

明 細 書

発明の名称：

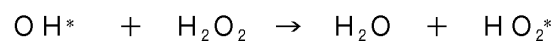
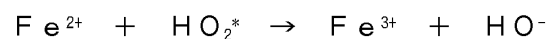
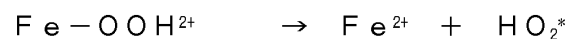
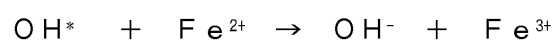
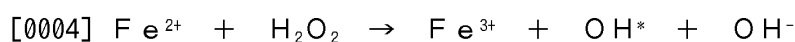
不要物質除去装置及び不要物質除去方法、並びに、分離装置及び分離方法
技術分野

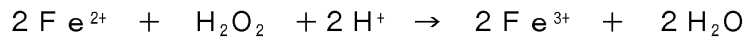
[0001] 本開示は、除去すべき不要物質を含む液体から不要物質を除去するための不要物質除去装置及び不要物質除去方法に関し、また、分離すべき物質を含む液体から物質を分離するための分離装置及び分離方法に関する。

背景技術

[0002] 除去すべき不要物質を含む液体から不要物質を除去するための除去方法の1つとして、活性炭から構成されたフィルタに除去すべき不要物質を含む液体を通過させ、不要物質を活性炭に吸着させる方法が知られている。このような方法にあつては、不要物質が吸着した活性炭を再生する必要がある。再生方法として、低酸素ガス雰囲気下での加熱再生方法があるが、活性炭の性能回復が低いといった問題がある。また、高酸素ガス雰囲気下での加熱再生方法もあるが、活性炭に含まれるマイクロ細孔が加熱再生の影響を受け、性能劣化が生じ易いといった問題がある。

[0003] 除去すべき不要物質を含む液体から不要物質を除去するための除去方法の別の方法として、フェントン試薬を用いた、以下のフェントン反応に基づく方法が知られている。尚、上付き文字の「*」はラジカルを示している。





[0005] 尚、上記の式（１）において、「有機物」が除去すべき不要物質であり、式（１）によって生成物が生成し、この生成物が式（１）の左辺における「有機物」と置き換わり、式（１）が、次々に繰り返して進行し、最終的に、例えば CO_2 と水に分解され、あるいは又、低分子の窒素化合物と水に分解される。

[0006] 電気化学反応とフェントン反応を組み合わせたエレクトロ・フェントン反応も知られている（例えば、国際公開公報WO 2017/014695 A1 参照）。エレクトロ・フェントン反応にあつては、陽極と陰極との間に除去すべき不要物質を含む液体を流す。そして、陰極において、



といった反応に基づき、 H_2O_2 を生成させる。

[0007] また、２つの電極によって通液型キャパシタを構成し、２つの電極に電圧を印加した状態で、除去すべき不要物質を含む液体、あるいは又、分離すべき物質を含む液体を２つの電極の間に流すことで、電極に不要物質を吸着させる除去方法あるいは電極に物質を吸着させる分離方法も知られている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献１：WO 2017/014695 A1

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 上述した方法においては、高い効率で物質を除去あるいは分離するために電極が重要な役割を果たす。しかしながら、上記の国際公開公報に開示された技術にあつては電極の構成、構造の最適化が図られているとは云い難い。

[0010] 従つて、本開示の目的は、高い効率で不要物質を除去することを可能とする不要物質除去装置、及び、係る不要物質除去装置を用いた不要物質除去方法を提供することにあるし、高い効率で物質を分離することを可能とする分

離装置、及び、係る分離装置を用いた分離方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 上記の目的を達成するための本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置は、

除去槽、

除去槽内に配された一対の電極、

一対の電極によって構成された流路、

フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、

除去すべき不要物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、

液体を流路から排出する液体排出部、

を備えており、

一対の電極は、櫛型電極から構成されている。

[0012] 上記の目的を達成するための本開示の第2の態様に係る不要物質除去装置は、

除去槽、

除去槽内に配された一対の電極、

一対の電極によって構成された流路、

フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、

除去すべき不要物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、

液体を流路から排出する液体排出部、

を備えており、

一対の電極の少なくとも一方は、基部、及び、基部の表面に設けられた多孔質炭素材料を含む電極層から成る。

[0013] 上記の目的を達成するための本開示の第1の態様に係る不要物質除去方法は、本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置あるいは本開示の第2の態様に係る不要物質除去装置を用いた除去方法であって、

液体導入部から流路に液体を導入し、除去すべき不要物質を電極に吸着させた後、

一対の電極に電圧を印加した状態で、フェントン試薬導入部から流路にフェントン試薬を流路に導入し、電極に吸着した除去すべき不要物質を分解する。

[0014] 尚、液体導入部から流路に液体を導入し、除去すべき不要物質を電極に吸着させるとき、一対の電極に電圧を印加した状態とすることもできる。

[0015] 上記の目的を達成するための本開示の第2の態様に係る不要物質除去方法は、本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置あるいは本開示の第2の態様に係る不要物質除去装置を用いた除去方法であって、

一対の電極に電圧を印加した状態で、液体導入部から流路に液体を導入し、フェントン試薬導入部から流路にフェントン試薬を流路に導入し、液体中の除去すべき不要物質を分解する。

[0016] 上記の目的を達成するための本開示の分離装置は、

分離槽、

分離槽内に配された一対の電極、

一対の電極によって構成された流路、

分離すべき物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、

液体を流路から排出する液体排出部、並びに、

一対の電極に電圧を印加する電源装置、

を備えており、

一対の電極は櫛型電極から構成されており、

少なくとも一方の電極は多孔質炭素材料を含む。

[0017] 上記の目的を達成するための本開示の分離方法は、

分離槽、

分離槽内に配された一対の電極、

一対の電極によって構成された流路、

分離すべき物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、

液体を流路から排出する液体排出部、並びに、

一対の電極に電圧を印加する電源装置、

を備えており、

一対の電極は楕型電極から構成されており、

少なくとも一方の電極は多孔質炭素材料を含む分離装置を用いた分離方法であって、

電源装置から一対の電極に電圧を印加し、液体導入部から流路に液体を導入して、分離すべき物質と少なくとも一方の電極との間に電気二重層を形成し、以て、電気二重層が形成された電極近傍において、分離すべき物質を液体から分離する。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]図1は、実施例1の不要物質除去装置の概念図である。

[図2]図2は、実施例1の不要物質除去装置（但し、本開示の第1の態様及び第2の態様に係る不要物質除去装置）における電極及び流路の概念図である。

[図3]図3A及び図3Bは、実施例1の不要物質除去装置における電極（但し、本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置における電極）の模式的な一部断面図である。

[図4]図4は、実施例1の不要物質除去装置における電極の模式的な斜視図である。

[図5]図5は、実施例1あるいは実施例3において使用した多孔質炭素材料の細孔分布を示すグラフである。

[図6]図6は、実施例1の不要物質除去装置を用いてバクテリオファージMS2の吸着試験（除去評価試験）を行った結果を示すグラフである。

[図7]図7は、実施例1の不要物質除去装置（但し、第2の態様に係る不要物質除去装置）における電極及び流路の概念図である。

[図8]図8A及び図8Bは、実施例1の不要物質除去装置における電極（但し、本開示の第2の態様に係る不要物質除去装置における電極）の模式的な一部断面図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、図面を参照して、実施例に基づき本開示を説明するが、本開示は実施例に限定されるものではなく、実施例における種々の数値や材料は例示である。尚、説明は、以下の順序で行う。

1. 本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去装置、及び、本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去方法、全般に関する説明
2. 実施例1（本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去装置、及び、本開示の第1の態様に係る不要物質除去方法）
3. 実施例2（本開示の第2の態様に係る不要物質除去方法）
4. 実施例3（本開示の分離装置及び分離方法）
5. その他

[0020] 〈本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去装置、及び、本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去方法、並びに、本開示の分離装置、及び、本開示の分離方法、全般に関する説明〉

本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置、及び、本開示の第1の態様に係る不要物質除去方法での使用に適した本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置を、以下、総称して、『本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置等』と呼ぶ場合がある。また、本開示の第2の態様に係る不要物質除去装置、及び、本開示の第2の態様に係る不要物質除去方法での使用に適した本開示の第2の態様に係る不要物質除去装置を、以下、総称して、『本開示の第2の態様に係る不要物質除去装置等』と呼ぶ場合がある。更には、本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去装置、及び、本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去方法での使用に適した本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去装置を、総称して、『本開示の不要物質除去装置等』と呼ぶ場合がある。また、本開示の分離装置、及び、本開示の分離方法での使用に適した本開示の分離装置を、以下、総称して、『本開示の分離装置等』と呼ぶ場合がある。尚、除去すべき不要物質及び分離すべき物質を、総称して、『不要物質等』と呼ぶ場合がある。

[0021] 本開示の不要物質除去装置等において、フェントン試薬導入部は、酸素原

子を含む気体又は液体を流路に導入する導入部を備えている形態とすることができる。酸素原子を含む気体又は液体として、過酸化水素ガスあるいは過酸化水素水を挙げることができる。フェントン試薬は、酸素原子を含む気体又は液体及び鉄触媒から構成されている。例えば、過酸化水素水及び鉄触媒の混合物から成るフェントン試薬を使用する場合、過酸化水素水及び鉄触媒の混合物を纏めてフェントン試薬導入部から流路に導入すればよい。一方、過酸化水素水と鉄触媒とを別々に準備する場合、鉄触媒をフェントン試薬導入部から流路に導入し、過酸化水素水を導入部から流路に導入すればよい。

[0022] 上記の好ましい形態を含む本開示の不要物質除去装置等にあつては、一對の電極に電圧を印加する電源装置を更に備えている形態とすることができる。

[0023] 更には、以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の不要物質除去装置等にあつては、液体のpHを調整するためのpH調整剤を流路に導入するpH調整剤導入部を更に備えている形態とすることができる。pH調整剤として、具体的には、乳酸、二酸化炭素、コハク酸、グルコン酸、クエン酸、リン酸、炭酸カリウム、炭酸水素ナトリウム等を挙げることができる。pH調整剤を流路に導入して液体を酸性側にすることで、フェントン反応を促進させることができる。pH調整剤の代わりに酸素ガスを液体に導入することでも、同様の効果を得ることができる。場合によっては、本開示の分離装置等にあつても、液体のpHを調整するためのpH調整剤を流路に導入するpH調整剤導入部を更に備えている形態とすることができる。

[0024] 更には、以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の不要物質除去装置等にあつては、あるいは又、本開示の分離装置等にあつては、液体排出部から排出される液体の特性をモニタするモニタ装置を更に備えている形態とすることができる。ここで、モニタすべき液体の特性として、有機物含有の有無、有機物の種類、イオンの濃度、イオンの種類、ガス濃度、ガスの種類等を挙げることができるし、モニタ装置として、イオン濃度センサ、有機物センサ、バイオセンサ、ガスセンサ等を挙げることができる。

[0025] 更には、以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置等において、あるいは又、本開示の分離装置等において、各電極は、基部、及び、基部の表面に設けられた電極層を含む形態とすることができる。そして、この場合、あるいは又、以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の第2の態様に係る不要物質除去装置等において、

一対の電極の一方を構成する電極層は、多孔質炭素材料を含み、

一対の電極の他方を構成する電極層は、ダイヤモンド・ライク・カーボン、グラッシー・カーボン、カーボンファイバー、カーボンナノチューブ、グラフェン、炭素繊維、活性炭、カーボンブラック、ホウ素ドーピングカーボンや、白金(Pt)、金(Au)、銀(Ag)、白金黒、ステンレス鋼等の金属原子を含む材料、導電性高分子等の導電性の有機物等から成る群から選択された少なくとも1種類の材料（以下、『炭素系材料』と呼ぶ場合がある）を含む構成とすることができるし、あるいは又、一対の電極のそれぞれを構成する電極層は、多孔質炭素材料を含む構成とすることができる。多孔質炭素材料は、粉状であってもよいし、粒状であってもよい。場合によっては、本開示の第1の態様に係る不要物質除去装置等において、あるいは又、本開示の分離装置等において、一対の電極のそれぞれを構成する電極層は炭素系材料を含む構成とすることもできる。一対の電極の一方の電極層を構成する材料の窒素BET法に基づく表面積の値 $S_{\text{BET-1}}$ と、一対の電極の他方の電極層を構成する材料の窒素BET法に基づく表面積の値 $S_{\text{BET-2}}$ とは、以下の関係を満足することが好ましい。

$$1 \leq S_{\text{BET-1}} / S_{\text{BET-2}} \leq 10$$

[0026] また、一対の電極の一方の電極層の基部への正射影像の面積と他方の電極層の基部への正射影像の面積の差は、出来るだけ「0」に近いことが望ましい。形成される電気二重層容量が面積の小さい電極層に律速されてしまうので、2つの電極層の面積はできるだけ同じ面積にすることが好ましい。具体的には、一対の電極の一方の電極層の基部への正射影像の面積の値 $S_{\text{OI-1}}$ 、及び、他方の電極層の基部への正射影像の面積の値 $S_{\text{OI-2}}$ とは、限定するもので

はないが、以下の関係を満足することが好ましい。

$$0.8 \leq S_{0I-1} / S_{0I-2} \leq 1.2$$

[0027] ここで、多孔質炭素材料の全細孔体積 V_{Total} は、 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $2.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、 $0.1 \mu\text{m}$ 乃至 $2.0 \mu\text{m}$ の細孔体積 V_{Macro} は、 $0.3 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、

$$0.05 \leq V_{Macro} / V_{Total} \leq 1.0$$

を満足することが好ましい。全細孔体積 V_{Total} 及び $0.1 \mu\text{m}$ 乃至 $2.0 \mu\text{m}$ の細孔体積 V_{Macro} の測定方法として、水銀圧入法を挙げることができる。水銀圧入法に基づき測定する全細孔体積 V_{Total} は、 $0.03 \mu\text{m}$ 乃至 $10.0 \mu\text{m}$ の細孔の体積を指す。水銀圧入法による細孔の測定は、JIS R 1655 : 2003「ファインセラミックスの水銀圧入法による成形体気孔径分布試験方法」に準拠する。

[0028] 尚、孔径が 2 nm よりも小さい細孔は「マイクロ細孔」と呼ばれ、孔径が 2 nm 乃至 50 nm の細孔は「メソ細孔」と呼ばれ、孔径が 50 nm を超える細孔は「マクロ細孔」と呼ばれる。マイクロ細孔の孔径は、例えば、MP法に基づき、その孔径に対する細孔容積変化率から細孔の分布として算出することができる。メソ細孔の孔径は、例えば、BJH法に基づき、その孔径に対する細孔容積変化率から細孔の分布として算出することができる。マクロ細孔の孔径は、例えば、水銀圧入法に基づき求めることができる。

[0029] 更には、以上に説明した各種の好ましい形態、構成を含む本開示の不要物質除去装置等にあつては、

液体排出部から排出された液体を中和する中和槽、

中和槽から排出された液体中の固形物を凝集させる凝集槽、及び、

凝集槽で凝集した固形物を沈殿させる沈殿槽、

を更に備えている形態とすることができる。場合によっては、以上に説明した各種の好ましい形態、構成を含む本開示の分離装置等にあつても、上記の中和槽、凝集槽及び沈殿槽を備えていてもよい。

[0030] 尚、中和槽、凝集槽及び沈殿槽の構成、構造は、従来の水処理等に用いら

れる中和槽、凝集槽及び沈殿槽の構成、構造と同様とすればよい。液体を中和するための中和剤は、液体を中和するのに適した薬剤とすればよい。液体中の固形物を凝集させるための凝集剤として、硫酸バンドやPAC（ポリ塩化アルミニウム）等のアルミニウム塩、第2塩化鉄、ポリ硫酸第2鉄（ポリ鉄）、硫酸第1鉄、消石灰（水酸化カルシウム）等の無機凝集剤を用いることもできるし、アニオン性高分子凝集剤、ノニオン性高分子凝集剤、カチオン性高分子凝集剤といった高分子凝集剤（ポリマー）を用いることもできる。あるいは又、凝集剤として、通常使用されている無機塩、酸、アルカリ、金属電解物、活性珪酸等の無機物、陰イオン性あるいは陽イオン性界面活性剤等を、処理すべき液体の種類や液体の処理方法に応じて適宜選択すればよい。凝集剤は、凝集剤を溶解したり、溶媒に分散させたり、粉状のまま、液体に添加することができる。必要に応じて、凝集助剤、沈降助剤、浮揚助剤を用いることもできる。

[0031] 本開示の不要物質除去装置等あるいは本開示の分離装置等において、基部を構成する材料は、液体や不要物質等、使用する各種薬剤等によって損傷が発生しないような材料である必要があり、例えば、ステンレス鋼、窒化ケイ素、ジルコニア、炭化ケイ素、チタン、クロム、ニッケル、タンタル等の金属材料の他、ポエリエチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂、ナイロン樹脂、ABS樹脂、塩化ビニリデン樹脂、フェノール樹脂、フラン樹脂、メラミン樹脂、フッ素樹脂、ポリカーボネート樹脂等の各種樹脂を挙げることができる。基部は平板状であってもよいし、櫛型電極を設けるための櫛型の凹凸部が基部の内面に形成されていてもよい。また、基部の外周部に側壁が形成されていてもよい。基部を、多数、積層あるいは並置して、立体的な流路を構成してもよい。即ち、基部と基部との間に櫛型電極によって流路を構成し、係る構成の複数を積層あるいは並置し、流路を連結（連通）する構成とすることもできる。

[0032] 基部の表面に設けられた電極層（多孔質炭素材料層あるいは炭素系材料層）には、多孔質炭素材料あるいは炭素系材料の賦形のために、使用する多孔

質炭素材料あるいは炭素系材料に適したバインダーが含まれていてもよい。

また、基部の表面に設けられた電極層（多孔質炭素材料層あるいは炭素系材料層）は、多孔質炭素材料あるいは炭素系材料及びポリマから成るポリマ複合体を含む構成とすることもできる。

[0033] バインダーを構成する材料も、液体や不要物質等、使用する各種薬剤等によって損傷が発生しないような材料である必要がある。バインダーを構成する材料は、カルボキシニトロセルロース、ユリア樹脂、メラミン樹脂、フェノール樹脂、エポキシ樹脂、ポリウレタン系樹脂、レゾルシン系樹脂、酢酸ビニル樹脂、ポリビニルアルコール樹脂、ポリエチレン樹脂、ポリエステル樹脂、ポリスチレン樹脂、ポリ（メタ）アクリル系樹脂、ポリ（メタ）アクリル酸エステル樹脂、フッ素樹脂、（メタ）アクリル酸・スチレン共重合体樹脂、エチレン・酢酸ビニル共重合体樹脂、酢酸ビニル・（メタ）アクリル共重合体樹脂、エチレン・酢酸ビニル・（メタ）アクリル3元共重合体樹脂等から、適宜、選択すればよい。また、2種以上のバインダーを併用してもよい。

[0034] 多孔質炭素材料の原料を植物由来の材料とすることができる。尚、このような多孔質炭素材料を『植物由来の多孔質炭素材料』と呼ぶ。植物由来の材料として、米（稲）、大麦、小麦、ライ麦、稗（ヒエ）、粟（アワ）等の穀類や藁、珈琲豆、茶葉（例えば、緑茶や紅茶等の葉）、サトウキビ類（より具体的には、サトウキビ類の絞り滓）、トウモロコシ類（より具体的には、トウモロコシ類の芯）、果実の皮（例えば、オレンジの皮、グレープフルーツの皮、ミカンの皮といった柑橘類の皮やバナナの皮等）、あるいは又、葎、茎ワカメを挙げることができるが、これらに限定するものではなく、その他、例えば、陸上に植生する維管束植物、シダ植物、コケ植物、藻類、海藻を挙げることができる。尚、これらの材料を、原料として、単独で用いてもよいし、複数種を混合して用いてもよい。また、植物由来の材料の形状や形態も特に限定はなく、例えば、穀類や藁そのものでもよいし、あるいは乾燥処理品でもよい。更には、ビールや洋酒等の飲食品加工において、発酵処理

、焙煎処理、抽出処理等の種々の処理を施されたものを使用することもできる。特に、産業廃棄物の資源化を図るという観点から、脱穀等の加工後の藁や籾殻を使用することが好ましい。これらの加工後の藁や籾殻は、例えば、農業協同組合や酒類製造会社、食品会社、食品加工会社から、大量、且つ、容易に入手することができる。

[0035] 植物由来の多孔質炭素材料の原料を、ケイ素（Si）を含有する植物由来の材料とする場合、具体的には、限定するものではないが、植物由来の多孔質炭素材料は、ケイ素（Si）の含有率が5質量%以上である植物由来の材料を原料とし、ケイ素（Si）の含有率が、5質量%以下、好ましくは3質量%以下、より好ましくは1質量%以下であることが望ましい。

[0036] 植物由来の多孔質炭素材料は、例えば、植物由来の材料を400°C乃至1400°Cにて炭素化した後、酸又はアルカリで処理することによって得ることができる。このような植物由来の多孔質炭素材料の製造方法（以下、単に、『多孔質炭素材料の製造方法』と呼ぶ場合がある）において、植物由来の材料を400°C乃至1400°Cにて炭素化することにより得られた材料であって、酸又はアルカリでの処理を行う前の材料を、『多孔質炭素材料前駆体』あるいは『炭素質物質』と呼ぶ。

[0037] 多孔質炭素材料の製造方法において、酸又はアルカリでの処理の後、賦活処理を施す工程を含めることができるし、賦活処理を施した後、酸又はアルカリでの処理を行ってもよい。また、このような好ましい形態を含む多孔質炭素材料の製造方法にあっては、使用する植物由来の材料にも依るが、植物由来の材料を炭素化する前に、炭素化のための温度よりも低い温度（例えば、400°C～700°C）にて、酸素を遮断した状態で植物由来の材料に加熱処理（予備炭素化処理）を施してもよい。これによって、炭素化の過程において生成するであろうタール成分を抽出することが出来る結果、炭素化の過程において生成するであろうタール成分を減少あるいは除去することができる。尚、酸素を遮断した状態は、例えば、窒素ガスやアルゴンガスといった不活性ガス雰囲気とすることで、あるいは又、真空雰囲気とすることで

、あるいは又、植物由来の材料を一種の蒸し焼き状態とすることで達成することができる。また、多孔質炭素材料の製造方法にあつては、使用する植物由来の材料にも依るが、植物由来の材料中に含まれるミネラル成分や水分を減少させるために、また、炭素化の過程での異臭の発生を防止するために、植物由来の材料をアルコール（例えば、メチルアルコールやエチルアルコール、イソプロピルアルコール）に浸漬してもよい。尚、多孔質炭素材料の製造方法にあつては、その後、予備炭素化処理を実行してもよい。不活性ガス中で加熱処理を施すことが好ましい材料として、例えば、木酢液（タールや軽質油分）を多く発生する植物を挙げることができる。また、アルコールによる前処理を施すことが好ましい材料として、例えば、ヨウ素や各種ミネラルを多く含む海藻類を挙げることができる。

[0038] 多孔質炭素材料の製造方法にあつては、植物由来の材料を400°C乃至1400°Cにて炭素化するが、ここで、炭素化とは、一般に、有機物質（植物由来の多孔質炭素材料にあつては、植物由来の材料）を熱処理して炭素質物質に変換することを意味する（例えば、JIS M0104-1984参照）。尚、炭素化のための雰囲気として、酸素を遮断した雰囲気を挙げることができる。具体的には、真空雰囲気、窒素ガスやアルゴンガスといった不活性ガス雰囲気、植物由来の材料を一種の蒸し焼き状態とする雰囲気を挙げることができる。炭素化温度に至るまでの昇温速度として、限定するものではないが、係る雰囲気下、1°C/分以上、好ましくは3°C/分以上、より好ましくは5°C/分以上を挙げることができる。また、炭素化時間の上限として、10時間、好ましくは7時間、より好ましくは5時間を挙げることができるが、これに限定するものではない。炭素化時間の下限は、植物由来の材料が確実に炭素化される時間とすればよい。また、植物由来の材料を、所望に応じて粉碎して所望の粒度としてもよいし、分級してもよい。植物由来の材料を予め洗浄してもよい。あるいは又、得られた多孔質炭素材料前駆体や植物由来の多孔質炭素材料を、所望に応じて粉碎して所望の粒度としてもよいし、分級してもよい。あるいは又、賦活処理後の植物由来の多孔質

炭素材料を、所望に応じて粉碎して所望の粒度としてもよいし、分級してもよい。更には、最終的に得られた植物由来の多孔質炭素材料に殺菌処理を施してもよい。炭素化のために使用する炉の形式、構成、構造に制限はなく、連続炉とすることもできるし、回分炉（バッチ炉）とすることもできる。

[0039] 多孔質炭素材料の製造方法において、上述したとおり、賦活処理を施してもよい。賦活処理の方法として、ガス賦活法、薬品賦活法を挙げることができる。ここで、ガス賦活法とは、賦活剤として酸素や水蒸気、炭酸ガス、空気等を用い、係るガス雰囲気下、 700°C 乃至 1400°C にて、好ましくは 700°C 乃至 1000°C にて、より好ましくは 800°C 乃至 1000°C にて、数十分から数時間、植物由来の多孔質炭素材料を加熱することにより、植物由来の多孔質炭素材料中の揮発成分や炭素分子により微細構造を発達させる方法である。尚、より具体的には、加熱温度は、植物由来の材料の種類、ガスの種類や濃度等に基づき、適宜、選択すればよい。薬品賦活法とは、ガス賦活法で用いられる酸素や水蒸気の代わりに、塩化亜鉛、塩化鉄、リン酸カルシウム、水酸化カルシウム、炭酸マグネシウム、炭酸カリウム、硫酸等を用いて賦活させ、塩酸で洗浄、アルカリ性水溶液でpHを調整し、乾燥させる方法である。

[0040] 多孔質炭素材料の製造方法にあつては、酸又はアルカリでの処理によって、炭素化後の植物由来の材料中のケイ素成分を除去する。ここで、ケイ素成分として、二酸化ケイ素や酸化ケイ素、酸化ケイ素塩といったケイ素酸化物を挙げることができる。このように、炭素化後の植物由来の材料中のケイ素成分を除去することで、高い比表面積を有する植物由来の多孔質炭素材料を得ることができる。場合によっては、ドライエッチング法に基づき、炭素化後の植物由来の材料中のケイ素成分を除去してもよい。

[0041] 植物由来の多孔質炭素材料には、マグネシウム（Mg）、カリウム（K）、カルシウム（Ca）や、リン（P）、硫黄（S）等の非金属元素や、遷移元素等の金属元素が含まれていてもよい。マグネシウム（Mg）の含有率として0.01質量%以上3質量%以下、カリウム（K）の含有率として0.

0.1質量%以上3質量%以下、カルシウム（Ca）の含有率として0.05質量%以上3質量%以下、リン（P）の含有率として0.01質量%以上3質量%以下、硫黄（S）の含有率として0.01質量%以上3質量%以下を挙げることができる。尚、これらの元素の含有率は、比表面積の値の増加といった観点からは、少ない方が好ましい。植物由来の多孔質炭素材料には、上記した元素以外の元素を含んでいてもよく、上記した各種元素の含有率の範囲も、変更し得ることは云うまでもない。

- [0042] 植物由来の多孔質炭素材料にあつては、各種元素の分析を、例えば、エネルギー分散型X線分析装置（例えば、日本電子株式会社製のJED-2200F）を用い、エネルギー分散法（EDS）により行うことができる。ここで、測定条件を、例えば、走査電圧15kV、照射電流10 μ Aとすればよい。
- [0043] 植物由来の多孔質炭素材料において、窒素BET法による比表面積の値（以下、単に、『比表面積の値』と呼ぶ場合がある）は、より一層優れた機能性を得るために、好ましくは50m²/グラム以上、より好ましくは100m²/グラム以上、更に一層好ましくは400m²/グラム以上であることが望ましい。
- [0044] 窒素BET法とは、吸着剤（ここでは、多孔質炭素材料）に吸着分子として窒素を吸脱着させることにより吸着等温線を測定し、測定したデータを式（1）で表されるBET式に基づき解析する方法であり、この方法に基づき比表面積や細孔容積等を算出することができる。具体的には、窒素BET法により比表面積の値を算出する場合、先ず、多孔質炭素材料に吸着分子として窒素を吸脱着させることにより、吸着等温線を求める。そして、得られた吸着等温線から、式（1）あるいは式（1）を変形した式（1'）に基づき $[p / \{V_a (p_0 - p)\}]$ を算出し、平衡相対圧（ p / p_0 ）に対してプロットする。そして、このプロットを直線と見なし、最小二乗法に基づき、傾き $s (= [(C - 1) / (C \cdot V_m)])$ 及び切片 $i (= [1 / (C \cdot V_m)])$ を算出する。そして、求められた傾き s 及び切片 i から式（2-1）、式（

2-2)に基づき、 V_m 及び C を算出する。更には、 V_m から、式(3)に基づき比表面積 a_{SBET} を算出する(日本ベル株式会社製BELSORP-mini及びBELSORP解析ソフトウェアのマニュアル、第62頁～第66頁参照)。尚、この窒素BET法は、JIS R 1626-1996「ファインセラミックス粉体の気体吸着BET法による比表面積の測定方法」に準じた測定方法である。

$$[0045] \quad V_a = (V_m \cdot C \cdot p) / [(p_0 - p) \{1 + (C - 1)(p/p_0)\}] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & [p / \{V_a (p_0 - p)\}] \\ & = [(C - 1) / (C \cdot V_m)] (p/p_0) + [1 / (C \cdot V_m)] \quad (1') \end{aligned}$$

$$V_m = 1 / (s + i) \quad (2-1)$$

$$C = (s / i) + 1 \quad (2-2)$$

$$a_{\text{SBET}} = (V_m \cdot L \cdot \sigma) / 22414 \quad (3)$$

[0046] 但し、

V_a : 吸着量

V_m : 単分子層の吸着量

p : 窒素の平衡時の圧力

p_0 : 窒素の飽和蒸気圧

L : アボガドロ数

σ : 窒素の吸着断面積

である。

[0047] 窒素BET法により細孔容積 V_p を算出する場合、例えば、求められた吸着等温線の吸着データを直線補間し、細孔容積算出相対圧で設定した相対圧での吸着量 V を求める。この吸着量 V から式(4)に基づき細孔容積 V_p を算出することができる(日本ベル株式会社製BELSORP-mini及びBELSORP解析ソフトウェアのマニュアル、第62頁～第65頁参照)。尚、窒素BET法に基づく細孔容積を、以下、単に『細孔容積』と呼ぶ場合が

ある。

$$[0048] \quad V_p = (V / 22414) \times (M_g / \rho_g) \quad (4)$$

[0049] 但し、

V : 相対圧での吸着量

M_g : 窒素の分子量

ρ_g : 窒素の密度

である。

[0050] メソ細孔の孔径は、例えば、B J H法に基づき、その孔径に対する細孔容積変化率から細孔の分布として算出することができる。B J H法は、細孔分布解析法として広く用いられている方法である。B J H法に基づき細孔分布解析をする場合、先ず、多孔質炭素材料に吸着分子として窒素を吸脱着させることにより、脱着等温線を求める。そして、求められた脱着等温線に基づき、細孔が吸着分子（例えば窒素）によって満たされた状態から吸着分子が段階的に着脱する際の吸着層の厚さ、及び、その際に生じた孔の内径（コア半径の2倍）を求め、式（5）に基づき細孔半径 r_p を算出し、式（6）に基づき細孔容積を算出する。そして、細孔半径及び細孔容積から細孔径（ $2 r_p$ ）に対する細孔容積変化率（ $d V_p / d r_p$ ）をプロットすることにより細孔分布曲線が得られる（日本ベル株式会社製BELSORP-mini及びBELSORP解析ソフトウェアのマニュアル、第85頁～第88頁参照）。

$$[0051] \quad r_p = t + r_k \quad (5)$$

$$V_{pn} = R_n \cdot d V_n - R_n \cdot d t_n \cdot c \cdot \sum A_{pj} \quad (6)$$

但し、

$$R_n = r_{pn}^2 / (r_{kn} - 1 + d t_n)^2 \quad (7)$$

[0052] ここで、

r_p : 細孔半径

r_k : 細孔半径 r_p の細孔の内壁にその圧力において厚さ t の吸着層が吸着した場合のコア半径（内径／2）

V_{pn} : 窒素の第 n 回目の着脱が生じたときの細孔容積

dV_n : そのときの变化量

dt_n : 窒素の第 n 回目の着脱が生じたときの吸着層の厚さ t_n の変化量

r_{kn} : その時のコア半径

c : 固定値

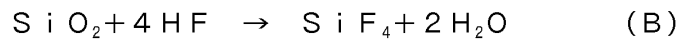
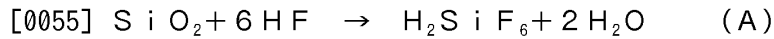
r_{pn} : 窒素の第 n 回目の着脱が生じたときの細孔半径

である。また、 ΣA_{pj} は、 $j = 1$ から $j = n - 1$ までの細孔の壁面の面積の積算値を表す。

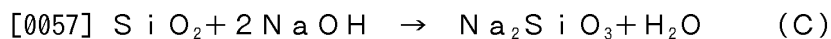
[0053] マイクロ細孔の孔径は、例えば、MP法に基づき、その孔径に対する細孔容積変化率から細孔の分布として算出することができる。MP法により細孔分布解析を行う場合、先ず、多孔質炭素材料に窒素を吸着させることにより、吸着等温線を求める。そして、この吸着等温線を吸着層の厚さ t に対する細孔容積に変換する (t プロットする)。そして、このプロットの曲率 (吸着層の厚さ t の変化量に対する細孔容積の変化量) に基づき細孔分布曲線を得ることができる (日本ベル株式会社製 BELSORP-mini 及び BELSORP 解析ソフトウェアのマニュアル、第 72 頁～第 73 頁、第 82 頁参照)。

[0054] 多孔質炭素材料前駆体を酸又はアルカリで処理するが、具体的な処理方法として、例えば、酸あるいはアルカリの水溶液に多孔質炭素材料前駆体を浸漬する方法や、多孔質炭素材料前駆体と酸又はアルカリとを気相で反応させる方法を挙げることができる。より具体的には、酸によって処理する場合、酸として、例えば、フッ化水素、フッ化水素酸、フッ化アンモニウム、フッ化カルシウム、フッ化ナトリウム等の酸性を示すフッ素化合物を挙げることができる。フッ素化合物を用いる場合、多孔質炭素材料前駆体に含まれるケイ素成分におけるケイ素元素に対してフッ素元素が 4 倍量となればよく、フッ素化合物水溶液の濃度は 10 質量%以上であることが好ましい。フッ化水素酸によって、多孔質炭素材料前駆体に含まれるケイ素成分 (例えば、二酸化ケイ素) を除去する場合、二酸化ケイ素は、化学式 (A) 又は化学式 (B) に示すようにフッ化水素酸と反応し、ヘキサフルオロケイ酸 (H_2SiF_6)

あるいは四フッ化ケイ素 (SiF_4) として除去され、植物由来の多孔質炭素材料を得ることができる。そして、その後、洗浄、乾燥を行えばよい。



[0056] また、アルカリ（塩基）によって処理する場合、アルカリとして、例えば、水酸化ナトリウムを挙げることができる。アルカリの水溶液を用いる場合、水溶液の pH は 11 以上であればよい。水酸化ナトリウム水溶液によって、多孔質炭素材料前駆体に含まれるケイ素成分（例えば、二酸化ケイ素）を除去する場合、水酸化ナトリウム水溶液を熱することにより、二酸化ケイ素は、化学式 (C) に示すように反応し、ケイ酸ナトリウム (Na_2SiO_3) として除去され、植物由来の多孔質炭素材料を得ることができる。また、水酸化ナトリウムを気相で反応させて処理する場合、水酸化ナトリウムの固体を熱することにより、化学式 (C) に示すように反応し、ケイ酸ナトリウム (Na_2SiO_3) として除去され、植物由来の多孔質炭素材料を得ることができる。そして、その後、洗浄、乾燥を行えばよい。



[0058] 除去すべき不要物質として、有機酸（例えば、蟻酸、グルコン酸、乳酸、リンゴ酸、プロピオン酸、酒石酸）、アルコール類（例えば、ベンジルアルコール、tert-ブチルアルコール、エタノール、エチレングリコール、グリセロール、イソプロパノール、メタノール、プロパンジオール）、アルデヒド類（例えば、アセトアルデヒド、ベンズアルデヒド、ホルムアルデヒド、グリオキサール、イソブチルアルデヒド、トリクロロアセトアルデヒド）、芳香類（例えば、ベンゼン、クロロベンゼン、クロロフェノール、クレオソート、ジクロロフェノール、ヒドロキノン、p-ニトロフェノール、フェノール、トルエン、トリクロロフェノール、キシレン、トリニトロトルエン）、アミン類（例えば、アニリン、環状アミン、ジエチルアミン、ジメチルホルムアミド、エチレンジアミン四酢酸 (EDTA)、プロパンジアミン、n-プロピルアミン、ヘキソゲン）、染料（例えば、アントラキノン、モノアゾ

化合物、ジアゾ化合物)、ケトン類(例えば、ジヒドロキシアセトン、メチルエチルケトン)、エーテル類(例えば、テトラヒドロフラン)を挙げることができるし、また、ウイルスや細菌(例えば、パルボウイルス科、アデノウイルス科、パピローマウイルス科、ヘルペスウイルス科、ポックスウイルス科、ヘパドナウイルス科、ラブドウイルス科、パラミクソウイルス科、オルソミクソウイルス科、フィロウイルス科、ブニヤウイルス科、アレナウイルス科、フラビウイルス科、コロナウイルス科、トガウイルス科、レトロウイルス科、カリシウイルス科、ピコルナウイルス科、レオウイルス科等に属するウイルス)を挙げることができるし、その他、グラム陽性菌の中の好気性球菌及び桿菌や嫌気性の球菌及び桿菌、グラム陰性菌の中の好気性球菌及び桿菌や嫌気性の球菌及び桿菌)を挙げることができる。あるいは又、除去すべき不要物質として、有機物質：セシウム(Cs)やストロンチウム(Sr)等の金属イオン；パイロジェンやフミン等の有機分子、各種タンパク質、バクテリアを挙げることができる。あるいは又、除去すべき不要物質として、有機物質：セシウム(Cs)やストロンチウム(Sr)等の金属イオン；パイロジェンやフミン等の有機分子、各種タンパク質、バクテリアを挙げることができるし、各種無機物や有機物から成る粒径が1ナノメートル以上のコロイド状物質(例えば、地下水や環境水に含まれるコロイド状物質)を挙げることができる。分離すべき物質に関しては、実施例3において説明する。

実施例 1

[0059] 実施例1は、本開示の第1の態様～第2の態様に係る不要物質除去装置、及び、本開示の第1の態様に係る不要物質除去方法に関する。実施例1の不要物質除去装置の概念図を図1に示し、電極及び流路の概念図を図2に示し、電極の模式的な一部断面図を図3A及び図3Bに示し、電極の模式的な斜視図を図4に示す。尚、図1において液体の流れを矢印で示し、また、図2においては、電極を明示するために電極に斜線を付した。図3Aは、図2の矢印X-Xに沿った模式的な断面図であり、図3Bは、図3Aに示す模式的

な断面図を上下に分解した図である。

- [0060] 実施例 1 の不要物質除去装置は、
- 除去槽 1 0、
- 除去槽 1 0 内に配された一対の電極 3 1 A, 3 1 B (陽極 3 1 A 及び陰極 3 1 B)、
- 一対の電極 3 1 A, 3 1 B によって構成された流路 4 0、
- フェントン試薬を流路 4 0 に導入するフェントン試薬導入部 1 3、
- 除去すべき不要物質を含む液体 (具体的には、例えば、水) を流路 4 0 に導入する液体導入部 1 1、並びに、
- 液体を流路 4 0 から排出する液体排出部 1 2、
- を備えており、
- 一対の電極 3 1 A, 3 1 B は、櫛型電極から構成されている。このような構成によって、例えば、浄化装置が構成される。

- [0061] 尚、実施例 1 の不要物質除去装置を分離装置と置き換えた場合、この分離装置は、
- 分離槽 1 0、
- 分離槽 1 0 内に配された一対の電極 3 1 A, 3 1 B (陽極 3 1 A 及び陰極 3 1 B)、
- 一対の電極 3 1 A, 3 1 B によって構成された流路 4 0、
- フェントン試薬を流路 4 0 に導入するフェントン試薬導入部 1 3、
- 分離すべき物質を含む液体 (具体的には、例えば、水) を流路 4 0 に導入する液体導入部 1 1、並びに、
- 液体を流路 4 0 から排出する液体排出部 1 2、
- を備えており、
- 一対の電極 3 1 A, 3 1 B は、櫛型電極から構成されている分離装置である。尚、本開示の分離装置に関しては、実施例 3 において説明する。

- [0062] そして、流路 4 0 を流れる液体中の不要物質等 (即ち、除去すべき不要物質、あるいは、分離すべき物質) は、電極 (電極 3 1 A、又は、電極 3 1 B

、又は、電極 3 1 A 及び電極 3 1 B) に吸着（あるいは、付着）される。尚、本明細書においては、「吸着」及び「付着」の概念を纏めて「吸着」と表現するし、「分離」や「除去」といった概念も含まれる。

[0063] また、実施例 1 の不要物質除去装置（あるいは、分離装置）において、フェントン試薬導入部 1 3 は、酸素原子を含む気体又は液体を流路 4 0 に導入する導入部 1 4 を備えているし、実施例 1 の不要物質除去装置（あるいは、分離装置）は、

液体排出部 1 2 から排出された液体を中和する中和槽 2 1、

中和槽 2 1 から排出された液体中の固形物を凝集させる凝集槽 2 2、及び

、

凝集槽 2 2 で凝集した固形物を沈殿させる沈殿槽 2 3、

を更に備えているし、加えて、

一对の電極 3 1 A、3 1 B に電圧を印加する電源装置 1 6、

液体の pH を調整するための pH 調整剤を流路 4 0 に導入する pH 調整剤導入部 1 5、及び、

液体排出部 1 2 から排出される液体の特性をモニタするモニタ装置 1 7、

を更に備えている。

[0064] フェントン試薬導入部 1 3、導入部 1 4 及び pH 調整剤導入部 1 5 は、例えば、図 2 の「A」で示す流路 4 0 の領域にフェントン試薬導入部や pH 調整剤を導入することができるように、配置されている。中和槽 2 1 及び凝集槽 2 2 には、モータ M によって回転させられる攪拌機が取り付けられている。

[0065] ここで、酸素原子を含む気体又は液体として、具体的には、過酸化水素水を挙げることができるし、pH 調整剤として、具体的には、乳酸、二酸化炭素、コハク酸、グルコン酸、クエン酸、リン酸、炭酸カリウム、炭酸水素ナトリウム等を挙げることができるし、モニタすべき液体の特性として、具体的には、有機物含有の有無、有機物の種類、イオンの濃度、イオンの種類、ガス濃度、ガスの種類等を挙げることができるし、モニタ装置 1 7 として、

具体的には、イオン濃度センサ、有機物センサ、バイオセンサ、ガスセンサ等を挙げることができる。モニタ装置 17 を構成するセンサ部 18（具体的には、半導体素子や電気化学反応を利用した電極等から構成されている）は、流路 40 の液体排出部 12 の近傍に配置すればよく、例えば、図 2 の「B」で示す流路 40 の領域に配置すればよい。

[0066] 各電極 31A, 31B は、基部 32A, 32B、及び、基部 32A, 32B の表面に設けられた電極層 33A, 33B を含む。そして、実施例 1 において、一对の電極 31A, 31B のそれぞれを構成する電極層 33A, 33B は、多孔質炭素材料を含む。基部 32A, 32B と電極層 33A, 33B との間には、導電材料層（あるいは、導電性を有する基板）34A, 34B が挟み込まれている。基部 32A, 32B、電極層 33A, 33B、導電材料層 34A, 34B の形状は、楕型電極と同形である。基部 32A, 32B を多孔質炭素材料から形成した。また、基部 32A の表面に設けられた電極層 33A, 33B（多孔質炭素材料層）には、多孔質炭素材料の賦形のためにバインダーが含まれているが、バインダーとしてカルボキシメチルセルロースを用いた。多孔質炭素材料は、粉状であってもよいし、粒状であってもよい。更には、導電材料層 34A, 34B を導電性カーボン（カーボンブラック）から形成した。また、 $S_{0I-1}/S_{0I-2}=1.0$ とした。

[0067] セラミックスから作製された除去槽（分離槽）10 は、外周部に側壁 10C が形成された平板状の第 1 部材 10A、及び、外周部に側壁 10D が形成された平板状の第 2 部材 10B から構成されており、第 1 部材 10A の側壁 10C と第 2 部材 10B の側壁 10D とが接着剤（図示せず）によって接合されている。除去槽（分離槽）10 の内面には、絶縁材料から成るライニング材 35（ハッチング線は省略）が貼り付けられている。

[0068] 実施例 1 における多孔質炭素材料の製造方法にあっては、植物由来の材料として、籾殻を使用した。そして、植物由来の材料である籾殻を、ペレットマシンを使用して固形化し、具体的には、平均的な直径が 6 mm、平均的な長さが 30 mm の略円筒形のペレット状の固形化された植物由来の材料を

得た。尚、固形化する際にはバインダーを使用していないが、バインダーを使用してもよい。固形化された植物由来の材料の嵩密度は、 0.2 g/cm^3 乃至 1.4 g/cm^3 、具体的には、 0.7 g/cm^3 であった。次いで、固形化した状態で、 400°C 乃至 1400°C にて炭素化した。具体的には、マントルヒーターを用いて、窒素雰囲気下、 500°C 、3時間で炭素化した。得られた、固形化した状態で炭素化された材料（多孔質炭素材料前駆体）の嵩密度は、 0.2 g/cm^3 乃至 0.8 g/cm^3 、具体的には、 0.5 g/cm^3 であった。また、固形化した状態で炭素化された材料の強熱残分は42%であり、強熱残分嵩密度は、 0.1 g/cm^3 以上、具体的には、 $0.5 \text{ g/cm}^3 \times 0.42 = 0.21 \text{ g/cm}^3$ であった。その後、固形化した状態で炭素化された材料を、1モル/リットル、 80°C の水酸化ナトリウム水溶液に浸漬し、24時間、攪拌した。次いで、中性になるまで洗浄を行い、得られた固形化された多孔質炭素材料を濾過し、 120°C 、24時間乾燥させた。そして、20メッシュ及び200メッシュの篩を用いて分級し、多孔質炭素材料を得た。尚、得られた多孔質炭素材料に対して、ガス賦活法に基づく賦活処理、具体的には、 900°C 、2時間の水蒸気を用いた賦活処理を行ってもよい。尚、窒素BET法に基づく表面積の値が $950 \pm 150 \text{ m}^2/\text{g}$ となるように水蒸気賦活して得られた試料を、「実施例1A」とした。酸又はアルカリで処理することで得られた、固形化された多孔質炭素材料の強熱残分の値は、0.1質量%以上、20質量%以下、具体的には、9.3質量%であった。尚、嵩密度は、JIS K1474：2014「活性炭試験方法」に記載されている充填密度の測定方法に基づき求めることができる。また、粉殻を炭化し、酸又はアルカリで処理した多孔質炭素材料をバインダーを使用してペレットマシンで固形化したものに水蒸気賦活処理を行うことでも、同様の多孔質炭素材料を得ることができる。

[0069] 得られた実施例1Aの多孔質炭素材料の水銀圧入法に基づく細孔分布を図5に「A」で示す。図5には、併せて、水銀圧入法に基づく椰子殻活性炭（

比較例 1 A) の細孔分布 (図 5 に「B」で示す) 及び石炭系活性炭 (比較例 1 B) の細孔分布 (図 5 に「C」で示す) を示す。また、得られた多孔質炭素材料の特性等を、以下の表 1 に示す。尚、表 1 中、「比表面積」は、窒素 B E T 法に基づく表面積 (単位: $\text{m}^2/\text{グラム}$) を示し、充填密度の単位は $\text{グラム}/\text{cm}^3$ である。また、「 V_{BJH} 」は B J H 法に基づき得られたメソ細孔の細孔容積であり、「 V_{MP} 」は M P 法に基づき得られたマイクロ細孔の細孔容積である。

[0070] <表 1>

	比表面積	充填密度	V_{Total}	V_{Macro}	V_{BJH}	V_{MP}
実施例 1 A	964	0.26	1.70	0.70	0.65	0.27
比較例 1 A	929	0.51	0.50	0.16	0.06	0.40
比較例 1 B	1038	0.43	0.58	0.20	0.19	0.51

[0071] 実施例 1 において、多孔質炭素材料の全細孔体積 V_{Total} は、 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $2.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、 $0.1 \mu\text{m}$ 乃至 $2.0 \mu\text{m}$ の細孔体積 V_{Macro} は、 $0.3 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、 $0.05 \leq V_{\text{Macro}}/V_{\text{Total}} \leq 1.0$ を満足することが判った。

[0072] そして、得られた多孔質炭素材料をバインダーと混合してペースト状とし、楕型電極の形状を有する導電材料層 34 A, 34 B の上で、ディスペンサを用いて楕型電極となるように賦形し、バインダーを硬化させることで、導電材料層 34 A, 34 B と一体となった電極層 33 A, 33 B を得た。こうして得られた電極層 33 A と導電材料層 34 A、及び、楕型電極の形状を有する基部 32 A を重ね合わせ、第 1 部材 10 A の内部に配置した。また、こうして得られた電極層 33 B と導電材料層 34 B、及び、楕型電極の形状を有する基部 32 B を重ね合わせ、第 2 部材 10 B の内部に配置した。そして、第 1 部材 10 A と第 2 部材 10 B のそれぞれの外周部に形成された側壁 10 C, 10 D において第 1 部材 10 A と第 2 部材 10 B とを貼り合わせることで、一对の電極 31 A, 31 B (陽極 31 A、陰極 31 B)、及び、一对

の電極 3 1 A, 3 1 B によって構成された流路 4 0 を得ることができた。電極 3 1 A の頂部は第 2 部材 1 0 B の内面に接しているし、電極 3 1 B の頂部は第 1 部材 1 0 A の内面に接している。あるいは又、こうして得られた電極層 3 3 A と導電材料層 3 4 A、及び、楕型電極の形状を有する基部 3 2 A を重ね合わせ、電極層 3 3 B と導電材料層 3 4 B、及び、楕型電極の形状を有する基部 3 2 B を重ね合わせ、第 1 部材 1 0 A の内部に配置した。そして、第 1 部材 1 0 A と第 2 部材 1 0 B のそれぞれの外周部に形成された側壁 1 0 C, 1 0 D において第 1 部材 1 0 A と第 2 部材 1 0 B とを貼り合わせることで、一対の電極 3 1 A, 3 1 B、及び、一対の電極 3 1 A, 3 1 B によって構成された流路 4 0 を得ることができた。電極 3 1 A の頂部及び電極 3 1 B の頂部は第 2 部材 1 0 B の内面に接している。尚、貼り合わせ前にセンサ部 1 8 を流路内（図 2 に「B」で示す）に配置しておく。

[0073] そして、除去槽（分離槽）1 0 の適切な位置に設けられた貫通孔に、フェントン試薬導入部 1 3、pH 調整剤導入部 1 5、導入部 1 4 を設け、また、除去槽（分離槽）1 0 の適切な位置に液体導入部 1 1、液体排出部 1 2 を設けた。更には、適切な方法で、一対の電極 3 1 A, 3 1 B（具体的には、導電材料層 3 4 A, 3 4 B）を電源装置 1 6 に接続し、センサ部 1 8 をモニタ装置 1 7 に接続し、更には、液体排出部 1 2 を中和槽 2 1 に接続した。

[0074] 実施例 1 の不要物質除去方法（分離方法）にあつては、実施例 1 の不要物質除去装置（分離装置）を用いて、不要物質等として有機分子、高分子化合物、タンパク質、ウイルス、細菌、菌類等が含まれる液体（具体的には、水）から、不要物質等を除去、分離した。即ち、液体導入部 1 1 から流路 4 0 に液体を導入し、pH 調整剤導入部 1 5 から pH 調整剤を流路 4 0 に導入し、不要物質等を両方の電極に吸着させる。そして、ある程度の量の不要物質等が電極に吸着した後、一対の電極 3 1 A, 3 1 B に電圧を印加した状態で、フェントン試薬導入部 1 3 及び導入部 1 4 からフェントン試薬を流路 4 0 に導入し、エレクトロ・フェントン反応に基づき、電極に吸着した不要物質等を分解する。尚、分解は、主に陰極において行われる。センサ部 1 8 を備

えたモニタ装置 17 によって、液体排出部 12 から排出される液体の上述した特性をモニタすることで、フェントン試薬 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 及び H_2O_2) の投入を開始することができるし、フェントン試薬の投入を終了させることができる。液体からの不要物質等の除去、分離は連続処理であり、電極に吸着した不要物質等の分解（電極の再生処理）は一種のバッチ処理である。

[0075] 必要に応じて、一对の電極 31A, 31B に電圧を印加した状態としてもよく、これによって、不要物質等が電荷を帯びている場合、電荷を帯びた不要物質等を、一層確実に、不要物質等が帯びた電荷と反対の電荷を帯びた電極に吸着させることができる。例えば、負の電荷を帯びたウイルスは、正極に引き付けられ、正極に吸着される。あるいは又、流路を流れる液体や不要物質等が分極され、電極に吸着されるし、流路を流れるイオン性の不要物質等が電極に吸着される。

[0076] 不要物質等を電極に吸着させている状態にあっては、液体排出部 12 から排出された液体は、中和槽 21 をバイパスし、凝集槽 22 において液体中の固形物が凝集され、凝集槽 22 で凝集した固形物は沈殿槽 23 で沈殿され、清浄になった液体は最終的に外部に放流される。

[0077] また、エレクトロ・フェントン反応に基づき電極に吸着した不要物質等を分解している状態にあっては、液体排出部 12 から排出された液体は中和槽 21 において中和され、凝集槽 22 において液体中の固形物が凝集され、凝集槽 22 で凝集した固形物は沈殿槽 23 で沈殿され、清浄になった液体は最終的に外部に放流される。中和槽 21 に添加する中和剤として塩酸、硫酸、酢酸、クエン酸、リン酸等の酸性の中和剤を使用し、凝集槽 22 に添加する無機凝集剤として、硫酸アルミニウム（硫酸バンド）、PAC（ポリ塩化アルミニウム）、第 2 塩化鉄、ポリ硫酸第 2 鉄、硫酸第 1 鉄、消石灰（水酸化カルシウム）等を使用することができるし、有機凝集剤として高分子凝集剤を使用することができる。凝縮された固形物は、例えば、鉄系の固形物であり、フェントン試薬として再生可能である場合がある。

[0078] また、バクテリオファージ MS2 の吸着試験（除去評価試験） [General T

esting Protocol #6, WHO] で使用されている general test water を使用して行った。即ち、実施例 1 の不要物質除去装置（分離装置）を用いて、不要物質等として 0.1 グラムのバクテリオファージ MS 2 が含まれる 100 cm³ の液体（規定の試験水）から、フェントン反応に基づき不要物質等を除去、分離した。試験点数を 6 点とした。具体的には、図 3 に示した除去槽（分離槽）10 の流路 40 内にバクテリオファージ MS 2 が含まれる液体を充填し、試験開始時、20 分経過後、40 分経過後及び 60 分経過後のウイルス感染価 [Log₁₀ (p f u) / ミリリットル] を求めた。その結果を図 6 に示す。従来の活性炭と比較して、バクテリオファージ MS 2 を格段に高い除去率で除去、分離することができた。ここで、図 6 において、「A」は実施例 1 A、「B」は比較例 1 A、「C」は比較例 1 B を示す。

[0079] このような実施例 1 の不要物質除去方法（分離方法）にあつては、一对の電極 31 A, 31 B、及び、一对の電極 31 A, 31 B によって構成された流路 40 によって、一種の水浄化フィルタが構成される。そして、エレクトロ・フェントン反応に基づき、電極に吸着した不要物質等を分解することで、フィルタとして機能する電極の再生を行うことができる。また、高い効率で不要物質等を除去、分離することが可能であり、高度の水浄化を行うことができる。しかも、一对の電極 31 A, 31 B に電圧を印加しない状態でも、液体導入部から流路に液体を導入して、除去すべき不要物質（分離すべき物質）を電極に吸着させることができるので、消費電力の低減を図ることができる。また、液体からの不要物質等の除去、分離を低コストで実現することができるし、簡素な構成、構造の浄化装置を提供することができる。

[0080] 尚、一对の電極 31 A, 31 B の一方を構成する電極層 33 A, 33 B は多孔質炭素材料を含み、一对の電極 31 A, 31 B の他方を構成する電極層 33 A, 33 B は炭素系材料（具体的には、多孔質炭素材料、及び、例えば、カーボンブラックのような導電性カーボン、ホウ素ドーパカーボン等、導電性が高く、過電圧の低い電極材料）あるいは白金黒を含む構成においても、一对の電極 31 A, 31 B を楕型電極とするが故に、不要物質等を高い除

去率で除去することができた。あるいは又、一对の電極 3 1 A, 3 1 B のそれぞれを構成する電極層 3 3 A, 3 3 B が炭素系材料を含む構成においても、一对の電極 3 1 A, 3 1 B を楕型電極とするが故に、不要物質等を高い除去率で除去することができた。

[0081] 実施例 1 の不要物質除去装置（但し、第 2 の態様に係る不要物質除去装置）（あるいは、分離装置）における電極及び流路の概念図を図 7 に示し、実施例 1 の不要物質除去装置（あるいは、分離装置）における電極〔但し、本開示の第 2 の態様に係る不要物質除去装置（あるいは、分離装置）における電極〕の模式的な一部断面図を図 8 に示すように、一对の電極 3 1 a, 3 1 b を平行平板の電極とし、一对の電極 3 1 a, 3 1 b の少なくとも一方は（実施例 1 にあっては両方が）、基部 3 2 a, 3 2 b、及び、基部 3 2 a, 3 2 b の表面に設けられた多孔質炭素材料を含む電極層 3 3 a, 3 3 b から成るといった実施例 1 の不要物質除去装置（あるいは、分離装置）においても、一对の電極 3 1 a 3 1 b に電圧を印加した状態で、流路 4 0' を流れる液体中の不要物質等（即ち、除去すべき不要物質あるいは分離すべき物質）を電極（電極 3 1 a、又は、電極 3 1 b、又は、電極 3 1 a 及び電極 3 1 b）に吸着させることで、電極 3 1 a, 3 1 b の電極層 3 3 a, 3 3 b を多孔質炭素材料から構成するが故に、また、2 つの電極 3 1 a, 3 1 b によって一種の通液型キャパシタ（電気二重層キャパシタ）が構成されるが故に、不要物質等を高い除去率で除去、分離することができた。尚、基部 3 2 a, 3 2 b と電極層 3 3 a, 3 3 b との間には、導電材料層 3 4 a, 3 4 b が挟み込まれている。

[0082] また、例えば、円筒形あるいは管状の除去槽の中心部に電極の一方を配置し、除去槽の側壁の内面あるいは内壁に電極の他方を配置するといった構造を採用することもできる。

実施例 2

[0083] 実施例 2 は、本開示の第 2 の態様に係る不要物質の除去方法（分離方法）に関する。実施例 2 にあっても、実施例 1 において説明した不要物質除去装

置（本開示の第１の態様～第２の態様に係る不要物質除去装置）（あるいは、分離装置）を用いる。実施例２の不要物質除去方法（分離方法）にあっては、一対の電極３１Ａ，３１Ｂ，３１ａ，３１ｂ、及び、一対の電極３１Ａ，３１Ｂ，３１ａ，３１ｂによって構成された流路４０によって、エレクトロ・フェントン反応に基づく不要物質の除去方法（分離すべき物質の分離方法）が実行される。

[0084] 即ち、一対の電極３１Ａ，３１Ｂ，３１ａ，３１ｂに電圧を印加した状態で、液体導入部１１から流路４０に液体を導入し、フェントン試薬導入部１３等から流路４０にフェントン試薬を流路４０に導入し、エレクトロ・フェントン反応に基づき、液体中の除去すべき不要物質を分解し、あるいは又、液体中の分離すべき物質を分離、分解する。

[0085] 液体排出部１２から排出された液体は中和槽２１において中和され、凝集槽２２において液体中の固形物が凝集され、凝集槽２２で凝集した固形物は沈殿槽２３で沈殿され、清浄になった液体は最終的に外部に放流される。

[0086] 実施例２にあっても、高い効率で不要物質を除去することができ、あるいは又、物質を分離することができ、高度の水浄化を行うことができた。

実施例 ３

[0087] 実施例３は、本開示の分離装置及び分離方法に関する。

[0088] 実施例３の分離装置は、

分離槽１０、

分離槽１０内に配された一対の電極３１Ａ，３１ａ，３１Ｂ，３１ｂ（陽極３１Ａ，３１ａ及び陰極３１Ｂ，３１ｂ）、

一対の電極３１Ａ，３１ａ，３１Ｂ，３１ｂによって構成された流路４０

、

分離すべき物質を含む液体（具体的には、水）を流路４０に導入する液体導入部１１、

液体を流路４０から排出する液体排出部１２、並びに、

一対の電極３１Ａ，３１ａ，３１Ｂ，３１ｂに電圧を印加する電源装置１

6、

を備えており、

一対の電極 31 A, 31 a, 31 B, 31 b は、楕型電極から構成されており、

少なくとも一方の電極は多孔質炭素材料を含む。

[0089] 分離すべき物質は帯電していることが好ましい。また、想定される空間速度 SV として、 1×10^0 乃至 1×10^4 (Hr^{-1}) を挙げることができる。場合によっては、例えば、ポリ塩化アルミニウムのような物質を添加することで、分離すべき物質の粒径を大きくすると同時に帯電させることが可能である。また、空間速度 SV の値は、実施例 1～実施例 2 にも適用することができる。

[0090] 尚、実施例 3 の分離装置の概念図は、図 1 に示した実施例 1 の不要物質除去装置を構成する除去層 10 (電極 31 A, 31 a, 31 B, 31 b、流路 40、液体導入部 11、液体排出部 12 及び電源装置 16 を含む) の概念図と同様である。また、実施例 3 の分離装置における電極及び流路の概念図は図 2 あるいは図 7 と同様であるし、実施例 3 の分離装置における電極の模式的な一部断面図は、図 3 A 及び図 3 B と同様であるし、電極の模式的な斜視図は図 4 と同様であるし、また、実施例 3 の分離装置における電極の模式的な一部断面図は、図 8 A 及び図 8 B と同様である。

[0091] 実施例 3 の分離装置は、フェントン試薬を流路 40 に導入するフェントン試薬導入部 13、導入部 14 を備えていない点を除き、実質的に実施例 1 の不要物質除去装置の一部と同じ構成、構造を有する。実施例 3 の分離装置は、液体の pH を調整するための pH 調整剤を流路に導入する pH 調整剤導入部 15 を更に備えていてもよい。また、液体排出部 12 から排出される液体の特性をモニタするモニタ装置 17、センサ部 18 を更に備えていてもよい。各電極は、実施例 1 において説明したと同様に、基部、及び、基部の表面に設けられた電極層を含み、一対の電極の一方を構成する電極層は、多孔質炭素材料を含み、一対の電極の他方を構成する電極層は、前述したダイアモ

ンド・ライク・カーボン等の材料から成る群から選択された少なくとも１種類の材料を含む。あるいは又、一对の電極のそれぞれを構成する電極層は、多孔質炭素材料を含む。多孔質炭素材料の特性は、実施例１において説明したとおりである。液体排出部１２から排出された液体を中和する中和槽２１、液体中の固形物を凝集する凝集槽２２、凝集した固形物を沈殿させる沈殿槽２３を更に備えていてもよい。

[0092] 以上のとおり、実施例３の分離装置の構成、構造は、実質的に実施例１において説明した不要物質除去装置の一部の構成、構造と同様とすることができるので、実施例３の分離装置の詳細な説明は省略する。

[0093] 実施例３の分離方法は、
分離槽１０、
分離槽１０内に配された一对の電極３１Ａ，３１ａ，３１Ｂ，３１ｂ（陽極３１Ａ，３１ａ及び陰極３１Ｂ，３１ｂ）、
一对の電極３１Ａ，３１ａ，３１Ｂ，３１ｂによって構成された流路４０、
、
分離すべき物質を含む液体（具体的には、水）を流路４０に導入する液体導入部１１、
液体を流路４０から排出する液体排出部１２、並びに、
一对の電極３１Ａ，３１ａ，３１Ｂ，３１ｂに電圧を印加する電源装置１６、
を備えており、
一对の電極３１Ａ，３１ａ，３１Ｂ，３１ｂは、櫛型電極から構成されており、
少なくとも一方の電極は多孔質炭素材料を含む実施例３の分離装置を用いた分離方法であって、
電源装置１６から一对の電極３１Ａ，３１ａ，３１Ｂ，３１ｂ（陽極３１Ａ，３１ａ及び陰極３１Ｂ，３１ｂ）に電圧を印加し、液体導入部１１から流路に液体を導入して、分離すべき物質と少なくとも一方の電極との間に電

電気二重層を形成し、以て、電気二重層が形成された電極近傍において、分離すべき物質を液体から分離する。分離すべき物質は、帯電状態に依存するが、陽極31A、31aに吸着し、あるいは又、陰極31B、31bに吸着する。液体は液体排出部12から排出されるが、場合によっては、液体排出部12から排出される液体の特性をモニタし、適宜、排出された液体の一部又は全部を液体導入部11から分離槽10に戻してもよい。ところで、電気二重層を形成するためには、液体中に電荷を有する成分（陽イオン及び陰イオン）の存在が必要とされる。通常の水の場合、 H^+ 及び H_3O^+ 並びに OH^- が存在する。電気二重層を大きくするためには、例えば、電極面積を大きくすればよい。あるいは又、多孔性材料から電極を構成することで、平坦な表面を有する電極よりも電気二重層を大きく形成することが可能となる。

[0094] 具体的には、一对の電極31A、31a、31B、31bに電圧を印加した状態として、分離すべき物質を含む液体を分離槽10へ導入することで、負の電荷を帯びた分離すべき物質は陽極31A、31aに吸着し、正の電荷を帯びた分離すべき物質は陰極31B、31bに吸着する。あるいは又、流路を流れる液体や物質が分極され、物質が電極に吸着されるし、流路を流れるイオン性の物質が電極に吸着される。

[0095] そして、ある程度の量の物質が電極に吸着した後、分離すべき物質を含む液体の分離槽10への導入を中止し、分離槽10に液体導入部11から回収用液体を流す。次いで、一对の電極31A、31a、31B、31bに逆の電圧を印加する。即ち、陽極31A、31aを負の電位とする。これによって、陽極31A、31aに吸着した物質を陽極31A、31aから離脱させることができる。陽極31A、31aから離脱した物質は、回収用液体と共に、液体排出部12から排出される。そして、適切な方法で回収用液体から物質を回収すればよい。また、同様にして、陰極31B、31bを正の電位とする。これによって、陰極31B、31bに吸着した物質を陰極31B、31bから離脱させることができる。陰極31B、31bから離脱した物質は、回収用液体と共に、液体排出部12から排出される。

[0096] 陽極 3 1 A, 3 1 a に吸着させる物質、回収用液体、回収用液体から物質の回収方法の組合せとして、以下を例示することができる。

[0097] [ケース A]

分離、回収すべき物質：表面にマイナス電荷を有するウイルスや細菌類

回収用液体：水や、低濃度エタノール混合水等

物質の回収方法：分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。分離、回収すべき物質を不活性化してもよい場合には、加熱してもよい。

[ケース B]

分離、回収すべき物質：マイナス電荷を有するタンパク質や高分子

回収用液体：水や、低濃度エタノール混合水、その他、有機溶媒等

物質の回収方法：分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。分離、回収すべき物質の構造が破壊されてもよい場合には、加熱してもよい。

[ケース C]

分離、回収すべき物質：表面にマイナス電荷を有する有機分子

回収用液体：水や、有機溶媒等

物質の回収方法：分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。加熱してもよい。

[ケース D]

分離、回収すべき物質：表面にマイナス電荷を有する無機イオン

回収用液体：水や、有機溶媒等

物質の回収方法：分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。加熱してもよい。

[ケース E]

分離、回収すべき物質：表面にマイナス電荷を有するコロイド粒子

回収用液体：水や、有機溶媒等

物質の回収方法 : 分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。加熱してもよい。

[0098] 陰極 3 1 B, 3 1 b に吸着させる物質、回収用液体、回収用液体から物質の回収方法の組合せとして、以下を例示することができる。

[0099] [ケース a]

分離、回収すべき物質 : 表面にプラス電荷を有するウイルスや細菌類

回収用液体 : 水や、低濃度エタノール混合水等

物質の回収方法 : 分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。分離、回収すべき物質を不活性化してもよい場合には、加熱してもよい。

[ケース b]

分離、回収すべき物質 : プラス電荷を有するタンパク質や高分子

回収用液体 : 水や、低濃度エタノール混合水、その他、有機溶媒等

物質の回収方法 : 分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。分離、回収すべき物質の構造が破壊されてもよい場合には、加熱してもよい。

[ケース c]

分離、回収すべき物質 : 表面にプラス電荷を有する有機分子

回収用液体 : 水や、有機溶媒等

物質の回収方法 : 分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。加熱してもよい。

[ケース d]

分離、回収すべき物質 : 表面にプラス電荷を有する無機イオン

回収用液体 : 水や、有機溶媒等

物質の回収方法 : 分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。加熱してもよい。

[ケース e]

分離、回収すべき物質：表面にプラス電荷を有するコロイド粒子

回収用液体：水や、有機溶媒等

物質の回収方法：分離、回収すべき物質を吸着した電極を回収用液体に浸漬することで回収する。加熱してもよい。

[0100] 分離すべき物質を含む液体が陽極 3 1 A, 3 1 a と接する直前に分離すべき物質を含む液体が陽イオン交換樹脂を通過するように、分離槽 1 0 内に、具体的には、分離槽 1 0 内の陽極 3 1 A, 3 1 a の上流領域に陽イオン交換樹脂を配置してもよいし、分離すべき物質を含む液体が陰極 3 1 B, 3 1 b と接する直前に分離すべき物質を含む液体が陰イオン交換樹脂を通過するように、分離槽 1 0 内に、具体的には、分離槽 1 0 内の陰極 3 1 B, 3 1 b の上流領域に陰イオン交換樹脂を配置してもよい。

[0101] 以上、好ましい実施例に基づき本開示を説明したが、本開示はこれらの実施例に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。実施例において説明した不要物質除去装置、分離装置あるいは不要物質除去方法、分離方法は、適宜、変更することができるし、また、実施例において説明した多孔質炭素材料、原料（植物由来の材料）、製造方法、製造条件等も例示であり、適宜、変更することができる。導電材料層を備えることは必須ではなく、基部を導電材料から構成する場合、導電材料層は不要である。

[0102] 本開示の第 1 の態様～第 2 の態様に係る不要物質除去装置によって、例えば、水の浄化による飲料水の取得を目的とした高品質の水浄化フィルタや浄化装置、汚水中のウイルスや細菌、有機物、汚染物質の除去、再生水の取得を目的とした高品質のフィルタや浄化装置を提供することができる。また、各種設備から排出される液体（例えば、食器洗浄機や洗濯機、水を使用する各種電気製品からの廃液、工場廃液）の処理を行うこともできる。また、本開示の分離装置によって、例えば、ウイルスや細菌、菌類を回収する回収装置；有機分子や高分子物質、アミノ酸から成る遺伝子やタンパク質等を回収する回収装置；無機イオンや、無機イオンを含むコロイド状物質を回収する回収装置；重金属イオンや、重金属イオンを含むコロイド状物質を回収する

回収装置を提供することができる。

[0103] 尚、本開示は、以下のような構成を取ることもできる。

[A 0 1] 《不要物質除去装置・・・第1の態様》

除去槽、

除去槽内に配された一对の電極、

一对の電極によって構成された流路、

フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、

除去すべき不要物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、

液体を流路から排出する液体排出部、

を備えており、

一对の電極は、櫛型電極から構成されている不要物質除去装置。

[A 0 2] フェントン試薬導入部は、酸素原子を含む気体又は液体を流路に導入する導入部を備えている[A 0 1]に記載の不要物質除去装置。

[A 0 3] 一对の電極に電圧を印加する電源装置を更に備えている[A 0 1]又は[A 0 2]に記載の不要物質除去装置。

[A 0 4] 液体のpHを調整するためのpH調整剤を流路に導入するpH調整剤導入部を更に備えている[A 0 1]乃至[A 0 3]のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

[A 0 5] 液体排出部から排出される液体の特性をモニタするモニタ装置を更に備えている[A 0 1]乃至[A 0 4]のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

[A 0 6] 各電極は、基部、及び、基部の表面に設けられた電極層を含む[A 0 1]乃至[A 0 5]のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

[A 0 7] 一对の電極の一方を構成する電極層は、多孔質炭素材料を含み、
一对の電極の他方を構成する電極層は、ダイヤモンド・ライク・カーボン、グラッシー・カーボン、カーボンファイバー、カーボンナノチューブ、グラフェン、炭素繊維、活性炭、カーボンブラック、ホウ素ドーパカーボン、白金、金、銀、白金黒及びステンレス鋼から成る群から選択された少なくとも

も1種類の材料を含む[A06]に記載の不要物質除去装置。

[A08] 一对の電極のそれぞれを構成する電極層は、多孔質炭素材料を含む[A06]乃至[A05]のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

[A09] 多孔質炭素材料の全細孔体積 V_{Total} は、 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $2.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、 $0.1 \mu\text{m}$ 乃至 $2.0 \mu\text{m}$ の細孔体積 V_{Macro} は、 $0.3 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、

$0.05 \leq V_{Macro}/V_{Total} \leq 1.0$

を満足する[A07]又は[A08]に記載の不要物質除去装置。

[A10] 液体排出部から排出された液体を中和する中和槽、

中和槽から排出された液体中の固形物を凝集させる凝集槽、及び、

凝集槽で凝集した固形物を沈殿させる沈殿槽、

を更に備えている[A01]乃至[A09]のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

[B01] 《不要物質除去装置・・・第2の態様》

除去槽、

除去槽内に配された一对の電極、

一对の電極によって構成された流路、

フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、

除去すべき不要物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、

液体を流路から排出する液体排出部、

を備えており、

一对の電極の少なくとも一方は、基部、及び、基部の表面に設けられた多孔質炭素材料を含む電極層から成る不要物質除去装置。

[B02] フェントン試薬導入部は、酸素原子を含む気体又は液体を流路に導入する導入部を備えている[B01]に記載の不要物質除去装置。

[B03] 一对の電極に電圧を印加する電源装置を更に備えている[B01]又は[B02]に記載の不要物質除去装置。

[B04] 液体のpHを調整するためのpH調整剤を流路に導入するpH調

整剤導入部を更に備えている〔B 0 1〕乃至〔B 0 3〕のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

〔B 0 5〕液体排出部から排出される液体の特性をモニタするモニタ装置を更に備えている〔B 0 1〕乃至〔B 0 4〕のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

〔B 0 6〕一対の電極のそれぞれを構成する電極層は、多孔質炭素材料を含む〔B 0 1〕乃至〔B 0 5〕のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

〔B 0 7〕多孔質炭素材料の全細孔体積 V_{Total} は、 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $2.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、 $0.1 \mu\text{m}$ 乃至 $2.0 \mu\text{m}$ の細孔体積 V_{Macro} は、 $0.3 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、 $0.05 \leq V_{Macro}/V_{Total} \leq 1.0$

を満足する〔B 0 1〕乃至〔B 0 6〕のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

〔B 0 8〕液体排出部から排出された液体を中和する中和槽、
中和槽から排出された液体中の固形物を凝集させる凝集槽、及び、
凝集槽で凝集した固形物を沈殿させる沈殿槽、
を更に備えている〔B 0 1〕乃至〔B 0 7〕のいずれか1項に記載の不要物質除去装置。

〔C 0 1〕《不要物質除去方法・・・第1の態様》

除去槽、
除去槽内に配された一対の電極、
一対の電極によって構成された流路、
フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、
除去すべき不要物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、
液体を流路から排出する液体排出部、
を備え、
一対の電極は、櫛型電極から構成されている除去装置を用いた除去方法であって、

液体導入部から流路に液体を導入し、除去すべき不要物質を電極に吸着させた後、

一対の電極に電圧を印加した状態で、フェントン試薬導入部から流路にフェントン試薬を流路に導入し、電極に吸着した除去すべき不要物質を分解する不要物質除去方法。

[C 0 2] 《不要物質除去方法・・・第2の態様》

除去槽、

除去槽内に配された一対の電極、

一対の電極によって構成された流路、

フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、

除去すべき不要物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、

液体を流路から排出する液体排出部、

を備え、

一対の電極は、櫛型電極から構成されている除去装置を用いた除去方法であって、

一対の電極に電圧を印加した状態で、液体導入部から流路に液体を導入し、フェントン試薬導入部から流路にフェントン試薬を流路に導入し、液体中の除去すべき不要物質を分解する不要物質除去方法。

[0104] また、本開示は、以下のような分離装置、分離方法に適用することもできる。

[D 0 1] 《分離装置・・・第1の態様》

分離槽、

分離槽内に配置された一対の電極、

一対の電極によって構成された流路、

分離すべき物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、

液体を流路から排出する液体排出部、並びに、

一対の電極に電圧を印加する電源装置、

を備えており、

一対の電極は櫛型電極から構成されており、

少なくとも一方の電極は多孔質炭素材料を含む分離装置。

[D 0 2] 分離すべき物質は帯電している [D 0 1] に記載の分離装置。

[D 0 3] 液体の pH を調整するための pH 調整剤を流路に導入する pH 調整剤導入部を更に備えている [D 0 1] 又は [D 0 2] に記載の分離装置。

[D 0 4] 液体排出部から排出される液体の特性をモニタするモニタ装置を更に備えている [D 0 1] 乃至 [D 0 3] のいずれか 1 項に記載の分離装置。

[D 0 5] 各電極は、基部、及び、基部の表面に設けられた電極層を含む [D 0 1] 乃至 [D 0 4] のいずれか 1 項に記載の分離装置。

[D 0 6] 一対の電極の一方を構成する電極層は、多孔質炭素材料を含み、
一対の電極の他方を構成する電極層は、ダイヤモンド・ライク・カーボン、グラッシー・カーボン、カーボンファイバー、カーボンナノチューブ、グラフェン、炭素繊維、活性炭、カーボンブラック、ホウ素ドーブカーボン、白金、金、銀、白金黒及びステンレス鋼から成る群から選択された少なくとも 1 種類の材料を含む [D 0 5] に記載の分離装置。

[D 0 7] 一対の電極のそれぞれを構成する電極層は、多孔質炭素材料を含む [D 0 5] に記載の分離装置。

[D 0 8] 多孔質炭素材料の全細孔体積 V_{Total} は、 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $2.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、 $0.1 \mu\text{m}$ 乃至 $2.0 \mu\text{m}$ の細孔体積 V_{Macro} は、 $0.3 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、
 $0.05 \leq V_{Macro}/V_{Total} \leq 1.0$

を満足する [D 0 1] 乃至 [D 0 7] のいずれか 1 項に記載の分離装置。

[E 0 1] 《分離装置・・・第 2 の態様》

分離槽、

分離槽内に配された一対の電極、

一対の電極によって構成された流路、

フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、

分離すべき物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、
液体を流路から排出する液体排出部、
を備えており、

一対の電極は、櫛型電極から構成されている分離装置。

[E 0 2] フェントン試薬導入部は、酸素原子を含む気体又は液体を流路に導入する導入部を備えている [E 0 1] に記載の分離装置。

[E 0 3] 一対の電極に電圧を印加する電源装置を更に備えている [E 0 1] 又は [E 0 2] に記載の分離装置。

[E 0 4] 液体の pH を調整するための pH 調整剤を流路に導入する pH 調整剤導入部を更に備えている [E 0 1] 乃至 [E 0 3] のいずれか 1 項に記載の分離装置。

[E 0 5] 液体排出部から排出される液体の特性をモニタするモニタ装置を更に備えている [E 0 1] 乃至 [E 0 4] のいずれか 1 項に記載の分離装置。

[E 0 6] 各電極は、基部、及び、基部の表面に設けられた電極層を含む [E 0 1] 乃至 [E 0 5] のいずれか 1 項に記載の分離装置。

[E 0 7] 一対の電極の一方を構成する電極層は、多孔質炭素材料を含み、
一対の電極の他方を構成する電極層は、ダイヤモンド・ライク・カーボン、グラッシー・カーボン、カーボンファイバー、カーボンナノチューブ、グラフェン、炭素繊維、活性炭、カーボンブラック、ホウ素ドーブカーボン、白金、金、銀、白金黒及びステンレス鋼から成る群から選択された少なくとも 1 種類の材料を含む [E 0 6] に記載の分離装置。

[E 0 8] 一対の電極のそれぞれを構成する電極層は、多孔質炭素材料を含む [E 0 6] に記載の分離装置。

[E 0 9] 多孔質炭素材料の全細孔体積 V_{Total} は、 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $2.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、 $0.1 \mu\text{m}$ 乃至 $2.0 \mu\text{m}$ の細孔体積 V_{Macro} は、 $0.3 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ 乃至 $1.0 \text{ cm}^3/\text{グラム}$ であり、
 $0.05 \leq V_{Macro}/V_{Total} \leq 1.0$

を満足する〔E 0 7〕又は〔E 0 8〕に記載の分離装置。

〔E 1 0〕液体排出部から排出された液体を中和する中和槽、
中和槽から排出された液体中の固形物を凝集させる凝集槽、及び、
凝集槽で凝集した固形物を沈殿させる沈殿槽、
を更に備えている〔E 0 1〕乃至〔E 0 9〕のいずれか1項に記載の分離装置。

〔F 0 1〕《分離装置・・・第3の態様》

分離槽、
分離槽内に配された一対の電極、
一対の電極によって構成された流路、
フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、
分離すべき物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、
液体を流路から排出する液体排出部、
を備えており、
一対の電極の少なくとも一方は、基部、及び、基部の表面に設けられた多孔質炭素材料を含む電極層から成る分離装置。

〔G 0 1〕《分離方法・・・第1の態様》

分離槽、
分離槽内に配された一対の電極、
一対の電極によって構成された流路、
分離すべき物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、
液体を流路から排出する液体排出部、並びに、
一対の電極に電圧を印加する電源装置、
を備えており、
一対の電極は楕型電極から構成されており、
少なくとも一方の電極は多孔質炭素材料を含む分離装置を用いた分離方法であって、
電源装置から一対の電極に電圧を印加し、液体導入部から流路に液体を導

入して、分離すべき物質と少なくとも一方の電極との間に電気二重層を形成し、以て、電気二重層が形成された電極近傍において、分離すべき物質を液体から分離する分離方法。

[G O 2] 《分離方法・・・第2の態様》

分離槽、
分離槽内に配された一対の電極、
一対の電極によって構成された流路、
フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、
分離すべき物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、
液体を流路から排出する液体排出部、
を備え、
一対の電極は、櫛型電極から構成されている分離装置を用いた分離方法であって、
液体導入部から流路に液体を導入し、分離すべき物質を電極に吸着させた後、
一対の電極に電圧を印加した状態で、フェントン試薬導入部から流路にフェントン試薬を流路に導入し、電極に吸着した分離すべき物質を分解する分離方法。

[G O 3] 《分離方法・・・第3の態様》

分離槽、
分離槽内に配された一対の電極、
一対の電極によって構成された流路、
フェントン試薬を流路に導入するフェントン試薬導入部、
分離すべき物質を含む液体を流路に導入する液体導入部、並びに、
液体を流路から排出する液体排出部、
を備え、
一対の電極は、櫛型電極から構成されている分離装置を用いた分離方法であって、

一対の電極に電圧を印加した状態で、液体導入部から流路に液体を導入し、フェントン試薬導入部から流路にフェントン試薬を流路に導入し、液体中の分離すべき物質を分解する分離方法。

符号の説明

[0105] 10・・・除去槽、11・・・液体導入部、12・・・液体排出部、13・・・フェントン試薬導入部、14・・・導入部、15・・・pH調整剤導入部、16・・・電源装置、17・・・モニタ装置、18・・・センサ部、21・・・中和槽、22・・・凝集槽、23・・・沈殿槽、31A, 31a, 31B, 31b・・・電極、32A, 32a, 32B, 32b・・・基部、33A, 33a, 33B, 33b・・・電極層、34A, 34a, 34B, 34b・・・導電体層、35・・・ライニング材、40・・・流路