(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2016-31778
(P2016-31778A)
(43)公開日　平成28年3月7日(2016.3.7)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H01M	8/16	(2006.01)	H01M	8/16		4D003
C02F	3/34	(2006.01)	C02F	3/34	Z	4D040
C02F	3/28	(2006.01)	C02F	3/28	A	5H127
C02F	3/10	(2006.01)	C02F	3/10	Z	
H01M	8/04186	(2016.01)	H01M	8/04	L	

審査請求 未請求　請求項の数 6　ＯＬ　（全 15 頁）

(21)出願番号　特願2014-152051 (P2014-152051)
(22)出願日　平成26年7月25日 (2014.7.25)

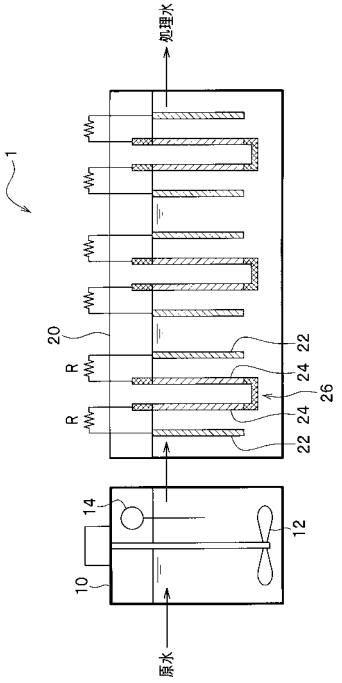
(71)出願人　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　110001807
特許業務法人磯野国際特許商標事務所
(72)発明者　鈴木　拓真
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号　株式会社日立製作所内
(72)発明者　後藤　正広
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号　株式会社日立製作所内

Ｆターム(参考)　4D003 EA14 EA15 EA19 EA28 EA30 FA10
4D040 AA04 AA12 AA23 AA34 AA55 AA61 DD03 DD11 DD31

最終頁に続く

(54)【発明の名称】微生物燃料電池システム

(57)【要約】　（修正有）
【課題】廃水の酸化還元電位を低電位に維持し、良好な電力で安定的に発電することが可能な微生物燃料電池システムの提供。
【解決手段】有機物を含有する廃水の嫌気性処理を行う嫌気槽１０と、嫌気槽１０の後段に設置され、アノード２２と、カソード２４と、廃水に含まれる基質を酸化分解してアノードに電子を供与する微生物とを保持する微生物燃料電池槽２０とを備える微生物燃料電池システム１。有機物を含有する廃水は、嫌気槽１０において酸化還元電位を低下させる嫌気性処理がなされた後に、微生物燃料電池槽２０に移送される微生物燃料電池システム１。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
有機物を含有する廃水の嫌気性処理を行う嫌気槽と、
前記嫌気槽の後段に設置され、アノードと、カソードと、前記廃水に含まれる基質を酸化分解して前記アノードに電子を供与する微生物とを保持する微生物燃料電池槽と
を備えることを特徴とする微生物燃料電池システム。
【請求項２】
前記嫌気槽において、前記廃水の酸化還元電位を－２００ｍＶ以下に低下させることを特徴とする請求項１に記載の微生物燃料電池システム。
【請求項３】
前記嫌気槽が、鉛直方向に沿って配設される迂流壁によって仕切られた上下迂流式の槽構造を有することを特徴とする請求項１又は請求項２に記載の微生物燃料電池システム。
【請求項４】
前記嫌気槽が、嫌気性処理を行う嫌気性微生物が担持された浮遊担体を保持することを特徴とする請求項１又は請求項２に記載の微生物燃料電池システム。
【請求項５】
嫌気性処理が行われた前記廃水の酸化還元電位を計測する酸化還元電位計と、
前記嫌気槽と前記微生物燃料電池槽との間を連結し、前記廃水の流路を形成する連結配管と、
前記連結配管における前記廃水の流量を制御する制御弁と
をさらに備え、
前記制御弁が、前記酸化還元電位計によって計測される前記廃水の酸化還元電位が設定値以下であるときには開放され、前記酸化還元電位が設定値を超えるときには閉鎖されることを特徴とする請求項１又は請求項２に記載の微生物燃料電池システム。
【請求項６】
前記嫌気槽と前記微生物燃料電池槽との間に設けられ、汚泥を含む廃水の沈殿分離処理を行う沈殿槽と、
前記沈殿槽において分離された汚泥の前記嫌気槽への返送を行う汚泥返送管と
をさらに備えることを特徴とする請求項１から請求項５のいずれか一項に記載の微生物燃料電池システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、微生物燃料電池システムに関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、微生物による酸化還元反応を利用して発電を行う微生物燃料電池の開発が進められている。微生物燃料電池は、微生物が有機物、無機物等の基質を酸化分解する過程で生じた電子を、最終電子受容体として電極を用いて集電する装置である。微生物燃料電池を廃水処理システムに組み込むことで、廃水の生物学的処理と廃水を利用した発電とを一体として行う微生物燃料電池システムを構築することができ、廃水の生物学的処理において微生物が獲得したエネルギの一部を電子伝達系を遮断して奪って電気エネルギとして回収することが可能となる。そのため、微生物燃料電池システムは、省エネルギ性に優れると共に余剰汚泥の発生が低減された廃水処理を実現する技術として期待されている。
【０００３】
微生物燃料電池システムの実用化に向けては、発電電力のさらなる向上が求められている。微生物による発電電力を向上させる上では、発電に関与する微生物が酸化分解する基質の濃度と発電に関与する微生物の菌体量とを如何に維持するかが重要である。そこで、微生物が微生物燃料電池から流出するのを防止し、発電に関与する微生物の濃度を高めることによって、電気エネルギの回収効率を向上させる技術が提案されている。

【０００４】
例えば、特許文献１には、電極に触媒として機能する嫌気性微生物を担持させた燃料電池（微生物燃料電池）に有機性物質を含む液を流入させる流入工程と、前記微生物燃料電池にて前記有機性物質を含む液を生物的に処理しながら発電する発電工程と、前記微生物燃料電池によって処理された液を固液分離する分離工程とを備える微生物燃料電池システムにおいて、前記分離工程により抽出された固体成分（余剰汚泥）を含む液を前記微生物燃料電池に返送する技術が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特開２０１３－１４３３６３号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
特許文献１によると、分離工程により分離された固体成分（余剰汚泥）を含む液を微生物燃料電池に返送することによって、微生物の濃度を高めることができ、エネルギーの回収効率を高くすることができるとされている。しかしながら、微生物燃料電池システムにおける発電を、期待する電力で安定的に維持するためには、こうした余剰汚泥の出入のみならず、発電に関与する微生物（発電微生物）による電子伝達を適化させることも望まれる。
【０００７】
発電微生物の電子伝達系に適した酸化還元電位は、一般に、－１００ｍＶから－２００ｍＶ程度の電位よりも低い低電位の範囲である。ところが、微生物燃料電池システムにおいて発電微生物に電子供与体を供給するために用いられる下水等の廃水は、供給されるまでの間に空気との接触の機会が多く、溶存酸素濃度が比較的高くなる傾向がある。また、有機物濃度は比較的低いため、微生物の存在下においても有機物分解に伴う溶存酸素の消費が低度に留まり、溶存酸素濃度が高い水準に維持され易い。そのため、微生物燃料電池システムにおいては、生物学的処理されるために導入される廃水の酸化還元電位が、発電微生物の電子伝達系に適した低電位になり難く、良好な電力で安定的に発電を行うのが難しいのが現状である。
【０００８】
そこで、本発明は、廃水の酸化還元電位を低電位に維持し、良好な電力で安定的に発電することが可能な微生物燃料電池システムを提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００９】
前記課題を解決するために本発明に係る微生物燃料電池システムは、有機物を含有する廃水の嫌気性処理を行う嫌気槽と、前記嫌気槽の後段に設置され、アノードと、カソードと、前記廃水に含まれる基質を酸化分解して前記アノードに電子を供与する微生物とを保持する微生物燃料電池槽とを備えることを特徴とする。
【発明の効果】
【００１０】
本発明によれば、廃水の酸化還元電位を嫌気性処理によってあらかじめ低下させることができるため、廃水の酸化還元電位を低電位に維持し、良好な電力で安定的に発電することが可能な微生物燃料電池システムを提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１１】
【図１】本発明の一実施形態に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。
【図２】変形例１に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。
【図３】変形例２に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。

【図４】変形例３に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。
【図５】実施例に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。
【図６】実施例に係る微生物燃料電池システム及び比較例に係る微生物燃料電池システムにおける廃水の酸化還元電位の経時変化を示す図である。
【図７】実施例に係る微生物燃料電池システム及び比較例に係る微生物燃料電池システムによる発電の電力密度の経時変化を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１２】
以下に本発明の一実施形態に係る微生物燃料電池システムについて説明する。なお、各図において共通する部分には同一の符号を付し、重複する部分についての説明は省略する。
【００１３】
図１は、本発明の一実施形態に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。
【００１４】
本実施形態に係る微生物燃料電池システム１は、図１に示すように、嫌気槽１０と、微生物燃料電池槽２０とを備えている。微生物燃料電池システム１は、微生物燃料電池を廃水処理システムに組み込むことによって、廃水の生物学的処理と、廃水を電子供与体の供給に利用した電力回収と、を一体として行う装置となっている。微生物燃料電池システム１において、嫌気槽１０と微生物燃料電池槽２０とは、この順に備えられており、嫌気槽１０において処理された原水（廃水）が、後段の微生物燃料電池槽２０に移送されて処理された後に、処理水として排水されるようになっている。
【００１５】
この微生物燃料電池槽２０においては、廃水の生物学的処理と、廃水と発電微生物とを利用した電力回収（電気エネルギの回収）とが行われる。微生物燃料電池システム１では、このような微生物燃料電池槽２０の前段に嫌気槽１０が備えられており、嫌気槽１０における嫌気性処理によって廃水の酸化還元電位をあらかじめ低下させておくことで、微生物燃料電池槽２０において安定的な電力回収が実現されるようにしている。
【００１６】
微生物燃料電池システム１には、有機物を含有する廃水が原水として導入される。廃水は、例えば、生活排水、工場排水、事業場排水等の汚水や、側溝等から雨水管を通じて集水される雨水や、これらが合流した状態の混合排水のような下水等である。このような廃水は、不図示の最初沈殿池等を経由して、浮遊物質、沈降性固形物等が除去された後に嫌気槽１０に導入される。
【００１７】
原水として導入される下水としては、溶存態についての水質指標値が、COD_{Cr}（二クロム酸カリウムによる酸素消費量）について０ｍｇ／Ｌ～５００ｍｇ／Ｌ、COD_{Mn}（１００℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量）について０ｍｇ／Ｌ～５００ｍｇ／Ｌ、ＢＯＤ（生物化学的酸素消費量）について０ｍｇ／Ｌ～５００ｍｇ／Ｌ、ＴＯＣ（有機態炭素）について０ｍｇ／Ｌ～１００ｍｇ／Ｌ、Ｔ－Ｎ（全窒素濃度）について０ｍｇ／Ｌ～１００ｍｇ／Ｌの範囲にあるような廃水が想定される。溶存態についての水質指標値は、好ましくは、COD_{Cr}について１０ｍｇ／Ｌ～１００ｍｇ／Ｌ、COD_{Mn}について１０ｍｇ／Ｌ～１００ｍｇ／Ｌ、ＢＯＤについて１０ｍｇ／Ｌ～１００ｍｇ／Ｌ、ＴＯＣについて５ｍｇ／Ｌ～５０ｍｇ／Ｌ、Ｔ－Ｎについて５ｍｇ／Ｌ～５０ｍｇ／Ｌの範囲である。微生物燃料電池システム１においては、このように基質濃度が比較的低い廃水を利用する場合においても、安定的な電力回収を実現することが可能となっている。
【００１８】
原水として導入される下水のＤＯ（溶存酸素濃度）は、０ｍｇ／Ｌ～７ｍｇ／Ｌの範囲、好ましくは０ｍｇ／Ｌ～４ｍｇ／Ｌの範囲にあるような廃水が想定される。なお、廃水

の酸化還元電位は、ＤＯが０ｍｇ／Ｌ程度である場合においても、通常、０ｍＶ以上となる。微生物燃料電池システム１は、原水として導入される下水のＤＯが７ｍｇ／Ｌ以下となるような非曝気状態の廃水をも好適に処理することができる。下水のＤＯが４ｍｇ／Ｌ以下程度であると、嫌気性処理において酸化還元電位を所望の低電位値まで低下させ易いため、電力回収の効率の観点から有利である。

【００１９】

嫌気槽１０は、有機物を含有する廃水の嫌気性処理を行う処理槽となっており、微生物燃料電池槽２０に導入される廃水の酸化還元電位をあらかじめ低下させるように働く。嫌気槽１０には、嫌気性微生物を含む汚泥が保持され、処理槽の雰囲気が、低遊離酸素条件ないし無遊離酸素条件に維持される。また、嫌気槽１０には、嫌気性処理される廃水を攪拌する攪拌手段１２が備えられている。攪拌手段１２によって、嫌気性処理される廃水が攪拌されて、汚泥と廃水とが均質化されると共に汚泥の沈降が抑制されるようになっている。また、嫌気槽１０には、図１に示すように、廃水の酸化還元電位を計測する酸化還元電位計１４を設置することができる。酸化還元電位計１４によって嫌気性処理された廃水の酸化還元電位が低電位になるように管理することができる。

【００２０】

嫌気槽１０に保持される汚泥は、固定化担体又は固定床担体を用いて固定化されていることが好ましい。汚泥を固定化することによって、嫌気槽１０から微生物燃料電池槽２０への汚泥の流入を抑制することができる。固定化担体は、嫌気性微生物が担持された浮遊担体とすることが好ましく、固定床担体は、それを構成する支持部材等の天板が廃水の水面上に露出する形状とすることが好ましい。固定化担体を浮遊担体として水面を覆うように多数浮遊させたり、固定床担体を水面上に露出させたりすることによって、嫌気槽１０に保持される廃水と気相との接触面を減少させることができる。そのため、採水等に伴って密閉された嫌気槽１０を一時的に開放したりする場合にも、外気中の酸素よって廃水の酸化還元電位が高電位化するのを抑制することができる。或いは、嫌気槽１０を簡易な構造としても、外気中の酸素の廃水への溶解を低減することができ、嫌気槽１０の構造を低コスト化しつつ廃水の酸化還元電位が高電位化するのを抑制することが可能となる。

【００２１】

嫌気槽１０に保持される浮遊担体としては、円筒状、スポンジ状、直方体、球体等の適宜の形状とした樹脂製、ゲル製等の担体を用いることができる。浮遊担体の材料としては、ポリプロピレン、ポリエチレン、ウレタンフォーム、アクリル系樹脂、ポリエチレングリコール、アルギン酸、セルロース等適宜の材料を用いることができる。浮遊担体の密度は、１．０ｇ／ｃｍ^{3}以下、好ましくは０．８ｇ／ｃｍ^{3}以上１．０ｇ／ｃｍ^{3}以下、より好ましくは０．９ｇ／ｃｍ^{3}以上０．９５ｇ／ｃｍ^{3}以下である。また、浮遊担体の寸法は、最大径が１０ｃｍ未満、好ましくは１ｃｍ以上１０ｃｍ未満、より好ましくは１ｃｍ以上５ｃｍ以下である。浮遊担体としては、特に、ポリプロピレン製の円筒状の担体であって、密度が０．９ｇ／ｃｍ^{3}以上０．９５ｇ／ｃｍ^{3}以下、且つ、最大径が１ｃｍ以上５ｃｍ以下の担体が好適である。このような浮遊担体は、微生物の付着率が高く、水面上に多数浮遊させた場合に廃水と気相との接触面を覆う割合も高くなる点で有利である。

【００２２】

嫌気槽１０では、原水として導入される廃水を、嫌気性微生物によって低遊離酸素条件ないし無遊離酸素条件の下で嫌気性処理し、廃水に含まれている有機物等を分解処理させる。嫌気性処理が行われることによって、外部からの酸素の供給が無い状態で嫌気性微生物によって溶存酸素が消費されると共に有機物等の分解処理によって還元体が生成されて、廃水の酸化還元電位が低下することになる。廃水の酸化還元電位を所望の低電位に低下させるためには、嫌気槽１０における廃水の滞留時間、汚泥量、廃水の流入量等を適宜調節すればよい。そして、廃水の酸化還元電位を酸化還元電位計１４で計測する等して、酸化還元電位の出口値が、還元状態を示す低電位の範囲に維持されるように管理を行う。

【００２３】

嫌気槽１０における廃水の酸化還元電位は、好ましくは－２００ｍＶ以下、より好まし

くは－３００ｍＶ以下、さらに好ましくは－４００ｍＶ以下の範囲とする。廃水の酸化還元電位が－２００ｍＶ以下程度の低電位であると、微生物燃料電池槽２０において電力回収を有意に行うことができるためである。また、嫌気槽１０において酸化還元電位がこのように低電位化されていると、廃水が嫌気槽１０から流出し微生物燃料電池槽２０に流入した後においても、微生物燃料電池槽２０に保持される汚泥による嫌気性処理によって酸化還元電位が低下し易くなるため電力回収をより好適に行うことが可能になる。なお、酸化還元電位は、通常の嫌気性処理で－５００ｍＶ程度まで低下させることができるが、低電位であるほど発電電力が増大し、発電の安定性が向上する傾向があるため、酸化還元反応が略平衡に至り酸化還元電位が一定に達するような滞留時間で処理を行えばよい。嫌気槽１０における処理を終えた廃水は、その後、空気の侵入が遮断される配管等を介して、微生物燃料電池槽２０に移送する。

【００２４】

微生物燃料電池槽２０は、廃水に含まれる基質を発電微生物に酸化分解させ、酸化分解の過程で生じた電子を集電して電力回収を行う処理槽となっている。微生物燃料電池槽２０は、嫌気槽１０の後段に設置され、アノード２２と、カソード２４と、不図示の発電微生物とを保持している。

【００２５】

アノード２２は、発電微生物が基質を酸化分解する過程で生じた電子を集電する電極であり、微生物燃料電池槽２０に導入された廃水に浸漬された状態で保持されている。アノード２２は、平板状、膜状又は筒状に成形された炭素材料又は金属材料で形成することができる。炭素材料としては、例えば、カーボンクロス、カーボンフェルト、カーボンペーパ等が挙げられ、金属材料としては、例えば、ステンレス鋼、白金等が挙げられる。

【００２６】

カソード２４は、アノード２２の対極となる電極であり、一主面が廃水に接する一方で、他主面が空気に接するエアカソードの形態とする。エアカソードは、図１に示すように、上面が開口した箱体２６の側面に窓部を形成し、その窓部を通気性のカソード２４によって水密に閉塞することによって形成することができる。カソード２４が備えられた箱体２６（エアカソード）は、上部の開口が外気に開放されるように、微生物燃料電池槽２０に導入された廃水に半浸漬された状態で保持させればよい。通気性のカソード２４は、平板状、膜状又は筒状に成形された繊維状の炭素材料で形成することができる。炭素材料としては、例えば、カーボンクロス、カーボンフェルト、カーボンペーパ等が挙げられ、材料表面に撥水性が付与されると共に白金等の触媒が担持されたものが好適である。

【００２７】

図１に示すように、アノード２２とカソード２４とは、導線を介して外部負荷Ｒとそれぞれ接続されて化学電池を形成する。アノード２２によって集電された電子は、外部抵抗Ｒを経てカソード２４側に移動し、カソード２４では、空気中の酸素が電子受容体として供給されて、酸素及び水が関与する酸化還元反応が生じる。微生物燃料電池１では、このような外部回路から、発電微生物によって発電された電気エネルギの回収が行われるようになっている。

【００２８】

アノード２２及びカソード２４の電極数、電極面積、配置等は、特に制限されるものではないが、例えば、図１に示すように、各アノード２２及びカソード２４が略平行に並列するように、一対の電極を構成するアノード２２及びカソード２４を複数対配設させることができる。そして、微生物燃料電池槽２０の平面視においては、各アノード２２及びカソード２４は、長手方向の一端が微生物燃料電池槽２０の内壁に当接する一方で、他端が微生物燃料電池槽２０の内壁から離反するように配置させる。すなわち、並列している各アノード２２及びカソード２４によって、内壁から離反する箇所が左右交互に配置されるように微生物燃料電池槽２０を仕切らせて、廃水が水平方向について交互に迂流する水平迂流式の処理槽を形成させることが可能である。このように、微生物燃料電池槽２０を迂流式の処理槽とすると、廃水が攪拌されながら通流するようになるため、並列している複

数の電極のそれぞれについて発電微生物の分布のむらを低減させることができる。これによって、発電微生物による酸化分解やアノード２２による集電の効率が高められ、電力回収の効率を向上させることができるようになる。また、滞留時間が確保され易くなると共に、汚泥の偏在が抑制されるようになるため、嫌気性処理や電力回収を安定的にすることができる。

【００２９】

発電微生物は、廃水に含まれる有機物、無機物等の基質を酸化分解してアノード２２に電子を供与する微生物である。発電微生物としては、電子伝達系において、鉄、マンガン、バナジウム等の金属イオンやこれらの酸化物を最終電子受容体として利用する能力を持つ微生物を用いることができる。このような微生物としては、例えば、細胞外における電子伝達能を有するShewanella属、Geobacter属等に分類される微生物が挙げられる。発電微生物としては、これらの中でも、Shewanella oneidensis、Geobacter sulfurreducens又はGeobacter metallireducensを用いることが好ましい。なお、こうした発電微生物は、嫌気性微生物群を含む汚泥の形態で、微生物燃料電池槽２０に導入された廃水に懸濁させたり、アノード２２に固定化させたりして用いることができる。

【００３０】

微生物燃料電池槽２０では、嫌気槽１０において酸化還元電位を低下させた廃水を、発電微生物を含む汚泥によって低遊離酸素条件ないし無遊離酸素条件の下で嫌気性処理し、廃水に含まれている基質を酸化分解させる。発電微生物が基質を酸化分解する過程で生じた電子は、発電微生物の電子伝達系から奪われ、アノード２２に集電されて電力として回収される。嫌気槽１０で酸化還元電位を低下させた廃水を、空気の侵入を抑制して微生物燃料電池槽２０に移送することによって、発電微生物の電子伝達系に適した酸化還元電位を実現することが可能である。なお、酸化還元電位計１４は、微生物燃料電池槽２０や、嫌気槽１０と微生物燃料電池槽２０との間の配管等に設置してもよい。

【００３１】

このような微生物燃料電池槽２０において、嫌気性処理された廃水は、微生物燃料電池システム１の系外に処理水として排水される。通常、微生物燃料電池システム１に原水として導入される下水等の廃水は、嫌気性処理のみでは放流水質を確保することが難しいため、微生物燃料電池槽２０の後段には、廃水の好気性処理を行う好気槽や、嫌気槽と好気槽とを含む復数段の処理槽や、遊離酸素の不存在下且つ結合態酸素の存在下に廃水の無酸素処理を行う無酸素槽と好気槽とを含む復数段の処理槽等が設置されるようにシステムを構成してもよい。

【００３２】

以上の実施形態に係る微生物燃料電池システム１によれば、廃水の嫌気性処理を行う嫌気槽１０が、微生物燃料電池槽２０の前段に備えられることによって、微生物燃料電池槽２０に導入される廃水の酸化還元電位をあらかじめ低下させることができる。導入される廃水を嫌気性処理しておくことによって、微生物燃料電池槽２０に流入する廃水の酸化還元電位を常時－２００ｍＶ以下程度の低電位に維持することも可能となるため、発電微生物による基質の酸化分解と電子伝達とが良好な反応速度で進行するようになり、発電される電極あたりの電力密度を向上させると共に、発電電力を経時安定的に維持させることが可能になる。また、嫌気槽１０の槽構造や、嫌気槽１０と微生物燃料電池槽２０との連結構造の設計によって、微生物燃料電池槽２０に前段から汚泥が流入するのを避けることができる。そのため、発電微生物が集積されている細菌叢が変動して発電微生物の菌体量が減少するのを避けることができ、発電電力の経時的な安定性を確保し易くすることが可能である。

【００３３】

次に、変形例１に係る微生物燃料電池システムについて説明する。

【００３４】

図２は、変形例１に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。

【００３５】

前記の実施形態に係る微生物燃料電池システム１は、図２に示すように、嫌気槽の構造を変更した微生物燃料電池システム（変形例１に係る微生物燃料電池システム）２のような形態とすることもできる。変形例１に係る微生物燃料電池システム２は、単室の嫌気槽１０に代えて、上下迂流式の嫌気槽１０Ａを備えるものである。

【００３６】

嫌気槽１０Ａは、有機物を含有する廃水の嫌気性処理を行う処理槽となっており、嫌気槽１０と同様に、有機物を含有する廃水が、被処理水として導入され、微生物燃料電池槽２０に導入される廃水の酸化還元電位をあらかじめ低下させるように働く。嫌気槽１０Ａは、図２に示すように、鉛直方向に沿って配設される迂流壁１１０によって仕切られた上下迂流式の槽構造を有している。そして、嫌気槽１０Ａにおける廃水の出口は、迂流壁１１０によって上向流が形成される処理室１０２の上部側に設けられている。

【００３７】

迂流壁１１０は、鉛直方向の一端が嫌気槽１０Ａの内壁に接する一方で、他端が嫌気槽１０Ａの内壁から離間し、嫌気槽１０Ａとの間に開口を設けている。この開口は、迂流壁によって隔てられる両側の空間を連通する迂流路ｆを形成している。なお、図２においては、嫌気槽１０Ａは、迂流壁１１０によって仕切られた２室の処理室１０１，１０２からなり、処理室同士が、迂流壁１１０の下端側に設けられた開口を通じて連通する構造が示されているが、迂流壁によって区画される処理室の数は特に制限されるものではない。例えば、迂流壁の下端側に設けられる開口と上端側に設けられる開口とが交互に配置されるようにして、３室以上からなる槽構造とすることも可能である。また、第１番目の処理室１０１に攪拌手段１２Ａが備えられているが、攪拌手段１２Ａを設置することなく省略化することも可能である。

【００３８】

以上の変形例１に係る微生物燃料電池システム２によれば、嫌気槽１０Ａに迂流壁１１０が備えられていることによって、嫌気槽１０Ａにおいて嫌気性処理される廃水を、水頭による弱い攪拌力で攪拌することができる。そして、迂流壁１１０によって上向流が形成される処理室１０２の上部側に廃水の出口を設けることによって、汚泥の浮上が抑えられた上澄みの廃水を微生物燃料電池槽２０に移送することができる。そのため、嫌気性処理に要する汚泥の嫌気槽１０Ａからの流出と、前段から微生物燃料電池槽２０への汚泥の流入とをそれぞれ抑制させることが可能である。汚泥の嫌気槽１０Ａからの流出を抑制することによって、嫌気槽１０Ａにおける嫌気性処理の安定化を図ることができ、微生物燃料電池槽２０への汚泥の流入を抑制することによって、発電微生物が集積されている細菌叢の変動に起因する発電微生物量の減少を抑制することができるため、安定した嫌気性処理によって酸化還元電位を確実に低下させながら、菌体量が維持された発電微生物による安定的な発電を行うことが可能になり、より効率的な電力回収を実現することができるようになる。

【００３９】

次に、変形例２に係る微生物燃料電池システムについて説明する。

【００４０】

図３は、変形例２に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。

【００４１】

前記の実施形態に係る微生物燃料電池システム１は、図３に示すように、嫌気槽と微生物燃料電池槽との接続構造を変更した微生物燃料電池システム（変形例２に係る微生物燃料電池システム）３のような形態とすることもできる。変形例２に係る微生物燃料電池システム３は、嫌気槽１０と微生物燃料電池槽２０との間に、連結配管１２０と制御弁Ｖ１０とを備えるものである。なお、微生物燃料電池槽２０の槽構成は、前記の微生物燃料電池システム１におけるものと同様である。

【００４２】

連結配管１２０は、嫌気槽１０と微生物燃料電池槽２０との間を連通し、廃水の流路を形成している。連結配管１２０は、嫌気槽１０の上部側と微生物燃料電池槽２０との間を

接続しており、嫌気槽１０に保持される廃水の上澄みを微生物燃料電池槽２０に移送する。連結配管１２０によって廃水を移送すると、廃水と外気との接触が低減されるため、廃水の酸化還元電位を低電位に維持させ易い。なお、連結配管１２０は、廃水を水頭によって自然流下させるように接続してよく、或いは、不図示のポンプを設置することによって加圧された廃水が通流するようにしてもよい。

【００４３】

制御弁Ｖ１０は、連結配管１２０に備えられており、連結配管１２０における廃水の流量を制御する機能を有している。制御弁Ｖ１０は、酸化還元電位計１４と信号線を介して接続されており、酸化還元電位計１４によって計測される廃水の酸化還元電位に基いて、開度が制御されるようになっている。制御弁Ｖ１０の開度は、微生物燃料電池槽２０に導入される廃水の酸化還元電位が－２００ｍＶ以下となるような所定の低電位値を設定値として制御弁のコントローラに設定し、その設定値と酸化還元電位計１４によって計測される計測値との比較によって制御することができる。なお、酸化還元電位計１４は、図３においては嫌気槽１０に備えられているが、微生物燃料電池槽２０に備えられてもよく、或いは、嫌気槽１０と微生物燃料電池槽２０との間の連結配管１２０上に備えられてもよい。

【００４４】

制御弁Ｖ１０は、酸化還元電位計１４によって計測される廃水の酸化還元電位が、設定値以下であるときには、廃水の流路を所定開度で開放する。制御弁Ｖ１０の開度は、廃水が所定流量で微生物燃料電池槽２０に移送されるように流量に基いて制御してよく、流量に基いて制御することなく全開させてもよい。このように、廃水の酸化還元電位が設定値（所定の低電位値）以下である場合に流路を開放させることによって、微生物燃料電池槽２０には、嫌気性処理によって酸化還元電位が低電位に低下した廃水が移送される。

【００４５】

その一方で、制御弁Ｖ１０は、酸化還元電位計１４によって計測される廃水の酸化還元電位が、設定値を超えるときには、廃水の流路を全閉する。このように、廃水の酸化還元電位が設定値（所定の低電位値）を超える場合に流路を閉鎖させることによって、酸化還元電位が低電位に低下していない廃水が微生物燃料電池槽２０に移送されるのを制限することができる。

【００４６】

以上の変形例２に係る微生物燃料電池システム３によれば、酸化還元電位が低電位に低下していない廃水が、微生物燃料電池槽２０に流入するのを制限することができるため、微生物燃料電池槽２０における廃水の酸化還元電位を確実に低電位に維持することができ、発電電力を経時的により安定させることができる。また、制御弁Ｖ１０の開閉を制御することによって、嫌気槽１０における嫌気性処理の滞留時間を可変させることができるため、原水として導入される廃水の酸化還元電位に影響されること無く、微生物燃料電池槽２０に導入される廃水の酸化還元電位を所望の低電位値に低下させることができる。

【００４７】

次に、変形例３に係る微生物燃料電池システムについて説明する。

【００４８】

図４は、変形例３に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。

【００４９】

前記の実施形態に係る微生物燃料電池システム１は、図４に示すように、嫌気槽と微生物燃料電池槽との接続構造を変更した微生物燃料電池システム（変形例３に係る微生物燃料電池システム）４のような形態とすることもできる。変形例３に係る微生物燃料電池システム４は、嫌気槽１０と微生物燃料電池槽２０との間に、沈殿槽４０と汚泥返送管１３０と、汚泥返送ポンプ４６とを備えるものである。なお、微生物燃料電池槽２０の槽構成は、前記の微生物燃料電池システム１におけるものと同様である。

【００５０】

沈殿槽４０は、嫌気槽１０の後段且つ微生物燃料電池槽２０の前段に設けられ、汚泥を

含む廃水の沈殿分離処理を行う処理槽となっている。沈殿槽４０の底部には、汚泥返送管１３０が接続されている。沈殿槽４０の内部には、不図示の傾斜板、傾斜管が配設される。傾斜板や傾斜管を設置し、上向流又は水平流とした廃水を通流させることによって、汚泥の沈殿効率を向上させることが可能である。また、不図示の汚泥掻寄機、スカム除去機等を設置することもできる。汚泥掻寄機やスカム除去機は、沈殿槽４０の形状に応じて走行式、回転式等の適宜の装置を設置すればよい。なお、沈殿槽４０の槽構造は、密閉型とし、外気中の酸素の侵入や臭気の放出を防止することが好ましい。

【００５１】

沈殿槽４０では、廃水を緩速で滞留させることによって、嫌気槽１０から移送される廃水中の汚泥を沈降させて除去する。汚泥が除去された廃水は、低下させた酸化還元電位を維持させた状態で、沈殿槽４０の上部側に設けられる越流堰を越流する等して、微生物燃料電池槽２０に移送される。その一方で、沈殿槽４０の下部側に沈降した汚泥は、汚泥返送管１３０に引き抜かれる。

【００５２】

汚泥返送管１３０は、沈殿槽４０と嫌気槽１０との間を連通しており、沈殿槽４０において分離された汚泥の嫌気槽１０への返送を行う。汚泥返送管１３０には、汚泥返送ポンプ４６が備えられており、汚泥返送ポンプ４６が稼働されることによって、沈殿槽４０において廃水から除去された余剰汚泥が、嫌気槽１０に返送され、嫌気性処理に再利用されるようになっている。

【００５３】

以上の変形例３に係る微生物燃料電池システム４によれば、微生物燃料電池槽２０の前段に沈殿槽４０が備えられることによって、微生物燃料電池槽２０に前段から汚泥が流入するのを抑制することができる。そのため、発電微生物が集積されている細菌叢が変動して発電微生物の菌体量が減少するのを避けることができ、発電電力の経時的な安定性を確保し易くすることができる。また、汚泥返送管１３０が備えられることによって、嫌気槽１０における汚泥量が確保され易くなり、廃水の酸化還元電位を低下させる嫌気性処理の効率を高い水準に維持することが可能になる。

【実施例】

【００５４】

以下、本発明の実施例を示して本発明をより具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【００５５】

実施例として、前記の実施形態に係る微生物燃料電池システムによる発電電力の評価を行った。また、対照（比較例）として、嫌気槽を備えていない微生物燃料電池システムによる発電電力の評価を併せて行った。

【００５６】

図５は、実施例に係る微生物燃料電池システムの構成の一例を示す図である。

【００５７】

実施例に係る微生物燃料電池システムとしては、図５に示すように、有機物を含有する廃水の嫌気性処理を行う嫌気槽１０Ｂと、微生物燃料電池槽２０とを備え、微生物燃料電池槽２０の後段には、廃水の好気性処理を行う好気槽５０と、汚泥を含む廃水の沈殿分離処理を行う沈殿槽６０とが、この順に備えられた微生物燃料電池システム５を用いた。なお、微生物燃料電池槽２０の槽構成は、前記の微生物燃料電池システム１におけるものと同様である。この微生物燃料電池システム５に備えられる各処理槽の槽容量比は、嫌気槽１０Ｂ：微生物燃料電池槽２０：好気槽５０：沈殿槽６０が、５：２：１：２となるようにしている。

【００５８】

嫌気槽１０Ｂは、図５に示すように、迂流壁２１０によって仕切られた２室の処理室１０３，１０４からなり、処理室同士が、迂流壁２１０の下端側に設けられた開口を通じて連通する上下迂流式の槽構造を有するものである。２室の処理室１０３，１０４は、二重

円筒構造を有しており、内筒の内側に区画される平面視で円形状の内側処理室１０３と、外筒と内筒との間に区画される平面視で円環状の外側処理室１０４とからなっている。そして、迂流壁２１０の下端側に設けられた開口を通じて内側処理室１０３と外側処理室１０４とが連通し、内側処理室１０３から外側処理室１０４に径方向に向かう迂流路ｆが形成されている。

【００５９】

好気槽５０は、廃水の好気性処理を行う処理槽となっている。好気槽５０には、好気性処理される廃水を曝気する曝気手段が備えられたものである。曝気手段は、図５に示すように、散気管５２とブロワ５４とによって構成され、ブロワ５４によって散気管５２に空気が送気されると、散気管５２から廃水に空気が散気される。また、好気槽５０には、好気性微生物を含む汚泥が保持される。そのため、好気槽５０に導入された廃水は、好気性微生物によって好気性処理され、酸化還元電位が高電位側に復帰すると共に、有機物分解処理、脱リン処理され、水質が良好な処理水が得られるようになっている。

【００６０】

沈殿槽６０は、開放型の槽構造としている点を除いて前記の微生物燃料電池システム３に備えられる沈殿槽４０と同様の処理槽となっている。沈殿槽６０の下部側には汚泥引抜管１５０が接続され、汚泥返送管１５０には汚泥返送ポンプ６６が備えられており、沈殿槽６０において廃水から除去された汚泥が、好気槽５０に返送されるようになっている。

【００６１】

実施例においては、図５に示される微生物燃料電池システム５の嫌気槽１０Ｂに、廃水として、下水処理場の最初沈殿池の処理水を導入した。そして、嫌気槽１０Ｂにおいて、廃水の酸化還元電位を低下させた後、微生物燃料電池槽２０において電気エネルギの回収を行った。このとき、微生物燃料電池槽２０において発電された発電電力を外部回路を介して計測すると共に、廃水の酸化還元電位を、微生物燃料電池槽２０に設置した酸化還元電位計１４によって定期的に計測した。これらの結果を図６及び図７に示す。

【００６２】

その一方で、比較例においては、図５に示される微生物燃料電池システム５に代えて、嫌気槽（１０Ｂ）を備えていない微生物燃料電池システムの微生物燃料電池槽２０に、廃水として、下水処理場の最初沈殿池の処理水を導入した。そして、廃水の酸化還元電位を低下させることなく、微生物燃料電池槽２０において電気エネルギの回収を行った。このとき、実施例と同様に、発電された発電電力と廃水の酸化還元電位とを定期的に計測した。これらの結果を図６及び図７に示す。

【００６３】

図６は、実施例に係る微生物燃料電池システム及び比較例に係る微生物燃料電池システムにおける廃水の酸化還元電位の経時変化を示す図である。

【００６４】

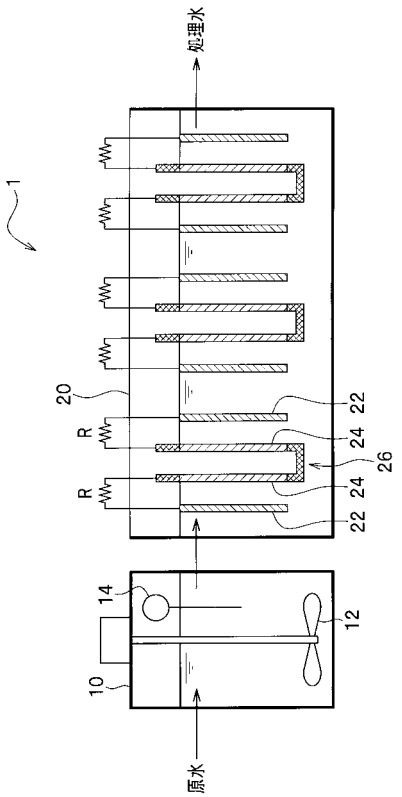
図６において、縦軸は、微生物燃料電池槽２０に導入された廃水の酸化還元電位（ｍＶ）、横軸は、微生物燃料電池槽２０における廃水の処理時間である。また、■は、実施例における計測結果、◆は、比較例における計測結果を示している。

【００６５】

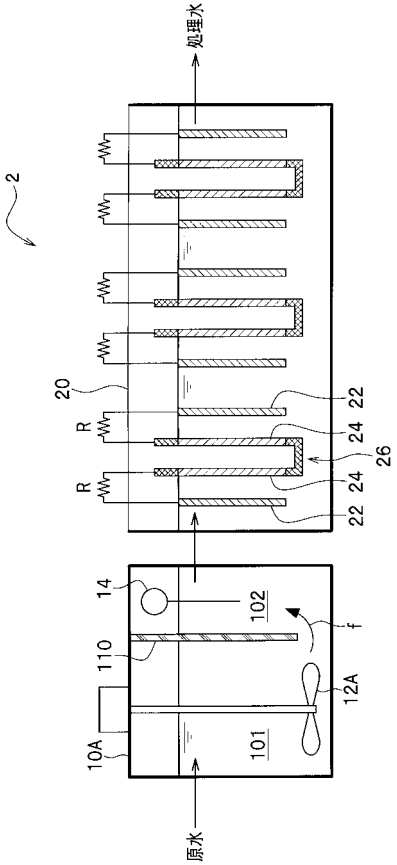
図６に示すように、嫌気槽（１０Ｂ）を備えていない比較例に係る微生物燃料電池システムでは、酸化還元電位の低下の速度が小さく、酸化還元電位が低電位となるのに長時間を要することが分かる。また、酸化還元電位は、－１００ｍＶ～－２００ｍＶの範囲で平衡となり、－２００ｍＶ以下の低電位を実現することは難しいことが分かる。これに対して、嫌気槽１０Ｂで予め廃水の嫌気性処理を行った実施例に係る微生物燃料電池システム５では、酸化還元電位の低下の速度が大きく、酸化還元電位が急速に低電位となっている。また、酸化還元電位は、－３００ｍＶ～－５００ｍＶの範囲、特に－４００ｍＶ付近で略平衡となり、酸化還元電位がより低電位に低下することが確認できる。このように、予め嫌気槽で廃水の嫌気性処理を行うことによって、発電微生物による発電に適した低電位がはじめて実現されることが認められる。

【００６６】
図７は、実施例に係る微生物燃料電池システム及び比較例に係る微生物燃料電池システムによる発電の電力密度の経時変化を示す図である。
【００６７】
図７において、縦軸は、微生物燃料電池槽２０における発電のアノードあたりの電力密度（ｍＷ／ｍ^2－アノード）、横軸は、微生物燃料電池槽２０における廃水の処理時間である。また、■は、実施例における計測結果、◆は、比較例における計測結果を示している。
【００６８】
図７に示すように、嫌気槽（１０Ｂ）を備えていない比較例に係る微生物燃料電池システムでは、電力密度の増大の速度が小さく、発生する電力は、比較的少ないことが確認できる。これに対して、嫌気槽１０Ｂで予め廃水の嫌気性処理を行った実施例に係る微生物燃料電池システム５では、処理開始後に電力密度が急速に増大し、電力密度は、３００（ｍＷ／ｍ^2－アノード）程度にまで達している。このように、嫌気性処理を行って廃水の酸化還元電位を低下させることによって、発生する電力を大きく増大させることが可能であることが分かる。よって、廃水の嫌気性処理を行う嫌気槽が微生物燃料電池槽の前段に備えられることによって、電気エネルギの回収効率が高められ、良好な電力で継時安定的に発電することが可能になると認められる。
【符号の説明】
【００６９】
１　微生物燃料電池システム
２，３，４　微生物燃料電池システム（変形例）
１０　嫌気槽
１２　攪拌手段
１４　酸化還元電位計
２０　微生物燃料電池槽
２２　アノード
２４　カソード
２６　箱体（エアカソード）
４０　沈殿槽
４６　汚泥返送ポンプ
５０　好気槽
５２　散気管
５４　ブロワ
６０　沈殿槽
６６　汚泥返送ポンプ
１１０　迂流壁
１２０　連結配管
１３０　汚泥返送管
１５０　汚泥返送管
２１０　迂流壁

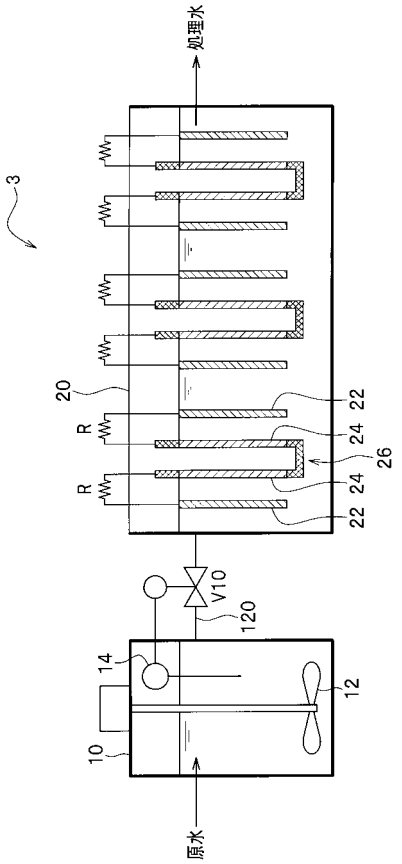
【図１】


処理水
1
20
R
R
22
24
26
24
22
14
12
10
原水

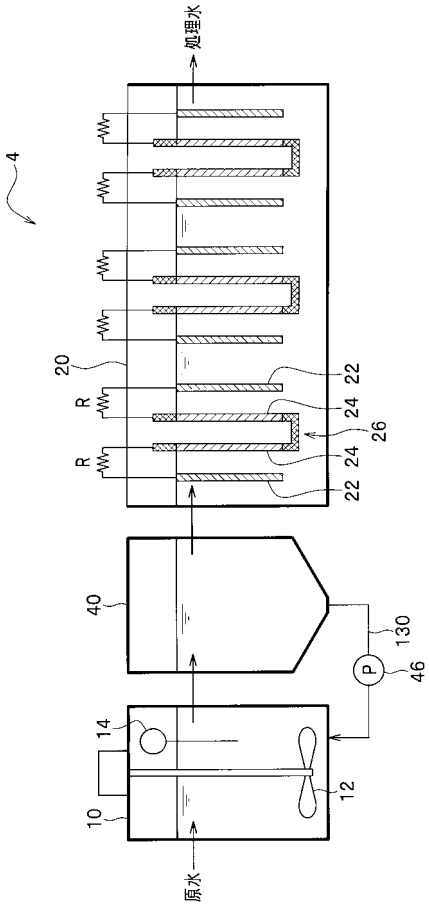
【図２】


処理水
2
20
R
R
22
24
26
24
22
14
102
f
110
12A
10A
101
原水

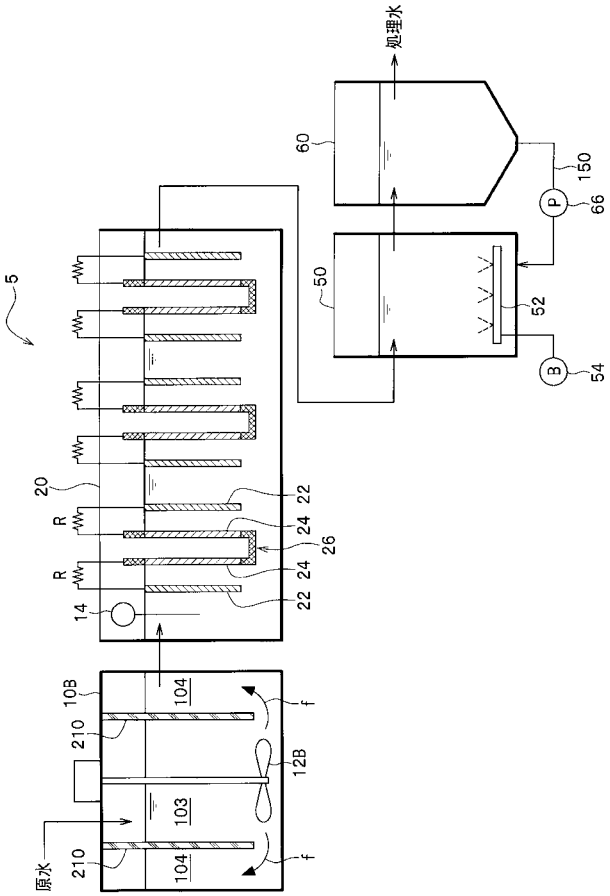
【図３】


処理水
3
20
R
R
22
24
26
24
22
V10
120
14
12
10
原水

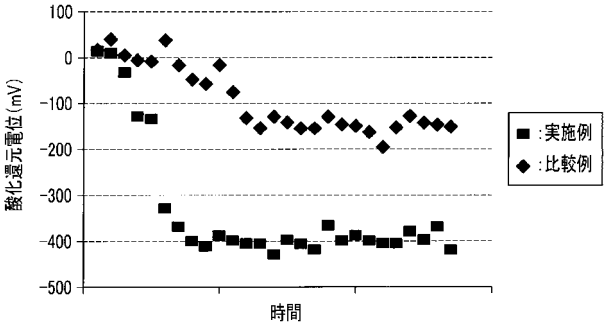
【図４】


処理水
4
20
R
R
22
24
26
24
22
40
130
P
46
14
12
10
原水

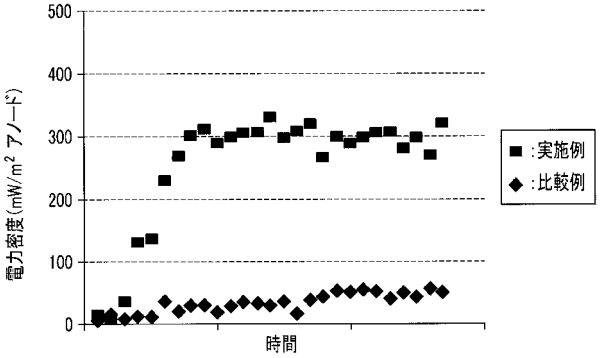
【図５】


処理水
60
150
66
P
50
52
B
54
5
20
R
R
14
22
24
26
24
22
10B
210
104
12B
103
210
104
f
f
原水

【図６】


100
0
-100
-200
-300
-400
-500
酸化還元電位(mV)
時間
:実施例
:比較例

【図７】


500
400
300
200
100
0
電力密度(mW/m² アノード)
時間
:実施例
:比較例

フロントページの続き

Ｆターム(参考) 5H127 AA08 BA06 BA59 BB02 BB14 DB01 DC02 DC09