

明 細 書

発明の名称：

海洋構造物に接続された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、海洋構造物に接続された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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 に対して大型藻類により行われる自然プロセス(CO_2 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 CO_2 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
生産性(t/ha/年)	11	9	10~20	30/210
CO2固定速度 (kg-CO ₂ /m ² /年)	1.6	0.84	1.5~2.9	3.3/6.1
CO2固定量比	2.3	1	7.6	13/170
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

[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、海洋構造物に接続された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、
海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、
該藻類養殖手段が海洋構造物に接続されており、
海面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
養殖システムである。
- [0011] 1つの実施形態では、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。
- [0012] 1つの実施形態では、上記藻類養殖手段は上記海洋構造物から吊り下げら
れた状態で接続されている。
- [0013] 1つの実施形態では、上記着生基材は海底から離れた海中に配置されてい
る。
- [0014] 1つの実施形態では、上記海洋構造物は浮体式洋上風力発電装置である。
- [0015] 1つの実施形態では、上記海洋構造物は固定式洋上風力発電装置である。
- [0016] 1つの実施形態では、上記海洋構造物は海中展望塔である。
- [0017] 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。
- [0018] 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、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。

[0019] 1つの実施形態では、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。

[0020] 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。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、大型藻類などの藻類を、海洋構造物の設置スペースを活用し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。さらに、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バイオエタノール原料としてより安定的に提供可能である。

[0022] なお、本発明によれば、上記藻類の養殖を通じて海洋構造物の周囲に海洋生物の新たな生存環境を提供することができる。その結果、当該海洋生物の捕獲を目的とした漁業振興や当該海洋生物を利用した観光産業の発展への貢献が期待できる。

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、海洋構造物として固定式洋上風力発電装置を利用した当該システムの概略図である。

[図2]本発明の藻類養殖システムの他の例を示す、海洋構造物として浮体式洋上風力発電装置を利用した当該システムの概略図である。

[図3]本発明の藻類養殖システムの別の例を示す、海洋構造物として固定式洋

上風力発電装置を利用した当該システムの概略図である。

[図4]図3に示すシステムを用いて藻類を養殖することにより海洋構造物の周囲に海洋生物の新たな生存環境を提供する状態を説明する図である。

[図5]本発明の藻類養殖システムのさらに別の例を示す、海洋構造物として支柱の外周が被覆材で保護された固定式洋上風力発電装置を利用した当該システムの概略図である。

[図6](a)は図5に示す藻類養殖システムに接続された固定式洋上風力発電装置の代わりに使用可能な、支柱から離間して取り付けられた固定ロッドを備える固定式洋上風力発電装置を説明するための図であり、(b)は図5に示す藻類養殖システムに接続された固定式洋上風力発電装置の代わりに使用可能な、一部を埋設して配置された固定用ロッドを備える固定式洋上風力発電装置を説明するための図である。

[図7]本発明の藻類養殖システムのさらに別の例を示す、海洋構造物として海中展望塔を利用した当該システムの概略図である。

[図8]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国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] 1. 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、海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）、生分解性プラスチック（例えば、ポリ乳酸（PLA）、ポリ（3-ヒドロキシブチレート-コ-3-ヒドロキシヘキサノエート）（PHBH）、ポリグリコール酸（PGA）、ポリブチレンアジペート/テレフタレート（PBAT）、ポリエチレンテレフタレートサクシネート（PETs）、ポリブチレンサクシネート（PBS）、ポリブチレンサクシネートアジペート（PBSA）、およびポリビニルアルコール（PVA）、ならびにそれらの組み合わせ）、セルロース系ポリマー、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組み合わせ）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が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は海水で生育するものである。本発明においては、上記の通りCO₂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] 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。

[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、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 yendoii*)、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*)、サガラメ(*Eisenia nipponica*)、イズミイシノカワ(*Heribaudiella fluviatilis*)、およびウミトラノオ(*Sargassum thunbergii*)、ならびにそれらの組み合わせが挙げられる。

- [0031] 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。
- [0032] 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。
- [0033] 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。
- [0034] 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。
- [0035] 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。
- [0036] 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。
- [0037] 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。

- [0038] 藻類養殖手段 110 は海面 140 から突出する海洋構造物に接続されている。例えば、図 1 に示す実施形態では海洋構造物は、底部が海底 150 に固定された固定式洋上風力発電装置 170 であり、藻類養殖手段 110 は、海水中で固定式洋上風力発電装置 170 の支柱 172 周りに同一水平方向に、略一定の角度をあけて配置された複数の梁状部材 174 を介して当該固定式洋上風力発電装置 170 に接続されている。図 1 では、固定式洋上風力発電装置 170 の支柱 172 周りに多段の梁状部材 174 が設けられており、支柱 172 に対して鉛直方向に複数の藻類養殖手段 110 が配置されている。また、支柱 172 周りに設けられた同一水平面に位置する複数の梁状部材 174 には、支柱 172 を中心として取り囲むように複数の藻類養殖手段 110 が配置されていてもよい。
- [0039] このように、本発明においては、固定式洋上風力発電装置 170 の支柱 172 に対して鉛直方向および水平法方向のいずれにも藻類養殖手段 110 を配置でき、1つのシステム 100 における藻類養殖手段 110 上で養殖される藻類 106 の効率（密度）を高めることができる。
- [0040] 着生基材 120 は、海中 142 の海底 150 の上方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、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；ポリ乳酸（PLA）、ポリ（3-ヒドロキシブチレート-3-ヒドロキシヘキサノエート）（PHBH）、ポリグリコール酸（PGA）、ポリブチレンアジペート／テレフタレート（PBAT）、ポリエチレンテレフタレートサクシネート（PETs）、ポリブチレンサクシネート（PBS）、ポリブチレンサクシネートアジペート（PBSA）、およびポリビニルアルコール（PVA）などの生分解性プラスチックを原料とする繊維；セルロース系ポリマーを原料とする繊維；ならびにそれらの組み合わせ；から構成される織布、編布、または不織リグノセルロース布であってもよく、

あるいは熱可塑性樹脂（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）、生分解性プラスチック（例えば、ポリ乳酸（PLA）、ポリ（3-ヒドロキシブチレート-コ-3-ヒドロキシヘキサノエート）（PHBH）、ポリグリコール酸（PGA）、ポリブチレンアジペート／テレフタレート（PBAT）、ポリエチレンテレフタレートサクシネート（PETs）、ポリブチレンサクシネート（PBS）、ポリブチレンサクシネートアジペート（PBSA）、およびポリビニルアルコール（PVA）、ならびにそれらの組み合わせ）、セルロース系ポリマー、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や板材（例えば中空板を包含する）であってもよい。

[0041] 図1において、着床基材120は、藻類養殖手段110の下方に間隔を空けて設けられている。また着生基材120は、例えば、固定式洋上風力発電装置170の支柱172から水平方向に延びる上記複数の梁状部材174からワイヤ132を介して吊り下げられた状態で配置されている。あるいは、海面140と着生基材120との間の最短距離が後述するような所定の範囲内にある場合は、着生基材120は海底150上に直接接した状態で配置されていてもよい。

[0042] 着生基材120の厚みは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、潮流等の水の流れること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、海底150上に配置する際および／または海中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、例えば、適度に切断された上記布帛、シートおよび／または組み合わされた複数の板材から構成されるもののいずれであってもよい。

[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設計されている。図 1 において、着生基材 120 は固定式洋上風力発電装置 170 の支柱 172 周りに配置されており、円形を有しているが、このような形態に必ずしも限定されない。例えば、着生基材 120 は矩形または多角形の形状を有し、支柱 172 周りに配置されていてもよい。

[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、海中 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] 藻類養殖手段 110 に固定された藻類 106 は、その生育につれて海中 142 に生殖細胞または受精卵 160 を放出する。

[0047] 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。

[0048] 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 120 上に到達させることができる。その後、着生基材 120 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' が育種可能となる。

[0049] 海面 140 と着生基材 120 との間の最短距離 D は、養殖する海藻の種類、養殖場所における潮流などの海水の移動の程度等によって変動するため常に限定されるものではないが、例えば静置状態において 3.0 m ~ 14.5 m、好ましくは 4.0 m ~ 10 m である。海面 140 と着生基材 120 との間の最短距離 D 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海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。海面140と着生基材120との間の最短距離Dが14.5m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。

[0050] さらに、図1に示す養殖システム100では、藻類養殖手段110、梁状部材174、および着生部材120などの任意の場所に、青色発光ダイオードなどの発光手段180が複数設けられていてもよい。

[0051] 発光手段180から発せられる光（例えば、特に青色ダイオードなどから発せられる短波長側の光）は藻類106、106'の育種を促すことができる点で有用である。例えば、海面140と着生基材120との間の最短距離Dが上記範囲内にあっても、藻類106、106'のさらなる育種のためには、海中142への光量の増加が求められることが想定される。あるいは、夜間や冬季などの日照時間が短い場合でも藻類106、106'に補足的に光照射を行うことが可能となる。また、発光手段180の電力は、例えば、海洋構造物170である固定式洋上風力発電装置から直接供給され得る。

[0052] 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。

[0053] 図2に示す藻類養殖システム200では、海洋構造物として2つの浮体式洋上風力発電装置270、270'が採用されており、予めワイヤ等の固定手段236、238で固定された浮体式洋上風力発電装置270、270'の間を利用して藻類養殖手段210および着生基材220がそれぞれ設けられている。

[0054] ここで、藻類養殖手段210の端部212、214は浮体式洋上風力発電装置270、270'に接続されており、その途中に複数のフロート230が固定されている。これにより、藻類養殖手段210は、全体として緩やかな複数のU字状の撓みを有し、これらが海中142にて吊り下げられた状態で配置されている。

- [0055] 藻類養殖手段210の下方には図1に示すシステム100と同様に、着生基材220が当該藻類養殖手段210と間隔を空けて設けられている。着生基材220はまた、浮体式洋上風力発電装置270、270'とワイヤ232、234を介して海中142で吊り下げられた状態で配置されている。
- [0056] 藻類養殖手段210には、上記と同様にして藻類106が固定されており、下方の着生基材220には、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220上に到達させることができる。その後、着生基材220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210と、その下方に配置される着生基材220との両方で藻類106、106'が育種可能となる。
- [0057] 図2に示す藻類養殖システム200は、海面140から海底150までの距離が長く、図1に示すような固定式洋上風力発電装置を配置することが困難であっても海洋構造物として浮体式洋上風力発電装置270、270'が配置されているような場所において、藻類106、106'を共役的に生育させる場合に用いられる。
- [0058] 図3は、本発明の藻類養殖システムの別の例を示す。
- [0059] 例えば、海岸近くや遠浅の海では、海洋構造物として、複数の固定式洋上風力発電装置370、370'が予め配置されていることがある。本発明の藻類養殖システム300は、こうした複数の固定式洋上風力発電装置370、370'の間に生じる領域を利用して配置することができる。図3においては、海洋構造物として2つの固定式洋上風力発電装置370、370'の間に藻類養殖手段310および着生基材320を設ける例について説明したが、本発明はこの形態に限定されない。
- [0060] 例えば、図4に示すようにより多くの海洋構造物（固定式洋上風力発電装置）470の間に本発明の藻類養殖システム400を配置することもできる。この場合、藻類養殖手段410および着生基材420はより広大な領域（大面積）占めるものとなり、共役的に育種する藻類106、106'の種類

および量も拡大することができる。

[0061] さらに藻類 106, 106' が共役的に育種する領域、種類、および量が拡大することによりその周辺には、様々な魚や貝、エビ、カニ、イカ、タコなどの漁業上有用な海洋生物が生育する環境が整うことになる。その結果、本発明の藻類養殖システム 400 を配置した場所は、所望の藻類を得ることができるとともに、良質な漁場となることも期待できる。

[0062] なお、海洋構造物として固定式洋上風力発電装置のような洋上風力発電装置の利用を所望したとしても、安全上の理由、および／またはその他法令により、本発明の藻類養殖システムを当該洋上風力発電装置に直接固定することが規制または制限されることが想定される。そのような場合、本発明の藻類養殖システムは、例えば、図 5 に示すように洋上風力発電装置に直接固定することなく配置することが可能である。

[0063] 図 5 に示す実施形態では、本発明の藻類養殖システム 500 は、固定式洋上風力発電装置 570 の外周、より具体的には固定式洋上風力発電装置 570 を構成する支柱 572 の外周に被覆材 575 が設けられている。被覆材 575 は、本発明の藻類養殖システム 500 における藻類養殖手段 410 と固定式洋上風力発電装置 570 とが直接接することなく、間接的に固定することができ、例えば耐水性を有する任意の材料で構成される。被覆材 575 の厚み等は特に限定されず、当業者によって適宜設定され得る。

[0064] あるいは、本発明では、図 5 に示す固定式洋上風力発電装置 570 の代わりに、図 6 の (a) および (b) に示すような固定式洋上風力発電装置 670a, 670b が利用されてもよい。

[0065] 図 6 の (a) に示す固定式洋上風力発電装置 670a は、支柱 672a から離間して取り付けられた固定ロッド 674a を備える。本発明の養殖システムにおける藻類養殖手段 410 はこの固定ロッド 674a に取り付けられることにより、藻類養殖手段 410 と固定式洋上風力発電装置 670a とが直接的に接することを回避できる。

[0066] 一方、図 6 の (b) に示す固定式洋上風力発電装置 670b は、支柱 67

2 b の周囲に当該支柱 6 7 2 b から離間して、一部を埋設して配置された固定ロッド 6 7 4 b を備える。本発明の養殖システムにおける藻類養殖手段 4 1 0 はこの固定ロッド 6 7 4 b に取り付けられることにより、藻類養殖手段 4 1 0 と固定式洋上風力発電装置 6 7 0 b とが直接的に接することを回避できる。

[0067] 図 7 は、本発明の藻類養殖システムのさらに別の例であり、海洋構造物が海中展望塔 7 7 0 である場合の本発明の藻類養殖システム 7 0 0 を示す。ここで、海中展望塔 7 7 0 は、海中に配置されており、観察窓 7 7 6 を通じて海中の様子を観察することができる円筒形塔部 7 7 2 と、円筒形塔部 7 7 2 と接続されておりかつ海面 1 4 0 よりも上方に配置された展望室 7 7 3 とを含む。

[0068] 図 7 に示す藻類養殖システム 7 0 0 では、藻類 1 0 6 が固定された藻類養殖手段 7 1 0 が海中展望塔 7 7 0 の円筒形塔部 7 7 2 から延びる複数の梁状部材 7 7 4 を介して海中展望塔 7 7 0 に接続されている。図 7 に示す実施形態では、梁状部材 7 7 4 および藻類養殖手段 7 1 0 は、円筒形塔部 7 7 2 に設けられた観察窓 7 7 6 における視界を遮ることがないようにするために当該観察窓 7 7 6 よりも上方に設けられていることが好ましい。

[0069] 一方、海中展望塔 7 7 0 の円筒形塔部 7 7 2 の周囲には、着生基材 7 2 0 が配置されている。この着生基材 7 2 0 もまた、円筒形塔部 7 7 2 に設けられた観察窓 7 7 6 における視界を遮ることがないようにするために当該観察窓 7 7 6 よりも下方に設けられていることが好ましい。さらに、着生基材 7 2 0 上には、上記藻類養殖手段 7 1 0 に固定された藻類 1 0 6 から放出される遊走子（生殖細胞）または受精卵 1 6 0 を通じて生育する藻類 1 0 6' が存在し、藻類 1 0 6, 1 0 6' が共役的に育種可能である。

[0070] 図 7 に示す藻類養殖システム 7 0 0 がこのような構成を有していることにより、藻類養殖手段 7 1 0 に固定された藻類 1 0 6 と、着生基材 7 2 0 上に生育した藻類 1 0 6' との間には、魚等の多くの海洋生物が集まり易い環境が構築できる。その結果、本発明の藻類養殖システム 7 0 0 は、所望の藻類

106, 106' が養殖できることに加え、海中展望塔770に要求される観光施設としての価値を向上させることができる。

[0071] 上記の実施形態では、海中構造物の例として浮体式洋上風力発電装置、固定式洋上風力発電装置、および海中展望塔について説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、海中構造物は、上記以外に、養殖筏（生簀）、海上橋梁、防波堤、離岸堤、消波堤、海上ブイ（航路標識を含む）、人工島、海上空港島などであってもよい。さらに海中構造物は、海岸付近に構築されるものであっても、沖合（例えば海岸から2kmほどの距離）に構築されるものであってもよい。

[0072] 2. 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。

[0073] 本発明の方法では、まず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。

[0074] 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。

[0075] 次いで、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的に育種される。

[0076] 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。

- [0077] 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。
- [0078] 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。
- [0079] 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。
- [0080] 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。
- [0081] 図８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地方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。
- [0082] 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っており、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。
- [0083] 図８に示すように、例えば、日本国における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、日本国における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、日本国における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、日本国における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、日本国における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、日本国における9月～12月は、アキヨレモクの成熟時期に該当する。

[0084] このことから、例えば日本国およびその周辺地域では、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。

[0085] 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。

[0086] 3. バイオエタノールの製造方法

上記のようにして養殖した藻類をバイオマスとして用いることにより、当該バイオマスに含まれる糖（グルコース等）をバイオエタノール原料として利用することができる。所定の糖からバイオエタノールを製造する方法は公知であり、例えば、特開2008-193935号公報に記載の方法を用いることができる。

[0087] 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。

[0088] 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。

産業上の利用可能性

[0089] 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。また、漁業、観光業などの他の分野においても有用である。

符号の説明

[0090] 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 藻類養殖システム

106, 106'	藻類
110, 210, 310, 410, 710	藻類養殖手段
120, 220, 320, 420, 720	着生基材
132, 232, 234	ワイヤ
140	海面
142	海中
150	海底
160	生殖細胞または受精卵
170, 370, 370', 470, 570, 670a, 670b	固

定式洋上風力発電装置

172, 572, 672a, 672b	支柱
174, 574	梁状部材
180	発光手段
230	フロート
236, 238	固定手段
270, 270'	浮体式洋上風力発電装置
575	被覆材
674a, 674b	固定ロッド
770	海中展望塔
772	円筒形塔部
773	展望室
776	観察窓

請求の範囲

- [請求項1] 藻類養殖システムであって、
海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、
該藻類養殖手段が海洋構造物に接続されており、
海面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1に記載の
藻類養殖システム。
- [請求項3] 前記藻類養殖手段が前記海洋構造物から吊り下げられた状態で接続
されている、請求項1に記載の藻類養殖システム。
- [請求項4] 前記着生基材が海底から離れた海中に配置されている、請求項1に
記載の藻類養殖システム。
- [請求項5] 前記海洋構造物が浮体式洋上風力発電装置である、請求項1に記載
の藻類養殖システム。
- [請求項6] 前記海洋構造物が固定式洋上風力発電装置である、請求項1に記載
の藻類養殖システム。
- [請求項7] 前記海洋構造物が海中展望塔である、請求項1に記載の藻類養殖シ
ステム。
- [請求項8] 藻類の養殖方法であって、
水中で請求項1から7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9] 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8に記載の方法。

[請求項10] 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8に記載の方法。

[請求項11] 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7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。