

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7018392号
(P7018392)

(45)発行日 令和4年2月10日(2022.2.10)

(24)登録日 令和4年2月2日(2022.2.2)

(51)国際特許分類

F I

C 1 2 M 1/00 (2006.01)

C 1 2 M 1/00

D

C 1 2 M 1/04 (2006.01)

C 1 2 M 1/00

E

C 1 2 N 1/00 (2006.01)

C 1 2 M 1/04

C 1 2 N 1/00

C

請求項の数 16 (全47頁)

(21)出願番号 特願2018-529169(P2018-529169)

(86)(22)出願日 平成28年12月1日(2016.12.1)

(65)公表番号 特表2018-535690(P2018-535690
A)

(43)公表日 平成30年12月6日(2018.12.6)

(86)国際出願番号 PCT/GB2016/053786

(87)国際公開番号 WO2017/093744

(87)国際公開日 平成29年6月8日(2017.6.8)

審査請求日 令和1年11月27日(2019.11.27)

(31)優先権主張番号 1521136.0

(32)優先日 平成27年12月1日(2015.12.1)

(33)優先権主張国・地域又は機関
英国(GB)

前置審査

(73)特許権者 518192736

アーボレア リミテッド

ARBOREA LTD

イギリス国 シーアール7 7イーアール

サリー ソーントン ヒース ベンシャム

レーン 279

(74)代理人 100147485

弁理士 杉村 憲司

(74)代理人 230118913

弁護士 杉村 光嗣

(74)代理人 100195534

弁理士 内海 一成

(72)発明者 ジュリアン ポール メルキオツレ

イギリス国 シーアール7 7イーアール

サリー ソーントン ヒース ベンシャム

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 フォトバイオリアクターデバイス及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光合成微生物を培養し、液体培地を含む内部の流体と外部の大気との間でのガスの移送を容易にするフォトバイオリアクターデバイスであって：

(i) 第1膜層及び第2膜層を含む1つ以上のフォトバイオリアクターユニットのそれぞれであって、前記第1膜層及び前記第2膜層は、前記第1膜層の少なくとも一部が前記第2膜層の少なくとも一部に直接固着されて画成境界を前記第1膜層及び前記第2膜層の非固着部分の周りに形成することにより、流体を収納することができる前記フォトバイオリアクターユニットを画成するように配置され、

前記フォトバイオリアクターユニットは、前記液体培地の圧力によって膨張したときに10mm以上の全厚を有し、

前記第1膜層及び前記第2膜層のうち少なくとも一方は半透明であり、

前記第1膜層及び前記第2膜層の少なくとも一部は、ガスを透過させることができ、酸素が前記第1膜層及び／又は前記第2膜層内を透過する酸素透過係数は、少なくとも100バーラーであり、二酸化炭素が前記第1膜層及び／又は前記第2膜層内を透過する二酸化炭素透過係数は、少なくとも1000バーラー以上である、各フォトバイオリアクターユニットと、

(ii) 前記流体を、前記ユニット内を循環させることができる入口ポート及び出口ポートと、を備えるフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項2】

(I) 前記第1膜層の実質的に全体が、ガスを透過させることができる、(II) 前記第2膜層の実質的に全体が、ガスを透過させることができる、又は、(III) 前記第1膜層及び前記第2膜層の両方の膜層の実質的に全体が、ガスを透過させることができる、請求項1に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項3】

前記第1及び第2膜層の少なくとも一部は、酸素を透過させることができ、酸素が前記第1膜層及び／又は前記第2膜層内を透過する酸素透過係数は、約300バーラー以上であり、適切には約400バーラー以上である、請求項1に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項4】

酸素が前記第1膜層及び／又は前記第2膜層内を透過する酸素透過係数は、適切には少なくとも約500バーラー以上、少なくとも650バーラー以上、少なくとも750バーラー以上、適切には少なくとも820バーラー以上である請求項3に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項5】

前記第1膜層及び前記第2膜層の少なくとも一部は、二酸化炭素を透過させることができ、二酸化炭素が透過する二酸化炭素透過係数は：少なくとも2000バーラー以上、少なくとも2200バーラー以上、少なくとも2500バーラー以上、少なくとも2800バーラー以上、少なくとも2900バーラー以上、少なくとも3000バーラー以上、少なくとも3100バーラー以上、少なくとも3200バーラー以上、少なくとも3300バーラー以上、少なくとも3400バーラー以上、少なくとも3500バーラー以上、少なくとも3600バーラー以上、少なくとも3700バーラー以上、少なくとも3800バーラー以上、適切には少なくとも3820バーラー以上から選択される請求項1～4のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項6】

前記第1膜層及び前記第2膜層のうち少なくとも一方は：シリコン、ポリシロキサン、ポリジメチルシロキサン(PDMS)、フルオロシリコン、及び有機シリコンのうち1つから選択される材料を含み、

好適には、前記材料は、ポリジメチルシロキサン(PDMS)またはそのエラストマーを含む、請求項1～5のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項7】

少なくとも1種類の光合成微生物が、前記ユニット内に含まれる請求項1～6のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項8】

前記光合成微生物は：ヘマトコッカス属(*Haematococcus* sp.)、ヘマトコッカスブルビリス(*Haematococcus pluvialis*)、クロレラ属(*Chlorella* sp.)、クロレラアウトトロヒカ(*Chlorella autotraphica*)、クロレラヴァガリス(*Chlorella vulgaris*)、セネデスムス属(*Scenedesmus* sp.)、シネココックス属(*Synechococcus* sp.)、シネココックスエロンガツス(*Synechococcus elongatus*)、シネコシスティス属(*Synechocystis* sp.)、アルスロスピラ属(*Arthrospira* sp.)、アルスロスピラプラテンシス(*Arthrospira platensis*)、アルスロスピラマキシマ(*Arthrospira maxima*)、スピルリナ属(*Spirulina* sp.)、クラモドモナス属(*Chlamydomonas* sp.)、コナミドリムシ(*Chlamydomonas reinhardtii*)、ガイトレリネマ属(*Geitlerinema* sp.)、リングビア属(*Lyngbya* sp.)、クロオコッキディオプシス属(*Chroococcidiopsis* sp.)、カロトリクス属(*Calothrix* sp.)、シアノセイス属(*Cyanothece* sp.)、オスキラトリア属(*Oscillatoria* sp.)、グレオシイス属(*Gloeotheca* sp.)、ミクロコレアス属(*Microcoleus* sp.)、ミクロキスティス属(*Microcystis* sp.)、ノストック属(*Nostoc* sp.)、及びアナベナ属(*Anabaena* sp.)から選択される請求項7に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項9】

前記光合成微生物は、ドナリエラサリナ（*Dunaliella salina*）及びシネココッカスマリウス（*Synechococcus marinus*）から選択される請求項 7 に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項 10】

前記フォトバイオリアクターユニットは、少なくとも 1 つのフロー制御構造、及び／又は、少なくとも 1 つの生体支持部材を更に備える請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項 11】

前記フォトバイオリアクターユニットと流体連通する付属システムを更に備え、好適には、前記付属システムは：導管；容器；ポンプ；バルブ；バイオマス分離装置；照明システム；温度制御システム；センサ；及びコンピュータ／CPU コントローラからなるグループの少なくとも 1 つを含む、請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項 12】

前記少なくとも 1 つのフォトバイオリアクターユニットの前記入口ポート及び出口ポートと流体連通する流体容器と、システム全体の流体循環を維持するポンプと、選択的にバイオマス回収装置と、を備える、請求項 1 ～ 11 のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス。

【請求項 13】

光合成微生物を、請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス内で培養し、バイオマスを前記フォトバイオリアクターデバイスから収穫することを含む、バイオマスを製造する方法。

【請求項 14】

光合成微生物を、請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス内で培養し、前記フォトバイオリアクターデバイス内の前記光合成微生物が毒性を廃水から除去する、または毒性を前記廃水から消失させるように、前記廃水を前記フォトバイオリアクターデバイス内で流すことを含む、廃水を処理する方法。

【請求項 15】

光合成微生物を、請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載のフォトバイオリアクターデバイス内で培養し、前記フォトバイオリアクターデバイス内の前記光合成微生物が、汚染物質を大気から除去する、または前記汚染物質を前記大気から消失させるように、前記フォトバイオリアクターデバイスを前記汚染物質を含む前記大気に曝すことを含む、大気汚染物質を除去する方法。

【請求項 16】

光合成微生物を培養し、液体培地を含む内部の流体と外部の大気との間でのガスの移送を容易にするフォトバイオリアクターデバイスであって：

（i）チューブ状に配置された少なくとも 1 つの膜層を含む 1 以上のフォトバイオリアクターユニットのそれぞれであって、流体を収納することができる前記フォトバイオリアクターユニットを画成するように配置され、

前記フォトバイオリアクターユニットは、前記液体培地の圧力によって膨張したときに 1.0 mm 以上の全厚を有し、

前記少なくとも 1 つの膜層は半透明であり、

前記少なくとも 1 つの膜層の少なくとも一部は、ガスを透過させることができ、酸素が前記少なくとも 1 つの膜層内を透過する酸素透過係数は、少なくとも 100 バーラーであり、二酸化炭素が前記少なくとも 1 つの膜層内を透過する二酸化炭素透過係数は、少なくとも 1000 バーラー以上である、各フォトバイオリアクターユニットと、

（ii）前記流体を、前記ユニット内を循環させることができる入口ポート及び出口ポートと、を備えるフォトバイオリアクターデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトバイオリアクターデバイスに関するものであり、フォトバイオリアクターデバイスを使用してバイオマスを生産し、環境復旧を支援することができる。このようなデバイスはまた、二酸化炭素及び窒素酸化物のようなガスを環境から除去することができる、酸素を生成することができる。

【背景技術】

【0002】

全世界が、化石燃料を利用するエネルギー源への依存から脱却しようとしているため、エネルギー生成、化学物質の製造、及び他の工業用途及び環境用途には、バイオマスが益々重要となっている。非食物源由来のバイオマスが特に注目されるが、その理由は、非食物源由来のバイオマスは、トウモロコシ及び大豆のような他の種類の陸上農業バイオマスよりもはるかに速く生産することができ、一旦、収穫されると、バイオマスを処理して（例えば、発酵または精製により）、バイオディーゼル、エタノール、ブタノール、及びメタン（バイオガス）のようなバイオ燃料を生産することができる、及び／又は貴重な化学物質及び栄養素を生産することができるからである。

【0003】

米国特許出願公開第2014/186909号明細書には、透明（または、半透明）可撓性ポリマー膜により形成されるフォトバイオリアクターカプセルが記載されており、フォトバイオリアクターカプセルを分割して、流体供給構造と連通する複数の隣接流路としている。

【0004】

英国特許出願公開第2339763号明細書には、透明材料から成るフォトバイオリアクターが記載されており、フォトバイオリアクターは、入口及び出口を有する可撓性バッグと、複数の導管を画成する複数の線形シールと、を備える。

【0005】

米国特許出願公開第2015/0230420号明細書は、フォトバイオリアクターだけでなく、このようなフォトバイオリアクターを備えるバイオガスユニットについて記載しており、バイオガスユニットは、培養懸濁液を流通させる透明パイプシステムを使用し、培養懸濁液の液面の高さを設定し、液面の高さを数種類の高さに調節することにより培養を可能にする。

【0006】

独国特許出願公開第102012013587号明細書は、壁で区切られる反応室を画成する使い捨てバッグと、前記壁のすぐ近くに配置される光源と、を備えるフォトバイオリアクターについて記載している。

【0007】

米国特許出願公開第2014/0093924号明細書は、バイオフィルムを形成する光合成自然発酵微生物を有するフラットパネルバイオフィルムフォトバイオリアクターシステムであって、光合成及びそれに続く自然発酵により化学製品を製造するフラットパネルバイオフィルムフォトバイオリアクターシステムについて記載している。

【0008】

国際公開第2015/116963号パンフレットは、ガス及び／又は栄養素の導入を可能にする少なくとも1つの開口部を除き、ほぼ閉鎖されたシステムを画成するバイオリアクターに関するものである。ガス及び／又は栄養素は、バイオリアクター内での細胞培養の混合及び通気が可能となるように導入される。

【0009】

米国特許出願公開第2009/305389号明細書には、可撓性外側バッグを備えるフォトバイオリアクターカプセルが記載されており、膜チューブを可撓性外側バッグの内部に位置させることにより、高濃度の二酸化炭素を、バッグ内に収納される培地に導入することができる。

10

20

30

40

50

【0010】

米国特許出願公開第2011/312084号明細書には、フィルム、プレート、またはチューブのようなシリンダの形態のメタクリルポリマーを含むフォトバイオリアクターが記載されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

膨大な量のバイオマスを生産して、現在のエネルギー問題及び環境問題を解決することができる高度に拡張可能な新規の低コストバイオリアクターが必要である。また、設置の容易さを促進し、比較的低いランニングコストを示すフォトバイオリアクターが必要であり、温室効果ガスの吸収、または供給汚染水の浄化処理のような環境修復に寄与することができるフォトバイオリアクターが必要である。本発明は、以下の開示内容から明らかになるように、これらの問題及び他の問題に対処しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の第1の態様はフォトバイオリアクターデバイスを提供し、フォトバイオリアクターデバイスは：

(i) 第1膜層及び第2膜層を含むフォトバイオリアクターユニットを備え、2つの膜層は、第1膜層の少なくとも一部が第2膜層の少なくとも一部に直接固着されて画成境界を第1及び第2膜層の非固着部分の周りに形成することにより、流体を収納することができるフォトバイオリアクターユニットを画成するように配置され、

第1及び第2層のうち少なくとも一方は半透明であり、

第1及び第2膜層の少なくとも一部は、ガスを透過させることができ、酸素が第1膜層及び／又は第2膜層内を透過する酸素透過係数は、適切には約100バーラー（Barre）以上であり、代表的には約300バーラー以上であり、適切には約400バーラー以上であり、フォトバイオリアクターデバイスは更に、

(ii) 流体を、前記ユニット内を循環させることができる入口ポート及び出口ポートを備える。

【0013】

本発明の実施形態によれば、第1膜層の実質的に全体が、ガスを透過させることができる。別の実施形態では、第2膜層は、ガスを透過させることができ、任意であるが、第1膜層及び第2膜層の両方の膜層の実質的に全体が、ガスを透過させることができる。

【0014】

本発明の1つの実施形態では、酸素が第1膜層及び／又は第2膜層内を透過する酸素透過係数は、適切には少なくとも約500バーラー以上、少なくとも650バーラー以上、少なくとも750バーラー以上、適切には少なくとも820バーラー以上である。適切には、第1及び第2膜層の少なくとも一部は、二酸化炭素を透過させることができ、二酸化炭素が透過する二酸化炭素透過係数は：少なくとも1000バーラー以上、少なくとも2000バーラー以上、少なくとも2200バーラー以上、少なくとも2500バーラー以上、少なくとも2800バーラー以上、少なくとも2900バーラー以上、少なくとも3000バーラー以上、少なくとも3100バーラー以上、少なくとも3200バーラー以上、少なくとも3300バーラー以上、少なくとも3400バーラー以上、少なくとも3500バーラー以上、少なくとも3600バーラー以上、少なくとも3700バーラー以上、少なくとも3800バーラー以上、適切には少なくとも3820バーラー以上から選択される。本発明の特定の実施形態では、第1膜層及び／又は第2膜層の少なくとも一部は、これらには限定されないが、窒素酸化物及びメタンを含む他のガスを透過させることができる。

【0015】

本発明の1つの実施形態では、第1膜層及び／又は第2膜層の少なくとも一方は、適切には半透明である、または実質的に透明である材料を含み、材料は：シリコン、ポリシロ

10

20

30

40

50

キサン、ポリジメチルシロキサン（P D M S）、フルオロシリコーン、及び有機シリコーンのうちの1つから選択される。特定の実施形態では、材料は、ポリジメチルシロキサン（P D M S）、またはそのエラストマーを含む。

【0016】

本発明の1つの実施形態では、少なくとも1種類の光合成微生物がユニット内に含まれる。適切には、光合成微生物は：ヘマトコッカス属(*Haematococcus* sp.)、ヘマトコッカスプルビアリス(*Haematococcus pluvialis*)、クロレラ属(*Chlorella* sp.)、クロレラアウトトロヒカ(*Chlorella autotraphica*)、クロレラヴァガリス(*Chlorella vulgaris*)、セネデスムス属(*Scenedesmus* sp.)、シネココックス属(*Synechococcus* sp.)、シネココックスエロンガツス(*Synechococcus elongatus*)、シネコシスティス属(*Synechocystis* sp.)、アルスロスピラ属(*Arthrospira* sp.)、アルスロスピラプラテンシス(*Arthrospira platensis*)、アルスロスピラマキシマ(*Arthrospira maxima*)、スピルリナ属(*Spirulina* sp.)、クラモドモナス属(*Chlamydomonas* sp.)、コナミドリムシ(*Chlamydomonas reinhardtii*)、ガイトレリネマ属(*Geitlerinema* sp.)、リングビア属(*Lyngbya* sp.)、クロオコッキディオプシス属(*Chroococcidiopsis* sp.)、カロトリクス属(*Calothrix* sp.)、シアノセイス属(*Cyanothece* sp.)、オスキラトリア属(*Oscillatoria* sp.)、グレオシイス属(*Gloeothecce* sp.)、ミクロコレアス属(*Microcoleus* sp.)、ミクロキスティス属(*Microcystis* sp.)、ノストック属(*Nostoc* sp.)、及びアナベナ属(*Anabaena* sp.)から選択される。任意であるが、光合成微生物は、ドナリエラサリナ(*Dunaliella salina*)及びシネココッカスマリウス(*Synechococcus marinus*)から選択される。

【0017】

1つの実施形態では、フォトバイオリアクターユニットは更に、少なくとも1つのフロー制御構造を備える。任意であるが、フォトバイオリアクターユニットは更に、少なくとも1つの生体支持部材を備える。

【0018】

特定の実施形態では、フォトバイオリアクターは更に、フォトバイオリアクターユニットと流体連通する付属システムを備える。通常、付属システムは：導管；容器；ポンプ；バルブ；バイオマス分離装置；照明システム；温度制御システム；センサ；及びコンピュータ／CPUコントローラからなるグループの少なくとも1つ以上を備える。

【0019】

1つの実施形態では、デバイスは複数のフォトバイオリアクターユニットを備える。任意であるが、複数のフォトバイオリアクターユニットは、互いに流体連通し、配列状に並べられる。適切には、配列状のフォトバイオリアクターユニットは、直列に構成されるか、または別の構成として、並列に構成されるようにしてもよい。

【0020】

本発明の第2の態様はフォトバイオリアクターシステムを提供し、フォトバイオリアクターシステムは：

(a) 第1膜層及び第2膜層を含む少なくとも1つのフォトバイオリアクターユニットを備え、2つの膜層は、第1膜層の少なくとも一部が第2膜層の少なくとも一部に直接固着されて画成境界を第1及び第2膜層の非固着部分の周りに形成することにより、流体を収納することができるフォトバイオリアクターユニットを画成するように配置され、

第1及び第2層のうち少なくとも一方は半透明であり、

第1及び第2膜層の少なくとも一部は、ガスを透過させることができ、酸素が第1膜層及び／又は第2膜層内を透過する酸素透過係数は、適切には約100バーラー(Barrer)以上であり、代表的には約300バーラー以上であり、適切には約400バーラー以上であり、フォトバイオリアクターシステムは更に、

流体を、前記ユニット内を循環させることができる入口ポート及び出口ポートと、

(b) 少なくとも1つのフォトバイオリアクターユニットの入口ポート及び出口ポートと流体連通する流体容器と、

10

20

30

40

50

- (c) 流体循環をシステム全体で維持するポンプと、
- (d) バイオマス回収装置と、を備える。

【0021】

本発明の第3の態様は、バイオマスを製造するプロセスを提供し、当該プロセスでは、光合成微生物を、上の通りに構成されるデバイス内で培養し、バイオマスをデバイスから収穫する。

【0022】

本発明の第4の態様は、バイオマスを製造するプロセスを提供し、当該プロセスでは、光合成微生物を、上の通りに構成されるシステム内で培養し、バイオマスをシステムから収穫する。

【0023】

本発明の第5の態様は、廃水を処理するプロセスを提供し、当該プロセスでは、光合成微生物を、上の通りに構成されるデバイス内で培養し、廃水をデバイス内で流して、デバイス内の光合成微生物が毒性を廃水から除去する、または毒性を廃水から消失させる。

【0024】

本発明の第6の態様は、大気汚染物質を除去するプロセスを提供し、当該プロセスでは、光合成微生物を、上の通りに構成されるデバイス内で培養し、デバイスを、汚染物質を含む大気に曝して、デバイス内の光合成微生物が、汚染物質を大気から除去する、または汚染物質を大気から消失させる。

【0025】

本発明の第7の態様は、フォトバイオリアクターデバイスを提供し、当該フォトバイオリアクターデバイスは：

(I) 第1膜層及び第2膜層を含むフォトバイオリアクターユニットを備え、2つの膜層は、第1膜層の少なくとも一部が第2膜層の少なくとも一部に直接固着されて画成境界を第1及び第2膜層の非固着部分の周りに形成することにより、流体を収納することができるフォトバイオリアクターユニットを画成するように配置され、

第1及び第2層のうち少なくとも一方は半透明であり、

第1及び第2膜層の少なくとも一部は、ポリシロキサンを含み、当該フォトバイオリアクターデバイスは更に、

(II) 流体を、前記ユニット内を循環させることができる入口ポート及び出口ポートを備える。

【0026】

本発明の特定の実施形態では、ポリシロキサンは、ポリジメチルシロキサン(PDMS)、またはそのエラストマーを含む。

【0027】

本発明の第8の態様は、フォトバイオリアクターデバイスを提供し、当該フォトバイオリアクターデバイスは：

(i) 第1膜層及び第2膜層を含むフォトバイオリアクターユニットを備え、2つの膜層は、第1膜層の少なくとも一部が第2膜層の少なくとも一部に直接固着されて画成境界を第1及び第2膜層の非固着部分の周りに形成することにより、流体を収納することができるフォトバイオリアクターユニットを画成するように配置され、

第1及び第2層のうち少なくとも一方は半透明であり、

第1及び第2膜層の少なくとも一部は、ガスを透過させることができ、二酸化炭素が第1膜層及び／又は第2膜層内を透過する二酸化炭素透過係数は：少なくとも1000パーラー以上、少なくとも2000パーラー以上、少なくとも2200パーラー以上、少なくとも2500パーラー以上、少なくとも2800パーラー以上、少なくとも2900パーラー以上、少なくとも3000パーラー以上、少なくとも3100パーラー以上、少なくとも3200パーラー以上、少なくとも3300パーラー以上、少なくとも3400パーラー以上、少なくとも3500パーラー以上、少なくとも3600パーラー以上、少なくとも3700パーラー以上、少なくとも3800パーラー以上、適切には少なくとも382

10

20

30

40

50

0 バラー以上から選択され、当該フォトバイオリアクターデバイスは更に、

(i i) 流体を、前記ユニット内を循環させることができる入口ポート及び出口ポートを備える。

【 0 0 2 8 】

本発明の態様、及び実施形態には、上に明確には記載されていないが、本明細書において詳細に説明される特徴の更に別の組み合わせを適用することができることを理解できるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 9 】

本発明は、添付の図面を参照して詳細に説明される。

【図 1】図 1 は、三重ハッチングで表わされる第 1 膜層及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの断面図（図 2 7 a の断面 A）を示している。

【図 2】図 2 は、第 1 層及び第 2 層の両方の層が膜層であり、追加構成部材が、2 つの層により形成されるユニットの内部に配置される本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの断面図（図 2 7 a の断面 A）を示している。逆方向の 1 本ハッチングは、追加構成部材を示している。

【図 3】図 3 は、第 1 層及び第 2 層の両方の層が膜層であり、生体支持部材が一方の膜層の内側表面を被覆する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示している。灰色の塗りつぶしは、生体支持コーティングを表わしている。

【図 4】図 4 は、第 1 層及び第 2 層の両方の層が膜層であり、一方の膜層の内側表面が生体支持部材で被覆される本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示している。点線の塗りつぶし／微小十字は、追加の多孔質構成部材を示している。

【図 5】図 5 は、第 1 膜層及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示しており、追加構成部材が、2 つの膜層により形成されるユニットの内部に配置され、追加構成部材が、両方の側面で生体支持部材により被覆される。

【図 6】図 6 は、第 1 膜層及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示しており、追加構成部材が、2 つの膜層により形成されるユニットの内部に配置され、追加構成部材が、一方の側面／表面で生体支持部材により被覆される。

【図 7】図 7 は、第 1 膜層及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示しており、各膜層の内側表面を追加の多孔質構成部材と接触させている。

【図 8】図 8 は、第 1 膜層及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示しており、一方の膜層の内側表面を追加の多孔質構成部材と接触させている。

【図 9】図 9 は、第 1 膜層及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示しており、追加の多孔質構成部材が、2 つの膜層により形成されるユニットの内部に配置される。

【図 1 0】図 1 0 は、対向側に配置される入口及び出口を備える 1 つの流体導管を有する本発明の 1 つの実施形態による正面から見たときの流線形態のユニットの簡略図を示している。

【図 1 1】図 1 1 は、デバイスの対向側に配置される入口及び出口と、1 つの制御構造と、を備える 2 つの流体導管を有する本発明の 1 つの実施形態による正面から見たときの流線形態のデバイスの簡略図を示している。

【図 1 2】図 1 2 は、複数の流体導管を有する本発明の 1 つの実施形態による正面から見たときの流線形態のデバイスの簡略図を示している。中心部分は、線形流路制御構造及び流線形流路制御構造の両方を有する。

【図 1 3】図 1 3 は、複数の異なる流路を形成する複数の円形フロー制御構造を有する本発明の 1 つの実施形態による正面から見たときの流線形態のデバイスの簡略図を示している。

【図 1 4】図 1 4 は、デバイスの表面積を大きくするように構成される配置構成を示している。半径方向外側に突出する複数の隆起部を設け、各隆起部は、図 1 2 において説明されるフロー制御構造を含む。

10

20

30

40

50

【図 15】図 15 は、入口及び出口が互いに隣接して、デバイスの同じ側に配置される本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの代表図を示している。単一流路をポケット内に形成する線形流路制御構造を設ける。

【図 16】図 16 も、入口及び出口が互いに隣接して、デバイスの同じ側に配置される本発明の 1 つの実施形態による所定の形態のデバイスを示している。デバイスのこの正面表示図では、中心部分は、分岐流路を形成する線形流路制御構造及び流線形流路制御構造の両方を有する。

【図 17】図 17 は、対向側に配置される入口及び出口を備える 1 つの流体導管を有する本発明の 1 つの実施形態による線形流路デバイスを示している。

【図 18】図 18 は、デバイスの対向側に配置される入口及び出口と、中心部分の 1 つの制御構造と、を備える 2 つの流体導管を有する本発明の 1 つの実施形態による線形流路デバイスを示している。

10

【図 19】図 19 は、複数の異なる流路を形成する複数の円形フロー制御構造を含む本発明の 1 つの実施形態によるデバイスを示している。

【図 20】図 20 は、入口及び出口の両方として機能する複数の開口部を有する 4 つの分岐を有する本発明の 1 つの実施形態による所定の形態のデバイスを示している。

【図 21】図 21 は、複数の流路を形成する複数の隆起部を有する本発明の 1 つの実施形態による配置構成を示している。

【図 22】図 22 は、線形流路制御構造により形成される単一流路を備える本発明の 1 つの実施形態による U 字形流路デバイスを示している。入口及び出口の両方が、デバイスの同じ側に配置される。

20

【図 23 a】図 23 a は、複数の制御構造により形成され、かつデバイスの対向側に配置される入口及び出口を有する蛇行流路を辿る 1 つの流体導管を備える本発明の 1 つの実施形態による矩形デバイスを示している。

【図 23 b】図 23 b は、複数の制御構造により形成される蛇行湾曲流路を辿る 1 つの流体導管を備える本発明の 1 つの実施形態による矩形デバイスを示している。入口及び出口は共に、デバイスの同じ側に配置される。

【図 24】図 24 は、流線形流路デバイス及び挿入デバイスを備える本発明の 1 つの実施形態によるモジュール配列状態の複数デバイスの実施例である。

【図 25】図 25 は、線形流路デバイスを備える本発明の 1 つの実施形態によるモジュール配列状態の複数デバイスの実施例である。

30

【図 26】図 26 は、矩形空間を占有するように構成される本発明の 1 つの実施形態によるモジュール配列状態の複数デバイスの実施例である。この代表図に示す各個別デバイスは、本発明の範囲に含まれるデバイスである。

【図 27】図 27 a は、本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの代表図を切断するときの平面断面線 A 及び B を示しており、平面断面線 A 及び B を取り入れて、本明細書において提示される他の図面を理解し易くしている。図 27 b は、膜層自体の上に折り返すことにより固着してユニットを形成する 1 つの膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの代表図を切断するときの平面断面線 C を示している。図 27 c は、中心制御構造を有する本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの代表図を切断するときの平面断面線 D を示しており、平面断面線 D を取り入れて、本明細書において提示される他の図面を理解し易くしている。

40

【図 28 a】図 28 a は、界面接着材を介して互いに固着させる第 1 及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図（図 27 a の断面 B）を示している。

【図 28 b】図 28 b は、膜を構造構成部材の対向表面に界面接着材を介して固着させる箇所間に構造構成部材を備える第 1 及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図（図 27 a の断面 B）を示している。

【図 29 a】図 29 a は、界面接着材を介して互いに固着させる第 1 及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図（図 27 c の断面 D）を示している。中心固着部が、2 つの流体導管を形成する制御構造を形成する。

50

【図 29 b】図 29 b は、膜を構造構成部材の対向表面に界面接着材を介して固着させる箇所間に構造構成部材を備える第 1 及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図（図 27 c の断面 D）を示している。中心固着部が、2 つの流体導管を形成する制御構造を形成する。

【図 30】図 30 は、固着方法における混合組成物を表わす本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの断面図（図 27 c の断面 D）を示している。

【図 31】図 31 は、人工光源がデバイスの内部に埋め込まれる、特に第 1 膜層と第 2 膜層との間に配置される制御構造（1 本ハッチング及び破線ハッチングで指示される）の内部に埋め込まれる本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの断面図（図 27 c の断面 D）を示している。

【図 32 a】図 32 a は、ユニットが、膜層自体の上に折り返して一方の端部で界面接着材を介して固着させる単一チューブ状膜層押出成形物により構成される本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの断面図（図 27 b の断面 C）を示している。

【図 32 b】図 32 b は、折り返し形状と、膜を膜自体に界面接着材を介して固着させる箇所に挿入される構造構成部材と、を有する図 32 a によるデバイスの断面図（図 27 b の断面 C）を示している。

【図 33 a】図 33 a は、第 1 及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示しており、追加構成部材が、2 つの膜層により形成されるユニットの内部に配置される。

【図 33 b】図 33 b は、界面接着材を介して固着させるこれらの膜の間に挿入される構造構成部材を有する図 33 a によるユニットの断面図を示している。

【図 34】図 34 は、第 1 及び第 2 膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるユニットの断面図を示しており、ガスが膜層内を透過する方向を表わしている。

【図 35】図 35 は、1 つのデバイスによるバイオマス生産及びバイオマス収穫を制御する本発明の 1 つの実施形態による付属システムの模式図を示している。

【図 36】図 36 は、本発明の 1 つの実施形態によるバイオマスを、デバイスを使用して生産し、収穫する（継続的に、またはバッチで）サイクルを示している。

【図 37】図 37 は、本発明の 1 つの実施形態によるバイオマスを、デバイスを使用して生産し、収穫する（継続的に、またはバッチで）サイクルを示している。

【図 38】図 38 は、ユニットが、単一チューブ状膜層押出成形物により構成される本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの断面図（図 27 a の断面 B）を示している。

【図 39】図 39 は、膜層及び非被膜層を有する本発明の 1 つの実施形態によるデバイスの断面図（図 27 a の断面 A）を示している。

【図 40】図 40 は、実施例において説明される本発明の 1 つの実施形態によるシステムの模式図を示している。

【図 41 a】図 41 a は、実施例の結果を、第 1 実験（実験 A）を実施した際の液体培地中の酸素濃度のグラフで示している。

【図 41 b】図 41 b は、実施例の結果を、第 2 実験（実験 B）を実施した際の液体培地中の酸素濃度のグラフで示している。

【発明を実施するための形態】

【0030】

本明細書において引用される全ての参考文献の内容全体が、引用をもって本明細書に組み込み記載されているものとする。特に断らない限り、本明細書において使用される全ての技術用語及び科学用語は、本発明が属する技術分野の当業者が普通に理解する意味と同じ意味を有する。

【0031】

本願発明者らは、バイオマスを生産するのに適するガス透過性フォトバイオリアクターデバイスを開発した。有利な点として、バイオマスは、当該デバイス内で継続的に生産することができ、継続的に収穫することができる。生産されるバイオマスの量は、例えば複数のユニットをモジュール式に組み合わせることにより、またはデバイス及びデバイスの構

10

20

30

40

50

成部材の形状及び／又は厚さを最適化することにより、もしくは異なる微生物を利用することにより増やすことができる、または最適化することができる。また、本発明の実施形態を使用して、外気と微生物を増殖させるために使用されるユニットの内部の液体培地との間の酸素及び／又は二酸化炭素のようなガスのガス移送の制御を容易にすることもできる。

【0032】

本発明の実施形態を最適化して、ユニット内に収納される光合成微生物の光合成効率を最大化することができるので、バイオマスの生産効率を最大化することができる。

【0033】

本発明を詳細に開示する前に、複数の定義を行なって、本発明を理解し易くする。

【0034】

本明細書において使用されるように、「comprising（備えている）」という用語は、列挙する構成要素群のいずれかの構成要素が必ず含まれており、他の構成要素が適宜含まれていても良いことを意味している。「Consisting essentially of（基本的に～から成る）」とは、列挙するいずれの構成要素も必ず含まれ、列挙する構成要素の基本的な新規の特徴に大きく影響する構成要素が除外され、他の構成要素が適宜含まれていても良いことを意味している。「Consisting of（～から成る）」とは、列挙する構成要素以外の構成要素が除外されることを意味している。これらの用語の各用語により定義される実施形態が、本発明の範囲に含まれる。

【0035】

当業者であれば認識できることであるが、「photosynthesis（光合成）」という用語は、藻類及びシアノバクテリアを含む光合成微生物を含む緑色植物及び他の光合成生物において行なわれる生化学的プロセスを指す。光合成プロセスでは、光を利用して二酸化炭素及び水を代謝物及び酸素に変換する。本明細書において使用されるように、「photosynthetic microorganism（光合成微生物）」という用語は、光合成を起こすことができる全ての微生物を指す。本明細書において使用されるように、「phototrophic（光栄養）」及び「photosynthesizing（光合成）」という関連用語は、「photosynthetic（光合成）」と同義語であり、2つの用語は本明細書では同じ意味に使用することができる。

【0036】

本明細書において使用されるように、「translucent（半透明）」という用語は、この技術分野における当該用語の普通の意味を持ち、光を透過させることができることにより、光線をランダムに内部散乱させる光透過性材料を指す。この用語は、「semi-transparent（半透明）」と同義語である。

【0037】

本明細書において使用されるように、「transparent（透明）」という用語は、この技術分野における当該用語の普通の意味を持ち、可視光を、材料内を透過させることができることにより、被写体を明確に材料の他方の側で見ることができる材料を指している、別の表現をすると、当該用語は、「optically clear（光学的に透明である）」と記述することができる。本明細書において記載される全ての膜材料及び非被膜材料、追加構成部材、制御構造、コーティング、及び他の材料は、実質的に半透明または実質的に透明とすることができる。

【0038】

本明細書において使用されるように、「permeable（透過性）」または「gas permeable（ガス透過性）」という用語は、ガス、特に酸素（O₂）、二酸化炭素（CO₂）、窒素（N₂）、及び任意であるが、メタン（CH₄）を材料の一方の側から他方の側に、いずれかの方向に、または両方向に移送することができる材料を指す。本明細書において使用されるように、「breathable（通気性）」及び「semipermeable（半透過性）」という関連用語は、「permeable（透過性）」と同義語であり、2つの用語は本明細書では同じ意味に使用することができる。通常、

10

20

30

40

50

材料は、シート、フィルム、または膜の形態である。permeation（透過）は、透過物（ガスのような）の濃度勾配、材料の固有透過性、及び膜材料中の透過化学種の拡散性に直接関連する。

【0039】

ガスが特定材料内を透過する透過性は、本明細書ではバーラー（Barrers）単位で測定される。バーラーは、ガス流が所定の圧力で駆動されて、所定厚さの材料領域内を透過するときのガス流の流量の測定単位である。バーラーは、普通、23℃（±2℃）で計算され、次式の通りに定義される：

【数1】

$$1 \text{ Barrer} = 10^{-10} \frac{\text{cm}_{\text{STP}}^3 \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}}$$

10

【0040】

バーラーは、特にガス透過膜に関連して現在使用されている最も普通のガス透過性の測定単位であるが、透過性は、他の単位でも定義することができ、他の単位の例として、 $\text{kmol} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1}$ 、 $\text{m}^3 \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1}$ 、または $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1}$ を挙げることができる。ISO15105-1は、単層プラスチックフィルムまたはシート、及び多層構造のガス透過率を差圧下で測定する2つの方法を規定している。一方の方法では、圧力センサを使用し、他方では、ガスクロマトグラフを使用して、検査試料内を透過するガスの量を測定する。ガス透過性の他の同等の測定方法は当業者に公知であり、本明細書において記載されるバーラー測定と同等であることが容易に分かる。

20

【0041】

本明細書において使用されるように、「porous（多孔質）」または「non-porous（非多孔質）」という用語は、貫通物質が材料内を透過する際の機構を分類する手段としての材料の多孔性を指す。膜材料は、ガス粒子が微細孔構造内を真直ぐに通過する場合に多孔質であると表記され、膜の一方の側から他方の側への透過化学種の移動が、更に複雑な物理的／化学的機構により行なわれる場合に、非多孔質であると表記される。

30

【0042】

本明細書において使用されるように、「biomass（バイオマス）」という用語は、微生物の選択部分（微生物によって排出される代謝産物及び副生成物を含む）を含む、生きている微生物または死んだ微生物の全てを指す。本発明の関係では、「biomass（バイオマス）」という用語は、具体的には、上に説明した通り、光合成による合成生成物を含む。

【0043】

本明細書において使用されるように、「sorptivity（吸収度）」という用語は、この技術分野における当該用語の普通の意味を持ち、材料が水及び他の液体を毛細管現象によって吸収して透過させる傾向の指標である。「hygroscopic（吸湿性）」という関連用語も、物質が水分子を周りから吸引して保持する能力を指す。これらの2つの用語は本明細書では同じ意味に使用することができる。

40

【0044】

本明細書において使用されるように、「biofilm（バイオフィilm）」という用語は、微生物中の細胞が互いに表面で吸着し合う微生物群を指す。

【0045】

本明細書において使用されるように、「pocket（ポケット）」という用語も「unit（ユニット）」を指し、これらの2つの用語は本明細書では同じ意味に使用することができる。

【0046】

50

本明細書において使用されるように、「device (デバイス)」は、1つの「unit (ユニット)」または「pocket (ポケット)」により構成することができる、もしくは複数の「unit (ユニット)」または「pocket (ポケット)」の配列もしくは組み合わせを含むことができる。

【0047】

本明細書において使用されるように、「fluid (流体)」という用語は、ユニット内に含まれる、従って本発明のデバイス内に含まれる流動可能な材料、代表的には液体、及び適切には液体培地を指す。

【0048】

本明細書において使用されるように、「liquid media (液体培地)」という用語は、この技術分野における当該用語の普通の意味を持ち、微生物を増殖させるために使用され、かつ微生物を含有する液体である。液体培地は、以下の物質：清浄水、塩水、生理食塩水、食塩水、海水、廃水、栄養素、リン酸塩、硝酸塩、ビタミン、ミネラル、微量栄養素、多量栄養素、金属、微生物増殖培地、BG11増殖培地、及び微生物のうち1つ以上を含むことができる。

【0049】

同様に、「water channel (水流路)」、「fluid channel (流体流路)」、「fluid conduit (流体導管)」、「liquid media conduit (液体培地導管)」、及び「liquid media channel (液体培地流路)」という関連用語は、同義語であり、これらの用語は本明細書では同じ意味に使用することができる。

【0050】

本明細書において使用されるように、「photo-bioconverter (フォトバイオ変換デバイス)」及び「photo-bioreactor (フォトバイオリアクター)」という関連用語は、同義語であり、これらの2つの用語は本明細書では同じ意味に使用することができる。

【0051】

外側層

本発明の1つの実施形態によれば、膜層である外側層を含むユニットを備えるデバイスが提供される。一方の膜層は、可撓性とすることができるが、代表的な実施形態によれば、両方の膜層が可撓性である。これらの膜層の一方の膜層の少なくとも一部、及び任意であるが、第1膜層及び第2膜層の両方の膜層は、ガスが膜を横切って透過する高い透過性を示す。酸素が膜内を透過する透過係数は、約100バーラー (1 barrier (バーラー) = $1 \times 10^{-10} \text{ cm}^3$ (標準状態) $\cdot \text{cm} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cmHg}^{-1}$ を表す) 以上であり、代表的には約300バーラーであり、適切には約400バーラーである。本発明の特定の実施形態では、酸素が膜内を透過する酸素透過係数は、約500バーラー以上であり、場合によっては、約500バーラーよりも高い。二酸化炭素が膜内を透過する二酸化炭素透過係数は、約1000バーラー以上であり、適切には約2500バーラーであり、代表的には約3000バーラーである。本発明の特定の実施形態では、二酸化炭素が膜内を透過する二酸化炭素透過係数は、約3200バーラー以上である。この文脈において使用されるように、「at least a part (少なくとも一部)」という語句は、層のうち、ガスを、ユニットの外側膜内を通過させることができる十分大きなサイズの領域を意味する。ガスは通常、酸素及び二酸化炭素であるが、これらには限定されず、窒素、窒素酸化物、硫黄酸化物、及び／又はメタンを含むことができる。

【0052】

デバイスは、1つの方向からのみ照明される、または複数の方向から照明される。デバイスが、当該デバイスが光を、主として1つの方向からのみ受光するように配置され、かつ一方の(第1)膜層が、他方の(第2)膜層よりも透明度が低い、または半透明度が低い場合、第1膜層は、当該デバイスのうち、主光源と対向する側に設けることができる。特定の実施形態では、第1膜層は、当該デバイスのうち、光源から遠ざかる側に配置される。

【0053】

通常、膜層は少なくとも半透明であり、適切には実質的に透明である。

【0054】

通常、膜層は、1種類以上のガス透過性材料を含む。ガス透過性材料が液体を透過させないことが重要であり、これにより、ユニットの内部の液体培地がユニットの外部に漏れるのを防止することができる。ガス透過性材料は、多孔質（微細孔構造のガス透過性材料を含む）または非多孔質とすることができる。ガス透過性材料は、ガス粒子が微細孔構造内を真直ぐに通過することができる場合に多孔質であると表記される。ガス透過性材料が多孔質である場合、ガス透過性材料が、液体をほとんど透過させないことが重要である。適切には、ガス透過性材料は非多孔質であり、これにより、液体がガス透過性材料内を透過するのも防止することができ、かつ材料の多孔性に関連付けることができる透明度が低くなるのを防止することができる。

10

【0055】

ガス透過性材料は、化学的に最適化したガス透過性ポリマーのようなポリマーとすることができる。化学的に最適化したポリマーは、対応する非修飾ポリマーよりも優れているが、その理由は、化学的に最適化したポリマーは、安価であり、耐破断性が高く、疎水性であり、帯電防止性であり、透明度が高く、製造が容易であり、脆性が少なく、弾性が高く、ガス透過性が高く、特定のガスを選択的に透過させることができるからである。ポリマーの化学修飾は、当業者に公知の任意の方法で行なうことができ、例えばモノマーの化学組成、骨格鎖、側鎖、末端基を修飾することにより、及び／又は硬化剤、架橋剤、充填剤、加硫法、製造方法、加工方法、及び他の方法を使用することにより行なうことができる。

20

【0056】

膜層は、任意の適切なガス透過性材料を含むことができ、適切なガス透過性材料として、これらには限定されないが：シリコーン、ポリシロキサン、ポリジメチルシロキサン（PDMS）、フルオロシリコーン、有機シリコーン、セルロース（植物セルロース及びバクテリアセルロースを含む）、セルロースアセテート（セルロイド）、ニトロセルロース、及びセルロースエステルを挙げることができる。

【0057】

適切な実施形態では、膜層は、ポリシロキサン、適宜最適化されたポリシロキサンを含む。ポリシロキサンは化学的に修飾されていてもよい、または機械的に変性されていてもよい。通常、膜層はポリシロキサンエラストマーを含む。ポリシロキサンは、Si-O結合がポリマー構造の内部で生成されて、結合軸回りのより大きな回転を容易にし、連鎖移動を促進することにより透過度を高めるので、ガス透過膜の良好な候補であることが分かっている。その上、ポリシロキサンエラストマー（シリコーンゴムのような）は可撓性であり、UV照射耐性があり、弾性材料である。

30

【0058】

1つの実施形態では、膜層は、ポリジメチルシロキサン（PDMS）、適切に最適化されたポリジメチルシロキサンを含む。通常、膜層はポリジメチルシロキサン（PDMS）エラストマーを含む。ポリジメチルシロキサン（PDMS）は、エラストマー、樹脂、または流体の形態を採ることができる。PDMSエラストマーは、架橋剤を使用して形成される。PDMSは、PDMSの酸素透過性及び二酸化炭素透過性が非常に高く、PDMSが光透過性及びPDMSがUV照射耐性を有するので、代表的なガス透過性材料である。これらのエラストマーは通常、微生物増殖をエラストマー表面で促進しないので、非制御型バイオフィルムの増殖を防止する、及び／又はバイオマスを生産するデバイスの有効性を低下させてしまう生物付着を防止する（遮光）。任意であるが、バイオフィルムの増殖は、以下に説明されるように、生体支持組織及び／又は追加構成部材を利用することにより容易にすることができる。また、ポリジメチルシロキサン（PDMS）エラストマーは、可撓性であり、弾性材料である。

40

【0059】

ポリジメチルシロキサン（PDMS）は、化学的に修飾する、または機械的に変性させる

50

ことにより、ポリジメチルシロキサンのガス透過性を高める、及び／又はポリジメチルシロキサンの特性を変えることができる。PDMSエラストマーは通常、少なくとも350バーラー、少なくとも400バーラー、少なくとも450バーラー、少なくとも550バーラー、少なくとも650バーラー、少なくとも750バーラー、適切には少なくとも820バーラーの酸素透過係数、及び少なくとも2000バーラー、少なくとも2500バーラー、少なくとも2600バーラー、少なくとも2700バーラー、少なくとも2800バーラー、少なくとも2900バーラー、少なくとも3000バーラー、少なくとも3100バーラー、少なくとも3200バーラー、少なくとも3300バーラー、少なくとも3400バーラー、少なくとも3500バーラー、少なくとも3600バーラー、少なくとも3700バーラー、少なくとも3800バーラー、適切には少なくとも3820バーラーの二酸化炭素透過係数を有する。本発明の実施形態において使用されるPDMSの特性は、化学的介入により、機械的介入により、プロセスを促進する介入により最適化することができ、これらの介入は、これらには限定されないが、ポリマー鎖のモル質量(M_m)、ポリマー中の分散性(分散性は、重量平均モル質量と数平均モル質量の比である)、硬化時の熱処理温度及び熱処理時間、架橋剤とPDMSの比、架橋剤化学組成、末端結合型PDMS構造が架橋中に形成される過程に影響を及ぼしてしまう異なる末端基(メチル末端PDMS、ヒドロキシ末端PDMS、及びビニル末端PDMSのような)に関連する。

【0060】

別の実施形態では、膜層はバクテリアセルロースを含む。バクテリアセルロースは、植物セルロースと同じ分子式を有するが、バクテリアセルロースは、著しく異なる高分子特性及び高分子性を有する。一般的に、バクテリアセルロースは、化学的純度が高く、ヘミセルロースまたはリグニンを含有していない。更に、バクテリアセルロースは、多種多様な基板の上に製造することができ、形成時の成形性が高いので、増殖してほぼ任意の形状となることができる。また、バクテリアセルロースは、植物セルロースと比較して、より結晶に近い構造を有し、植物セルロース中のミクロフィブリルよりも非常に小さい固有の薄いリボン状ミクロフィブリルを形成することによりバクテリアセルロースが、はるかに微細な多孔構造を有するようになる。当業者であれば、セルロースの生成を最適化するように操作される、例えば大腸菌で発現させることができるアセトバクター種、アゾバクター種、リゾビウム種、シュードモナス種、サルモネラ種、及びアルカリゲネス種のセルロース生合成系のような複数種類のバクテリア系を認識している。バクテリアセルロースは、バクテリアセルロースの表面が、分子との結合を可能にする化学的界面となるように処理することができる。

【0061】

第2層は、上に定義される通り、膜層—すなわち、ガス透過性層—とすることもできる、または第2層は、非被膜層により構成することができ、非被膜層は、天然材料または合成材料のような任意の適切な材料を含む。適切には、第2層は、少なくとも半透明であり、代表的には透明である。第2層は、適切な通気性を有する。

【0062】

代表的な実施形態では、第1層及び第2層は共に、本明細書において定義される通り、ガス透過膜層である。

【0063】

第2層が非被膜層である実施形態では、第2層は、粗表面または多孔質表面を有することができるか、または粗表面または多孔質表面を有するように処理されているか、もしくは加工されている。これにより、微生物を材料に付着させることができ、層の内側表面でのバイオフィルムの成長を容易にすることができる。

【0064】

非被膜層は、任意の適切な材料により構成することができる。材料は、粗表面または多孔質表面を有することができる、もしくは粗表面または多孔質表面を形成するように処理されている、もしくは修飾されている。

【0065】

適切な実施形態では、第1層及び第2層は、圧着プレス及び／又は加熱プレスにより固着させる。加熱プレスでは、熱及び圧力を所定の時間長さに亘って加えて溶着部を形成する。当業者であれば、この用途における適切な加熱プレス法を熟知しているであろう。第1層及び第2層の一部を互いに固着させるために必要な正確な温度及び時間長さは、2つの層中に含まれる特定の材料によって異なる。別の構成として、または更に、界面接着材を使用して2つの層の一部を互いに固着させることができる；一旦、これらの層に塗布されると、界面接着材は、加熱プレス法を利用して硬化させることができる、または室温で自然に硬化させることができる、もしくは熱または圧力のみを使用して硬化させることができる。本明細書において使用されるように、「glue interface（界面接着材）」という用語は、2つの層を加熱プレスまたは湿潤プレスにより固着させることができる非結晶（非加硫）ポリマーの使用も含む。本明細書において使用されるように、「glue interface（界面接着材）」、「adhesive（接着剤）」、及び「adhesive interface（界面接着剤）」という関連用語は、同義語であり、これらの3つの用語は、本明細書では同じ意味に使用することができる。

10

【0066】

界面接着材の厚さは、界面接着材の組成、材料、及び層材料によって変わる。適切には、界面接着材の厚さは、10ミクロン以上、適切には20ミクロン、代表的には50ミクロンである。通常、界面接着材の厚さは、5mm以下、任意には1mm、適切には600ミクロン、代表的には200ミクロンである。

20

【0067】

更に詳細には、第1層及び第2層が、ポリシロキサン及び／又はジメチルポリシロキサン（PDMS）により構成される場合、これらの2つの層は、シリコーン接着剤を使用することにより互いに固着させることができ、シリコーン接着剤は、粘性液体ゲル状、層状、層テープ状とすることができる、及び／又は22℃以下または22℃以上で硬化してしまう全ての種類のシリコーン接着剤を含むことができる。シリコーン接着剤を両方の層に塗布した後、固着領域は通常、シリコーン接着剤の種類で規定される所定の時間長さに亘ってプレス処理され、使用する当該種類のシリコーン接着剤を加熱して硬化させる必要もある場合、シリコーン接着剤を所定温度で、利用するシリコーン接着剤の種類で規定される所定の時間長さに亘って加熱する。

30

【0068】

利用可能なシリコーン接着剤の種類として、これらには限定されないが、シリコーン接着材及びシリコーン接着剤層を挙げることができ、シリコーン接着剤層として、例えば0.20mm～0.60mmの厚さのVVB Birzer ADT-X（VVB Birzer ADT-Xは、加熱プレス処理を30～60秒間かけて、1～15N/cm²の圧力で、140～180℃の温度で行なうことにより固着する）、25～100ミクロンの厚さのAdhesives Research Arclad（登録商標）IS-7876シリコーン転写接着剤（シリコーン転写接着剤は、圧力及び約5℃以上の温度で固着する圧力感応接着剤である）を挙げることができる。

【0069】

別の構成として、シリコーン界面接着剤は、未硬化ポリシロキサン及び／又は未硬化ジメチルポリシロキサン（PDMS）からなる薄層により構成することができ、未硬化ポリシロキサン及び／又は未硬化ジメチルポリシロキサンを、未硬化ポリシロキサン及び／又は未硬化ジメチルポリシロキサンの架橋剤と混合することができ、これらの層の所望の固着領域に迅速に塗布することができ、次にプレス処理及び加熱処理して硬化させることにより、2つの層を互いに固着させることができる。

40

【0070】

幾つかの実施形態では、「界面接着材」及び／又はシリコーン接着剤を使用して2つの層を、流体導管が通常配置される領域において互いに固着させることができる。この固着により、制御構造を形成して液体培地の流れを制御し、流体導管を分岐させて複数の導管とする、または流体導管の方向を転換させて複数の導管とする。制御構造／固着領域により

50

、デバイスの構造的完全性を高めることができ、液体培地が容易に流れることができ、ユニットが液体圧力により膨張するときのデバイス容積、デバイス厚さ、及びデバイス形状に対する制御性を高めることができる。

【0071】

幾つかの実施形態では、「構造構成部材」を固着領域の2つの層の間に配置して、ユニット構造全体を補強し、ユニットが膨張するときのユニット厚さ、及びユニット形状を、より良好に制御することができる。これらの構造構成部材は、所望のユニット厚さに等しい厚さを有し、構造構成部材の長さ、及び輪郭形状は、所望の固着輪郭及び形状に少なくとも部分的に追従する。構造構成部材は、2つの層に、圧着プレス及び／又は加熱プレスにより固着させることができる。第1層及び第2層の一部を構造構成部材に固着させるために必要な正確な温度及び時間長さは、2つの層及び構造構成部材に使用される特定の材料によって異なる。別の構成として、または更に、界面接着材を使用して2つの層の一部を構造構成部材に固着させることができる。

10

【0072】

構造構成部材の材料として、これらには限定されないが、シリコン、ポリシロキサン、ポリシロキサンエラストマー、ポリジメチルシロキサン（PDMS）、及びPDMSエラストマーを挙げることができ、更には、光学的に透明な硬質ポリマーを含む高剛性ポリマーを挙げることができる。

【0073】

別の構成として、または更に、界面接着材を使用して2つの層の一部を互いに、構造構成部材を所望の固着領域の2つの層の間に挟んだ状態で固着させることができる。一旦、界面接着材をこれらの層及び構造構成部材に塗布すると、界面接着材を、加熱プレス法を利用して硬化させることができる、または室温で自然に硬化させることができる、もしくは熱または圧力のみを使用して硬化させることができる。

20

【0074】

幾つかの実施形態では、2つの層に界面接着材で固着させた、または界面接着材を用いることなく固着させた構造構成部材を使用して2つの層を互いに、流体導管が通常配置される領域において固着させることができる。この固着により、制御構造を形成して液体培地の流れを制御し、流体導管を分岐させて複数の導管とすることができる。制御構造／構造構成部材—固着領域により、デバイスの構造的完全性を高めることができ、液体培地が容易に流れることができ、及び／又はユニットが液体圧力により膨張するときのデバイス容積、デバイス厚さ、及びデバイス形状に対する制御性を高めることができる。

30

【0075】

界面接着材及び構造構成部材は、適切には半透明であり、代表的には透明である。

【0076】

適切な実施形態では、ユニットは、単一のガス透過膜層シートを、ガス透過膜層シート自体の上に折り返すことにより形成することができる。単一シートの2つの端部を固着させることによりユニットを画成することができる。固着方法は、上に説明した方法と同じである。上に説明したように、片方の固着を折り返し層の2つの側端面の間で行なって制御構造を形成することができる。折り返し端面は、取り付け構造またはマニホールドとの固定部として機能することができる；折り返し端面は、クランプすることもできる、またはその他には、補強することもできる。

40

【0077】

1つの実施形態では、ユニットは、単一のガス透過膜シートを、チューブ状に押出成形することにより形成することができる。この実施形態では、これらの端部を固着させる必要はないが、その理由は、ガス透過膜シートが既に、2つの側端面で閉鎖されていてユニットを画成しているからである。しかしながら、上に説明したように、固着を同じ押出成形層の2つの側端面の間で行なって制御構造を形成することができる。これらの端面は、取り付け構造との固定部として機能することができ；折り返し端面は、クランプすることもできる、または補強することもできる。

50

【0078】

追加構成部材

幾つかの実施形態では、本発明のデバイスは、ポケットまたはユニット内に配置される追加構成部材（例えば、14, 16など）を備える。この構成部材の主たる目的は、微生物が付着する表面を提供することによりバイオフィルムを形成することにある。

【0079】

この構成部材は、任意の適切な材料を含むことができる。材料は、粗表面または多孔質表面を有することができる、もしくは粗表面または多孔質表面を形成するように処理されている、もしくは修飾されている（例えば、加工されている、またはコーティングされている）。別の構成として、追加構成部材は、全体を多孔質とすることができ、スポンジ材料、タンパク質、付着マトリックス、またはメッシュのような任意の適切な多孔質材料を含む。

10

【0080】

追加構成部材は、デバイスのユニット内のいずれの箇所にも配置することができる。幾つかの実施形態では、追加構成部材は、デバイスの外側層群の一方または両方の内部に接触している。構成部材は、これらの層の内側表面全体を覆うことができる、または内側表面の一部のみを覆うことができる。

【0081】

追加構成部材は、適切には、少なくとも半透明であり、代表的には透明である。

【0082】

幾つかの実施形態では、追加構成部材を、一方の側面または両方の側面において、生体支持部材でコーティングすることができる。このような配置構成では、微生物が、追加構成部材の表面にではなく、生体支持部材に付着するので、追加構成部材は、多孔質である必要がない、または粗表面もしくは多孔質表面を有する必要がない；追加構成部材は、コーティングを支持することができる任意の材料により形成することができる。

20

【0083】

生体支持部材

1つの実施形態では、本発明のデバイスは更に、第1層及び第2層により形成されるポケット内に配置される生体支持部材を備える。生体支持部材は、光合成微生物が付着する物理的構造または化学的界面となる材料である。生体支持部材を修飾して微生物を付着させるようにしてもよい。

30

【0084】

生体支持部材は任意であるが、タンパク質コーティング及び／又は化学コーティングのようなコーティングを含む。通常、生体支持部材コーティングは、0.1 nm以上、適切には0.5 nm、任意には約50 nm以上の厚さを有する。1つの実施形態では、生体支持部材コーティングは、1 nmの厚さを有する。生体支持部材は、最大30ミクロンの厚さを有することができ、本発明の幾つかの実施形態では、50ミクロンと同程度の厚さを有することもできる。

【0085】

適切には、生体支持部材は、少なくとも半透明であり、代表的には透明である。

40

【0086】

上に説明したように、光はデバイスに単一方向から、または複数の方向から到達することができる。デバイス内に配置される光合成微生物は、主光源に最も近いデバイスの側面に引き寄せる（例えば、走光性により）ことができ、デバイスの側面の内側表面に付着してバイオフィルムを形成する。しかしながら、これは望ましくなく、何故なら、バイオフィルムが、主光源に最も近いデバイスの構成部材の内側表面に形成されると、光がデバイスの他の構成部材に到達するのを妨げてしまうからである。デバイスの生体支持構成部材を設けることにより、デバイス内の微生物増殖の位置を制御することができ、所望の位置での増殖を容易にする。生体支持構成部材を使用して、デバイス内を伝搬する光の透過を最適化することができるデバイス領域におけるバイオフィルム形成を促進することができる

50

ので、デバイス内に収納される光合成微生物の光合成効率を容易に最大化することができ、従ってバイオマスの生産効率及び再生産効率を最大化することができる。ポケット内の生体支持部材の位置は、デバイスの特定の組成及び配置構成によって変わり得る。例えば、生体支持部材は、第1層及び第2層の片方または両方の内側表面に近接して、または接触して配置することができる。生体支持部材は、これらの層の片方または両方の内側表面を部分的に覆う、または内側表面全体を覆うことができる。別の構成として、生体支持部材は、ポケット内の中心に配置することができる（すなわち、第1層または第2層の内側表面に接触しない）。代表的な実施形態では、光がデバイスに主として単一方向から到達する場合、生体支持部材を使用して増殖及びバイオフィーム形成を、主光源から最も遠い反対側で促進する。

10

【0087】

上に説明した追加構成部材ポリマーまたは多孔質構成部材を含む本発明の実施形態では、追加構成部材を生体支持部材で部分的にコーティングするか、または追加構成部材全体を生体支持部材でコーティングすることができる。

【0088】

微生物

デバイスのユニット内に収納される微生物は光合成を行なうことができる。光合成を行なうことができるいずれの微生物も、光合成微生物と表記される。適切な実施形態では、光合成微生物は、微細藻類（緑色藻類、青緑色藻類、黄金色藻類、及び赤色藻類のような）、植物プランクトン、渦鞭毛藻類、珪藻、バクテリア、更にはスピルリナ（*Spirulina* sp.）のようなシアノバクテリアから選択される。微生物は、野生型株または遺伝的改変株とすることができる。本発明の実施形態による単一デバイスは、異なる1種類以上の微生物を含むことができる。

20

【0089】

通常、少なくとも1種類の微生物は、ヘマトコッカス属（*Haematococcus* sp.）、ヘマトコッカスプルビアリス（*Haematococcus pluvialis*）、クロレラ属（*Chlorella* sp.）、クロレラアウトトロヒカ（*Chlorella autotrophica*）、クロレラヴァガリス（*Chlorella vulgaris*）、セネデスムス属（*Scenedesmus* sp.）、シネココックス属（*Synechococcus* sp.）、シネココックスエロンガツス（*Synechococcus elongatus*）、シネコシステイス属（*Synechocystis* sp.）、アルスロスピラ属（*Arthrospira* sp.）、アルスロスピラプラテンシス（*Arthrospira platensis*）、アルスロスピラマキシマ（*Arthrospira maxima*）、スピルリナ属（*Spirulina* sp.）、クラモドモナス属（*Chlamydomonas* sp.）、コナミドリムシ（*Chlamydomonas reinhardtii*）、ガイトレリネマ属（*Geitlerinema* sp.）、リングビア属（*Lyngbya* sp.）、クロオコッキディオブシス属（*Chroococcidiopsis* sp.）、カロトリクス属（*Calothrix* sp.）、シアノセイス属（*Cyanothecace* sp.）、オスキラトリア属（*Oscillatoria* sp.）、グレオシス属（*Gloeothecace* sp.）、ミクロコレアス属（*Microcoleus* sp.）、ミクロキステイス属（*Microcystis* sp.）、ノストック属（*Nostoc* sp.）、アナベナ属（*Anabaena* sp.）である。

30

【0090】

ドナリエラサリナ（*Dunaliella salina*）及びシネココッカスマリウス（*Synechococcus marinus*）は、デバイス内の流路中を流れる液体培地が塩水を含む実施形態における代表的な微生物である。

40

【0091】

微生物の増殖及び付着を防止するコーティング

微生物が付着して増殖する状態を制御してバイオフィームをデバイス内に形成するために、及び微生物が増殖しない状態を制御するために、本明細書において説明されるデバイスの全ての構成部材を、またはデバイスの所定の構成部材を疎水性コーティング、親水性コーティング、または抗菌性コーティングで被覆することにより、もしくは加工する、またはその他には、物理的もしくは化学的に変性させることにより、疎水性、親水性、または抗菌性を持たせることができる。本文脈において使用されるように、「portion（

50

部分)」という用語は、構成要素の量が、前記構成要素に疎水性、親水性、または抗菌性を付与するために十分な量であることを意味している。

【0092】

抗菌剤は、粗表面のような物理的変性、またはコーティングのような化学的修飾とすることができる。

【0093】

適切な抗菌剤として、有機シラン、銀、銀合金、銅、及び銅合金を挙げることができる。

【0094】

代表的な疎水性コーティングとして、Teflon（テフロン：登録商標）、PTFE、ポリ（メチルメタクリレート）（PMMA）、グラフェン、及びカーボンナノチューブを挙げることができる。当業者であれば認識していることであるが、例えば「super hydrophobic（超疎水性）」表面を、フルオロカーボンを使用して形成することもできる。

10

【0095】

親水性コーティングは、微生物付着及びバイオフィーム形成を防止することもできる。適切には、このような親水性コーティングは、グリシン、ベタイン及びスルホベタインのような高度に水和された両性イオンを利用して調製される。

【0096】

これらのコーティングは、ユニット内に配置される微生物が、構成部材の内側表面に吸着されるのを防止する。このように、微生物の増殖及び付着がデバイス内で行なわれる状態を制御することができる。これは、デバイス内を伝搬する光の透過を最適化することにより、最適な光合成がデバイス内に配置される光合成微生物により行なわれ、従ってバイオマスの生産が最適化されるので有利である。微生物増殖及びバイオマス形成の位置をこのように制御することが、バイオマスをデバイスから最適に収穫するのに役立ち、最適に収穫し易くすることもできる。

20

【0097】

例えば、微生物が、膜層の内側に付着してバイオフィームを形成するのを防止することが望ましいが、その理由は、バイオフィームが形成されると、光がデバイスのポケットの内側に到達するのを妨げてしまうからである。これは、膜層が、光源に最も近いデバイスの側面に配置される実施形態において特に重要である。従って、本発明の代表的な実施形態では、膜層の内側（すなわち、2つの外側層により形成されるポケットの内部の膜層の内側）の少なくとも一部を、疎水性コーティング、親水性コーティング、または抗菌性コーティングで被覆することができる、もしくは加工する、またはその他には、物理的もしくは化学的に変性させることにより、疎水性、親水性、または抗菌性を持たせて、微生物の増殖及び付着を防止することができる。

30

【0098】

他の適切な実施形態では、第2層の内側表面を、疎水性コーティング、親水性コーティング、または抗菌性コーティングで被覆することができる、もしくは加工する、またはその他には、物理的もしくは化学的に変性させることにより、疎水性、親水性、または抗菌性を持たせることができる。

40

【0099】

光がデバイスに主として一方向から到達する例では、通常、微生物が、主光源から最も遠く離れて位置する外側層の内側表面で増殖するのを促進する。

【0100】

流体導管

液体培地及び水を誘導する流路として適切であり、かつ入口（1）及び出口（2）を有する1つ以上の流体導管は、ユニット内に配置されてユニット内を流れる流体流量を最適化する。特定の実施形態では、流体導管は液体培地導管を含むことができる。適切には、これに限定されないが、流体流速は、約1ml／分以上であり、代表的には50ml／分であり、任意には200ml／分である。システムの規模、及び構成によって異なるが、最

50

大30L／分の流量、適切には10L／分の流量、及び約1L／分の流量も可能である。流体流速は、所定時刻にデバイス内に収納されている光合成微生物の光合成作用に応じて変えることができるが、光合成作用は、温度及び光強度のような外部ファクタによって異なる。

【0101】

更に、流体流量は、流路の幅及び厚さだけでなく、デバイスの取り付け方位によっても変わり得る。

【0102】

流量を一定に維持することによりまた、微生物が膜層に付着するのを防止し易くなる、及び／又はバイオフィルム形成を支援するには特に想定されていない追加構成部材に付着するのを防止し易くなる。流体流量は、非常に短い時間長さ及び／又は非常に長い時間長さ（数秒、数分、数時間、数日）に亘って動的に変化し得る。

【0103】

代表的な実施形態では、1つ以上の流体導管は、ユニットと液体培地供給源との間の液体培地の流れを誘導し、液体培地の交換を容易にするように構成される。

【0104】

これは、制御構造により適切に行なわれ、これらの制御構造は、ユニット内に配置され、ユニット内を流れる液体培地の流通のバリアを形成することにより規定流路を形成する。制御構造は、任意の適切な半透明材料または普通の透明材料により形成することができる。別の構成として、または更に、制御構造は、2つの外側層の離散領域を固着させることにより形成することができる。この固着は、加熱プレスまたは界面接着材を使用して行なうことができる。制御構造／固着領域により、デバイスの構造完全性が高くなり、液体培地が流れ易くなり、ユニットが液体圧力により膨張するときのデバイス厚さ、及びデバイス形状に対する制御性を高めることができる。

【0105】

別の構成として、または更に、制御構造は、2つの外側層の離散内側領域を構造構成部材に固着させることにより形成することができる。この固着は、加熱プレスまたは界面接着材を使用して行なうことができる。制御構造／構造構成部材－固着領域により、デバイスの構造完全性が高くなり、液体培地が流れ易くなり、ユニットが液体圧力により膨張するときのデバイス容積、デバイス厚さ、及びデバイス形状に対する制御性を高めることができる。

【0106】

流体導管を配置することによりスペースを、液体培地の流れが最適化される箇所に形成することができる。また、流体導管は、液体培地をユニット全体にわたって均一に供給することにより、同様の液体培地流量を維持することができる。適切な実施形態では、1つ以上の流体導管は、微生物／バイオマスをユニットから取り出すことができる、及び／又は微生物を含む液体培地を、照射流路内を流すことができるように構成される。流体導管の構成を最適化することにより、デバイス内の温度制御を容易にすることもできる。流路の特定の配置構成を以下に詳細に例示する。

【0107】

デバイス（または、複数のユニットを備えるモジュール）は、1つ以上の入口を介して液体培地供給源に接続される。

【0108】

デバイスは、液体培地供給源に更に別のアタッチメント部品または接合機構（例えば、剛性固定具、可撓性固定具、クランプ固定具、圧入継手、導管接続具）を使用して接続することができる。

【0109】

本発明の別の実施形態では、デバイスは、入口及び出口の両方として機能する単一開口部を有する単一流体導管を備えることが最低限必要である。

【0110】

本発明の第２の態様は、フォトバイオリアクターモジュールに関するものである。フォトバイオリアクターモジュールは、上に定義される複数のデバイスを備える。

【０１１１】

本発明のこの態様の代表的な実施形態では、各個別ユニットは、１つ以上のデバイスに液体培地流路入口／出口を介して接続される。複数のデバイスは、互いに液体培地流路入口／出口を介して、更に別のアタッチメント部品または接合機構（例えば、剛性固定具、可撓性固定具、クランプ固定具、圧入継手、導管接続具）を使用して接続することができる。

【０１１２】

単一のデバイス及び／又は複数のデバイスは、液体培地供給源に、更に別のアタッチメント部品または接合機構（例えば、剛性固定具、可撓性固定具、クランプ固定具、圧入継手、導管接続具）を使用して接続することができる。

10

【０１１３】

適切には、モジュールは、単一のモジュールユニットとして組み立てられる。複数のフォトバイオリアクターモジュールは、互いに液体培地流路入口／出口を介して、更に別のアタッチメント部品または接合機構（例えば、剛性固定具、可撓性固定具、クランプ固定具、圧入継手、導管接続具）を使用して接続することができる。

【０１１４】

単一のモジュールユニット及び／又は複数のモジュールユニットは、液体培地供給源に、更に別のアタッチメント部品または接合機構（例えば、剛性固定具、可撓性固定具、クランプ固定具、圧入継手、導管接続具）を使用して接続することができる。

20

【０１１５】

人工光源

本発明のデバイスは、光を外部自然光源または人工光源から受光することができる。別の構成として、ポケット内に収納される光合成微生物に十分に光合成を行わせることが可能な光量を増やすために、人工光源をデバイス内に配置することができる。

【０１１６】

通常、人工光源は、発光ダイオード（ＬＥＤ）または有機発光ダイオード（ＯＬＥＤ）、もしくはデバイス内に埋め込まれる光ファイバまたは光学系から選択され、外部自然光源または人工光源に接続される。

【０１１７】

適切には、人工光源は、デバイス内に収納される光合成微生物が必要とする光合成活性放射線（ＰＡＲ）を受けて特定波長の電磁放射線（光）を発するように設計される、及び／又は制御される。

30

【０１１８】

図３３に示す適切な実施形態では、人工光源は、第１層と第２層との間に配置される１つ以上の半透明または透明制御構造／構造構成部材内に部分的に、もしくは完全に埋め込まれる。

【０１１９】

更に、外部光源に接続される光学系及び／又は光ファイバケーブルは、第１層と第２層との間に配置される１つ以上の半透明または透明制御構造／構造構成部材内に部分的に、もしくは完全に埋め込むことができる。

40

【０１２０】

形状及び寸法

以下の特徴は、本発明の実施形態による単一ユニットを備えるデバイスに、または他の実施形態による複数のユニットを備えるモジュールに適用することができる。

【０１２１】

ユニットが液体培地圧力により膨張すると、形状が潰れチューブと同様になってしまい、これにより、最適な厚さ、及び／又は容積が変化してしまう。

【０１２２】

適切には、液体培地圧力により膨張したときの本発明のデバイス、ユニット、またはモジ

50

ジュールの全厚は、出来る限り薄くして、光がデバイス内を全長にわたって伝搬して、デバイスの光合成能力及びデバイスのバイオマス生産効率を最大にすることができる。通常、厚さは、2 mm以上であり、適切には5 mmであり、代表的には10 mmである。厚さは、代表的には100 mm以下であり、適切には60 mmであり、代表的には35 mmである。

【0123】

ユニットの形状は、メッシュまたは薄厚の中実材料のような外部収納構造を使用することにより、及び／又はユニットを、ユニットの対向固着領域及び／又は折り返し領域及び／又は端面から延伸させることにより、平坦形状または実質的に平坦形状（チューブ状断面ではなく、矩形断面を有する）となるように制御することができる。

10

【0124】

デバイスまたはモジュール式フォトバイオリアクターの奥行き、及び幅もデバイス内の温度を制御するために重要であるが、その理由は、奥行き、及び幅が、デバイス内に収納することができる液体培地の量に影響するからである。より長い奥行き、及び幅を有するデバイスは、より多数の流体導管、及びより大きな容積の液体培地を収容できることになる。

【0125】

流体導管の長さ、及び幅は、用途及びユニット形状ごとに变化するので、流体導管は、任意の実効的な長さ、及び幅を持つことができる。一例として、線形ユニットの内部の流体導管の長さは、5 cm以上であり、かつ10メートル以下である。適切には、ユニットの内部の流体導管の幅は、1 cm以上であり、代表的には3 cmであり、かつ20 cm以下であり、適切には10 cmである。

20

【0126】

デバイスまたはモジュールの2次元形状または3次元形状は限定されない；当該形状は、矩形形状のような任意の簡便な形状、または一定幅を有する任意の形状、もしくは入口部分及び出口部分の周りの上部及び下部で狭くなる任意の形状、または葉形状、円形状、楕円形状、十字形状、方形形状、流線形状、星形状とすることができる。適切な形状の例について、以下に詳細に説明する。

【0127】

本発明の第3の態様は、本明細書において定義されるデバイスまたはフォトバイオリクターモジュールを使用してバイオマスを生産する方法に関するものである。

30

【0128】

更に、デバイスを使用して酸素を生成することもできる、及び／又は二酸化炭素のような環境汚染ガスを大気から除去することもできる。

【0129】

機能実行機構

ユニットの膜層があるために、ガス交換がユニット内に含まれる液体培地とユニットの外部の大気との間の膜内を通過している間に行なわれる。図34に示すように、透過性ガスのいずれの化学種の交換も、膜内をいずれかの方向に通過して行なうことができる、すなわちガスは、液体培地から外気（5）に透過する、または外気から液体培地（6）に透過することができる。ガス透過率は、ユニットの内部とユニットの外部との間の透過ガスの分圧差に応じて変化する。本発明の適切な実施形態では、二酸化炭素は、デバイスの内部の液体培地中の微生物により消費されることにより、液体培地中の二酸化炭素濃度が低下する。結果的に圧力差がデバイスの内部と外部との間に生じるので、新たな二酸化炭素が膜内を、外気からデバイスの内部に透過する。更に、代表的な実施形態では、微生物により生成される酸素が膜内を、デバイスの内部の液体培地からデバイスの外部に透過する。

40

【0130】

膜中に行なわれるガス移送により、通気コストを大幅に低減することができ、このガス移送は、より複雑で高価なガス供給システムを介して行なわれるのではなく、膜中に行なわれるガス透過が、追加エネルギーを入力することなく受動的に行なわれる。二酸化炭素は、光合成の重要な成分であることが判明しており、高い照度が与えられ、二酸化炭素が液

50

体培地の内部の微生物に効率的に供給されて、微生物がガスを必要とする状態を維持する場合、バイオマス生産速度を極めて高くすることができる。これとは異なり、微生物により生成される酸素は普通、液体培地中に溶解して、デバイス内の酸素濃度が増大する。酸素が液体培地中に高濃度で溶解すると、光合成過程の進行が遅くなるのでバイオマス生産速度が低下することが分かっている。

【0131】

酸素が標準的なフォトバイオリアクターの内部の液体培地から除去されている効果的な酸素欠乏状態は、主として、溶解酸素を液体培地からフォトバイオリアクターの外部に通気孔を介して、大抵は、液体培地中の気泡を利用することにより移動させる必要があるので、実現することが困難であると同時にコストが高く付く。

10

【0132】

殆どの標準的なフォトバイオリアクターでは、液体培地は、通気孔、気泡領域、通気入口及び／又は水貯蔵タンクに達する前に、非被膜導管の内部を長時間流れる。従って、液体培地は、非常に高い濃度の溶解酸素、及び非常に低い濃度の二酸化炭素を有することにより、バイオマス生産速度をかなり低下させてしまう。ガス透過性フォトバイオリアクターを使用して、デバイスの内部の液体培地とデバイスの外部との間のガス交換は、流れている間に継続的に行なうことができる。

【0133】

膜中で行なわれるこのガス移送をフォトバイオリアクター技術で行なうことの利点は、適用性を高めることができる、コストを低減することができる、液体培地中の微生物培養の品質を、酸素を効率的に除去することにより高めることができることである。

20

【0134】

付属システム

デバイスは、付属システムに接続することができる。デバイスの用途によって異なるが、付属システムは、任意の程度の複雑さを有することができ、任意の種類の付属構成部材により構成することができる。

【0135】

本発明の適切な実施形態では、デバイスは、主として導管、水貯留タンク、ポンプ、バルブ、バイオマス分離装置、人工照明システム（特に、自然光が無い場合）、水温制御システム、センサ、及びコンピュータにより構成される付属システムに接続される。

30

【0136】

導管及び容器（水貯留タンク）は、任意の種類とすることができ、任意の適切な材料を有することができる。

【0137】

ポンプもまた、任意の種類とすることができ、通常、ポンプは、液体培地の汚染リスク及び微生物の細胞の破損を減少させることができる蠕動ポンプであり、蠕動ポンプは、液体培地と接触する唯一の構成部材である蠕動チューブが使用されるので使用される。

【0138】

バイオマス分離装置は、当業者に公知の任意の種類とすることができ；適切には、バイオマス分離装置は、遠心分離型バイオ分離装置であり、微細孔メッシュを備えるフィルタリングシステムであり、及び／又は沈降装置であり、及び／又は清澄化装置である。

40

【0139】

水温制御部は、当業者に公知の任意の種類とすることができ；通常、水温制御部は加熱構成部材を備え、当該加熱構成部材は、導管の構成部材の周りに適切に取り付けられる、及び／又は水貯留タンクに適切に取り付けられる。加熱構成部材は、任意の種類とすることができ、適切には、熱交換機構を備えることができる。

【0140】

人工照明システムは、当業者に公知の種類の人工光源を使用することができ、適切には、照明システムはLEDを備え、通常、人工光源は、デバイス内に収納される任意の光合成微生物に必要とされる光合成活性放射線（PAR）に対応する特定波長の電磁放射線（光

50

）を発するように設計される、及び／又は制御される。

【0141】

適切なセンサ及びコンピュータについて以下に説明する。

【0142】

図35は、複数のフォトバイオリアクターユニット（105）を備える本発明の1つの実施形態の適切なシステム（90）を示している。容器（91）中の光合成微生物を含む液体培地は、ポンプ（92）により矩形フォトバイオリアクターユニット（105）の内部に入口（1）を介して送り込まれる。液体培地は、蛇行経路に沿ってユニット（105）内を流れ、当該ユニットでは、人工光源（93）または自然光源からの光が、液体培地中の微生物に到達して光合成を促進するとともに、ユニット（105）内の液体培地と外気との間のガス移送が、例えば図34に概略図示されるように、ユニットの膜層内を通過して行なわれる。液体がユニットから出口（2）を介して流出して3方向バルブ（94）に到達し、3方向バルブが、液体培地を容器（91）の内部に戻るよう誘導して回路を閉じる。容器（91）内のセンサ（95）は、微生物培養パラメータの値を測定し、出力をコンピュータに送信し、コンピュータが次に、ポンプ、バルブ、人工照明システム、温度制御システム、バイオマス分離装置のような付属システムの構成要素の動作を制御する。

10

【0143】

液体培地中のバイオマス濃度が所望の濃度に達すると、3方向バルブ（94）は流れをバイオマス分離装置（96）の内部に誘導し、バイオマス分離装置（96）がバイオマスを液体培地から分離し、分離されたバイオマスが収容体（97）の内部に流れ込んで更に処理されるとともに、液体培地は容器（91）の内部に戻るよう誘導される。流れをバイオマス分離装置の内部に誘導するこの操作は、バルブ（94）が流路を容器（91）に再度切り替える前に、定期的に所定の時間長さに亘って行なうことができる。このタイミングは、用途ごとに、使用する微生物に応じて、デバイスの周囲環境及び位置に応じて最適化することができる。

20

【0144】

栄養素は、システム内で定期的に容器（91）に直接導入することができる（98）。液体培地中の水及び／又は微生物は、または洗浄用流体は、同様にして導入することができる。

【0145】

全種類の他のシステム構成要素を利用することができ、例えば制御圧力バルブまたは圧力レギュレータ（99）をシステム内に格納することができ、この実施例では、圧力バルブは、ユニットの容積変化を液圧の変化の影響を受けることにより制御することができる。幾つかのバルブ（102）は、ユニットに流入する流量を制御することができる。

30

【0146】

必要に応じて、二酸化炭素及び／又は他のガスをリッチに含む補助空気及び／又は空気を主導管内に適宜導入することができる（101）。通気孔を導管内に取り付けて、例えばシステムの設置中に誤って油圧システムに流入してしまう空気を除去することができ、これらの通気孔は通常、システムの最高位置に配置されて不所望な空気の排出を容易にしている。

40

【0147】

洗浄手順を行なってユニット及び／又は導管及び／又は水貯留タンク及び／又は付属システム全体を洗浄する、及び／又は殺菌することができる。「cleaning liquid（洗浄液）」は、当業者が認識している任意の化合物により調製することができる。洗浄液は、エタノール、水、塩水、洗浄剤、漂白剤、界面活性剤、アルカリ組成物または任意の他の好適な洗浄組成物を含むことができる。洗浄液は、システムに、システムのいずれかの箇所の特定の導管内を通して流入し、システムのいずれかの箇所から流出して、システム全体を洗浄するのではなく、必要に応じて、特定の位置においてのみ洗浄を行なうことができる。

【0148】

50

保持方法及び取り付け方法

本発明のデバイスまたはデバイス群は、デバイスの所望の用途に合わせて、及び／又はデバイスの取り付け位置の環境特性に合わせて、あらゆる方位に、及び／又はあらゆる位置に取り付けることができる。デバイスのユニットは、本明細書において定義されるシール及びポケットに隣接配置される、適切には、外部固着領域に配置される補強境界部を有することができる。補強パネルは、外部取り付け構造に固定するために適している。好適な実施形態では、ユニットの境界部は、フレームまたは支持部材のような外部取り付け構造への取り付けを可能にする複数の固定部により補強される。補強境界部は、ユニットの構造を強化し、ユニット内の液体培地により膨張すると、ユニットの厚さ、及び／又は容積を制御することができるように機能することもできる。

10

【0149】

垂直な、ほぼ垂直な姿勢に、及び／又はかなり傾いた姿勢に取り付けられる場合、デバイスまたはデバイス群は、取り付け構造から、入口導管及び／又は出口導管、ユニットの補強境界部を介して、または補強宙吊り構造を介して宙吊りにすることができる。デバイスまたはデバイス群は、支持床に載置することができ、支持床は、地面とデバイスとの間の取り付け界面となることができ、この取り付け界面を水平姿勢、実質的に水平姿勢、及び／又はかなり傾いた姿勢（建物の勾配屋根に載せる場合のような）に良好に合わせる。支持床は、ミラーまたは他の光反射材料により構成して、デバイスのユニット内を透過する光の収光性を高めることができる。

【0150】

ユニットまたはユニット群が単一の折り返し膜層（図32a、図32b）により形成される実施形態では、折り返し端面（86）は、取り付け構造への固定点として機能することができる。折り返し端面をクランプするか、または補強することができる。

20

【0151】

更に別の構成層

本発明の別の実施形態では、図5～図9に示すように、追加構成部材（15，16）をユニットの内部に、外側膜層のうち1つ以上の外側膜層に接触するように配置することができる。または追加構成部材（15，16）は、第3層（87）の形態とすることができ、第3層（87）は、図33a及び図33bに示すように、第3層を、界面接着材（82）を介して2つの外側膜層に固着させることにより所定位置に固定することができる。任意であるが、構造構成部材（83）は、図33bに示すように、更に別の構成層と外側膜層との間に固着させることができる。更に別の構成層（87）は、単一の流体導管を2つの導管に分割し、かつ上に説明した制御構造（27，37，47）により形成される方位とは異なる方位に分割することができる。

30

【0152】

押出成形物

1つの実施形態では、ユニットは、単一のガス透過膜シートをチューブ状に押し出し成形することにより形成することができる（図38）。この実施形態により、両側端部を固着させる必要を取り除くことができるが、その理由は、ガス透過膜シートが2つの側端面で既に閉鎖されていてポケットを画成しているからである。上に説明したように、同じ押出成形層の2つの側端面の間の固着を行なって制御構造を形成することができる。任意であるが、端面（86）は、取り付け構造への固定部として機能することができ、折り返し端面は、クランプするか、または補強することができる。

40

【0153】

非被膜選択設計

本発明の別の実施形態（図39）では、ユニットの外側膜は、1つの膜層（11）と、1つの非被膜層（18）と、を備える。非被膜層（18）は、いずれかの材料、適切には可撓性半透明材料または非可撓性半透明材料、任意には、ガラスのような透明材料もしくは光学透明材料により形成することができる。非被膜層（18）は、ガスが膜層（11）を透過するガス透過性が、理想的なガス移送が液体培地とユニット（10）の外部の大気と

50

の間で行なわれるために十分高い場合に導入される。この実施形態は、上に説明した他の実施形態のいずれか1つの他の実施形態において説明されるように、追加構成部材及び構成を含むことができる。

【0154】

用途

本発明のデバイスは、多くの用途に利用することができる。これらの用途は、バイオマス生産、二酸化炭素隔離、酸素生成、窒素酸化物または他のガスの隔離が必要ないずれかの種類の用途、または廃水処理が必要ないずれかの種類の用途とすることができる、もしくは美容用途とすることもできる。デバイスは、屋内及び／又は屋外で使用することができる。

10

【0155】

本発明のデバイスに適した用途は、屋内及び／又は屋外のいずれかの建築用途とすることができ、これらの建築用途として、建物ファサードの一部、屋根、サンキャノピー、日よけ、窓、及び／又は屋内天井、屋内壁、または屋内床を挙げることができる。これらの用途では、生成酸素は、建物の内部で使用することができる、及び／又は二酸化炭素は、建物の内部及び／又は外部から吸収することができる。

【0156】

本発明のデバイスに適した用途は、これらには限定されないが、天井照明器具のようなインテリア照明システム、地面照明器具、壁照明器具、机照明器具、紐吊り照明器具、実験室照明器具、装飾照明器具、屋外照明器具、街路用照明器具、または広告用照明器具を含む任意の照明システム及び／又は照明器具と併用することができる。

20

【0157】

このような用途では、照明システムから提供される人工光源は、微生物が光合成するために必要な光の殆どを供給することができ、生成酸素は、建物の内部で使用することができる、及び／又は二酸化炭素は、建物の内部及び／又は外部から吸収することができる。

【0158】

本発明のデバイスに適した更に別の用途は、集約的なバイオマス生産用途であり、バイオマス生産用途として、これらには限定されないが、自然光源の殆どを使用する屋外集約型バイオマス製造プラント、温室内におけるような人工光源及び／又は自然光源を使用する屋内集約型バイオマス製造プラントを挙げることができる。

30

【0159】

本発明のデバイスに適した更に別の用途はインフラストラクチャと併用することができ、インフラストラクチャとして、これらには限定されないが、都市インフラ、自動車道路、橋梁、産業インフラストラクチャ、冷却塔、高速道路、地下インフラ、交通防音障壁、サイロ、給水塔、または格納庫を挙げることができる。

【0160】

本発明のデバイスに適した他の用途は、廃棄物処理プラントと組み合わせることができ、廃棄物処理プラントとして、これらには限定されないが、廃水処理プラント、市営廃水処理プラント、下水嫌気性消化槽、肥料嫌気性消化槽、嫌気性消化槽、または焼却炉を挙げることができる。

40

【0161】

本発明のデバイスは、汚染物質及び又は栄養素（硝酸塩及びリン酸塩のような）を廃水流から直接除去することができ、廃水流の方向をユニットの内部で転換させることができる。これは、廃水処理用途、及び水の部分的処理及び／又は前処理が要求される建築用途／工業用途において好ましい。本発明のデバイス内の微生物に有毒な汚染物質を含有する水は、このような実施形態では、デバイスの内部に導入される前に、処理されてこれらの汚染物質を除去する必要がある。

【0162】

本発明のデバイスは、任意の種類の化合物及びガスの交換が、デバイス（付属システムを備える）とこのプロセスとの間で行なわれる、任意の種類の工業プロセス及び／又は農産

50

物加工プロセス及び／又は飼育プロセス及び／又は集約的飼育プロセス（集約的養殖）及び／又は製造プロセス及び／又は精製プロセス及び／又はエネルギー生産プロセスに隣接して設けることができる。

【0163】

継続的な収穫

本発明の幾つかの実施形態の利点は、バイオマスをユニット内で継続的に生産することができ、かつ継続的に収穫できることである。

【0164】

上に詳細に説明したように、バイオマスは、ユニット内の液体培地中に、バイオフィーム領域のいずれかのバイオフィーム領域において蓄積され、バイオフィームは、生体支持構成部材、追加構成部材を含むデバイスの構成部材の表面に形成される、または2つの外側層の内側表面に形成される。バイオマスは、液体培地から、適宜化学処理も行なって直接収穫することができるので、バイオマスをデバイスの内部から容易に取り出すことができる。デバイスをパージしてバイオマスを放出するために、液体培地をデバイスに1つ以上の入口を介して流入させ、1つ以上の流路内を通過させ、デバイスから、流体中に含めて運搬されるバイオマスと一緒に、1つ以上の出口を介して流出させる。出口は、適切な収容体に接続して収穫バイオマスを受け入れることができる。

【0165】

バイオフィームをデバイス内で意図的に増殖させる実施形態では、バイオフィームは、活性光合成微生物固定化表面となって、デバイス全体を洗い流すときに微生物のかなりの部分が洗い流されるのを防止するように機能する。これにより、バイオマスの迅速な生産が容易になり、デバイス内で生産されるバイオマスを継続的に収穫することができる。これにより、デバイスはバイオマスを迅速に再生産／補給することができるが、その理由は、デバイス内に残留する微生物が、バイオマスを光合成により継続的に生産することができるからである（照明状態により光合成が可能であるとした場合）。また、バイオマスを収穫して更に多量のバイオマスを生産した後に、新たな微生物／追加の微生物をポケットの内部に導入する必要がない。

【0166】

バッチ収穫

別の構成として、バイオマスは、バッチで間欠的に収穫することができる。例えば、バイオマスは、デバイスから毎時間、毎日、または毎週、頻繁に収穫することができる。

【0167】

センサ

本発明の実施形態及び又は付属システムは、埋め込みセンサを含むことができ、埋め込みセンサを使用して、例えば液中及び／又はガス中の二酸化炭素濃度及び／又は酸素濃度のような化学濃度を監視することができる；及び／又は温度及び毒性レベルのような他の環境パラメータ及び生物学的パラメータを監視することができる；及び／又は液体培地中のバイオマス濃度を監視することができる。

【0168】

センサは、デバイス内に、付属システムの水貯留タンク（18）内に、及び／又は制御構造内に全体を、または一部を埋め込むことができる、及び／又は外側層の内部に、または外部に、もしくは内部追加構成部材の表面に取り付けることができる。

【0169】

センサにより、デバイスのユニットのポケットの内部の環境を監視することができるので、これらには限定されないが、液体培地流量、液体培地品質、栄養素レベル、温度、バイオマス抽出量、及び照明強度を含むパラメータに対する制御を可能にする。この制御の目的は、デバイス内に収納される光合成微生物の光合成効率を最適化し、従ってバイオマス生産効率を最適化することにある。

【0170】

本発明のデバイスは、以下の配置構成に例示されるが、以下の配置構成に決して限定され

10

20

30

40

50

るものではない。

【0171】

2つの膜層

本発明の特定の実施形態によるデバイスを図1に示す。デバイスは、2つの膜層（11，12）と、これらの膜層により画成される内側空間（13）と、入口（1）及び出口（2）と、を有するユニット（10）を備える。2つの膜層（11，12）は、同じ組成、または異なる組成を有することができる。微生物増殖は、これらの膜の一方の膜、両方の膜の内側で起こり得る、もしくはこれらの膜のいずれの膜の内側でも起こり得ない。

【0172】

適切な実施形態では、生体支持部材（15）を一方の層または両方の層の内側に設ける。生体支持部材により、微生物増殖が容易になり、バイオフィルムの形成が容易になる。生体支持部材が両方の膜層（11，12）の内側に設けられる配置構成が図3に図示されているのに対し、図4は、生体支持部材が一方の膜層の内側に設けられる配置構成を示している。

【0173】

デバイスの別の実施形態は、2つの膜層（11，12）を含むユニット（10）を備え、更に、上に定義される追加構成部材（14）を備えることができ、追加構成部材（14）は、2つの層により形成されるポケット（13）内に配置することができる。このような配置構成は、図2に図示されている。微生物が、膜層（11，12）の内側表面に付着するのではなく、追加構成部材に付着することが望ましい。流体流量は、微生物増殖がこれらの膜層で起こるのを防止するために十分多くすることができる。しかしながら、膜層（11，12）の内側表面または内側表面の一部は、疎水性とすることができる、または疎水性、親水性、もしくは抗菌性コーティングで被覆することができる、または疎水性もしくは抗菌性を有するように加工することができる、またはその他には、物理的に、もしくは化学的に変性させることができる。

【0174】

図5及び図6に示すように、追加構成部材（14）を適宜、片側または両側において、生体支持部材（15）で被覆することができる。この実施形態では、微生物は、追加構成部材の表面に付着するのではなく、生体支持部材に付着するので、追加構成部材は多孔質とする必要がない、または粗表面もしくは多孔質表面を有する必要がない。

【0175】

図7、図8、及び図9は、第1及び第2膜層（11，12）と、2つの層により形成されるポケット内に配置される追加構成部材（16）と、を有するユニット（10）を備えるデバイスを示している。この実施形態では、追加構成部材（16）は、多孔質材料により形成され、いずれかの膜層に、または両方の膜層に取り付けることができる、もしくはポケット（13）内に配置することができる。

【0176】

1つの膜層及び1つの非被膜層

本発明の幾つかの実施形態によるユニット（10）を備えるデバイスは、上に説明したように、1つの膜層（11）と、1つの非被膜層（18）と、を有することができる。このような実施形態は、図39に図示されている。この実施形態では、非被膜層を修飾するか、または処理することにより粗表面を形成して、微生物の付着、及びバイオフィルムの形成を促進することができる。

【0177】

デバイスを主として単一方向から照明する場合、膜層は、主光源に最も近いデバイスの側面に配置ことができ、非被膜層は、主光源から最も遠いデバイスの側面に配置することができる。別の構成として、非被膜層は、主光源に最も近いデバイスの側面に配置ことができ、膜層は、光源から最も遠いデバイスの側面に配置することができる。

【0178】

2つの膜配置構成について上に説明したように、膜層及び非被膜層を備えるデバイスは更

に、追加構成部材を備えることができ、追加構成部材に、上に説明される通りにコーティングを施すことができ、追加構成部材は、２つの層（１１，１２）により形成されるポケット（１３）内に配置することができる。

【０１７９】

流体導管の構成

対向側に配置される入口（１）及び出口（２）を備える１つの流体導管を有する本発明の単純な流線形の実施形態を図１０に示す。デバイス（２０）のこの正面表示図では、液体培地は、入口（１）を介して上部に流入し、ポケット（２３）内の空間中を流れて、出口（２）を介してデバイスの下部から流出する。

【０１８０】

２つの流体導管と、１つの制御構造と、を有する本発明の単純な流線形の実施形態を図１１に示す。デバイスのこの正面表示図では、ユニット（２０）が設けられ、中心部分（２７）は、２つの外側層を互いに固着させる領域、及び／又は制御構造が配置される領域を表わしている。流体は、入口（１）を介して上部に流入し、固着領域／制御構造の左側及び右側の２つの流路（２３）に分流される。両方の流路（２３）の液体培地は、出口（２）を介してデバイスの下部から流出する。

【０１８１】

複数のフロー制御構造（２７）を有する本発明の流線形の実施形態を図１２に示す。デバイス（２０）のこの正面表示図では、中心部分は、線形流路制御構造及び流線形流路制御構造の両方を有する。流体は、入口（１）を介して上部に流入し、４つの流路（２３）に分流される。流体は、全ての流路の流体は、出口（２）を介してデバイスの下部から流出する。

【０１８２】

複数の陥没型円弧状のフロー構造（２８）を有する本発明の流線形の実施形態（２０）を図１３に示す。この正面表示図では、ポケットは、配列状の複数のフロー制御構造（２８）を備える。これらの構造は、円形状とすることができる、または任意の他の簡便な形状とすることができる。制御構造は、乱流を生成するのみならず、液体培地を流すことができる複数の異なる流路を形成する。前の実施例の場合と同じように、この配置構成では、入口（１）は、表示図の上部に配置され、出口（２）は下部に位置している。

【０１８３】

図１４は、光に晒されるデバイスの表面積を大きくして、デバイスの光合成能力及びバイオマス生産効率を高めるように設計される配置構成（２０）を示している。この実施例では、複数の隆起部（２９）を設け、各隆起部は、上に説明したフロー制御構造（２７）を含む。

【０１８４】

図１５に示すように、異なる形態のデバイスはユニット（３０）を備える。デバイスのこの表示図では、入口（１）及び出口（２）は、互いに隣接して、デバイスの同じ側に配置される。線形流路制御構造が設けられ、線形流路制御構造は、単一の流路（３３）をユニット内に形成し、最適化された流路を形成する。流れは、下方に向かって、デバイス内を上部の入口（１）から流れるように誘導され、次に還流して戻り、デバイスから、これもデバイスの上部に配置される出口（２）を介して流れ出す。

【０１８５】

図１６は更に、入口及び出口が、デバイスの同じ側で、互いに隣接して配置される所定の形態のデバイスを示している。デバイスのこの正面表示図では、中心部分は、線形流路制御構造及び流線形流路制御構造（３７）の両方を有し、これらのフロー制御構造が２つの流路（３３）を形成する。流れは、上部の入口（１）から下方に向かって、２つの流路内を流れるように誘導され、次に還流して戻り、デバイスから、これもデバイスの上部に配置される出口（２）を介して流出する。

【０１８６】

図１７は、本発明のユニット（４０）を備えるデバイスの代表的な構成を示している。デ

10

20

30

40

50

バイスは線形（円形平行配管形状、または潰れチューブ形状／楕円チューブ形状）である。この形状は、製造するのが簡単であり、複数の他のデバイスと一緒にモジュール状に構成するのに特に適している。この表示図では、デバイスの幅は、入口（１）及び出口（２）の周りの上部及び下部で狭くなる。しかしながら、これを当てはめる必要はない；幅は、デバイスの長さに沿って同じとすることができる、または幅は、長さに沿って変わり得る（広くなる、もしくは狭くなる）。長さも、デバイスに必要な用途に応じて変えることができる。この表示図では、入口（１）及び出口（２）が対向側に配置される構成の１つの流体導管を設ける。

【０１８７】

図１８は、線形制御構造（４７）をデバイスの中心部分に導入して分岐流路（４３）を形成していることを除き、図１８において上に説明したユニットと同様のユニット（４０）を備えるデバイスを示している。流体は、上部の入口（１）を介して流入し、流れの方向が転換されて２つの流路（４３）に沿って流れる。両方の流路の流体は、出口（２）を介してデバイスの下部から流出する。

10

【０１８８】

図１９は、複数のフロー制御構造（４８）（フロー制御構造は、円形状または任意の他の簡便な形状とすることができる）を導入して、液体培地が流れることができる複数の異なる流路を形成していることを除き、図２０において上に説明されるユニットと同様のユニット（４０）を備えるデバイスを示している。この場合に図示される配置構成では、入口は、デバイスの上部に配置され、出口は下部に位置している。

20

【０１８９】

図２０は、入口（１）及び出口（２）を備える４つの分岐を有するユニット（５０）を備える所定の形態のデバイスを示している。入口及び出口は、この表示図に図示される４箇所のいずれの箇所にも配置することができる。４つの分岐の中心には、デバイス内、及びデバイスの構造内の流れを一定に保つ制御構造（５７）を設ける。この配置構成（５０）を使用して、複数のモジュール、ユニット、またはデバイスを連結合体させることができる、または当該配置構成は、単独で 사용할ことができる、もしくは同じ形状の他のデバイスと並べて使用することができる。

【０１９０】

図１４の流線形流路デバイスにおいて示される配置構成と同様の複数の隆起部（４９）を有する異なる配置構成が図２１に図示される。入口（１）は、デバイスの上部に位置し、出口（２）は下部に位置している。液体培地がデバイス内を流れる複数の流路を設ける。この配置構成は、光に晒されるデバイスの表面積を大きくして、デバイスの光合成能力及びバイオマス生産効率を高めるように設計される。

30

【０１９１】

図２２は、線形流路制御構造（６７）により形成される単一流路を有するユニット（６０）を備える線形流路デバイスを示している。入口（１）及び出口（２）は共にデバイスの同じ側に配置される（すなわち、この図のデバイスの上部に配置される）。デバイスの中心の線形流路制御構造は、単一流路をデバイス内に形成する。流れは、下方にデバイス内を上部の入口から流れるように誘導され、次に還流して戻ってデバイスから、これもまたデバイスの上部に配置される出口を介して流出する。

40

【０１９２】

図２３ a は、制御構造（７７）により形成される単一流路（７３）を有するユニット（７０）を備える正方形矩形デバイスを示している。入口（１）はデバイスの上部に位置し、出口（２）は下部に位置している。この配置構成では、流体は重力で流れることができ、当該流体は、パネル状の領域に、給排液するためのエネルギー入力を殆ど必要とすることなく充填されるように最適化される。

【０１９３】

図２３ a と同様に、図２３ b は、制御構造（７７）により形成される単一流路を有するユニット（７０）を備える正方形矩形デバイスを示している。入口及び出口は共に、デバイ

50

スの同じ側に配置される（すなわち、この図のデバイス上部に配置される）。線形流路制御構造は、単一流路（73）をデバイス内に形成する。流れは、下方にデバイス内を上部の入口から流れるように誘導され、次に還流して戻ってデバイスから、これもまたデバイス上部に配置される出口を介して流出する。

【0194】

図24～図26は、本発明の第2の態様による複数の個別デバイスを備えるフォトバイオリアクターモジュール配置構成を示している。このようなモジュール配列を使用して、大きな空間への充填を行なうことができる。複数の同一デバイスをモジュール状に使用することにより、フォトバイオリアクターメンテナンスコストを最小限に抑えることができる。フォトバイオリアクターモジュールが、互いに同一である、または同一ではない複数の個別デバイスを備える構成は、本発明の範囲に含まれる。

10

【0195】

図24は、流線形流路デバイスを備えるモジュールを示している。これらの流線形流路デバイスは、例えば図10～図16に図示されるデバイス群（20）のいずれかのデバイスとすることができる。

【0196】

図25は、線形流路デバイスを備えるモジュールを示している。これらの線形流路デバイスは、図17～図19に図示されるデバイス群（40）のいずれかのデバイスとすることができる。

20

【0197】

図26は、正方形領域への充填を行なうように設計される複数のユニット（70）を備えるモジュール配列状態のデバイスの実施例を示している。本発明によるデバイスは、様々な実施形態において、多種多様な異なる形状への充填が必要に応じて行なわれるように構成することができる。

【0198】

図27a、図27b、図27cは、本発明の幾つかの実施形態の表示の断面図であり、本明細書において提供される他の図面を理解し易くするために取り込まれる。

【0199】

図30は、第1層と第2層との間に配置される2つの制御構造を有する本発明の1つの実施形態によるデバイス（80）の断面図（図27cの断面D）を示している。任意の適切な半透明（または、代表的には透明）材料により形成することができるこれらの構造をポケット内に配置して、デバイス内を流れる液体培地の流通を制御して、デバイスの構造的サポートを行なう。

30

【0200】

図28aは、界面接着材（82）を介して互いに固着させる第1膜層（81）及び第2膜層（84）を有する本発明の1つの実施形態によるユニット（80）の断面図（図27aの断面B）を示している。

【0201】

図28bは、これらの膜を、界面接着材（82）を介して固着させる箇所間に構造構成部材（83）が位置する構成の第1膜層（81）及び第2膜層（84）を有する本発明の1つの実施形態によるユニット（80）の断面図（図27aの断面B）を示している。

40

【0202】

図29aは、界面接着材（82）を介して互いに固着させる第1膜層（81）及び第2膜層（84）を有する本発明の1つの実施形態によるユニット（80）の断面図（図27cの断面D）を示している。中心固着部（85）は、2つの流体導管を形成する制御構造である。

【0203】

図29bは、これらの膜を、界面接着材（82）を介して固着させる箇所間に構造構成部材（83）が位置する構成の第1膜層（81）及び第2膜層（84）を有する本発明の1つの実施形態によるユニットの断面図（図27cの断面D）を示している。中心固着部

50

(85)は、2つの流体導管を形成する制御構造である。

【0204】

図30は、固着法により固着部(82)をこれらの膜層の間に形成する際の混合組成物を表わす本発明の1つの実施形態によるデバイス(80)の断面図(図27cの断面D)を示している。

【0205】

図31は、人工光源(87)がバイオリアクターの内部に、特に第1膜層と第2膜層との間に配置される制御構造(86)(一点鎖線ハッチングで示される)の内部に埋め込まれる本発明の1つの実施形態によるデバイス(80)の断面図(図27cの断面D)を示している。

【0206】

図32aは、ユニットが単一のチューブ状膜層(81)押出成形物により構成され、チューブ状膜層押出成形物を一方の端部で固着部(82)自体に界面接着材を介して固着させる本発明の1つの実施形態によるデバイスの断面図(図27bの断面C)を示している。

【0207】

図32bは、膜(81)を固着部(82)自体に界面接着材を介して固着させる箇所の上に構造構成部材(83)を有する図32aによるデバイス(80)の断面図(図27bの断面C)を示している。

【0208】

図33aは、第1膜層(81)及び第2膜層(84)を有する本発明の1つの実施形態によるユニット(80)の断面図を示しており、追加構成部材(89)が、2つの膜層により形成されるユニットの内部に配置される。

【0209】

図33bは、膜(81, 84)を、界面接着材(82)を介して固着させる箇所の上に構造構成部材(83)を有する図33aによるユニット(80)の断面図を示している。

【0210】

図34は、第1膜層(3)及び第2膜層(4)を有する本発明の1つの実施形態によるユニットの断面図を示しており、ガスが、これらの膜層内を外側(5)に、または内側(6)に透過する選択方向を表わしている。

【0211】

バイオマスの生産及び収穫

図36は、バイオマスを、本発明のデバイスを使用して生産し、収穫する(継続的に、またはバッチで)適切なプロセスサイクル(150)を示している。(A)は、デバイスが取り付けられ、空になっている初期状態を示している。(B)は、デバイスに光合成微生物を含有する液体培地を充填する初期フェーズを示している。この段階では、バイオマスはデバイス内で、バイオマスが、段階(C)で表わされる液体培地中の所望のバイオマス密度に達するまで生産される。本発明の更に好適な実施形態では、このシステムサイクルは、継続的なシステムサイクルであり、段階(C)の後、液体培地をシステムのユニット内で継続的に循環させる。システム中のバイオマスは、段階(C)で表わされるように、定期的及び／又は継続的に収穫され、バイオマス収容体に誘導される、またはバイオマスは、システムサイクルを(B)に結び付ける矢印で表わされるように、「新たなシステムサイクル」に送給することができる、及び／又は新規ユニットに送給することができる。当業者であれば、バイオマスを抽出する最適なタイミングを見つけ出すことができ、最適なタイミングは、殆どの場合、微生物の代謝速度及び／又は増殖速度によって異なる。段階(D)においてシステムから失われたバイオマスは、システム中に残留している微生物の光合成作用により再生産することができる。この継続的なシステムサイクルは、バッチシステムサイクルの途中で適宜行なうことができ、液体培地は、システム内で継続的に循環することがなく、バイオマスがシステムから殆ど収穫され、最終的に、増殖フェーズが、システム内に残留している微生物により再開される前に、所定の時間長さ(増殖フェーズ)に亘って静止状態が保たれる。

10

20

30

40

50

【0212】

図37は、バイオマスを、本発明の幾つかの実施形態を使用して生産し、収穫する（継続的に、またはバッチで）ために考えられる「バイオフィルム培養」サイクルを示している。（A）は、デバイスが取り付けられ、空になっている初期状態を示している。（B）は、デバイスに液体培地及び光合成微生物を充填する初期フェーズを示している。（C）は、バイオフィルム増殖段階である。バイオフィルムは、デバイスの内部で増殖し始める。段階（D）は、バイオマス生産を表わしている。形成されたバイオフィルムは、光合成活性が高くなっているので、多量のバイオマスが、デバイス内に含まれる液体培地中で生産される。段階（E）では、バイオマスが、デバイスのユニット内で蓄積し、収穫される状態になる。段階（F）は、バイオマスが、デバイスから収穫されている状態を示している。この段階では、収穫バイオマスをバイオマス収容体に誘導して回収することができる、または（F）を（B）に結び付ける矢印で表わされるように、収穫バイオマスを新たなシステムサイクルに送り込むことができる。別のサイクルを（F）、（D）、及び（E）の間に設けることができるので、段階（F）においてシステムから失われたバイオマスを、デバイス内に残留している微生物の光合成作用により再生産することができる。従って、（D）、（E）、及び（F）は、図37に示す全体システム内の個別システムを表わすことができる。工程（D）、（E）、及び（F）はそれぞれ、同時に行なわれて、バイオマスを本発明のこのような実施形態を使用して継続的に収穫し、継続的に再生産することができる。

10

【0213】

本発明は、以下の非限定的な実施例を参照することにより更に例示される。

20

【0214】

実施例

実験装置を製作して、本発明の1つの実施形態によるシステムを検証した。具体的には、装置は、酸素及び二酸化炭素の移送が、液体培地及び光合成微生物で満たされているバイオリクターユニットの膜層内を通過している間に行なわれることを明らかにしている。

【0215】

事例検討セットアップは、簡易化されて図40に表わされる。

【0216】

ユニット（201）は、約400バーラー（ $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の温度）に等しい酸素透過係数、約2100バーラー（ $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の温度）に等しい二酸化炭素透過係数、及び約200バーラー（ $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の温度）に等しい窒素透過係数を有する100ミクロン厚さの2つのポリシロキサン膜層により形成される。

30

【0217】

システムに、シネコシスティス属(*Synechocystis* sp.)の培養液を含有する液体培地を充填する。システムは気密性を持っているので、システム内の液体培地とシステムの外部の空気との間のガス交換は、唯一、ユニット（201）のポリシロキサン膜層内を通過している間に起こり得る。

【0218】

液体培地中の溶解酸素濃度は、約 $7.5\text{ mg/l} \pm 0.3\text{ mg/l}$ である $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の温度での水中の酸素飽和度にほぼ落ち着くと予測される。

40

【0219】

二酸化炭素を空気中から取り込むことにより、pH濃度が経時的に低下すると予測される。

【0220】

容器（202）は、気密性を持つように、かつセンサ（203）を収容するように設計されている。この事例検討に使用されるセンサ（203）は、Mettler Toledo社製の1つの酸素検知用光センサ「InPro 6860 i」、Extech Instruments社製の1つのpHセンサ「601500」、Mettler Toledo社製の1つの高分解能デュアルファイバ濁度センサ「InPro 8200」、Wika社製の2つの温度測定用含浸プローブPT100/Class A, 14132821-T F45であった。2つの36W蛍光灯（205）を主照明光源とした。圧力レギュレータバ

50

ルブ（２０６）を導入して、ユニット（２０１）と容器（２０２）との間のユニットの膨張圧を一定に保った。

【０２２１】

液体培地温度を約３０℃（±２℃）に維持し、液体培地温度を、主容器（２０２）を取り囲む補助水槽を加熱することにより維持した。

【０２２２】

液体培地をシステム全体で、蠕動ポンプ（１０４）により、７３０ｍｌ／分の流速で間欠的に給排水した。ユニット（２０１）は、液体培地で完全に膨張させたときに１９ｃｍの長さ、９ｃｍの幅、約１．５ｃｍの厚さであった。

【０２２３】

液体培地中の溶解酸素濃度に関するデータは、２回の試行実験（実験Ａ及びＢ）で記録した。図４１ａ及び図４１ｂにそれぞれ示すグラフから分かるように、酸素濃度は、実験期間にわたって明らかに低下している。これは、酸素が膜を横切って透過する現象が発生していることを示唆している。

【０２２４】

培地中に測定されるｐＨ変化率は、ｐＨ緩衝剤として作用した溶解化合物（元々、藻類培地中に含有されている）を取り込むことにより部分的に減少した。代表的な緩衝剤化合物の例が、培地中に溶解して、培養液中への基礎代謝栄養素となるリン酸塩である。ｐＨの微小な低下が、実験中に観測されたが、二酸化炭素が水中に溶解することにより普通、発生するｐＨ変化の程度は、緩衝剤の作用により中和された。実験Ａ及び実験Ｂの期間を大幅に上回る期間の後、二酸化炭素が継続的に溶解することにより、ｐＨ変化を眼で確認することができた（データは提示されない）。

【０２２５】

実験を実施した結果を以下に提示する：

実験Ａ

種類	開始	終了	
O ₂	８．６９	７．６９	ｍｇ／ｌ（１１．５０％低下）
ｐＨ	１０．３７	１０．１６	（２．０２％低下）
時間	０	３０	分
平均温度	２８．４℃±２℃		

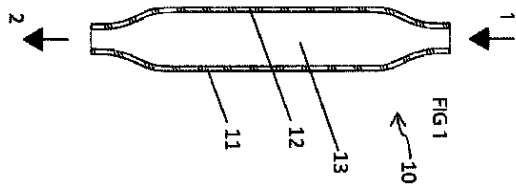
実験Ｂ

種類	開始	終了	
O ₂	８．６３	７．３１	ｍｇ／ｌ（１５．２９％低下）
ｐＨ	１０．３２	１０．０６	（２．５１％低下）
時間	０	４５	分
平均温度	２９．５℃±２℃		

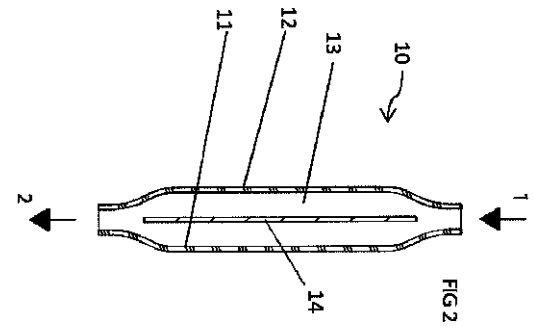
【０２２６】

本発明の特定の実施形態について、本明細書において詳細に開示してきたが、この開示は、例を挙げるにより行なわれ、例示のためにのみ行なわれている。前述の実施形態は、以下の添付の特許請求の範囲について限定的であると捉えられてはならない。本願発明者らは、本発明に対する様々な置き換え、変更、及び改変が、特許請求の範囲により規定される本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく行なわれると想定する。

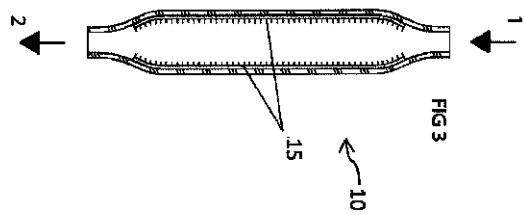
【図面】
【図 1】



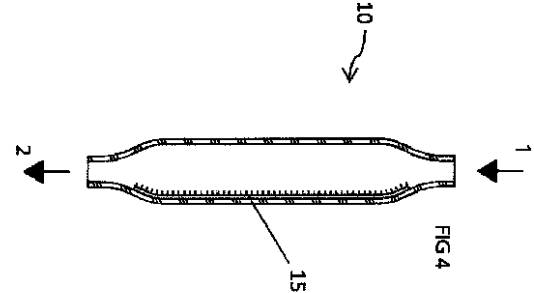
【図 2】



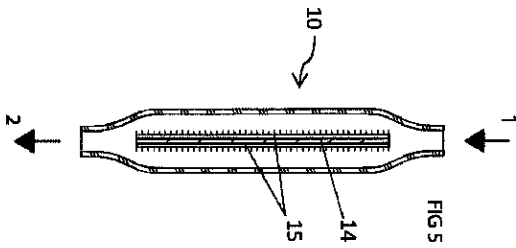
【図 3】



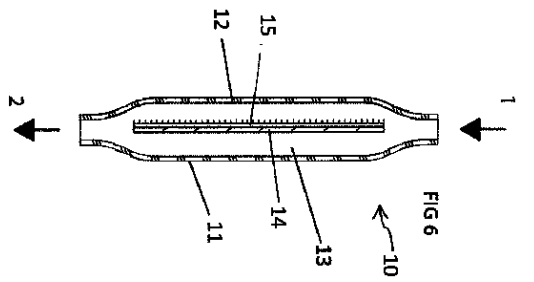
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

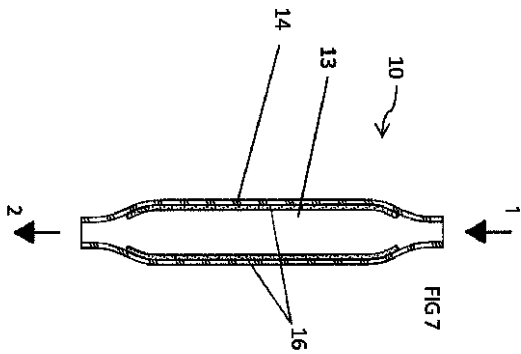
20

30

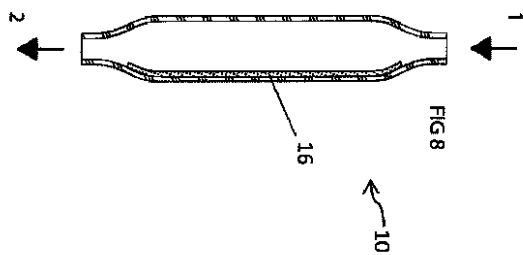
40

50

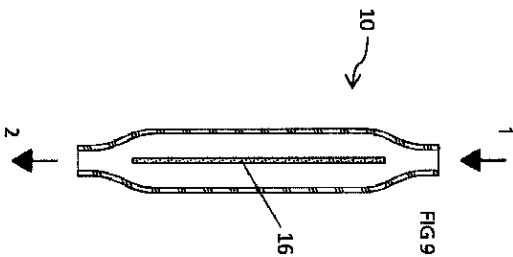
【図 7】



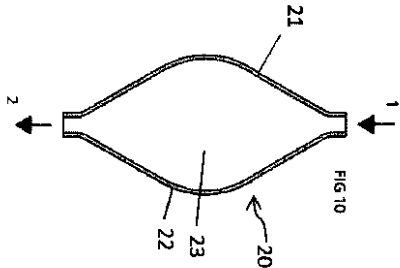
【図 8】



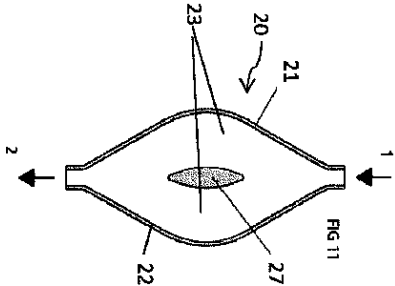
【図 9】



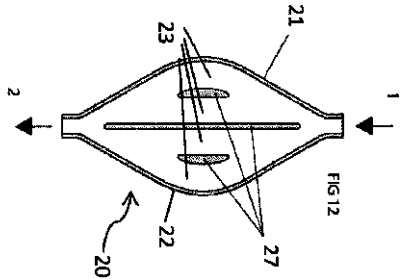
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

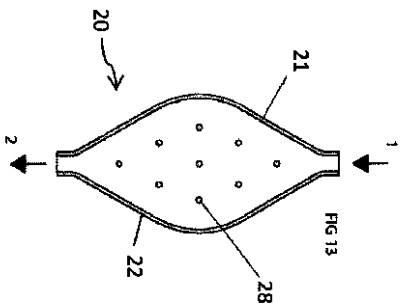
20

30

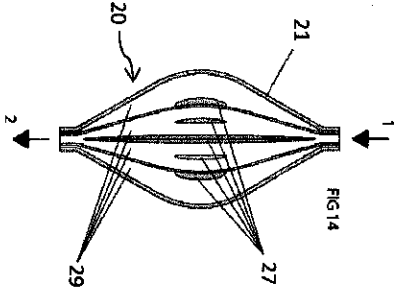
40

50

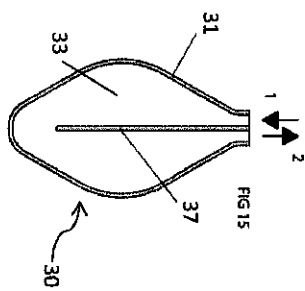
【図 13】



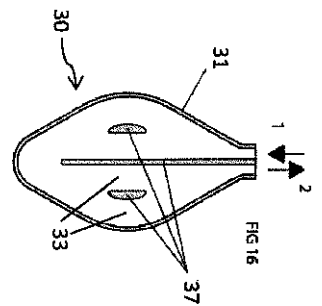
【図 14】



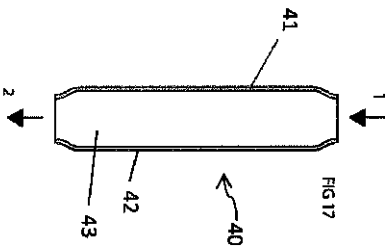
【図 15】



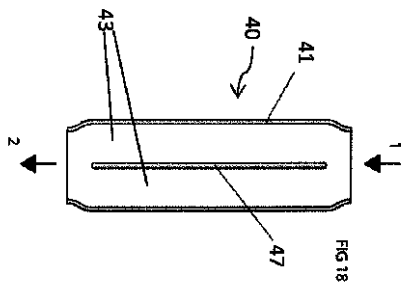
【図 16】



【図 17】



【図 18】



10

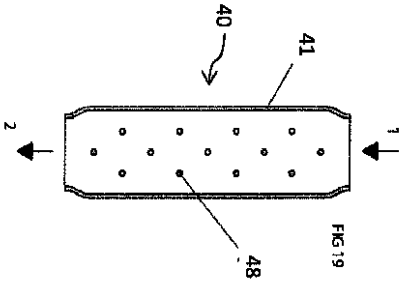
20

30

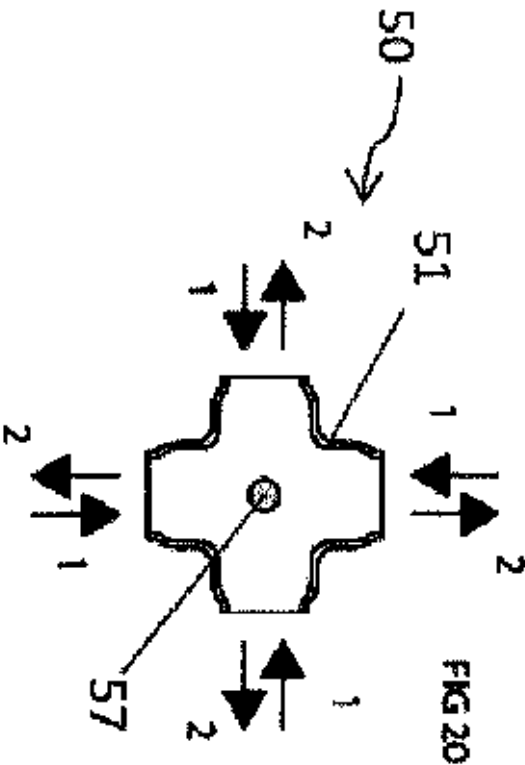
40

50

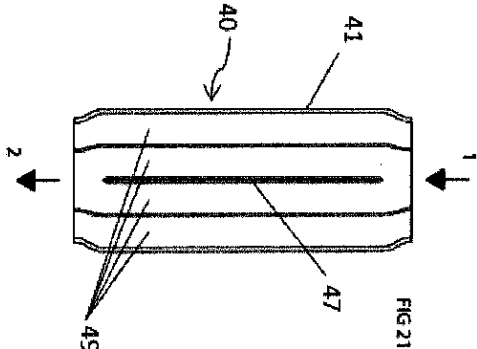
【図 19】



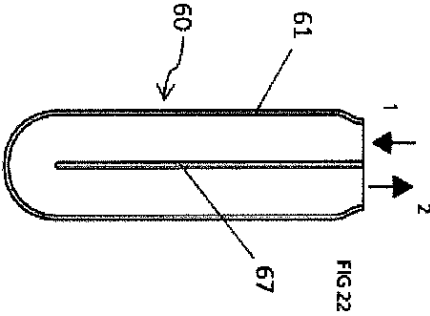
【図 20】



【図 21】



【図 22】



10

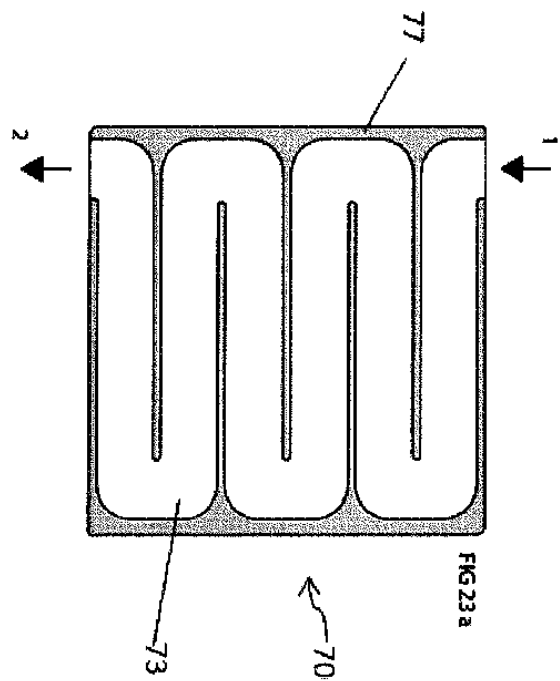
20

30

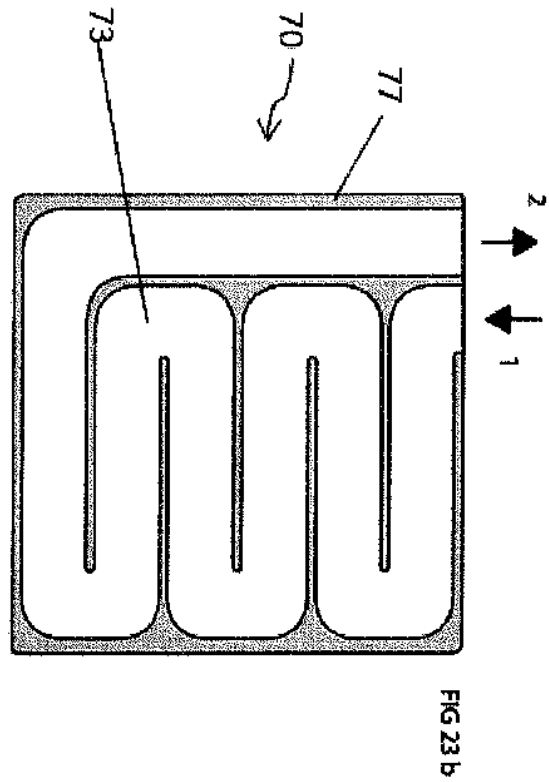
40

50

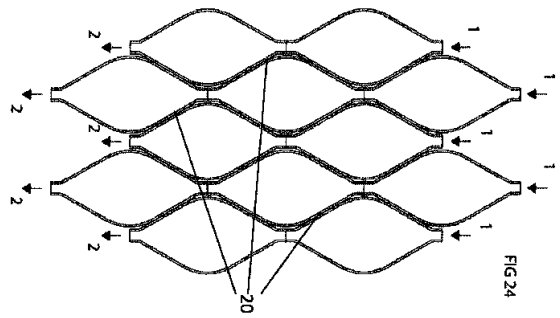
【図 2 3 a】



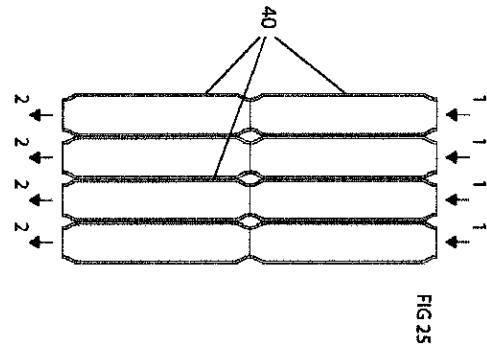
【図 2 3 b】



【図 2 4】



【図 2 5】



10

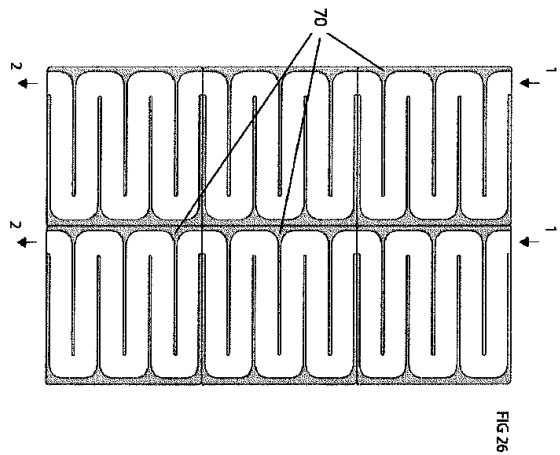
20

30

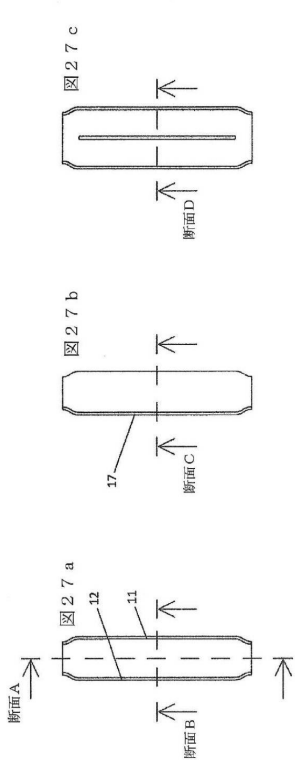
40

50

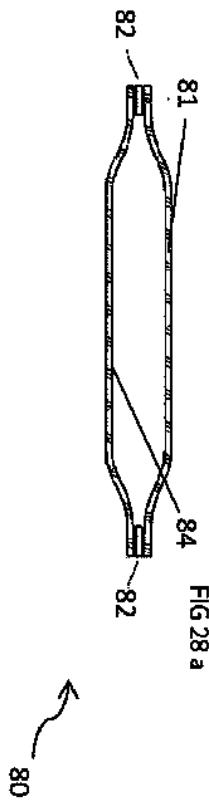
【図 2 6】



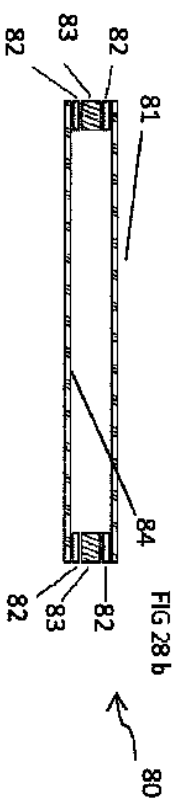
【図 2 7】



【図 2 8 a】



【図 2 8 b】



10

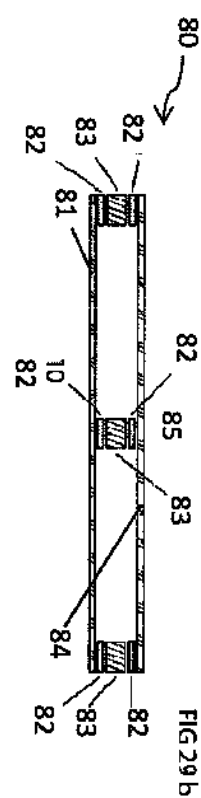
20

30

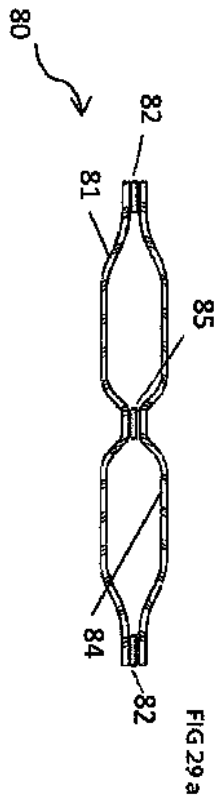
40

50

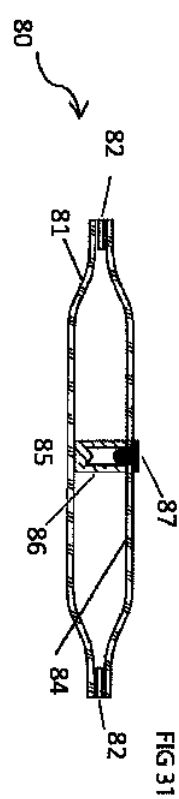
【図 29 b】



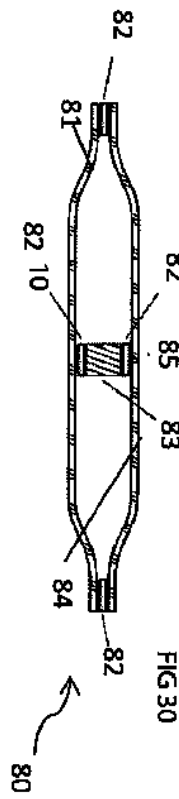
【図 29 a】



【図 31】



【図 30】



10

20

30

40

50

【図 3 2 a】

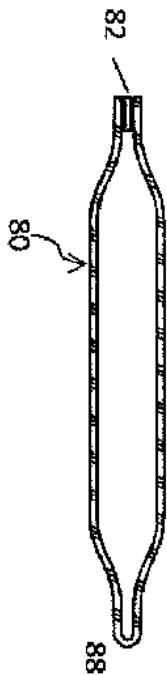


FIG 32 a

【図 3 2 b】

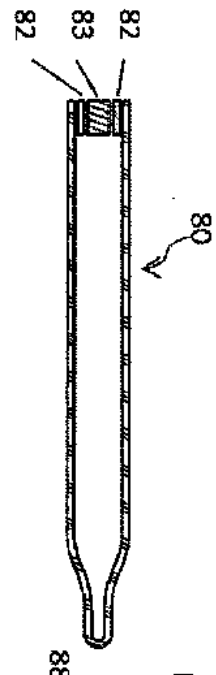


FIG 32 b

【図 3 3 a】

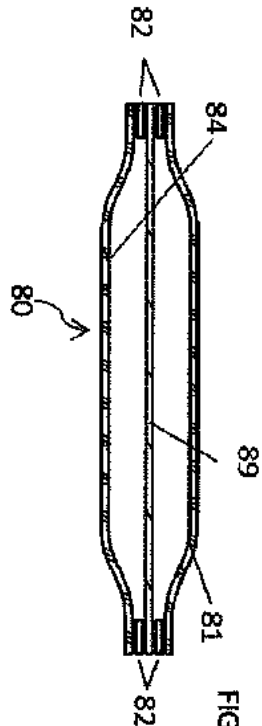


FIG 33 a

【図 3 3 b】

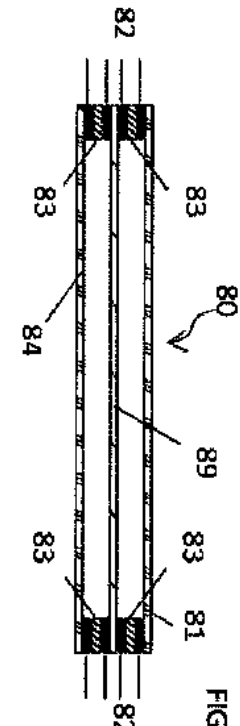


FIG 33 b

10

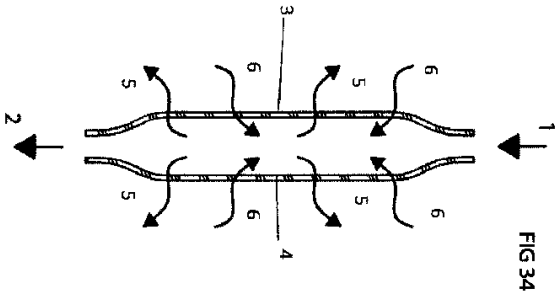
20

30

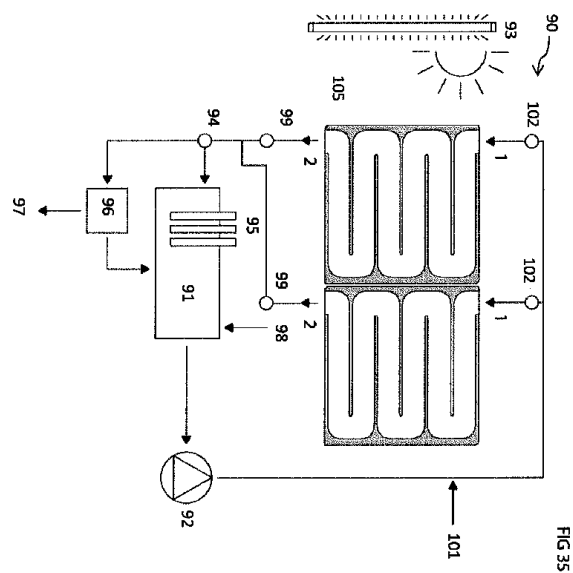
40

50

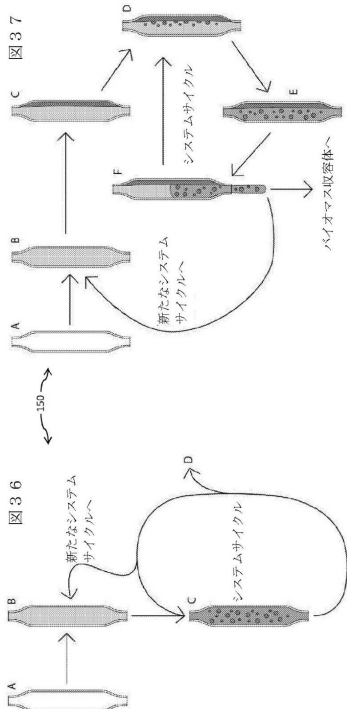
【図 3 4】



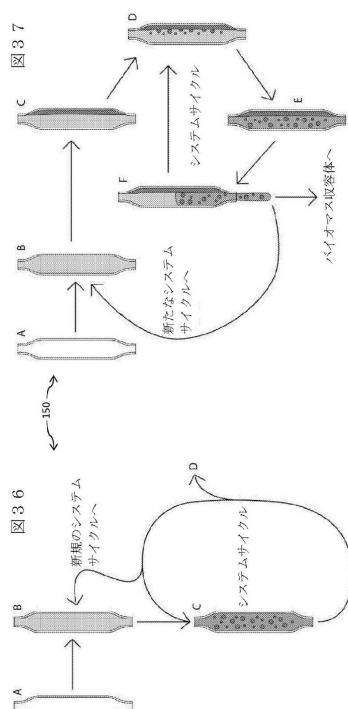
【図 3 5】



【図 3 6】



【図 3 7】



10

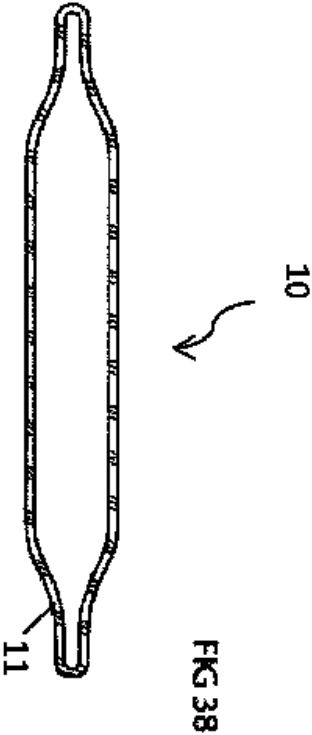
20

30

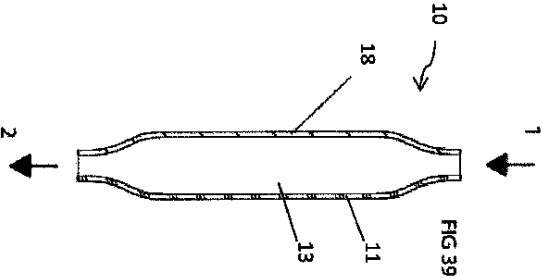
40

50

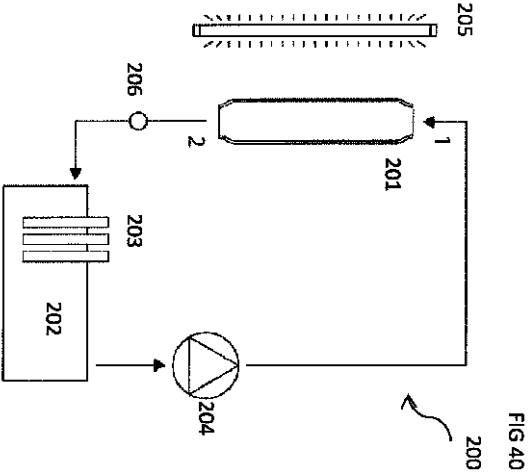
【図 3 8】



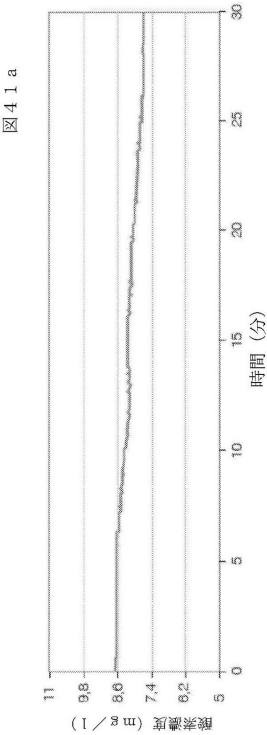
【図 3 9】



【図 4 0】



【図 4 1 a】



10

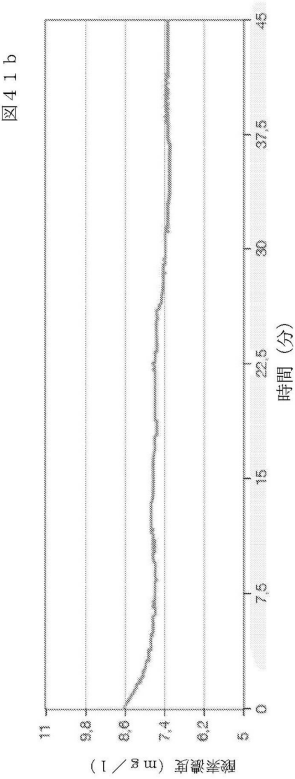
20

30

40

50

【図 4 1 b】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

レーン 279

(72)発明者 トリスタン デル

イギリス国 エスエヌ12 8ピーアール ウィルトシャー メルクシャム ブロートン ギフォード
ザ ストリート 13

審査官 小金井 悟

(56)参考文献 米国特許出願公開第2014/0186909 (US, A1)

英国特許出願公開第02339763 (GB, A)

特表2015-521042 (JP, A)

特表2005-523717 (JP, A)

米国特許出願公開第2010/0216203 (US, A1)

米国特許出願公開第2014/0144839 (US, A1)

米国特許出願公開第2011/0151547 (US, A1)

特表2013-500734 (JP, A)

米国特許出願公開第2014/0093924 (US, A1)

米国特許出願公開第2009/0305389 (US, A1)

国際公開第2015/116963 (WO, A1)

米国特許出願公開第2015/0275161 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

C12M 1/00- 3/10

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

CAplus/MEDLINE/EMBASE/BIOSIS/WPIDS (STN)

PubMed

Google/Google Scholar