

明 細 書

発明の名称：

藻類養殖システムおよびそれを用いた藻類の養殖方法

技術分野

[0001] 本発明は、藻類養殖システムおよびそれを用いた藻類の養殖方法に関する。

背景技術

[0002] 地球温暖化問題の解決に向け、温室効果ガスの排出をゼロにする「カーボンニュートラル」を目指す重要性が国内外で掲げられている。ここで、カーボンニュートラルを実現するために取り得る戦略には、(i) 人為的に排出されるCO₂を削減するための技術開発や行動変容、および(ii) 環境中に排出されたCO₂を回収しかつ吸収するネガティブエミッション技術の開発の2つに大別される。

[0003] しかし、戦略(i)と比較して戦略(ii)の技術開発は十分に進んでおらず、抜本的な研究開発が必要とされている。

[0004] 一方、大気中に存在する低濃度のCO₂に対して大型藻類により行われる自然プロセス(CO₂固定)が注目されている。表1に示すように大型藻類、微細藻類などが属する藻類(3 G)バイオマスは、澱粉糖質系(1 G)、木質系(2 G)の各バイオマスと比較して、単年当たりの生産性が高く、特に大型藻類は、他のバイオマスと比較してCO₂吸収・固定量比が著しく高くかつバイオマスエネルギー生産工程および生産条件が比較的シンプルであることが知られている(非特許文献1)。

[0005]

[表1]

	澱粉糖質系(1G)	木質系(2G)	藻類(3G)	
原料	農産物 (トウモロコシなど)	森林 (スギなど)	微細藻類 (スプルリナなど)	大型藻類 (クロメ*)/(タマハハキモク)
バイオマス生産性 (t/ha/年)	11	9	10~20	30/210
単位面積当たりの CO ₂ 吸収・固定量 (kg-CO ₂ /m ² /年)	1.6	0.84	1.5~2.9	3.3/8.8
CO ₂ 固定量比	2.3	1	7.6	13/240
バイオマスエネルギー生産工程	シンプル	複雑 (リグニン除去)	シンプル	シンプル
問題点	食糧と競合	陸地を利用	陸地を利用 コンタミのリスク コスト高	藻場の拡大
生産条件	日光, CO ₂ , 淡水, 陸地, 肥料, 農薬	日光, CO ₂ , 淡水, 陸地, 肥料, 農薬	日光, CO ₂ , 淡水/ 汽水, 陸地	日光, CO ₂ , 海水

*1 カジメの亜種

- [0006] 日本は周りを海に囲まれた島国であり、国土面積の約1.2倍の排他的経済水域（世界大6位）を有する。このため大型藻類の養殖に適した藻場も多く存在する。
- [0007] しかし、上記カーボンニュートラルを目指すには、藻場の拡大が重要であり、各藻場における大型藻類の生産効率も向上させることが所望される。また、大型藻類の成熟時期は、年間を通じて一部の期間に限られている。年間を通じて安定したカーボンニュートラルを目指すには程遠いものであると言わざるを得ない。

先行技術文献

非特許文献

- [0008] 非特許文献1：経営センサー，”微細藻類の産業利用”，株式会社東レ経営研究所，2021年12月，p. 5-9

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 本発明は、上記問題の解決を課題とするものであり、その目的とするところ

ろは、大型藻類などの各種藻類を一層効率的に養殖することができ、かつ様々な生産規模に対応し得る藻類養殖システムおよびそれを用いた藻類の養殖方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0010] 本発明は、藻類養殖システムであって、
水中に浸漬されておりかつ該藻類が固定された藻類養殖手段と、
該藻類養殖手段の下方に間隔を空けて設けられた着生基材と、
を備え、
該藻類養殖手段と該着生基材との間の最短距離が3.0m～14.5mである、藻類養殖システムである。
- [0011] 1つの実施形態では、上記水は天然海水または人工海水である。
- [0012] さらに実施形態では、上記藻類は、ホンダワラ科褐藻類およびコンブ科褐藻類からなる群から選択される少なくとも1つの大型藻類である。
- [0013] さらに実施形態では、上記藻類養殖手段は上記海水中に吊り下げられた状態で固定されている。
- [0014] 本発明はまた、藻類の養殖方法であって、
水中で上記藻類養殖システムにおける藻類養殖手段に藻類を固定する工程、
、
該藻類が放出する遊走子または受精卵を通じて該藻類養殖システムにおける着生基材に該藻類を共役育種する工程、
該藻類養殖手段および該着生基材の両方から該藻類を回収する工程、
を含む、方法である。
- [0015] 1つの実施形態では、上記水は天然海水または人工海水である。
- [0016] 1つの実施形態では、上記藻類は、アカモク、タマハハキモク、トゲモク、ウミトラノオ、ヨレモク、マメタワラ、アキヨレモク、ノコギリモク、ヤナギモク、エンドウモク、ヤツマタモク、コンブ、ワカメ、アントクメ、アラメ、クロメ（カジメの亜種）、カジメ、およびサガラメからなる群から選択される少なくとも1種の大型藻類である。

- [0017] さらに実施形態では、上記藻類は、成熟時期に合わせてその種類が変更される条件下で一年を通じて継続的に養殖される。
- [0018] 本発明はまた、バイオエタノール原料の製造方法であって、
水中で上藻類養殖システムにおける藻類養殖手段に藻類を固定する工程、
該藻類が放出する遊走子または受精卵を通じて該藻類養殖システムにおける着生基材に該藻類を共役育種する工程、
該藻類養殖手段および該着生基材の両方から該藻類を該バイオエタノール原料として回収する工程、
を含む、方法である。
- [0019] 1つの実施形態では、上記水は天然海水または人工海水である。
- [0020] 1つの実施形態では、上記藻類は、アカモク、タマハハキモク、トゲモク、ウミトラノオ、ヨレモク、マメタワラ、アキヨレモク、ノコギリモク、ヤナギモク、エンドウモク、ヤツマタモク、コンブ、ワカメ、アントクメ、アラメ、クロメ（カジメの亜種）、カジメ、およびサガラメからなる群から選択される少なくとも1種の大型藻類である。
- [0021] さらに実施形態では、上記藻類は、成熟時期に合わせてその種類が変更される条件下で一年を通じて継続的に養殖される。

発明の効果

- [0022] 本発明によれば、大型藻類などの藻類を、藻場の単位区画当たりの生産性を高めて効率良く養殖することができる。また、この養殖のために特殊な機械等も必要とされない。また、一年を通じてほぼ連続的に藻類の養殖が可能となり、得られる藻類は例えば秋穂エタノール原料としてより安定的に提供可能である。

図面の簡単な説明

- [0023] [図1]本発明の藻類養殖システムの一例を示す概略図である。
[図2]本発明の藻類養殖システムの他の例を示す概略図である。
[図3]本発明の藻類養殖システムの別の例を示す概略図である。
[図4]本発明の藻類養殖システムのさらに別の例を示す概略図である。

[図5]本発明の藻類養殖システムを用いて養殖可能な大型藻類の種類と日本におけるその成熟時期（最大現存量の時期）との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0024]（藻類養殖システム）

本発明の藻類養殖システムを、添付の図面を参照して説明する。なお、以下のすべての図面に共通して同様の参照番号を付した構成は、他の図面に示したものと同様である。

[0025] 図1は、本発明の藻類養殖システムの一例を示す概略図である。藻類養殖システム（以下、単に「システム」ということがある）100は、藻類養殖手段110および着生基材120を備える。

[0026] 藻類養殖手段110は、水中に浸漬されており、かつ予め藻類が固定されたものである藻類養殖手段110は、例えば、ネット状、ロープまたはワイヤ状の形態を有するものであり、化学繊維（例えばナイロンおよびポリエステルならびにそれらの組み合わせ）、天然繊維（例えば、麻、木綿、絹、および藁、ならびにそれらの組み合わせ）、金属（例えば、ステンレススチール、タングステン、アルミニウム、および銅ならびにそれらの）などの材料で構成されている。藻類養殖手段110の好ましい例としては漁網が挙げられる。藻類養殖手段110が漁網である場合、当該漁網を構成する太さ（号）、目の大きさ（寸目）、目の縦方向の数（掛）、および横方向の大きさ（間）はいずれも限定されず、当業者によって任意の数または大きさの漁網が選択され得る。

[0027] 藻類養殖手段110には、養殖対象となる藻類106が固定されている。藻類106は同一種のみで構成されていてもよく、あるいは2つまたはそれ以上の種類のもので固定されていてもよい。例えば、藻類106は予め当業者に周知の糸（例えばクレモナ糸）に付着した状態で、当該糸を藻類養殖手段110に巻き付けることによって固定されている。

[0028] 藻類106は淡水、汽水、または海水のいずれで生育するものであってもよい。養殖環境下の水142に合わせて、養殖される藻類106の種類が選

択され得る。本発明においては、海洋環境を利用して大量に養殖することができるとの理由から、藻類 106 は海水下で生育可能な藻類であることが好ましい。また、上記の通り CO_2 固定量比が高いという理由から藻類 106 は大型藻類であることが好ましい。

[0029] 藻類 106 が生育する環境（すなわち周囲の水）が海水である場合、当該海水は天然海水または人工海水のいずれであってもよい。例えば、藻類 106 が生育する環境が天然海水である場合、本発明の藻類養殖システムは海中に配置される。あるいは、藻類 106 が生育する環境が人工海水である場合、本発明の藻類養殖システムは海中に配置されなくてもよい。例えば、工場などの陸地で陸上養殖用のシステムとして使用することも可能である。

[0030] 大型藻類に属する藻類 106 としては、特に限定されないが、例えば、ホンダワラ科褐藻類およびコンブ科褐藻類に属するものが挙げられる。

[0031] 大型藻類に属する藻類 106 としては、特に限定されないが、例えば、アカモク (*Sargassum horneri*)、タマハハキモク (*Sargassum muticum*)、トゲモク (*Sargassum micracanthum*)、ウミトラノオ (*Sargassum thunbergii*)、ヨレモク (*Sargassum siliguastrum*)、マメタワラ (*Sargassum piluliferum*)、アキヨレモク (*Sargassum autumnale*)、ノコギリモク (*Sargassum macrocarpum*)、ヤナギモク (*Sargassum ringgoldianum* ssp. *coreanum*)、エンドウモク (*Sargassum yendoi*)、ヤツマタモク (*Sargassum patens*)、コンブ (*Saccharina japonica*)、ワカメ (*Undaria pinnatifida*)、アントクメ (*Eckloniopsis radicata*)、アラメ (*Eisenia bicyclis*)、カジメ (*Ecklonia cava*)、クロメ (*Ecklonia cava* ssp. *kurome*; (カジメの亜種))、サガラメ (*Eisenia nipponica*)、イズミシノカワ (*Heribaudiella fluvialis*)、ウミトラノオ (*Sargassum thunbergii*)、カワモズク (*Batrachospermum gelatinosum*)、カワノリ (*Prasiola japonica*)、ならびにそれらの組み合わせが挙げられる。

[0032] 上記のうち、藻類養殖手段 110 に固定され得る大型藻類に属する藻類 106 は、その成熟時期に合わせて 1 種または 2 種以上を組み合わせたもののいずれであってもよい。

- [0033] 例えば、日本における１月～５月では、藻類１０６としてアカモクとタマハハキモクとがそれぞれ単独またはこれらを組み合わせて用いられてもよい。
- [0034] あるいは、日本における３月～５月では、藻類１０６としてアカモクとタマハハキモクとトゲモクとがそれぞれ単独またはこれらを組み合わせて用いられてもよい。
- [0035] あるいは、日本における６月～８月では、藻類１０６としてウミトラノオとヨレモクとマメタワラとエンドウモクとヤツマタモクとノコギリモクとヤナギモクとアントクメとがそれぞれ単独またはこれらを組み合わせて用いられてもよい。
- [0036] あるいは、日本における７月～９月では、藻類１０６としてアキヨレモクとノコギリモクとヤナギモクとアントクメとアラメとクロメとカジメとサガラメとがそれぞれ単独またはこれらを組み合わせて用いられてもよい。
- [0037] あるいは、日本における９月～１１月では、藻類１０６としてアキヨレモクとノコギリモクとヤナギモクとアントクメとアラメとクロメとカジメとサガラメとがそれぞれ単独またはこれらを組み合わせて用いられてもよい。
- [0038] あるいは、日本における９月～１２月では、藻類１０６としてアキヨレモクが用いられてもよい。
- [0039] 図１において、藻類養殖手段１１０は水面１４０に浮遊するフロート１３０に端部１１２，１１４が固定されており、端部１１２，１１４の間は任意の間隔でフロート１３０と固定され、例えば全体として緩やかなＵ字状に撓むように、水中１４２で吊り下げられた状態で配置されている。フロート１３０は、それ自体が水面１４０上で任意の方向に移動することを防止するため、例えば、ワイヤ１３２およびアンカー１３４を用いて固定されていてもよい。
- [0040] 藻類養殖手段１１０はまた、その外周に水中において鉛直方向に延びる筒状（例えば円筒状または角筒状）のネット１４５（例えば漁網）が配置されていてもよい。円筒状のネット１４５は、潮流などの水の移動に対して藻

類１０６を保護し、ネット１４５内を穏やかな養殖環境に設定することができる。ネット１４５の下端１４６は、水中１４２で浮遊するよう水底１４７と接していなくてもよく、あるいは水底１４７を接するものであってもよい。

[0041] 着生基材１２０は、水中１４２の水底面１５０上に配置された人工物であり、所定の厚みを有する布帛、シート、板材などの比較的薄くかつ所定の平面を有する部材から構成されている。具体的には、当該着生基材１２０は、ナイロン、ポリエステルなどの化学繊維；麻、木綿、絹、藁などの天然繊維；ステンレススチール、タングステン、アルミニウム、および銅などの金属フィラメント；ならびにそれらの組み合わせ；から構成される織布、編布、または不織布であってもよく、熱可塑性樹脂（例えばナイロンおよびポリエステル、ならびにそれらの組み合わせ）、エラストマー、およびゴム、ならびにそれらの組み合わせから構成されるシートであってもよく、熱可塑性樹脂（例えばナイロンおよびポリエステル、ならびにそれらの組み合わせ）、エラストマー、ゴム、ステンレススチール、タングステン、アルミニウム、銅、木材、コンクリート、モルタル、およびガラス、ならびにそれらの組み合わせから構成される板材（例えば中空板を包含する）であってもよい。

[0042] 着生基材１２０の厚みが特に限定されないが、好ましくは３０ｃｍ～１００ｃｍ、より好ましくは５０ｃｍ～７０ｃｍである。着生基材１２０の厚みが３０ｃｍを下回ると、十分な強度を有さないことがある、潮流等の水の流れによって容易に流される等の不利益を生じることがある。着生基材１２０の厚みが１００ｃｍを上回ると、全体として重くなり、水底面１５０上に配置する際および／または水中１４２から取り出して回収する際の困難性を高めることがある。

[0043] 本発明においては、着生基材１２０は適度に切断された上記布帛、シートおよび／または板材を複数組み合わせ水底面１５０に配置したものであってもよい。

[0044] 着生基材１２０のサイズは特に限定されないが、上方にて吊り下げられた

上記藻類養殖手段１１０よりも大きくなるように、あるいは上記鉛直方向に延びる筒状のネット１４５の水平断面と同じまたはそれよりも大きくなるように設計されている。

- [0045] 本発明の養殖システム１００において、着生基材１２０には、藻類１０６'が仮根部（付着器）を通じて固定（付着）される。この藻類１０６'は人為的に配置されたものではなく、藻類養殖手段１１０より吊り下げられた藻類１０６から排出した遊走子または受精卵１６０によって着生基材１２０上に自生したものである。藻類１０６'は、藻類養殖手段１１０より吊り下げられた藻類１０６と同種であってもよいが、水中１４２を漂って外部から提供される他の遊走子または受精卵に起因して自生したものであってもよい。
- [0046] 図２は、本発明の藻類養殖システムの他の例を示す概略図である。
- [0047] 図２に示す藻類養殖システム２００では、着生基材１２０'に複数の折り目１２２'が設けられている。着生基材１２０'がこのような形態を有していることにより、着生基材１１０上に自生した藻類１０６'は、着生基材１１０の折り目１２２'を利用して水面１４０上に引き上げるることにより当業者が容易に回収することができる。
- [0048] 再び図１を参照すると、藻類養殖手段１１０に固定された藻類１０６は、その生育につれて水中１４２に生殖細胞または受精卵１６０を放出する。
- [0049] 例えば藻類１０６がコンブ科褐藻類である場合、その孢子体からは生殖細胞である遊走子および配偶体が排出される。また、藻類１０６がホンダワラ科褐藻類である場合、その成体からは受精卵が放出される。
- [0050] 本発明においては、このような藻類１０６から放出される遊走子（生殖細胞）や受精卵を利用して、これらを着生基材１１０上に到達させることができる。その後、着生基材１１０に到達した生殖細胞または受精卵１６０を通じて藻類１０６'が上記藻類１０６とともに「共役的」に生育され、結果として藻類養殖手段１１０と、その下方に配置される着生基材１２０との両方で藻類１０６、１０６'を育種可能である。
- [0051] 藻類養殖手段１１０と着生基材１２０との間の最短距離は、養殖する海藻

の種類、養殖場所における潮流などの水の移動の程度等によって変動するため特に限定されないが、3.0 m～14.5 m、好ましくは4.0 m～10 mである。藻類養殖手段110と着生基材120との間の最短距離が3.0 mを下回ると、潮流の影響を受けて、例えば、藻類106から放出された遊走子（生殖細胞）または受精卵160が下方に存在する着生基材120に到達する前に潮流などの水の流れによって過度に流され、結果として着生基材120上に藻類106'を共役的に育種することが困難となることがある。藻類養殖手段110と着生基材120との間の最短距離が14.5 mを上回ると、そのような深度では着生基材120に藻類106'の育種に必要な量の日光が届きにくくなることもある。

[0052] 図3は、本発明の藻類養殖システムの別の例を示す概略図である。

[0053] 図3に示す藻類養殖システム300では、藻類養殖手段110が、図1に示すフロート130に代えて、複数のブイ330に固定されている。フロートへの固定に代えてこのようなブイ330への藻類養殖手段110により、得られる藻類養殖システム300はより単純またはコンパクトな構成を有することができる。

[0054] 図3に示す藻類養殖システム300もまた、藻類養殖手段110に吊り下げられた藻類106から放出される生殖細胞または受精卵160が着生基材120に移動し、当該藻類106とともに当該着生基材120上で藻類106'を共役的に育種可能である。

[0055] 図4は、本発明の藻類養殖システムのさらに別の例を示す概略図である。

[0056] 図4に示す藻類養殖システム400では、藻類養殖手段110が、図1に示すフロート130に代えて、複数のブイ330に固定されている。また、藻類養殖手段110の端部412、414が水面140に浮揚するフレーム430に固定されており、当該フレーム430は、複数の堅い支柱432を通じて水中142に配置されたアンカー134に固定されている。

[0057] このような構成を有していることにより、水面140上でのフレーム430の移動は制限される。これにより、例えば、強風等によって藻類養殖シス

テム４００が他の場所に流れ着く可能性を低減できる。

[0058] 図４に示す藻類養殖システム４もまた、藻類養殖手段１１０に吊り下げられた藻類１０６から放出される生殖細胞または受精卵１６０が着生基材１２０に移動し、当該藻類１０６とともに当該着生基材１２０上で藻類１０６'を共役的に育種可能である。

[0059] 本発明の藻類養殖システムは、水面から見た限られた区画の範囲において、より大量の藻類を養殖することができる。特に藻類養殖手段１１０に吊り下げられた藻類１０６を通じて、着生基材１２０上の藻類１０６'を共役的に生育可能であり、藻類１０６、１０６'をいずれも容易に回収することができる。

[0060] (藻類の養殖方法)

次に本発明の藻類の養殖方法について説明する。

[0061] 本発明の方法では、まず水（例えば、淡水中、汽水中、または海水）中で上記藻類養殖システムにおける藻類養殖手段に藻類が固定される。

[0062] 藻類養殖手段に固定される藻類は、好ましくは当業者に公知の方法で予め生長させた幼体である。本発明においては、磯焼けの原因となる魚や貝類の食餌となることを避けるため、養殖密度を適切に上げて養殖を行うことが好ましい。大型藻類などの藻類は、養殖密度を制御することにより、藻体外に２，４－ジブロモフェノール、２，４，６－トリブロモフェノールなどのブロモフェノール類を分泌する。当該ブロモフェノールは、魚、貝類などの海産藻食性動物に対する化学防御物質（忌避剤）として機能し、結果として上記磯焼けを回避することができる。

[0063] 次に、藻類が放出する生殖細胞または受精卵を通じて藻類養殖システムにおける着生基材に藻類が共役育種される。

[0064] 藻類からの生殖細胞または受精卵の放出は、上記藻類養殖手段に固定された藻類（幼体）は海洋で養殖する場合は沖だし（海に出す）した後、所定期間を経て藻類自体が自然に開始することを待つことにより行われる。このような所定期間は養殖する藻類の種類、時期、養殖環境（例えば、水温、養殖

密度)によって変動するため必ずしも限定されないが、例えば、藻類養殖手段への固定(または沖だし)後、好ましくは150日間～360日間である。さらに、放出された生殖細胞または受精卵が着生基材に受容され、共役育種が行われるまでの期間についてもまた、養殖する藻類の種類、時期、養殖環境(例えば、水温、養殖密度)によって変動するため必ずしも限定されないが、例えば、藻類からの生殖細胞または受精卵の放出後、好ましくは30日間～60日間である。

- [0065] その後、藻類養殖手段および着生基材の両方から藻類が回収される。
- [0066] すなわち、本発明の方法では、目的の藻類が藻類養殖手段に加え、着生基材からも回収可能であるため、得られる藻類の回収量は藻類養殖手段単独で使用する場合よりも確実に増加する。
- [0067] このようにして藻類の養殖を一層効率的に行うことができる。
- [0068] 上記方法によって養殖される藻類は、例えば後述する方法を用いて得ることのできるバイオエタノールの原料として使用することができる。こうした藻類をバイオエタノール原料として用いる場合、当該原料は季節を問わず所定量が恒常的に得られることが望ましい。本発明においては、こうした恒常的なバイオエタノール原料の入手を可能にするために、養殖対象となる藻類をその時期に合わせて異なるものを選択することが好ましい。
- [0069] 図5は、本発明の藻類養殖システムを用いて養殖可能な大型藻類の種類と日本の東北以南におけるその成熟時期(最大現存量の時期)との関係を示す図である。
- [0070] 日本近海において養殖可能な大型藻類はその種類によって成熟時期が異なり、全体として1月から12月にかけていずれかの藻類を得ることができる。
- [0071] 図5に示すように、例えば、日本における1月～5月は、アカモクおよびタマハハキモクのそれぞれの成熟時期に該当する。また、日本における3月～5月は、アカモク、タマハハキモクおよびトゲモクのそれぞれの成熟時期に該当する。さらに、日本における6月～8月は、ウミトラノオ、ヨレモク

、マメタワラ、エンドウモクおよびヤツマタモクのそれぞれの成熟時期に該当する。さらに、日本における7月～9月は、ノコギリモク、ヤナギモクおよびアントクメのそれぞれの成熟時期に該当する。さらに、日本における9月～11月は、アキヨレモク、アラメ、クロメ、カジメ、およびサガラメのそれぞれの成熟時期に該当する。またさらに、日本における9月～12月は、アキヨレモクの成熟時期に該当する。

[0072] このことから、1月～12月の一年を通じて、養殖対象となる藻類を適切に選択することにより、バイオエタノール原料となる上記藻類を恒常的に製造することが可能である。

[0073] 上記によって得ることのできる藻類（例えば大型藻類）には、セルロース、ヘミセルロース、アルギン酸、マンニトール、ラミナラン等の糖類が豊富に含まれている。このように藻類に含まれる糖類からエタノール（すなわち、バイオエタノール）を製造することができる。

[0074] （バイオエタノールの製造方法）

養殖した藻類をバイオエタノール原料として用い、バイオエタノールを製造する方法は公知であり、例えば、所定の酵素類を細胞表層に提示したアーミング酵母を用いて製造することができる。

[0075] アーミング酵母の細胞表層に提示される酵素類の例としては、エンドグルカナナーゼ、 β -グルコシダーゼ、セロビオヒドロラーゼ、キシラナーゼ、 β -キシロシダーゼ、キシロースイソメラーゼ、エキソ型／エンド型アルギン酸リアーゼ、およびラミナラン分解酵素（G l y 5 M）が挙げられる。

[0076] アーミング酵母の具体的な例としては、セルロース分解アーミング酵母（Fujita et al., Appl. Environ. Microbiol., 68, 5136-5141 (2002); Bae et al., Appl. Environ. Microbiol., 81, 59-66 (2015))、ヘミセルロース分解アーミング酵母（Fujita et al., J. Mol. Catalys. 17, 189-195 (2002); Ota, et al., Biotechnol. Progress, 29, 346-351 (2013); Sasaki, et al., Biotechnol. Progress, 33, 1068-1076 (2017))、アルギン酸・マンニトール分解アーミング酵母（Takagi et al., Appl. Microbiol., Biotechnol., 1

01,6627-6636(2017)、およびラミナラン分解アーミング酵母 (Motone et al., J. Biotechnol., 231, 129-135 (2016)) が挙げられる。

[0077] このような方法により得られたバイオエタノールは、例えばガソリンに変わる自動車用燃料として使用することができる。また、当該バイオエタノールは、上記の通り藻類の養殖を通じて製造されるため、食糧生産との競合問題も生じない。

[0078] 本発明によれば、上記の通り藻類を恒常的に製造可能となる点で、得られるバイオエタノールの市場への安定的な供給も可能となる。さらに、CO₂吸収・固定量比の大きい大型藻類を養殖することができるため、環境中に排出されたCO₂を回収しかつ吸収するネガティブエミッション技術としても有用である。その結果、本発明は、カーボンニュートラルの実現にも貢献し得る。

実施例

[0079] 以下、実施例により本発明を詳述する。ただし、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0080] (実施例1：藻類養殖システム(R1)の作製)

図1に示す藻類養殖システム(R1)を以下のようにして作製した。

[0081] 具体的には、2021年12月に藻類106として、後述の実施例2で作製した大型藻類であるコンブ科褐藻類の種付けをクレモナ糸(36本、左3ツ撚り、長さ5m)に種付けし、かつそれを直径12mmポリロープに左撚りで巻き付けて藻類養殖手段110を作製し、これを10本用意してフロート130に吊るし、周囲に漁網(ネット145)を設け、日本国三重県鳥羽市小浜港の沖合約100mの場所(養殖現場)にアンカー134で固定した。また、当該養殖現場の海底には、化学繊維と天然繊維を組み合わせた布帛で構成される着生基材120(厚さ50cm)を敷き詰め、当該着生基材120が潮流によって移動することのないよう、その端部を海底面150と固定した。なお、この養殖現場における藻類養殖手段110と着生基材120との間の最短距離は約8mであった。これにより標題の藻類養殖システム

(R 1) を作製した。

[0082] (実施例 2 : 大型藻類の養殖)

実施例 1 で作製した藻類養殖システム (R 1) を用いて、コンブ科褐藻類を以下のようにして養殖した。

[0083] まず、実験室にて継代培養してきたフリー配偶体をミキサーで粉碎後、クレモナ糸へ吹き付けた。クレモナ糸を、海水を満たした容器へ沈めた後、18℃から20℃で培養した。この培養を幼体(孢子体)が肉眼で確認できるサイズになるまで継続した。次いで、このクレモナ糸を上記のようにポリロープへ巻き付け、沖出しした。約半年、海面付近で培養を行い、藻類養殖手段 110 に種付けされたコンブ科褐藻類としてクロメ(*Ecklonia cava* ssp. *kurome*; (カジメの亜種))が大きく生育し、当該藻類養殖手段 110 の下方に配置された着生基材 120 にも同様のコンブ科褐藻類が共役的に生育していたことを確認した。その後、藻類養殖手段 110 および着生基材 120 から、乾燥質量で約 20 kg のクロメ(*Ecklonia cava* ssp. *kurome*)を得た。

[0084] (参考例 1 ~ 4 : 大型藻類からのエタノール生産)

実施例 2 で得られたクロメ 1 kg を 5 ~ 50 mm の断片に裁断して通常酵母培養液に添加した。次いで、この培養液に対して、表 2 に示す、所定の酵素類を細胞表層に提示したアーミング酵母(Murai et. al., Appl. Environ. Microbiol., 63, 1362-1366 (1997)) を等比 (OD 20 ~ 30) で加え、30℃で 24 ~ 48 時間嫌気培養することにより、それぞれの培養液から 150 g ~ 200 g のエタノールを得た。

[0085]

[表2]

	使用したアーミング酵母
参考例1	セルロース分解アーミング酵母 (Fujita et al., Appl. Environ. Microbiol., 68, 5136-5141 (2002); Bae et al., Appl. Environ. Microbiol., 81, 59-66 (2015))
参考例2	ヘミセルロース分解アーミング酵母 (Fujita et al., J. Mol. Catalys. 17, 189-195 (2002); Ota, et al., Biotechnol. Progress, 29, 346-351 (2013); Sasaki, et al., Biotechnol. Progress, 33, 1068-1076 (2017))
参考例3	アルギン酸・マンニトール分解アーミング酵母 (Takagi et al., Appl. Microbiol., Biotechnol., 101, 6627-6636 (2017))
参考例4	ラミナラン分解アーミング酵母 (Motone et al., J. Biotechnol., 231, 129-135 (2016))

[0086] クロメ（カジメの亜種）のような大型藻類には、セルロース、ヘミセルロース、アルギン酸、マンニトール、ラミナランのような多糖類を含み、実施例2で養殖して得られたクロメについても当該多糖類を豊富に含有していた。このため、表2に示すような各アーミング酵母を用いて培養を行うと所望のエタノールを効率よく生産することができた。

産業上の利用可能性

[0087] 本発明によれば、例えばバイオエタノール製造用の原料を得るために有用である。

符号の説明

- [0088]
- 100, 200, 300, 400

藻類養殖システム
- 106, 106'

藻類
- 110

藻類養殖手段
- 112, 114, 412, 414

端部
- 120, 120'

着生基材
- 122'

折り目
- 130

フロート
- 132

ワイヤ
- 134

アンカー
- 140

水面

1 4 2	水中
1 4 5	ネット
1 4 6	下端
1 4 7	水底
1 5 0	水底面
1 6 0	遊走子または受精卵
3 3 0	ブイ
4 3 0	フレーム
4 3 2	支柱

請求の範囲

- [請求項1] 藻類養殖システムであって、
水中に浸漬されておりかつ該藻類が固定された藻類養殖手段と、
該藻類養殖手段の下方に間隔を空けて設けられた着生基材と、
を備え、
該藻類養殖手段と該着生基材との間の最短距離が3.0 m～14.5 mである、藻類養殖システム。
- [請求項2] 前記水が天然海水または人工海水である、請求項1に記載の藻類養殖システム。
- [請求項3] 前記藻類が、ホンダワラ科褐藻類およびコンブ科褐藻類からなる群から選択される少なくとも1つの大型藻類である、請求項2に記載の藻類養殖システム。
- [請求項4] 前記藻類養殖手段が前記海水中に吊り下げられた状態で固定されている、請求項2に記載の藻類養殖システム。
- [請求項5] 藻類の養殖方法であって、
水中で請求項1から4のいずれかに記載の藻類養殖システムにおける藻類養殖手段に藻類を固定する工程、
該藻類が放出する遊走子または受精卵を通じて該藻類養殖システムにおける着生基材に該藻類を共役育種する工程、
該藻類養殖手段および該着生基材の両方から該藻類を回収する工程、
を含む、方法。
- [請求項6] 前記水が天然海水または人工海水である、請求項5に記載の方法。
- [請求項7] 前記藻類が、アカモク、タマハハキモク、トゲモク、ウミトラノオ、ヨレモク、マメタワラ、アキヨレモク、ノコギリモク、ヤナギモク、エンドウモク、ヤツマタモク、コンブ、ワカメ、アントクメ、アラメ、クロメ、カジメ、およびサガラメからなる群から選択される少なくとも1種の大型藻類である、請求項6に記載の方法。

- [請求項8] 前記藻類が、成熟時期に合わせてその種類が変更される条件下で一年を通じて継続的に養殖される、請求項7に記載の方法。
- [請求項9] バイオエタノール原料の製造方法であって、
水中で請求項1から4のいずれかに記載の藻類養殖システムにおける藻類養殖手段に藻類を固定する工程、
該藻類が放出する遊走子または受精卵を通じて該藻類養殖システムにおける着生基材に該藻類を共役育種する工程、
該藻類養殖手段および該着生基材の両方から該藻類を該バイオエタノール原料として回収する工程、
を含む、方法。
- [請求項10] 前記水が天然海水または人工海水である、請求項9に記載の方法。
- [請求項11] 前記藻類が、アカモク、タマハハキモク、トゲモク、ウミトラノオ、ヨレモク、マメタワラ、アキヨレモク、ノコギリモク、ヤナギモク、エンドウモク、ヤツマタモク、コンブ、ワカメ、アントクメ、アラメ、クロメ、カジメ、およびサガラメからなる群から選択される少なくとも1種の大型藻類である、請求項10に記載の方法。
- [請求項12] 前記藻類が、成熟時期に合わせてその種類が変更される条件下で一年を通じて継続的に養殖される、請求項11に記載の方法。