

明 細 書

発明の名称：イオン交換装置

技術分野

[0001] 本発明は、被処理液の不純物イオンを除去可能なイオン交換装置に関するものである。

背景技術

[0002] 被処理液中の不純物イオンを除去することにより、工業用水の軟水化または純水製造、飲料水や車両用冷却水等の浄化を行うためのイオン交換装置について、近時より種々提案されており、例えばイオン交換体を粒状に成形したイオン交換樹脂を充填したものが提案されている。例えば、従来、特許文献1、2等の開示されているように、粒状のイオン交換樹脂を容器に充填し、当該容器に被処理液を通過させることにより不純物イオンを吸着して除去するものが挙げられる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開昭62-14948号公報
特許文献2：特開2002-136968号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、上記従来技術においては、イオン交換容量が $1.5 \sim 2 \text{ meq/cm}^3$ 程度と少ないため、それ以上の性能が要求される場合、高価なイオン交換樹脂を必要として製造コストが高んだり、或いは、イオン交換樹脂の大きな保持部が必要とされてイオン交換装置全体が大型化してしまう等の問題がある。

[0005] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、高価なイオン交換体を必要とすることなくイオン交換容量を増加させることができるイオン交換装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0006] 請求項 1 記載の発明は、不純物イオンを含有した液体から成る被処理液が収容された原水部と、前記不純物イオンと交換可能なイオンから成る交換イオンを含有した処理物質が収容された処理部と、前記不純物イオンの前記原水部から処理部に対する通過、及び前記交換イオンの前記処理部から原水部に対する通過を許容するイオン交換体とを具備したイオン交換装置であって、前記原水部の被処理液より前記処理部の処理物質の方がモル濃度が高いことを特徴とする。
- [0007] 請求項 2 記載の発明は、請求項 1 記載のイオン交換装置において、前記処理部における前記処理物質のモル濃度は、2 モル/L 以上であることを特徴とする。
- [0008] 請求項 3 記載の発明は、請求項 1 又は請求項 2 記載のイオン交換装置において、前記原水部は、前記被処理液を流通させ得ることを特徴とする。
- [0009] 請求項 4 記載の発明は、請求項 3 記載のイオン交換装置において、前記処理部は、前記処理物質を前記被処理液と対向する方向に流通させ得ることを特徴とする。
- [0010] 請求項 5 記載の発明は、請求項 3 又は請求項 4 記載のイオン交換装置において、粒状のイオン交換体が充填された副処理部を具備するとともに、当該副処理部が前記原水部の下流側に接続され、前記原水部を流通した前記被処理液が前記副処理部に流入可能とされたことを特徴とする。
- [0011] 請求項 6 記載の発明は、請求項 1 ～ 5 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記原水部は、前記イオン交換体と接触した状態で充填された充填イオン交換体が収容されたことを特徴とする。
- [0012] 請求項 7 記載の発明は、請求項 6 記載のイオン交換装置において、前記充填イオン交換体は、球状又は繊維状のイオン交換体から成ることを特徴とする。
- [0013] 請求項 8 記載の発明は、請求項 1 ～ 7 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記処理部は、前記処理物質を攪拌可能な攪拌手段が配設され

たことを特徴とする。

- [0014] 請求項 9 記載の発明は、請求項 1 ～ 8 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記原水部と前記イオン交換体との間の接合部、および前記処理部と前記イオン交換体との間の接合部の少なくとも一方をシールするシール手段が配設されたことを特徴とする。
- [0015] 請求項 10 記載の発明は、請求項 1 ～ 9 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記交換イオンは、第一族元素イオンまたは水酸化物イオンから成ることを特徴とする。
- [0016] 請求項 11 記載の発明は、請求項 1 ～ 10 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記処理物質は、弱酸または弱塩基を含むことを特徴とする。
- [0017] 請求項 12 記載の発明は、請求項 1 ～ 11 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記処理物質は、第一族元素イオンを含む溶液であることを特徴とする。
- [0018] 請求項 13 記載の発明は、請求項 1 ～ 12 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記交換イオンが第一族元素イオンから成る第 1 処理部と、前記交換イオンが水酸化物イオンから成る第 2 処理部とを具備し、これら第 1 処理部及び第 2 処理部がそれぞれ前記イオン交換体を介して前記原水部に接続されたことを特徴とする。
- [0019] 請求項 14 記載の発明は、請求項 1 ～ 13 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記処理部に収容された処理物質は、分子量が 80 g／モル以上の物質から成ることを特徴とする。
- [0020] 請求項 15 記載の発明は、請求項 1 ～ 14 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記イオン交換体は、筒状、平膜形状または中空糸形状とされたことを特徴とする。
- [0021] 請求項 16 記載の発明は、請求項 1 ～ 15 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記イオン交換体は、イオン交換樹脂膜から成ることを特徴とする。

[0022] 請求項 1 7 記載の発明は、請求項 1 ～ 1 6 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、前記イオン交換体は、ダブルネットワークゲルから成ることを特徴とする。

[0023] 請求項 1 8 記載の発明は、請求項 1 ～ 1 7 の何れか 1 つに記載のイオン交換装置において、イオン交換体は、シート状の繊維層から成る支持体上に形成されたことを特徴とする。

発明の効果

[0024] 本願発明によれば、不純物イオンを含有した液体から成る被処理液が収容された原水部と、不純物イオンと交換可能なイオンから成る交換イオンを含有した処理物質が収容された処理部と、不純物イオンの原水部から処理部に対する通過、及び交換イオンの処理部から原水部に対する通過を許容するイオン交換体とを具備し、原水部の被処理液より処理部の処理物質の方がモル濃度が高いことを特徴とするので、高価なイオン交換体を多く使うことなく安価なイオン交換装置を提供することができる。また、処理物質中に含まれる交換可能なイオン量（密度）が既存のイオン交換樹脂と比較して高いため、体積当りのイオン交換容量を増加させることができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]本発明の第 1 の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図

[図2]同実施形態に係る他のイオン交換装置を示す模式図

[図3]同実施形態に係る他のイオン交換装置を示す模式図

[図4]同実施形態に係る他のイオン交換装置を示す模式図

[図5]同実施形態に係る他のイオン交換装置を示す模式図

[図6]同実施形態に係る他のイオン交換装置を示す模式図

[図7]本発明の第 2 の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図

[図8]本発明の更に他の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図

[図9]同実施形態に係るイオン交換装置を示す斜視図

[図10]本発明の更に他の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図

[図11]本発明の更に他の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図

- [図12]本発明の更に他の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図
- [図13]本発明の第3の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図
- [図14]同実施形態に係るイオン交換装置の技術的效果を示すグラフ
- [図15]本発明の第4の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図
- [図16]同実施形態に係るイオン交換装置の技術的效果を示すグラフ
- [図17]本発明の第6の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図
- [図18]本発明の他の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図
- [図19]本発明の第7の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図
- [図20]本発明の他の実施形態に係るイオン交換装置を示す模式図
- [図21]本発明に係る実施例1～8及び比較例1のイオン交換容量を示す表
- [図22]本発明に係る実施例9～15のイオン交換容量を示す表
- [図23]本発明に係る実施例16、17のイオン交換容量を示す表
- [図24]本発明に係る実施例18～21のイオン交換容量を示す表
- [図25]本発明に係る実施例22～28のイオン交換容量を示す表
- [図26]本発明に係る実施例29、30のイオン交換容量を示す表
- [図27]本発明に係る実施例31～33のイオン交換容量を示す表
- [図28]本発明に係る実施例34、35のイオン交換容量を示す表
- [図29]本発明に係る実施例36、37のイオン交換容量を示す表
- [図30]本発明に係る実施例38、39のイオン交換容量を示す表
- [図31]本発明に係る実施例40、41のイオン交換容量を示す表
- [図32]本発明に係る実施例42～46の実験条件を示す表
- [図33]本発明に係る実施例42～46のイオン交換容量を示す表
- [図34]本発明に係る処理物質のもれ量と分子量の関係を示すグラフ

発明を実施するための形態

[0026] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら具体的に説明する。

本実施形態に係るイオン交換装置は、被処理液中の不純物イオンを除去することにより、工業用水の軟水化または純水製造、飲料水や車両用冷却水等の浄化を行うもので、第1の実施形態に係るイオン交換装置として、図1に

示すように、原水槽 1（原水部）と、処理槽 2（処理部）と、イオン交換体 3とを有したものが挙げられる。

[0027] 原水槽 1 は、不純物イオンを含有した液体から成る被処理液が収容された部位であり、例えば被処理液として、不純物陽イオンとして K^+ （カリウムイオン）、 Na^+ （ナトリウムイオン）を含有する溶液、不純物陰イオンとして CO_3^{2-} （炭酸イオン）、 Cl^- （塩化物イオン）を含有する溶液が挙げられる。本実施形態に係る原水槽 1 は、これら不純物陽イオンや不純物陰イオンを含有した被処理液（被処理水）が所定容量収容されている。

[0028] 処理槽 2 は、不純物イオンと交換可能なイオンから成る交換イオンを含有した処理物質（本実施形態においては液体）が収容された部位であり、例えば酸を含む溶液槽やアルカリを含む溶液槽が挙げられる。酸を含む溶液槽とした場合には、例えば交換イオンとしての H^+ （水素イオン）を含有した溶液（具体的には、交換イオンとしての H^+ に加え、 Cl^- を含有した溶液）が収容され、アルカリを含む溶液槽とした場合には、例えば交換イオンとしての OH^- （水酸化物イオン）を含有した溶液（具体的には、交換イオンとしての OH^- に加え、 Na^+ を含有した溶液）が収容される。

[0029] イオン交換体 3 は、不純物イオンの原水槽 1 から処理槽 2 に対する通過、或いは交換イオンの処理槽 2 から原水槽 1 に対する通過を許容するもので、例えばイオン交換樹脂、キレート樹脂、リン酸処理石膏、ナフィオン、ゼオライト、ハイドロタルサイト又は金属酸化物等を用いることができる。本実施形態に係るイオン交換体 3 は、原水槽 1 及び処理槽 2 の間に介在した平膜形状のものから成り、不純物イオンが陽イオンの場合、陽イオン交換体を用いて不純物イオンと処理物質中の交換可能な陽イオンのみを相互に通過させることで機能し、不純物イオンが陰イオンの場合、陰イオン交換体を用いて不純物イオンと処理物質中の交換可能な陰イオンのみを相互に通過させることで機能し、不純物イオンを原水から除去することができる。

[0030] ここで、本実施形態に係るイオン交換装置は、原水槽 1 の被処理液より処理槽 2 の溶液（処理物質）の方がモル濃度が高く設定されている。これによ

り、原水槽 1 に収容された被処理液における不純物イオンより処理槽 2 に収容された交換イオンの方が濃度（モル濃度）が高く設定されているので、不純物イオンがイオン交換体 3 に吸着されると、その不純物イオンが濃度差によってイオン交換体 3 内を移動し、処理槽 2 内に放出されるとともに、処理槽 2 内の交換イオンがイオン交換体 3 内を移動し、原水槽 1 内に放出されることとなる。

[0031] すなわち、濃度差やイオン選択性により、原水槽 1 内の不純物イオンがイオン交換体 3 に接触すると、その不純物イオンがイオン交換体 3 のイオンと入れ替わり、処理槽 2 側のイオン交換体 3 までイオンが順次入れ替わることとなる。こうして、イオン交換体 3 に触れた不純物イオンは、原水槽 1 から処理槽 2 に向かってイオン交換体 3 内を通過するとともに、処理槽 2 のモル濃度（交換イオンの濃度）が高いため、処理槽 2 の交換イオンと入れ替わり、当該処理槽 2 内に移動することとなる。これにより、原水槽 1 内の不純物イオンを除去することができる。

[0032] 例えば、 OH^- を含有する構造式で表される膜状のイオン交換体 3（陰イオン交換体）を用いるとともに、原水槽 1 に不純物イオン（陰イオン）として Cl^- を含有する溶液、及び処理槽 2 に Na^+ や OH^- 等の交換イオンを含む処理物質が収容されたイオン交換装置について説明する。この場合、イオン選択性（イオンの価数が高いものほど、原子・分子サイズの大きいものほど交換されやすい特性）により、原水槽 1 の不純物イオンである Cl^- がイオン交換体 3 の OH^- と入れ替わってイオン交換体 3 内に取り込まれるとともに、その取り込まれた不純物イオン（ Cl^- ）がイオン交換体 3 内の OH^- イオンと順次入れ替わる。

[0033] そして、本実施形態においては原水槽 1 の被処理液より処理槽 2 の処理物質の方がモル濃度が高いので、イオン交換体 3 に取り込まれた不純物イオン（ Cl^- ）が処理槽 2 の交換イオン（ OH^- ）と入れ替わることにより、原水槽 1 の不純物イオン（ Cl^- ）が処理槽 2 に移動して除去されることとなる。なお、陽イオンである Na^+ は、イオン交換体 3 内の N^+ と反発するため、原

水槽 1 内まで移動し難い状態となっている。

[0034] なお、処理槽 2 が酸を含む溶液を収容する場合、原水槽 1 内の陰イオンは、イオン交換体 3（陽イオン交換体）中のスルホン酸基などの陰イオンと反発して当該イオン交換体 3 を通過することができず、処理槽 2 がアルカリを含む溶液を収容する場合、原水槽 1 内の陽イオンは、イオン交換体 3（陰イオン交換体）中の第 4 級アンモニウム基などの陽イオンと反発して当該イオン交換体 3 を通過することができないようになっている。

[0035] このように、本実施形態に係るイオン交換体 3 は、互いに異なる電荷を帯びた異符号のイオンの通過を阻止し、同一の電荷を帯びた同符号のイオンのみを通過させる性質を有した膜状の部材から成り、不純物イオンの濾過を目的として構成されている。なお、陽イオンのみ通過させるイオン交換体 3 は、陽イオン交換膜（カチオン交換膜）、陰イオンだけを通過させるイオン交換体 3 は陰イオン交換膜（アニオン交換膜）と称される。

[0036] しかるに、原水槽 1 内の圧力を処理槽 2 内の圧力よりも高くする（原水槽 1 内の被処理液の液圧を処理槽 2 内の溶液の圧力よりも高くする）のが好ましい。この場合、処理槽 2 内のイオンであって原液槽 1 内に移動させたくないイオンのイオン交換体 3 の通過を抑制することができる。例えば、原水槽 1 内を被処理液が流動するものとし、その流動抵抗によって原水槽 1 内の圧力を処理槽 2 内の圧力よりも高くすることができる。

[0037] 一方、本実施形態に係る原水槽 1 の被処理液及び処理槽 2 の溶液（処理物質）が流動しない状態とされているが、図 2 に示すように、原水槽 1 に流入口 1 a 及び流出口 1 b を形成して原水槽 1 内の被処理液を流動させるもの、図 3 に示すように、処理槽 2 に流入口 2 a 及び流出口 2 b を形成して処理槽 2 内の溶液（処理物質）を流動させるもの、或いは図 4 に示すように、原水槽 1 に流入口 1 a 及び流出口 1 b を形成して被処理液を流動させるとともに、処理槽 2 に流入口 2 a 及び流出口 2 b を形成して処理物質を流動させるものとしてもよい。ただし、被処理液のみを流通させる場合は簡易な構成で連続的に不純物イオンを除去できるため、好ましい。

[0038] また、図5に示すように、原水槽1（原水部）とイオン交換体3との間の接合部、および処理槽2（処理部）とイオン交換体3との間の接合部にガスケット等のシール手段4が配設されたものとしてもよい。この場合、シール手段4は、原水槽1（原水部）とイオン交換体3との間の接合部、および処理槽2（処理部）とイオン交換体3との間の接合部の少なくとも一方に配設されていれば足りる。

[0039] さらに、図6に示すように、処理槽2（処理部）は、溶液（処理物質）を攪拌可能なインペラ等の攪拌手段5が配設されたものであってもよい。これにより、原水槽1内の被処理液からイオン交換体3を通過して処理槽2内に至った不純物イオンが溶液（処理物質）中に混合した後、攪拌手段5にて攪拌されるので、イオン交換のための効率をより向上させることができる。

[0040] また、本実施形態に係るイオン交換装置として、処理槽2における溶液（処理物質）のモル濃度は、2モル/L以上であるのが好ましい。2モル/L以上であれば、既存のイオン交換樹脂よりも高いイオン交換容量のイオン交換装置を提供することができる。さらに、処理槽2内の交換イオンは、第一族元素イオンまたは水酸化物イオンから成るものが好ましく、弱酸または弱塩基を含むものであってもよい。またさらに、イオン交換体3は、イオン交換樹脂膜から成るもの、ダブルネットワークゲルから成るもの、またはシート状の繊維層から成る支持体上に形成されたものであってもよい。

[0041] ダブルネットワークゲル（DNゲル）とは、種々の溶媒に対して不溶の三次元網目構造を持つ高分子およびその膨潤体から成り、高強度及び低摩擦の性能を有したゲルから成るものである。より具体的には、ダブルネットワークゲルは、硬くて脆い強電解質性のゲルとやわらかい中性のゲルを絡み合わせ、相互独立な二重高分子網目構造を持たせて構成されている。ダブルネットワークゲルを使用するとイオン交換体が高強度で破れにくいため、好ましい。

[0042] また、支持体としてのシート状の繊維層は、例えばセルロース繊維から成り、0.05mm以上0.3mm以下の厚さ寸法、好ましくは0.15mm

程度の厚さ寸法を有して構成されたものが好ましい。より具体的には、繊維層は、セルロース等のパルプや、耐水性や耐薬品性の高いPET繊維などを材料とし、抄造法（抄紙法）によりシート状（ペーパー状）に成形されたものが好ましい。

[0043] 次に、本発明に係る第2の実施形態について説明する。

本実施形態に係るイオン交換装置は、第1の実施形態と同様、被処理液中の不純物イオンを除去することにより、工業用水の軟水化または純水製造、飲料水や車両用冷却水等の浄化を行うもので、図7に示すように、原水槽1と、第1処理槽6（第1処理部）と、陽イオン交換体7と、第2処理槽8（第2処理部）と、陰イオン交換体9とを有して構成されている。

[0044] なお、本実施形態に係る原水槽1には、流入口1a及び流出口1bが形成されており、被処理液が流動し得ようになっている。また、原水槽1は、第1の実施形態と同様、不純物陽イオンとして K^+ （カリウムイオン）、 Na^+ （ナトリウムイオン）を含有する溶液、不純物陰イオンとして CO_3^{2-} （炭酸イオン）、 Cl^- （塩化物イオン）を含有する溶液が収容及び流動している。ただし、不純物イオンの種類はこれに限定されるものではない。

[0045] 第1処理槽6は、第一族元素イオンから成る交換イオンを含有した溶液（処理物質）が収容された部位であり、例えば交換イオンとしての H^+ （水素イオン）を含有した溶液（具体的には、交換イオンとしての H^+ に加え、 Cl^- を含有した溶液）を収容している。第2処理槽8は、水酸化物イオンから成る交換イオンを含有した溶液（処理物質）が収容された部位であり、例えば交換イオンとしての OH^- （水酸化物イオン）を含有した溶液（具体的には、交換イオンとしての OH^- に加え、 Na^+ を含有した溶液）を収容している。

[0046] また、第1処理槽6及び第2処理槽8は、それぞれイオン交換体（陽イオン交換体7及び陰イオン交換体9）を介して原水槽1に接続されている。これら陽イオン交換体7及び陰イオン交換体9は、第1の実施形態におけるイオン交換体3と同様のもので、不純物イオンの原水槽1から処理槽2に対する通過、或いは交換イオンの処理槽2から原水槽1に対する通過を許容する

ものとされている。

[0047] ここで、本実施形態に係るイオン交換装置は、原水槽 1 の被処理液より第 1 処理槽 6 の溶液（処理物質）及び第 2 処理槽 8 の溶液（処理物質）の方がそれぞれモル濃度が高く設定されている。これにより、原水槽 1 に収容された被処理液における不純物イオンより第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 にそれぞれ収容された交換イオンの方が濃度（モル濃度）が高く設定されているので、不純物イオンが陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 にそれぞれ吸着されると、その不純物イオンが濃度差によって陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 内をそれぞれ移動し、第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 内に放出されるとともに、第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 内の交換イオンが陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 内をそれぞれ移動し、原水槽 1 内に放出されることとなる。

[0048] すなわち、第 1 処理槽 6 側においては、濃度差やイオン選択性により、原水槽 1 内の不純物イオンが陽イオン交換体 7 に接触すると、その不純物イオンが陽イオン交換体 7 のイオンと入れ替わり、第 1 処理槽 6 側の陽イオン交換体 7 までイオンが順次入れ替わることとなる。こうして、陽イオン交換体 7 に触れた不純物イオンは、原水槽 1 から第 1 処理槽 6 に向かって陽イオン交換体 7 内を通過するとともに、第 1 処理槽 6 のモル濃度（交換イオンの濃度）が高いため、第 1 処理槽 6 の交換イオンと入れ替わり、当該第 1 処理槽 6 内に移動することとなる。これにより、原水槽 1 内の不純物（陽イオン不純物）を第 1 処理槽 6 内に移動させて除去することができる。

[0049] また、第 2 処理槽 8 側においては、イオン選択性により、原水槽 1 内の不純物イオンが陰イオン交換体 9 に接触すると、その不純物イオンが陰イオン交換体 9 のイオンと入れ替わり、第 2 処理槽 8 側の陰イオン交換体 9 までイオンが順次入れ替わることとなる。こうして、陰イオン交換体 9 に触れた不純物イオンは、原水槽 1 から第 2 処理槽 8 に向かって陰イオン交換体 9 内を通過するとともに、第 2 処理槽 8 のモル濃度（交換イオンの濃度）が高いため、第 2 処理槽 8 の交換イオンと入れ替わり、当該第 2 処理槽 8 内に移動す

ることとなる。これにより、原水槽 1 内の不純物（陰イオン不純物）を第 2 処理槽 8 内に移動させて除去することができる。

[0050] なお、第 1 処理槽 6 側においては、原水槽 1 内の陰イオンは、陽イオン交換体 7 中のスルホン酸基などの陰イオンと反発して当該陽イオン交換体 7 を通過することができず、第 2 処理槽 8 側においては、原水槽 1 内の陽イオンは、陰イオン交換体 9 中の第 4 級アンモニウム基などの陽イオンと反発して当該陰イオン交換体 9 を通過することができないようになっている。

[0051] しかるに、原水槽 1 内の圧力を第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 内の圧力よりも高くする（原水槽 1 内の被処理液の液圧を第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 内の溶液の圧力よりも高くする）のが好ましい。この場合、第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 内のイオンであって原液槽 1 内に移動させたくないイオンの陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 の通過を抑制することができる。例えば、原水槽 1 内を被処理液が流動する際、その流動抵抗によって原水槽 1 内の圧力を第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 内の圧力よりも高くすることができる。

[0052] また、第 1 の実施形態で示した図 5 に示すように、原水槽 1（原水部）と陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 との間の接合部、および第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 と陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 との間の接合部にガスケット等のシール手段 4 が配設されたものとしてもよい。この場合、第 1 の実施形態と同様、シール手段 4 は、原水槽 1（原水部）と陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 との間の接合部、および第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 と陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 との間の接合部の少なくとも一方に配設されていれば足りる。

[0053] さらに、第 1 の実施形態で示した図 6 に示すように、第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 は、溶液（処理物質）を攪拌可能なインペラ等の攪拌手段 5 が配設されたものであってもよい。これにより、原水槽 1 内の被処理液から陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 を通過して第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 内に至った不純物イオンが溶液（処理物質）中に混合した後、攪拌手段 5 に

て攪拌されるので、イオン交換のための効率をより向上させることができる。

[0054] また、本実施形態に係るイオン交換装置として、処理槽 6 及び 8 における溶液（処理物質）のモル濃度は、2 モル/L 以上であるのが好ましい。さらに、処理槽 6 及び 8 内の交換イオンは、第一族元素イオンまたは水酸化物イオンから成るものが好ましく、弱酸または弱塩基を含むものであってもよい。またさらに、陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 は、イオン交換樹脂膜、キレート樹脂、リン酸処理石膏、ナフィオン、ゼオライト、ハイドロタルサイト又は金属酸化物等から成るもの、ダブルネットワークゲルから成るもの、またはシート状の繊維層から成る支持体上に形成されたものであってもよい。

[0055] 上記第 1、2 の実施形態においては、イオン交換体 3、陽イオン交換体 7 及び陰イオン交換体 9 が平膜形状とされているが、図 8、9 に示すように、筒状（パイプ状）のイオン交換体 1 2 としてもよい。この場合、筒状に形成されたイオン交換体 1 2 の内部が原水槽 1 と同様の原水部 1 0 とされ、外部が処理槽 2、第 1 処理槽 6 及び第 2 処理槽 8 と同様の処理部 1 1 とされる。

[0056] このように筒状のイオン交換体 1 2 を適用したイオン交換装置は、上記実施形態と同様、原水部 1 0 には、不純物イオンを含有した液体から成る被処理液が収容されつつ流動する原水部 1 0 と、不純物イオンと交換可能なイオンから成る交換イオンを含有した溶液（処理物質）が収容された処理部 1 1 と、不純物イオンの原水部 1 0 から処理部 1 1 に対する通過、及び交換イオンの処理部 1 1 から原水部 1 0 に対する通過を許容するイオン交換体 1 2 とを有している。そして、この場合においても、原水部 1 0 の被処理液より処理部 1 1 の溶液（処理物質）の方がモル濃度が高く設定されており、筒状のイオン交換体 1 2 内を被処理液が流動することにより、原水部 1 0 内の不純物イオンを除去することができる。

[0057] さらに、図 1 0 に示すように、中空糸形状のイオン交換体 1 2 とすることにより、処理部 1 1 内に多数のイオン交換体 1 2 を配設するものとしてもよ

い。この場合、中空糸形状の各イオン交換体 12 の内部がそれぞれ原水部 10 とされるとともに、原水部 10 の被処理液より処理部 11 の溶液（処理物質）の方がモル濃度が高く設定されており、中空糸形状の各イオン交換体 12 内を被処理液が流動することにより、原水部 10 内の不純物イオンを除去することができる。ただし、原水部と処理部は逆としてもよい。

[0058] またさらに、図 11 に示すように、第 1 処理部 15 及び第 2 処理部 19 内において屈曲しつつ延設された陽イオン交換体 14（第 2 の実施形態の陽イオン交換体 7 と同様）及び陰イオン交換体 18（第 2 の実施形態の陰イオン交換体 9 と同様）を配設し、陽イオン交換体 14 及び陰イオン交換体 18 の内部を原水部 13 及び 17 としたイオン交換装置としてもよい。この場合、第 2 の実施形態の如く、陽イオン交換体 14 によって原水部 13 内の不純物陽イオンを第 1 処理部 15 に移動させ、陰イオン交換体 18 によって原水部 17 内の不純物陰イオンを第 2 処理部 19 に移動させることができ、それぞれの不純物イオンを除去することができる。なお、図 11 中符号 16 は、陽イオン交換体 14 と陰イオン交換体 18 との接続部材を示している。

[0059] 加えて、図 12 に示すように、原水部 20 内において、複数のイオン交換体 22、24、26 を配設するとともに、それぞれのイオン交換体 22、24、26 の内部が第 1 処理部 21、第 2 処理部 23 及び第 3 処理部 25 とされたイオン交換装置としてもよい。この場合、各イオン交換体 22、24、26 によって原水部 20 内の不純物イオンを第 1 処理部 21、第 2 処理部 23 及び第 3 処理部 25 に移動させて除去することができる。なお、原水部 20 は、流入口 20a 及び流出口 20b が形成されており、被処理液を流動させ得るようになっている。

[0060] 次に、本発明に係る第 3 の実施形態について説明する。

本実施形態に係るイオン交換装置は、既述の実施形態と同様、被処理液中の不純物イオンを除去することにより、工業用水の軟水化または純水製造、飲料水や車両用冷却水等の浄化を行うもので、図 13 に示すように、原水槽 1 に流入口 1a 及び流出口 1b を形成して被処理液を流動させるとともに、

処理槽 2 に流入口 2 a 及び流出口 2 b を形成して処理物質を流動させるよう構成されている。

[0061] ここで、本実施形態においては、処理槽 2 は、処理物質を原水槽 1 の被処理液と対向する方向に流通させている。すなわち、原水槽 1 の被処理液を図 1 3 中左から右に向かって流通させるとともに、処理槽 2 の処理物質を同図中右から左に向かって流通させることにより、これら被処理液及び処理物質をイオン交換体 3 を介して互いに対向する方向に流通させているのである。このように、被処理液及び処理物質を互いに対向する方向に流通させることにより、図 1 4 に示すように、時間経過に伴って増加する処理物質変化量（処理槽 2 から原水槽 1 に透過してもれてしまう処理物質の量）を低減させることができる。

[0062] 次に、本発明に係る第 4 の実施形態について説明する。

本実施形態に係るイオン交換装置は、既述の実施形態と同様、被処理液中の不純物イオンを除去することにより、工業用水の軟水化または純水製造、飲料水や車両用冷却水等の浄化を行うもので、図 1 5 に示すように、粒状のイオン交換体 B が充填された副処理部 2 7 を具備するとともに、当該副処理部 2 7 が原水槽 1 の下流側に接続され、原水槽 1 を流通した被処理液が副処理部 2 7 に流入可能とされている。

[0063] 具体的には、副処理部 2 7 は、粒状のイオン交換体 B が充填されるとともに、被処理液を流入可能な流入口 2 7 a と、被処理液を流出可能な流出口 2 7 b とが形成されており、流入口 2 7 a が原水槽 1 の流出口 1 b と連結部材等で接続されている。粒状のイオン交換体 B は、イオン交換体 3 と同様の材料を粒状に形成して成るもので、例えば粒状の樹脂から成るものである。このように、原水槽 1 の下流側に副処理部 2 7 が接続されることにより、以下の効果を奏することができる。

[0064] 副処理部 2 7 が接続されないイオン交換装置においては、図 1 6 に示すように、被処理液に含有される不純物が高濃度であるとき、不純物除去速度が高いものの、被処理液に含有される不純物が 0 付近（極めて低濃度）に達す

ると、不純物除去速度が低くなってしまう。一方、副処理部 27 に充填された粒状のイオン交換体 B は、膜状のイオン交換体 3 より比表面積が高いため、不純物除去速度が高い特性を有している。したがって、本実施形態の如く副処理部 27 を原水槽 1 の下流側に接続すれば、被処理液に含有される不純物が 0 付近（極めて低濃度）に達しても、粒状のイオン交換体 B により不純物を除去することができ、不純物除去速度の低下を抑制することができる。また、イオン交換体 3 が損傷し、処理物質が被処理液中に流れた場合でも、副処理部 27 のイオン交換体 B が処理物質のイオンを吸着できるため、水質の悪化を防ぐことができる。

[0065] 次に、本発明に係る第 5 の実施形態について説明する。

本実施形態に係るイオン交換装置は、既述の実施形態と同様、被処理液中の不純物イオンを除去することにより、工業用水の軟水化または純水製造、飲料水や車両用冷却水等の浄化を行うもので、処理槽 2 に収容された処理物質は、分子量が 80 g / モル以上の物質から成るものとされている。このように、分子量が 80 g / モル以上の処理物質を用いることにより、以下の効果を奏することができる。

[0066] イオン交換体 3 は、イオンや原子を透過させ得る微視的な孔（微細孔）が形成されているため、処理物質として分子量の小さな物質を処理槽 2 内に収容した場合、イオン交換体 3 の微細孔を介して透過し、原水槽 1 に移動してしまう虞がある。例えば、分子量が 58 (g / モル) の塩化ナトリウムを処理物質とした場合、その処理物質の透過量は約 0.22 (meq / cm³) となった実験結果がある。

[0067] このように、処理物質として分子量の小さな物質を用いた場合、イオン交換体 3 にて浄化された被処理液に処理物質が混入してしまうとともに、浄化効率が低下してしまうという不具合が生じてしまう。これに対し、本実施形態においては、分子量が 80 g / モル以上である物質を処理物質として処理槽 2 に収容したので、処理物質がイオン交換体 3 を透過して原水槽 1 内に移動するのを抑制することができる。例えば、処理槽 2 に収容する処理物質と

して、分子量が134 (g/モル) のシュウ酸ナトリウムを処理物質とした場合、その処理物質の透過量は0.15 (meq/cm³)、分子量が266 (g/モル) であるニリン酸ナトリウムとすれば、その処理物質の透過量が0 (meq/cm³) となった実験結果がある。

[0068] 上記実施形態によれば、不純物イオンを含有した液体から成る被処理液が収容された原水槽と、不純物イオンと交換可能なイオンから成る交換イオンを含有した処理物質が収容された処理槽（第1処理槽及び第2処理槽含む）と、不純物イオンの原水槽から処理槽に対する通過、及び交換イオンの処理槽から原水槽に対する通過を許容するイオン交換体（陽イオン交換体及び陰イオン交換体含む）とを具備し、原水槽の被処理液より処理槽の処理物質の方がモル濃度が高いことを特徴とするので、高価なイオン交換体を多く使うことなく安価なイオン交換装置を提供することができる。また、処理物質に含まれる交換可能なイオン量（密度）が既存のイオン交換樹脂と比較して高いため、体積当りのイオン交換容量を増加させることができる。

[0069] 次に、本発明に係る第6の実施形態について説明する。

本実施形態に係るイオン交換装置は、既述の実施形態と同様、被処理液中の不純物イオンを除去することにより、工業用水の軟水化または純水製造、飲料水や車両用冷却水等の浄化を行うもので、図17に示すように、原水槽1は、イオン交換体3と接触した状態で充填された充填イオン交換体Fが収容されている。かかる充填イオン交換体Fは、組成及び性質がイオン交換体3と同等なものであり、その形状が球状とされ、大きな表面積を確保可能とされている。

[0070] すなわち、充填イオン交換体Fは、原水槽1に充填されて被処理液中の不純物イオンを吸着するとともに、その内部と外部との間の濃度差によって充填イオン交換体F内を不純物イオンを通過させ、接触状態のイオン交換体3まで移動させることができるようになっている。このようにイオン交換体3まで移動した不純物イオンは、イオン交換体3の内部を通過して処理槽2まで通過させて除去することができる。この場合の原水槽1は、図18に示す

ように、流入口 1 a 及び流出口 1 b を形成し、球状の充填イオン交換体 F が充填された空間において被処理液を流通させるようにしてもよい。

[0071] 次に、本発明に係る第 7 の実施形態について説明する。

本実施形態に係るイオン交換装置は、既述の実施形態と同様、被処理液中の不純物イオンを除去することにより、工業用水の軟水化または純水製造、飲料水や車両用冷却水等の浄化を行うもので、図 19 に示すように、原水槽 1 は、イオン交換体 3 と接触した状態で充填された充填イオン交換体 G が收容されている。かかる充填イオン交換体 G は、組成及び性質がイオン交換体 3 と同等なものであり、その形状が繊維状とされ、より一層大きな表面積を確保可能とされている。

[0072] すなわち、充填イオン交換体 G は、原水槽 1 に充填されて被処理液中の不純物イオンを吸着するとともに、その内部と外部との間の濃度差によって充填イオン交換体 G 内を不純物イオンを通過させ、接触状態のイオン交換体 3 まで移動させることができる、特に繊維の絡み合いにより不純物イオンの移動経路を広く確保することができるようになっている。このようにイオン交換体 3 まで移動した不純物イオンは、イオン交換体 3 の内部を通過して処理槽 2 まで通過させて除去することができる。この場合の原水槽 1 は、図 20 に示すように、流入口 1 a 及び流出口 1 b を形成し、繊維状の充填イオン交換体 G が充填された空間において被処理液を流通させるようにしてもよい。

[0073] 次に、本発明の技術的優位性を示す実験結果について実施例及び比較例を用いて説明する。

(実施例 1 ～ 8 及び比較例 1 について：図 1 及び図 21 参照)

所定の濃度のイオンを含有させた溶液を調製し、 $34 \times 64 \times 54$ mm (壁厚 2 mm、内容積 $30 \times 60 \times 50$ mm) の大きさの PTFE 樹脂製の容器に 90 ml 入れ、 34×64 の面にイオン交換体を設置し、 $34 \times 64 \times 54$ mm (壁厚 2 mm、内容積 $30 \times 60 \times 50$ mm) の容器をイオン交換体が設置している面に重ねるとともに、クランプで圧力を加えて液体が漏れないようにしつつ処理物質 90 ml を充填して蓋をした。

- [0074] その後、1時間おきに被処理液と処理物質の不純物モル濃度をイオンクロマトグラフ（メトローム製：940 professional IC Vario）を用いて変化が見られなくなるまで測定した。処理物質に交換可能なイオンが残っている場合は、再度被処理液を入れ替えて同様の測定を行い、処理物質の被処理液の不純物イオンと交換可能なイオンの濃度変化が見られなくなるまで測定を繰り返し、処理物質に含まれる不純物イオンの量よりイオン交換容量を算出した。
- [0075] なお、実施例1～8及び比較例1は、被処理液及び処理物質の両方を流動させないものとした。また、イオン交換体は、実施例2では、AGC製の陰イオン交換膜セレミオンAMVNを使用し、実施例1及び実施例3～8並びに比較例は、AGC製の陽イオン交換膜セレミオンCMVNを使用した。
- [0076] （実施例1）：処理物質を0.11（mol/L）の塩酸水溶液、被処理液を0.1（mol/L）のKBr水溶液とし、処理槽（処理部）を原水槽（原水部）の下側に接続した。そして、膜面積18cm²のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が0.09（meq/cm³）であった。
- [0077] （実施例2）：処理物質を0.11（mol/L）のNaOH水溶液、被処理液を0.1（mol/L）のKBr水溶液とし、処理槽（処理部）を原水槽（原水部）の下側に接続した。そして、膜面積18cm²のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が0.09（meq/cm³）であった。
- [0078] （実施例3）：処理物質を0.11（mol/L）の塩酸水溶液、被処理液を0.1（mol/L）のKBr水溶液とし、処理槽（処理部）を原水槽（原水部）の上側に接続した。そして、膜面積18cm²のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が0.06（meq/cm³）であった。
- [0079] （実施例4）：処理物質を0.11（mol/L）の塩酸水溶液、被処理液を0.1（mol/L）のKBr水溶液とし、処理槽（処理部）と原水槽（

原水部)を水平方向に接続した。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $0.08\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

[0080] (実施例5) : 処理物質を 4 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) のKBr水溶液とし、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $3.8\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

(比較例1) : 処理物質を 0.1 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 0.2 (mol/L) のKBr水溶液とし、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $0.09\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

[0081] (実施例6) : 処理物質を 4 (mol/L) のNaCl水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $2.8\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

(実施例7) : 処理物質を 37 (mol/L) の固体のNaCl、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $4.2\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

(実施例8) : 処理物質を 20 (mol/L) の固体及び液体のNaCl、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $4.9\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

[0082] 比較例1によれば、処理物質のモル濃度が低いため、被処理液の不純物イオンを十分に除去することができないことが分かる。また、実施例5～8によれば、処理物質のモル濃度を高くすると、既存のイオン交換樹脂の $2\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ より高いイオン交換容量を得ることが分かる。さらに、実施例7、8によれば、固体の処理物質を使用した場合でも高いイオン交換容量を

得られることが分かり、液体及び固体を用いた場合は固体のみを用いた場合よりも高いイオン交換容量を得ることが分かる。

[0083] (実施例 9～15 について：図 2 及び図 2 2 参照)

処理物質を $15 \times 24 \times 94$ mm (壁厚 2 mm、内容積 $11 \times 20 \times 90$ mm) の大きさの PTFE 樹脂製の容器に入れ、 24×94 の面にイオン交換体を設置し、イオン交換体を介して $15 \times 24 \times 94$ mm の容器 (厚み 2 mm) を重ね、幅 20、奥行き 11 及び長さ 90 mm の流路を形成した。原水部と処理部の位置関係は、水平方向とした。そして、所定の濃度のイオンを含有させた溶液を調製し、 1000 mL/分の流量で被処理液を流動させ、1 時間おきに原水部の被処理液及び処理部の処理物質の不純物モル濃度を測定し、被処理液の不純物モル濃度が変化しなくなるまで流動を続けた。その後、被処理液から失われた不純物モル濃度に基づいてイオン交換容量を算出した。

[0084] (実施例 9)：処理物質を 1.9 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が 1.8 (meq/cm³) であった。

(実施例 10)：処理物質を 2.1 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が 2 (meq/cm³) であった。

[0085] (実施例 11)：処理物質を 12 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が 8.6 (meq/cm³) であった。

(実施例 12) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が 5.7 (meq/cm³) であった。

[0086] (実施例 13) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 2 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が 5.5 (meq/cm³) であった。

(実施例 14) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 4 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が 5.8 (meq/cm³) であった。

[0087] (実施例 15) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 16 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が 5.8 (meq/cm³) であった。

したがって、実施例 9 ~ 15 によれば、処理物質のモル濃度を 2 (mol/L) 以上とすれば、既存のイオン交換樹脂より高いイオン交換容量を得ることが分かる。

[0088] (実施例 16、17 について : 図 2 及び図 23 参照)

実験方法については、実施例 9 ~ 15 と同様である。

(実施例 16) : 処理物質を 6 (mol/L) の CaCl_2 溶液、被処理液を 1 (mol/L) の KBr 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。かかる実施例は、第一族元素及び OH^- を含

まない例である。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $5.5 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

(実施例 17) : 処理物質を 0.04 (mol/L) の Ca(OH)_2 溶液、被処理液を 0.01 (mol/L) の KBr 水溶液とし、原水槽（原水部）の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。かかる実施例は、第一族元素を含まない例である。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $0.03 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

[0089] (実施例 18～21 について : 図 24 参照)

(実施例 18) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、処理槽（処理部）の処理物質を 8 (cm/s) の流速で流動させた。かかる実施例は、図 3 に示すように、被処理液を流動させず処理物質を流動させた例である。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $4.7 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

(実施例 19) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、処理槽（処理部）の処理物質及び原水槽（原水部）の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。かかる実施例は、図 4 に示すように、被処理液及び処理物質の両方を流動させた例である。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $5.4 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。

[0090] (実施例 20) : 処理物質を 12 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、処理槽（処理部）の処理物質及び原水槽（原水部）の被処理液を流動させない状態とした。かかる実施例は、図 5 に示すように、シール手段として外形 24×94 、内形 $20 \times 90 \text{ mm}$ のブチルゴム（幅 2 mm 、厚み 0.5 mm ）を 24×94 の面に挟み込んだものを使用した。

[0091] (実施例 21) : 処理物質を 12 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を

1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽（原水部）の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。かかる実施例は、図 6 に示すように、処理物質を流動させず被処理液を流動させるとともに、攪拌手段で攪拌させるものとした。攪拌手段は、直径 5 mm、長さ 15 mm の大きさの PTFE 製のマグネティックスターラーを使用し、回転数 100 rpm で回転させた。

[0092]（実施例 22～28 について：図 7 及び図 25 参照）

15×24×200 mm（壁厚 2 mm、内容積 11×20×200 mm）の大きさの PTFE 樹脂製の容器にて被処理液を流動させるとともに、24×94×15 mm（壁厚 2 mm）の容器を第 1 処理槽及び第 2 処理槽とし、且つ、それぞれの処理槽における 24×94 mm の全面にイオン交換体を設置した。

[0093]（実施例 22）：第 1 処理槽の処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、第 2 処理槽の処理物質を 6 (mol/L) の NaOH 溶液、被処理液を 2 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽（原水部）の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、第 1 処理槽のイオン交換容量が 5.5 (meq/cm³)、第 2 処理槽のイオン交換容量が 5.7 (meq/cm³) であった。

[0094]（実施例 23）：第 1 処理槽の処理物質を 12 (mol/L) の塩酸水溶液、第 2 処理槽の処理物質を 10 (mol/L) の NaOH 溶液、被処理液を 2 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽（原水部）の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm² のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、第 1 処理槽のイオン交換容量が 10.1 (meq/cm³)、第 2 処理槽のイオン交換容量が 8.6 (meq/cm³) であった。

[0095]（実施例 24）：第 1 処理槽の処理物質を 6 (mol/L) の NaCl 溶液、第 2 処理槽の処理物質を 6 (mol/L) の NaOH 溶液、被処理液を 2 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽（原水部）の被処理液を 8 (

cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、第1処理槽のイオン交換容量が $5.6 (\text{meq/cm}^3)$ 、第2処理槽のイオン交換容量が $5.6 (\text{meq/cm}^3)$ であった。

[0096] (実施例25) : 第1処理槽の処理物質を $10 (\text{mol/L})$ の HNO_3 溶液、第2処理槽の処理物質を $10 (\text{mol/L})$ の NaOH 溶液、被処理液を $2 (\text{mol/L})$ の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を $8 (\text{cm/s})$ の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、第1処理槽のイオン交換容量が $8.1 (\text{meq/cm}^3)$ 、第2処理槽のイオン交換容量が $6.9 (\text{meq/cm}^3)$ であった。

[0097] (実施例26) : 第1処理槽の処理物質を $18 (\text{mol/L})$ の H_2SO_4 溶液、第2処理槽の処理物質を $10 (\text{mol/L})$ の NaOH 溶液、被処理液を $2 (\text{mol/L})$ の MgCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を $8 (\text{cm/s})$ の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、第1処理槽のイオン交換容量が $6.2 (\text{meq/cm}^3)$ 、第2処理槽のイオン交換容量が $6.8 (\text{meq/cm}^3)$ であった。

[0098] (実施例27) : 第1処理槽の処理物質を $14 (\text{mol/L})$ の H_3PO_4 溶液、第2処理槽の処理物質を $10 (\text{mol/L})$ の NaOH 溶液、被処理液を $2 (\text{mol/L})$ の KCl 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を $8 (\text{cm/s})$ の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、第1処理槽のイオン交換容量が $14.1 (\text{meq/cm}^3)$ 、第2処理槽のイオン交換容量が $8.7 (\text{meq/cm}^3)$ であった。

[0099] (実施例28) : 第1処理槽の処理物質を $8 (\text{mol/L})$ の CH_3COOH 溶液、第2処理槽の処理物質を $5 (\text{mol/L})$ の Na_2CO_3 溶液、被処理液を $2 (\text{mol/L})$ の KCl 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を

8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、第1処理槽のイオン交換容量が $6.7 (\text{meq}/\text{cm}^3)$ 、第2処理槽のイオン交換容量が $4.4 (\text{meq}/\text{cm}^3)$ であった。

[0100] (実施例29、30について：図8～10及び図26参照)

実施例29においては、図8、9に示すように、直径20mm、長さ300mmの円筒状容器内に直径15mmのイオン交換体を挿通し、そのイオン交換体内に被処理液を流動させた。また、実施例30においては、図10に示すように、直径20mm、長さ300mmの円筒状容器内に内径2mmの中空糸状のイオン交換体を30本挿通し、そのイオン交換体内に被処理液を流動させた。

[0101] (実施例29)：処理槽の処理物質を $12 (\text{mol}/\text{L})$ の塩酸水溶液、被処理液を $1 (\text{mol}/\text{L})$ の CaCl_2 水溶液とし、原水槽（原水部）の被処理液を8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 141 cm^2 の筒状のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $10.5 (\text{meq}/\text{cm}^3)$ であった。

(実施例30)：処理槽の処理物質を $12 (\text{mol}/\text{L})$ の塩酸水溶液、被処理液を $1 (\text{mol}/\text{L})$ の CaCl_2 水溶液とし、原水槽（原水部）の被処理液を8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 565 cm^2 の中空糸状のイオン交換体にてそれぞれイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $11.5 (\text{meq}/\text{cm}^3)$ であった。

[0102] (実施例31～33について：図27参照)

実施例31においては、イオン交換体としてリン酸処理石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{PO}_4$) 膜を使用したものである。また、実施例32においては、イオン交換体としてダブルネットワークゲルから成るものを使用したものである。かかるダブルネットワークゲルは、不純物イオンを除去可能なイオン交換体、架橋剤及び光重合開始剤を用いて第1ネットワークゲルを合成し、第1ネットワークゲルを第2ネットワークゲル（第1ネットワークゲルと同一材料）に

含浸させて合成することにより得られる。さらに、実施例 33 においては、イオン交換体をシート状の繊維層から成る支持体上に形成したものである。かかるシート状の繊維層は、不純物イオンを除去可能なイオン交換体、架橋剤及び光重合開始剤を含む含浸液を調製し、PET 繊維から成る支持体を含浸させて合成することにより得られる。

- [0103] (実施例 31) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $4.4 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。
- [0104] (実施例 32) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $5.7 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。
- [0105] (実施例 33) : 処理物質を 6 (mol/L) の塩酸水溶液、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $5.6 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。
- [0106] (実施例 34、35 について : 図 28 参照)
- (実施例 34) : 処理物質を 5 (mol/L) の固体及び液体の Na_2CO_3 、被処理液を 1 (mol/L) の CaCl_2 水溶液とし、原水槽 (原水部) の被処理液を 8 (cm/s) の流速で流動させた。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が $4.4 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ であった。
- (実施例 35) : 処理物質を 6 (mol/L) の固体及び液体の Ca(OH)_2 、被処理液を 0.1 (mol/L) の KBr 水溶液とし、原水槽 (原水部)

)の被処理液を8 (cm/s)の流速で流動させた。そして、膜面積18 cm²のイオン交換体にてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が5.1 (meq/cm³)であった。

[0107] (実施例36、37について：図13、29参照)

実施例36、37に係る以下の実験結果により、原水槽1の被処理液と処理槽2の処理物質とを対向した向きで流通させることにより、処理物質のもれを抑制でき、より高いイオン交換容量を得ることが分かる。

(実施例36)：原水槽1において、被処理液の不純物イオンがCaCl₂、濃度が0.001 (mol/L)、流速が4 (cm/s)とし、処理槽2において、処理物質の組成がNaCl、濃度が2 (mol/L)、流速が4 (cm/s)とした。そして、膜面積18 cm²のイオン交換体を用い、被処理液と処理物質との流通方向を同一としてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が1.8 (meq/cm³)及び処理物質のもれ(処理部から原水部に透過した処理物質の量)が0.2 (meq/cm³)であった。

[0108] (実施例37)：原水槽1において、被処理液の不純物イオンがCaCl₂、濃度が0.001 (mol/L)、流速が4 (cm/s)とし、処理槽2において、処理物質の組成がNaCl、濃度が2 (mol/L)、流速が4 (cm/s)とした。そして、膜面積18 cm²のイオン交換体を用い、被処理液と処理物質との流通方向を逆向き(図13で示す対向した向き)としてイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が1.9 (meq/cm³)及び処理物質のもれ(処理部から原水部に透過した処理物質の量)が0.1 (meq/cm³)であった。

[0109] (実施例38、39について：図15、30参照)

実施例38、39に係る以下の実験結果により、粒状のイオン交換体Bを充填させた副処理部27を原水槽1の下流側に接続することで処理時間を短縮し得ることが分かり、これにより、イオン交換装置を小型化することができる。なお、それ以外の条件は、実施例9と同じとした。

(実施例38)：原水槽1において、被処理液の不純物イオンがCaCl₂、

濃度が0.001 (モル/L)、流速が4 (cm/s)とし、処理槽2において、処理物質の組成がNaCl、濃度が2 (モル/L)、流速が0 (cm/s) (すなわち、静水状態)とした。そして、膜面積18 cm²のイオン交換体を用い、副処理部27を接続しないでイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が1.8 (meq/cm³)、処理物質のもれが0.22 (meq/cm³)及び被処理液中の不純物イオン (Caイオン) が1 ppm以下になるまでの処理時間が6 (min)であった。

[0110] (実施例39) : 原水槽1において、被処理液の不純物イオンがCaCl₂、濃度が0.001 (モル/L)、流速が4 (cm/s)とし、処理槽2において、処理物質の組成がNaCl、濃度が2 (モル/L)、流速が0 (cm/s) (すなわち、静水状態)とした。そして、膜面積18 cm²のイオン交換体を用い、図15に示すように副処理部27 (樹脂から成る粒状のイオン交換体を充填するもので、流速が8 (cm/s)及び交換体の体積が10 (cm³) (内寸5×2×1 cmの容器にイオン交換樹脂を充填))を接続してイオン交換させて実験したところ、イオン交換容量が1.7 (meq/cm³)、処理物質のもれが0.22 (meq/cm³)及び被処理液中の不純物イオン (Caイオン) が1 ppm以下になるまでの処理時間が3 (min)であった。

[0111] (実施例40、41について : 図17、18、19、20、31参照)

実施例40、41に係る以下の実験結果により、原水槽1にイオン交換体3と接する形で球状の充填イオン交換体Fを充填させることにより、イオン交換に必要な時間が短くなり、さらに球状のイオン交換体Fに代えて、繊維状のイオン交換体Gを原水槽1に充填させることにより、不純物イオン除去に必要な時間がさらに短縮できることが確認できた。

[0112] (実施例40) : 原水槽1に球状のイオン交換樹脂Fを充填した例である。直径約0.5 mmの球状のイオン交換体F (イオン交換樹脂)をイオン交換体3に接触させた状態で高さ3 mmとなるまで充填した。それ以外は、実施例38と同じ方法で試験を行った。その結果、図31に示すように、イオン交

換容量が $1.8 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 及び被処理液中の不純物イオン(Caイオン)が 1 ppm 以下になるまでの処理時間が 4 (min) であった。

- [0113] (実施例41) : 原水槽1に繊維状のイオン交換体Gを充填した例である。室町ケミカル製 Muromac NWF-SCを用いて繊維状のイオン交換体G(不織布)を $20 \times 90 \text{ mm}$ に加工し、イオン交換体3に接触させた状態で充填した。それ以外は、実施例38と同じ方法で試験を行った。その結果、図31に示すように、イオン交換容量が $1.8 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 及び被処理液中の不純物イオン(Caイオン)が 1 ppm 以下になるまでの処理時間が 2 (min) であった。

- [0114] (実施例42～46について : 図32、33参照)

実施例42～46に係る以下の実験結果により、処理物質を分子量が大きい物質とすることで処理物質のもれを抑制することができ、より高いイオン交換容量を得ることが分かる。特に、実施例46によれば、分子量が大きな処理物質を図3に示すように流通させることで被処理液中の不純物イオン(Caイオン)が 1 ppm 以下になるまでの処理時間を短縮することができ、その結果、イオン交換装置を小型化することが可能となる。

- [0115] (実施例42) : 原水槽1において、被処理液の不純物イオンが CaCl_2 、濃度が 0.001 (mol/L) 、流速が 4 (cm/s) とし、処理槽2において、処理物質の組成がシュウ酸Na(分子量 134 (g/mol) 、分子あたりのNa量2)、濃度が 2 (mol/L) 、流速が 0 (cm/s) (すなわち、静水状態)とした。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体を用い、イオン交換させて実験したところ、図33に示すように、イオン交換容量が $3.5 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 、処理物質のもれが $0.15 \text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 及び処理時間が 7 (min) であった。

- [0116] (実施例43) : 原水槽1において、被処理液の不純物イオンが CaCl_2 、濃度が 0.001 (mol/L) 、流速が 4 (cm/s) とし、処理槽2において、処理物質の組成がグルタミン酸Na(分子量 169 (g/mol) 、分子あたりのNa量1)、濃度が 2 (mol/L) 、流速が 0 (cm/s) (す

なわち、静水状態)とした。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体を用い、イオン交換させて実験したところ、図33に示すように、イオン交換容量が $1.2\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 、処理物質のもれが $0.12\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 及び処理時間が 6 (min) であった。

[0117] (実施例44) : 原水槽1において、被処理液の不純物イオンが CaCl_2 、濃度が 0.001 (mol/L) 、流速が 4 (cm/s) とし、処理槽2において、処理物質の組成が $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (分子量 266 (g/mol) 、分子あたりのNa量4)、濃度が 2 (mol/L) 、流速が 0 (cm/s) (すなわち、静水状態)とした。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体を用い、イオン交換させて実験したところ、図33に示すように、イオン交換容量が $4.6\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 、処理物質のもれが $0\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 及び処理時間が 6 (min) であった。

[0118] (実施例45) : 原水槽1において、被処理液の不純物イオンが CaCl_2 、濃度が 0.001 (mol/L) 、流速が 4 (cm/s) とし、処理槽2において、処理物質の組成がステアリン酸Na (分子量 306 (g/mol) 、分子あたりのNa量1)、濃度が 2 (mol/L) 、流速が 0 (cm/s) (すなわち、静水状態)とした。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体を用い、イオン交換させて実験したところ、図33に示すように、イオン交換容量が $2.0\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 、処理物質のもれが $0\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 及び処理時間が 7 (min) であった。

[0119] (実施例46) : 原水槽1において、被処理液の不純物イオンが CaCl_2 、濃度が 0.001 (mol/L) 、流速が 4 (cm/s) とし、処理槽2において、処理物質の組成が $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (分子量 266 (g/mol) 、分子あたりのNa量4)、濃度が 2 (mol/L) 、流速が 4 (cm/s) とした。そして、膜面積 18 cm^2 のイオン交換体を用い、イオン交換させて実験したところ、図33に示すように、イオン交換容量が $4.6\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 、処理物質のもれが $0\text{ (meq/cm}^3\text{)}$ 及び処理時間が 5 (min) であった。

[0120] 図34に処理物質分子量と処理物質のもれ量の関係を示す。分子量が80

g／モル以上であれば透過量を0.2 (meq／cm³) 未満と低い水準とすることができ、さらに好ましくは200 g／モル以上であれば処理物質の透過量を0とできるため好ましい。

[0121] 以上、本実施形態について説明したが、本発明はこれに限定されず、例えば原水槽（原水部）、処理槽（第1処理槽及び第2処理槽）の大きさ及び形状は、種々設定することができるとともに、原水槽（原水部）の被処理液より処理槽（処理部）の処理物質の方がモル濃度が高ければ、任意の被処理液及び処理物質を用いることができる。

産業上の利用可能性

[0122] 原水部の被処理液より処理部の処理物質の方がモル濃度が高いイオン交換装置であれば、他の手段が付加されたものにも適用することができる。

符号の説明

- [0123] 1 原水槽（原水部）
1 a 流入口
1 b 流出口
2 処理槽（処理部）
2 a 流入口
2 b 流出口
3 イオン交換体
4 シール手段
5 攪拌手段
6 第1処理槽（第1処理部）
7 陽イオン交換体
8 第2処理槽（第2処理部）
9 陰イオン交換体
10 原水部
11 処理部
12 イオン交換体

- 1 3 原水部
- 1 4 陽イオン交換体
- 1 5 第 1 処理部
- 1 6 接続部材
- 1 7 原水部
- 1 8 陰イオン交換体
- 1 9 第 2 処理部
- 2 0 原水部
- 2 0 a 流入口
- 2 0 b 流出口
- 2 1 第 1 処理部
- 2 2 イオン交換体
- 2 3 第 2 処理部
- 2 4 イオン交換体
- 2 5 第 3 処理部
- 2 6 イオン交換体
- 2 7 副処理部
- 2 7 a 流入口
- 2 7 b 流出口
- B イオン交換体
- F 球状の充填イオン交換体
- G 繊維状の充填イオン交換体