

明 細 書

発明の名称： 生物付着抑制方法及び生物付着抑制装置

技術分野

[0001] 本開示は、生物付着抑制方法及び生物付着抑制装置に係り、特に、水中での生物の付着を抑制する生物付着抑制方法及び生物付着抑制装置に関する。

背景技術

[0002] 海水中等の水中に浸漬されている船舶用プロペラや構造物等には、水中の生物が付着する。このような船舶用プロペラや構造物に、例えばフジツボ等の生物が付着すると、船舶の燃費が低下する場合や腐食が生じる可能性がある。このことから、従来、船舶用プロペラや構造物等に付着したフジツボ等の生物を、人手作業により除去して清掃することが行われている（特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2012-36614号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、水中の生物は、銅合金で形成された船舶用プロペラや構造物等に強固に固着する。このことから、これらの付着した生物を人手作業により除去しようとしても、付着した生物を除去することが難しく、清掃に多大な労力を要する可能性がある。

[0005] そこで本開示の目的は、より簡易に水中の生物の付着を抑制可能な生物付着抑制方法及び生物付着抑制装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示に係る生物付着抑制方法は、水中での生物の付着を抑制する生物付着抑制方法であって、前記水中に浸漬され、銅合金で形成された生物付着抑制対象部材を陰極とし、前記生物付着抑制対象部材の対極を構成する陽極部

材を前記水中に浸漬させて配置する準備工程と、前記生物付着抑制対象部材と、前記陽極部材との間に、直流電流を通電する通電工程と、を備える。

[0007] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記通電工程は、前記生物付着抑制対象部材と、前記陽極部材との間に、水の電気分解開始時の電流密度以上で通電してもよい。

[0008] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記通電工程は、前記生物付着抑制対象部材と、前記陽極部材との間に、水の電気分解開始時の電流密度以上 2.5 A/m^2 以下で通電してもよい。

[0009] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記銅合金は、アルミニウムを含み、前記通電工程は、前記生物付着抑制対象部材と、前記陽極部材との間に、水の電気分解開始時の電流密度以上 20 A/m^2 以下で通電してもよい。

[0010] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記通電工程は、 0.06 A/m^2 以上の電流密度で通電してもよい。

[0011] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記通電工程は、 0.24 A/m^2 以上の電流密度で通電してもよい。

[0012] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記銅合金は、アルミニウム青銅としてもよい。

[0013] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記生物付着抑制対象部材は、船舶用プロペラとしてもよい。

[0014] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記準備工程は、更に、前記水中に参照電極を浸漬させて配置し、前記通電工程は、前記参照電極に対する前記船舶用プロペラの電位を一定に保持して、前記船舶用プロペラと、前記陽極部材との間に、直流電流を通電してもよい。

[0015] 本開示に係る生物付着抑制方法において、前記準備工程は、更に、喫水線の位置を測定する水位センサを配置し、前記通電工程は、前記水位センサで測定された喫水線の位置から喫水線以下の没水したプロペラ面積を求め、電流密度を一定とするために、前記没水したプロペラ面積に応じて、前記船舶用プロペラと、前記陽極部材との間に通電する直流電流の電流量を変化させ

てもよい。

[0016] 本開示に係る生物付着抑制装置は、水中での生物の付着を抑制する生物付着抑制装置であって、前記水中に浸漬され、陰極となる銅合金で形成された生物付着抑制対象部材の対極を構成する陽極部材と、前記生物付着抑制対象部材と、前記陽極部材とに電氣的接続される電源と、前記電源を制御して、前記生物付着抑制対象部材と、前記陽極部材との間に、直流電流を通電する制御部と、を備えている。

[0017] 本開示に係る生物付着抑制装置において、前記制御部は、前記電源を制御して、前記生物付着抑制対象部材と、前記陽極部材との間に、水の電気分解開始時の電流密度以上で通電してもよい。

[0018] 本開示に係る生物付着抑制装置において、前記生物付着抑制対象部材は、船舶用プロペラとしてもよい。

[0019] 本開示に係る生物付着抑制装置において、前記船舶用プロペラは、船体の船尾側に配置されており、前記陽極部材は、前記船舶用プロペラの船幅方向から船尾方向にかけて、前記船舶用プロペラを囲むようにして設けられていてもよい。

発明の効果

[0020] 上記構成によれば、生物付着抑制対象部材と、陽極部材との間の直流電流の通電により、生物付着抑制対象部材の周りが低酸素状態となることから、水中の生物の活動が抑えられて、より簡易に生物の付着が抑制される。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本開示の実施の形態において、生物付着抑制方法の構成を示すフローチャートである。

[図2]本開示の実施の形態において、準備工程を説明するための図である。

[図3]本開示の実施の形態において、通電工程を説明するための図である。

[図4]本開示の実施の形態において、生物付着抑制対象部材の電位と、電流密度との関係を示す模式図である。

[図5]本開示の実施の形態において、生物付着抑制装置の構成を示す図である

。

[図6]本開示の実施の形態において、船舶用プロペラのための生物付着抑制装置を説明するための図である。

[図7]本開示の実施の形態において、静水環境下での供試体の分極特性を示すグラフである。

[図8]本開示の実施の形態において、流水環境下での供試体の分極特性を示すグラフである。

[図9]本開示の実施の形態において、供試体の外観観察結果を示す写真である

。

発明を実施するための形態

[0022] 以下に本開示の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。図1は、生物付着抑制方法の構成を示すフローチャートである。生物付着抑制方法は、準備工程(S10)と、通電工程(S12)と、を備えている。生物付着抑制方法は、海水中や淡水中等の水中での生物の付着を抑制する方法である。水中の生物は、例えば、フジツボなどの海生生物等である。

[0023] 準備工程(S10)は、水中に浸漬され、銅合金で形成された生物付着抑制対象部材を陰極とし、生物付着抑制対象部材の対極を構成する陽極部材を水中に浸漬させて配置する工程である。図2は、準備工程(S10)を説明するための図である。

[0024] 生物付着抑制対象部材10は、例えば、船舶用プロペラ等の船舶用部材や、スラスタ等海洋構造物部材等からなる。さらに具体的には、生物付着抑制対象部材10は、例えば、船舶、海洋構造物等において、推進力を生じさせる推進装置、姿勢制御に用いられる姿勢制御装置、方向転換装置等に備えられている回転機械の回転体であってもよい。このような回転機械の回転体は、例えば、プロペラ(スクルー)、プロペラ型のスラスタ、サイドスラスタ等からなる。但し、生物付着抑制対象部材10は、ここに例示したものには限定されず、水中に浸漬される様々な構造物(あるいはその構造物の部材)を生物付着抑制対象物とすることができる。生物付着抑制対象部

材 1 0 は、電源 1 2 の陰極側に電氣的接続されている。生物付着抑制対象部材 1 0 は、銅合金で形成されている。銅合金は、特に限定されないが、例えば、アルミニウム青銅、マンガン黄銅等とすることができる。例えば、生物付着抑制対象部材 1 0 が船舶用プロペラである場合には、生物付着抑制対象部材 1 0 は、機械的特性や耐食性等に優れたアルミニウム青銅で形成されているとよい。アルミニウム青銅は、アルミニウム（A l）と、ニッケル（N i）と、マンガン（M n）と、鉄（F e）と、を含有し、残部が銅（C u）と不可避的不純物とから構成されている銅合金である。アルミニウム青銅には、例えば、アルミニウム青銅鋳物第 1 種（A L B C 1）、アルミニウム青銅鋳物第 2 種（A L B C 2）、アルミニウム青銅鋳物第 3 種（A L B C 3）、アルミニウム青銅鋳物第 4 種（A L B C 4）を用いることが可能である。例えば、アルミニウム青銅鋳物第 3 種（A L B C 3）は、8. 5 質量%以上 1 0. 5 質量%以下の A l と、3. 0 質量%以上 6. 0 質量%以下の N i と、1. 5 質量%以下の M n と、3. 0 質量%以上 6. 0 質量%以下の F e と、を含有し、残部が C u と不可避的不純物とから構成されている銅合金である。

[0025] 陽極部材 1 4 は、水中に浸漬され、陰極となる生物付着抑制対象部材 1 0 の対極として配置されている。陽極部材 1 4 は、生物付着抑制対象部材 1 0 の近傍に配置されているとよい。陽極部材 1 4 は、電源 1 2 の陽極側に電氣的接続されている。陽極部材 1 4 は、不溶解性陽極や溶解性陽極等で構成されている。

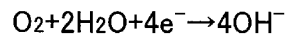
[0026] 通電工程（S 1 2）は、生物付着抑制対象部材 1 0 と、陽極部材 1 4 との間に、直流電流を通電する工程である。図 3 は、通電工程（S 1 2）を説明するための図である。生物付着抑制対象部材 1 0 と、陽極部材 1 4 との間に、直流電流を通電することにより、生物付着抑制対象部材 1 0 の周りの酸素（水中の溶存酸素等）が還元により消費されて、生物付着抑制対象部材 1 0 の周りに低酸素領域 1 6 が形成される。これにより、生物付着抑制対象部材 1 0 の周りが酸欠状態になるので、フジツボ等の生物 1 8 の生物活動が抑制

されて、生物付着抑制対象部材 10 への生物 18 の付着が抑制される。

[0027] 次に、生物付着抑制の作用についてより詳細に説明する。図 4 は、生物付着抑制対象部材 10 の電位と、電流密度との関係を示す模式図である。図 4 の模式図では、横軸に電流密度を取り、縦軸に生物付着抑制対象部材 10 の電位を取り、電流密度に対する生物付着抑制対象部材 10 の電位を実線で模式的に示している。

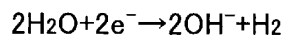
[0028] 水中に酸素が多く含まれている状態では、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に直流電流を通電すると、生物付着抑制対象部材 10 の表面近傍では、化 1 に示す化学反応が生じる。化 1 に示す化学反応により、生物付着抑制対象部材 10 の周りの酸素が還元されて水酸化物イオン (OH^-) が生成し、水中に含まれる酸素が消費される。これにより、生物付着抑制対象部材 10 の周りの酸素濃度が低下して低酸素領域 16 が形成される。このような酸素還元域 A では、電流密度の増加に伴って、生物付着抑制対象部材 10 の電位が緩やかに上昇する。

[0029] [化1]



[0030] 生物付着抑制対象部材 10 の周りの酸素が全て消費された状態では、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に直流電流を通電すると、生物付着抑制対象部材 10 の表面近傍では、化 2 に示す化学反応が生じる。化 2 に示す化学反応により、生物付着抑制対象部材 10 の周りの水が電気分解されて水酸化物イオン (OH^-) と、水素 (H_2) とが生成する。このような水電気分解域 B では、電流密度の増加に対して生物付着抑制対象部材 10 の電位は、略一定となる。

[0031] [化2]



[0032] 酸素還元域 A と、水電気分解域 B との間には、生物付着抑制対象部材 10 の表面近傍で、化 1 に示す化学反応から化 2 に示す化学反応へ移行する遷移

域Cが形成される。遷移域Cでは、電流密度の増加に対して生物付着抑制対象部材10の電位が急激に上昇する。

- [0033] 生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に通電する直流電流は、水の電気分解開始時の電流密度 I_c 以上とするとよい。水の電気分解開始時の電流密度 I_c は、遷移域Cにおいて、生物付着抑制対象部材10の周りの酸素が還元されて全て消費され、水の電気分解が開始する時の電流密度である。生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に、水の電気分解開始時の電流密度 I_c 以上の直流電流で通電することにより、生物付着抑制対象部材10の周りでは、酸素が還元されて全て消費されているので、生物付着の抑制効果をより向上させることができる。
- [0034] 水の電気分解開始時の電流密度 I_c は、酸素還元域Aと、遷移域Cとの境界の電流密度 I_a と、水電気分解域Bと、遷移域Cとの境界の電流密度 I_b との間の中央の電流密度($I_c = (I_a + I_b) / 2$)とするとよい。例えば、電流密度 I_a が 0.19 A/m^2 であり、電流密度 I_b が 0.29 A/m^2 である場合には、電流密度 I_c は、 0.24 A/m^2 とするとよい。なお、電流密度 I_a と、電流密度 I_b とは、予め測定した生物付着抑制対象部材10の分極曲線Xにおける変曲点等から求めることが可能である。
- [0035] 生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に通電する直流電流は、酸素還元域Aと、遷移域Cとの境界の電流密度 I_a 以上としてもよい。酸素還元域Aと、遷移域Cとの境界では、生物付着抑制対象部材10の表面近傍の酸素が略還元されて大部分が消費されているので、生物付着を抑制することができる。また、酸素還元域Aと、遷移域Cとの境界の電流密度 I_a は、水の電気分解開始時の電流密度 I_c よりも小さいので、生物付着を抑制するために長期間通電する場合でも、電力コストを低減することができる。
- [0036] 生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に、通電する直流電流は、水電気分解域Bと、遷移域Cとの境界の電流密度 I_b 以上としてもよい。水電気分解域Bと、遷移域Cとの境界では、生物付着抑制対象部材10の周りの酸素がより確実に消費されているので、生物付着の抑制効果を更に向

上させることが可能となる。

[0037] 生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に、通電する直流電流の電流密度は、一定としてもよく、変化させてもよいが、一定の電流密度とするとよい。一定の電流密度とすることにより、簡易に通電を行うことができる。また、一定の電流密度とすることにより、生物付着抑制のための適正な電流密度を容易に保持することが可能となる。更に、一定の電流密度とすることにより、過剰な電流を通電することを抑制することができる。生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間の通電は、常時、連続して通電するとよい。これにより、生物付着抑制効果をより向上させることができる。

[0038] 通電工程 (S12) は、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に、 0.06 A/m^2 以上の電流密度で直流電流を通電するとよい。静水環境下では、水の電気分解開始時の電流密度 I_c が 0.06 A/m^2 になるので、水の電気分解開始時の電流密度 I_c 以上で通電することができる。また、静水環境下では、酸素還元域 A と、遷移域 C との境界の電流密度 I_a は、 0.03 A/m^2 になるので、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に通電する直流電流の電流密度を、 0.03 A/m^2 以上としてもよい。更に、静水環境下では、水電気分解域 B と、遷移域 C との境界の電流密度 I_b が 0.09 A/m^2 になるので、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に通電する直流電流の電流密度を、 0.09 A/m^2 以上としてもよい。なお、静水環境は、例えば、流速が 0.5 m/s 以下の水域とすることができる。静水環境は、例えば、池、沼、湖、流れの弱い河川等の水域とするとよい。

[0039] 通電工程 (S12) は、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に、 0.24 A/m^2 以上の電流密度で直流電流を通電するとよい。流水環境下では、水の電気分解開始時の電流密度が 0.24 A/m^2 になるので、通電する直流電流を 0.24 A/m^2 以上とすることにより、水の電気分解開始時の電流密度 I_c 以上で通電することができる。また、流水環境下では、酸

素還元域Aと、遷移域Cとの境界の電流密度 I_a は、 0.19 A/m^2 になるので、生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に通電する直流電流を 0.19 A/m^2 以上としてもよい。更に、流水環境下では、水電気分解域Bと、遷移域Cとの境界の電流密度 I_b が 0.29 A/m^2 になるので、生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に通電する直流電流を、 0.29 A/m^2 以上としてもよい。なお、流水環境は、例えば、流速が 0.5 m/s より大きい水域とすることができる。流水環境は、例えば、河川、海洋等の水域とするといよい。

[0040] 通電工程(S12)は、生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に、水の電気分解開始時の電流密度以上 2.5 A/m^2 以下で直流電流を通電するとよい。生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との通電時には、生物付着抑制対象部材10の表面近傍に、水の電気分解により水素(H_2)が発生する。生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14とを、 2.5 A/m^2 以下の電流密度で直流電流を通電することにより、生物付着抑制対象部材10の水素脆化を抑制することができる。これにより、生物付着抑制対象部材10は、生物付着を抑制できると共に、水素脆化を抑制可能となる。静水環境下では、生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に、 0.06 A/m^2 以上 2.5 A/m^2 以下で直流電流を通電するとよい。流水環境下では、生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に、 0.24 A/m^2 以上 2.5 A/m^2 以下で直流電流を通電するとよい。

[0041] 通電工程(S12)は、生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14との間に、水の電気分解開始時の電流密度以上 20 A/m^2 以下で直流電流を通電するとよい。生物付着抑制対象部材10を形成する銅合金が、例えば、アルミニウム青銅のようにアルミニウムを含む銅合金の場合には、水の電気分解により発生する水酸化物イオン(OH^-)により、脱アルミニウム腐食が生じる可能性がある。生物付着抑制対象部材10と、陽極部材14とを、 20 A/m^2 以下の電流密度で直流電流を通電することにより、生物付着抑制対象部材10の脱アルミニウム腐食を抑制することができる。これにより、生物付

着抑制対象部材 10 は、生物付着を抑制することができると共に、脱アルミニウム腐食を抑制可能となる。静水環境下では、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に、 0.06 A/m^2 以上 20 A/m^2 以下で直流電流を通電するとよい。流水環境下では、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に、 0.24 A/m^2 以上 20 A/m^2 以下で直流電流を通電するとよい。

[0042] 次に、水中での生物の付着を抑制する生物付着抑制装置について説明する。図 5 は、生物付着抑制装置 20 の構成を示す図である。生物付着抑制装置 20 は、陽極部材 14 と、電源 12 と、電源 12 を制御する制御部 22 と、を備えている。

[0043] 陽極部材 14 は、水中に浸漬され、陰極となる銅合金で形成された生物付着抑制対象部材 10 の対極を構成する機能を有している。陽極部材 14 には、不溶解性陽極や溶解性陽極を用いることができる。不溶解性陽極には、酸化イリジウム、白金等を用いることができる。溶解性陽極には、亜鉛、マグネシウム等を用いることができる。陽極部材 14 の形状は、特に限定されないが、円柱状や角柱状等とするとよい。陽極部材 14 には、一般的な流電陽極等を用いることが可能である。

[0044] 電源 12 は、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 とに電気ケーブル等で電氣的接続されている。電源 12 は、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に、直流電流を通電する機能を有している。電源 12 には、一般的なポテンショガルバノスタット等の外部電源を用いることができる。

[0045] 制御部 22 は、電源 12 を制御して、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間の通電を制御する機能を有している。制御部 22 は、電源 12 と電気ケーブル等で電氣的接続されている。制御部 22 は、通電開始や通電停止、生物付着抑制対象部材 10 と陽極部材 14 との間に通電する直流電流の電流密度を制御することができる。制御部 22 は、例えば、電源 12 を制御して、生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 との間に、水の電気

分解開始時の電流密度以上の直流電流を通電することができる。制御部 22 は、生物付着抑制対象部材 10 の材質、水の電気分解開始時の電流密度、酸素還元域 A と、遷移域 C との境界の電流密度、水電気分解域 B と、遷移域 C との境界の電流密度等を記憶するメモリ等を備えていてもよい。制御部 22 は、例えば、一般的なマイクロコンピュータ等で構成することが可能である。なお、制御部 22 は、電源 12 と一体的に構成されていてもよい。

[0046] なお、海水中で、陰極となる生物付着抑制対象部材 10 と、陽極部材 14 とを直流電流で通電する場合には、海水中に含まれるカルシウム (Ca) やマグネシウム (Mg) により、生物付着抑制対象部材 10 の表面に、 CaCO_3 や $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 等からなる石灰質被膜が形成される。このように海水中で通電する場合には、生物付着抑制対象部材 10 の周りには、石灰質被膜と、低酸素領域 16 とが形成されるので、生物の付着を更に抑制することが可能となる。

[0047] また、生物付着抑制対象部材 10 の表面に石灰質被膜が形成された場合には、例えば、生物付着抑制期間が終了した後に、 5 A/m^2 以上の電流密度で直流電流を通電することにより、石灰質被膜を容易に剥離して除去することができる。 5 A/m^2 以上の電流密度で直流電流を通電することにより、生物付着抑制対象部材 10 の表面に発生する水素ガスにより石灰質被膜を押し上げて剥離することができる。また、生物付着抑制対象部材 10 の表面には水酸化物イオンが蓄積されて pH が上昇するので、石灰質被膜の剥離を促進することができる。

[0048] 例えば、生物付着抑制対象部材 10 が船舶用プロペラである場合には、船舶の停泊期間の開始から終了まで、水の電気分解開始時の電流密度以上 5 A/m^2 未満で直流電流を通電し、停泊期間の終了後に 5 A/m^2 以上の電流密度で直流電流を通電してもよい。これにより、停泊期間中では、石灰質被膜と、低酸素領域 16 とが形成されるので、生物の付着が更に抑制される。そして、停泊期間終了後では、石灰質被膜が剥離して除去されるので、船舶用プロペラを停泊期間前の初期状態に容易に戻すことができる。

- [0049] 次に、生物付着抑制対象部材 10 を船舶用プロペラとしたときの生物付着抑制装置について説明する。図 6 は、船舶用プロペラのための生物付着抑制装置 30 の構成を説明するための図である。なお、図 6 に示される矢印は、船体の船尾方向を示している。
- [0050] 船舶用プロペラ 1 は、船体 2 の船尾側に配置されており、プロペラ軸 3 に回転可能に取り付けられている。船舶用プロペラ 1 の船尾側には、船舶用プロペラ 1 と間隔を設けて、舵 4 が設けられている。船舶用プロペラ 1 は、機械的特性や耐食性等に優れたアルミニウム青銅等の銅合金で形成されている。
- [0051] 船舶用プロペラ 1 のための生物付着抑制装置 30 は、陽極部材 32 と、電源 34 と、制御部 36 と、を備えている。
- [0052] 陽極部材 32 は、水中に浸漬され、陰極となる銅合金で形成された船舶用プロペラ 1 の対極を構成する機能を有している。陽極部材 32 には、上述した陽極部材 14 と同様の材質や形状のものをを用いることができる。陽極部材 32 は、少なくとも 1 つ設けられていればよく、複数設けられていてもよい。
- [0053] 陽極部材 32 は、船舶用プロペラ 1 の船幅方向から船尾方向にかけて、船舶用プロペラ 1 を囲むようにして設けられているとよい。これにより、船舶用プロペラ 1 の周りを低酸素領域で覆うことができるので、船舶用プロペラ 1 への生物の付着を抑制することができる。
- [0054] また、陽極部材 32 は、船舶用プロペラ 1 の船幅方向から船尾方向にかけて、船舶用プロペラ 1 を円弧状に囲むようにして設けられているとよい。陽極部材 32 が船舶用プロペラ 1 を円弧状に囲むようにして設けられていることにより、各陽極部材 32 と船舶用プロペラ 1 との距離が略等しくなるので、船舶用プロペラ 1 の周りに低酸素領域をより均一に形成することができる。
- [0055] 例えば、陽極部材 32 は、船体 2 から離間されると共に、船舶用プロペラ 1 の船幅方向の両側に設けられているとよい。更に、陽極部材 32 は、船体

2 から離間されると共に、船舶用プロペラ 1 の船尾方向の舵 4 に対して両側となるように設けられているとよい。なお、図 6 では、陽極部材 3 2 は、4 箇所配置されているが、特に、4 箇所限定されることはない。

[0056] 電源 3 4 は、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 とに電気ケーブル等で電氣的接続されている。電源 3 4 は、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に直流電流を通電する機能を有している。電源 3 4 の陽極は、陽極部材 3 2 と電気ケーブル等で電氣的接続される。電源 3 4 の陰極は、船舶用プロペラ 1 と電気ケーブル等で電氣的接続されるようにしてもよいし、プロペラ軸 3 と電気ケーブル等で電氣的接続することにより、プロペラ軸 3 を介して船舶用プロペラ 1 と電氣的接続してもよい。なお、電源 3 4 の陰極と、プロペラ軸 3 とを電氣的接続する場合には、プロペラ軸 3 は、金属材料等の導電性材料で形成される。電源 3 4 は、上述した電源 1 2 と同様のポテンショガルバノスタット等の外部電源を用いることができる。電源 3 4 は、例えば、プロペラ軸 3 より船首側に配置されているとよい。

[0057] 制御部 3 6 は、電源 3 4 を制御して、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間の通電を制御する機能を有している。制御部 3 6 は、電源 3 4 と、電気ケーブル等で電氣的接続されている。制御部 3 6 は、通電開始や通電停止、船舶用プロペラ 1 と陽極部材 3 2 との間に通電する直流電流の電流密度を制御することができる。制御部 3 6 は、例えば、電源 3 4 を制御して、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に、水の電気分解開始時の電流密度以上の直流電流を通電することができる。制御部 3 6 は、船舶用プロペラ 1 の材質や形状寸法、水の電気分解開始時の電流密度、酸素還元域 A と、遷移域 C との境界の電流密度、水電気分解域 B と、遷移域 C との境界の電流密度等を記憶するメモリ等を備えていてもよい。制御部 3 6 は、制御部 2 2 と同様に、一般的なマイクロコンピュータ等で構成することが可能である。なお、制御部 3 6 は、電源 3 4 と一体的に構成されていてもよい。制御部 3 6 は、例えば、プロペラ軸 3 より船首側に配置されているとよい。

[0058] なお、陽極部材は、図 6 に示すように船舶用プロペラ 1 を囲うように配置

されるだけでなく、船体 2 に取り付けられるようにしてもよい。陽極部材は、船体 2 の横面や底面に、船体 2 と絶縁させて取付けることが可能である。陽極部材は、船舶用プロペラ 1 の近傍に取り付けられるとよい。船舶用プロペラ 1 を囲うように陽極部材を配置するスペースがない場合でも、陽極部材を船体 2 に取り付けすることで、生物付着を抑制することができる。

[0059] 次に、船舶用プロペラ 1 の生物付着抑制方法について説明する。

[0060] 準備工程（S 1 2）では、上述したように、水中に浸漬され、銅合金で形成された船舶用プロペラ 1 を陰極とし、船舶用プロペラ 1 の対極を構成する陽極部材 3 2 を水中に浸漬させて配置する。

[0061] 通電工程（S 1 4）では、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に、直流電流を通電する。船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に、直流電流を通電することにより、船舶用プロペラ 1 の周りの酸素（水中の溶存酸素等）が還元により消費されて、船舶用プロペラ 1 の周りに低酸素領域が形成される。船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間には、水の電気分解開始時の電流密度以上の直流電流を通電するとよい。これにより、船舶用プロペラ 1 の周りが酸欠状態になるので、フジツボ等の生物の生物活動が抑制されて、船舶用プロペラ 1 への生物の付着が抑制される。

[0062] なお、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に通電する直流電流の電流密度は、一定としてもよく、変化させてもよいが、一定の電流密度とするとよい。一定の電流密度とすることにより、簡易に通電を行うことができる。また、一定の電流密度とすることにより、生物付着抑制のための適正な電流密度を容易に保持することが可能となる。更に、一定の電流密度とすることにより、過剰な電流を通電することを容易に抑制することができる。

[0063] また、船舶用プロペラ 1 の生物付着抑制方法は、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に通電する直流電流の電流量を、喫水線以下の没水したプロペラ面積に応じて変化させるとよい。これにより、喫水線以下の没水したプロペラ面積が変化する場合でも、通電時の電流密度をより一定にすることができる。

- [0064] より詳細には、船舶用プロペラ 1 の汚損は、主として、船舶の停泊期間中の海生生物等の付着により生じている。停泊期間中には、船舶への貨物の積載と荷卸しに伴い喫水線位置が変動することで、船舶用プロペラ 1 の一部が水面から大気中へ露出する場合がある。このように、船舶用プロペラ 1 は、停泊期間中に、喫水線以下の没水したプロペラ面積が変動する。なお、船舶用プロペラ 1 は、水中に浸漬している間では生物が付着するが、大気中に露出している間では生物が殆ど付着しない。
- [0065] このような場合において、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に通電する直流電流を定電流で通電すると、没水したプロペラ面積が変動することにより電流密度が変化する。例えば、定電流で通電する場合には、没水したプロペラ面積がより小さくなると、電流密度はより大きくなるので、過剰な通電が生じる可能性がある。また、定電流で通電する場合には、没水したプロペラ面積がより大きくなると、電流密度はより小さくなるので、適正な電流密度を保持できない可能性があり、生物付着抑制効果が低下する場合がある。
- [0066] このような理由から、船舶用プロペラ 1 の生物付着抑制方法は、次に示す方法を用いることが可能である。準備工程（S 1 2）は、更に、水中に参照電極を浸漬させて配置し、通電工程（S 1 4）は、参照電極に対する船舶用プロペラ 1 の電位を一定に保持して、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に、直流電流を通電してもよい。
- [0067] 参照電極は、船舶用プロペラ 1 の近傍に配置されるとよい。参照電極は、電源 3 4 と電気ケーブル等で電氣的接続されている。参照電極には、銀塩化銀電極、飽和カロメル電極、水素電極等を用いることが可能である。
- [0068] 制御部 3 6 は、参照電極に対する船舶用プロペラ 1 の電位を一定に保持して定電位に制御する。これにより、船舶用プロペラ 1 の没水したプロペラ面積が喫水線の位置変化により変動する場合でも、船舶用プロペラ 1 の電位が一定に保持されるように、船舶用プロペラ 1 と陽極部材 3 2 との間の電圧が自動的に調節される。このため、没水したプロペラ面積に応じて電流量が自

動的に変化して、電流密度をより一定となる傾向にすることができる。より詳細には、電流量の変動は、没水したプロペラ面積が大きくなるほど電流量が大きくなり、没水したプロペラ面積が小さくなるほど電流量が小さくなるので、電流密度をより一定となる傾向にすることが可能となる。

[0069] なお、船舶用プロペラ 1 の電位は、生物付着抑制のために設定した電流密度を通電可能な電位に設定されるとよい。船舶用プロペラ 1 の電位は、例えば、水の電気分解開始時の電流密度以上の電流密度で通電可能な電位に設定されるとよい。船舶用プロペラ 1 の電位は、予め、実験や解析等により求めることが可能である。

[0070] また、船舶用プロペラ 1 の生物付着抑制方法は、次に示す方法を用いてもよい。準備工程 (S 1 2) は、更に、喫水線の位置を測定する水位センサを配置し、通電工程 (S 1 4) は、水位センサで測定された喫水線の位置から喫水線以下の没水したプロペラ面積を求め、電流密度を一定とするために、没水したプロペラ面積に応じて、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に通電する直流電流の電流量を変化させるようにしてもよい。

[0071] 水位センサには、船舶の喫水線の位置を測定可能な一般的な水位センサを用いることができる。水位センサは、制御部 3 6 と電気ケーブル等で電氣的接続されている。

[0072] 水位センサで測定された喫水線の水位情報は、制御部 3 6 へ送られる。制御部 3 6 は、この水位情報と、船舶用プロペラ 1 の形状や寸法等とから、電流密度を求めるために、喫水線以下の没水したプロペラ面積を算出する。制御部 3 6 は、算出された没水したプロペラ面積に応じて、船舶用プロペラ 1 と、陽極部材 3 2 との間に通電する直流電流の電流量を変化させる。より詳細には、制御部 3 6 は、没水したプロペラ面積が小さくなるほど直流電流の電流量を小さくし、没水したプロペラ面積が大きくなるほど直流電流の電流量を大きくするように制御する。これにより、船舶用プロペラ 1 の喫水線以下の没水したプロペラ面積に応じて、電流密度を一定にすることができる。

[0073] このように、生物付着抑制装置 3 0 によれば、船舶用プロペラ 1 と、陽極

部材３２との間に、直流電流を通電することにより、船舶用プロペラ１の周りに、還元により酸素が消耗することにより低酸素領域が形成される。これにより、船舶用プロペラ１の周りが酸欠状態となるので、船舶用プロペラ１への生物の付着が抑制される。また、船舶用プロペラ１の汚損は、主として、船舶の停泊期間中の海生生物の付着により生じるものであるが、船舶用プロペラ１と、陽極部材３２とを通電することにより船舶用プロペラ１への生物の付着を抑制できるので、人手作業により付着した生物を除去する場合よりも、より簡易な方法で生物の付着を防止できる。

[0074] 以上、上記構成の生物付着抑制方法によれば、水中に浸漬され、銅合金で形成される生物付着抑制対象部材を陰極とし、生物付着抑制対象部材の対極を構成する陽極部材を水中に浸漬させて配置する準備工程と、生物付着抑制対象部材と、陽極部材との間に、直流電流を通電する通電工程と、を備えているので、生物付着抑制対象部材の周りに、還元により酸素が消耗することにより低酸素領域が形成される。これにより、生物付着抑制対象部材の周りが酸欠状態となるので、生物付着抑制対象部材への生物の付着が抑制される。また、生物付着抑制対象部材と、陽極部材とを通電することにより生物付着抑制対象部材への生物の付着を抑制できるので、人手作業により付着した生物を除去する場合よりも、より簡易な方法で生物の付着を防止できる。

[0075] 上記構成の生物付着抑制装置によれば、水中に浸漬され、陰極となる銅合金で形成された生物付着抑制対象部材の対極を構成する陽極部材と、生物付着抑制対象部材と、陽極部材とに電氣的接続される電源と、電源を制御して、生物付着抑制対象部材と、陽極部材との間に直流電流を通電する制御部と、を備えているので、生物付着抑制対象部材の周りに、酸素が還元して消耗することによる低酸素領域を形成することができる。これにより、生物付着抑制対象部材の周りが酸欠状態となるので、生物付着抑制対象部材への生物の付着を抑制可能となる。

実施例

[0076] （静水環境下での分極特性）

静水環境下において、生物付着抑制のための電流密度の検討を行った。まず、試験条件について説明する。陰極となる供試体は、長さ150mm×幅70mm×厚み3.0mmの平板状（評価面積が140cm²）とした。供試体の材質は、アルミニウム青銅鋳物第3種（ALBC3）とした。陽極部材は、外径20mm×長さ150mmの丸棒とした。陽極部材の材質は、亜鉛とした。

[0077] 供試体と、陽極部材とを、水槽に溜めた電解液に浸漬させて配置した。電解液は、自然海水とした。供試体と、陽極部材との間の距離は、約50mmとした。参照電極には、飽和カロメル（SCE）電極を用いた。外部電源（ポテンショガルバナスタット）により、電位掃引速度1mV/min.で電位掃引し、電流密度を測定した。電位掃引の範囲は、供試体の自然電位から1.2V vs SCEまでとした。

[0078] 次に、静水環境下での供試体の分極特性について説明する。図7は、静水環境下での供試体の分極特性を示すグラフである。図7に示すグラフでは、横軸に電流密度を取り、縦軸に過電圧（供試体の電位）を取り、供試体の分極曲線を実線で表している。遷移域は、電流密度が0.03A/m²以上0.09A/m²以下で認められた。より詳細には、酸素還元域と遷移域との境界の電流密度 I_a は、0.03A/m²であり、水電気分解域と遷移域との境界の電流密度 I_b は、0.09A/m²であった。電流密度 I_a と電流密度 I_b とから、水の電気分解開始時の電流密度 I_c を、 $I_c = (I_a + I_b) / 2$ の式で算出したところ、電流密度 I_c は、0.06A/m²であった。この試験結果から、静水環境下では、生物付着を防止するために、0.06A/m²以上の電流密度の直流電流を通電することが好ましく、0.03A/m²以上や、0.09A/m²以上の電流密度で通電してもよいことがわかった。

[0079] （流水環境下での分極特性）

流水環境下において、生物付着防止のための電流密度の検討を行った。まず、試験条件について説明する。流水環境下での試験条件は、上記の静水環境下での試験条件に対して、海流や潮流等の流水による影響を評価するため

に電解液中でエアレーションによる攪拌を行った点が相違しており（上記の静水環境下での試験では、電解液中でのエアレーションによる攪拌無し）、その他の条件については同じとした。エアレーション方法については、エアーポンプと、セラミックエアストーン（直径30mm×長さ50mm、重量50g）とを用いて電解液中に気泡を発生させて攪拌した。エアーポンプには、株式会社ニッソーのCHIKARA α 1500を使用した。気泡の直径は、1mmから10mm程度とした。

- [0080] 次に、流水環境下での供試体の分極特性について説明する。図8は、流水環境下での供試体の分極特性を示すグラフである。図8に示すグラフでは、横軸に電流密度を取り、縦軸に過電圧（供試体の電位）を取り、供試体の分極曲線を実線で表している。遷移域は、電流密度が 0.19 A/m^2 以上 0.29 A/m^2 以下で認められた。より詳細には、酸素還元域と遷移域との境界の電流密度 I_a は、 0.19 A/m^2 であり、水電気分解域と遷移域との境界の電流密度 I_b は、 0.29 A/m^2 であった。電流密度 I_a と電流密度 I_b とから、水の電気分解開始時の電流密度 I_c を、 $I_c = (I_a + I_b) / 2$ の式で算出したところ、電流密度 I_c は、 0.24 A/m^2 であった。この試験結果から、流水環境下では、生物付着を防止するために、 0.24 A/m^2 以上の電流密度の直流電流を通電することが好ましく、 0.19 A/m^2 以上や、 0.29 A/m^2 以上の電流密度で通電してもよいことがわかった。

- [0081] （生物付着性評価試験）

次に、実海域に供試体を浸漬させて生物付着性評価試験を行った。供試体は、長さ300mm×幅150mm×厚み3.0mmの平板状とした。供試体の材質は、アルミニウム青銅鋳物第3種（ALBC3）とした。陽極部材は、チタン-イリジウム系材料で形成した丸棒とした。通電面積は、 0.089 m^2 とした。

- [0082] 生物付着性評価試験として、供試体を陰極とし、供試体と陽極部材との間に、外部電源（ポテンショガルバノスタット）により直流電流を4か月間通電した（実施例1）。電流密度は、 0.25 A/m^2 とした。一方で、供試体

と陽極部材との間の通電を行わないこととした（比較例１）。そして、４か月間経過した後、供試体の外観観察を行った。

[0083] 図９は、供試体の外観観察結果を示す写真であり、図９（a）は、比較例１の方法の写真であり、図９（b）は、実施例１の方法の写真である。比較例１の方法では、供試体の広範囲に、生物の付着や腐食が認められた。これに対して実施例１の方法では、供試体に、生物の付着や腐食が認められなかった。この試験結果から、供試体と陽極部材との間に、直流電流を通電することにより、供試体への生物付着を防止できることがわかった。

[0084] （腐食性評価）

脱アルミニウム腐食の腐食性について評価した。まず、腐食性評価の試験条件について説明する。供試体は、長さ１５０mm×幅７０mm×厚み３．０mmの平板状とした。供試体の材質は、アルミニウム青銅鋳物第３種（ALBC3）とした。陽極部材は、外径２０mm×長さ１５０mmの丸棒とした。陽極部材の材質は、亜鉛とした。

[0085] 供試体と、陽極部材とを、電解液に浸漬させて配置した。電解液は、自然海水とした。供試体と、陽極部材との間の距離は、約２４０mmとした。参照電極には、飽和カロメル（SCE）電極を用いた。外部電源（ポテンシオガルバノスタット）により、供試体と陽極部材との間に、 20 A/m^2 の電流密度で直流電流を通電した。通電中には、エアレーションによる電解液の攪拌を行った。通電期間は、７日間とした。

[0086] 通電終了後、供試体の外観観察を行ったところ、腐食による表面の荒れやピット、減耗等については認められなかった。また、通電前後の供試体の重量を測定した結果、通電前の重量は、 241.092 g であり、通電後の重量は、 241.154 g であった。このように、通電後においても供試体の腐食による重量減少はみられず、耐食性を保持していることがわかった。この腐食性評価結果から、供試体が、アルミニウム青銅のようなアルミニウムを含む銅合金で形成されている場合において、供試体に 20 A/m^2 の電流密度で直流電流を通電しても、脱アルミニウム腐食が生じないことがわかった。

。

[0087] (水素脆性評価)

水素による水素脆化の影響を評価した。供試体の形状は、引張試験片形状とした。供試体の材質は、アルミニウム青銅鋳物第3種 (ALBC3) とした。陽極部材は、外径 20 mm × 長さ 150 mm の丸棒とした。陽極部材の材質は、亜鉛とした。

[0088] 供試体と、陽極部材とを、電解液に浸漬させて配置した。電解液は、3.5 wt % 食塩水とした。供試体と、陽極部材との間の距離は、約 270 mm とした。参照電極には、飽和カロメル (SCE) 電極を用いた。外部電源 (ポテンショガルバノスタット) により、供試体と陽極部材との間に、2.5 A/m² の電流密度で直流電流を通電した。通電期間は、28 日間とした。

[0089] 通電後、室温で引張試験を行った。引張試験は、JIS Z 2241 : 2011 「金属材料引張試験方法」に準拠して行った。通電前の供試体の引張強度は、755 MPa であり、伸びは、15 % であった。通電後の供試体の引張強度は、785 MPa であり、伸びは、19 % であった。この試験結果から、供試体に 2.5 A/m² の電流密度で直流電流を通電しても、水素脆化が生じないことがわかった。

産業上の利用可能性

[0090] 本開示によれば、生物付着抑制対象部材の周りが低酸素状態となることから、水中の生物の活動が抑えられて、より簡易に生物の付着が抑制されるので、船舶用プロペラ等の船舶用部材や、スラスタ等の海洋構造物部材等に有用である。