

## 明 細 書

発明の名称：電気防食システム

### 技術分野

[0001] 本発明は、通水用の金属配管の電気防食システムに係り、特に、海水を送る金属配管の防食に好適な外部電源方式の電気防食システムに関する。なお、ここで「水」とは、「海水」を含めるものとする。

### 背景技術

[0002] 海水ポンプは海水を海域からくみ上げ、プラントを冷却するために用いるほか、油田等における海水を油床に注入してさらに油成分を取り出すインジェクションシステムとして用いられている。また、海水淡水化装置を用いて海水を淡水化し、工業用、農業用、生活飲料用等に利用する技術の開発が進められている。特に、RO膜（逆浸透膜：Reverse Osmosis）を用いた大型海水淡水化装置には多くの金属配管が必要となり、RO膜の寿命を左右するためもあって、金属配管材料の腐食に対する信頼性（耐食性）が重要となっている。

[0003] 海水をポンプによりくみ上げ、RO設備に到達するまでの金属配管材料は通常ステンレス鋼が用いられる。ポンプや海水淡水化装置配管で耐海水材料として普及しているのは、一般的なSUS304ではなく、同じオーステナイト鋼ながら、海水中での耐食性をMo添加により高めたSUS316鋼である。海水ポンプのベルマウス、ケーシングでは二相ステンレス鋼が使用される場合もある。また、海水淡水化システムでは、RO膜で逆浸透を実施するためにより高圧になる配管には二相ステンレス鋼、たとえば、S32750のような高耐食性材料が使用される。さらに下流側のブラインと呼ばれる塩分濃縮された廃液部分の配管にもS32750のような高強度高耐食性材料が用いられている。しかし、腐食による減肉や孔食による漏洩部の発生等の問題が生じるために、一部では高級なエンジニアリングプラスチックが用いられる場合もある。

- [0004] 海水ポンプや海水淡水化装置の金属配管材料の耐食性向上の方法としては、金属配管材料に高耐食性金属を用いることが挙げられる。例えば、RO膜で逆浸透を実施するためにより高圧になる金属配管やブラインではS 3 2 7 5 0のようなスーパー二相ステンレスが用いられる場合がある。しかしながら、このような高価な金属を使用することは、コストの面で好ましくない。
- [0005] 低コスト化を図るために金属配管材料として汎用二相ステンレス鋼やオーステナイトステンレス鋼を用いる場合、配管の腐食による減肉や孔食による漏洩部の発生等の問題が生じる可能性が高いため、防食する手段が必須となる。
- [0006] 金属配管材料の防食方法として、上述した高耐食性金属を用いる以外には、犠牲陽極を用いる方法や、カソード電極を用いた電気防食による方法が考えられる。特に、製塩設備ではPt（白金）等の不溶性カソード電極を用いた電気防食が提案されている。これらの方法は、例えば、特開平11-092981号公報、特開昭61-067782号公報に記載されている。

## 先行技術文献

## 特許文献

- [0007] 特許文献1：特開平11-092981号公報  
特許文献2：特開昭61-067782号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

- [0008] 海水ポンプや海水淡水化装置のコストを低減するためには、金属配管材料に加えて、電気防食に用いる電極材料も低コスト化する必要がある。特許文献1及び特許文献2に記載の電気防食システムは、電極として高価な不溶性の白金（Pt）電極を用いており、コスト低減の観点では好ましくない。
- [0009] 本発明の目的は、上記事情に鑑み、低コスト及び高効率で、海水ポンプや海水淡水化装置等の金属配管材料の耐食性向上を実現することが可能な電気防食システムを提供することにある。また本発明の他の目的は、そのような

電気防食システムを用いて低コストな海水ポンプ及び海水淡水化装置を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0010] 本発明の一態様は、上記目的を達成するため、

通水用の金属配管の腐食を抑制するための電気防食システムであって、前記配管の継ぎ手部分を接続するフランジ部間に介在する2枚の絶縁性ガスケットにより一部を残して覆われるように挟まれ、前記一部が前記ガスケットから露出して前記金属配管の内部で水と接する接水面を構成する電気防食用のアノード電極と、

少なくとも一部が前記ガスケットにより挟まれるアノード電極用の端子と、

前記アノード電極と前記配管とに前記端子及び電気配線を介して接続されて、前記配管の通水部に防食電流を流す直流電源と、

前記フランジ部と前記ガスケットとの間をシールする第1のシール部材と、

前記ガスケットと前記端子との間もしくは前記アノード電極と前記端子との間をシールする第2のシール部材と、を備えることを特徴とする電気防食システムを提供する。

[0011] また、本発明の他の一態様は、上記目的を達成するため、

金属配管と、前記金属配管内部に設けられた回転シャフトと、前記回転シャフトの先端に設けられた羽根車と、前記回転シャフト及び前記羽根車を回転駆動するためのモーターとを備え、前記羽根車でもたらされた水流を揚水して前記金属配管内を案内する海水ポンプにおいて、

前記金属配管が、上記電気防食システムを備えることを特徴とする海水ポンプを提供する。

[0012] また、本発明の他の一態様は、上記目的を達成するため、

取水した海水を貯水する取水井と、前記取水井からの海水が濾過器を経由し、前記濾過器で濾過された海水を貯水する濾過海水槽と、前記濾過海水槽

からの濾過された海水が保安フィルターを介して高圧ポンプで導かれ、淡水と塩分濃縮水に分離する逆浸透膜モジュールと、前記逆浸透膜モジュールで分離された淡水を貯水する生産水槽と、前記高圧ポンプと同軸に設置され、前記逆浸透膜モジュールで分離された塩分濃縮水を回収して濃縮水配管に排出する動力回収タービンとを備え、

前記取水井、前記濾過器、前記濾過海水槽、前記保安フィルター、前記逆浸透膜モジュール、前記生産水槽、前記高圧ポンプ及び前記動力回収タービンとが金属配管で接続されている海水淡水化装置において、

前記金属配管が、上記電気防食システムを備えることを特徴とする海水淡水化装置を提供する。

### 発明の効果

- [0013] 本発明によれば、低コスト及び高効率で海水ポンプや海水淡水化装置等の金属配管材料の耐食性向上を実現することが可能な電気防食システムを提供することができる。また、本発明に係る電気防食システムを用いて、低コストな海水ポンプ及び海水淡水化装置を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0014] [図1]本発明に係る電気防食システムの第1の実施形態を示す断面模式図である。
- [図2]図1に示した本発明に係る電気防食システムの原理図である。
- [図3]アノード電極が減肉した時のガスケットの変形の一例を示す断面模式図である。
- [図4]本発明に係る電気防食システムの第2の実施形態を示す断面模式図である。
- [図5]本発明に係る電気防食システムの第3の実施形態を示す断面模式図である。
- [図6]本発明に係る電気防食システムの第4の実施形態を示す断面模式図である。
- [図7]本発明に係る電気防食システムが適用される海水ポンプの一例を示す断

面模式図である。

[図8]本発明に係る電気防食システムが適用される海水淡水化装置の一例を示す断面模式図である。

[図9]実施例2及び比較例2の腐食量の経時変化を示すグラフである。

[図10]実施例3及び比較例3の腐食量の経時変化を示すグラフである。

[図11]実施例4及び比較例4の腐食量の経時変化を示すグラフである。

### 発明を実施するための形態

[0015] また、本発明に係る電気防食システムは、以下のような態様を任意に含むことができる。

(i) 前記第1及び第2のシール部材はOリングである。

(ii) 前記アノード電極は、リング状のものであり、前記2枚のガスケットは、重ね合わせることでその内周側に前記アノード電極の外周及び両側面を覆う環状溝が形成され、前記アノード電極の内周が前記接水面を構成する。

(iii) 前記アノード電極はカーボン、グラファイト又はフェライトのうち少なくともいずれか1つである。

(iv) 前記第1のシール部材は、一方の配管とこれに対応するガスケットとの間に配置された配管周方向の第1のOリングと、他方の配管とこれに対応するガスケットとの間に配置された配管周方向の第2のOリングとからなり、

前記第2のシール部材は、前記端子の外周に装着された端子周方向のOリングからなる。

(v) 前記シール部材、前記ガスケット、前記アノード電極、前記端子の順に、弾性率が大きくなる。

(vi) 前記アノード電極がカーボンシートである。

(vii) 前記アノード電極の断面形状が三角形である。

(viii) 前記アノード電極と前記ガスケットとの間に有機性接着剤が設けられる。

(i x) 前記ガスケットが渦巻き型絶縁ガスケットであり、前記渦巻き型絶縁ガスケットが、前記シール部材を兼ねている。

(x) 前記直流電源として、一次電池、二次電池又は太陽電池のいずれかを用い、印加電圧を1 V以上2 V未満とし、前記アノード電極が前記直流電源のプラス側に接続される。

(x i) 前記アノード電極と前記直流電源との間または前記金属配管と前記直流電源との間に電流計が設けられる。

(x i i) 前記アノード電極の水透過率が10%以下である。

(x i i i) 前記直流電源が、前記金属配管の外部に設けられる。

[0016] 以下、本発明に係る実施形態を説明する。ただし、本発明は、ここで取り上げた実施の形態に限定されることはなく、要旨を変更しない範囲で適宜組み合わせや改良が可能である。

[0017] (電気防食システムの第1の実施形態)

図1は本発明に係る電気防食システムの第1の実施形態を示す断面模式図である。図1に示したように、本発明の電気防食システム100は、海水(図示せず)を移送する金属配管6の継ぎ手部分を接続するフランジ部に介在する2枚の絶縁性ガスケット2a及び2bにより一部を残して覆われるように挟まれ、一部がガスケット2a及び2bから露出して金属配管6の内部で水と接する接水面を構成する電気防食用のアノード電極7と、少なくとも一部がガスケット2a及び2bにより挟まれるアノード電極用の端子1と、アノード電極7と金属配管6とに端子1及び電気配線10を介して接続されて、金属配管6の通水部に防食電流を流す直流電源9と、金属配管6のフランジ部とガスケット2a、2bとの間をシールする第1のシール部材4(4a及び4b)と、ガスケット2a、2bと端子1との間をシールする第2のシール部材5と、を備える。なお、第2のシール部材は、図1のようにガスケット2a、2bと端子1との間をシールする態様のものの他、アノード電極7と端子1との間をシールする態様のものであってもよい。後者の態様については、追って詳述する。

- [0018] ガスケット 2 a、2 b 及びアノード電極 7 はともに円環状であり、2 枚のガスケット 2 a 及び 2 b は、重ね合わせることでその内周側に前記アノード電極 7 の外周及び両側面を覆う環状溝が形成され、アノード電極 7 の内周が接水面を構成する。
- [0019] 第 1 のシール部材 4 及び第 2 のシール部材 5 の形状、材質は特に限定は無いが、例えばゴム製の O リングが好適である。
- [0020] 第 1 のシール部材 4 は、一方の配管とこれに対応するガスケットとの間に配置された配管周方向の第 1 の O リング 4 a と、他方の配管とこれに対応するガスケットとの間に配置された配管周方向の第 2 の O リング 4 b とからなり、前記第 2 のシール部材は、端子 1 の外周に装着された端子周方向の O リングからなる。
- [0021] アノード電極 7 と同様、金属配管側にも端子 1' が設けられ、電気配線 10 を介して直流電源 9 に接続される。
- [0022] 図 2 は図 1 に示した本発明に係る電気防食システムの原理図である。金属配管 6 は直流電源 9 のマイナス側に接続される。また、アノード電極 7 は直流電源 9 のプラス側に接続され、直流電源 9 からアノード電極 7 に電流が供給される。このような構成とすることで、金属配管 6 の海水と接する表面には電子が供給されるため、海水中的のカチオン（正イオン）が引き寄せられ、金属配管 6 は、腐食反応により自身の金属カチオンを放出することが抑制される。このような電気防食という手段を用いて、海水ポンプや海水淡水化装置の金属配管の腐食を抑制することができる。
- [0023] 電気防食の機能を得るために、アノード電極 7 は、少なくともその一部が金属配管 6 の内部を流れる海水に接触するようにガスケット 2 a、2 b に保持される。また、アノード電極 7 は金属配管 6 にマイナスの電位を付与し、金属配管 6 を配管材料自身の自然浸漬電位よりも卑な電位とする。
- [0024] アノード電極 7 の材料は、電氣的導通があることが必要条件となる。アノード電極 7 の材料としては、カーボン、グラファイト又はフェライトのいずれかがコストの観点で好ましい。また、海水淡水化装置においては、アノー

ド電極 7 の材料は、金属配管 6 との電氣的接合による電気化学的溶解により溶出した金属が、海水淡水化装置の R O 膜の機能低下を生じさせないものであることが好ましい。より具体的に説明すると、海水淡水化装置では、R O 膜に使用される水処理薬剤と、アノード電極から溶出した金属とが化合して金属化合物（例えば、酸化物、水酸化物、硫酸塩、塩化物）を形成し、これらが R O 膜表面に堆積して R O 膜の目詰まりを引き起こし、淡水化性能を低下させるおそれがある。このことから、海水淡水化装置に適用するアノード電極 7 の材料としては、カーボンがより好ましい。海水ポンプでは、上記のようなアノード電極の溶出に関する問題は生じないので、アノード電極 7 の材料は特に限定されない。

[0025] アノード電極 7 としてカーボンを用いる際には、カーボンシートであることがより好ましい。

[0026] 非溶解性材料である白金等はアノード電極として電気防食でよく使用されるが、高価な材料であること、また海水淡水化装置の防食装置としては、R O 膜の表面に付着すると塩濃縮効果を低下させるために不適である。また、配管材料よりも卑な金属である亜鉛やアルミは犠牲陽極としても有効であるが、R O 膜の表面に付着すると塩濃縮効果を低下させるために不適である。

[0027] なお、本発明では金属配管材料 6 の電位が卑となり、カチオンが吸着しやすくなる。このため、金属配管材料 6 に R O の機能低下をもたらすプラス電荷を有するイオンあるいはイオン性クラスター物質を捉える効果が期待できる。また、本発明者らは、微生物腐食をもたらすバクテリアの付着を抑える効果も確認した。

[0028] アノード電極 7 の水透過率が 10%以下であることが好ましい。

[0029] コスト低減のために、アノード電極 7 として上述した安価なカーボン、グラファイト又はフェライトを適用する場合、高価な白金等を用いる場合よりも減肉する量が大きくなる。アノード電極 7 が減肉するとガスケット 2 a、2 b が変形し、2 枚のガスケット 2 a、2 b の間に隙間ができて海水が金属配管 6 の外部に流出するおそれがある。本発明では第 1 のシール部材 4 及び

第2のシール部材5を用いて、アノード電極7の減肉に起因するガスケット2a、2bの変形を抑制し、海水リークの防止を図っている。以下に、第1のシール部材4及び第2のシール部材5の効果について説明する。

[0030] 図3はアノード電極が減肉してガスケットが変形した際のガスケットの変形の一例を示す断面模式図である。なお、端子については省略している。図3において、点線部分は減肉前のアノード電極7及びガスケット2を示し、実線部分は減肉後のアノード電極7'及びガスケット2'を示す。図3に示したように、アノード電極7は電流が供給されると次第に減肉し、三角形状となる。このようにアノード電極が減肉すると、ガスケットが2'のように変形する。金属配管6内を流れる海水は10気圧以上であり、図3に示したようにガスケット2が変形すると、金属配管6内を流れる海水が外部へリークする。本発明では、第1のシール部材4及び第2のシール部材5とを設けることによって、アノード電極7が減肉しても、ガスケット2の変形を防ぐことができ、金属配管6内を流れる海水の外部へのリークを抑制し、電気防食の効率を向上することができる。

[0031] より具体的には、アノード電極7の減肉により、ガスケット2とアノード電極7の側面の間に空隙ができ、フランジ8の海水側の幅が狭まるが、第1のシール部材4がフランジ8とガスケット2の間隙で生ずる可能性がある海水の流路を遮断するので、リークが抑制される。また、第2のシール部材5により、アノード電極7の電極が消失して端子1のリードに腐食が進行するまではリークが抑制される。

[0032] 以上のように、第1のシール部材4及び第2のシール部材5は、アノード電極7の減肉によるガスケット2の変形を抑制するものであるから、アノード電極7に安価な（減肉しやすい）材料を適用した際に、本発明はより大きな効果を発揮することができる。

[0033] 本発明に係る電気防食システムにおいて、第1のシール部材4及び第2のシール部材5、ガスケット2a、2b、アノード電極7、端子1、1'の順で、材料の圧縮方向の機械作用に対するヤング率が大きくなるよう材料を選

択することは好ましい。このようにすることで、アノード電極 7 の時間経過とともに生ずる減肉がもたらすガスケットシール効果の低減を著しく抑制することができる。電気防食システムの構成部材と好ましいヤング率を下記表 1 に示す。

[0034] [表1]

表 1

| 電気防食システムの<br>構成部材 | ヤング率 (G P a) | 耐圧 (M P a) |
|-------------------|--------------|------------|
| 端子 1, 1'          | 1 5 0—2 2 0  | 1 0        |
| アノード電極 7          | 5—8 5        | 1 0        |
| ガスケット 2           | 1—9. 5       | 1 0        |
| 第 1 のシール部材 4      | 0. 1 2—0. 5  | 1 0        |
| 第 2 のシール部材 5      | 0. 1 2—0. 5  | 1 0        |
| 金属配管 6            | 1 5 0—2 2 0  | 1 0        |

[0035] 本発明では、アノード電極 7 をガスケット 2 a、2 b に設け、ガスケット 2 a、2 b を金属配管 6 のフランジ部を固定するボルトによって固定した（図示せず）。このようにすることで、金属配管 6 内の海水の流れを妨げることなく、金属配管 6 を電気防食することができる。また、金属配管 6 に海水を通水する場合、塩濃度に依存する腐食現象が時間の経過とともに発生し、特に、配管結合部であるフランジ部や、表面組織と表面粗さが不均一となる溶接部では腐食速度が大きくなる。本発明では金属配管 6 のフランジ部の接続部にアノード電極 7 を保持したガスケット 2 a、2 b を設置することによって、フランジの接続部の腐食（いわゆる、すきま腐食）を著しく抑制することができる。

[0036] 金属配管 6 とアノード電極 7 に電位差を生ずるための直流電源 9 としては、特に限定はなく、乾電池等の一次電池、鉛電池又はリチウム電池等の二次電池、直流電源、あるいは太陽電池のいずれでもよい。電位差としては、1 V 以上 2 V 未満を印加できることが好ましい。上述したアノード電極 7（カーボン、グラファイト又はフェライト）の自然電極電位は、+0. 5 V であり、金属配管 6（ステンレス鋼）の自然電極電位は、−0. 5 V であるため

、アノード反応を起こすための金属配管 6 に印加する最低印加電位は 1 V となる。また、2 V を超えると、海水が電気分解されることによって次亜塩素酸が発生する恐れがあるので、印加電圧は 2 V 未満にすることが好ましい。また、図 1 に示したように、電流計 11 を直流電源 9 と直列に配置してもよい。電流計 11 としては、抵抗の少ない内部回路を有するものを使用する。この際の電流値は任意であるが、 $10\ \mu\text{A}$  以上が望ましい。

[0037] また、電位差を有することができるカソードの範囲は通常ワグナー長さとして知られており、カソードの形状、海水の流速、電気伝導度、温度に依存するが、数 m 以上に達する。電位としては前述のように 1 V 以上が適し、2 V を超えると水の電気分解による水素発生をもたらすために、ワグナー長を稼ぐための電位付与は限定される。

[0038] 金属配管 6 としては特に限定は無いが、ステンレス鋼が好適である。ステンレス鋼としてはコストの観点から、SUS316L、S32101 等が好ましい。

[0039] (電気防食システムの第 2 の実施形態)

図 4 は本発明に係る電気防食システムの第 2 の実施形態を示す断面模式図である。図 4 では、ガスケット 401a、401b、アノード電極 402、端子 403、第 1 のシール部材 404a、404b 及び第 2 のシール部材 405 の半分のみ示しており、金属配管、金属配管に接続される端子及び金属配管とアノード電極のそれぞれに電気配線を介して接続される直流電源については省略している。本実施形態では、第 2 のシール部材 405 はアノード電極 402 と端子 403 との間をシールするものであり、アノード電極 402 の形状が第 1 の実施形態と異なる部分である。

[0040] 図 4 に示したように、アノード電極 402 の断面形状は三角形状である。電流密度一定での低電圧防食においては、アノード電流が、防食時間の増加に伴う減肉の進行に伴って低減する。すなわち、この形状の電極を用いて電流の経時変化測定（モニタリング）することにより、アノード電極の消耗具合を知ることができる。ここで、アノード電極 402 がその防食機能を継続

することにより、アノード電極４０２はアノードとして働き、電極材料がアノード反応により溶出する。溶出に伴い断面が三角形状であるアノード電極４０２は減肉していくが、アノード電極４０２の三角形状の断面の底面から頂点に向かって減肉していくので、三角形の底面が徐々に減少することになり節水面積も暫時減少する。そのため、単位面積あたりの電流密度が同様でも、接水面積と電流密度の積で決まるアノード電流は減少する。このことにより、アノード電流の変化からアノード電極の消耗具合をモニタすることが可能となる。その他の構成については第１の実施形態と同様であるので、説明を省略する。

[0041] （電気防食システムの第３の実施形態）

図５は本発明に係る電気防食システムの第３の実施形態を示す断面模式図である。図５では、ガスケット５０１ａ、５０１ｂ、アノード電極５０２、端子５０３、第１のシール部材５０４ａ、５０４ｂ及び第２のシール部材５０５の半分のみ示しており、金属配管、金属配管に接続される端子及び金属配管とアノード電極のそれぞれに電気配線を介して接続される直流電源については省略している。本実施形態では、第２のシール部材５０５はアノード電極５０２と端子５０３との間をシールするものであり、アノード電極５０２とガスケット５０１ａ、５０１ｂとの間に有機性接着剤５０６を設けている点が第１の実施形態と異なる部分である。このようにすることで、アノード電極５０２とガスケット５０１ａ、５０１ｂとの密着性を高めることができ、アノード電極５０２とガスケット５０１ａ、５０１ｂとの界面で生じるすき間腐食の進行を抑制することができる。

[0042] 有機性接着剤としては特に限定はなく、例えばエポキシ接着剤等を使用することができる。その他の構成については第１の実施形態と同様であるので、説明を省略する。

[0043] （電気防食システムの第４の実施形態）

図６は本発明に係る電気防食システムの第４の実施形態を示す断面模式図である。図６では、ガスケット６０１、アノード電極６０２、端子６０３の

半分のみ示しており、金属配管、金属配管に接続される端子及び金属配管とアノード電極のそれぞれに電気配線を介して接続される直流電源については省略している。ガスケット601を円環状のガスケットではなく、渦巻状のガスケットとしている点が第1の実施形態と異なる部分である。このようにすることでアノード電極602は渦巻状の絶縁ガスケット601により中心部が被覆され、アノード電極602が減肉しても、ガスケット601のシーリング性が維持される。すなわち、本実施形態では、渦巻状のガスケットがシーリング部材を兼ねる構成となっている。なお、渦巻状のガスケットは、上述した円環状のガスケットよりも耐高圧性を有するものである。その他の構成については第1の実施形態と同様であるので、説明を省略する。

[0044] (海水ポンプ)

図7は本発明に係る電気防食システムが適用される海水ポンプの一例を示す断面模式図である。図7に示したように、海水ポンプ200の主要部材としてコラムパイプ201、ケーシング202、ケーシングライナ203、およびベルマウスケーシング204が海水ポンプ200の外周側に設置されており、これらはフランジ205で相互に連結されている。そしてコラムパイプ201、ケーシング202、ケーシングライナ203、及びベルマウスケーシング204の内側の海水ポンプの軸心側には回転シャフト206が配設されており、この回転シャフト206の先端側に羽根車（インペラ）208が設けられている。図7では図示しないが、海水ポンプには回転シャフト206及び羽根車208を回転駆動するためのモーターが設けられており、該モーターによって駆動した回転シャフト206及び羽根車208でもたらされる水流が、図7の紙面上部へ移動する水流となり、揚水される。

[0045] 本実施例の海水ポンプ200では、コラムパイプ201の外面部にアノード電極103を配設し、導電性固定具104でコラムパイプ201と電氣的導通を取りながら絶縁シート111を介して固定した。また、アノード電極103の側面に電流計112を配設した。電流計112はケーブル115で直流電源装置113に接続されている。ケーブル115は信号の送受信と電

力供給の機能を有する。なお、図7では見やすいようアノード電極103と直流電源部113を大きく記載したが、大小を問わないことは言うまでも無い。

また、図示していないが、アノード電極103がコラムパイプ201の内面を流れる海水と接するように、フランジ構造を介して設置した（図省略）。この際、ポンプ内の水の流れに影響を与えない目的と、アノード電極103の脱落を防ぐ目的から、コラムパイプ201のフランジ面にアノード電極103を配設した。この場合、コラムパイプ201とアノード電極103の間は絶縁した。

[0046]      （海水淡水化装置）

図8は本発明に係る電気防食システムが適用される海水淡水化装置の一例を示す断面模式図である。図8に示したように、海水淡水化装置は海水の取水ポンプ300、海水を貯水する取水井301、二層ろ過器302、ろ過海水槽303、保安フィルタ304、高圧ポンプ305、逆浸透膜モジュール306、動力回収タービン307、生産水槽308、濃縮水配管309、配管310、311、312を備えている。また、海水の移送のため、各所にポンプ313が設けられている。

[0047]      このうち、取水ポンプ300はコラムパイプ内外面が海水に浸漬するため、それぞれ本発明の電気防食システムが適用される。また、高圧ポンプ305、ポンプ313は、海水に接する内面に本発明の電気防食システムを適用される。

[0048]      高圧ポンプから下流の配管部分では金属配管が用いられ、10気圧以上の内圧で海水が流動する。これらの金属配管では、塩濃度に依存する腐食現象が時間経過とともに発生し、特に、配管結合部であるフランジ部や、表面組織と表面粗さが不均一となる溶接部では反応速度が大きな腐食が進展する場合がある。この腐食作用を抑制するために、金属配管に本発明の電気防食システムが好適である。

[0049]      前述したように、海水淡水化装置に本発明の電気防食システムを適用する

場合は、アノードからの金属イオンの溶出や部分的な脱離により、RO膜の劣化（逆浸透膜モジュールの劣化）が促進される可能性があるため、劣化が促進されにくい材料を使用する必要がある。

### 実施例

[0050] 以下、実施例及び比較例により本発明をさらに具体的に説明する。なお、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

[0051] （リークテスト）

本発明の第1の実施形態に係る電気防食システムを適用した金属配管について、海水のリークテストを行った。金属配管に人工海水を20 atm、72時間通水し、直流電源装置の印加電圧を3 Vとした。リークテストの結果、リークが無い場合を「合格」と評価し、リークがある場合を「不合格」と評価した。測定結果を表2に示す。なお、表2中「有」「無」は、それぞれの部材の有無を示す。

[0052] [表2]

表2

|      | シール部材        |              | リークテスト<br>評価 |
|------|--------------|--------------|--------------|
|      | 第1の<br>シール部材 | 第2の<br>シール部材 |              |
| 実施例1 | 有            | 有            | 合格           |
| 参考例1 | 有            | 無            | 不合格          |
| 参考例2 | 無            | 有            | 不合格          |
| 比較例1 | 無            | 無            | 不合格          |

[0053] 表2から、本発明に係る電気防食システム（実施例1）はリークが無く、リークテスト評価が合格となった。シール部材を片方省略した電気防食システム（参考例1及び2）においてもリークが生じ、リークテスト評価が不合格となった。また、シール部材を両方省略した比較例1も、リークが生じ、リークテスト評価が不合格となった。このことから、本発明に係る電気防食

システムは、アノード電極の減肉によるガスケットの変形を抑制し、海水のリークを確実に防止可能であることが確認された。

[0054] (SUS316L鋼の腐食量評価(1))

本発明の第1の実施形態に係る電気防食システムにおいて、ステンレス配管の腐食量の経時変化を評価した。

[0055] 金属配管としてステンレス鋼であるSUS316L鋼を用い、アノード電極として人造黒鉛（グラファイト）を用いた。金属配管にブライン水（塩濃縮水）を想定した人工海水（60℃の空気飽和した塩濃度7%）を通水し、直流安定化電源を用いて金属配管が人造黒鉛より-1Vとなる電圧を保持するように制御し、腐食量の経時変化を測定した。腐食量は、通水前後の金属配管の重量差から求めた。測定結果を図9に示す。図9において、実施例2は本発明の第1の実施形態の電気防食システムを用いた場合であり、比較例2は本発明に係る電気防食を用いず、単純浸漬した結果である。

[0056] 図9から、1000時間経過後の比較例2の腐食量は、実施例2の腐食量の8倍以上となり、本発明の電気防食システムによって、金属配管の腐食が著しく抑制されることが確認された。

[0057] (SUS316L鋼の腐食量評価(2))

本発明の第1の実施形態に係る電気防食システムにおいて、ステンレス配管の腐食量の経時変化を評価した。

[0058] 金属配管としてステンレス鋼であるSUS316L鋼を用い、アノード電極として人造黒鉛（グラファイト）を用いた。金属配管にブライン水（塩濃縮水）を想定した人工海水（25℃の空気飽和した塩濃度3.5%）を通水し、直流安定化電源を用いて金属配管が人造黒鉛より-1Vとなる電圧を保持するように制御し、腐食量の経時変化を測定した。

腐食量は、通水前後の金属配管の重量差から求めた。測定結果を図10に示す。図10において、実施例3は本発明の第1の実施形態の電気防食システムを用いた場合であり、比較例3は本発明に係る電気防食を用いず、単純浸漬した結果である。

[0059] 図10から、1000時間経過後の比較例3の腐食量は、実施例3の腐食量の5倍以上となり、本発明の電気防食システムによって、金属配管の腐食が著しく抑制されることが確認された。

[0060] (S32101の腐食量評価)

本発明の第1の実施形態に係る電気防食システムにおいて、ステンレス配管の腐食量の経時変化を評価した。

[0061] 金属配管としてステンレス鋼であるS32101鋼を用い、アノード電極として人造黒鉛（グラファイト）を用いた。金属配管にブライン水（塩濃縮水）を想定した人工海水（25℃の空気飽和した塩濃度3.5%）を通水し、直流安定化電源を用いて金属配管が人造黒鉛より-1Vとなる電圧を保持するように制御し、腐食量の経時変化を測定した。腐食量は、通水前後の金属配管の重量差から求めた。測定結果を図11に示す。図11において、実施例4は本発明の第1の実施形態の電気防食システムを用いた場合であり、比較例4は本発明に係る電気防食を用いず、単純浸漬した結果である。

[0062] 図10から、1000時間経過後の比較例4の腐食量は、実施例4の腐食量の5倍以上となり、本発明の電気防食システムによって、金属配管の腐食が著しく抑制されることが確認された。

[0063] 以上説明したように、本発明によれば、低コスト及び高効率で海水ポンプや海水淡水化装置等の金属配管材料の耐食性向上を実現することが可能な電気防食システムを提供することができること、及び本発明に係る電気防食システムを用いて、低コストな海水ポンプ及び海水淡水化装置を提供することができることが示された。

[0064] 以上、本発明の実施形態について詳述したが、本発明は、前記の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の精神を逸脱しない範囲で、種々の設計変更を行うことができるものである。例えば、前記した実施の形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換え

ることが可能であり、また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。さらに、各実施形態の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

### 符号の説明

[0065] 1, 1', 403, 503, 603…端子、2a, 2b, 2', 401a, 401b, 501a, 501b, 601…ガスケット、3, 8…フランジ、4, 4a, 4b, 404a, 404b, 504a, 504b…第1のシール部材、5, 405, 505…第2のシール部材、6…金属配管、7, 7', 103, 402, 502, 602…アノード電極、9, 113…直流電源、10, 115…ケーブル、11, 112…電流計、506…有機性接着剤、100…電気防食システム、104…導電性固定具、200…海水ポンプ、201…コラムパイプ、202…ケーシング、203…ケーシングライナ、204…ベルマウスケーシング、205…フランジ、206…回転シャフト、208…羽根車（インペラ）、300…取水ポンプ、301…取水井、302…二層ろ過器、303…ろ過海水槽、304…保安フィルタ、305…高圧ポンプ、306…逆浸透膜モジュール、307…動力回収タービン、308…生産水槽、309…濃縮水配管、310, 311, 312…配管、313…ポンプ。

## 請求の範囲

- [請求項1] 通水用の金属配管の腐食を抑制するための電気防食システムであって、  
前記配管の継ぎ手部分を接続するフランジ部間に介在する絶縁性ガスケットにより一部を残して覆われるように挟まれ、前記一部が前記ガスケットから露出して前記金属配管の内部で水と接する接水面を構成する電気防食用のアノード電極と、  
少なくとも一部が前記ガスケットにより挟まれるアノード電極用の端子と、  
前記アノード電極と前記配管とに前記端子及び電気配線を介して接続されて、前記配管の通水部に防食電流を流す直流電源と、  
前記フランジ部と前記ガスケットとの間をシールする第1のシール部材と、  
前記ガスケットと前記端子との間もしくは前記アノード電極と前記端子との間をシールする第2のシール部材と、を備えることを特徴とする電気防食システム。
- [請求項2] 請求項1に記載の電気防食システムにおいて、前記第1及び第2のシール部材はOリングであることを特徴とする電気防食システム。
- [請求項3] 請求項1または2に記載の電気防食システムにおいて、前記アノード電極は、リング状のものであり、2枚の前記ガスケットを重ね合わせることでその内周側に前記アノード電極の外周及び両側面を覆う環状溝が形成され、前記アノード電極の内周が前記接水面を構成することを特徴とする電気防食システム。
- [請求項4] 請求項1ないし3のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記アノード電極はカーボン、グラファイト又はフェライトのうち少なくともいずれか1つであることを特徴とする電気防食システム。
- [請求項5] 請求項1ないし4のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記第1のシール部材は、一方の配管とこれに対応するガスケットと

の間に配置された配管周方向の第1のOリングと、他方の配管とこれに対応するガスケットとの間に配置された配管周方向の第2のOリングとからなり、

前記第2のシール部材は、前記端子の外周に装着された端子周方向のOリングからなることを特徴とする電気防食システム。

[請求項6] 請求項1ないし5のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記シール部材、前記ガスケット、前記アノード電極、前記端子の順に、弾性率が大きくなることを特徴とする電気防食システム。

[請求項7] 請求項1ないし6のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記アノード電極がカーボンシートであることを特徴とする電気防食システム。

[請求項8] 請求項1ないし7のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記アノード電極の断面形状が三角形であることを特徴とする電気防食システム。

[請求項9] 請求項1ないし8に記載の電気防食システムにおいて、前記アノード電極と前記ガスケットとの間に有機性接着剤が設けられることを特徴とする電気防食システム。

[請求項10] 請求項1ないし9に記載の電気防食システムにおいて、前記ガスケットが渦巻き型絶縁ガスケットであり、前記渦巻き型絶縁ガスケットが、前記シール部材を兼ねていることを特徴とする電気防食システム。

[請求項11] 請求項1ないし10のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記直流電源として、一次電池、二次電池又は太陽電池のいずれかを用い、印加電圧を1V以上2V未満とし、前記アノード電極が前記直流電源のプラス側に接続されることを特徴とする電気防食システム。

[請求項12] 請求項1ないし11のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記アノード電極と前記直流電源との間または前記金属配管と前記

直流電源との間に電流計が設けられることを特徴とする電気防食システム。

[請求項13] 請求項1ないし12のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記アノード電極の水透過率が10%以下であることを特徴とする電気防食システム。

[請求項14] 請求項1ないし13のいずれかに記載の電気防食システムにおいて、前記直流電源が、前記金属配管の外部に設けられることを特徴とする電気防食システム。

[請求項15] 金属配管と、前記金属配管内部に設けられた回転シャフトと、前記回転シャフトの先端に設けられた羽根車と、前記回転シャフト及び前記羽根車を回転駆動するためのモーターとを備え、前記羽根車でもたらされた水流を揚水して前記金属配管内を案内する海水ポンプにおいて、

前記金属配管が、請求項1ないし14のいずれか1項に記載の電気防食システムを備えることを特徴とする海水ポンプ。

[請求項16] 取水した海水を貯水する取水井と、前記取水井からの海水が濾過器を経由し、前記濾過器で濾過された海水を貯水する濾過海水槽と、前記濾過海水槽からの濾過された海水が保安フィルターを介して高圧ポンプで導かれ、淡水と塩分濃縮水に分離する逆浸透膜モジュールと、前記逆浸透膜モジュールで分離された淡水を貯水する生産水槽と、前記高圧ポンプと同軸に設置され、前記逆浸透膜モジュールで分離された塩分濃縮水を回収して濃縮水配管に排出する動力回収タービンとを備え、

前記取水井、前記濾過器、前記濾過海水槽、前記保安フィルター、前記逆浸透膜モジュール、前記生産水槽、前記高圧ポンプ及び前記動力回収タービンとが金属配管で接続されている海水淡水化装置において、

前記金属配管が、請求項1ないし14のいずれか1項に記載の電気

防食システムを備えることを特徴とする海水淡水化装置。