

研究成果報告書

所属機関
静岡大学 学術院工学領域

職名
助教

氏名
佐野 吉彦

研究テーマ

中空糸を用いた藻類バイオ燃料の光合成大量培養技術の実現

研究報告

1. 研究の背景と目的

微細藻によるバイオ燃料生成技術とは、オイル生産量がとうもろこしに比べて100倍を超える微細藻類を人工的に培養することにより、二酸化炭素を固定しながらバイオ燃料を生成する技術である。これまで気候が安定している中東や欧米では、微細藻の培養装置に関して、屋外培養がコスト面から有利とされてきた。しかし、我が国のように四季が存在し、島国特有の高湿な気候では、野外培養よりも微生物の生息環境を室内で整えてやり、積極的に光合成を促しながら、オイルを生成していく「フォトバイオリクター」を選択するほうが賢明と考えている。このフォトバイオリクターは野外式に比べて、建設費が燃料コストに直接影響を与えるため、微細藻の増殖スピードをいかに上げるかが鍵となる。そこで、これまでは微細藻の増殖スピードを上げるために、光合成に必要な二酸化炭素を培養液に直接噴出するバブリング方式を採用してきた。しかし、この方法では供給した二酸化炭素のほとんどは溶解することなく大気に放出されてしまい、さらに、二酸化炭素を回収する装置はよりコストを押し上げてしまっていた。

これらの背景を踏まえて、本研究では国土の狭い我が国における微細藻の大量培養法を確立するべく、微細藻の栄養源の二酸化炭素を中空糸膜を介して供給するシステムを構築する。さらに、培養槽を幾層にも積み重ねる多段式培養システムを構築することで、床面積あたりの培養密度の増加を試みる。本研究では、中空糸膜培養および中空糸膜を活用した多段式培養システムの有用性を微細藻類の増殖速度の観点から検証していく。

2. 研究成果および考察

中空糸膜を用いた培養法の有用性を検証すべく、図1に示す培養システムにて、クロレラの培養を行った。ここでは、ガス交換膜モジュール(永柳工業)を培養槽とし、バイオリクターを作成した。このバイオリクターでは、中空糸の片端から二酸化炭素濃度20%の混合空気をポンペより供給し、もう一端では図1に示す赤色部分に栓を施した。つまり、ポンペからのガスは培養液を通過することになる。このとき、ポンペの2次圧をほぼ大気圧に設定することで、ガスは圧力差で供給されるのではなく、微細藻の光合成によって生じた二酸化炭素の濃度勾配によりガスが供給されていく。図2に本培養装置でクロレラを培養した際の、時間に対する増殖量を示す。中空糸膜を活用することにより、中空糸膜を使用していない培養に比べて、約5倍培養速度が向上していることが分かる。さらに、中空糸膜を使用した培養では、そのガス供給量は流量計で測定が困難なほど少量であることが分かり、バブリング培養に比べて二酸化炭素の使用量を大幅に抑えることができることが判明した。

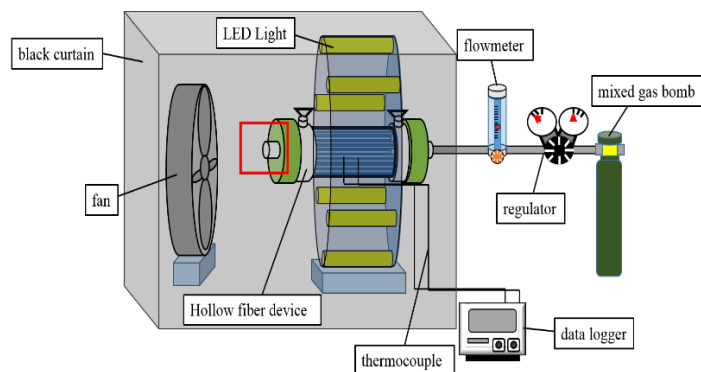


図1 中空糸膜培養装置

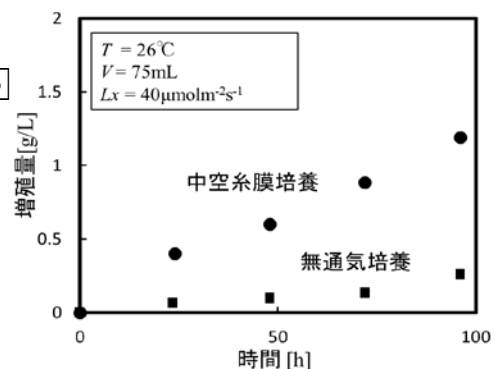


図2 中空糸膜を活用した際の培養速度

中空糸膜を活用した培養法の有用性を検証したのち、オイル含有量がひと際高いボトリオコッカスを用いて、中空糸膜を活用した多段式培養システムの開発を行った。ここでは、培養槽の大きさは10 Lとし、二酸化炭素の供給は平織状の中空糸膜（図3参照）を用い、光源にはLEDバックライト（赤：青=3:1、図4参照）を採用した。図5に培養槽単体の写真を示す。本実験では、培養槽を縦に3段積み上げることにより、多段式培養システムの効果を検討した。図6に多段式培養を行った際の培養挙動を示す。中空糸膜を活用することにより、ガス交換膜モジュールを用いた先の実験結果（図2）と同様、培養速度は中空糸膜を使用しない培養に比べて速いことが分かる。このことは中空糸膜培養の有用性だけでなく、本装置は微細藻の種に関係なく適応できることを同時に示している。また、全ての培養槽において、培養挙動は全て同じ傾向を示しており、多段式培養を採用することで、培養挙動を変えることなく、微細藻培養のスケールアップが見込めることが分かった。このことにより、土地面積あたりの収穫量は積み上げた培養槽の数に比例して増加することになり、本培養方式を採用することにより土地面積あたりの収穫量を大幅に上昇させることが可能となった。

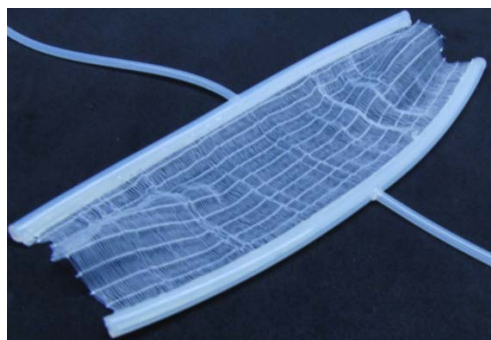


図3 平織り上中空糸



図4 LEDバックライト

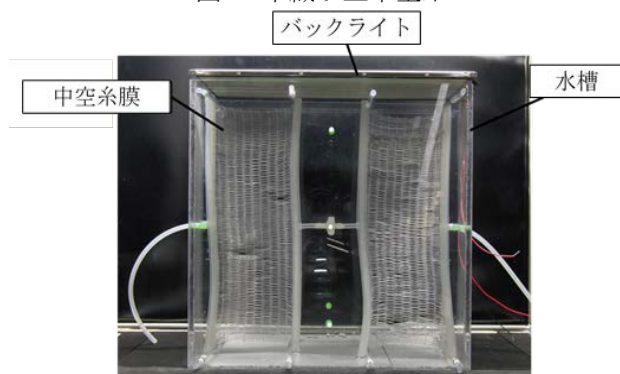


図5 中空糸膜培養装置

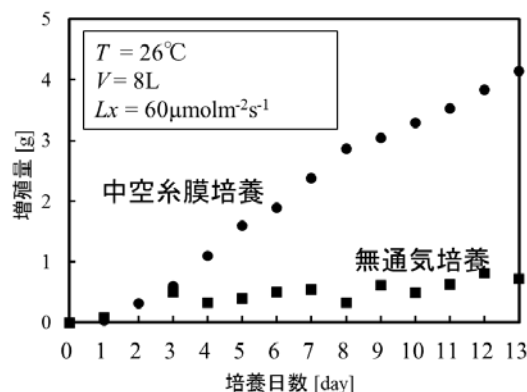


図6 中空糸膜を活用した際の培養速度

3. 将来展望

本研究では、中空糸膜培養の有用性を検証し、さらに多段式培養システムにより床面積あたりの培養密度を上昇させることに成功した。研究の次のステップとしては、今回の実験で用いたような人工光を使用するのではなく、太陽光を集光&分光させて培養槽へ供給するシステムを構築することである。これにより培養槽1つあたりの電気代を大幅に削減できる。本実験で採用したバックライトは集光した太陽光を均一に供給できる仕組みとなっており、今後は、野外で集光した光を用いて、微細藻の培養を試みていく。このとき、太陽光を使用することは電気代の削減だけでなく、多段式培養にとっても大きな意味がある。通常、太陽光の直射光は微細藻には強すぎて光阻害を起こしてしまう。現在、太陽光を10分の1まで弱めても十分に培養できる試算をしており、本培養システムを活用すると10段の多段培養が可能となる。培養槽の段数に応じて、土地面積あたりの収穫量が多くなるため、現行の太陽光を使用した培養装置に比べて、本培養法は10倍収穫量を増やせることになる。これに加えて、中空糸膜培養を組み合わせることにより、バイオ燃料費は大幅に削減できると期待している。

4. 研究発表

中空糸膜培養の結果は、下記の国際会議で公表した。

- 1) An innovative culture technique for microalgae using hollow fiber membranes, Y. Sano, T. Suzuki, A. Nakayama, Sixth International Conference on Porous Media and Its Applications in Science, Engineering and Industry, July 3-8, 2016, Waikoloa, Hawaii.