果を Fig. 7 に示す。

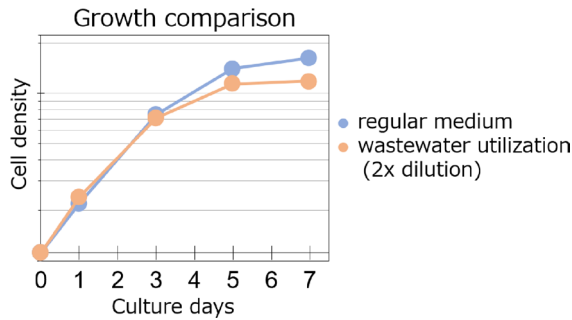


Fig. 7 Comparative Culture Test Results

培養初期の増殖阻害が消失しているのが分かる。また、培養後半で排水利用の培地の細胞密度が低くなっているが、これは縦軸をバイオマス密度（1mLあたりのバイオマス量）にして比較すると差がないことが確認できている。この要因は、窒素成分が半減したため、培養後半で窒素が欠乏状態となり、油脂蓄積が進んだ結果、個々の細胞のサイズが大きくなったことにより、少ない細胞密度でも同等のバイオマス密度になったと考える。これらの結果より、栄養塩の大半を占める窒素成分について、高生産性を維持したままマツダ工場の排水で置換できることが確認できた。

今後、微細藻類バイオ燃料のコスト・CO<sub>2</sub>排出量への貢献に加え、排水処理時のCO<sub>2</sub>排出量削減にも貢献しうる技術として、年間を通じた安定的培養の実現や、設備コストの算出等、実用化に向けた検討を進める。

### 3.5 モデルベース開発技術の適用

培養条件制御が目指す理想の姿は、対象となる微細藻類の油脂生産効率が最大となる細胞周囲環境を導出し、その環境をスケールアップしても維持することである。前者は細胞内機能からの生理学的アプローチであり、前述のとおり、広島大学坂本チーム、埼玉大学西山チームを中心に植物生理学の知見を活用し進めている。後者は、どのように理想の細胞周囲環境を実現していくかをデザインする工学的アプローチといえる。特に燃料生産分野では大スケールの生産設備が求められるため、実際に大規模プラントを建設し試行錯誤実験を行うことは現実的ではない。そのため、マツダが主体となりモデルベース開発技術を活用した机上予測技術の構築に取り組んでいる。また、藻類バイオマス原料から燃料までの製造プロセスの検討についてもモデルの活用が求められる。Fig. 8に微細藻類バイオ燃料研究のモデル化戦略を示す。

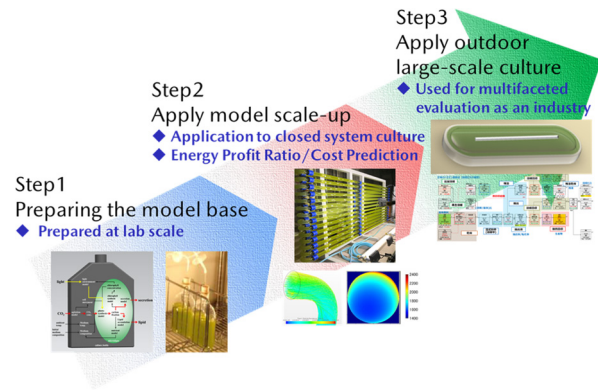


Fig. 8 Microalgae Biofuel Research Modeling Strategy

Step1ではモデル基盤の整備として、まずはラボスケールの培養モデル構築と培養から燃料製造までの製造プロセスモデルの構築に取り組む。Step2では構築した培養モデルのスケールアップ（閉鎖系培養）適用と製造プロセスモデルによるコスト、LCAの検討に取り組む。Step3では屋外大規模培養に対応した自然環境と培養環境をつなぐ培養モデルの進化を目指し、更に製造プロセスモデルについては燃料だけではなく機能性材料、医薬品、健康食品、固形燃料など産業として多面的利用されることへ対応したモデル進化を目指す。培養モデル構築について進捗の一例を紹介すると、Fig. 9はStep1に該当するラボスケールの培養モデル化の一例である。培養瓶を用いた通気培養については粒子法を用いた混相流解析により、通気による流動を明らかにしている。また、培養瓶が受けた光の透過についても予測可能なモデルを構築しており、実測したナンノクロロプシスの光合成曲線と組み合わせることでバイオマス生産予測を行っている。培養実験結果との比較では、バイオマス生産量予測に利用するには十分な精度をもつことを確認できた。

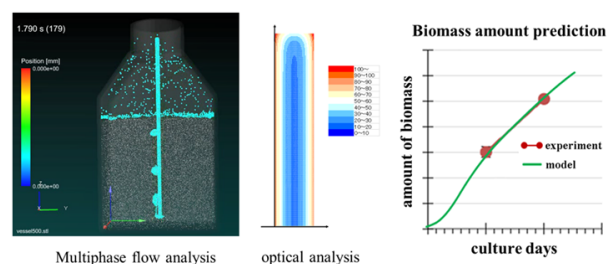


Fig. 9 Example of Modeling a Lab-Scale Culture

Fig. 10はStep2としてチューブ型バイオリクターにStep1で構築した培養モデルを適用した事例である。流動解析と光学解析をスケールアップに適応したツールを行うことにより、パイロットスケール培養のバイオマス生産性についても精度よく推定できることを確認済みである。

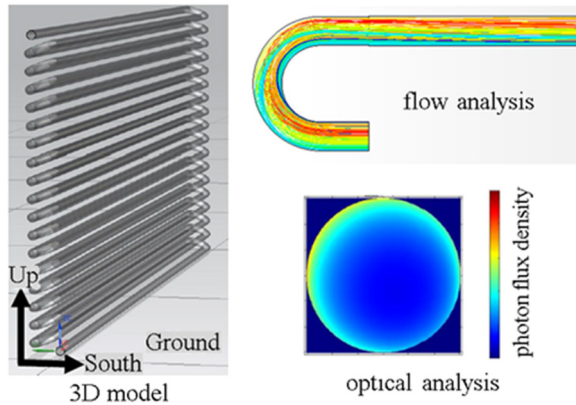


Fig. 10 Application of the Model to Tubular Bioreactors

また、微細藻類の培養から燃料製造までを扱う一貫プロセスモデルについては、エネルギー収支比、CO<sub>2</sub>削減率の計算も可能な基盤となるモデルが構築できており (Fig. 11)、これは前述の「2. 微細藻類バイオ燃料の課題」でコスト導出に用いたものである。

今後、モデルを活用しスケールアップしても油脂生産性が維持できる培養システムを構築し研究を加速させるとともに、屋外大規模培養による微細藻類バイオ燃料生産に対応した製造プロセスモデルを構築し、精度の高いモデル推定を用いた微細藻類バイオ燃料の普及シナリオ構築を進めていく。

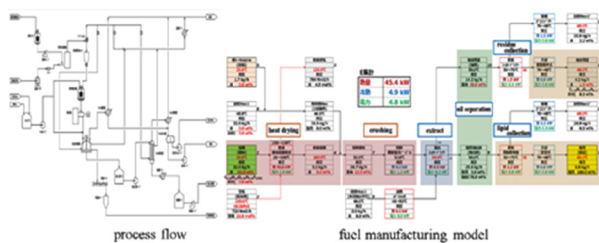


Fig. 11 Integrated Process Model

#### 4. まとめ

内燃機関搭載車のカーボンニュートラル化実現のため、藻類バイオ燃料の研究開発を産学連携で進めている。普及に向けた課題は製造コストであり、削減に向け油脂生産効率の向上に取り組んでいる。油脂生産性向上に向け、遺伝子改変により油脂蓄積能力を高めた高性能株の創出と、そのポテンシャルを最大限引き出す培養条件制御研究に取り組んでおり、高性能株の創出ではゲノム編集技術の応用で遺伝子組換えに該当しない高性能藻類の創出に成功した。この高性能藻類に対して培養条件の検討を行った結果、屋内培養 (5L) で、一般的な微細藻類培養による油脂生産効率のおよそ 8 倍となる 0.22 [g/L/day] を達成した。

また、高生産性培養に用いる栄養塩について、マツダ工場排水で置換できる技術を構築した。微細藻類バイオ

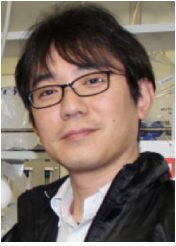
燃料のコスト削減・CO<sub>2</sub> 排出量低減への貢献に加え、排水処理時の CO<sub>2</sub> 排出量削減にも貢献しうる技術として実用化に向けた検討を進める。

更に、マツダが自動車開発に用いているモデルベース開発技術の考え方について、微細藻類バイオ燃料研究への適用を進めており、培養から燃料製造までを机上検討できるモデル基盤が構築できつつある。今後、これらを活用し微細藻類バイオ燃料の市場普及に向け研究を加速していく。

#### 参考文献

- (1) 福田ほか：SKYACTIV-D 3.3 において次世代バイオディーゼル燃料 HVO を利用可能にする取り組み、[マツダ技報, No.41, pp.112-118 \(2025\)](#)
- (2) 山内ほか：MAZDA SPIRIT RACING MAZDA3 Bio concept エンジンの紹介、[マツダ技報, No.41, pp.119-125 \(2025\)](#)
- (3) 資源エネルギー庁：令和 3 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2022)
- (4) 藻類産業創成コンソーシアム：農山漁村における走塁バイオマスファームの事業化可能性調査報告書 (2012)
- (5) T. Nobusawa et al.: Differently localized lysophosphatidic acid acyltransferases crucial for triacylglycerol biosynthesis in the oleaginous alga *Nannochloropsis*, *The Plant Journal*, 90 巻, 3 号, 547-559, 2017
- (6) 村上博紀, 太田啓之：藻類の栄養欠乏における脂質蓄積の分子メカニズムと有用脂質生産, *化学と生物*, Vol.59, No.1 (2021)
- (7) 環境省自然環境局長通知：ゲノム編集技術の利用により得られた生物であってカルタヘナ法に規定された「遺伝子組換え生物等」に該当しない生物の取扱いについて
- (8) T. Kurita et al.: Efficient and multiplexable genome editing using Platinum TALENs in oleaginous microalga, *Nannochloropsis oceanica* NIES-2145, *GENES TO CELLS*, 25 巻, 10 号, 695-702, 2020
- (9) T. Kurita et al.: Genome editing with removable TALEN vectors harboring a yeast centromere and autonomous replication sequence in oleaginous microalga, *Scientific Reports*, 15 巻, 12(1) 2480 号, 2022
- (10) R. R. L. Guillard, J. H. Ryther: Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt, and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran, *Can. J. Microbiol.*, 8, 229-239, 1962

■著者■



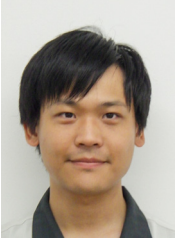
前田 真一郎



興梠 武久



市川 和男



田中 博己