

マリンバイオマスとクリーンエネルギー生産

Marine Biomass and Clean Energy Production

三井 旭*

Akira Mitsui

1. 自然界における海洋バイオマスの生産

海は、地球の三分の二の表面をしめているだけではなく、かなりの深さがあるので、海洋バイオマス生産のスペースは陸上に比べてかなり大きい。沿岸では、浅いところに生息する海草やマングローブが分布し、また大型海藻類が、緑藻、褐藻、紅藻、の順に浅いところからより深いところに分布し、かなりのバイオマスの生産を行っている¹⁻⁶⁾。しかしこれらは海洋での植物プランクトンや光合成細菌のバイオマス生産の総量に比べれば、かなり少ないとされている。海洋植物プランクトンは、微細緑藻類、藍藻類、石灰藻類、珪藻類などからなり、それらの分布の深さは、種類と季節と海域により異なるが、海水表面から約200mまであり、深さ80mから100mあたりにバイオマスのピークが見られることがある⁷⁾。光合成細菌のバイオマスのピークは、更に深いところにある。

植物性プランクトンの海洋バイオマスの測定法は種々あるが、光による $C^{14}O_2$ の取り組みやすすべての植物性プランクトンに含有するクロロフィルaの含量を測定するのがよいとされている。クロロフィルaの含量が乾燥藻体の1%であるとして計算すると、海洋での植物プランクトンによるバイオマス生産量は、 1.3×10^9 トンの乾燥重量と概算されている⁸⁾。クロロフィルa含有量は、植物プランクトンの種類により、また成長の時期、生育環境によりかなり変動するし、その後ごく微小な植物プランクトン(ナノプランクトン、ピコプランクトン)や石灰藻などが海洋にかなりの量生息していることが発見されているので、この値の補正が必要となるだろう。光合成細菌の海洋域と沿岸域での

バイオマスの概算はまだされていないが、かなりの生産量になるものと予想される。

2. 炭酸ガスの貯蔵源としての海洋

石油、ガソリン、石炭、天然ガス、アルコール燃料、木材など現在使われているエネルギー源はすべて炭素含有物である。これらの燃焼により炭酸ガスが大気中に排出され炭酸ガス量が年々増加している。その結果温室効果により気温の上昇がおこり種々の被害の原因となりつつある。大気中の炭酸ガスは、海洋表面から深さ平均75mまでの表面海水に急速に溶け込み、大気と表水面の間で平衡が保たれている⁹⁾。植物性プランクトンは海水中の炭酸濃度に対応して増殖し、大気中の炭酸ガス濃度を減少するのに大きく貢献している。

深海中には、表面海水の約60倍の炭素量が保持されている⁹⁾。大部分は重炭酸ソーダとして溶存しており、炭酸との間で炭酸-重炭酸バッファーを形成している。深海での炭酸ガスは、全炭酸量の1%以下である。しかし表面海水と深海海水間での平衡にはかなりの長い年月を要するが、最終的には大気中の炭酸ガスが表面海水に吸収され、深海海水へと移行し、保持される。それには数世紀の期間が必要といわれている⁹⁾。

現在の化石燃料の使用による炭酸ガス排出量は、短期間での海洋の炭酸ガス吸収貯蔵能力をはるかに越えているため、大気中の炭酸ガスが毎年上昇していることになる。

海洋のバイオマスを積極的に利用したり、増大する方法はいくつか考えられるが、他の海洋生物の環境やバランスの急速な変化につながり、多くの環境問題を併発する恐れがあるので、慎重に行わなければならない。

3. 炭素エネルギーシステムから水素エネルギーシステムへの変換

化石燃料(炭素エネルギー)の使用により大気中に

* International Research Center for Biological hydrogen Photoproduction, School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Director and Professor
〒33149 4600 Rickenbacker Causeway, Miami, Florida 33149 USA

急速に増加している炭酸ガスを減少するための様々な対策が始まっている。植林などによる陸上植物による炭酸固定量の増進、微細藻類の炭酸固定能を利用して、火力発電、製鉄工場などから排出される炭酸ガスを回収する技術開発、省エネルギー技術の開発による自動車からの炭酸ガス量の減少などが試みられている。

しかし現実的にみて、地球上の全ての炭酸ガス排出源からの炭酸ガスを減少することは困難であり、大気中の炭酸ガス上昇を大幅に押さえることは不可能であろう。また化石燃料の使用は、酸性雨の原因となる硫酸酸化物、窒素酸化物などの大気汚染物や有害物質を排出することになり、環境を破壊し、また人間の健康を阻害する。そのため化石燃料エネルギーシステムからの脱却が急務となっている。

化石燃料（炭素燃料）エネルギーシステムにかわるものとして、水素エネルギーシステムがある。水素は、燃焼により多量のエネルギーを遊離し、その生成物は水のみである。水素は炭素燃料ではないので、もちろん炭酸ガスを発生しないし、また前述の環境汚染物質や健康の阻害になる有毒物質も発生しないクリーンなエネルギーである。水素は企業、家庭、運輸（自動車、飛行機）など広い方面に使用できるエネルギーである。

世の中を水素エネルギーシステムに切り替えるためにはまず多量の水素を安価に生産する方法が必要である。水素生産の方法は数多くあるが、既存の高価なエネルギーや材料を使わず、また生産方法が環境変化や汚染を伴わないことが要望される。

微細藻類と太陽の光エネルギーを用いて常温常圧のもとで水を分解して水素を生産する方法は、上記の目的を満たしているといってもよい。太陽光と水（海水）は、無価であり、それを利用して微細藻類は増殖することができるので、新たな材料を必要としない。光合成細菌は、水を光で分解する能力はないが、環境汚染物質である硫化水素や環境に廃棄される有機物を光で分解して水を浄化しながら水素を生産する能力を持っている。光合成細菌もこれらを利用することにより増殖することができるので、やはり新たな材料を必要としない。

4. 熱帯・亜熱帯地域の環境保全と地球環境変化、地球環境汚染

熱帯・亜熱帯地帯の環境は、一般的に見ると北半球の先進国、アメリカ、日本、ヨーロッパ諸国に比べて汚染がまだ進んでいない。しかしこの地域で化石燃料

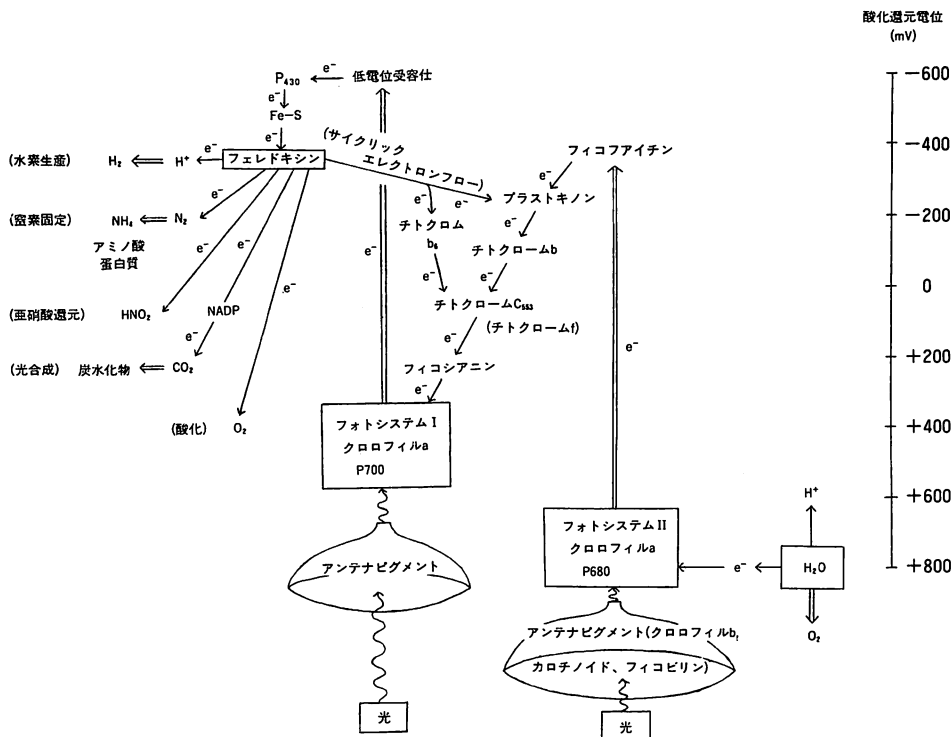


図-1 光と生物による水素生産機構と水素発生を阻害する諸反応

を使用した開発が行われると、現在の中国やメキシコでの例でわかるように、急速に汚染が進み、より多くの地球環境の変化、汚染が引き越こされることになる。幸いにこの地域は太陽光線と暖かい海水に恵まれ、また生産力の高い光合成微生物が生育しているので、この三者を利用して化石燃料に変わる水素のようなクリーンエネルギーを生産し、これを利用できるようにすることが地球環境の急速な変化・汚染を防ぐことにつながるようになるだろう。

5. 光と生物による水素生産機構

光と生物による水素生産は、光によって励起された電子が炭酸ガスに流れ込み、炭水化物を生成する反応（光合成）のショートカットの反応で、前述電子が直接プロトンに流れ込み、水素を発生する¹⁰⁾。

図-1にその機構の概要を示す。水は光システムII (P700) に到達する。光システムII (P680) により分解されて、 O_2 と H^+ と e^- となり、この励起された電子はフェオフィチン → プラストキノン → チトクロームb → チトクロームC₅₅₃ (またはチトクロームf) → プラストシアニンなどの電子伝達体にうけわたされ、光システムI に光が照射されると、電子 (e^-) が再び励起されて酸化還元電位の低い物質Xに受容され、それに続き電子は酸化還元電位のより高い物質 $P_{430} \rightarrow Fe-S \rightarrow$ フェレドキシンに順次に受け渡される。フェレドキシンの酸化還元電位は、約-420mvである。ふたつの光システムが存在すること及び電子伝達の経路は、光合成と水素生産とはまったく共通である^{10,11,12)}。還元型フェレドキシンの電子の流れる経路は、図-1の左側に記したように、水素発生、窒素固定、亜硝酸還元、光合成、酸素の還元、及びサイクリックフロー (図-1の中部

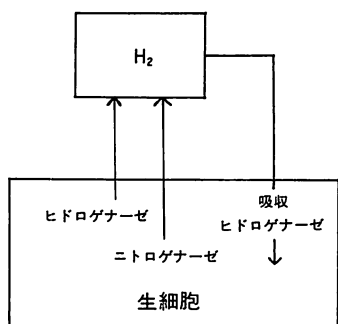


図-2 生細胞の水素発生酵素と水素吸収酵素

に記す) による電子伝達系のチェーンに戻る経路をとることになる^{10,11,12)}。 H_2 の酸化還元電位は、他の流れのルートがある場合は、電子は H^+ の方向に流れず、従って水素発生はおこらない。そのため水素発生を起こすためには、他の電子の流れを遮断することが必要となる。

図-2は、水素生産でのもう一つの重要点をしめしたものである。

光と生物による水素生産は、ヒドロゲナーゼまたはニトロゲナーゼの酵素の触媒によりおこなわれている。緑藻ではヒドロゲナーゼが関与し、藍藻と光合成細菌ではニトロゲナーゼが関与している^{13, 14)}。水素生産は、これらの酵素の活性の強さにより大きく左右される。更に重要なことは、生産された水素が、細胞内の吸収ヒドロゲナーゼによって再吸収されるために、水素生産量が減少することである^{15, 16)}。吸収ヒドロゲナーゼの活性の弱い藻菌株ほど水素生産量が高くなる。

6. 海産藍藻のバイオマス生産と海水と光による水素生産

以上の第一章から第四章までに述べた地球環境汚染問題改善の長期的な見地にたち、また私達が1960年から1963年にかけてカルフォルニア大学バークレイ本校で初めて成功した無細胞系による水素光生産 (人工光合成的水素生産) の実験結果を参考にし、生細胞系による水素光生産の基礎研究と応用研究が本格的に開始したのは、私がマイアミ大学の教授に赴任した直後の、第一次石油ショック以前の1972年であった。研究に要する資金や世間の地球環境問題への関心と認識の高まりに要する期間など考え、実際に現地で経済的に応用できるのは、30—50年後であろうと予測し、研究開発の計画がたてられたのは約20年前のことであった。その後、一步一步基礎と応用の研究が目的の方向にたゆまずに積み重ねられつつある。海水と光と光合成微生物を用いた水素生産の開発研究を継続的に行っているところは、世界で筆者の研究室、研究センターのみである。従って、以下に当研究室、研究センターでの研究の経過と成果を概述するとともに最新の研究成果を詳述する。

6.1 空気中窒素ガス固定海産藍藻株と光合成細菌株の採集、分離、純化とバイオマス生産

光と海水を用いてクリーンエネルギーの水素を生産するには、先ず微生物藻類のバイオマスを生産しなければならない。藻類の培養はアンモニア、硝酸、尿素

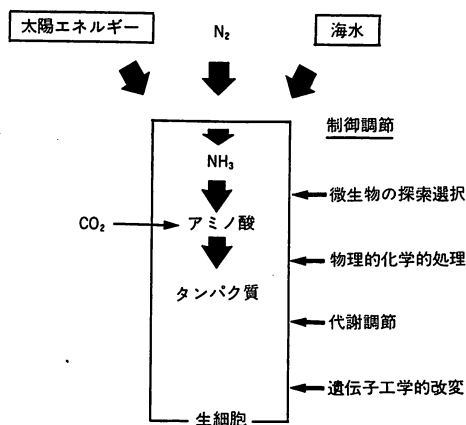


図-3 海産光合成微生物による窒素固定能力増進課程

などの窒素化合物を必要とする。これら窒素化合物の多く含まれている下水を海水に混ぜて藻類の培養を行うことは従来、一般的であり、海水を汚しながら藻類のバイオマスの生産をはかる方式がとられていた。この方式では、目的とする藻類以外に他の藻類も、場合によっては病原性のカビや微生物も混入増殖することとなる。しかしアンモニア、硝酸、尿素などの窒素化合物を使わないで空気中の窒素ガスを直接的に固定する光合成微生物がある。これらは藍藻類と光合成細菌類である。これらの藻菌株は、海水を汚さないでバイオマスを生産することができる。

これらの藻菌株の採集と分類と純化の仕事が約10-15年間持続して多数の研究員や学生の助力により遂行された。熱帯亜熱帯の種々異なる環境の海域から約8,000のサンプルが採集され、約2,000株の藍藻類と約200株の海産光合成細菌株が分離された¹⁷⁾。これらのなかには、淡水性微生物にはなかった種々の珍しい藻菌株が含まれていた。図-3に示す計画(20年前に作成したもの)に従ってこれらの藻菌株の窒素固定バイオマス生産能力の向上が一步一步おこなわれ、室内でも屋外でも海水を使って非常によく窒素固定をしながら増殖する多量の藍藻株、光合成細菌株が選択された^{17, 18)}。

6.2 光で水素を生産する海産藍藻類と海産光合成細菌株の検索と水素生産能力の増進

採集分離した窒素固定株のうちで増殖能力の高い海産藻菌株を用いて、第5章に述べた光と生物による水素発生機構を参考とし、高水素生産株の検索を行ったところ、今までになかったいくつかの高水素生産株が発見された^{17, 18, 19)}。そのうちで特に優秀な藻菌株の4

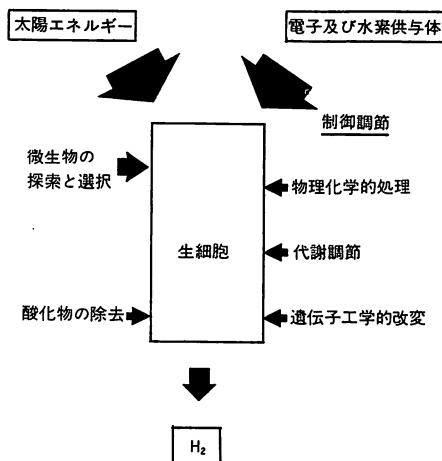


図-4 光合成微生物による光化学的水素発生能力増進課程

種が研究開発の候補株として選ばれた。これらは1) ヘテロシストを持たない連鎖細胞藍藻株、オシラトリア・マイアミBG 7、2) 好氣的窒素固定単細胞藍藻株、シネココッカス・マイアミBG 043511、3) 硫黄性光合成細菌株、クロマシウム・マイアミPBS 1071と4) 非硫黄性光合成細菌株、ロドシュードモナス(ロドバクター)マイアミPBE 2271であった。これらの優秀株を用いて20年前に計画した方法(図-4)に従って一步一步水素生産能力の向上が図られた。

1) 非ヘテロシスト連鎖細胞型藍藻、オシアトリア・マイアミBG 7による水素生産

普通の緑藻と藍藻は発生した水素を再吸収する吸収型ヒドロゲナーゼ酵素があるため水素生産は少量であり、閉じ込められた容器の中では数分から数時間しか持続しない。マイアミBG 7は吸収型ヒドロゲナーゼ酵素活性の欠けている藻株であるため¹⁶⁾、多量の水素を一週間も続けて閉じ込められた容器の中で生産することができる¹⁰⁾。このマイアミBG 7を用いて上記図-4に示した方法に従って水素発生能力を更に向上する研究が行われた¹⁶⁻²⁰⁾。またこの藍藻の水素生産機構の生化学的基礎研究の結果から藍藻体を寒天中に固定化することにより一週間水素を生産した後、一日だけ光合成をさせて水素生産能力を復活させる簡便法が確立された。この操作を繰り返すことにより一ヶ月以上持続して水素生産をすることが可能になった²⁰⁾。この課程で出てきた炭酸ガスは循環再利用され、海水が光で分解されて水素と酸素だけが分離して生産された。マイアミBG 7のこの課程による水素生産は、従来一番よく水

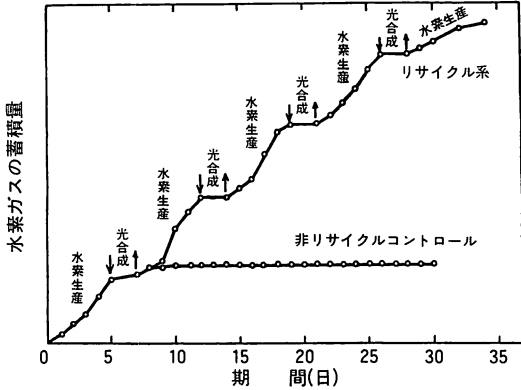


図-5 固定化したオシトリア・マイアミBG 7の水素発生—光合成リサイクルシステムによる野外太陽光線下での水素蓄積

素を出すと言われていたアナベナ・シリンドリカよりも数百倍であることが比較実験により実証された。

上記の室内での研究をもとにして屋外の太陽光線下で海水からの水素生産の小規模な実験が行われた。先ず、藍藻マイアミBG 7を寒天に固定して海水とともに容器につめる。太陽光線の照射による温度上昇は容器内のチューブに海水を循環することによって防ぐことが出来る。その後1日の光合成と7日の水素生産とを繰り返す、生じた炭酸ガスを循環することによって、炭酸ガスの新たな供給を伴わずに海水から水素と酸素が分離しながら研究室内実験と同じ速度で一ヶ月以上持続して生産することが出来た^{25, 26)} (図-5)。

2) 好氣的窒素固定単細胞藍藻株, シネコッカス・マイアミBG 043511株による水素生産

常識ではそんなものが居るはずがないと思われていた単細胞の好氣的窒素固定藍藻が海から発見され単離された^{27, 28, 29)}。この株はシネコッカス・マイアミBC 043511と命名された。窒素固定は微量の酸素が存在すると阻害されるが、この単細胞藍藻は細胞内で光合成により酸素が生成されているにもかかわらず、また培養中はげしく通気をしているにもかかわらず、照射下で窒素固定をしながら急速に増殖をし、高いバイオマスを生産する全く珍しいものである¹⁷⁾。

この不可能と考えられていた機構を解明するためにまずこの藻株の窒素の固定下での同調培養法が確立された³⁰⁻³³⁾。この藻株は同調培養すると、すべての細胞が同時に二つに分裂し、生長し、一定期間を経たのちまた同時分裂することが繰り返される。従って、生理生化学活性の均一な細胞が各時点で収穫できる。普通の培養 (random batch culture) は種々の生長時期の細胞の集まりであるため、細胞分裂周期 (Cell Cycle) に伴った活性を調べることは出来ない。

明暗のサイクルの導入により同調培養された藻は、連続光照射条件下でも同調して分裂生長を繰り返す^{31, 32)}。この同調培養中での諸活性を調べると、今までの常識では考えられなかった現象が発見された^{31, 32, 34)}。

図-6は実験結果に基づき同調培養中の細胞周期に伴った諸活性の変動を示した模式図である。図-6のDは細胞分裂の起こる時点をしめしている。図-6のAは光合成による酸素発生活性の変動を示している。

活性の全くない時期と活性の高い時期とが細胞分裂周

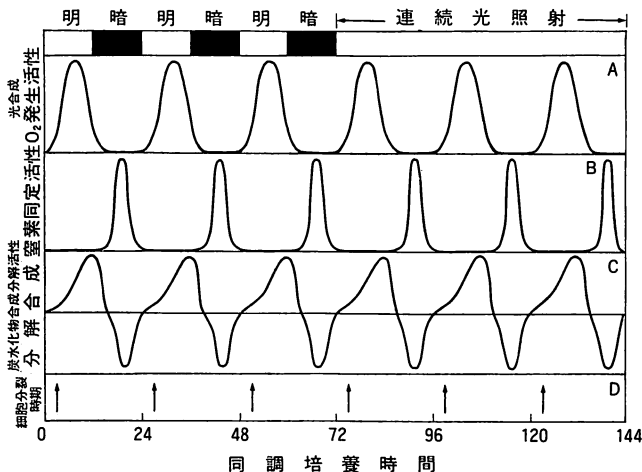


図-6 シネコッカス・マイアミBG 043511の同調培養中の諸活性の変動

期に伴って周期的に発現する。連続光照射下でもこの大きな変動が繰り返される。図-6のBは窒素固定活性（アセチレン還元活性）の変動を示している。この活性は細胞分裂周期に伴い、酸素発生活性がなくなった時期に急に現れ急に消滅する。従って、酸素発生と窒素固定とは細胞分裂周期に伴って、時期的に完全に分かれて行われる。従って光合成と窒素固定の相反する反応が一つの細胞の中でも可能となり、連続光照射下でも増殖し、高いバイオマス生産をすることが出来る。図-6のCは同調培養中の細胞内での炭水化物生成分解の速度の変動を示したものである。細胞分裂周期に伴って生成と分解が交互に起こる。これは連続光照射条件下でも見られる。常識では光照射下で光合成により炭水化物が生成蓄積し、暗所で呼吸により炭水化物が分解されることになっているが、連続光照射下でも分解が起こることはいままでの常識に反する現象である。図-6のBとCとの比較でわかるように、炭水化物の消費と窒素固定の発現とは鏡の関係にある。

この単細胞藍藻シネコッカス・マイアミBG043511は、普通の培養（random batch culture）では一時期に光の照射のより多量の水素と酸素を2：1の割合で生成する^{17, 19, 35}。しかしこの割合でのガスの同時生産は、爆発事故の危機を伴う恐れがあるので、水素と酸素を同調培養法により時間的に分離生産する研究が行われた。第5章で述べたように、藍藻における水素生産はニトロゲナーゼ酵素が触媒するので、図-6のCのニトロゲナーゼ酵素が発現した時期に水素生産の活性が予見された。実験結果は予想通りとなり、同調培養中セルサイクルに伴って酸素発生活性と水素発生活性が時期的に分離して発現された（三井、高橋、池本、須田、未発表）。この藻株について最近更に面白い現象が発見された。同調培養中の一時期の細胞を収穫して水素発生条件下に置くと、細胞は増殖することなく水素発生と酸素発生が時間的に分離して、一定時期に交互に行われるという生物時計的現象が起こる。これは基礎研究の課題としても面白いが、応用面でも利点を持っている。封じられた容器の中で12時間は水素が蓄積しその後の12時間は酸素のみが蓄積し、これが繰り返される^{36, 37}（図-7）。従って水素のみを収穫することが出来る。

この藻株の同調培養細胞は1 mlの藻体液当り12時間の光照射で7 mlの水素生産³⁷、藻類の中では最大水素生産能を持っている。

この藍藻は単細胞であり、同調培養により均一な藻

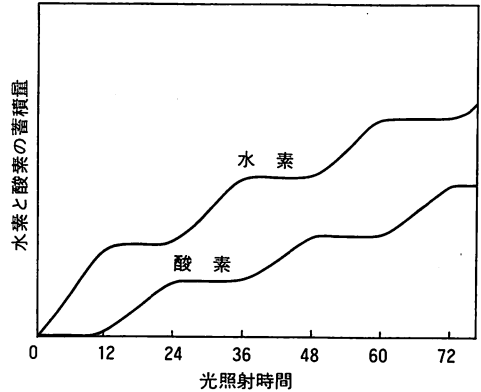


図7 同調培養藍藻シネコッカス・マイアミBG04351による細胞増殖に伴わない水素と酸素の生産模式図（Suda, Kumazawa, Mitsui, 1992, 三井・須田、未発表）

体が得られるので水素生産のための分子生物学的遺伝子学的改良にも適している。私達の研究センターではこの研究も始まっている。

3) 海産硫黄性光合成細菌クロマシウム・マイアミP BS1071による水素生産

この海産光合成細菌株は、硫化水素と光を用いて窒素固定をしながら急速に増殖する³⁸。増殖した菌株は光エネルギーを用いて硫化水素を消費しながら多量の水素を生成する^{18, 39}。菌体を固定すると安定して長期間に渡り持続して水素を生産する^{17, 40, 41}。この過程で污水に含まれている硫化水素は完全になくなり、浄化された水が生成される。屋外での太陽光線による実験により数日間持続して多量の水素が生成することが示された¹⁷。

4) 海産非硫黄性光合成細菌ロドシュードモナス(ロドバクター)・マイアミPBE2271による水素生産

この海産光合成細菌株は、光と幅広い種々の有機物を使って窒素固定をしながら急速に増殖する^{18, 19}。増殖した菌株は幅広い有機物を光で完全に炭酸ガスと水にまで分解して多量の水素を生産する^{18, 19}。この菌体を固定化すると、混入した酸素の阻害作用が緩和され、幅広い塩濃度下で長期間持続して水素を生産するようになる⁴²。

フロリダのオレンジ工場からの廃水を使った室内と屋外での水素発生実験では、汚染の尺度である、BO Dが水素発生に伴い減少し、水は浄化される。野外での太陽光線下では廃水を補給すれば少なくとも数日間は続けて水素を発生する^{17, 18, 41}。

7. 副産物の利用による水素生産の経済性の向上

光と生物による水素生産は、その副産物の生産と組合せることにより水素生産の経済性を向上することができる。この観点に立って、20年前から持続して副産物である健康食品や魚介類の飼料、新医薬品、化学工業物質、生化学物質、生化学試薬、酵素、肥料などの生産の開発が進められている。

図-8は20年前に作った計画図を少しだけ変えたものである。

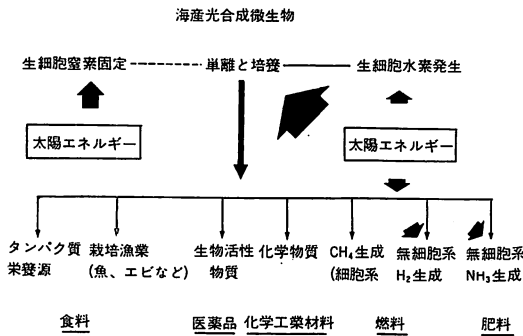


図-8 海産光合成微生物の多目的利用

水素生産とその後のバイオマスを利用による副産物生産との組合せにより、水素生産の経済性を向上することが出来るだろう^{15, 17, 43)}。

8. 結論

以上述べたように、光と海水を用いた海産光合成微生物の窒素固定によるバイオマス生産と水素生産は、長期計画のもとで目標に向かって一步一步進展している。この次の課題は光エネルギーの水素生産への効率の上昇を図ることと、野外での実験パイロットプラントによる水素生産結果からの経済性の検討であろう。いずれにしても室内での基礎的研究をもとにしてこれらの課題を国際的共同研究により遂行することが必要になるだろう。

最後に、これらの研究を支援する資金を提供してくれた。U. S. National Science Foundation, U. S. Department of Energy, NASA, Gulf Foundationと、日本の諸財団にこの場を借りてお礼を述べる。また、現在この研究の継続を支援しているNEDO-RITE, U. S. Department of Energy, 日本クリーンエネルギー研究所、及びその関係者に深い感謝を表明する。

またこの研究に協力してくれた当研究センターの方々に感謝する。

参考文献

- 1) Show, Jr., I. T., General description of primary productivity of macroflora. In : CRC Handbook of biosolar resources. Mitsui, A and Black, C. C. (Eds.), Vol. 1, Part 2, 433-436 (1982), CRC Press.
- 2) Show, Jr., I. T. primary productivity of macroflora in the Atlantic, North sea and Mediterranean. In : CRC Handbook of biosolar resource. Mitsui, A. and Black, C. C. (Eds), Vol. 1, Part 2, 439-440 (1982), CRC Press.
- 3) Daws, C, J., Primary productivity of macroalgae in Florida, the caribbea and the South Atlantic. In : CRC Handbook of biosolar resources. Mitsui, A. and Black, C. C. (Eds.) Vol. 1. Part 2, 441-445 (1982), CRC Press.
- 4) Coon, D., Primary productivity of macroalgae in North Pacific America. In : CRC Handbook of biosolar resources. Mitsui, A. and Black, C. C. (Eds), Vol. 1, Part 2, 440-453 (1982), CRC Press.
- 5) Aruga, Y., Primary productivity of macroalgae in Japanese regions. In : CRC Handbook of biosolar resources, Mitsui, A. and Black, C. C. (Eds.), Vol. 1, Part 2, 455-466 (1982), CRC Press.
- 6) Bunt J. S., Primary Productivity of marine benthic algae and macrophytes in Australia. In : CRC Handbook of biosolar resources Mitsui, A. and Black, C. C. (Eds.), Vol. 1, Part 1, 467-470 (1982), CRC Press.
- 7) Nemoto, R. (Eds.) Marine plankton (1974). University of Tokyo Press.
- 8) Ryther, J. R. Organic production by plankton and its environmental control. In : Ecology of algae. Tyron, Jr., and Hartman, R. T. (Eds.), 72-83 (1966), University of Pittsburgh Press.
- 9) Houghton, R. A., Global circulation of carbon. In : Biomass handbook. Kitami, O., and Hall, C. W. (Eds.), 56-61 (1981), Gordon and Breach Science Pub..
- 10) Mitsui, A. and Kumazawa, S. (1977). Hydrogen photoproduction by tropical marine photosynthetic organisms as a potential energy resources. In : Biological Solar Energy Conversion. (Eds.) A. Mitsui, S. Miyachi, A. San Pietro, S. Tamura. Academic Press, New York. pp.23-51.
- 11) Mitsui, A. (1976). Long range concepts : applications of photosynthetic hydrogen production and nitrogen fixation research. Proceedings of a Conference on Capturing the Sun through Bioconversion. The Washington Center for Metropolitan Studies, Washington, DC. pp.653-673.
- 12) Mitsui, A. (1979). Biological and biochemical hydrogen production. In : Solar Hydrogen Energy Systems. (Ed.)

- T. Ohta. Pergamon Press, Oxford and New York. Chap. 8, pp.171-191.
- 13) Mitsui, A. Duerr, E. Kumazawa, S. Philips, E. and Skjoldal. H. (1979). Biological solar energy conversion : Hydrogen production and nitrogen fixation by marine blue-green algae. In : Sun II. Proceedings of the International Solar Energy Society Silver Jubilee Congress, (Eds.)K. W. Boer and B. H. Glenn, Pergamon Press, New York. pp.31-35.
 - 14) Mitsui, A. (1981). A study of hydrogen production by tropical marine photosynthetic bacteria for applied systems. In : Proceedings of DOE Subcontractor's Review Meeting. Solar Hydrogen Production Program, SERI/SP-624-1096, PP. 1-19.
 - 15) Mitsui, A. (1981). Salt water Based based biological solar energy conversion for fuel, chemicals, fertilizer, food and feed. In : Proceedings of Bio-Energy '80. World Congress and Exposition (Ed.) Bio-Energy Council, Washington, D. C. pp.486-491.
 - 16) Kumazawa, S. and Mitsui. A. (1985). Comparative amperometric study of uptake hydrogenase and hydrogen photoproduction activities between heterocystous cyanobacterium *Anabaena cylindrica* strain B629 and non-heterocystous cyanobacterium *Oscillatoria* sp. strain Miami BG 7. Appl. Environ. Microbiol. 50 : 287-291.
 - 17) Mitsui, A., Kumazawa, S. Philips, E. J. Reddy, K. J. Gill, K. Renuka, B. R. Kusumi, T. G. Reyes-Vasques, Miyazawa, K. Hayne. s, L. Ikemoto, H. Duerr, E. Leon, C. B. Rosner, D. R. SESCO R and Moffat. E. (1985). Mass Cultivation of Algae and Photosynthetic Bacteria : Concepts and Application In : Biotechnology and Bioprocess Engineering (Ed.) T. K. Ghoe. International Union of Pure and Applied Chemistry and Indian National Science Academy, United India Press. New Delhl. pp.119-155.
 - 18) Mitsui, A., Ohta, Y. Frank, J. Kumazawa, S. Hill, C. Rosner, D. Barciela, S. Greenbaum, J. Haynes. L, Oliva, L. Dalton, P. Radway. J and Griffard. P. (1980). Photosynthetic bacteria as alternative energy source. Overview on hydrogen production research. In : Alternative Energy Sources II. Volume 8 (Ed.) T. N. Veziroglu. Hemisphere Publ. Co., Washington, D. C. pp.3484-3510.
 - 19) Mitsui, A, Philips, E. J. Kumazawa, S. Reddy, K. J. Ramachandran. S, Matsunga. T, Haynes. L, and Ikemoto. H. (1983). Progress in research toward outdoor biological hydrogen production using solar energy, sea water, and marine photosynthetic microorganisms. Ann. N. Y. Acad. Sci., 413 : 514-530.
 - 20) Kumazawa, S. and Mitsui. A. (1981). Characterization and optimization of hydrogen photoproduction by saltwater blue-green algae, *Oscillatoria* sp. Miami BG 7. I. Enhancement through limiting the supply of nitrogen nutrients. Int. J. of Hydrogen Energy, 6 : 339-348.
 - 21) Philips, E. J. and Mitsui. A. (1983). The role of light intensity and temperature in the regulation of hydrogen production by the marine cyanobacterium *Oscillatoria* sp. Miami BG 7. Appl. Environ. Microbiol. 45 : 1212-1220.
 - 22) Philips, E. J. and Mitsui. A. (1984). Development of hydrogen production activity in the marine blue-green algae *Oscillatoria* sp. Miami BG 7 under natural sunlight conditions. In : Abv. in Photosynthetic Research (Ed.) E. Sybesma, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publ., Hague, Vol. II : 801-804.
 - 23) Ramachandran, S. and Mitsui. A. (1984). Effect of sea water quality on biomass and hydrogen photoproduction by a marine blue-green algae *Oscillatoria* sp. Miami BG 7. In : Adv. in Photosynthesis Research. (Ed.) C. Sybesma Martinus/Dr. W. Junk Publ., Hague, Vol. II 805-808.
 - 24) Mitsui, A, Rosner, D. Kumazawa, S. Barciella, S. Philips, E. J. Ramachandran, S. Takahashi, A. and Richard, J. (1985). Hydrogen production from saltwater by marine bluegreen algae and solar radiation In : Proceedings of 22nd Space Congress. (Ed.) F. W. Haise, Canaveral Council of Tech. Soc., Cape Canaveral, Florida (Revised Form). pp.11.07-11.14
 - 25) Ramachandran, S. and Mitsui. A. (1986). Biosystem catalyzed continuous hydrogen photoproduction from seawater using solar energy. In : Proceedings of the 6 th International Symposium of Hydrogen Energy (Ed.) T. N. Veziroglu. pp.1371-1381.
 - 26) Mitsui, A, (1981). A study of hydrogen productings by tropical marine photosynthetic bacteria for applied systems. In : Proceedings of DOE Subcontractor's Review Meeting. Solar Hydrogen Production Program, SERI/SP-624-1095, pp. 1-19.
 - 27) Mitsui, A, (1978). Marine photosynthetic organisms as potential energy resources : Research on nitrogen fixation and hydrogen production. In : Proceedings of the 5 th International Ocean Development, Conference, IODC Organizing Committee. Tokyo Bi 29-52.
 - 28) Mitsui, A, (1987). Photobiological production of hydrogen from water and waste. Proceedings of the Hydrogen Photoproduction Workshop. (Eds.). A. Seki, B. Morgan and P. Takahashi. pp.32-39.
 - 29) Mitsui, A, and Cao. S. (1988). Isolation and culture of marine N₂-fixing unicellular cyanobacteria. Methods in Enzymology 167 : 105-113.
 - 30) Leon, C., Kumazawa, S. and Mitsui. A (1986). Cyclic appearance of aerobic nitrogenase activity during synchronous growth of unicellular cyanobacteria. Current Microbiol. 13 : 149-153.
 - 31) Mitsui, A. Kumazawa, S. Takahashi, A. Ikemoto, H. Cao. S and Arai. T. (1986). Strategy by which nitrogen-fixing unicellular cyanobacteria grow photoautotrophically. Nature 323 : 720-722.

- 32) Mitsui, A, Cao, S. Takahashi. A and Arai T (1987). Growth synchrony and cellular parameters of unicellular nitrogen-fixing marine cyanobacterium, Synechococcus sp. strain Miami BG 043511 under continuous illumination. Physiol. Plantarum. 69 : 1 - 8.
- 33) Mitsui. A and Kumazawa. S (1988). Nitrogen-fixation by synchronously growing unicellular aerobic nitrogen-fixing cyanobacteria. Methods in Enzymology. 167 : 484-490.
- 34) Kumazawa. S and Mitsui. A. (1992). Photosynthetic activities of a synchronously grown aerobic N₂-fixing unicellular cyanobacterium, Synchococcus sp. Miami BG 043511. J. Gen. Microbiol. 138 : 467-472.
- 35) Reddy, K.J. and Mitsui. A (1984). Simultaneous production of hydrogen and oxygen sa affected by light intensity in unicellular aerobic nitrogen fixing blue-green algae Oscillatoria sp. Miami BG 7. In : Adv. in Photosynthesis Research. (Ed.) C. Sybesma, Martinus/Dr. W. Junk Publ., Hague. Vol. II 785-788.
- 36) Suda, S., Kumazawa, S. and Mitsui. A (1992). Change in the H₂ photoaccumulation capability and cellular carbohydrate contents in a synchronously grown aerobic nitrogen-fixing cyanobacterium, Synchococcus sp. Miami BG 043511. Arch. Microbiol. 158 : 1 - 4.
- 37) Mitsui, A, (1992). Hydrogen photoproduction by Marine cyanobacteria for alternating the carbon energy sources. In : Short Communications of the 1991 International Marine Biotechnology Conference. T.C. Hunter-Cevera (Ed.). Wm. c. Brown Publishers, Dubuque, Iowa. Vol. 2 : 710-723.
- 38) Ohta. Y, Frank. J and Mitsui. A. (1981). Hydrogen production by marine photosynthetic bacteria : Effect of environmental factors and substrate specificity on the growth of hydrogen producing marine photosynthetic bacterium, Chromatium sp. Miami PBS 1071. Int. J. of Hydrogen Energy. 6 : 451-460.
- 39) Ohta. Y, and Mitsui, A, (1981). Enhancement of hydrogen production by marine Chromatium sp. Miami PBS 1071 grown in molecular nitrogen. In : Advance in Biotechnology. Volume II. (Eds.) M. Moo-Young and C. W. Robinson. Pergamon Press, Toronto. pp.303-307.
- 40) Ikemoto, H. and Mitsui. A. (1984). Continuous hydrogen photoproduction from sulfide by an immobilized marine photosynthetic bacterium, Chromatium sp. Miami PBS 1071. In : Adv. in Photosynthesis Research. (Ed.) C. Sybesma, MartinusNijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Hague. Vol. II : pp.789-792.
- 41) Mitsui, A, Masunaga. T, Ikemoto. H and Renuka. B. R. (1985). Organic and inorganic waste treatment and simultaneous photoproduction of hydrogen by immobilized photosynthetic bacteria. Dev. Indust. Microbiol. 26 : 209-222.
- 42) Matsunaga. T, and Mitsui. A. (1982). Seawater-based hydrogen production by immobilized marine photosynthetic bacteria. Biotech. Bioeng. S 12 : 441-450.
- 43) Mitsui, A, (1975). Multiple utilization of tropical and subtropical marine photosynthetic organisms. Proceedings of the 3rd International Ocean Development Conference. Seino Printing Co., 3 : 11-30.

協賛行事ごあんない

「第15回触媒燃焼に関するシンポジウム」開催案内

- | | | | |
|-------|--------------------------------------|--------|-------------------------------|
| 1. 主催 | 触媒燃焼研究会, 触媒学会 | 5. 参加費 | (資料代を含む. 当日受付) |
| 2. 協賛 | 日本化学会, 日本エネルギー学会他 | 会員 | 5,000円, 学生 1,000円, 非会員 8,000円 |
| 3. 日時 | 平成5年6月25日(金)13:30~17:40 | 6. 連絡先 | |
| 4. 会場 | 工学院大学新宿校舎28F会議室 (東京都新宿区西新宿1-24-2) | 〒816 | 春日市春日公園6-1 |
| | | | 九州大学総合理工学研究所材料開発工学専攻 |
| | | | 荒井 弘通 TEL 092-573-9611 (内310) |