

微細藻類による二酸化炭素の固定と有効利用

住友化学工業(株) 生命工学研究所

村 中 俊 哉*¹西 出 哲 也*²村 上 仁 一*³

Biological CO₂ Fixation and Utilization with Microalgae.

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Biotechnology Laboratory

Toshiya MURANAKA

Tetsuya NISHIDE

Masakazu MURAKAMI

New type of *Chlorella* sp. with high efficient in fixing CO₂ under high temperature and high CO₂ concentration were isolated after large-scale screening of microalgae in various natural environments. A low chlorophyll-content mutant of the *Chlorella* sp. showed a high performance of light-utilization efficiency under the high-cell-density culture with high illumination. We also cloned a desaturase gene of the alga, as a first step for the molecular breeding of green algae.

はじめに

大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度は、産業革命以前は280ppm程度であったが、石油・石炭などの化石燃料の燃焼により増大し、現在では360ppmになり、この間に地球全体の気温が0.5 上昇した。今後、開発途上国での経済発展に伴い、CO₂濃度は急速に増大し、地球温暖化による生態系への深刻な影響が懸念される。CO₂削減対策を講じない場合、2100年にはCO₂濃度が800ppmにまで増加することにより、気温が現在よりも2.5 上昇し、海面は約0.5m上昇するといわれている¹⁾。CO₂の削減対策として、石油などの化石燃料のエネルギー変換効率向上による省エネ効果に伴う間接的な削減や、植林によるCO₂吸収源の拡大などの他に、火力発電所などのCO₂固定発生源からの高濃度CO₂を直接的に回収し有効利用することも、CO₂削減策として検討されている。

植物や藻類などの光合成生物は、太陽エネルギーを利用してCO₂と水とから有機物を合成し酸素を発生する光合成を行っている。これら光合成生物によるCO₂固定量は年間1000億トン以上にもおよび、地球

上での炭素循環に大きな役割を果たしている。太陽エネルギーの理論的な最大利用効率は約10%であるが、自然環境における植物によるそれは、一般に1%以下という非常に低い値である。一方、主に水中で光合成する緑藻・ラン藻などの微細藻類は、陸上植物よりも太陽エネルギー利用効率が高く、培養する液体に分散して利用することができるため、他の微生物と同様、工業的に扱い易い性質を持っている。また、一部の微細藻類については、遺伝子導入系が確立されている。

私たちは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託研究「細菌・藻類等利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発」(以下、PJとする)の一環として、火力発電所などから大気中に排出される高濃度のCO₂を含むガスを、細菌や藻類の光合成を利用して有機物の形で固定し、それを有効活用することにより化石資源由来の物質に代替することで、直接的、あるいは、間接的にCO₂を削減するための技術開発を目指した研究を実施した²⁾。PJには、民間16社が参加し、大学・国立研究所との共同研究として1989年から実施され、2000年3月に終了した。

PJにおいて、私たちは、野外からの微細藻類の大規模スクリーニングによって、高効率にCO₂を固定する*Chlorella* sp.を取得し、本株の特性評価を行う

現職 *1：農業化学品研究所

*2：住友製薬(株)ゲノム科学研究所

*3：技術・経営企画室

とともに、遺伝子解析などにより新しいタイプの *Chlorella* sp. である可能性を示した。さらに、高密度培養に適した色素変異株の育種、および、将来的な *Chlorella* sp. の分子育種に向けた脂肪酸不飽和化酵素遺伝子のクローニングなどを行った。本稿ではこれらの研究成果について紹介するとともに、PJ 全体の評価、今後の課題について述べる。

高効率CO₂固定微細藻類の探索

1. 野外からの微細藻類の大規模スクリーニング

本PJがスタートする時点において、微細藻類に関するそれまでの応用研究例について検索したが、微細藻類は果たして火力発電所などの排ガス中に含まれる高濃度CO₂かつ高温中で効率よくCO₂を固定化する能力を持っているのか？また、どのような微細藻類がそれに適しているのか？といった問いに対する答えは見つからなかった。そこで、「考える限りの生育環境から微細藻類を網羅的にサンプリングする」というコンセプトの基にPJ参加団体間で分担を決め、微細藻類の大規模スクリーニングを開始した。私たちは、日本国内における淡水に生息する微細藻類のスクリーニングを担当し、PJ前半は、微細藻類の採取・培養・分離・同定・評価といった作業に集中した。約3年間で、北海道から鹿児島までの温泉(49地点、72サンプル)、鍾乳洞(15地点、39サンプル)、湖沼(11地点15サンプル)から藻類を含む水・泥を採取した。これらのサンプルを、組成の異なる複数の微細藻類用培地で予備培養を行い、増殖が確認できたものを「混合株」として、約800株をスクリーニングに供した。まず、1次スクリーニングとし

て25ないし35での増殖評価、続いて2次スクリーニングとして¹⁴Cラベルした炭酸水素ナトリウムの取り込みによる光合成能の評価により、比較的光合成能が高い混合株を選抜した。混合株には、複数の藻類が混在している可能性が考えられたため、マイクロマニピュレーターの使用、希釈法などにより単一藻類への単離を行った後、三次スクリーニングとして40の温度耐性、4次スクリーニングとして10%のCO₂耐性を指標としたスクリーニングにより、高温・高CO₂耐性藻類、計18株を選抜した。これらはいずれも緑藻に分類され、*Chlorella* 属11株、*Chlorococcum* 属5株、*Scenedesmus* 属1株、*Chlamydomonas* 属1株であった。

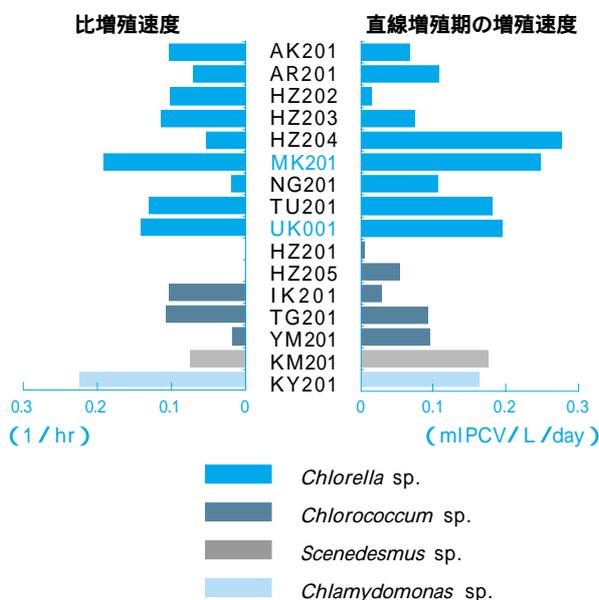
4次スクリーニングに残った微細藻類を、40、10%CO₂通気条件で培養し、比増殖速度、直線増殖期の増殖速度のいずれにおいても優れた株として *Chlorella* sp. UK001 株およびMK201 株を取得した(第1図)。

2. 増殖特性評価

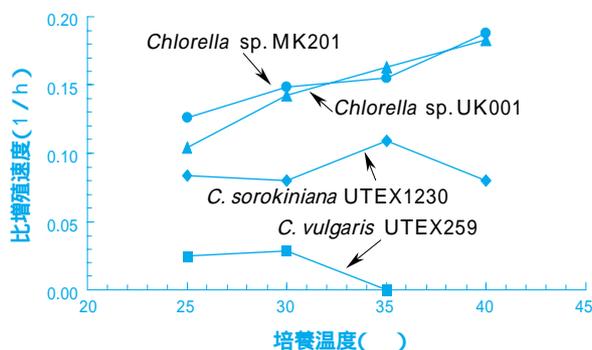
次に、高温・高CO₂耐性を指標としたスクリーニングにより選抜された *Chlorella* sp. UK001 株およびMK201 株(以下、それぞれ、UK001 株、MK201 株とする)の増殖特性評価を行った。通常用いられている藻類の培地は維持培養用に開発されたものが主であり、UK001 株およびMK201 株の増殖特性評価の培地としては適さないと考えられた。そこで、藻体組成分析、および、藻体によって消費される栄養塩の量から、藻体増殖に必要な無機栄養塩類の培地中濃度を求め、高密度まで安定して増殖させることが可能な培地(MC + 培地とした)を新たに作製した³⁾。また、微細藻類の特性検討を行う際の装置として、4~8本のサンプルを同時に通気、攪拌、光照射強度、温度を制御して培養することが可能な多検体培養システムを開発し、一方向からの光が均一に当たるように両面が平らな扁平プラスコも新たに設計した。

MC + 培地、多検体培養システムを用いて、UK001 株およびMK201 株の光、温度、CO₂、pH、および、塩濃度特性などについて検討した。まず、UK001 株およびMK201 株と細胞構造の類似した *Chlorella* sp. である *C. vulgaris*、*C. sorokiniana* との温度特性について比較した。その結果、*C. vulgaris* は35以上の高温では生育できないのに対し、UK001 株およびMK201 株は、*C. sorokiniana* と同様25~40までの幅広い温度で増殖することがわかった。この時、UK001 株およびMK201 株の比増殖速度は、*C. sorokiniana* のそれを大きく上回った(第2図)。また、50~1600 μE/m²/sの光照射条件下での増殖を検討した結果、UK001 株およびMK201 株は、

第1図 高温・高CO₂耐性微細藻類のスクリーニング



第2図 *Chlorella* sp.の培養温度による増殖速度の比較

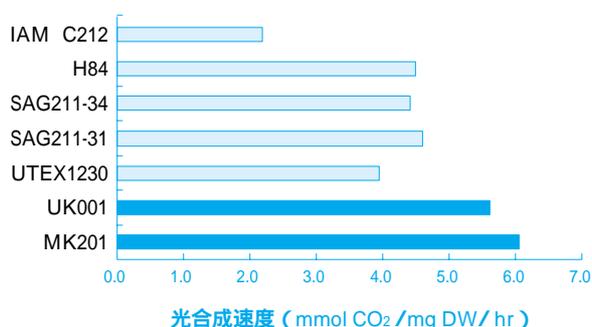


培養条件：光量子密度 $200\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ 、温度 $25\sim 40$ 、 CO_2 濃度 5% (1vvm)、MC+培地

ともに、強光条件下でも増殖が抑制されず、強光耐性も有することがわかった。比増殖速度は $800\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ まで増加し、その後ほぼ一定の値を示した。また、最大比増殖速度は、UK001株が $0.32(1/\text{hr})$ 、MK201が $0.35(1/\text{h})$ であった。このことは、これらの*Chlorella* sp.の倍加時間が約2時間であることを意味する。真核生物でしかも培地に有機物を含まない光独立培養条件下で、このようにバクテリアなみの脅威的な増殖速度を示す微細藻類は極めて珍しいと言える。

これまで、高温環境下で優れた増殖能を示す*Chlorella* sp.が他の研究者らにより報告されている⁴⁻⁶。私たちが野外から単離したUK001株、MK201株は、既存の高温耐性*Chlorella* sp.と比較しても確かに増殖能が高いのであろうか？そこで、各種研究機関で単離・同定された計10株の高温耐性藻類である*C. sorokiniana*と増殖速度および光合成速度を比較検討した。その結果、UK001株およびMK201株は、比増殖速度、直線増殖期の増殖速度、最大到達濃度、光合成速度のすべてにおいて、その他の*C. sorokiniana*のそれよりも最も高い値を示した(第3図)。

第3図 高温耐性*Chlorella* sp.の光合成速度



第1表 *Chlorella* sp. UK001株とMK201株との特性比較

	UK001	MK201
最大比増殖速度($1/\text{h}$)	0.32	0.35
半飽和定数($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	110	140
光補焦点($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$)	8.2	3.0
至適温度()	$25\sim 40$	$25\sim 40$
至適pH	$5\sim 8.5$	$5\sim 8.5$
至適 CO_2 濃度(%)	$5\sim 20$	$5\sim 20$
3%塩濃度耐性	なし	あり
発泡性	±	-
付着・分散性	-	-

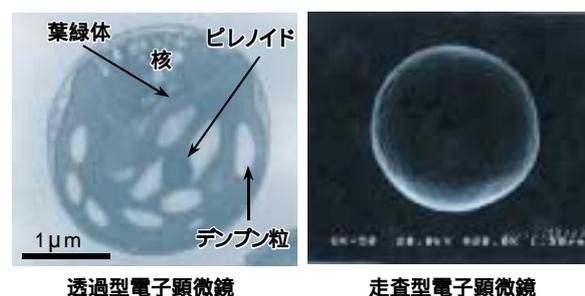
以上の結果から、UK001株およびMK201株は、従来から高温耐性株として同定されていた*C. sorokiniana*株よりも増殖能および光合成能に優れた株であることがわかった。

第1表にUK001株とMK201株との特性をまとめた。両株はほぼ同様な培養特性を持っており、至適温度 $25\sim 40$ 、至適 CO_2 濃度 $5\sim 20\%$ 、 $\text{pH}5\sim 8.5$ とさまざまな環境下で増殖可能な微細藻類であることがわかった。特にMK201株は、①光補償点(補償点以下の光強度では呼吸により放出される CO_2 が光合成で固定される CO_2 量を上回る)がUK001株の約 $1/3$ と低い値を示し、光供給が不十分な条件での生産性も有利であること、②3%NaCl濃度でも生育可能であり、培地として海水の利用が考えられること、③培養時の発泡性が少なく大量培養に適していること、などの点でUK001株よりも優れていた⁷⁾。

3. 遺伝子配列による種分類

電子顕微鏡観察の結果、*Chlorella* sp. UK001株、MK201株の両株とも、カップ状の葉緑体を持ち、細胞表面に模様がなくチラコイド膜がピレノイドを貫通していた(第4図)。このような構造の*Chlorella* sp.には、*C. vulgaris*、*C. sorokiniana*の2種がある。しかしながら、UK001株、MK201株は、ルテニウムによる細胞壁中の糖成分の染色性では陽性となり*C. vulgaris*との類似性を示すのに対し、温度特性に

第4図 *Chlorella* sp. UK001株



第5図 16S rRNA 遺伝子の配列比較
(配列の異なる部分のみのを示す)

Chlorella sp. UK001, MK201 5'-ATGGAATTGGCTTGCCAAAATTTA-3'
C. sorokiniana UTEX1230 5'-ATGCAATGAGGCTTGCTTCATTGTA-3'
C. vulgaris UTEX259 5'-CATGCAATTTGGCTTGCCAGATTGCG-3'

おいては高温耐性であり *C. sorokiniana* に近い特性を示したことから、種の同定ができなかった。

そこで、本株がどの *Chlorella* sp. に属するのかを検討するために、細菌の分類によく使用される 16S リボソームRNA(16S rRNA) 遺伝子の塩基配列をマーカーとして検討した。その結果、UK001 株、MK201 株の両株は、遺伝子データベース Genbank に登録されている *C. vulgaris*、*C. sorokiniana* の 16S rRNA 遺伝子配列の一部配列(以下、それぞれ 16S-CV、16S-CS とする)において、そのいずれとも異なった配列(以下、16S-MK とする)を持つことがわかった(第5図)。さらに、私たちが野外から単離したその他の高温・高CO₂ 耐性 *Chlorella* sp. および各種研究機関で保管されている *C. sorokiniana* について変異領域のシーケンスを行った結果、これらの株は、16S-CS 型と 16S-MK 型の2つに分類されることがわかった(第6図)。このことより、高温耐性 *Chlorella* sp. には、これまで知られていた *C. sorokiniana* を含め、少なくとも2種類あることが示唆された。興味深いことに、3%塩濃度耐性を示した株は、全て 16S-MK 型であった。また、16S-CS 型、16S-MK 型 *Chlorella* sp. は、同一の採取地からも単離されたことから、混在して生息していることが示唆された。

また、高温・高CO₂ 条件下で高い増殖能を示す *Chlorella* sp. は、16S-MK 型であったことから、16S rRNA 遺伝子配列を指標としたスクリーニングによって UK001 株や MK201 株に匹敵する高効率

Chlorella sp. を野外から迅速に単離できるのではないかと考えた。そこで、16S-MK、16S-CS、16S-CV に対する特異的 PCR プライマーをデザインし、3種の *Chlorella* sp. のゲノムDNA あるいは藻体そのままを鋳型としたPCRを行った結果、バンドの増幅の有無により、16S-MK、16S-CS、16S-CV を識別できることが分かった⁸⁾。さらに、野外から採取した藻体混合物のPCRによるスクリーニングにより、16S-MK、16S-CS、16S-CV を持つ *Chlorella* sp. をそれぞれ単離でき、16S-MK を持つ *Chlorella* sp. は、高温・高CO₂ 条件下で、高い増殖能を示した。以上の結果より、今後、本配列を指標とした微細藻類のスクリーニングを実施することにより、MK201 株あるいは UK001 株を上回る高効率 *Chlorella* sp. を取得できる可能性が示された。

4. 凍結保存

これまで、微細藻類の系統維持は、継代培養が行われてきたが、継代培養は多大な労力とコストがかかるとともに、培養過程での増殖不良や変異出現の可能性があった。そこで、私たちが野外から単離した高効率CO₂ 固定 *Chlorella* sp. の長期系統維持の方法として、哺乳動物などの培養細胞で長期保存法として有効である凍結保存法について検討した。微細藻類の凍結保存に関する文献が少なかったため、培養細胞、微生物などの凍結保存に関する研究例を参考に、凍結保存で重要となる因子(凍結細胞状態、凍結速度、凍害防御剤の種類・濃度、融解温度など)を洗い出し検討した。その結果、UK001 株、MK201 株の両株とも、凍結防御剤として安価な DMSO を用い、簡便に作業できる液体窒素浸漬凍結法で2年以上の長期間維持できることを確認した⁷⁾。

高効率CO₂ 固定 *Chlorella* sp. の育種研究

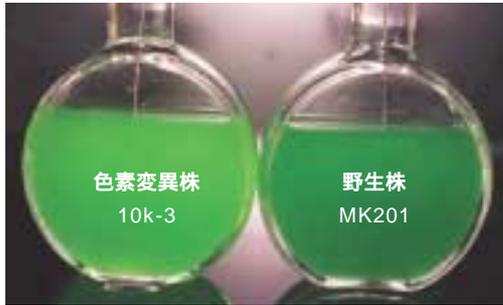
1. 変異処理による色素変異株の育種

光合成微細藻類の培養において、光量子の持つエネルギーは、クロロフィルなどのアンテナ色素に捉えられ、光合成系を経て最終的に化学エネルギーに変換される。強光下では、アンテナ色素が光量子を捕捉する速度が最大光合成速度を上回るため、過剰に捕捉された光量子は、光合成系には入らず、蛍光や熱として浪費されてしまう。すなわち、太陽光などの強光下では、色素は過剰量存在していることになる。一方、光合成微細藻類を高密度培養した際、藻体相互の遮蔽効果により、培養槽の深部にまで光が十分供給されず、光律速となり増殖能が低下すると考えられる。したがって、色素含量を人為的に減らすことができれば、藻体相互の遮蔽効果を抑え、強光培

第6図 16S rRNA 遺伝子配列による *Chlorella* sp. の分類

	16S rRNA	RR 染色	40 耐性
CV	<i>C. vulgaris</i> UTEX259, IAM C-27	+	-
MK	<i>C. sorokiniana</i> SAG211-31, 34 <i>Chlorella</i> sp. UK001, MK201, AK201 HZ202, AR201, HZ203	+	+
CS	<i>C. sorokiniana</i> UTEX1230, IAM C-212 SAG211-32, 40 <i>Chlorella</i> sp. HZ204, NG201, TU201	-	+

第7図 *Chlorella* sp. MK201 株と色素変異株



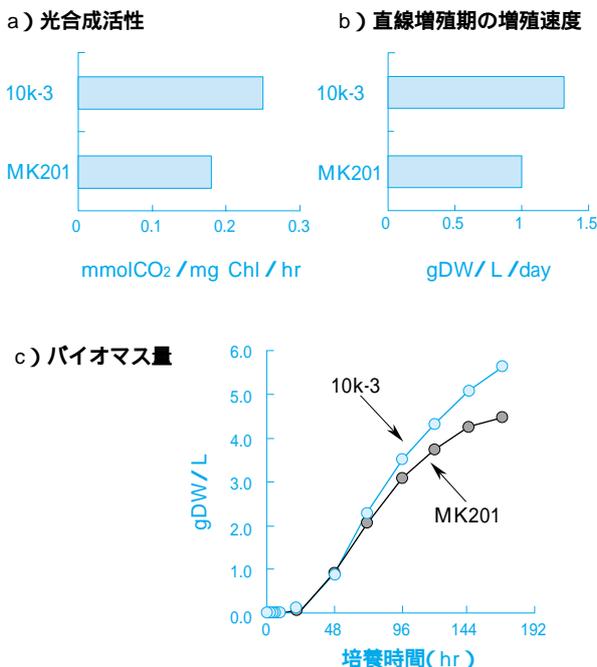
クロロフィル量 (mg/gDW)	a	b	a	b
	14.8	2.9	25.8	7.5

養に適した微細藻類を育種できると考えた。そこで、突然変異処理により、MK201 の色素含量が減少した変異株を作出し、その特性について検討した。

MK201 株に2 ~ 10kRad の軟X線を処理し、野生株(MK201 株)よりも肉眼で色の薄くなった色素変異株をスクリーニングした。このうち、無機培地においてMK201 株と同等もしくは高い増殖特性を示す5株を選抜し、最終的に、幅広い光強度で増殖能の高いMK201 10k-3 株(以下、10k-3 株とする)を以下の実験に用いた。

光強度 200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ で培養した時の藻体およびクロロフィル含量を第7図に示す。MK201 株が濃い緑色であるのに対し、10k-3 株は薄い緑色であるのがわかる。10k-3 株のクロロフィルa, b 含量は、MK201 株の約半分に減少していた。また、10k-3 株におけるクロロフィルあたりの光合成速度は、野生株に比べ

第8図 野生株(MK201)と色素変異株(10K-3)との特性比較



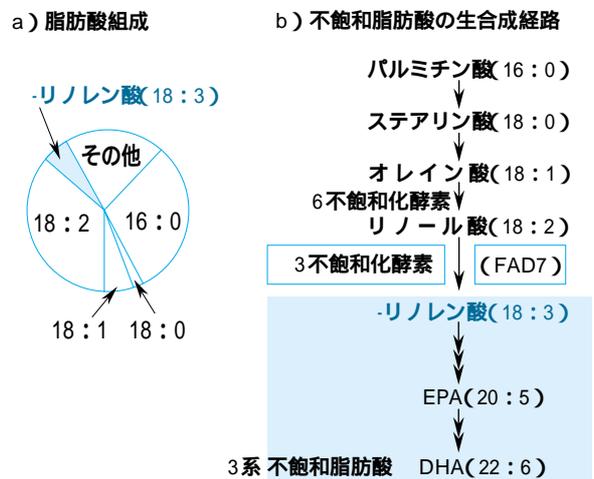
て、約1.4倍向上していた(第8図a)。

直線増殖期の増殖速度(第8図b)は、200 ~ 1600 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の光照射強度では10k-3 株の方が高い値を示した。このような強光下での培養では、細胞密度が増すと、MK201 株では、藻体相互の遮蔽効果により、培養槽内部の光源から離れた部分には光が十分に供給されず増殖速度の低下が生じる。それに対して10k-3 株では、クロロフィル含量が低いいため、MK201 株の培養時よりも培養槽のより内部に光が供給され、結果として、直線増殖期の増殖速度が野生株を上回ったと考えられる。第8図cに400 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ の光強度で培養した時の乾燥重量の推移を示す。10k-3 株の直線期の増殖速度は、MK201 株のそれに比べて3割程度も高い値を示し、また最終到達濃度も上回った。以上のように、色素変異の利用により、強光下での高密度培養に適した株を育種することができた⁷⁾。

2. 脂肪酸不飽和化酵素遺伝子のクローニング

微細藻類の培養によってCO₂ は、バイオマスとして固定される。得られた大量のバイオマスをいかに有効利用するかは、PJにおける大きな課題の一つである。UK001 およびMK201 株はタンパク質を50%程度含有し、動物にとって必須のアミノ酸や脂肪酸などの含量も高く、飼料・餌料としての利用が可能であることが明らかとなった⁹⁾。さらに、脂肪酸組成について分析した結果、パルミチン酸、リノール酸などの6系不飽和脂肪酸含量は高いものの、3系の不飽和脂肪酸である-リノレン酸の含量は低下していた(第9図a)。マグロ、ハマチなどの海産性魚類の稚魚では、3系不飽和脂肪酸であるエイコサペンタエン酸(EPA)、ドコサヘキサエン酸(DHA)などの高度不飽和脂肪酸は必須脂肪酸である。

第9図 *Chlorella* sp. MK201株の脂肪酸組成



分子生物学的手法を用いて、CO₂固定能の高い微細藻類に 3 不飽和脂肪酸合成能を付与することは、藻体の飼料・餌料としての付加価値を大きく高め、有効利用の観点から非常に重要である。そこで、高効率 *Chlorella* sp. の分子育種の第一段階として、MK201 株から、3 系脂肪酸合成の初発酵素である 3 脂肪酸不飽和化酵素遺伝子(第9図b)のクローニングを行った。サンプルの調製温度、遺伝子クローニング用プライマーのデザインなどの検討を行い、RT-PCR 法により、緑藻では初めての 3 脂肪酸不飽和化酵素(以下、MK-FAD7 とする)の cDNA および遺伝子をクローニングした¹⁰⁾。

これまでに単離された高等植物および、ラン藻の 3 脂肪酸不飽和化酵素との構造比較の結果、MK-FAD7 は、葉緑体型 3 脂肪酸不飽和化酵素であると推定した。UPGMA 法による系統樹の作成を行った結果、MK-FAD7 は、ラン藻と高等植物の間に位置することがわかった。また、大腸菌で産生させた MK-FAD7 タンパクは、3 脂肪酸不飽和化酵素活性を有することがわかった¹⁰⁾。

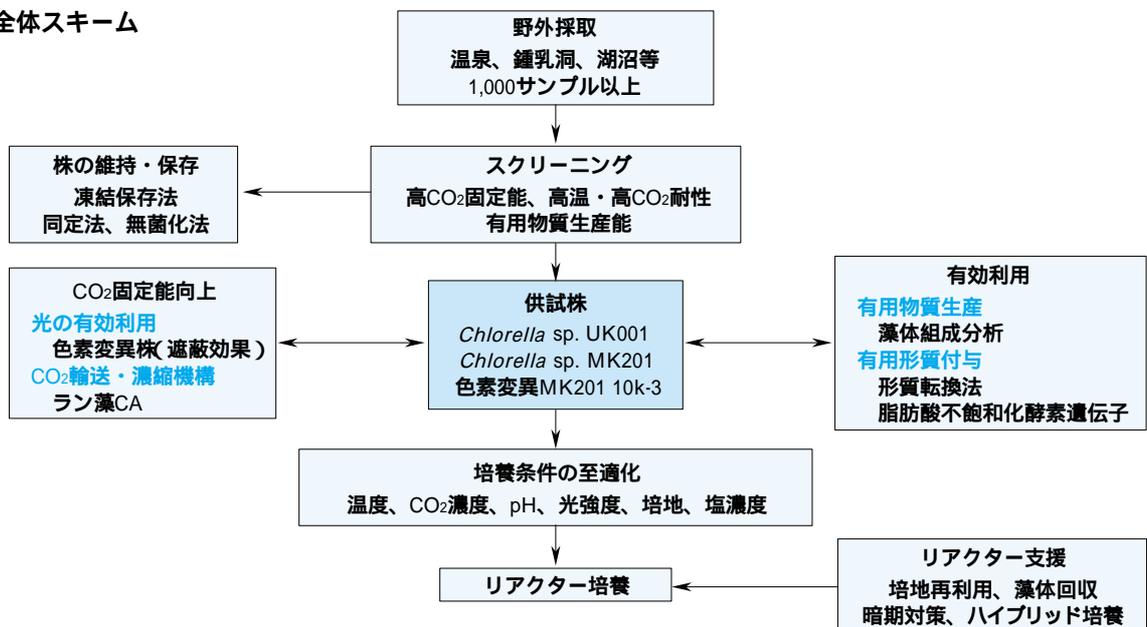
おわりに

私たちは、微細藻類の大規模スクリーニングを実施し、これまでに単離された *Chlorella* sp. のうち、高温・高CO₂条件下で最も優れた増殖能を有する *Chlorella* sp. UK001 株、およびMK201 株を取得した。さらにMK201 株の突然変異処理により強光下での高密度培養に適した色素変異株 *Chlorella* sp. MK201 10k-3 株を育種することができた。これらの3株はPJの供試株として登録された。特にUK001 株

は、PJの比較的早い段階で取得することができ、大型バイオリアクターでの培養試験、有効利用法の開発試験、トータルシステム検討など、PJ全体に幅広く用いられた。また、大型バイオリアクターの支援研究として、培地再利用の検討、夜間のバイオマス低下抑制検討、異なる集光色素を持つ緑藻とラン藻の混合培養などについても検討した。さらに、高効率 *Chlorella* sp. から、3 脂肪酸不飽和化酵素遺伝子をクローニングすることができた。本稿では紙面の都合上触れなかったが、私たちは、形質転換法が確立されているラン藻を用いて、いくつか興味深い知見を見出すことができた^{11, 12)}。*Chlorella* sp. 形質転換法の確立について今後の技術開発が待たれるところである。微細藻類の野外採取から高効率 *Chlorella* sp. リアクター培養までの全体のスキームを第10図に示す。

Chlorella sp. UK001 株、MK201 株、MK201 10k-3 株など、本PJでの探索研究によって得られた計7株の微細藻類は、太陽光をモデルにした10時間照明で1g CO₂ / L / day 以上の高いCO₂固定能を示した。また、UK001 株、および、ラン藻 *Synechocystis aquatilis* SI-2 株¹³⁾については、200L規模のバイオリアクターを用いた試験で森林のCO₂固定の約10倍である50g CO₂ / L / day もの固定能を示した。さらに、100万kw級の液化天然ガス火力発電所からの排出CO₂の固定をモデルとして、エネルギー収支、CO₂収支が成り立つことが確認できた。経済収支については、飼料としての利用を想定した場合、現在の飼料価格の10倍程度となったが、よりいっそうの技術開発を行うとともに炭素税、補助金などの資金援助を得ることができれば、経済的にも成り立つ可能性がある。PJの成果報告書は、NEDO 技術情報データ

第10図 全体スキーム



ベースからダウンロードできるので参考にされたい¹⁴⁾。

本PJは、2000年3月に終了し、その後、通産省の産業技術審議会において評価を受けた¹⁵⁾。今後は、これらの評価をふまえた上で、PJで得られた遺伝資源、技術、ノウハウなどの財産を生かした微細藻類によるCO₂固定の新たな展開に期待したい。

引用文献

- 1) 周 瑋生 : CO₂削減技術開発プロジェクト成果報告会要旨集, p1(2000)
- 2) 村上 仁一, 池上 雄二 : バイオサイエンスとインダストリー, 57, 460(1999)
- 3) 瀧本 善之, 村上 仁一, 山田 文博 : 特開平 10-155478(1998)
- 4) E. Kessler and V. A. R. Huss : *J. Phycol.*, 28, 550 (1992)
- 5) 坂本 庸一郎, 軽部 征夫 : 特開平 7-313141(1995)
- 6) 木村 直和, 小俣 浩次 : 特開平 8-116965(1996)
- 7) 村上 仁一, 村中 俊哉 : 特開 2000-078966(2000)
- 8) 村中 俊哉, 村上 仁一 : 特開 2000-069970(2000)
- 9) M. Murakami, F. Yamada, T. Nishide, T. Muranaka, N. Yamaguchi, Y. Takimoto : *Advances. in Chemical Conversions for Mitigating Carbon Dioxide Studies in Surface Science and Catalysis*, 114, 315(1997)
- 10) 村中 俊哉, 村上 仁一 : 特願平 11-344447(1999)
- 11) M. Murakami, N. Yamaguchi, T. Nishide, T. Muranaka, Y. Takimoto : *Advances. in Chemical Conversions for Mitigating Carbon Dioxide Studies in Surface Science and Catalysis*, 114, 629(1997)
- 12) 瀧本 善之, 村上 仁一, 山口 典子 : 特開平 10-023891(1998)
- 13) K. Zhang, N. Kurano, S. Miyachi : *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 52, 781(1998)
- 14) 細菌・藻類等利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発 成果報告書
<http://www.tech.nedo.go.jp/>
- 15) 審議会報告書 : 「細菌・藻類等利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発」最終評価報告書
<http://www.miti.go.jp/report-j/g-menu-j.htm>

PROFILE



村中 俊哉
Toshiya MURAKAMI
住友化学工業株式会社
農業化学品研究所
主席研究員、農学博士



村上 仁一
Masakazu MURAKAMI
住友化学工業株式会社
技術・経営企画室
主席部員



西出 哲也
Tetsuya NISHIDE
住友製薬株式会社
ゲノム科学研究所