

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4560960号
(P4560960)

(45) 発行日 平成22年10月13日(2010.10.13)

(24) 登録日 平成22年8月6日(2010.8.6)

(51) Int.Cl.	F I
C 1 2 M 1/00 (2006.01)	C 1 2 M 1/00 C
C 1 2 M 1/02 (2006.01)	C 1 2 M 1/02 A
C 1 2 M 3/00 (2006.01)	C 1 2 M 3/00 Z

請求項の数 11 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2000-611644 (P2000-611644)	(73) 特許権者	500082539
(86) (22) 出願日	平成12年4月6日(2000.4.6)		フラウンホッフアーゲーゼルスシャフト ツ
(65) 公表番号	特表2002-541788 (P2002-541788A)		ール フェルデルング デル アンゲヴァ
(43) 公表日	平成14年12月10日(2002.12.10)		ンテン フォールシュング イー. ヴィ.
(86) 国際出願番号	PCT/EP2000/003089		ドイツ国D-80636, ミュンヘン, レ
(87) 国際公開番号	W02000/061719		オンロッドストラーセ54
(87) 国際公開日	平成12年10月19日(2000.10.19)	(74) 代理人	100086911
審査請求日	平成19年1月9日(2007.1.9)		弁理士 重野 剛
(31) 優先権主張番号	199 16 597.1	(72) 発明者	トレシュ ヴァルテル
(32) 優先日	平成11年4月13日(1999.4.13)		ドイツ国 70329 スツトガルト エ
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		ゲルヴェグ 35
		(72) 発明者	シュミトースタイゲル ウルリケ
			ドイツ国 72654 ネカルテンツリン
			ゲン アイヒヴァゼンリング 36
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面積の増大、波長シフターまたは光伝達によって光投入が改善されたフォトバイオリアクター

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内部の容積を規定する、光透過性の材料からなる壁を有したリアクターチャンバーを有し、該リアクターチャンバーは、該リアクターチャンバーの内部を平面的に取り囲む表面よりも増大した表面積を有することを特徴とする、フォトバイオリアクター。

【請求項2】

請求項1において、さらに乱流状態を起こさせるための装置を有することを特徴とするフォトバイオリアクター。

【請求項3】

請求項1または2において、前記リアクターチャンバー内に外部から光を導入する要素を有することを特徴とするフォトバイオリアクター。

【請求項4】

請求項1ないし3のいずれか1項において、前記リアクターの断面の周縁が蛇行状、または正弦波状の形状をしていることを特徴とするフォトバイオリアクター。

【請求項5】

請求項1ないし3のいずれか1項において、前記リアクターチャンバーが光透過性のウェブを有することを特徴とするフォトバイオリアクター。

【請求項6】

請求項1ないし3のいずれか1項において、前記リアクターチャンバーがガラスチューブとして設計され、該ガラスチューブの内部に向かってガラス延長部が突出していること

10

20

を特徴とするフォトバイオリアクター。

【請求項 7】

請求項 1 または 2 において、該フォトバイオリアクターは、エアリフトループリアクターとして、またはプレートフィン型カラムとして設計されていることを特徴とするフォトバイオリアクター。

【請求項 8】

請求項 7 において、前記リアクターチャンバーは、矩形の断面を有し、該リアクターチャンバーの壁に対して平行に伸びる内部表面 (1) と、空気を該リアクターチャンバーの下側 (2) から注入するための装置と、媒体 (3) を供給するための装置と、該リアクター中で生産されたバイオマス (4) を取り除くための装置とを有することを特徴とするフォトバイオリアクター。

10

【請求項 9】

請求項 7 又は 8 において、前記フォトバイオリアクターは、交互に横に並んで直列に置かれた複数のエアリフトループリアクターを有し、各々のエアリフトループリアクターは、液側で互いに連結されていることを特徴とするフォトバイオリアクター。

【請求項 10】

請求項 7 または 8 において、該フォトバイオリアクターは、複数のエアリフトループリアクターを有し、それらが上方に交互に配置されてプレートフィン型カラムをなしていることを特徴とするフォトバイオリアクター。

20

【請求項 11】

請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 項において、該フォトバイオリアクターはさらに波長シフターを有することを特徴とするフォトバイオリアクター。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はバイオマスを生産するための新規なフォトバイオリアクターに関する。

【0002】

【従来の技術】

フォトバイオリアクターは藻類、シアノバクテリア、紅色細菌などの光合成微生物を培養する培養器 (発酵槽) である。すなわち、該培養器中でこれらの細胞の成長および増殖が可能になるか、または光合成細胞による各種物質の生産が促進される。

30

【0003】

このようなフォトバイオリアクターは、例えば次のような出版物に記載されている：

(i) 「エアリフト式管状フォトバイオリアクター中でのフェオダクティルム・トリコルス・ストム UTEX 640 の屋外バッチ式培養におけるバイオマスおよびアイコサペンタエン酸の生産性」、アプライド・マイクロバイオロジー・アンド・バイオテクノロジー (1995)、42、658-663 ページ、

(ii) 「30 リットルエアリフト式フォトバイオリアクター中でのヘマトコッカス・ブルヴァリスの独立栄養成長とカロチノイド生産」、ジャーナル・オブ・ファーマンティション・アンド・バイオエンジニアリング (1996)、第 82 巻、第 2 号、113-118 ページ、

40

(iii) 「プレート型および光拡散光ファイバー式バイオリアクターにおける光エネルギー供給」、ジャーナル・オブ・アプライド・フィコロジー (1995)、7、145-149 ページ、

(iv) 「フォトバイオリアクターにおける放射光伝達と成長速度論との結合をモデル化するための単純化された一次元手法」、ケミカル・エンジニアリング・サイエンス (1995)、第 50 巻、第 9 号、1489-1500 ページ。

【0004】

さらに、DE 44 40 081 A1 公報には、光合成微生物用のバイオコレクターの生産性を向上させるための方法および装置について記載されている。バイオコレクター

50

内には、生体触媒による群生化のための表面が、多孔質層を導入することによって増大されている。同時に、上向きに流れる培養基体とその多孔質層を通過することで、群生化した表面にわたる流れが保証される。この多孔質チャンネル（水路）を太陽光の下に配列することにより、ある角度でこのリアクターに当る光の最適な活用を保証することができる。この方法は、光合成微生物や微藻類の排出物の生産に適している。

米国特許 4 9 5 2 5 1 1 号には、光合成微生物の培養のためのフォトバイオリアクターについて記載されている。該フォトバイオリアクターは、タンクと、該タンク内にまで延出した少なくとも 1 つの光チャンバーと、少なくとも 1 つの高強度ランプとを有しており、該ランプからの光が該光チャンバー内に導入されるようになっている。各光チャンバーは、少なくとも 1 つの光透過性の壁と、ランプからの光を該光透過性の壁全体にわたって本質的に均一に分配するための装置と、を有する。

10

最後に、米国特許 3 9 5 9 9 2 3 号には、水が藻類や栄養素と共に、蛇行したフローチャンネルに沿って、広く暗い領域と狭く明るい領域とを交互に流通するよう構成された藻類培養用装置について記載されている。

フォトバイオリアクターの主たる応用分野は微藻類の生産であり、これは世界で発生するバイオマスの一次生産の 30 % を占める。因みにこれは最も重要な CO_2 の消費先である。したがって、微藻類が再生可能物質の生産に用いられるならば、環境負荷低減効果を有し得る。このようにして生産された物質は、化石由来物質を代替するから、大気中への CO_2 の放出の低減に貢献する。

【0005】

20

微藻類は原核種のシアノバクテリアと、真核種の極微小な藻類とを包含する。これらの生物体は医薬品、化粧品、栄養品および動物栄養用途に、あるいは技術的用途（例えば重金属の吸着）に用いられる、広範囲な物質を供給する。これに関連して重要な物質の種類は、例えば脂肪酸、脂質、ステロールおよびカロチノイドなどの親油性化合物、多糖類、タンパク質、アミノ酸などの親水性物質、およびフィコビリタンパク質（色素）、さらに核酸が少なくタンパク質に富む原料としての総合バイオマスである。

【0006】

ドイツ連邦共和国において、また世界的な規模において、合成による活性成分を、同等または改良された性能を有する自然物質の使用で代替する傾向はますます強まっている。関心が高まりつつあるのは、化粧品、医薬および健康食品市場における治療能力を有する抗酸化性の活性成分複合体およびポリ不飽和脂肪酸である。これらの魅力的な抗酸化物質は、トコフェロール（ビタミン E）および β -カロチンやアスタキサンチンなどのカロチノイドを包含する。

30

【0007】

微藻類によって生産される物質のコスト効率は、基本的に選択された藻類の種の生産性によって決定される。しかし同時に、太陽の放射エネルギーの所望の形のバイオマスへの高い変換効率が達成されており、エネルギー消費や生産、設備およびプラント運転のコストが極めて低く押さえられていることが前提である。高いバイオマス生産性のためには単位容積あたりの最適な光の分配を得ることが問題である。藻類による光の吸収のために、藻類の層の厚さが増加するとともに深刻な光量減少が起こり、同時に相互的な光の遮蔽が起こる。この現象は、リアクター中の理論的な層形成を与える。即ち、

40

- (1) 光障害をもたらす可能性のある高い光強度に曝される外側藻類層、
- (2) 理想的な光照射を有する中間層、
- (3) 光欠乏と高い呼吸率を有する内側藻類層。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

したがって本発明の目的は、入手可能な太陽放射光を取り入れてこれを分配し、かくしてすべての微生物が位置に拘わらず同等の高い光合成活動を有するようにすることのできる、フォトバイオリアクターを提供することである。

【0009】

50

【課題を解決するための手段】

本発明のフォトバイオリアクターは、内部の容積を規定する、光透過性の材料からなる壁を有したリアクターチャンバーを有し、該リアクターチャンバーは、該リアクターチャンバーの内部を平面的に取り囲む表面よりも増大した表面積を有することを特徴とする。

【0010】

さらに、乱流状態を起こさせるための装置をさらに有することを特徴とする。

【0011】

さらに、リアクターチャンバーの内部に外部から光を導入する要素を有することを特徴とする。

【0012】

さらに、リアクター断面の周囲が蛇行状、または正弦波状の形状をしていることを特徴とする。

【0013】

さらに、リアクターチャンバーが光透過性のウェブを有することを特徴とする。

【0014】

さらに、リアクターチャンバーがガラスチューブとして設計され、該ガラスチューブの内部に向かってガラス延長部が突出していることを特徴とする。

【0015】

さらに、エアリフトループリアクターとして、またはプレートフィン型カラムとして設計されていることを特徴とする。

【0016】

さらに、リアクターチャンバーが矩形の断面を有し、リアクターチャンバーの壁に対して平行に伸びる内部表面（１）と、空気をリアクターチャンバーの下側（２）から注入するための装置と、媒体（３）を供給するための装置と、リアクター中で生産されたバイオマス（４）を取り除くための装置と、を有することを特徴とする。

【0017】

さらに、フォトバイオリアクターは、互いに隣り合って直列に置かれた複数のエアリフトループリアクターを有し、各々のエアリフトループリアクターは、液側で互いに連結されていることを特徴とする。

【0018】

さらに、複数のエアリフトループリアクターを有し、それらが互いに積み重ねられてプレートフィン型カラムをなしていることを特徴とする。

【0019】

さらに、波長シフターをさらに有することを特徴とする。

【0020】**【発明の実施の形態】**

本発明は、一定容積を平面的に取り囲む表面よりも表面積が増加されたリアクターチャンバーを有するフォトバイオリアクターに関する。

【0021】

この表面積の増加は、リアクターの断面にわたってより良好な光の空間分布をもたらし、したがって先行技術に知られるフォトバイオリアクターと比較して、リアクター全体において光強度の最適化をもたらす。先行技術のリアクターチャンバーは普通、パイプまたはいわゆる「チューブ」からなっている。それらの断面は円形である。その他に、断面が矩形のリアクターチャンバーを有するフォトバイオリアクターも知られている。このような断面は、一定容積を取り囲む表面として、パイプの円形の断面よりも大きな表面積を有する。このことは図１に示されている。

【0022】

本発明によるフォトバイオリアクターは、上述の公知のリアクター形状に比較して、図１に例示するように、増大した表面積を有している。図１（a）は蛇行状（連続屈曲状）の形状、図１（b）は正弦波状のリアクター表面を示しており、図１（c）は光透過性のウ

10

20

30

40

50

ェブを有するリアクター形状を示している。他の実施例が図4に示されており、ここでは内部へ伸びるガラス延長部が表面積の増大をもたらしている。

【0023】

これらの形状すべてに共通しているのは、リアクターの表面積が公知の形状に比較して増大していることである。

【0024】

基本的に本発明によるフォトバイオリアクターにおいては、平面的に取り囲む形状（断面が正方形または矩形）に比較して表面積が増大するようなあらゆるリアクターチャンバー形状を用いることができる。

【0025】

本発明によるフォトバイオリアクターのリアクターチャンバーは、光透過性材料、好ましくはガラスまたはプレキシガラスでできている。

【0026】

本発明の他の実施例によれば、リアクターチャンバーの表面積を増大させる形状は、その内面にガラス延長部が突出するガラスチューブによって達成される。該ガラス延長部は、互い違いになるように、内表面に直角にまたはある角度で取り付けられる。

【0027】

同時に、ガラス延長部は液相の乱流度を増加させる。ガラスの代わりに他の光透過性材料、例えばプレキシガラスを用いてもよい。

【0028】

乱流を増加させることによって、いわゆる「点滅光効果」が得られる。点滅光効果とは、短い間隔（ $> 1 \text{ Hz}$ ）で高い光強度を与えることが最大の光合成活動にとって十分であることを意味する。これはリアクター中に乱流状態とし、細胞を短い間隔でリアクター表面の高い光強度に曝露することによって達成される。細胞は集めた光エネルギーをその後の暗相において処理することができる。

【0029】

したがって、本発明はさらに、リアクターチャンバーが増大された表面積を有することに加えて、乱流状態を生じさせる装置を有するフォトバイオリアクターに関する。

【0030】

既に述べたように、前記の乱流状態はリアクターチャンバーの表面積を増大させる形状、特にリアクターチャンバーの内壁に位置するガラス延長部によって達成される。その他に乱流状態はスタティックミキサー（バッフル）を取り付けることによって達成される。これに加えて、このような内部形状によって、上述したガラス延長部と同様に、光を増幅するようにリアクター中に導入することができる。本発明によるフォトバイオリアクター中に乱流状態を生じさせる他の方法は、適当な通気率において所望の効果を与えるような通気装置を備えることである。流れ誘導のための内部形状を備えることによって、照射時間に対して一定の周波数が設定できるならば、点滅光効果を改善することができる。

【0031】

できるだけ乱流度の高い激しい攪拌は、藻類を光のもとに連れてくることによって光分配の効果を生じる。このようにして「照射相」の周期と持続時間を一定に制御することができる。

【0032】

さらにまた、本発明によるフォトバイオリアクターのリアクターチャンバー中のエネルギー密度を、いわゆる波長シフターを用いて増加させてもよい。波長シフターは、光合成微生物によって吸収されない光を変換して、光のできるだけ多くの成分、または放射光の全部を、用いられる光合成微生物の光センサーによって吸収可能な周波数帯域に移動させる。したがって、全光放射密度は選択的に増強され、その結果リアクター単位容積あたりの生産性は、通常光で照射されたバイオリアクターに較べて実質的に増加する。

【0033】

この場合、波長シフターはリフレクターと実際のリアクターチャンバーの中間に配されて

10

20

30

40

50

もよい。しかしながら、波長シフターはまた光源とリアクターチャンバーの中間に置かれてもよく、この場合、リフレクターは省略されうる。

【0034】

リフレクターの省略は、波長シフターを棒状、プレート状、ファイバー状、または粒子状の形でリアクターチャンバー内に置くことによって、同様に可能である。さらにまた、波長シフターは、リアクターチャンバーの壁の内側または外側に直接コーティングされたものでもよい。

【0035】

波長を移動させる能力のある物質は当業者には公知であり、例えば下記の刊行物に記載されている。

10

【0036】

E. ロッチ他、「波長シフターバーによって見たリードープレキシポップ熱量計モジュールの試験」、ニュークリア・インストラメンツ・アンド・メソッズ 164 (1979)、97-104ページ、

S. W. ハン他、「シンチレーションタイル/WLSファイバー熱量計モジュールによる放射硬度試験」、ニュークリア・インストラメンツ・アンド・メソッズ A365 (1995)、327-351ページ。

【0037】

本発明によるフォトバイオリアクターに用いられる波長シフターは、好ましくは蛍光物質を含んでいる。このような蛍光物質は、光を吸収した後で光を再放射する物質であるが、放射光のエネルギーは基本的に蛍光物質の熱含量から抽出されるのではなく、吸収された光から供給される励起エネルギーに由来している。

20

【0038】

蛍光物質は、有機または無機のガラスなどの担持体に含まれていてもよい。

【0039】

例えば、有機蛍光物質は、ポリカーボネート系アクリルガラスやポリスチレン系アクリルガラスなどの有機ガラスに含まれていてもよい。希土類のイオンも同様に蛍光物質として用いられるが、これらは無機ガラスに含まれるのが好ましい。透明な溶媒に溶かした蛍光物質の溶液もまた、波長シフターとして用いることができる。

【0040】

蛍光物質は光を吸収して、一般に非常に短い時間（しばしば数ナノ秒）の後に光を再放出する性質を有する。この光の再放出が、一部の物質においては実質的に損失なしに起こることが重要である。すなわち、蛍光量子収率（放出された光子の数を吸収された光子の数で割った値）は90%以上であり、しばしば100%に近い。更に重要なのは、蛍光スペクトルは吸収されたスペクトルと比べてより長波長に遷移することである。すなわち、色素はUVおよび紫色光を青色光に変え、また青色光を緑色に変えるなどする。複数の色素を組み合わせて、同一のプレートに含めるか、あるいは例えば異なる色のプレートを重ねることによって、より広い波長幅を一度で飛び越えて、例えば青色光を直接、赤色光に変えることができる。

30

【0041】

波長シフターに期待されるのは、高い蛍光量子収率、与えられた担持体への良好な溶解性（十分に高い光吸収を達成可能にするため）、特定の用途に対して最適な吸収スペクトルおよび放射スペクトルの位置、および意図される用途の条件における十分な長期安定性である。波長シフターの代表的な用途例は、洗剤に入れる漂白剤、洗濯による黄色化をマスクするための青色光を放射するUV吸収色素、シンチレーションカウンターに用いられて、短波長のチェレンコフ放射またはシンチレーション放射を、用いられる光検出器の分光感度に最適な範囲に変換する色素、である。

40

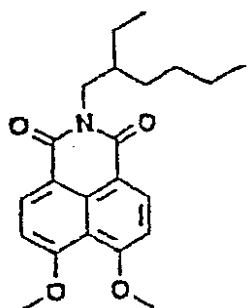
【0042】

本発明によるフォトバイオリアクターにおいて波長シフターとして用いられる有機蛍光物質の好ましい例は、下記のナフタルイミド類およびペリレン誘導体である。

50

【 0 0 4 3 】

【化 1】

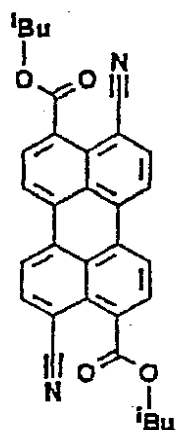


10

4, 5-ジメトキシ-N-(2-エチルヘキシル)ナフタルイミド

【 0 0 4 4 】

【化 2】



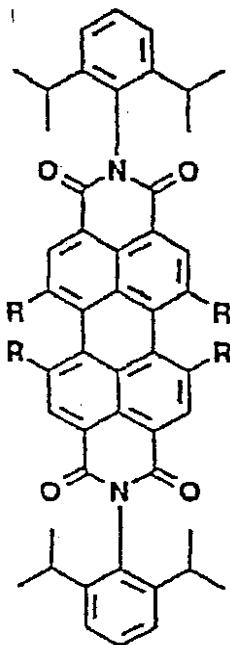
20

3, 9-ジ (i -ブトキシカルボニル) - 4, 10 - ジシアノペリレン

【 0 0 4 5 】

【化 3】

30



10

20

N, N' -ビス (2, 6 -ジイソプロピルフェニル) ペリレン - 3, 4 : 9, 10 - テトラカルボキシルジイミド又はN, N' -ビス (2, 6 -ジイソプロピルフェニル) - 1, 6, 7, 12 - テトラフェノキシペリレン - 3, 4 : 9, 10 - テトラカルボキシルジイミド

【0046】

これらの蛍光物質はいずれも非常に高い量子収率を有する。最大吸光度は10,000 l / モル・cmに達する。

【0047】

蛍光物質は担持体物質中に 10^{-7} ないし 10^{-2} モル/lの濃度で存在してもよい。担持体物質は好ましくは0.1ないし10mmの厚さを有する。

30

【0048】

適切な表面積/容積比を設定してリアクター断面にわたる光の空間分布を最適にし、かつ点滅光効果を得るために乱流度を増加させることに併せて波長シフターを使用することによって、本発明によるフォトバイオリアクターのリアクターチャンバー内の光分布が最適化される。

【0049】

図2は、エアリフトループリアクターの基本原理を用いた本発明によるフォトバイオリアクターの構造を示す。リアクターは矩形の断面を有し、リアクターチャンバーの壁に対して平行に伸びる2枚の内部表面(1)と、空気(2)をリアクターチャンバーの下側から注入するための装置と、媒体を供給するための装置(3)と、リアクターチャンバー中で生産されたバイオマスを取り除くための装置(4)とを有している。

40

【0050】

内部表面は同時にガイドチューブの役目もしている。

【0051】

材料としては、例えば、光透過性の高いプレキシガラスを用いることができる。

【0052】

リアクターの下側から注入される空気によって十分な攪拌が起これ、これによって液は上方へ流れた後、側面を下降してもどる。ガス交換と温度制御は高度に乱流状態にある液の

50

頭部スペース（上部スペース、ヘッドスペース）で行われる。頭部スペースで温度制御が行われることによって、冷却ジャケットを用いる場合に必要となる追加のプレキシガラス壁は省略される。

【0053】

リアクターの基本構造が矩形で、深さが浅いことによって、表面積／容積比が大きくなるので、リアクターへの高い光入力が可能になる。リアクターには照明されない領域がないので、細胞に対して十分な光が連続して供給される。

【0054】

エアリフトループとして運転することによって、藻類の細胞にかかる剪断力を低く保ちながら、高い乱流度が保証される。乱流度が高く、同時に放射強度が高ければ、点滅光効果を利用することができ、したがって細胞は連続的に照射される必要がない。乱流度は通気率によって、またはスタティックミキサー（バッフル）の設置によって、増加させることができる。

【0055】

高い乱流度で通液することは、垂直方向の攪拌に加えて水平方向の攪拌をもたらす。これによって光合成微生物は間欠的な光供給を受ける。光合成微生物が明所と暗所で過ごす時間の周期は1 Hz以上でなければならない。乱流度は、無照射領域から照射領域へ、また照射領域から無照射領域へ微生物が運搬されるのに必要な時間を決定する。運搬経路の長さはリアクターの層の厚さ（リアクター深さ）で決定される。

【0056】

流れ誘導要素の設置によって乱流度は増加し、したがってこの場合も無照射領域から照射領域へ微生物が運搬される頻度が改善される。

【0057】

これに加えて、ヴィグロウカラムにおける凹所と同様に、前記流れ誘導要素によって追加の光をリアクター中に導入することもできる。

【0058】

リアクター中の十分な攪拌と定常的な通気流とによって、良好なCO₂の導入とO₂の除去が保証される。

【0059】

このシステムは形状が単純であり、またガス抜き領域が配置されているので、スケールアップは容易に可能である。

【0060】

エアリフトループの原理を用いたリアクターの代わりに、リアクターはプレートフィン型カラムとして設計されてもよい。

【0061】

このようなプレートフィン型のカラムは、図3に概略図示されている。図中、矩形断面のリアクターチャンバー（5）は内部壁（6、7）を有する。内壁6はリアクターの壁（5）に対して平行に、内壁（7）は直角に伸びている。

【0062】

さらに、プレートフィン型カラムは、空気をリアクターチャンバーの下側（8）から注入するための装置と、媒体（9）を供給するための装置と、リアクターチャンバー中で生産されたバイオマス（10）を取り除くための装置を有している。

【0063】

内部表面（6、7）は乱流を発生させる役目をしている。攪拌はリアクターの下側からの空気の注入によって行われ、これによって液はまず上方へ流れ、次いでもどって側面を下降する。横方向の壁（7）は気体の泡を偏向させて、次の室での流れと渦の発生を起こさせる。ガス交換は頭部スペースで行われる。各室で渦が発生する結果、リアクターの断面にわたって激しい攪拌が起こる。

【0064】

上述したエアリフトループリアクターは互いに隣り合って直列に設置されてもよく、この

10

20

30

40

50

場合は連通管によって液側で互いに連結される。

【0065】

本発明によるバイオリアクターはまた、複数のエアリフトループリアクターが互いに積み重ねられてプレートフィン型カラムをなすように、設計されてもよい。

【0066】

最後に図4は、内部に向かって伸びるガラス延長部を有するガラスチューブとして設計されたリアクターチャンバーの構造を概略図示している。

【0067】

本発明を以下の実施例によってさらに詳細に説明する。

【0068】

【実施例】

チューブリアクターが図4に示すような凹部によって延長された。該凹部は、リアクターの表面積を増加すると共に流れに影響を与えるという二つの機能を有している。ヴィグロウカラムはこの原理に基づいて作られている（同様に表面積を増大するため）ので、そのまま比較試験に用いた。同じ形状で側面の凹部のないチューブリアクターを比較対照として用いた。照射は2個のハロゲン放射光源によって行われ、片側で $520 \mu E / (m^2 \times s)$ の光量が得られた。しかしながら、放射された光の単位容積および時間あたりの強度は、比較対照リアクターにおいてはヴィグロウカラムより10%低かった。

【0069】

【表1】

表：リアクターの凹部の有無（平滑チューブとヴィグロウカラム）によるクロレラ・ヴラガリスの生産性の比較

	乾燥重量 DW(g/l)	成長速度 μ (l/h)	生産性 P(mg/l×h)	生産性の変化 (%)
平滑チューブ	2	0.016	32	
	4	0.0058	23.2	
	5	0.003	15	
ヴィグロウカラム 実験1 (V1)	2	0.01	20	-38
	4	0.0082	32.8	41
	5	0.006	30	100
ヴィグロウカラム 実験2 (V2)	2	0.013	26	-19
	4	0.007	28	21
	5	0.004	20	33

【0070】

直接比較では、4 gのDW/lにおいてはヴィグロウカラムの方が側面の凹部のないリアクターよりも生産性が20ないし40%高く、5 gのDW/l（図5参照）においては同じく30ないし100%高かった。（V1とV2の異なる結果は、藻類細胞の光への予備適応が異なったことの結果である。）

【0071】

このことは、表面積を増大し、同時に乱流度を増加させることが、飽和領域以上の強度の場合においてバイオマスの生産性を著しく増加させることを示している。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (a)は蛇行状の形状、(b)は正弦波状のリアクター表面を示しており、(c)は光透過性のウェブを有するリアクター形状を示している。

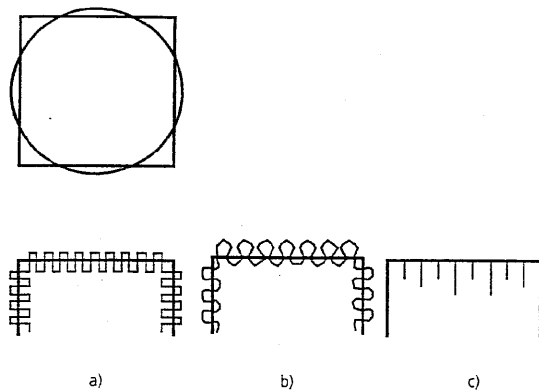
【図2】 エアリフトループリアクターの基本原理を用いた、本発明によるフォトバイオリアクターの構造を示している。

【図 3】 プレートフィン型のカラムの概略図である。

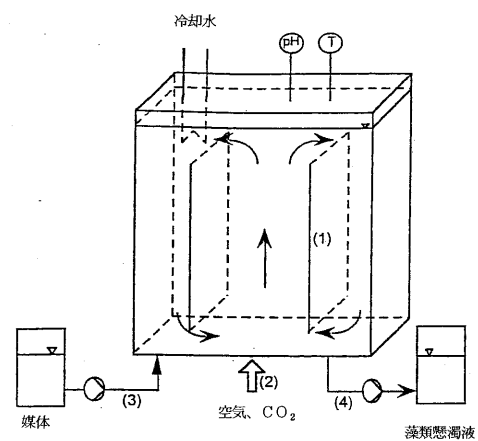
【図 4】 リアクター形状の他の実施例を示している。

【図 5】 側面の凹部の有無（ヴィグロウカラムと平滑チューブ）における、リアクター中の細胞濃度の関数としての、クロレラ・ヴラガリスの成長率および生産性を示すグラフである。

【図 1】

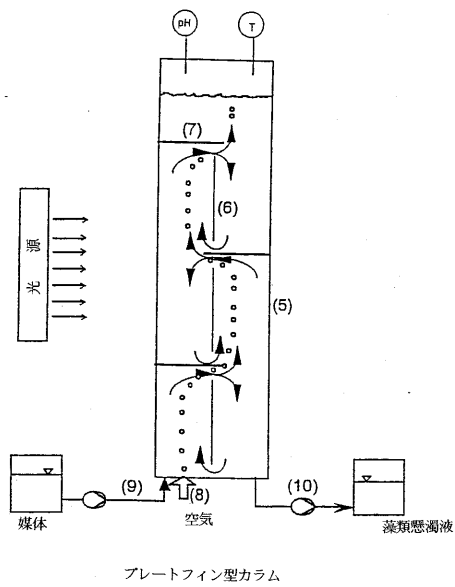


【図 2】

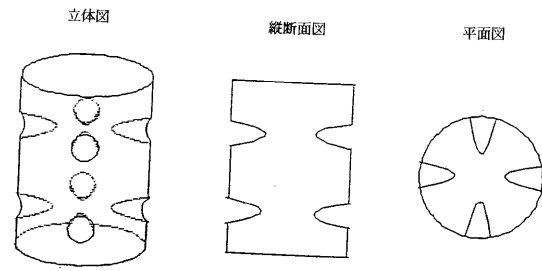


エアリフトループバイオリアクター—基本的な形式のフォトバイオリアクター

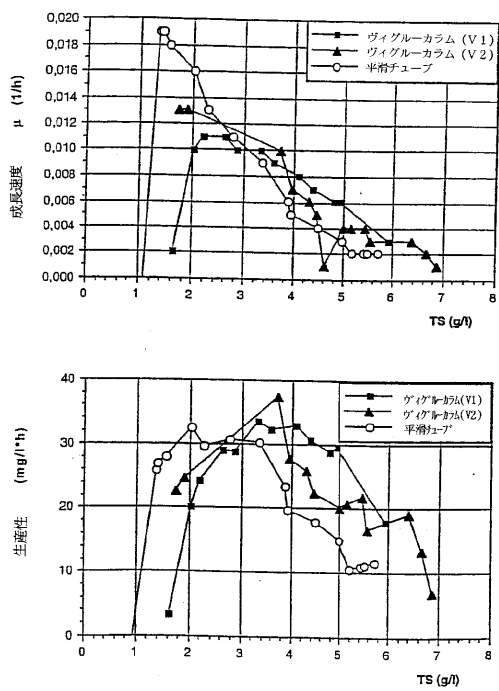
【図 3】



【図 4】



【図 5】



側面の凹部の有無（ヴィグラーカラムと平滑チューブ）における、リアクター中の細胞濃度の関数としての、クロレラ・ヴラガリスの成長率及び生産性

フロントページの続き

- (72)発明者 ザストロウ アルミン
ドイツ国 79102 フライブルグ カルトイゼルストラセ 88
- (72)発明者 レツェ アレクサンデル
ドイツ国 79114 フライブルグ ヘケルストラセ 41
- (72)発明者 ブルケル フランツ
ドイツ国 79102 フライブルグ グレメルストラセ 7

審査官 石丸 聡

- (56)参考文献 特開平04-287678 (JP, A)
特開平09-121835 (JP, A)
日本農芸化学会誌, 第72巻, 第523-527頁 (1998年)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- C12M 1/00
 - C12M 1/02
 - C12M 3/00
 - CA/BIOSIS/MEDLINE/WPIDS(STN)
 - JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)