

内容の要旨及び審査結果の要旨

【書式 1 1】

平成 30 年 2 月 8 日

氏名 (本籍)	岸 正敏			
学位の種類	博士 (工学)			
学位記番号	甲 第 160 号			
学位記の授与日	平成 30 年 3 月 18 日			
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 創価大学大学院学則第 31 条第 2 項該当 創価大学学位規則第 3 条の 3 第 1 項該当			
論文題目	Oxygen removal efficiency from microalgal culture by gas-permeating photobioreactor			
論文審査機関	工学研究科委員会			
論文審査委員	主査委員	農学博士	戸田 龍樹	印
	委 員	農学博士	古谷 研	印
	委 員	博士(工学)	井田 旬一	印

<論文の内容の要旨>

微細藻類は、排ガスや廃棄物から抽出した CO₂ や栄養塩を、太陽エネルギーを利用して健康食品・化粧品・天然着色料などの高価値物質に変換できる。しかしながら、地球上に 7 万種以上存在すると言われる微細藻類の中で、商業利用されている種は十数種にとどまっておき、培養法の検討による応用の拡大が期待されている。高価値物質の生産を目指した微細藻類の大量培養では、多くの場合、初期導入コストの安さから開放系リアクターが用いられてきた。しかし、開放系では培養液が外気に直接触れているため、動物プランクトン・細菌・目的外藻類などの混入が大きな問題となっている。そこで近年、閉鎖系と呼ばれる、培養液が外気に直接触れない形状をしたリアクターの開発が盛んに行われている。この成果により、医薬品・健康食品など高品質が求められる様々な高価値物質産出藻類の大量生産が可能になってきた。しかし、閉鎖系リアクターでは、光合成によって発生する溶存酸素が内部に高濃度で蓄積しやすく、微細藻類の増殖を抑制・阻害することが大きな問題となっている。現在、溶存酸素除去法はエネルギーが必要である曝気による方法が主流であり、特に生産性の高い連続曝気式のリアクターでは曝気エネルギーがバイオマス生産コストの 40% を占めることが示されている。よって曝気に代わる低動力の溶存酸素除去法が求められている。そこで本論文では新たな低動力の溶存酸素除去法の確立を目指して、(1) 拡散により溶存酸素を除去可能な新規ガス透過型光バイオリアクターの開発、(2) 新規リアクターに適した高濃度 CO₂ 供給法の開発、(3) それらの実用化に向けたコスト性・エネルギー性評価を実施した。

本論文は 4 章から構成されている。第 1 章は総合序論として、微細藻類の有用性とそのエネルギー面・コスト面における課題、およびそれらの解決方法としてのガス透過型光バイオリアクターの提案を行った。第 2 章では新規ガス透過型光バイオリアクターの開発のため各種膜材料の物性評価を行い、リアクター構造の決定と製作、性能評価を行った。第 3 章ではガス透過型光バイオリアクターに適した CO₂ 供給法の検討および微細藻類の培養試験を実施した。第 4 章では研究総括として、開発されたリアクターのエネルギー性の試算と今後の発展性についてまとめた。

第 2 章では、ガス透過型光バイオリアクターに適した材料を選択するため、シリコンや多孔質膜などの各種気体透過膜の酸素透過性や光学特性を比較した。選択された気体透過膜を用いて、酸素透過性・光学特性の両面で藻類培養に適した薄型バッグリアクターを製作し、酸素除去性能を既存の方法と比較した。その結果、疎水性多孔質膜がシリコンの約 3000 倍高い酸素透過性と 80% 以上の高い光反射性を持っていることが明らかとなり、片側透明・片側多孔質膜の薄型バッグリアクター形状が藻類培養

に適していることを示した(特許出願済)。また開発されたガス透過型光バイリアクターが、既存の溶存酸素除去技術である曝気法や従属性微生物共培養と比較して、エネルギー性および応用性において優位であることを示した。

ガス透過型光バイリアクターにより微細藻類大量培養に必要な曝気エネルギーを削減できる一方で、曝気による CO₂ 供給量が減少し、培養中に無機炭素が枯渇する可能性がある。そこで、第 3 章では、新規リアクターに適した手法として、吸収塔で CO₂ を重炭酸イオンに変換し、高濃度重炭酸溶液を培養槽に供給する 2 槽式 CO₂ 供給法の検討を行った。その結果、2 槽式 CO₂ 供給法は CO₂ 回収効率および無機炭素保持能が非常に高く、培養中の CO₂ 枯渇を解決出来る運転法であることが明らかとなった。さらに 2 槽式 CO₂ 供給法を用いてガス透過型光バイリアクターで *Arthrospira platensis* の連続培養を実施したところ、曝気・攪拌頻度を従来の 10 分の 1 に減少した条件で、従来リアクターの 1.6 倍のバイオマス生産速度が得られた。新規リアクターでの培養に 2 槽式 CO₂ 供給法を用いることで、曝気動力を抑えた条件で微細藻類の高い生産性を維持可能であることを示した。

第 4 章では総合考察として、開発されたリアクターのエネルギー評価を行い、バイオマス生産にかかるエネルギー量が従来のチューブ型やフラットパネル型リアクターと比較して 5~20 分の 1 に削減出来ることを示した。さらに、社会実装化に向けた本リアクターの将来的な発展性について考察を行った。

本論文の内容の一部は、下記の査読制度を有する権威ある学術雑誌に 2 編が掲載されており、本論文の研究成果が国際的にも評価されていることを示している。

1. Masatoshi Kishi and Tatsuki Toda.

Carbon fixation properties of three alkalihalophilic microalgal strains under high alkalinity.

Journal of Applied Phycology (2017), Online, pp. 1-10. doi: 10.1007/s10811-017-1226-z

2. Masatoshi Kishi, Minako Kawai, Kenji Tsuchiya, Mitsuhiko Koyama, Norio Nagao and Tatsuki Toda.

Enhancement of microalgal production through bacterial mineralization of ethylene glycol.

Journal of Environmental Biology, in press.

< 論文審査結果の要旨 >

微細藻類の大量培養は、太陽エネルギーを利用して、排ガス・廃棄物由来の CO₂ や栄養塩を健康食品・化粧品・天然着色料などの高価値物質に変換可能な技術である。しかし、大量生産の現場では光合成によって発生する高濃度溶存酸素が増殖を抑制することが大きな問題となってきた。現状では曝気による溶存酸素除去が主流で、特に生産性の高い連続曝気式リアクターによる高密度培養では微細藻類生産コストを大幅に増加させている。そのため、新たな低エネルギー溶存酸素除去法が求められている。

これに対し本論文では、気体透過膜を材料とするガス透過型光バイリアクターおよびその運転方法の研究開発を行った。その結果、疎水性多孔質膜でバッグリアクターを構成することで、攪拌のみで溶存酸素の効率的な除去が可能であり、曝気・攪拌頻度を従来の 10 分の 1 に減少した条件で、従来リアクターの 1.6 倍のバイオマス生産速度が得られた。さらに 2 槽式 CO₂ 供給法により曝気を低減した状態でも無機炭素の枯渇を防ぐことができ、ガス透過型光バイリアクターを用いた大規模生産において低動力でのバイオマス生産が可能であることが示された。本研究で開発した技術は微細藻類のエネルギーあたりの生産性を飛躍的に向上させるものであり、微細藻類培養技術の応用・普及に向けたブレイクスルーとなりうる。得られた知見は様々な有用藻類の培養効率化に寄与し、生物生産工学や環境工学の分野において重要な基礎技術となる。以上のことから、本論文は博士(工学)として十分な価値を有するものと認める。

最終試験の結果の要旨

【書式12】

平成30年2月8日

フリガナ 申請者氏名	キシ マサトシ 岸 正敏	専攻名	環境共生工学専攻
審査委員会委員	主査委員	戸田 龍樹	印
	委員	古谷 研	印
	委員	井田 旬一	印

要旨

審査委員3名により、学位論文の内容および関連する学問分野に関して口頭で試問を行った。その結果、申請者が博士（工学）としての十分な学力と研究能力を有するものと判定された。よって、審査委員会は最終試験の結果を合格と認定した。