

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6548220号
(P6548220)

(45) 発行日 令和1年7月24日(2019.7.24)

(24) 登録日 令和1年7月5日(2019.7.5)

(51) Int. Cl.	F I
AO1K 63/04 (2006.01)	AO1K 63/04 F
AO1G 31/00 (2018.01)	AO1K 63/04 A
	AO1G 31/00 G01A
	AO1G 31/00 G01B

請求項の数 9 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-149781 (P2015-149781)	(73) 特許権者	899000057 学校法人日本大学 東京都千代田区九段南四丁目8番24号
(22) 出願日	平成27年7月29日(2015.7.29)	(74) 代理人	110001210 特許業務法人YKI国際特許事務所
(65) 公開番号	特開2017-29014 (P2017-29014A)	(72) 発明者	中野 和典 東京都千代田区九段南四丁目8番24号 学校法人日本大学内
(43) 公開日	平成29年2月9日(2017.2.9)	(72) 発明者	橋本 純 東京都千代田区九段南四丁目8番24号 学校法人日本大学内
審査請求日	平成30年7月17日(2018.7.17)	審査官	田辺 義拓

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクアポニックスシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

微生物が魚の排泄物や餌を分解する分解作用を利用して、魚と植物とを育成するアクアポニックスシステムであって、

前記微生物を有する濾床を含み前記植物を育成する複数段に配置された複数の植物用容器と、

前記植物用容器の内部から前記分解作用が行われた処理水を吸水する吸水部と、

前記植物用容器の外部へ前記吸水部より吸水された前記処理水を排水する排水部と、

前記植物用容器より下側に位置し前記排水部より排水された前記処理水が給水收容されて前記魚を飼育する飼育水槽と、

前記分解作用が行われる処理対象水が前記植物用容器に給水されたとき、前記植物用容器における水位を所定の呼吸期間周期で変動させ、前記処理水が前記植物用容器から吸水される水位下降の期間において空気を大気側から前記濾床に吸気させ、前記濾床において分解作用させる前記処理対象水が前記植物用容器に給水される水位上昇の期間において前記濾床に存在する空気を前記濾床から大気側へ呼気させる濾床呼吸機構と、

を備え、

前記濾床呼吸機構は、

前記濾床の底面からの所定高さ位置を吸水水位とする前記吸水部を一方端に有し、

前記吸水水位よりも下側の高さ位置を排水水位とする前記排水部を他方端に有し、

前記濾床を浸透した前記処理対象水の水位が所定の動作基準水位に達するまでは前記吸

水部と前記排水部とを結ぶ管路部を遮断し、前記処理対象水の水位が前記動作基準水位に達すると前記吸水部と前記排水部とを結ぶ前記管路部を開放する水位開放型の逆止弁を備える管路逆止開放機構であることを特徴とするアクアポニックスシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のアクアポニックスシステムにおいて、

前記動作基準水位は、前記呼吸期間周期を満たすように、前記各植物用容器の内部の前記濾床の体積に応じた水位に設定されることを特徴とするアクアポニックスシステム。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のアクアポニックスシステムにおいて、

複数段に配置される前記複数の前記植物用容器のそれぞれは、上面部の少なくとも一部が開放されるようにずらして配置されることを特徴とするアクアポニックスシステム。

10

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のアクアポニックスシステムにおいて、

前記飼育水槽に收容される前記処理水に前記魚の排泄物や餌を含む原水を最上段の前記植物用容器の前記濾床に給水する原水給水部をさらに備えることを特徴とするアクアポニックスシステム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のアクアポニックスシステムにおいて、

前記原水給水部は、前記飼育水槽から給水ポンプを介して延びる給水管であることを特徴とするアクアポニックスシステム。

20

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のアクアポニックスシステムにおいて、

前記吸水部には、濾材吸込みを抑制するフィルタが設けられることを特徴とするアクアポニックスシステム。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のアクアポニックスシステムにおいて、

前記植物用容器を鉛直方向に沿って積層状に複数段配置して積層型アクアポニックスシステムとし、

前記飼育水槽に收容される前記処理水に前記魚の排泄物や餌を含む原水を最上段の前記植物用容器の前記濾床に給水する原水給水部を備え、

30

前記積層型アクアポニックスシステムの隣接する 2 段の前記植物用容器についてそれぞれ前記サイフォン管機構を配置し、上段側植物用容器に前記サイフォン管機構の前記吸水部を配置し、前記上段側植物用容器に対し下段側植物用容器の上方に前記サイフォン管機構の前記排水部を配置して前記下段側植物用容器に前記処理水を排水し、

最下段の前記植物用容器の下側に前記飼育水槽を設けることを特徴とするアクアポニックスシステム。

【請求項 8】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のアクアポニックスシステムにおいて、

前記植物用容器を階段状に複数段配置した階段型アクアポニックスシステムとし、

前記飼育水槽に收容される前記処理水に前記魚の排泄物や餌を含む原水を最上段の前記植物用容器の前記濾床に給水する原水給水部を備え、

40

前記階段型アクアポニックスシステムの隣接する 2 段の植物用容器についてそれぞれ前記サイフォン管機構を配置し、上段側植物用容器に前記サイフォン管機構の前記吸水部を配置し、前記上段側植物用容器に対し下段側植物用容器の上方に前記サイフォン管機構の前記排水部を配置して前記下段側植物用容器に前記処理水を排水し、

最下段の前記植物用容器の下側に前記飼育水槽を設けることを特徴とするアクアポニックスシステム。

【請求項 9】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のアクアポニックスシステムにおいて、

前記植物用容器を鉛直方向に沿って左右段違いに配置した階層型アクアポニックスシ

50

テムとし、

前記飼育水槽に収容される前記処理水に前記魚の排泄物や餌を含む原水を最上段の前記植物用容器の前記濾床に給水する原水給水部を備え、

前記階層型アクアポニックスシステムの隣接する2段の前記植物用容器についてそれぞれ前記サイフォン管機構を配置し、上段側植物用容器に前記サイフォン管機構の前記吸水部を配置し、前記上段側植物用容器に対し下段側植物用容器の上方に前記サイフォン管機構の前記排水部を配置して前記下段側植物用容器に前記処理水を排水し、

最下段の前記植物用容器の下側に前記飼育水槽を設けることを特徴とするアクアポニックスシステム。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、アクアポニックスシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

アクアポニックスシステムとは、アクアカルチャ（水産養殖）とハイドロポニックス（水耕栽培）との間を水流循環させる水流循環式エコシステムであり、微生物が魚の排泄物を植物の栄養素へと変える分解作用を利用することで、魚と植物とを同時に育成させるものである。

【0003】

20

また、水耕栽培において、省スペース化を考慮して複数の植物用容器を積み重ねることがある。このように積み重ねた複数の植物用容器に給水する方法として、最上段より植物用容器に給水し、最上段の植物用容器において余剰な水を下段の植物用容器へ排水させ、順次下段の植物用容器の給水源とすることが知られている。

【0004】

特許文献1には、5階建てのビルの最上階に観賞用の花栽培を含む水耕栽培システムを設け、下層階に複数の魚介類養殖システムを配置し、階層にまたがって水耕栽培システムと複数の魚介類養殖システムとの間をパイプで連通し、循環装置を用いて養殖水を循環させることが記載されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2009-136164号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

積み重ねた植物用容器に対しての一般的な灌水の場合、短時間での集中的な灌水のため植物用容器に収容される濾床の温度が下がり、濾床環境の急激な変化により植物の毛根に悪影響を与え、根腐れを起こす場合がある。また、アクアポニックスでは酸素供給のために飼育水槽においてバブリングが行われるので、かなりの電気エネルギーが使用されている。さらに、下段に設けた飼育水槽から濾床に給水する場合において水の浄化効率まで考慮されていない。

40

【0007】

本発明の目的は、植物に適した水量を大気呼吸を行いながら濾床に供給でき、飼育水槽の水を効率よく浄化して循環利用できるアクアポニックスシステムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係るアクアポニックスシステムは、微生物が魚の排泄物や餌を分解する分解作用を利用して、魚と植物とを育成するアクアポニックスシステムであって、微生物を有す

50

る濾床を含み植物を育成する複数段に配置された複数の植物用容器と、植物用容器の内部から分解作用が行われた処理水を吸水する吸水部と、植物用容器の外部へ吸水部より吸水された処理水を排水する排水部と、植物用容器より下側に位置し排水部より排水された処理水が給水収容されて魚を飼育する飼育水槽と、分解作用が行われる処理対象水が植物用容器に給水されたとき、植物用容器における水位を所定の呼吸期間周期で変動させ、処理水が植物用容器から吸水される水位下降の期間において空気を大気側から濾床に吸気させ、濾床において分解作用させる処理対象水が植物用容器に給水される水位上昇の期間において濾床に存在する空気を濾床から大気側へ呼気させる濾床呼吸機構と、を備え、濾床呼吸機構は、濾床の底面からの所定高さ位置を吸水水位とする吸水部を一方端に有し、吸水水位よりも下側の高さ位置を排水水位とする排水部を他方端に有し、濾床を浸透した処理対象水の水位が所定の動作基準水位に達するまでは吸水部と排水部とを結ぶ管路部を遮断し、処理対象水の水位が動作基準水位に達すると吸水部と排水部とを結ぶ管路部を開放する水位開放型の逆止弁を備える管路逆止開放機構であることを特徴とする。

10

【0011】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、動作基準水位は、呼吸期間周期を満たすように、各植物用容器の内部の濾床の体積に応じた水位に設定されることが好ましい。

【0012】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、複数段に配置される複数の植物用容器のそれぞれは、上面部の少なくとも一部が開放されるようにずらして配置されることが好ましい。

20

【0013】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、飼育水槽に収容される処理水に魚の排泄物や餌を含む原水を最上段の植物用容器の濾床に給水する原水給水部をさらに備えることが好ましい。

【0014】

この場合、原水給水部は、飼育水槽から給水ポンプを介して延びる給水管であることが好ましい。

【0015】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、吸水部には、濾材吸込みを抑制するフィルタが設けられることが好ましい。

30

【0016】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、植物用容器を鉛直方向に沿って積層状に複数段配置して積層型アクアポニックスシステムとし、飼育水槽に収容される処理水に魚の排泄物や餌を含む原水を最上段の植物用容器の濾床に給水する原水給水部を備え、積層型アクアポニックスシステムの隣接する2段の植物用容器についてそれぞれサイフォン管機構を配置し、上段側植物用容器にサイフォン管機構の吸水部を配置し、上段側植物用容器に対し下段側植物用容器の上方にサイフォン管機構の排水部を配置して下段側植物用容器に処理水を排水し、最下段の植物用容器の下側に飼育水槽を設けることが好ましい。

40

【0017】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、植物用容器を階段状に複数段配置した階段型アクアポニックスシステムとし、飼育水槽に収容される処理水に魚の排泄物や餌を含む原水を最上段の植物用容器の濾床に給水する原水給水部を備え、階段型アクアポニックスシステムの隣接する2段の植物用容器についてそれぞれサイフォン管機構を配置し、上段側植物用容器にサイフォン管機構の吸水部を配置し、上段側植物用容器に対し下段側植物用容器の上方にサイフォン管機構の排水部を配置して下段側植物用容器に処理水を排水し、最下段の植物用容器の下側に飼育水槽を設けることが好ましい。

【0018】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、植物用容器を鉛直方向に沿って左右

50

段違いに配置した階層型アクアポニックスシステムとし、飼育水槽に収容される処理水に魚の排泄物や餌を含む原水を最上段の植物用容器の濾床に給水する原水給水部を備え、階層型アクアポニックスシステムの隣接する2段の植物用容器についてそれぞれサイフォン管機構を配置し、上段側植物用容器にサイフォン管機構の吸水部を配置し、上段側植物用容器に対し下段側植物用容器の上方にサイフォン管機構の排水部を配置し下段側植物用容器に処理水を排水し、最下段の植物用容器の下側に飼育水槽を設けることが好ましい。

【発明の効果】

【0019】

本発明に係るアクアポニックスシステムは、濾床における水位を所定の呼吸期間周期で変動させる濾床呼吸機構を備える。濾床呼吸機構は、処理水が植物用容器から吸水される水位下降の期間において空気を大気側から濾床に吸気させ、処理対象水が供給される水位上昇の期間において濾床内に存在する空気を濾床から大気側へ呼気させる。このように、濾床の水位を変動させることができるので、バブリングを行わずとも濾床内に酸素を自動供給することができる。また、植物が必要とする水量に応じて呼吸期間周期を設定することで、所望の水位変動がなされ植物に最適な水量を給水することが可能になり、植物の根腐れを抑制できる。また、複数の植物用容器を複数段にすることで水の浄化効率を向上させることが可能となり、その結果、飼育水槽の水を植物灌水に用いて浄化した後に、飼育水槽の水として循環利用することができる。

10

【0020】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、濾床呼吸機構はサイフォン管機構であることが好ましい。サイフォン管機構は、水位が一定の高さになるまで水位は上昇を続け、水位が一定の高さに達すると水位が下降し続けるので、例えば特別な水位変動調整弁とその制御装置等を要せず、濾床の水位を変動させることができる。

20

【0021】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、濾床呼吸機構は、管路逆止開放機構であることが好ましい。管路逆止開放機構は、濾床を浸透した処理対象水の水位が所定の動作基準水位に達するまでは吸水部と排水部とを結ぶ管路を遮断し、処理対象水の水位が動作基準水位に達すると吸水部と排水部とを結ぶ管路を開放する水位開放型の逆止弁を備える。管路に空気が残っているとサイフォン管機構は正常作動しないが、管路逆止開放機構によれば、水位が動作基準水位になれば逆止弁を開放させることが可能になる。例えば、濾床の水位の上昇が緩やかであっても、サイフォン管機構と同様の作用を行うことが可能になる。

30

【0022】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、サイフォン管機構の動作基準水位は、呼吸期間周期を満たすように、植物用容器の内部の濾床の体積に応じた水位に設定されてもよい。これにより、濾床の水位変動周期を目的に応じて設定することができる。

【0023】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、複数の各植物用容器は、上面部の少なくとも一部が開放されるようにずらして配置した場合、植物に日光等の光を十分に当てることができる。

40

【0024】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、魚の排泄物や餌を含む原水を濾床に給水する場合、濾床に存在する微生物が魚の排泄物や餌を分解し、植物の栄養源として変換することができる。

【0025】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、飼育水槽から給水ポンプを介して延びる給水管により原水を濾床に供給すれば、新しく給水せずとも繰り返し循環して水を再利用することができる。

【0026】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、吸水部には、濾材吸込みを防止する

50

フィルタを設ければ、吸水部における目詰まりを抑制できる。

【0027】

本発明に係るアクアポニックスシステムにおいて、各植物用容器を鉛直方向に沿って積層状に複数段配置して積層型アクアポニックスシステムとすることで、上部の植物用容器に給水するだけで、順次下方の植物用容器に自動的に給水され、水の浄化効率が向上し、省スペース化が可能となる。

【0028】

本発明に係るアクアポニックスにおいて、各植物用容器を階段状に複数段配置した階段型アクアポニックスシステムとすることで、植物用容器の上面全体が開放され、日光等の光を十分に当てることができる。また、上部の植物用容器に給水するだけで、順次下方の植物用容器に自動的に給水され、水の浄化効率が向上する。

10

【0029】

本発明のアクアポニックスにおいて、各植物用容器を鉛直方向に沿って左右段違いにずらして配置した階層型アクアポニックスシステムとすることで、植物用容器の上面全体が開放され、日光等の光を十分に当てることができる。また、上部の植物用容器に給水するだけで、順次下方の植物用容器に自動的に給水され、水の浄化効率が向上し、省スペース化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】本発明の第1の実施形態である積層型アクアポニックスシステムについての概略図である。

20

【図2】図1における積層型アクアポニックスシステムを示す(a)上面図および(b)側面図である。

【図3】第1の実施形態で用いられる吸水部フィルタを示す図である。

【図4】第1の実施形態で用いられるサイフォン管機構の原理を説明する図である。

【図5】サイフォン管機構の他の構成例を示す図である。

【図6】第1の実施形態におけるアクアポニックスシステムの植物用容器について、水位の時間的変動を示す図である。

【図7】図6における水位の時間的変動について、横軸に時間を取り、縦軸に水位を取って示す図である。

30

【図8】本発明の第2の実施形態である階段型アクアポニックスシステムを示す図である。

【図9】本発明の第3の実施形態である階層型アクアポニックスシステムを示す図である。

【図10】本発明に係る実施の形態におけるアクアポニックスシステムにサイフォン管機構を設けたときの課題を示す図である。

【図11】他の濾床呼吸機構としての管路逆止開放機構の構成図である。

【図12】管路逆止開放機構を用いることで図10における課題解決を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

40

以下に図面を用いて本発明に係る実施の形態につき、詳細に説明する。以下で述べる寸法、形状、濾材の種類、植物用容器の積み重ね段数等は、説明のための例示であって、アクアポニックスシステムの仕様に合わせ、適宜変更が可能である。以下では、全ての図面において対応する要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0032】

図1は、本発明の第1の実施形態である積層型アクアポニックスシステム10aの概略図である。図2は、図1に示す積層型アクアポニックスシステム10aの(a)上面図および(b)側面図である。図1および図2には、XYZ軸を併記した。X方向は直方体である飼育水槽20を上側から見た場合の水平面内での長手方向に沿う方向であり、Y方向は上記飼育水槽20を上側から見た場合の上記X方向と直行する方向であり、Z方向は

50

高さ方向、-Z方向は水が重力によって落下する鉛直方向である。

【0033】

積層型アクアポニックスシステム10aは、魚22と植物34とを同時に育成する水流循環システムである。飼育水槽20の内部に存在する魚22の排泄物と食べ残した餌を水の循環によって植物用容器30へと移動させ、上記排泄物や餌を微生物の分解作用によって植物34の栄養源として変換させると同時に水を浄化させる。

【0034】

積層型アクアポニックスシステム10aは、飼育水槽20と、微生物を有する濾床32を含み植物34を育成する複数段に配置される植物用容器30と、サイフォン管機構40と、飼育水槽20から給水ポンプ24を介して延びる給水管48とを備える。鉛直方向に沿って飼育水槽20は各植物用容器30より下側に位置する。給水管48は、原水給水部50である。本実施形態では、5つの植物用容器30を上段側植物用容器30に対して下段側植物用容器30が完全に重なり合わないよう積み重ねた例を示すが、これに限定されるものではなく2つ~4つ、または6つ以上であってもよい。

10

【0035】

飼育水槽20は、魚22と、飼育水槽20に収容される原水8と、原水8を汲み上げる給水ポンプ24とが収容される。植物用容器30は、濾床32と、濾床32に存在する図示されない微生物と、植物34とが収容される。サイフォン管機構40は、濾床32の内部に吸水部42を有し植物用容器30の外部に排水部44を有する逆U字形管路46を用いた干潟式水供給法を実現する。

20

【0036】

飼育水槽20は、原水8を収容し、魚22を育成するための容器状の構造物である。飼育水槽20の材質は、例えばプラスチック、ガラス、金属などを用いることができ、上記材質を明度など魚22が好む環境状態や、軽量化、作業性など目的に応じて適宜用いることができる。また、飼育水槽20の外形は、直方体、立方体、円柱体、お椀型など適宜目的に応じて用いることができる。例えば、飼育水槽20の外形を直方体とすると、その寸法を縦300mm、横640mm、高さ160mmとすることができる。

【0037】

飼育水槽20は、周壁部と底面部が防水構造で、上面部が大気側に解放されていることが好ましい。なお、上面部は、外敵から魚22を保護するため網目構造の蓋などを適宜設けてもよい。

30

【0038】

魚22は、メダカ、金魚、鮎、香魚、テラピア、鯉、ドジョウ、その他の淡水魚を観賞用として飼育する場合や食用とする場合など目的に応じて適宜用いることができる。また、飼育水槽20の内部にヒータを設置することによりグッピーなどの熱帯魚を用いてもよい。飼育水槽20内の魚22には、適した餌が適宜与えられる。

【0039】

原水8は、飼育水槽20の内部に魚22と共に収容される。また、原水8は微生物によって分解作用が行われた水に魚22の食べ残した餌及び魚22の排泄物を含む。排泄物には尿と固形排泄物とが含まれる。尿には、アンモニア態窒素やアンモニウム態窒素が含まれ、固形排泄物には有機態窒素と、植物34の栄養源としての無機態窒素、リン、カリウム等とが含まれる。尿や固形排泄物は、その量が水中で上昇すると魚22にとって有害であり、水質を低下させることになる。よって、本実施形態では、植物用容器30内の濾床32において原水8を浄化して飼育水槽20の水として再利用する。

40

【0040】

原水8は、植物用容器30内の濾床32に供給することで、微生物による分解作用が行われた処理水4となる。また、処理水4は、下段に位置する植物用容器30内の濾床32においてさらに分解作用が行われるが、このように分解作用させる水を処理対象水6と呼ぶことにする。

【0041】

50

給水ポンプ24は、飼育水槽20から原水8を汲み上げて給水管48を介して最上段の植物用容器30の上方に設けられる原水給水部50に原水8を供給する機能を有する。給水ポンプ24の機能により、水を循環利用することができる。給水ポンプ24の動かし方としては、間欠運転とすることが好ましく、原水8が最上段の植物用容器30に適切量供給されるまで運転を行い、その後は運転を一時停止する。給水ポンプ24によって最上段の植物用容器30に供給された原水8は、サイフォン管機構40によって順次下段の植物用容器30内の濾床32を通過するにつれて水が浄化され、最終的に最下段に位置する飼育水槽20に最終の処理水4が排水される。給水ポンプ24の運転が再び開始され、上記動作が繰り返される。

【0042】

植物用容器30は、有底の枠体であって、その内部に濾床32を收容するための外形を形成し、濾床32を外部から分離し、濾床32に含まれる処理対象水6等を外部に流出しないようにする容器状の構造物である。

【0043】

植物用容器30は、周壁部と底面部が完全な遮液構造でなくてもよいが略防水構造で、上面部が大気側に開放される。底面部において濾床32が接する位置を基準位置として、周壁部の基準位置からの鉛直方向の高さは、基準位置からZ方向に沿って測った濾床厚さよりも大きい値に設定される。

【0044】

植物用容器30の材質は、濾床32を構成する濾材がこぼれ落ちたり処理対象水6が漏水や浸潤することなく收容される材質であればよく、軽量で内部観察が容易であるという観点からポリプロピレン、アクリル等の透明性プラスチック材料を用いることができる。植物用容器30の寸法は、例えばその寸法を縦180mm、横300mm、高さ170mmとすることができる。

【0045】

図2では、最上段の植物用容器を符号30aとし、以下同様に下側に位置する植物用容器を順に符号30b, 30c, 30d, 30eとする。図1および図2に示すように植物用容器30を積層化にする場合は、各植物用容器30に供給する水量を一定にする目的で植物用容器30の寸法を同一にすることが好ましい。サイフォン管機構40が維持され、植物34に適切に給水することができれば異なる寸法でもよい。また、積層化する場合は、各植物用容器30の上面部の一部が開放されるようにずらして配置されることが好ましい。具体的には、植物用容器30a, 30c, 30eは長手方向がY方向に沿い、植物用容器30b, 30dは長手方向がX方向に沿うようにして交互に積み重ねられている。このように鉛直方向に沿って上から順に植物用容器30の配置を交互にすることで上面部の約半分が開放され植物34に日光等の光を十分当てることができる。

【0046】

濾床32は、濾材を植物用容器30の内部空間に敷き詰めたものである。また、場合によっては、異なる種類の濾材を層状に敷き詰めたものでもよい。濾床32は、濾材と微生物とを有し、微生物によってバイオフィームまたは植物根圏微生物群が形成される。植物用容器30に收容される濾床32の体積Vは、濾床厚さDと濾床底面積Sとを用いて、 $V = S \times D$ で示される。ただし濾床32の底面が平面でない場合には、体積は適宜その形状にあった算出式にて求めるものとする。

【0047】

濾材は、軽石、溶岩、小石、砂、ガラスカレット、ハイドロコーン等を目的に合わせて適宜用いることができる。特に、再利用可能である等の観点からガラスカレットを用いることが好ましい。濾材について積層型に用いる際、上段ほど粒径の大きな濾材を用い下段になるに従い小さな粒径の濾材を用いることにより、上段において体積の大きな排泄物や餌を濾過し、水が下段に進むにつれて体積の小さな排泄物や餌を濾過させる。これにより、飼育水槽20より汲み上げられた原水8に含まれる魚22の排泄物や餌を効率よく濾床32内に回収することができる。濾床32において、大きな固形物は濾過され、小さな固

10

20

30

40

50

形物は微生物によって低分子化される。

【 0 0 4 8 】

バイオフィームとは、濾床 3 2 の濾材に付着する微生物の膜である。例えば、水中にある礫や砂には、ぬるぬるした層が付着しているが、この層は、有機物や栄養塩とこれを食べる微生物を含む膜である。この膜がバイオフィームである。植物根圏微生物群とは、濾材に生育する水生植物の根の周りの有機物や栄養塩を食べる微生物の群落である。

【 0 0 4 9 】

ここで、微生物によって分解可能な有機物指標として B O D (生物化学的酸素要求量)がある。B O D は、水中の有機物等の量を、その酸化分解のために微生物が必要とする溶存酸素の量で表したものである。B O D の値が大きいほど、その水質は汚泥していると言 10
える。B O D については、有機物の分解に伴う酸素消費量 (C - B O D) とアンモニア性窒素等、窒素の硝化に伴う酸素消費量 (N - B O D) とを区別することもある。

【 0 0 5 0 】

水質改善を行うには、濾床 3 2 において B O D 酸化菌、硝化菌、脱窒菌の 3 種の細菌がそれぞれ活発に働く必要がある。バイオフィームまたは植物根圏微生物群に含まれる微生物には、B O D 酸化菌、硝化菌、および脱窒菌が含まれる。B O D 酸化菌は、糖類、タンパク質等の有機物を体内に取り込み、その大半を酵素反応によって酸化分解 (有機物 + O₂ → C O₂ + H₂O) する。硝化菌は、水中のアンモニア態窒素およびアンモニウム態窒素を亜硝酸態窒素に、さらには硝酸態窒素に硝化する。硝化された排泄物は植物 3 4 の栄養源となる。また嫌気的環境においては、栄養塩としての硝酸態窒素や亜硝酸態窒素の一部は脱窒菌の働きで窒素ガスとして大気中に揮散されることで富栄養化を抑制する。 20

【 0 0 5 1 】

このように、バイオフィームや植物根圏微生物群に含まれる B O D 酸化菌、硝化菌および脱窒菌を利用することで、原水 8 および処理対象水 6 に含まれる魚 2 2 の排泄物や餌を分解し、植物 3 4 の栄養源を含む処理水 4 とでき、結果として水を浄化することができる。以下では、微生物による低分子化、酸化、硝化等の反応を単に分解作用と呼ぶ。

【 0 0 5 2 】

植物 3 4 は、レタス、キャベツ、トマト、胡瓜、青梗菜、イチゴ、メロン、唐辛子、クレソン、バジル、ミント、球根および草花等目的に応じて適宜育成することができる。特に、複数段積み重ねられる最下段の植物用容器 3 0 には、分解作用が複数回行われ、植物 3 4 の栄養源となる排泄物や餌を多く含まない浄化率の高い処理水 4 が供給されることから、栄養源を多く必要としない球根を育成することが好ましい。 30

【 0 0 5 3 】

サイフォン管機構 4 0 は、干潟式水供給法を実現するものであり、一方端に吸水部 4 2 を有し、他方端に排水部 4 4 を有する逆 U 字形管路 4 6 を用いる。サイフォン管機構 4 0 は、吸水部 4 2 が植物用容器 3 0 の中であって、排水部 4 4 に至る管路が植物用容器 3 0 の底面部を貫通している。底面部を貫通する箇所植物用容器 3 0 から漏水するのを防ぐため、底面部と管路との間にシールパテや O リング等を用いることが好ましい。

【 0 0 5 4 】

吸水部 4 2 は、濾床 3 2 の内部において各植物用容器 3 0 の内部から微生物による分解作用が行われた処理水 4 を吸い出して吸水する吸出口である。 40

【 0 0 5 5 】

また、吸水部 4 2 には、濾材吸込みを抑制する吸水部フィルタ 7 0 が設けられる。図 3 は、吸水部フィルタ 7 0 を示す図である。図 3 に示すように、吸水部フィルタ 7 0 は、外周が網目状の籠の中に、濾材の粒径よりも数倍大きい粒径を有するフィルタ材、あるいは濾材の粒径より小さい孔径を有するスポンジ材を収容したものである。フィルタ材の材質としては、頁岩、ガラスカレット等を用いることができる。籠の網目と、フィルタ材あるいはスポンジ材の粒径の作用によって、濾材がサイフォン管機構 4 0 の管路内径に入り込むことを防止でき、サイフォン管機構 4 0 の吸水部 4 2 における目詰まりを抑制できる。

【 0 0 5 6 】

排水部 4 4 は、濾床 3 2 の外部にあって各植物用容器 3 0 の外部へ吸水部 4 2 より吸水された処理水 4 を排水する排水口であり、かつ隣接する植物用容器 3 0 に対しての給水口としての機能を有する。最下段に位置する植物用容器 3 0 に形成される排水部 4 4 は、処理水 4 が飼育水槽 2 0 へ排水される処理口部である。

【 0 0 5 7 】

次に、図 4 を参照し、サイフォン管機構 4 0 の原理を説明する。サイフォン管機構 4 0 は、基準位置から測った吸水水位 H_1 に開口する吸水部 4 2 を一方端に有し、基準位置から測って吸水水位 H_1 よりも下側の排水水位 $-H_2$ に開口する排水部 4 4 を他方端に有する。吸水部 4 2 と排水部 4 4 とを結ぶ管路の一部が、吸水水位 H_1 より高い所定位置に配置される。逆 U 字形管路 4 6 を水で満たすことにより容器 A にある高さ h に対応する水の容積 V を容器 B に移動させることができる。吸水水位 H_1 に濾床底面積 S を乗じた体積分の水は植物用容器 3 0 に維持されるので、吸水部 4 2 を高さ方向において高い位置に設けることで吸水水位 H_1 が高く設定され、吸水水位 H_1 に濾床底面積 S を乗じて求められる体積分の水を維持することができる。

【 0 0 5 8 】

図 5 は、異なる仕様のサイフォン管機構 4 0 を示す図である。場合によっては、吸水部 4 2 を植物用容器 3 0 の底面部に設けることによって処理水 4 を全量排水することができる。例えば、図 5 に示すように容器 A、容器 B、容器 C の 3 つがあり、容器 B には逆 U 字形管路 4 6 が設けてある。図 5 (a) に示す容器 B において水位 H 、容器 B の水が容器 C に流れ出す水位を動作基準水位 h_0 とする。 $H < h_0$ の場合、容器 B の水は容器 C に移動することができないので、容器 B には流入する水により水位 H が上昇する。しかし図 5 (b) に示すように $H = h_0$ になると管路に水が満たされるので、サイフォンの原理により容器 B 内の水が容器 C に流出し、最終的に水位 $H = 0$ となる。このように吸水部 4 2 を植物用容器 3 0 の底面部に設けることによって処理水 4 を全量排水できる。

【 0 0 5 9 】

図 6 は、サイフォン管機構 4 0 による濾床呼吸作用を示す図である。図 6 (a) ~ (f) の各図は、図 1 の積層型アクアポニックスシステム 1 0 a における、ある一段の植物用容器 3 0 と、濾床 3 2 と、処理対象水 6 と、処理水 4 とを示し、時間経過と共に植物用容器 3 0 における水位 H の変化を示す断面図である。図 7 は、横軸に時間、縦軸に水位 H を取って、図 6 における水位 H の時間変化を示す推移図である。

【 0 0 6 0 】

図 6 (a) は、植物用容器 3 0 に初めて処理対象水 6 が供給された時間 t_a の状態を示す図である。濾床 3 2 の上面に処理対象水 6 が供給されるが、濾床 3 2 の内部には水が含まれておらず、水位 $H =$ 基準位置 (容器底面位置) である。

【 0 0 6 1 】

図 6 (b) は、時間 t_a から時間が経過した時間 t_b の状態を示す図で、処理対象水 6 が濾床 3 2 の内部に浸透しつつある。この時点では、水位 $H =$ 基準位置のままである。

【 0 0 6 2 】

図 6 (c) は、時間 t_b から時間がさらに経過した時間 t_c の状態を示す図である。ここでは、処理対象水 6 が濾床 3 2 の内部に浸透し、濾床 3 2 における魚 2 2 の餌の食べ残しや排泄物等の分解作用が行われながら、植物用容器 3 0 の底面に達し、そこから水位が上昇して、吸水水位 H_1 となった状態である。

【 0 0 6 3 】

図 6 (d) は、時間 t_c から時間がさらに経過した時間 t_d の状態を示す図である。ここでは、濾床 3 2 の上面に処理対象水 6 が無くなり、濾床 3 2 が大気に露出する。そして、濾床 3 2 の内部では、浸透していた処理対象水 6 が濾床 3 2 の内部に広がって拡散し、濾床 3 2 における魚 2 2 の排泄物等の分解作用が行われながら、水位 H が次第に上昇する。

【 0 0 6 4 】

このように、処理対象水 6 が広がることで、濾床 3 2 の体積 V の広い範囲で魚 2 2 の排

10

20

30

40

50

泄物等の分解作用が行われ、水が浄化される。また、濾床 3 2 の内部で水位 H が上昇することで、魚 2 2 の排泄物等の分解作用後に存在する酸素、二酸化炭素、窒素等の空気が、濾床 3 2 の上面の大気に露出する部分から大気に吐出される。これが濾床 3 2 の呼気作用である。図 7 に示すように、呼気作用は、時間 t_c と時間 t_d の間で、濾床 3 2 が大気に露出した時間から開始する。

【 0 0 6 5 】

図 6 (e) は、時間 t_d から時間がさらに経過した時間 t_e において、水位 H が動作基準水位 h_0 に到達した状態を示す図である。このとき、サイフォン管機構 4 0 においても水位 H が動作基準水位 h_0 に到達するので、濾床 3 2 内の処理水 4 は、サイフォン管機構 4 0 の排水部 4 4 から外部に排水される。

10

【 0 0 6 6 】

図 6 (f) は、時間 t_e から時間がさらに経過した時間 t_f の状態を示す図である。ここでは、サイフォン管機構 4 0 の作用によって濾床 3 2 の内部の処理水 4 が外部に排水され尽くして、水位 H が吸水水位 H_1 まで低下する。この水位 H の低下によって、濾床 3 2 の内部には、濾床 3 2 の上面の大気に露出する部分から酸素が吸い込まれる。これが濾床 3 2 の吸気作用である。図 7 に示すように、吸気作用は、時間 t_e と時間 t_f の間で、濾床 3 2 が大気に露出していて水位 H が低下する期間の間継続する。

【 0 0 6 7 】

時間 t_f の状態において、さらに排水部 4 4 は隣接する下段の植物用容器 3 0 へ処理水 4 を処理対象水 6 として供給することで、図 6 (c) とほぼ同様の状態となり、再び水位 H が上昇し、以後、図 6 (d) , (e) , (f) で説明した状態が繰り返される。これを図 7 で説明すると、時間 t_f またはその前後の時間において処理対象水 6 の再供給を行うことで、植物用容器 3 0 の濾床 3 2 は吸気と呼気とを繰り返す。これによって、濾床 3 2 の水位 H の変動が繰り返されるので濾床 3 2 内に酸素が自動供給され、濾床 3 2 内の処理水 4 は酸素を豊富に含む水となり、水質浄化効率が向上する。

20

【 0 0 6 8 】

呼気と吸気の繰り返しの周期である呼吸期間周期 T_0 は、(時間 t_f - 時間 t_c) である。呼吸期間周期 T_0 は、植物用容器 3 0 の濾床 3 2 の体積 V と、濾材の種類、サイフォン管機構 4 0 の動作基準水位 h_0 設定で調整できる。サイフォン管機構 4 0 の呼吸期間周期 T_0 は水耕栽培する植物 3 4 に適した水位となるよう予め定めることが好ましく、呼吸期間周期 T_0 を満たすように、植物用容器 3 0 の内部の濾床 3 2 の体積 V に応じた水位に設定される。また、サイフォン管機構 4 0 の動作基準水位 h_0 は、濾床 3 2 の体積 V を呼吸期間周期 T_0 で除した単位時間当たり平均呼吸速度が遅いほど高い水位に設定することが好ましい。

30

【 0 0 6 9 】

例えば、事例 1 として、植物 3 4 の根腐れ等を考慮する場合、水を多く必要としない植物 3 4 は呼吸期間周期 T_0 (1) を短くする必要がある。これに対し、水を多く必要とする植物 3 4 は呼吸期間周期 T_0 (2) を長くする必要がある。両者濾床 3 2 の体積 V が同じであるとすると、サイフォン管機構 4 0 は、水を多く必要としない植物 3 4 における動作基準水位 h_0 (1) よりも水を多く必要とする植物 3 4 における動作基準水位 h_0 (2) の方を高くする。これにより、水を多く必要とする植物 3 4 における呼吸期間周期 T_0 (2) を、水を多く必要としない植物 3 4 における呼吸期間周期 T_0 (1) よりも長くできる。

40

【 0 0 7 0 】

事例 2 として、同じ植物 3 4 を寸法の異なる植物用容器 3 0 に収容する場合において、処理対象水 6 を同じ時間で処理したいとする。ここで、大きい寸法 M_1 の濾床 3 2 の体積 $V_1 = (\text{濾床底面積 } S_1 \times \text{濾床厚さ } D_1)$ 、小さい寸法 M_2 の濾床 3 2 の体積 $V_3 = (\text{濾床底面積 } S_1 \times \text{濾床厚さ } D_3)$ 、濾床底面積 $S_1 = \text{濾床底面積 } S_2$ 、濾床厚さ $D_3 > \text{濾床厚さ } D_1$ とする。この場合、寸法 M_1 の呼吸期間周期 T_0 (1) と寸法 M_2 の呼吸期間周期 T_0 (3) を同じにすればよい。しかし、体積 $V_3 > \text{体積 } V_1$ であるので、サイフォン管機構 4 0 におい

50

て、寸法 M_1 における動作基準水位 h_0 (1) よりも寸法 M_2 における動作基準水位 h_0 (3) の方を高くする。

【 0 0 7 1 】

このように、植物用容器 3 0 の濾床 3 2 の体積 V 、濾床底面積 S 、濾床厚さ D に応じて、サイフォン管機構 4 0 の動作基準水位 h_0 の設定を行うことで、濾床 3 2 の水位変動の周期を植物用容器 3 0 の目的に応じて設定できる。

【 0 0 7 2 】

なお、上記の水位変動と濾床呼吸作用の説明は、比較的粒径の粗い濾材を用いる場合である。比較的粒径の粗い濾材は、処理対象水 6 が濾床 3 2 の上面に滞留せず、濾床 3 2 内を浸透する。すなわち、(濾床 3 2 における単位時間当たり浸透流量) > (処理対象水 6 の単位時間当たり給水流量) である。また、これとは逆に (濾床 3 2 における単位時間当たり浸透流量) < (処理対象水 6 の単位時間当たり給水流量) となる粒径の細かい濾材を用いた場合には、処理対象水 6 は、給水と同時に濾床 3 2 内に全部が浸透しきれず、濾床 3 2 の上面に一部が滞留する。滞留する水量が多いと、植物用容器 3 0 から水が溢れ出す可能性がある。また、滞留が長時間であると、植物 3 4 の毛根に悪影響を与え、根腐れを起こす可能性が考えられる。そのため、(濾床 3 2 における単位時間当たり浸透流量) と (処理対象水 6 の単位時間当たり給水流量) とのバランスを考慮して濾材が選定されることが好ましい。

【 0 0 7 3 】

次に、図 1 および図 2 を参照して、積層型アクアポニックスシステム 1 0 a における水の移動について説明する。まず、給水ポンプ 2 4 の運転を開始し、飼育水槽 2 0 内の原水 8 が第 1 の処理対象水 6 として最上段の植物用容器 3 0 a に満たされたら運転を停止する。最上段の植物用容器 3 0 a に収容される第 1 の処理対象水 6 は、分解作用後に第 1 の処理水 4 として、図 1 には示したが図 2 では図示されない吸水部 4 2 a より吸水され、植物用容器 3 0 a の一段下側にある植物用容器 3 0 b に排水部 4 4 a より排水される。その後、植物用容器 3 0 b に収容される第 2 の処理対象水 6 は、分解作用後に第 2 の処理水 4 となり吸水部 4 2 b より吸水され、植物用容器 3 0 b の一段下側にある植物用容器 3 0 c に排水部 4 4 b より排水される。このように排水された処理水 4 は、順次下段の植物用容器 3 0 に処理対象水 6 として排水される。以下同様のことが行われ、最終的には、植物用容器 3 0 e に収容される分解作用後の第 5 の処理水 4 は図示されない吸水部 4 2 e より吸水され、飼育水槽 2 0 に処理口部である排水部 4 4 e より最終の処理水 4 として排水される。

【 0 0 7 4 】

このようにサイフォン管機構 4 0 によって水は順次下段の植物用容器 3 0 へと自動的に鉛直方向へ落下し、最終的には、最下段にある飼育水槽 2 0 に魚 2 2 の排泄物等が取り除かれて浄化された最終の処理水 4 が排水される。飼育水槽 2 0 に排水された最終の処理水 4 は、時間を経て魚 2 2 の排泄物等を含む原水 8 となる。

【 0 0 7 5 】

最上段の植物用容器 3 0 a 内の水が枯渇すると給水ポンプ 2 4 を再び運転させる。給水ポンプ 2 4 の運転により原水 8 を汲み上げ、最上段の植物用容器 3 0 a に供給することで水が循環される。水は、気化あるいは植物 3 4 より蒸散することがあるため、その減量分として適宜水道等から灌水することも可能である。

【 0 0 7 6 】

上述した本実施形態の積層型アクアポニックスシステム 1 0 a によれば、植物用容器 3 0 a , 3 0 c , 3 0 e を長手方向が Y 方向に沿うように、植物用容器 3 0 b , 3 0 d を長手方向が X 方向に沿うようにして交互にずれて積み重ねられている。これにより、植物用容器 3 0 a の全面および植物用容器 3 0 b ~ 3 0 e の上面部の約半分が大気側に開放され植物 3 4 に日光等の光を十分当てることができ省スペース化される。また、各植物用容器 3 0 の底面部に逆 U 字形管路 4 6 の管路の一部が貫通できる穴を設け、鉛直方向に沿って上から順に植物用容器 3 0 の配置を交互にすることで複数のサイフォン管機構 4 0 の設置

10

20

30

40

50

が容易になり水の浄化効率が向上する。

【0077】

次に、図8を参照して、本発明の第2の実施形態である階段型アクアポニックスシステム10bについて説明する。図8は、階段型アクアポニックスシステム10bの(a)上面図および(b)側面図である。植物用容器30は、例えば、直径100mm、高さ65mmのプラスチック製円柱容器を用いる。植物用容器30が階段型となるように高さの異なる2つの台座を用いるのが好ましい。サイフォン管機構40には逆U字形管路46を用いることができる。飼育水槽20は、例えば、直径300mm、高さ150mmの亚克力製円柱型容器を用いる。魚22には、第1の実施形態と同様のものを用いることができる。

10

【0078】

濾材としては、水耕栽培用ハイドロコーン(有限会社三浦園芸製)を用いることができる。ハイドロコーンは、多孔質構造であり適度の水分と空気とを保持する。また低密度で水に浮かぶものもあるほど軽量である。ハイドロコーンは、植物34が根から出す酸を吸収し根を活性化するので、水だけで栽培するよりも多様な植物34を栽培することができる。

【0079】

植物用容器30の配置について、例えば、直径360mm、厚さ3mmの扇形の亚克力板60の上に高さ140mmの台座62と高さ70mmの台座64とを設け3つの植物用容器30が階段状となるように配置することができる。例えば、高さ140mmの台座62の上に最上段としての植物用容器30aを配置し、植物用容器30aに隣接して高さ70mmの台座64の上に植物用容器30bを配置し、さらに植物用容器30bに隣接して亚克力板60の上に植物用容器30cを配置する。植物用容器30を階段状に配置した亚克力板60は飼育水槽20の上に設置する。

20

【0080】

サイフォン管機構40は、植物用容器30の底面に管路が貫通する穴を設けず、最上段の植物用容器30aと2段目の植物用容器30bとの間に跨ぐようにサイフォン管機構40aを配置してもよい。また、2段目の植物用容器30bと3段目の植物用容器30cとの間にサイフォン管機構40bを配置し、さらに3段目の植物用容器30cと最下段の飼育水槽20との間にサイフォン管機構40cを配置することができる。

30

【0081】

最上段の植物用容器30aへの給水法としては、コップや杓子にて飼育水槽20から最上段の植物用容器30aに魚22の排泄物等が混入した原水8を灌水することができる。その後は上述したサイフォン管機構40によって自動的に順次鉛直方向へ落下し水が効率的に浄化されるが、飼育水槽20において水の減量が見られた場合、最上段の植物用容器30aに適宜灌水すればよい。

【0082】

上述した本実施形態の階段型アクアポニックスシステム10bによれば、植物用容器30を階段状に配置して植物用容器30a, 30b, 30cの上面部全体を開放する。これにより、植物34に日光等の光を十分当てることができ、且つサイフォン管機構40の設置が容易になる。

40

【0083】

次に、図9を参照して、本発明の第3の実施形態である窓掛け用の階層型アクアポニックスシステム10cについて説明する。図9は、階層型アクアポニックスシステム10cの斜視図である。図9には、図1と同様にXYZ軸を併記した。窓掛け用の階層型アクアポニックスシステム10cは、例えば、横660mm、高さ800mmの透明板66に植物用容器30を鉛直方向に沿って左右段違いに配置した階層型となるよう配置することができる。植物用容器30は、例えば、縦120mm、横300mm、高さ150mmのプラスチック製容器を用いる。飼育水槽20には、例えば、直径450mm、高さ160mmの陶器製お椀型容器を用いる。サイフォン管機構40、濾材および魚22は、第2の実

50

施形態と同じものを用いてもよい。また、本実施形態では、窓掛け用としたが壁掛け用でもよい。

【0084】

植物用容器30の配置について、最上段と3段目と5段目の植物用容器30a, 30c, 30eはX方向において同じ位置にあり、2段目と4段目の植物用容器30b, 30dはX方向において同じ位置にある。つまり、X方向において、植物用容器30は奇数段と偶数段とが交互にずれて配置されている。

【0085】

上述した本実施形態の階層型アクアポニックスシステム10cによれば、鉛直方向に沿って上から順に植物用容器30の配置を交互にすることで植物34に日光等の光を十分与えることができ省スペース化され、サイフォン管機構40の設置が容易になる。また1段から5段までの植物用容器30の容量が同一であるので、最上段から最下段の植物用容器30に供給される水の量はほぼ等しい。

【0086】

なお、上述した積層型、階段型、および階層型のアクアポニックスシステム10において、飼育水槽20が設置されない場合にはそれぞれの植物用容器30が花壇となりうる。したがって積層型、階段型、および階層型花壇への応用が可能であり、水の供給法として本実施形態のサイフォン管機構40を利用することにより、上部花壇にのみ散水することで順次それ以降の花壇に給水ができる。

【0087】

ところで、サイフォン管機構40は、一方端に吸水部42、他方側に排水部44を有する逆U字形管路46である。一方端の吸水部42から吸水された水の管路内水位は上昇し、管路から空気を追い出しながら水位が逆U字形管路46の最高点である動作基準水位 h_0 に達すると吸水水位 H_1 と排水水位 $-H_2$ との間の水位差によって排水が行われ水位が下降する(図4及び図5参照)。サイフォン管機構40を濾床32の排水に適用することで、簡単に水位を変動させることができる。仮に、サイフォン管機構40において、水位上昇速度が緩やかであって、濾床32の水位が動作基準水位 h_0 近傍になっても、まだ管路に空気が残っていると、水位を変動させることができず、サイフォンの原理が働かない。水位上昇速度が緩やかな例は、濾床32における水の浸透速度が小さいときである。また、広い底面積を有する濾床32において給水量に対し濾床体積 V が大きいときも水位上昇速度が緩やかになる。

【0088】

図10は、濾床32における水位上昇速度が緩やかな場合に、濾床32の水位が動作基準水位 h_0 近傍に留まってしまう例を示す図である。図10(a)は、濾床32の水位 H_{11} がまだサイフォン管機構40の逆U字形管路46の最大高さに達していないときである。図10(b)は、図10(a)の水位 H_{11} からゆっくりと水位が上昇して水位 H_{12} となる直前の状態のときである。水位 H_{12} は、逆U字形管路46の最大高さにおける管の下側高さである。水位 H_{12} は、水位上昇速度が適当に速いときにサイフォン管機構40が動作する動作基準水位 h_0 に相当する。図10(a), (b)においては、排水部44から排水がまだ行われない。

【0089】

図10(c)は、図10(b)状態からゆっくりと水位が上昇して水位 H_{12} を越えた水位 H_{13} となったときである。このとき、濾床32の水位がゆっくりと上昇するために、逆U字形管路46の最大高さの部分には、まだ空気が追い出されないで残っている。そこで、水位 H_{12} を越えた分の処理水4は滴水7として、逆U字形管路46の内壁を伝って少しずつ滴下される。これにより、濾床32の水位は低下し、水位 H_{12} まで下がると、滴水7の排水が止まる。

【0090】

図10(d)は、一旦濾床32の水位が水位 H_{12} まで下がった後に、給水等によって再上昇して水位 H_{13} となったときである。このときも図10(c)のときと同様に、水位が

10

20

30

40

50

ゆっくりと上昇するために、逆U字形管路46の最大高さの部分には、まだ空気が追い出されずに残る。そこで、水位 H_{12} を越えた分の処理水4は滴下水7として、逆U字形管路46の内壁を伝って少しずつ滴下される。これにより濾床32の水位は低下し、水位 H_{12} まで下がると、滴下水7の排水が止まる。

【0091】

図10(c)及び図10(d)に示すように、逆U字形管路46の最大高さの部分に空気が残った状態で、水位の上昇と排水が繰り返されるので、濾床32の水位は、水位 H_{12} 近傍に留まったままとなり、サイフォンの原理が働かない。

【0092】

図11は、濾床32の水位がゆっくりと上昇する場合でも、水位変動が可能な濾床呼吸機構としての管路逆止開放機構100の構成図である。管路逆止開放機構100は、濾床32の水位が動作基準水位 h_0 に達するまでは、吸水部72と排水部74とを結ぶ管路部を遮断し、水位が動作基準水位 h_0 に達すると吸水部72と排水部74とを結ぶ管路部を開放する。

【0093】

管路逆止開放機構100は、植物用容器30に接続して設けられる機構で、中間水槽102、中間水槽102を支持する支持台120、支持台120の下部に設けられる排水台122を含む。

【0094】

中間水槽102は、濾床32の水位に応じた処理水4を一時的に收容する水槽である。中間水槽102の内容積は、植物用容器30の内容積よりも小さい。一例を示すと、中間水槽102の内容積は、植物用容器30の内容積の1%以下である。好ましくは、0.1%~1%程度とすることがよい。

【0095】

連通管104は、植物用容器30の底面に設けられる吸水部72を一方端に有し、中間水槽102の底面に設けられた給水部76を他方端に有する管路である。中間水槽102の底面の位置は、基準位置Oよりも下方の $-H_3$ である。このように、吸水部72は、給水部76よりも $+H_3$ 高い位置に設けられるので、植物用容器30に処理水4が含まれるとき、連通管104によって、中間水槽102には植物用容器30内に收容される濾床32の水位と同じ水位で処理水4が收容される。

【0096】

中間水槽102の中に高さ方向に立設される水位管106は、動作基準水位 h_0 の高さ位置に上部開口80を有し、下部開口82が排水台122の内部に向けて設けられる管路である。水位管106は、濾床32の水位がゆっくりと上昇して動作基準水位 h_0 を越えたときに、越えた分の処理水4を上部開口80に導入し、管路内壁を伝わらせて滴下水7として下部開口82から排水台122の内部に向けて滴下させる。

【0097】

中間水槽102の中に高さ方向に立設される逆止管108は、ロート状に開口する上部弁座110を一方端に有し、他方端に下部開口78を有する管路である。上部弁座110は、中間水槽102の内部空間に配置され、下部開口78は、排水台122の内部に向かって開口する。

【0098】

逆止弁体112は球体状外形を有し、自重により上部弁座110のロート状に開口する円錐状斜面に受け止められる。逆止管108の上部弁座110と逆止弁体112とで逆止弁を構成する。逆止弁体112の球体状の外形が上部弁座110のロート状の円錐状斜面に受け止められて接触しているときは、逆止管108の管路が遮断される。遮断状態のときは、中間水槽102の内部空間に処理水4が満たされていても、逆止弁の作用によって、処理水4は排水台122の内部空間に流ることがない。逆止弁体112の球体状の外形が上部弁座110のロート状の円錐状斜面から離間するときは、逆止管108の管路が開放される。開放状態のときに、中間水槽102の内部空間に処理水4が満たされている

10

20

30

40

50

と、上部弁座 110 のロート状の開口から逆止管 108 に処理水 4 が流れ込み、下部開口 78 から排水台 122 の内部空間に向かって流れ落ちる。

【0099】

上部弁座 110 のロート状の円錐状斜面において逆止弁体 112 である球体が接触する高さ位置は、基準位置 O よりも下方の $-H_4$ である。球体が接触する高さ位置 $-H_4$ は、中間水槽 102 の底面位置の $-H_3$ よりも上方の位置である。したがって、逆止管 108 が開放状態になって中間水槽 102 の内部空間にある処理水 4 が排水台 122 の内部空間に流れ落ちて、中間水槽 102 の水位は $-H_4$ よりも低くならないが、基準位置 O よりも低い水位となる。これにより、逆止管 108 が開放状態になって中間水槽 102 の内部空間にある処理水 4 が排水台 122 の内部空間に流れ落ちると、濾床 32 の水位は、基準位置 O まで下がる。

10

【0100】

中間水槽 102 と排水台 122 との間の支持台 120 は、連通管 104 を配置し、水位管 106 と逆止管 108 を貫通させて支持する台部材である。支持台 120 は、中間水槽 102 の一部、あるいは排水台 122 の一部としてもよい。

【0101】

排水台 122 は、中間水槽 102 の下方に設けられる防水構造の箱体である。排水台 122 の上面は支持台 120 に覆われているが、水位管 106 の下部開口 82 と逆止管 108 の下部開口 78 とが開口する。また、排水台 122 の一側面の下方側に排水部 74 が設けられる。排水台 122 は、濾床 32 の水位が動作基準水位 h_0 に到達したときに、中間水槽 102 から水位管 106 または逆止管 108 を経由して流れてくる処理水 4 を受け止め、その後、排水部 74 から外部に排水する防水箱体である。

20

【0102】

排水台 122 の内部空間に設けられる三角バケツ 124 は、回転中心 126 の周りに回転可能な貯水バケツである。三角バケツ 124 の開口する上面は、水位管 106 の下部開口 82 に対向して配置される。水位管 106 の管路内壁を伝って下部開口 82 から滴下する滴下水 7 は、三角バケツ 124 によって受け止め貯水される。

【0103】

中間水槽 102 の上部縁に固定されて立設される支持柱 130 は、先端側の回転中心 132 でレバー体 134 を回転可能に支持するレバー支持体である。レバー体 134 は、回転中心 132 を挟んで、一方端に引張ロープ 136 の一方端が接続され、他方端に錘吊りロープ 138 を介して錘 140 が吊下げられる。レバー体 134 の他方端側において、回転中心 132 と他方端との間の中間位置に球体吊りロープ 142 の一方端が接続される。球体吊りロープ 142 の他方端は、逆止弁体 112 である球体に接続される。

30

【0104】

錘 140 は、引張ロープ 136 からの引張力により、レバー体 134 を回転中心 132 周りに回転させ、他方端を下方に引き下げる下方復帰錘である。レバー体 134 が下方にある状態を下方安定状態と呼ぶ。レバー体 134 の下方安定状態では、球体吊りロープ 142 がやや弛み状態となって、逆止弁体 112 の球体状の外形が上部弁座 110 のロート状の円錐状斜面に受け止められて接触する。図 11 では、下方安定状態における各要素の状態を実線で示した。

40

【0105】

引張ロープ 136 の他方端は、三角バケツ 124 における回転中心 126 とは反対側の先端部に接続される。三角バケツ 124 に滴下水 7 が貯水されていない空状態のときは、三角バケツ 124 の先端部は、引張ロープ 136 によって引っ張り上げられる。よって、三角バケツ 124 は、水位管 106 の下部開口 82 から滴下する滴下水 7 を貯水し得る状態である。

【0106】

上記構成の作用について図 12 を用いて説明する。図 12 (a) ~ (d) は、濾床 32 の水位と、管路逆止開放機構 100 の作用の関係を示す図である。

50

【 0 1 0 7 】

図 1 2 (a) は、サイフォン管機構 4 0 における図 1 0 (a) に対応する図で、濾床 3 2 の水位が H_{11} のときを示す。水位管 1 0 6 の上部開口 8 0 の高さは、動作基準水位 h_0 に設定され、 $H_{11} < h_0$ である。したがって、水位管 1 0 6 に処理水 4 は流れ込まず、三角バケツ 1 2 4 は空状態である。三角バケツ 1 2 4 が空状態のときは、レバー体 1 3 4 は下方安定状態にあり、球体吊りロープ 1 4 2 はやや弛み、逆止弁体 1 1 2 である球体は、逆止管 1 0 8 の上部弁座 1 1 0 の上部開口を塞ぐ。これにより、逆止管 1 0 8 は遮断状態となり、中間水槽 1 0 2 の処理水 4 は排水台 1 2 2 へ流れない。

【 0 1 0 8 】

図 1 2 (b) は、サイフォン管機構 4 0 における図 1 0 (b) に対応する図で、濾床 3 2 の水位が上昇し、水位 H_{12} に達する直前のときを示す。水位 H_{12} は、水位管 1 0 6 の上部開口の高さに対応する水位で動作基準水位 h_0 と同じ、 $H_{12} = h_0$ である。この状態では、まだ水位管 1 0 6 に処理水 4 が流れ込まない。

【 0 1 0 9 】

図 1 2 (c) は、サイフォン管機構 4 0 における図 1 0 (c) に対応する図で、濾床 3 2 の水位が動作基準水位 h_0 を超えて水位 H_{13} となったときを示す。 $H_{13} > h_0 = H_{12}$ であるので、中間水槽 1 0 2 において動作基準水位 h_0 を越える処理水 4 は、水位管 1 0 6 の管路内壁を伝って滴下水 7 として下部開口 8 2 から滴下し、排水台 1 2 2 の内部の三角バケツ 1 2 4 によって受け止め貯水される。この段階では、三角バケツ 1 2 4 に溜まった滴下水 7 の質量がまだ少なく、引張ロープ 1 3 6 の引張力が不十分で、レバー体 1 3 4 は下方安定状態を維持する。

【 0 1 1 0 】

処理水 4 が水位管 1 0 6 の管路内壁を伝って滴下水 7 として下部開口 8 2 から継続して滴下すると、三角バケツ 1 2 4 に貯水された滴下水 7 の質量が次第に増加する。三角バケツ 1 2 4 に貯水された滴下水 7 の質量が閾値質量以上になると、回転中心 1 2 6 周りに三角バケツ 1 2 4 が回転する。三角バケツ 1 2 4 が回転すると、これに伴い、引張ロープ 1 3 6、レバー体 1 3 4、錘吊りロープ 1 3 8、錘 1 4 0、球体吊りロープ 1 4 2、逆止弁体 1 1 2 の位置状態等が変わる。図 1 1 に示すように、三角バケツ 1 2 4 が回転した後のこれらの要素の変化後の状態を二点鎖線で示し、変化後の要素の符号を引張ロープ 1 3 7、レバー体 1 3 5、錘吊りロープ 1 3 9、錘 1 4 1、球体吊りロープ 1 4 3、逆止弁体 1 1 3 とした。

【 0 1 1 1 】

三角バケツ 1 2 4 に貯水された滴下水 7 の質量が閾値質量以上になると、図 1 2 (d) に示すように、三角バケツ 1 2 4 が三角バケツ 1 2 5 の状態となる。引張ロープ 1 3 6 は三角バケツ 1 2 5 側に引っ張られ、引張ロープ 1 3 7 の状態になる。引張ロープ 1 3 6 が引張ロープ 1 3 7 の状態になると、錘 1 4 0 の質量に抗してレバー体 1 3 4 が回転中心 1 3 2 の周りに回転し、レバー体 1 3 5 の状態となる。これに伴い、錘吊りロープ 1 3 8 は錘吊りロープ 1 3 9 の状態となり、錘 1 4 0 は高さ方向に上昇して錘 1 4 1 の状態となる。

【 0 1 1 2 】

レバー体 1 3 4 がレバー体 1 3 5 の状態になると、球体吊りロープ 1 4 2 は高さ方向に引っ張り上げられて球体吊りロープ 1 4 3 の状態となり、逆止弁体 1 1 2 である球体は、逆止弁体 1 1 3 である球体の状態となる。この状態で、逆止弁体 1 1 3 である球体は逆止管 1 0 8 の上部弁座 1 1 0 から離間する。これにより、逆止管 1 0 8 の上部弁座 1 1 0 は開放状態となり、処理水 4 が逆止管 1 0 8 を経て排水台 1 2 2 に向かって流れ込む。排水台 1 2 2 に流れ込んだ処理水 4 は、排水台 1 2 2 の排水部 7 4 から処理水 4 として排水される。

【 0 1 1 3 】

これに伴い、中間水槽 1 0 2 の水位が低下し、連通管 1 0 4 を介して濾床 3 2 の水位も低下する。図 1 2 (d) では低下した濾床 3 2 の水位を H_{14} で示した。逆止管 1 0 8 から

10

20

30

40

50

は引き続き排水台 1 2 2 に向かって処理水 4 が流れるので、時間が経過するに従い、濾床 3 2 の水位はさらに低下する。このようにして、濾床 3 2 の水位を変動させることができる。

【 0 1 1 4 】

三角バケツ 1 2 4 に貯水された滴下水 7 の質量が閾値質量以上となって三角バケツ 1 2 5 の状態になるまでの間は、濾床 3 2 の水位はほとんど変動せず、滞留状態である。この滞留状態の継続期間である滞留期間 T_s は、三角バケツ 1 2 4 の貯水容量、三角バケツ 1 2 4 における回転中心 1 2 6 の偏心位置、レバー体 1 3 4 における後述のレバー比、錘 1 4 0 の質量等によって設定できる。なお、レバー体 1 3 4 におけるレバー比とは、レバー体 1 3 4 の長手方向に沿って、錘吊りロープ 1 3 8 が接続される位置と回転中心 1 3 2 と

10

【 0 1 1 5 】

濾床 3 2 の水位が動作基準水位 h_0 である状態から基準位置 0 まで低下するのに要する期間である排水期間は、図 6 で説明した吸気期間 (時間 t_f - 時間 t_e) に相当する。呼吸期間周期 T_0 を短くしたいときには、吸気期間に対し滞留期間を短くする。例えば、滞留期間は、吸気期間の 1 % から 10 % 程度とすることがよい。

【 0 1 1 6 】

吸気期間は、濾床 3 2 内の処理水 4 の水位が低下して排水されるのに要する期間である。これに対し、呼気期間は、濾床 3 2 に処理対象水 6 が浸透し、その後濾床 3 2 内で水位が動作基準水位 h_0 に上昇するまでの期間である。この水位変化の相違によって、同じ濾床厚さ D であっても、一般的には、呼気期間 > 吸気期間である。一例として、呼気期間 = (吸気期間 $\times 2$) とすると、呼気期間 = 4 8 時間として、吸気期間 = 2 4 時間である。滞留期間は、吸気期間の 1 % とすると、0 . 2 4 時間で、約 1 5 分である。さらなる例として、呼気期間において、約 1 5 分の間に濾床 3 2 の水位が 1 5 mm 上昇するとして、濾床 3 2 の面積 1 m^2 に約 1 5 mm を乗じた体積 $0 . 0 1 5 \text{ m}^3$ の処理水 4 が水位管 1 0 6 を通って滴下水 7 として三角バケツ 1 2 4 に滴下する。この体積の滴下水 7 の質量が三角バケツ 1 2 4 の閾値質量となるように他の条件を定めれば、所望の滞留期間とできる。

20

【 0 1 1 7 】

このように、管路逆止開放機構 1 0 0 は、濾床 3 2 の水位に依存して、吸水部 7 2 から排水部 7 4 の間に設けられる逆止管 1 0 8 の管路を遮断状態から開放状態に遷移する水位開放型の逆止弁を備える。上記の例では、濾床 3 2 の水位が動作基準水位 h_0 から約 1 5 mm 上昇したタイミングで、逆止弁が遮断状態から開放状態に遷移する。管路逆止開放機構 1 0 0 は、滞留期間が経過すれば濾床 3 2 の水位を低下させるので、サイフォン管機構 4 0 のように滞留期間がずっと継続して水位が固定したままにならない。

30

【 0 1 1 8 】

滞留期間は、呼気期間から吸気期間へ遷移する期間でもある。滞留期間中は、濾床 3 2 水位は、動作基準水位 h_0 に固定したまま、大気から濾床 3 2 への空気供給が行われな

40

【 0 1 1 9 】

水位開放型の管路逆止開放機構 1 0 0 としては、三角バケツ 1 2 4 の貯水水量の検出を電氣的に行い、その信号によって電気式の逆止弁を動作させる構成とすることもできる。この場合には、電気式計測装置と電気式逆止弁と電気式制御装置等を要し、これらを動作させる電源が必要となる。図 1 1 の管路逆止開放機構 1 0 0 は、電源を必要としない機構で構成されるので、電源供給が困難な環境等でも利用が可能である。

【 符号の説明 】

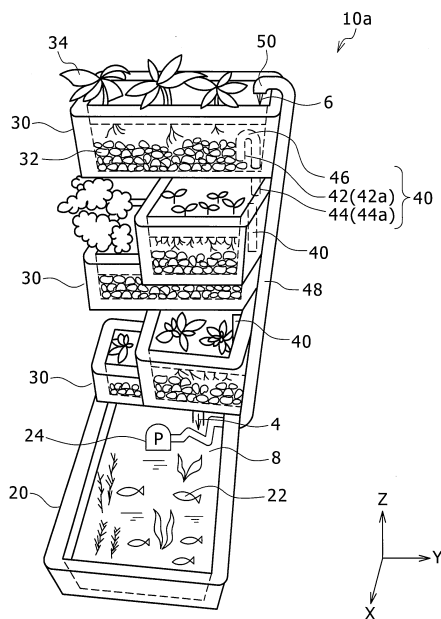
【 0 1 2 0 】

50

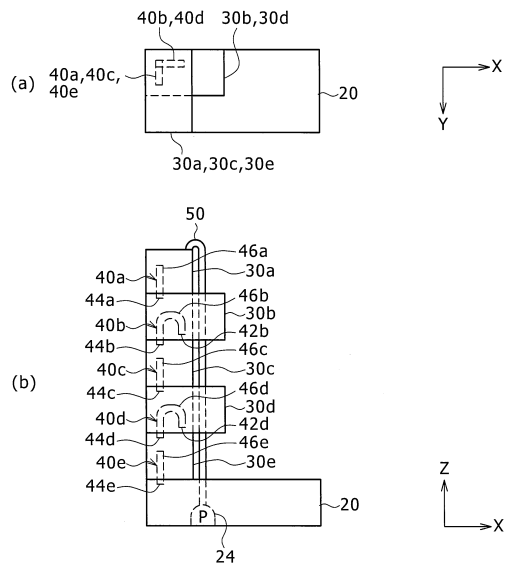
4 処理水、6 処理対象水、7 滴下水、8 原水、10a, 10b, 10c アポニックスシステム、20 飼育水槽、22 魚、24 給水ポンプ、30, 30a, 30b, 30c, 30d, 30e 植物用容器、32 濾床、34 植物、40, 40a, 40b, 40c, 40d, 40e サイフォン管機構、42 吸水部、44 排水部、46 逆U字形管路、48 給水管、50 原水給水部、60 アクリル板、62, 64 台座、70 吸水部フィルタ、72 (管路逆止開放機構の)吸水部、74 (管路逆止開放機構の)排水部、76 給水部、78 (逆止管の)下部開口、80 (水位管の)上部開口、82 (水位管の)下部開口、100 管路逆止開放機構、102 中間水槽、104 連通管、106 水位管、108 逆止管、110 上部弁座、112, 113 逆止弁体、120 支持台、122 排水台、124, 125 三角バケツ、126 (三角バケツの)回転中心、130 支持柱、132 (レバー体の)回転中心、134, 135 レバー体、136, 137 引張ロープ、138, 139 錘吊りロープ、140, 141 錘、142, 143 球体吊りロープ。

10

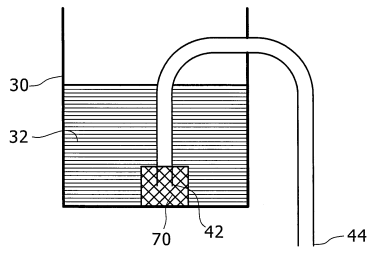
【図1】



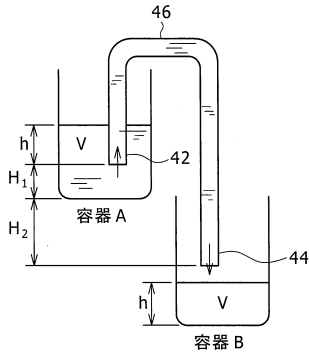
【図2】



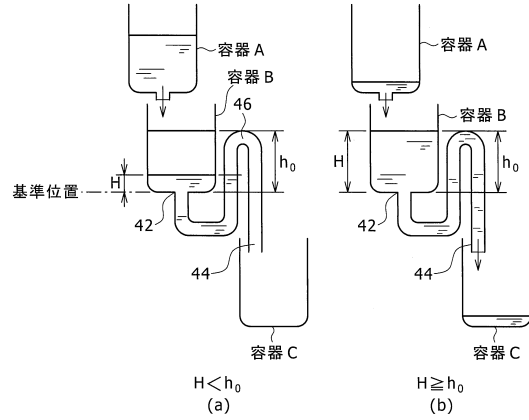
【 図 3 】



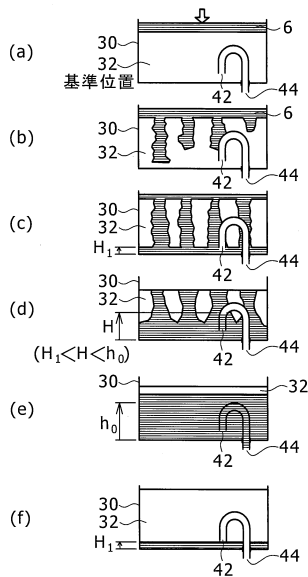
【 図 4 】



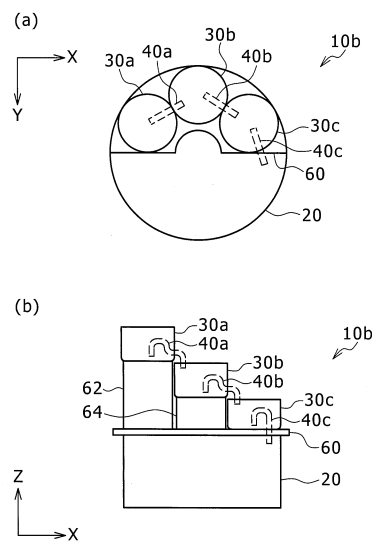
【 図 5 】



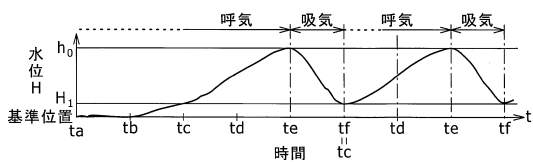
【 図 6 】



【 図 8 】



【 図 7 】



フロントページの続き

特許法第30条第2項適用 1(1)開催日 平成27年2月7日 (2)集会名、開催場所 平成26年度
第53回 機械工学科 卒業研究発表講演会 福島県郡山市田村町徳定字中河原1 日本大学工学部 第3会場
7066号室 材料工学研究室、創成学研究室 (3)公開者名 今井 義宜、渡邊 耀介、白川 裕太、吉
仲 俊樹 (4)発明の内容 平成26年度 第53回 機械工学科 卒業研究発表講演会にて、今井義宜及び
渡邊耀介が中野和典及び橋本純が発明した、干潟を模した小型排水浄化装置の開発 - 第1報 浄化装置の試作 -
について、白川裕太及び吉仲俊樹が、中野和典及び橋本純が発明した、干潟を模した小型排水浄化装置の開発 -
第2報 従来型の小型排水浄化装置との比較実験 - について公開した。 2(1)発行日 平成27年2月7日
(2)発行所 日本大学工学部 機械工学科 (3)刊行物名 平成26年度 第53回 機械工学科 卒業
研究発表講演会講演予稿集、第118頁~第121頁、日本大学工学部 機械工学科

(56)参考文献 特開昭61-111640(JP,A)
特開平02-171125(JP,A)
実開平06-034434(JP,U)
実開平05-015750(JP,U)
特開平02-004411(JP,A)
登録実用新案第3158233(JP,U)
実開昭59-016373(JP,U)
特開昭63-087920(JP,A)
米国特許出願公開第2013/0047508(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A01G 9/00 - 9/02
A01G 31/00 - 31/06
A01K 63/00 - 63/04