

明 細 書

発明の名称： 水処理装置及び水処理方法

技術分野

[0001] この発明は、放電で生じたオゾン及びラジカル等を用いて被処理水を処理する水処理装置及び水処理方法に関するものである。

背景技術

[0002] これまで上下水の処理においては、一般にオゾン又は塩素が用いられてきた。しかし、例えば工業排水及び再利用水等には、オゾン又は塩素では分解されない難分解性物質が含まれることがある。特に、ダイオキシン類及びジオキサン等の除去が大きな課題となっている。

[0003] 一部では、オゾン (O_3) と過酸化水素 (H_2O_2) 又は紫外線とを組み合わせることで、オゾン又は塩素よりも活性の高いヒドロキシルラジカル (OH ラジカル) を被処理水中で発生させ、難分解性物質の除去を行う方法が実用化されているが、装置コスト及び運転コストが非常に高く、あまり普及していない。そこで、放電で発生させた OH ラジカルを被処理水に直接作用させることで、高効率に難分解性物質を除去する方法が提案されている。

[0004] 具体的には、線状の高圧電極と、それを囲う円筒状の接地電極との間にパルス電圧を印加することでストリーマー放電を形成するとともに、噴射ノズルを用いて水滴状態とした被処理水を上方からストリーマー放電空間に供給することで、被処理水を処理する水処理装置が提案されている。この水処理装置によれば、短寿命の OH ラジカルを被処理水に効率よく作用させることができる（例えば、特許文献 1 参照）。

[0005] また、上下に対向する一対の電極板を傾斜した状態で配置し、下部電極上を被処理水が流下するようにし、電極間にバリア放電を形成することで被処理水を処理する水処理装置も提案されている。この水処理装置によれば、簡単な構成で被処理水を効率よく処理することができる（例えば、特許文献 2 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第4 9 3 4 1 1 9号公報（第1頁第1～8行目、図1）

特許文献2：特許第4 6 3 5 2 0 4号公報（第1頁第1～14行目、図1）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上述の特許文献1に示された従来の水処理装置では、水滴状態の被処理水がストリーマー放電空間を垂直に落下するため、ストリーマー放電空間に存在するOHラジカルと被処理水との接触時間が極めて短い。このため、難分解性物質の分解又は高濃度の有機汚れの除去を行う際には、被処理水を何度も循環させるか、放電電極を非常に高くする必要がある。このため、被処理水の吸い上げエネルギーの増加、及び装置の大型化などが問題となる。また、水滴の形成に噴射ノズルを用いるため、長時間の使用に伴い、被処理水中の汚れ物質の付着によって、ノズルが閉塞することがある。このため、頻繁なメンテナンスが必要となり、装置の稼働率低下及び部品交換コストの増大が問題となる。

[0008] 一方、特許文献2に示された従来の水処理装置では、放電で生じたオゾン及びOHラジカルが被処理水の表面と接触して、その一部が溶解して溶存オゾン又は溶存過酸化水素となり、水中での反応により水処理が進行する。しかし、被処理水中で溶存オゾン及び溶存過酸化水素の攪拌が進まないため、効果的な水処理が被処理水の水面の極近傍に限られ、深い部分の処理が進まない問題があった。

[0009] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、難分解性物質の分解又は高濃度の有機汚れの除去を、高効率かつ高速で行うことができ、かつ高い稼働率で動作する水処理装置及び水処理方法を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] この発明に係る水処理装置は、水平面に対して傾斜して配置されており、上面に沿って被処理水が流される傾斜板と、傾斜板を流れる被処理水が形成する水膜の上方に気体層を介して配置された放電形成体と、水膜に動力を与えることで、被処理水の少なくとも一部を水滴として傾斜板の上方へ向けて噴射し、放電形成体が形成する放電に水滴を触れさせることで被処理水进行处理する水滴形成装置とを備えている。

また、この発明に係る水処理方法は、水平面に対して傾斜して配置されている傾斜板の上面に沿って被処理水を流して、傾斜板上に水膜を形成しつつ、水膜の上方に気体層を介して配置された少なくとも一対の電極間に放電を形成し、水膜に動力を与えることで、被処理水の少なくとも一部を水滴として傾斜板の上方へ向けて噴射し、放電に水滴を触れさせて被処理水进行处理する。

さらに、この発明に係る水処理方法は、水平面に対して傾斜して配置されている傾斜板の上面に沿って被処理水を流して、傾斜板上に水膜を形成しつつ、水膜の上方に気体層を介して配置された電極と傾斜板との間に放電を形成し、放電に水膜を触れさせて被処理水进行处理する方法であって、水膜に動力を与えることで、被処理水の少なくとも一部を水滴として傾斜板の上方へ向けて噴射する。

発明の効果

[0011] この発明の水処理装置及び水処理方法は、水平面に対して傾斜した傾斜板の上面に沿って被処理水を流し、放電を形成しつつ、被処理水の少なくとも一部を水滴形成装置により水滴化するので、被処理水が放電に長時間接触し、また、被処理水の攪拌と、被処理水に溶解したオゾン又は過酸化水素の混合が進み、難分解性物質の分解又は高濃度の有機汚れの除去を、高効率かつ高速で行うことができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1はこの発明の実施の形態1による水処理装置の断面図である。

[図2]図1の水処理装置の要部を示す斜視図である。

[図3]図1の超音波振動子を駆動させない場合の被処理水の様子を示す断面図である。

[図4]図3の超音波振動子を駆動させた場合の被処理水の様子を示す断面図である。

[図5]この発明の実施の形態2による水処理装置を示す構成図である。

[図6]図5の処理槽を拡大して示す断面図である。

[図7]この発明の実施の形態3による水処理装置の要部断面図である。

[図8]図7の超音波ホモジナイザを平板電極の下側に配置した変形例を示す断面図である。

[図9]この発明の実施の形態4による水処理装置における超音波振動子の駆動電圧信号を示す波形図である。

[図10]実施の形態4の水処理装置における超音波振動子の駆動電圧信号とワイヤ電極に印加される放電パルス電圧信号とを比較して示す波形図である。

[図11]この発明の実施の形態5による水処理装置の要部断面図である。

[図12]図11の水処理装置による水処理の動作を示す説明図である。

[図13]図12の細孔からガスを噴出させた状態を示す説明図である。

[図14]図13の水膜上に水滴が発生した状態を示す説明図である。

[図15]図14の水滴が落下する様子を示す説明図である。

[図16]図15の水滴により水膜に渦流が発生した状態を示す説明図である。

[図17]図16の渦流により水膜が攪拌された状態を示す説明図である。

[図18]この発明の実施の形態6による水処理装置の要部断面図である。

[図19]この発明の実施の形態7による水処理装置の要部断面図である。

[図20]この発明の実施の形態8による水処理装置の断面図である。

[図21]図20の水処理装置による水処理実験の結果を示すグラフである。

[図22]この発明の実施の形態9による水処理装置における循環ガスの流量と時間との関係を示すグラフである。

[図23]この発明の実施の形態10による水処理装置の断面図である。

[図24]図23の第1ないし第4のバルブの開閉動作を示すタイミングチャー

トである。

[図25]この発明の実施の形態11による水処理装置の断面図である。

[図26]この発明の実施の形態12による水処理装置の要部断面図である。

[図27]この発明の実施の形態13による水処理装置の要部断面図である。

[図28]この発明の実施の形態14による水処理装置の要部断面図である。

[図29]この発明の実施の形態15による水処理装置の要部断面図である。

[図30]この発明の実施の形態16による水処理装置の断面図である。

[図31]図30の平板電極のみを示す断面図である。

[図32]図30の平板電極を示す斜視図である。

[図33]図32の凹部の形状の第1の変形例を示す斜視図である。

[図34]図32の凹部の形状の第2の変形例を示す斜視図である。

[図35]この発明の実施の形態17による水処理装置の平板電極を示す斜視図である。

[図36]図35の平板電極を示す分解斜視図である。

[図37]この発明の実施の形態18による水処理装置の断面図である。

[図38]図37の第1の中間ユニットの断面図である。

[図39]図37の第2の中間ユニットの断面図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、この発明を実施するための形態について、図面を参照して説明する。

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1による水処理装置の断面図である。図において、密閉構造の金属製の処理槽1の上部には、給水口1a及びガス排出口1bが設けられている。処理槽1の下部には、排水口1cが設けられている。処理槽1の側面には、ガス供給口1dが設けられている。

[0014] 処理槽1内には、傾斜板としての平板電極2が收容されている。平板電極2は、処理槽1の底面に立てられた上流側架台3a及び下流側架台3bにより支持されており、水平面に対して傾斜して配置されている。即ち、平板電

極 2 の上流側端部（図 1 の右端部）は、下流側端部（図 1 の左端部）よりも高くなっている。

[0015] 平板電極 2 の上流側端部は、給水口 1 a の真下に配置されている。被処理水 4 は、給水口 1 a から処理槽 1 内に供給され、平板電極 2 の上面に沿って斜め下方へ流れ、排水口 1 c から処理槽 1 外へ排出される。

[0016] 処理槽 1 内の平板電極 2 の上方には、平板電極 2 に対して空隙 5 を介して放電形成体（電極）としての複数（この例では 3 本）のワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c が配置されている。ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c は、被処理水 4 の流下方向に互いに間隔をおいて配置されている。また、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c は、平板電極 2 の上面に対して等間隔をおいて配置されている。さらに、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c は、平板電極 2 の幅方向（図 1 の X 軸方向）に平行かつ水平に張られている。

[0017] 処理槽 1 の外部には、パルス電源 7 が設置されている。ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c は、パルス電源 7 に対して配線 8 を介して並列に接続されている。パルス電源 7 は、処理槽 1 に対して絶縁部 9 により電氣的に絶縁されている。平板電極 2 は、電氣的に接地された接地電極である。実施の形態 1 の放電電力供給部 10 は、パルス電源 7 及び配線 8 を有しており、平板電極 2 とワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c との間に高電圧を印加して放電 11 a, 11 b, 11 c を形成する。

[0018] 平板電極 2 の下面には、水滴形成装置（水滴発生機構）としての複数の超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c が固定されている。超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c は、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c に対応して配置されている。この例では、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c は、平板電極 2 のワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c に対向する部分の裏側に配置されている。また、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c は、平板電極 2 上を流れる被処理水 4 に動力を与え、その少なくとも一部を上方へ噴射して跳ね上がらせて水滴化する。即ち、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c は、平板電極 2 上に被処理水 4 の水滴 13 a, 13 b, 13 c を発生させる。

- [0019] この例では、各超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c は、圧電セラミック (P Z T) により構成されている。処理槽 1 の外部には、高周波電源 14 が設置されている。超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c は、高周波電源 14 に対して配線 15 を介して並列に接続されている。高周波電源 14 は、処理槽 1 に対して絶縁部 16 により電氣的に絶縁されている。
- [0020] ガス供給口 1 d には、酸素ガスを満たしたガス供給源 17 が流量調節器 18 を介して接続されている。
- [0021] 水処理ユニット 19 は、平板電極 2、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c、及び超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c を有している。
- [0022] 図 2 は図 1 の水処理装置の要部を示す斜視図である。平板電極 2 は、水平方向に対して傾斜角 θ だけ傾斜している。平板電極 2 の幅方向両端部には、一対の側壁 20 a, 20 b が設けられている。被処理水 4 は、平板電極 2 上の側壁 20 a, 20 b 間を流下する。側壁 20 a, 20 b 上には、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c を保持する複数対 (この例では 3 対) の保持部材 21 が固定されている。
- [0023] 次に、動作について説明する。ガス供給源 17 からの酸素ガスは、流量調節器 18 により所定の流量に調節された後、ガス供給口 1 d から処理槽 1 内に供給される。ガス排出口 1 b からは、供給酸素ガス流量と同じ流量で、処理槽 1 内のガスが排気される。これにより、所定時間経過後に、処理槽 1 内から空気が排出され、処理槽 1 内に高酸素濃度の雰囲気形成される。
- [0024] 給水口 1 a から処理槽 1 内に供給された被処理水 4 は、平板電極 2 上の側壁 20 a, 20 b 間に水膜 70 を形成して流下し、排水口 1 c から排出される。ここで、水膜 70 とワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c との間には、気体層 71 が形成されている。即ち、水膜 70 の厚さは、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c と水膜 70 の水面との間に気体層 71 が形成されるように調節される。つまり、水膜 70 の厚さは、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c と平板電極 2 との間の距離よりも小さい。このとき、高周波電源 14 を動作させ、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c を駆動することで、被処理水 4 の一部は水滴 13 a

, 13b, 13cとなる。

[0025] ここでさらに、パルス電源7を動作させ、空隙5の一部が酸素ガスで満たされた状態でワイヤ電極6a, 6b, 6cにパルス電圧を印加することで、ワイヤ電極6a, 6b, 6cから平板電極2の方向に放電11a, 11b, 11cが形成される。被処理水4は、平板電極2上を流れる過程で、放電11c, 11b, 11aを順に通過する。また、水滴13a, 13b, 13cがそれぞれ放電11c, 11b, 11aに触れることで、被処理水4に対して難分解性物質の除去などの水処理が行われる。

[0026] 図3は図1の超音波振動子12a, 12b, 12cを駆動させない場合の被処理水4の様子を示す断面図、図4は図3の超音波振動子12a, 12b, 12cを駆動させた場合の被処理水4の様子を示す断面図である。

[0027] 超音波振動子12a, 12b, 12cを駆動させない場合、ワイヤ電極6a, 6b, 6cから被処理水4の表面に向けて放電11a, 11b, 11cが形成されるが、被処理水4は水滴化しない。これに対して、超音波振動子12a, 12b, 12cを駆動させた場合、放電11a, 11b, 11cが形成された領域に、多数の水滴13a, 13b, 13cが形成される。

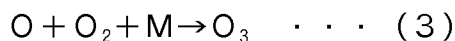
[0028] また、形成された水滴13a, 13b, 13cは、重力により落下し、平板電極2上を流れる被処理水4と合一する。このように、超音波振動子12a, 12b, 12cを駆動した場合、水滴13a, 13b, 13cの形成及び合一が高い頻度で繰り返されることになる。

[0029] 次に、実施の形態1の水処理装置による水処理の原理について説明する。ここでは、有機物の分解を例にとって説明するが、放電で生じる O_3 及びOHラジカルは除菌及び脱色にも有効である。

[0030] ワイヤ電極6a, 6b, 6cにパルス電圧を印加することで、空隙5の気体中、つまり気体層71、あるいは気体と被処理水4との界面で放電が生じる。このとき、酸素分子(O_2)、水分子(H_2O)が高エネルギーの電子と衝突し、(1)式、(2)式の解離反応が生じる。ここでeは電子、Oは原子状酸素、Hは原子状水素、OHはOHラジカルである。



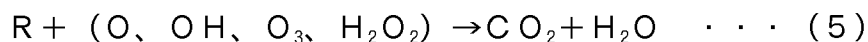
[0031] (1) 式で発生した原子状酸素の一部は、(3) 式の反応によりオゾン (O_3) となる。ここで、Mは反応の第三体であり、気中のあらゆる分子又は原子を表す。



[0032] また、(2) 式で生じたOHラジカルの一部は、(4) 式の反応により過酸化水素 (H_2O_2) となる。



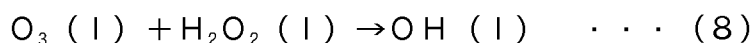
[0033] そして、(1) ~ (4) 式の反応で生成されたO、OH、 O_3 、 H_2O_2 などの酸化性粒子は、(5) 式の反応により、被処理水4中の、水膜70の表面及び水滴13a、13b、13cの表面の有機物を二酸化炭素 (CO_2) と水とに酸化分解する。ここで、Rは処理対象となる有機物である。



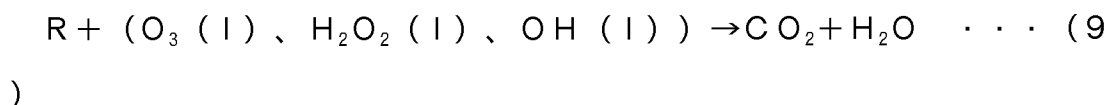
[0034] 一方、(3) 式と(4) 式とで生じた O_3 及び H_2O_2 の一部は、(6) 式と(7) 式とにより、水膜70の表面と水滴13a、13b、13cの表面とから被処理水4に溶解する。ここで(1)は液相を意味する。



[0035] さらに、 $O_3(l)$ と $H_2O_2(l)$ との反応により、(8) 式の通り水中でOHラジカルが生成される。



[0036] (6) ~ (8) 式で生成された $O_3(l)$ 、 $H_2O_2(l)$ 、及びOH(l)は、(9) 式により、水中反応で有機物を分解する。



[0037] 以上に述べたように、本実施の形態1による被処理水4中の有機物の分解は、反応(5)による水膜70の表面及び水滴13a、13b、13cの表

面の有機物の分解と、反応（９）による水膜 70 の水中及び水滴 13 a, 13 b, 13 c の水中での有機物の分解の双方によって進行する。

[0038] このような実施の形態 1 の水処理装置及び水処理方法によれば、水平面に対して傾斜した平板電極 2 の上面に沿って被処理水 4 を流し、平板電極 2 とワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c との間に放電 11 a, 11 b, 11 c を形成しつつ、被処理水 4 の少なくとも一部を超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c により水滴化するの、（５）式と（９）式の反応を多く生じさせることができ、高濃度の有機汚れの除去を、高効率かつ高速で行うことができる。

[0039] 即ち、被処理水 4 が傾斜した平板電極 2 上を流れるため、垂直に落下する場合と比べて流下速度が遅くなり、放電 11 a, 11 b, 11 c に長時間接触することになる。このため、被処理水 4 中の有機物と酸化性粒子との反応回数が増加し、有機物の分解が進行する（長時間滞在効果）。

[0040] また、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c により、平板電極 2 を流下する被処理水 4 の一部が水滴 13 a, 13 b, 13 c となることで、水膜状に流れる場合と比較して、気液界面の面積が大幅に増加する。このため、放電 11 a, 11 b, 11 c に触れる被処理水 4 の割合が増加し、放電で生じた酸化性粒子が被処理水 4 の表面の有機物 R と多く反応し、有機物の分解が進行する。言い換えれば、水滴 13 a, 13 b, 13 c が形成されることにより（５）式の反応がより多く生じる（広い気液界面面積の効果）。

[0041] さらに、（５）式の反応により、水滴 13 a, 13 b, 13 c の気液界面近傍の有機物が分解されてその濃度が低下すると、（５）式の反応頻度が低下する。これに対して、本実施の形態 1 では、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c により形成された水滴 13 a, 13 b, 13 c は、短時間で被処理水 4 の水膜 70 に落下して合一し、再び別の水滴が形成されるといったように、水滴 13 a, 13 b, 13 c の形成及び合一が頻繁に繰り返される。このような水滴 13 a, 13 b, 13 c の再形成に伴い、気液界面近傍の分子が交換され、新たな有機物の分子が現れることになるため、（５）式の反応が継続的に生じ、有機物の分解が進行する（分子交換効果）。

- [0042] さらにまた、放電 1 1 a, 1 1 b, 1 1 c によって生成され、気体層 7 1 に存在する O_3 及び H_2O_2 が、(6) 式及び (7) 式の反応により水滴 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c の表面から溶解し、水滴 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c の落下に伴って水膜 7 0 に輸送される。この結果、(9) 式による水膜 7 0 中での有機物の分解反応が、水滴 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c を形成しない場合と比較して多く生じるようになる (O_3 、 H_2O_2 輸送効果)。
- [0043] また、 O_3 、 H_2O_2 輸送効果によって水膜 7 0 に運ばれた O_3 及び H_2O_2 は、被処理水 4 が平板電極 2 を流下することで生じる攪拌作用によって水膜 7 0 中で濃度が均一化され、(9) 式による水膜 7 0 中での有機物の分解反応が促進される。つまり、超音波振動子 1 2 a, 1 2 b, 1 2 c の位置は固定されているが、被処理水 4 が平板電極 2 の上を流れているため、水膜 7 0 において、水滴 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c が形成される領域と落下する領域とが時間とともに変化する。
- [0044] 比較として、静置水において水滴を形成した場合、水滴 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c が形成され落下する位置は、時間的に変化しない。結果的に、溶解した O_3 及び H_2O_2 は、被処理水 4 の中で局在化するため、水処理も局所的にのみ進行する。
- [0045] 一方、本実施の形態 1 によれば、水膜 7 0 における水滴 1 3 の形成領域と落下領域とが時間とともに変化するため、水滴 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c によって輸送された O_3 及び H_2O_2 は、被処理水 4 の中でより均一になる。即ち、水滴 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c を形成することと、被処理水 4 が平板電極 2 を流下することとによる相乗的な効果により、 O_3 及び H_2O_2 の混合が促進され、被処理水 4 の全領域において (9) 式による水処理が進行する (混合促進効果)。
- [0046] 以上の 5 つの効果 (長時間滞在効果、広い気液界面面積の効果、分子交換効果、 O_3 、 H_2O_2 輸送効果、混合促進効果) により、本実施の形態 1 によれば、例えば特許文献 1 のように被処理水を何度も循環させたり、放電電極を非常に高くしたりすることなく、水処理を行うことができる。また、特許文献

2と比べて、効率的かつ高速に水処理を行うことができる。このような効果は、難分解性物質の分解についても同様に得られる。

[0047] なお、本実施の形態1では、超音波振動子12a, 12b, 12cにより、被処理水4に動力を与えて水滴13a, 13b, 13cを形成する。このため、水滴形成にノズルやシャワーヘッドを用いる場合と異なり、被処理水4が微細孔を通ることなく水滴が形成される。従って、被処理水4中の汚れ成分による水滴形成装置の目詰まりが生じず、メンテナンスの頻度を抑制して高い稼働率で動作させることができる。

[0048] また、本実施の形態1では、図1に示すように、超音波振動子12a, 12b, 12cは、平板電極2のワイヤ電極6a, 6b, 6cに対向する部分の裏側に配置されている。このため、水滴13a, 13b, 13cがワイヤ電極6a, 6b, 6cを横切る方向に運動し、ワイヤ電極の長さ方向と同じ方向へ水滴が噴出する場合と比較して、ワイヤ電極6a, 6b, 6cと多く衝突する。これにより、ワイヤ電極6a, 6b, 6cを冷却する効果が得られ、高い放電電力を投入する場合においても、ワイヤ電極6a, 6b, 6cの温度上昇を抑制して長時間安定した放電を形成できる。

[0049] さらに、装置のONとOFFとの繰り返しにより生じるヒートサイクルによるワイヤ電極6a, 6b, 6cの劣化を抑制して、交換の頻度を減らすことができる。

[0050] さらにまた、本実施の形態1では、超音波振動子12a, 12b, 12cにより、被処理水4に動力を与えて水滴化するので、水滴を多数形成できる。また、高周波電源14の電圧及び周波数の少なくともいずれか一方を調節することで、水滴の形成数、水滴の径、及び水滴の噴射の高さを調節することができ、被処理水4の水質に応じた最適な処理ができる。

[0051] また、実施の形態1では、平板電極2に対してワイヤ電極6a, 6b, 6c及び超音波振動子12a, 12b, 12cが3組配置されているので、水処理能力をさらに向上させることができる。

[0052] さらに、平板電極2の傾斜角度、被処理水4の流量、及び放電11a, 1

1 b, 1 1 c の放電電力のうちの少なくとも1つを、被処理水4の組成に合わせて調節すれば、被処理水4の組成に合わせて最適な条件で水処理を行うことができる（以下の実施の形態においても同様）。

[0053] ここで、水処理の効率は、被処理水4の水滴化率を増加させるに従って向上するが、ある水滴化率以上では飽和する。これは、水滴の増加に伴い酸化性粒子の消費速度が向上し、放電による酸化性粒子の生成速度が、水処理の速度を制限するためと考えられる。

[0054] 一方、放電電力の増加に伴って酸化性粒子の生成量は増加するため、水滴を増やしても効果が飽和しにくくなる。水滴の形成にはエネルギーが必要であることから、過剰な水滴化はトータルでのエネルギー効率低下に繋がる。従って、被処理水4の組成及び放電電力などの諸条件に応じて、水滴化の割合を調節するようにすると好適である。

[0055] なお、実施の形態1において、放電形成にパルス電源7を用いたが、この発明に適用される電源は、安定して放電が形成できれば、必ずしもパルス電源である必要はなく、例えば交流電源又は直流電源であってもよい。

また、パルス電源7から出力される電圧の極性、電圧波高値、繰り返し周波数、パルス幅などは、電極構造及びガス種等の諸条件に応じて適宜決定することができる。一般に、電圧波高値は、1 k V ~ 5 0 k V が望ましい。これは、1 k V 以下では安定した放電が形成されず、また、5 0 k V 以上とするには、電源の大型化及び電気絶縁の困難化によりコストが著しく増加するためである。

[0056] さらに、繰り返し周波数は、1 0 p p s (pulse-per-second) 以上、1 0 0 k p p s 以下とすることが望ましい。これは、1 0 p p s 未満では、十分な放電電力を投入するために非常に高い電圧が必要となり、逆に、1 0 0 k p p s よりも大きくすると、水処理の効果が飽和し、電力効率が低下するためである。また、被処理水4の流量又は処理対象物質の組成の少なくともいずれか一方に応じて、電圧、パルス幅、パルス繰り返し周波数を調整するようにしてもよい。

[0057] さらにまた、平板電極 2 は、導電性材料で構成することができる。特にステンレス鋼又はチタンなど、耐腐食性に優れた金属材料を用いることが望ましい。

また、平板電極 2 の上面をガラス又はセラミックなどの誘電体で被覆することもできる。これにより、腐食の抑制、アーク放電の抑制、金属コンタミネーション発生の抑制などといった効果が得られる。

[0058] さらに、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c にも、ステンレス鋼又はチタンなど耐腐食性に優れた金属材料を用いることが望ましいが、これ以外の導電性材料を用いることもできる。また、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c の表面をガラス又はセラミックなどの誘電体で被覆してもよい。

[0059] さらにまた、実施の形態 1 では、放電形成体としてワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c を用いたが、放電形成体は必ずしもワイヤ状である必要はない。放電形成体として、例えばロッド、針、メッシュ、ねじ、リボン、又はパンチングメタルなども用いることができる。但し、比較的低い電圧で安定した放電を形成するためには、板状よりも、電界集中が生じるワイヤ、針、メッシュ、ねじ、リボン状にすることが望ましい。

[0060] また、実施の形態 1 では、ガス供給源 17 から酸素ガスを供給することで、処理槽 1 の内部を高酸素濃度雰囲気としたが、ガス種は酸素に限定されるものではない。酸素を含むガス中であれば、前述の (1) ~ (9) 式の反応が生じるため、水処理を行うことが可能である。例えば、酸素に対して窒素又は希ガスを任意の割合で混合させることができる。特に希ガスを用いれば、比較的低い電圧においても放電を安定的に形成することが可能となり、空気を利用すればガスコストを大幅に削減できる。

[0061] さらに、供給するガスの流量は一定である必要はなく、被処理水 4 の組成又は放電条件等に応じて適宜調節することができる。例えば、被処理水 4 中の有機物濃度が高い場合は、酸化分解過程で多くの酸素が消費されるため、供給ガス流量を多くするのが好適である。一方、被処理水 4 中の有機物濃度が低い場合は、供給ガス流量を少なくすることで、ガス中のオゾン濃度が高

まり、反応を高速化することができる。

- [0062] さらにまた、装置起動時にガス流量を多くして内部の空気を短時間で置換し、その後水処理に必要な十分な量にまでガス流量を下げることもできる。これにより、ガスの使用量を抑制し、かつ高速な水処理が可能となる。
- [0063] また、ガス排出口 1 b から排気されるガスをガス供給口 1 d に循環させるようにしてもよい。これにより、ガス供給源 1 7 から供給されるガスの量を削減できる。加えて、放電で生じた O_3 及び H_2O_2 を、外部に排気することなく処理槽 1 に戻すことで、効率的に利用することができる。
- [0064] さらに、実施の形態 1 では、3 本のワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c を用いたが、放電形成体の数は、平板電極 2 の寸法、及び被処理水 4 の組成又は処理流量などに応じて、適宜変更可能である。
- [0065] さらにまた、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c と平板電極 2 との間の距離（電極間距離）は、1 mm 以上、50 mm 以下とするのが好適である。これは、電極間距離が 1 mm 未満だと、被処理水 4 を流した際、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c が水没してしまう可能性が増加し、電極間距離を 50 mm よりも大きくすると、放電形成に非常に高い電圧が必要となるためである。
- [0066] また、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c と超音波振動子 1 2 a, 1 2 b, 1 2 c との位置関係は、放電 1 1 a, 1 1 b, 1 1 c の近傍に水滴 1 3 a, 1 3 b, 1 3 c が形成できればよく、必ずしも図 1 の位置関係に限定されるものではない。例えば、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c は、超音波振動により被処理水 4 に形成される定在波の腹に対応した位置に配置してもよい。また、超音波振動子 1 2 a, 1 2 b, 1 2 c を被処理水 4 に直接接触させてもよい。例えば、平板電極 2 に複数の貫通孔を設けて、貫通孔内に超音波振動子 1 2 a, 1 2 b, 1 2 c を設置してもよい。また、平板電極 2 の上面に超音波振動子 1 2 a, 1 2 b, 1 2 c を設置してもよい。
- [0067] さらに、処理槽 1 内の圧力は、被処理水 4 の供給及び排水が容易となるように、大気圧又はその近傍とすることが望ましいが、必要に応じて陽圧又は陰圧にすることもできる。処理槽 1 内を陽圧にした場合、外部からの空気の

混入が抑制され、処理槽 1 内の雰囲気管理し易くなる。また、処理槽 1 内を陰圧にした場合、比較的低い電圧で放電 11a, 11b, 11c が形成されるようになり、電源の小型化及び簡素化が可能となる。さらに、圧力が低いほど放電 11a, 11b, 11c が広がり易いため、広い領域で被処理水 4 が放電 11a, 11b, 11c と接するようになり、水処理の効率及び速度が向上する。

[0068] さらにまた、図 1 及び図 2 において、ワイヤ電極 6a, 6b, 6c の上側をカバーにより覆う構造としてもよい。これにより、被処理水 4 が流下する領域が閉空間となり、水滴 13a, 13b, 13c が流路外に拡散することを抑制できる。

[0069] 実施の形態 2.

次に、図 5 はこの発明の実施の形態 2 による水処理装置を示す構成図である。図において、被処理水槽 31 内には、被処理水 4 が貯められている。被処理水槽 31 は、定量送液ポンプ 32 を介して処理槽 1 の最上部に接続されている。被処理水槽 31 内の被処理水 4 は、定量送液ポンプ 32 により、被処理水槽 31 内の下部から処理槽 1 の最上部に送られる。

[0070] 処理後水 40 を貯める処理後水槽 33 は、排水ポンプ 34 を介して処理槽 1 の底部に接続されている。処理槽 1 内の底部に落ちた処理後水 40 は、排水ポンプ 34 により、処理後水槽 33 に送られる。

[0071] 処理槽 1 の外部には、集中制御ユニット 35、パルス電源 7、及び角度制御ユニット 36 が設けられている。被処理水槽 31 には、被処理水 4 の水質（組成）を検出する水質計 37 が設けられている。水質計 37 は、被処理水 4 の生物化学的酸素要求量（BOD）、化学的酸素要求量（COD）、及び有機物の成分などを検出する。

[0072] 水質計 37 からの信号は、集中制御ユニット 35 に入力される。集中制御ユニット 35 は、パルス電源 7、定量送液ポンプ 32、排水ポンプ 34、及び角度制御ユニット 36 を制御する。

[0073] 図 6 は図 5 の処理槽 1 を拡大して示す断面図である。処理槽 1 には、給水

口 1 a、ガス排出口 1 b、排水口 1 c、及びガス供給口 1 d が設けられている。給水口 1 a には、水量調節機構 2 3 が設けられている。

[0074] 処理槽 1 内には、複数（ここでは 4 台）の水処理ユニット 1 9 a, 1 9 b, 1 9 c, 1 9 d が、上下方向に多段に並べて配置されている。各水処理ユニット 1 9 a, 1 9 b, 1 9 c, 1 9 d は、実施の形態 1 の水処理ユニット 1 9 と同様に、平板電極 2、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c、及び超音波振動子 1 2 a, 1 2 b, 1 2 c を有している。

[0075] また、これらの水処理ユニット 1 9 a, 1 9 b, 1 9 c, 1 9 d では、最上段の水処理ユニット 1 9 a から最下段の水処理ユニット 1 9 d まで被処理水 4 が連続して（ジグザグに蛇行して）流下するように、平板電極 2 が水平面に対して交互に逆方向に傾斜している。即ち、上下方向に隣接する水処理ユニット 1 9 a, 1 9 b, 1 9 c, 1 9 d では、平板電極 2 の水平面に対する傾斜方向が逆になっている。

[0076] 被処理水 4 は、給水口 1 a から処理槽 1 内に供給され、水処理ユニット 1 9 a, 1 9 b, 1 9 c, 1 9 d を順次通過して処理される。そして、最下段の水処理ユニット 1 9 d を通過した処理後水 4 0 は、処理槽 1 の底部に落ちた後、排水口 1 c から処理槽 1 外へ排出される。

[0077] また、各水処理ユニット 1 9 a, 1 9 b, 1 9 c, 1 9 d のワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c は、いずれもパルス電源 7 に対して電氣的に並列に接続されている。さらに、平板電極 2 は、いずれも電氣的に接地されている。

[0078] さらにまた、水処理ユニット 1 9 a, 1 9 b, 1 9 c, 1 9 d には、対応する水処理ユニット 1 9 a, 1 9 b, 1 9 c, 1 9 d の傾斜角度を調節する角度調節機構 2 2 a, 2 2 b, 2 2 c, 2 2 d がそれぞれ設けられている。角度調節機構 2 2 a, 2 2 b, 2 2 c, 2 2 d は、角度制御ユニット 3 6（図 5）に接続されている。他の構成は、実施の形態 1 と同様である。

[0079] 次に、動作について説明する。被処理水槽 3 1 内の被処理水 4 は、定量送液ポンプ 3 2 によって吸水され、給水口 1 a から処理槽 1 内に供給される。処理槽 1 内に供給された被処理水 4 は、水処理ユニット 1 9 a の上側端部か

ら平板電極 2 の上面に沿って流下した後、水処理ユニット 19 a の下側端部から水処理ユニット 19 b の上側端部に落下する。以下、被処理水 4 は、水処理ユニット 19 b, 19 c, 19 d を順に流下する。

[0080] このとき、パルス電源 7 を動作させワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c に高電圧を印加することで、放電 11 a, 11 b, 11 c を形成するとともに、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c により被処理水 4 を水滴化することによって、被処理水 4 が処理される。処理後水 40 は、処理槽 1 の底部から排水ポンプ 34 により処理後水槽 33 に送水される。

[0081] 一方、集中制御ユニット 35 は、水質計 37 からの情報に基づいて、即ち被処理水 4 の水質に応じて、定量送液ポンプ 32、排水ポンプ 34、角度制御ユニット 36、及びパルス電源 7 を制御する。

[0082] 例えば、被処理水 4 中の有機物濃度が高い場合、又は難分解性物質が処理対象となる場合には、定量送液ポンプ 32 及び排水ポンプ 34 の送液量を少なく設定するとともに、水処理ユニット 19 a, 19 b, 19 c, 19 d の傾斜角度、即ち各平板電極 2 の水平方向に対する傾斜角度を小さく設定する。これにより、被処理水 4 が水処理ユニット 19 a, 19 b, 19 c, 19 d 内に長時間滞在し、処理対象物質が十分に分解される。

[0083] 逆に、被処理水 4 中の有機物濃度が低い場合、又は容易に分解される物質が処理対象である場合には、被処理水 4 の流量を大きく設定するとともに、水処理ユニット 19 a, 19 b, 19 c, 19 d の傾斜角度を大きく設定する。これにより、被処理水 4 が短時間で水処理ユニット 19 a, 19 b, 19 c, 19 d を通過するため、全体として高速な水処理が行われる。

[0084] また、被処理水 4 中の処理対象物質の濃度が高い場合には、パルス電源 7 の出力電圧及びパルス繰り返し周波数の少なくともいずれか一方を高くすることで、放電電力を大きくすることができる。逆に、処理対象物質の濃度が低い場合には、放電電力を小さくすることもできる。

[0085] このような水処理装置及び水処理方法では、水処理ユニット 19 a, 19 b, 19 c, 19 d が多段に配置されているため、被処理水 4 が放電 11 a

、 11b、11c に接する時間が延長され、実施の形態1と比較して、処理槽1を一度通過しただけで高い水処理効果が得られる。また、複数（4台）の水処理ユニット19a、19b、19c、19dが、上下方向に多段に並べて配置されており、かつ最上段の水処理ユニット19aから最下段の水処理ユニット19dまで被処理水4が連続して流下するため、1個の水処理ユニットで同じ処理面積を形成する場合と比較して、処理槽1のフットプリントを小さくすることができる。結果的に、比較的小型な装置で被処理水4を高速かつ高効率に処理できる。

[0086] また、被処理水4の水質に応じて、被処理水4の流量、水処理ユニット19a、19b、19c、19dの平板電極2の傾斜角度、及び放電電力を調節するので、被処理水4の水質又は水量に応じた最適な動作が可能となる。

[0087] なお、実施の形態2では、4台の水処理ユニット19a、19b、19c、19dを用いたが、水処理ユニットの台数は、処理槽1の寸法、又は必要とされる水処理能力などに応じて適宜設定することができる。

[0088] また、実施の形態2では、被処理水4の流量調節に定量送液ポンプ32を用いたが、これに限定されるものではなく、例えばマスフローコントローラなどを用いることができる。

[0089] さらに、各水処理ユニット19a、19b、19c、19dの構成は、互いに異なってもよい。例えば、第1電極の傾斜角度、放電形成体と傾斜板との距離、放電形成体の数、種類及び形状、水滴形成装置の数、種類及び位置、並びに放電電力などは、水処理ユニットによって異なってもよい。

[0090] さらにまた、被処理水4の処理は下流に進むに従って進行することから、例えば下流側に位置する水処理ユニットほど放電電力を低くすることで、無効な電力消費を抑制することができる。

また、被処理水4中の処理対象物質の濃度が低い場合、又は容易に分解される物質が対象となる場合には、下流側に位置する水処理ユニットの放電を停止するように、各水処理ユニットにスイッチを設けてもよい。これにより

、無効な電力消費を抑制できる。

さらに、上記の例では、平板電極 2 の傾斜角度、被処理水 4 の流量及び放電電力を調節可能としたが、これらのうちのいずれか 1 つ又は 2 つのみを調節可能としてもよい。

[0091] 実施の形態 3.

次に、図 7 はこの発明の実施の形態 3 による水処理装置の要部断面図である。実施の形態 3 では、水滴形成装置として、複数（図 7 では 1 つのみ示す）の超音波ホモジナイザ 24 が用いられている。超音波ホモジナイザ 24 は、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c に対応して配置されている。

[0092] この例では、超音波ホモジナイザ 24 は、平板電極 2 の上方に配置されている。そして、超音波ホモジナイザ 24 の先端部が、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c の近傍、即ち放電 11 a, 11 b, 11 c が形成される領域で、被処理水 4 に接している。

[0093] 超音波ホモジナイザ 24 は、高周波電源 14（図 1）に接続されている。高周波電源 14 を動作させ超音波ホモジナイザ 24 を駆動させることにより、被処理水 4 に動力を与え、その少なくとも一部を上方へ噴射して跳ね上がらせて水滴化する。他の構成は、実施の形態 1 又は 2 と同様である。

[0094] このような水処理装置及び水処理方法では、水滴形成装置として超音波ホモジナイザ 24 を用いたので、放電 11 a, 11 b, 11 c が形成される領域において局所的に被処理水 4 を水滴化することができ、効率的に水滴 13 a, 13 b, 13 c を形成することができる。

[0095] また、本実施の形態 3 では、超音波ホモジナイザ 24 により、被処理水 4 に動力を与えて水滴 13 a, 13 b, 13 c を形成する。このため、水滴形成にノズル又はシャワーヘッドを用いる場合と異なり、被処理水 4 が微細孔を通ることなく水滴が形成される。従って、被処理水 4 中の汚れ成分による水滴形成装置の目詰まりが生じず、メンテナンスの頻度を抑制して高い稼働率で動作させることができる。

[0096] なお、上記の例では、超音波ホモジナイザ 24 を平板電極 2 の上側に配置

したが、図8に示すように、平板電極2の下側に配置してもよい。図8では、超音波ホモジナイザ24の先端部が平板電極2を貫通して被処理水4に接している。

[0097] また、超音波ホモジナイザ24の数は、任意に決めることができる。例えば、平板電極2上を流下する被処理水4の流れに直角な方向（図7及び図8における紙面に直角の方向）に複数個ずつの超音波ホモジナイザ24を配置してもよい。この場合、ワイヤ電極6a, 6b, 6cの長さ方向（平板電極2の幅方向）に沿った広い領域で被処理水4を均等に水滴化することができ、効率的な水処理を行うことができる。

[0098] さらに、超音波ホモジナイザ24の先端部（接水部）の形状も任意に決めることができる。例えば、接水部の太さを細くすると、少ない電力で局所的に水滴13a, 13b, 13cを形成できる。逆に、接水部の太さを太くすると、比較的広い領域に水滴13a, 13b, 13cを形成することができる。従って、接水部の形状は、電極間距離又は被処理水4の流量などに応じて適宜選定すればよい。

[0099] さらにまた、超音波ホモジナイザ24の筐体を接地するか、又は筐体を絶縁体で覆うようにすると好適である。また、高周波電源14と超音波ホモジナイザ24との間に絶縁トランスを接続するようにしてもよい。これにより、ワイヤ電極6a, 6b, 6cに印加された高電圧パルスにより超音波ホモジナイザ24及び高周波電源14が破損するのが防止される。

[0100] 実施の形態4.

次に、図9はこの発明の実施の形態4による水処理装置における超音波振動子12a, 12b, 12cの駆動電圧信号を示す波形図である。実施の形態4では、超音波振動子（PZT超音波振動子）12a, 12b, 12cの駆動を間欠的に行う点が実施の形態1と異なる。実施の形態では、高周波電圧を間欠的に動作させることで、水滴発生を間欠的に行う。

[0101] また、図10は実施の形態4の水処理装置における超音波振動子12a, 12b, 12cの駆動電圧信号とワイヤ電極6a, 6b, 6cに印加される

放電パルス電圧信号とを比較して示す波形図である。実施の形態4では、パルス電源7（図1）から出力される放電発生用パルス電圧に同期させて超音波振動子駆動信号を印加する。これにより、水滴発生を、放電に同期させて間欠的に行う。他の構成は、実施の形態1又は2と同様である。

[0102] この発明の水処理装置及び水処理方法では、被処理水4の少なくとも一部を水滴化することで、水処理の効率及び速度を向上させるが、水滴化は必ずしも連続的に行う必要はなく、間欠的に行うことでも効果が得られる。

[0103] 一般に、超音波振動子駆動のデューティー比を高めていくと、水処理の効率及び速度が向上するが、一定以上のデューティー比では効果が飽和する傾向を示す。これは、水滴が数多く形成された場合、水処理速度は水滴数よりも、放電で生成される O 、 OH 、 O_3 、 H_2O_2 などの酸化性粒子の数により制限されるためと考えられる。

[0104] 従って、図9に示すように、超音波振動子12a, 12b, 12cを間欠駆動させることで、無効な電力消費を抑制し、効率的な水処理を行うことができる。

[0105] また、難分解性物質の分解に有効な OH ラジカルの寿命は、一般に1ミリ秒以下と非常に短く、放電が停止し OH ラジカルが消滅した後に、被処理水4を水滴化しても高い分解効果は得られない。そこで、図10に示すように、パルス放電に同期させ、 OH ラジカルが存在する期間のみ水滴化するような間欠動作を行うことで、エネルギーの無効消費を抑制し、効率よく水処理を行うことができる。

[0106] このように、実施の形態4の水処理装置及び水処理方法では、超音波振動子12a, 12b, 12cを間欠的に動作させることで、連続駆動させる場合と比べて、無効なエネルギー消費を抑制し、効率的な水処理を行うことができる。

[0107] また、超音波振動子12a, 12b, 12cをパルス放電に同期して駆動させることで、 OH ラジカルを効果的に作用させることができ、無効なエネルギー消費を抑制することができる。

[0108] なお、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c の駆動とパルス放電とを同期させる際には、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c の駆動開始から水滴形成までの時間遅れを考慮する必要がある。時間遅れの要因としては、超音波の伝達時間、及び水膜振動から水滴形成までの時間などがある。従って、これらを考慮し、パルス電圧の印加開始に先立って、超音波振動子を駆動させるのが好適である。

[0109] また、実施の形態 4 で示した超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c の駆動方法は、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c 以外の水滴形成装置、例えば実施の形態 3 で示した超音波ホモジナイザ 24 にも適用できる。

[0110] 実施の形態 5.

次に、図 11 はこの発明の実施の形態 5 による水処理装置の要部断面図である。実施の形態 5 では、水滴形成装置として、複数（図 11 では 1 つのみ示す）のガス噴出装置 25 が用いられている。ガス噴出装置 25 は、ガス源 26、及びガス源 26 に接続されたガス配管 27 を有している。ガス配管 27 の先端は、複数のノズル部 27 a に分岐されている。

[0111] 平板電極 2 のワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c 近傍、即ち平板電極 2 の放電 11 a, 11 b, 11 c が形成される領域には、複数の細孔 2 a が設けられている。ノズル部 27 a の先端は、細孔 2 a に接続されている。ガス噴出装置 25 は、被処理水 4 中にガスを噴出（吐出）することにより、被処理水 4 に動力を与え、その少なくとも一部を上方へ噴射して跳ね上がらせて水滴化する。他の構成は、実施の形態 1 又は 2 と同様である。

[0112] 次に、図 12 ~ 17 を用いて本実施の形態 5 の効果を説明する。なお、図 12 ~ 17 の水膜 70 内のドットは溶解した O_3 又は H_2O_2 を意味し、ドット密度が高いほど O_3 及び H_2O_2 の濃度が高いことを表す。また、図 12 から図 17 への推移は、1 個の細孔 2 a の周辺の経時変化の様子を示す。

[0113] 図 12 において、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c と平板電極 2 との間に形成された放電 11 a, 11 b, 11 c によって生じた O_3 と H_2O_2 は、(6) 式及び (7) 式によって、水膜 70 の表面から被処理水 4 中に溶解する。このと

き、溶存 O_3 及び H_2O_2 は水膜70の表面付近に偏って高い濃度で存在している。

- [0114] 図13において、細孔2aからガスを噴出することで、水膜70の内部で気泡78が形成され、水膜70中を上昇する。この過程で、水膜70中には図中の矢印で示す渦流が生じ、水膜70の表面近傍に高い濃度で存在する溶存 O_3 及び H_2O_2 が水膜70の深部に向けて攪拌される。
- [0115] 図14において、水滴13a, 13b, 13cが形成される。そして、図14に示す上昇の過程と図15に示す落下の過程とで、気体層71中の O_3 及び H_2O_2 が水滴13a, 13b, 13cに溶解することで、水滴13a, 13b, 13c中の溶存 O_3 及び H_2O_2 濃度が高まる。
- [0116] 図16において、水滴13a, 13b, 13cが水膜70に落下する際、その衝撃で水膜70の内部に矢印で示す渦流が発生し、水滴13a, 13b, 13cが輸送した溶存 O_3 及び H_2O_2 と、水膜70中に存在した O_3 及び H_2O_2 とが攪拌される。
- [0117] 結果的に、図17に示すように、水膜70全体で溶存 O_3 及び H_2O_2 の濃度が高まり、かつ均一化さる。これにより、(9)式の反応による水処理が水膜70全体で進行することから、 O_3 及び H_2O_2 が水膜70の表面付近に偏って高い濃度で存在する場合（即ち、図12の状態）と比べて大幅に水処理の性能が向上する。
- [0118] なお、図12～17においては、2個の気泡78と1個の水滴13a, 13b, 13cとを例にとって示したが、実際には多数の気泡78と多数の水滴13a, 13b, 13cとが連続的に形成される。このため、平板電極2の上を流れる被処理水4は、全体にわたって均一な溶存 O_3 及び H_2O_2 の濃度分布となる。
- [0119] また、本実施の形態5では、ガス噴出装置25により被処理水4中にガスを噴出し、被処理水4に動力を与えることで、少なくとも一部を上方へ噴出させて水滴化するため、多数の水滴を形成することができる。さらに、噴出するガスの流速、細孔2aの形状、及び細孔2a分布の少なくともいずれか

1つを変えることで、水滴の形成数、水滴の径、及び水滴の噴射の高さ等を調節することができる。

[0120] さらに、本実施の形態5では、ガス噴出装置25により、被処理水4に動力を与えて水滴13a, 13b, 13cを形成する。このため、水滴形成にノズル又はシャワーヘッドを用いる場合と異なり、被処理水4が微細孔を通ることで水滴が形成されるのではなく、ガスが細孔2aを流れることで水滴が形成される。従って、被処理水4中の汚れ成分による細孔2aの目詰まりが抑制され、メンテナンスの頻度を抑制して高い稼働率で動作させることができる。

[0121] このような水処理装置及び水処理方法では、超音波振動子12a, 12b, 12cのように電氣的に駆動する部品を用いることなく、ガスの供給のみによって水滴13a, 13b, 13cを形成することができる。このため、故障発生が抑制され、長期間の連続した水処理が可能となる。

[0122] また、超音波振動子12a, 12b, 12cによって水滴化するには、共振条件を形成させるため水膜70の厚さに制約が生じるが、本実施の形態5では、水膜70の厚さに制限されずに水滴13a, 13b, 13cを形成することができる。

[0123] なお、実施の形態5において、細孔2aの孔径、数、位置は、電極配置及び被処理水4の膜厚などに応じて設定することができる。例えば、細孔数を少なくし、細孔径を小さくすると、ガスが通過する断面積が狭くなり、ガスの流速が高くなる。これにより、狭い領域に高密度で水滴13a, 13b, 13cを形成することができる。

[0124] 実施の形態6.

次に、図18はこの発明の実施の形態6による水処理装置の要部断面図である。実施の形態6は、水滴発生に用いるガスを、被処理水4の上方から供給する点が実施の形態5と異なっている。即ち、実施の形態6のガス噴出装置25は、平板電極2の上面を流れる被処理水4に対して、上方の離間した位置からガスを吹き付けるように配置されている。また、ガス配管27の先

端にノズル部 27 a は設けられていない。他の構成は、実施の形態 5 と同様である。

[0125] このような水処理装置及び水処理方法では、ガス配管 27 が平板電極 2 から離間しているため、ガス配管 27 の位置及びガスの噴出角度などを任意に調節することができ、水滴発生位置などの自由度が向上する。

[0126] なお、実施の形態 6 において、ガス配管 27 の吹き出し口の位置及び角度は、必要とされる水滴 13 a, 13 b, 13 c の位置及び量、並びに電極配置などに応じて任意に設定できる。例えば、被処理水 4 の流れの方向に対して垂直に近い角度でガスを吹き付けると、形成される水滴 13 a, 13 b, 13 c は広い領域に分布する。一方、被処理水 4 の流れの方向に対して水平に近い角度でガスを吹き付けると、水滴 13 a, 13 b, 13 c の形成位置が局在化する。

[0127] また、ガス配管 27 の吹き出し口を被処理水 4 に浸漬させるようにしても水滴 13 a, 13 b, 13 c を形成することができる。

[0128] さらに、実施の形態 5、6 において、ガス源 26 としては、例えば処理槽 1（図 1、図 5）の外に設置されたガスポンプを用いることができる。この場合、実施の形態 1 のガス供給口 1 d の代わりに、ガス配管 27 から処理槽 1 内に酸素等のガスを供給するようにしてもよい。

[0129] また、実施の形態 5、6 において、水滴 13 a, 13 b, 13 c の形成に用いられるガスの組成に特に制限はないが、酸素ガス、又は酸素ガスと不活性ガスとの混合ガスを用いることが望ましい。これにより、（1）式及び（3）式の反応レートが向上し、高い水処理効果が得られる。

[0130] さらに、実施の形態 5、6 において、ガス源 26 からのガスの供給は必ずしも連続的である必要はなく、間欠的に供給してもよい。例えば、平均流量が連続的にガスを供給する場合と同等であっても、間欠的に供給した場合、ガス流速の瞬時値を高くすることができる。これにより、効果的に水滴 13 a, 13 b, 13 c を形成することができる。

[0131] 実施の形態 7.

次に、図 19 はこの発明の実施の形態 7 による水処理装置の要部断面図である。実施の形態 7 では、水滴形成装置として、被処理水 4 に接して被処理水 4 を機械的に跳ね上げて水滴化する複数（図 19 では 1 つのみ示す）の跳上機構 28 が用いられている。跳上機構 28 としては、例えば水車を用いることができる。

[0132] 跳上機構 28 は、被処理水 4 の流れ方向に対してワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c よりも上流側に、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c から所定距離離間して配置されている。また、跳上機構 28 は、その下側の一部が被処理水 4 の水膜 70 に浸漬されており、モータ（図示せず）の動力によって回転するように配置されている。跳上機構 28 が回転することによって、被処理水 4 に動力が与えられ、その一部が跳ね上げられて水滴化される。他の構成は、実施の形態 1 又は 2 と同様である。

[0133] このような水処理装置及び水処理方法では、跳上機構 28 の回転速度又は駆動タイミングを制御することにより、水滴発生量及び水滴形成タイミングを適宜設定することができる。

[0134] また、実施の形態 7 では、跳上機構 28 により被処理水 4 に動力を与えることで、被処理水 4 の少なくとも一部を跳ね上げて水滴化するため、水滴形成にノズル又はシャワーヘッドを用いる場合と異なり、被処理水 4 が微細孔を通ることなく水滴が形成される。このため、被処理水 4 中の汚れ成分による水滴形成装置の目詰まりが生じず、メンテナンスの頻度を抑制して高い稼働率で動作させることができる。

[0135] なお、本実施の形態 7 では、跳上機構 28 がモータの動力によって回転するが、被処理水 4 の流れによって跳上機構 28 を回転させてもよい。この場合、超音波振動子 12 a, 12 b, 12 c の駆動又はガスの供給などを行うことなく、流下する被処理水 4 の流体エネルギーによって水滴 13 a, 13 b, 13 c を形成することができる。

[0136] また、跳上機構 28 は水車に限定されず、例えば板状部材で水面を叩く機構なども用いることができる。

[0137] 実施の形態 8.

次に、図 20 はこの発明の実施の形態 8 による水処理装置の断面図である。平板電極 2 のワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c 近傍、即ち平板電極 2 の放電 1 1 a, 1 1 b, 1 1 c が形成される領域には、平板電極 2 を厚さ方向に貫通する複数の細孔 2 b がそれぞれ設けられている。

[0138] 平板電極 2 の下面には、平板電極 2 との間に貯気室 4 1 を形成する裏板（貯気室形成部材）4 2 が気密に固定されている。貯気室 4 1 は、全ての細孔 2 b に繋がっている。裏板 4 2 の中央には、循環配管接続口 4 2 a が設けられている。

[0139] 処理槽 1 の側面下部には、ガス吸入口 1 e が設けられている。ガス吸入口 1 e には、ガス循環配管 4 3 の第 1 の端部が接続されている。ガス循環配管 4 3 の第 1 の端部は、処理槽 1 外に配置されている。ガス循環配管 4 3 の第 2 の端部は、循環配管接続口 4 2 a に接続されている。

[0140] ガス循環配管 4 3 の処理槽 1 外に配置されている部分には、ガス輸送部であるエアポンプ 4 4 が設けられている。実施の形態 8 の水滴形成装置兼ガス噴出装置であるガス循環装置 4 5 は、裏板 4 2、ガス循環配管 4 3 及びエアポンプ 4 4 を有しており、処理槽 1 からガスを吸気し、吸気したガスを細孔 2 b 内に上方へ向けて噴出させる。

[0141] ガス供給口 1 d には、ガス供給源 1 7 が圧力調節器 4 6 を介して接続されている。また、実施の形態 8 の水処理ユニット 4 7 は、平板電極 2 と、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c と、ガス循環装置 4 5 の一部である裏板 4 2 を有している。

[0142] 次に、動作について説明する。給水口 1 a から処理槽 1 内に供給された被処理水 4 は、平板電極 2 の上面を流れ、排水口 1 c から排出される。ガス供給口 1 d から処理槽 1 内に供給された酸素ガスは、ガス排出口 1 b から処理槽 1 外へ排出される。このとき、ガス排出口 1 b で所定の圧力損失が生じるが、圧力調節器 4 6 を動作させることで、処理槽 1 内の圧力は外気圧よりも高く維持される。

- [0143] 一方、エアポンプ44を動作させることにより、処理槽1内のガスを細孔2bから平板電極2上へ噴出させる。これにより、平板電極2上を流れる被処理水4の一部が跳ね上がり、水滴13a, 13b, 13cとなる。他の構成及び動作は、実施の形態1と同様である。
- [0144] このような水処理装置及び水処理方法では、実施の形態5、6のようなガス源26を用いず、循環ガスを用いて被処理水4を水滴化することができる。このため、ガス供給源17からは、処理槽1内を所定の圧力に保ち、かつ、水処理によって消費される分（有機物の酸化分解に消費される分と、被処理水4に溶け込む分）を補うだけのガスを供給すればよい。このため、ガスの使用量を抑制し、水処理のランニングコストを低減することができる。
- [0145] また、実施の形態8では、ガス循環装置45により、被処理水4に動力を与えて水滴13a, 13b, 13cを形成する。このため、水滴形成にノズル又はシャワーヘッドを用いる場合と異なり、被処理水4が微細孔を通ることで水滴が形成されるのではなく、ガスが細孔2bを流れることで水滴が形成される。従って、被処理水4中の汚れ成分による細孔2aの目詰まりが抑制され、メンテナンスの頻度を抑制して高い稼働率で動作させることができる。
- [0146] また、本実施の形態8では、放電で生じた O_3 ガス及び H_2O_2 ガスが処理槽1内に充満するが、それらの O_3 及び H_2O_2 を含むガスをガス循環装置45により循環させ、平板電極2上を流れる被処理水4の水膜70に対して噴出させる。これにより、 O_3 及び H_2O_2 を含む循環ガスは、図12～17に示したように、水膜70中を気泡となって上昇する。その際、気液界面からガス中の O_3 及び H_2O_2 が被処理水4に溶解する。このため、実施の形態5で示したように、循環ガスを用いない場合と比較して、被処理水への O_3 及び H_2O_2 の溶解をさらに促進させることができ、(9)式による水中反応での有機物の分解反応が促進され、水処理の性能が向上する。
- [0147] さらに、本実施の形態8では、被処理水4を重力により平板電極2に沿って自然に流下させつつ、エアポンプ44によりガスを循環させて被処理水4

を水滴化している。一般に、ポンプの消費エネルギーは、液体を輸送するよりも気体を輸送する方が遥かに少ないことから、特許文献 1 の水処理装置のようにポンプで被処理水を循環させて水滴化する場合と比べて、少ない消費エネルギーで、高い水処理効果を得ることができる。

[0148] なお、実施の形態 8 では、エアポンプ 44 を処理槽 1 外に配置したが、処理槽 1 内に配置してもよい。この場合、処理槽 1 にガス吸入口 1 e を設ける必要はなく、ガス循環配管 43 は処理槽 1 内だけに敷設すればよい。

[0149] ここで、図 21 は図 20 の水処理装置による水処理実験の結果を示すグラフである。この実験では、被処理水 4 として、全有機炭素（TOC）濃度が約 14 mg/l の酢酸ナトリウム水溶液を、毎分 150 ml の流量で循環させた。また、酸素ガスを毎分 250 ml の流量で処理槽 1 に供給するとともに、パルス放電を形成した。そして、一定の時間間隔で被処理水 4 をサンプリングし、全有機炭素濃度計（島津製作所製 TOC-Vw）を用いて TOC 濃度を測定した。

[0150] 試験条件 A では、図 20 のエアポンプ 44 を稼働させず水滴 13a, 13b, 13c が形成されない条件で試験した。また、試験条件 B では、図 20 のエアポンプ 44 を稼働させて水滴 13a, 13b, 13c が形成される条件で試験した。

[0151] この結果、試験条件 A では、初期 TOC 濃度が 14.6 mg/l であったのが、1 Wh の放電エネルギー投入後は 11.1 mg/l に低下した（3.5 mg/l の減少）。一方、試験条件 B では、初期 TOC 濃度が 13.6 mg/l であったのが、1 Wh の放電エネルギー投入後は 6.6 mg/l に低下した（7.0 mg/l の減少）。

[0152] このように、被処理水 4 を水滴化することにより、難分解性物質である酢酸ナトリウムの分解速度が大幅に向上することが確認された。

[0153] 実施の形態 9.

次に、図 22 はこの発明の実施の形態 9 による水処理装置における循環ガスの流量と時間との関係を示すグラフである。実施の形態 8 では、エアポン

プ44によりガスを循環させることで被処理水4を水滴化したが、本実施の形態9では、ガスの循環流量を時間的に変化させて脈流とする。即ち、実施の形態9のガス循環装置45は、被処理水4を間欠的に水滴化する。

[0154] 図22において、破線で示す一定流の場合、循環ガス流量は時間的に変化することなく一定である。一方、実線で示す脈流の場合、循環ガスが流れる時間の割合を $1/4$ （即ちデューティー比25%）とし、流量を4倍としている。従って、一定流と脈流とでは、一定時間の間に流れるガスの量は同じであるが、そのタイミングが異なることになる。

[0155] 脈流を形成する方法としては、例えば、ガス循環配管43の途中にバルブを設け、そのバルブの開閉を制御する方法が挙げられる。また、エアポンプ44としてダイヤフラムポンプ又はペローズポンプを用いれば、ポンプ自身が脈流の性質を持っているため、別途バルブ等を設けなくても脈流を形成することができる。他の構成及び動作は、実施の形態8と同様である。

[0156] 図20のような水処理装置では、細孔2bを通過するガスの流速が速いほど、多くの水滴が形成される。このため、本実施の形態9によれば、循環ガスを脈流とすることで、一定流で供給する場合と比べて、同様の循環ガスの量で、より多くの水滴を形成することができる。このため、同等量の水滴を形成する際にエアポンプ44の容量を小さくしたり、又は同じ容量のエアポンプ44で形成できる水滴量を増加させたりすることができる。

[0157] なお、循環ガスの流量は、必ずしも図22のようにパルス状にする必要はなく、時間的に変調するようにしてもよい。循環ガスの流量、デューティー比、及び脈流周期は、水滴の形成具合によって適宜決定すればよい。

[0158] 実施の形態10.

次に、図23はこの発明の実施の形態10による水処理装置の断面図である。処理槽1内には、複数（ここでは4台）の水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dが、上下方向に多段に並べて配置されている。各水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dは、実施の形態8の水処理ユニット47と同様に、平板電極2、ワイヤ電極6a, 6b, 6c、及び裏板42

を有している。

[0159] また、これらの水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dでは、最上段の水処理ユニット47aから最下段の水処理ユニット47dまで被処理水4が連続して（ジグザグに蛇行して）流下するように、平板電極2が水平面に対して交互に逆方向に傾斜している。即ち、上下方向に隣接する水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dでは、平板電極2の水平面に対する傾斜方向が逆になっている。

[0160] ガス循環配管43は、エアポンプ44の下流側で第1ないし第4の分岐配管43a, 43b, 43c, 43dに分岐されている。そして、分岐配管43a, 43b, 43c, 43dの先端は、それぞれ対応する水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dの循環配管接続口42aに接続されている。

[0161] 最上段の水処理ユニット47aに接続された第1の分岐配管43aには、第1のバルブ48aが設けられている。2段目の水処理ユニット47bに接続された第2の分岐配管43bには、第2のバルブ48bが設けられている。3段目の水処理ユニット47cに接続された第3の分岐配管43cには、第3のバルブ48cが設けられている。最下段の水処理ユニット47dに接続された第4の分岐配管43dには、第4のバルブ48dが設けられている。

[0162] 実施の形態10の水滴形成装置であるガス循環装置49は、水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dの裏板42、分岐配管43a, 43b, 43c, 43dを含むガス循環配管43、及びエアポンプ44を有している。他の構成は、実施の形態8と同様である。

[0163] 図23において、被処理水4は、水量調節機構23によって所定の流量に調整された後、給水口1aを通過して、処理槽1内に供給される。処理槽1内に供給された被処理水4は、最上段の水処理ユニット47aから最下段の水処理ユニット47dまで順に流下した後、処理後水40として処理槽1の底部に溜まり、排水口1cから排水される。このとき、給水口1aは被処理水

4によって塞がれており、排水口1cは処理後水40によって塞がれており、いずれもガスが通らないようになっている。

[0164] ガス供給源17からの酸素ガスは、圧力調節器46によって、処理槽1内の圧力が外気圧よりも高い所定の圧力になる流量に調整され、処理槽1内に供給される。エアポンプ44によってガス吸入口1eから吸気された処理槽1内のガスは、分岐配管43a, 43b, 43c, 43dを通して、水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dに供給され、流下する被処理水4を水滴化する。

[0165] 図24は図23の第1ないし第4のバルブ48a, 48b, 48c, 48dの開閉動作を示すタイミングチャートである。バルブ48a, 48b, 48c, 48dは、周期的に開閉される。また、バルブ48a, 48b, 48c, 48dの開のデューティー比は、いずれも25%である。

[0166] さらに、バルブ48a, 48b, 48c, 48dは、互いに1/4周期ずつずれて開放される。このため、バルブ48a, 48b, 48c, 48dのうちの2つ以上が同時に開くことはなく、いずれか1つが開いているときに残りは閉じていることになる。しかも、常に、バルブ48a, 48b, 48c, 48dのうちの1つが開いていることになる。従って、全ての水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dに同時に循環ガスを供給する場合と比べて、少ない循環ガス流量で効率的に水滴を形成することができる。

[0167] このような水処理装置及び水処理方法では、水処理ユニット47a, 47b, 47c, 47dが多段に配置されているため、被処理水4が放電11a, 11b, 11cに接する時間が延長され、実施の形態8と比較して、処理槽1を一度通過しただけで高い水処理効果が得られる。即ち、被処理水4をポンプで循環させて処理槽1を複数回通過させたり、あるいは処理槽1を複数台直列に接続して、被処理水4が複数の処理槽1を通るようにしたりすることなく、被処理水4を1台の処理槽に一度通過させるだけで高い水処理効果が得られる。このため、実施の形態8と比較して、被処理水4の汲み上げに必要な電力が削減され、また装置構成が簡素化される効果がある。

また、水処理ユニット４７ａ、４７ｂ、４７ｃ、４７ｄが、上下方向に多段に並べて配置されており、かつ最上段の水処理ユニット４７ａから最下段の水処理ユニット４７ｄまで被処理水４が連続して流下するため、１個の水処理ユニットで同じ処理面積を形成する場合と比較して、処理槽１のフットプリントを小さくすることができる。結果的に、比較的小型な装置で被処理水４を高速かつ高効率に処理できる。

[0168] また、１台のエアポンプ４４により、４台の水処理ユニット４７ａ、４７ｂ、４７ｃ、４７ｄで水滴を形成できることから、装置構成が簡素化し、装置コストが抑制される。

[0169] さらに、分岐配管４３ａ、４３ｂ、４３ｃ、４３ｄにバルブ４８ａ、４８ｂ、４８ｃ、４８ｄを設け、これらを異なるタイミングで開閉することで、少ない循環ガス流量で効率的に水滴を形成することができる。

[0170] なお、バルブ４８ａ、４８ｂ、４８ｃ、４８ｄは必須ではなく、分岐配管４３ａ、４３ｂ、４３ｃ、４３ｄに循環ガスが常時流れるようにしてもよい。

また、バルブ４８ａ、４８ｂ、４８ｃ、４８ｄの開閉は、被処理水４の組成に応じて任意のタイミングで行うことができ、必ずしも図２４の通りである必要はない。

[0171] 実施の形態１１．

次に、図２５はこの発明の実施の形態１１による水処理装置の断面図である。処理槽１内には、複数（ここでは４台）の水処理ユニット５１ａ、５１ｂ、５１ｃ、５１ｄが、上下方向に多段に並べて配置されている。各水処理ユニット５１ａ、５１ｂ、５１ｃ、５１ｄは、実施の形態８の水処理ユニット４７から裏板４２を取り除いたものである。即ち、各水処理ユニット５１ａ、５１ｂ、５１ｃ、５１ｄは、平板電極２及びワイヤ電極６ａ、６ｂ、６ｃを有している。

[0172] 各水処理ユニット５１ａ、５１ｂ、５１ｃ、５１ｄの平板電極２の周縁部は、処理槽１の内壁面に気密に接続されている。これにより、処理槽１内の

各平板電極 2 の上下には、複数（この例では 5 つ）の独立した分割空間（密閉空間）が形成されている。即ち、処理槽 1 内の空間は、平板電極 2 により 5 つの分割空間に仕切られている。上下に隣り合う分割空間は、平板電極 2 の細孔 2 b のみを通して繋がっている。

[0173] また、各平板電極 2 の下流側端部上には、被処理水 4 が溜まる水溜め部 5 2 が形成されている。各平板電極 2 の下流側端部近傍には、水溜め部 5 2 に溜まった被処理水 4 を下方へ落とすための 1 つ又は複数の貫通孔 2 c が設けられている。

[0174] ガス吸入口 1 e は、最上段の分割空間、即ち最上段の平板電極 2 の上側の空間に臨むように配置されている。ガス循環配管 4 3 のガス吸入口 1 e とは反対側の端部は、分岐されておらず、処理槽 1 に設けられたガス吐出口 1 f に接続されている。ガス吐出口 1 f は、最下段の分割空間、即ち最下段の平板電極 2 の下側の空間に臨むように配置されている。また、処理槽 1 には、ガス排出口 1 b が設けられていない。

[0175] 実施の形態 1 1 の水滴形成装置であるガス循環装置 5 3 は、エアポンプ 4 4 及びガス循環配管 4 3 を有している。他の構成は、実施の形態 1 0 と同様である。

[0176] 図 2 5 において、処理槽 1 内に供給された被処理水 4 は、最上段の水処理ユニット 4 7 a から最下段の水処理ユニット 4 7 d まで順に流下した後、処理後水 4 0 として処理槽 1 の底部に溜まり、排水口 1 c から排水される。このとき、各水溜め部 5 2 に溜まった被処理水 4 は、貫通孔 2 c を通って下端へ落下する。

[0177] ガス供給源 1 7 からの酸素ガスは、圧力調節器 4 6 によって、処理槽 1 内の圧力が外気圧よりも高い所定の圧力になる流量に調整され、処理槽 1 内に供給される。エアポンプ 4 4 によってガス吸入口 1 e から吸気された処理槽 1 内のガスは、ガス吐出口 1 f を通して最下段の分割空間に供給される。

[0178] ガス吐出口 1 f から処理槽 1 内に供給されたガスは、細孔 2 b を通して、順次上方の分割空間へと移動していく。このとき、各水処理ユニット 5 1 a

， 5 1 b， 5 1 c， 5 1 dにおいて、平板電極 2 上を流れる被処理水 4 の一部が水滴化される。他の動作は、実施の形態 1 0 と同様である。

[0179] 本実施の形態 1 1 においては、処理槽 1 の内部の圧力が、最下段の分割空間で最も高く、上方の分割空間に行くに従って低くなっている。このため、エアポンプ 4 4 によって生じた循環ガス流は、処理槽 1 内で上方へ向けて一連の流れを形成することになる。

[0180] また、本実施の形態 1 1 において、各水溜め部 5 2 の水深は、各平板電極 2 上を流下する被処理水 4 の水膜厚さよりも大きくなっている。このため、処理槽 1 内を上方へ向けて流れる循環ガスは、貫通孔 2 c を通ることなく、細孔 2 b のみを通る。これにより、被処理水 4 を効率的に水滴化することができる。

[0181] さらに、実施の形態 1 0 においては、水処理ユニット 4 7 a， 4 7 b， 4 7 c， 4 7 d に対して分岐配管 4 3 a， 4 3 b， 4 3 c， 4 3 d がそれぞれ接続されていたが、本実施の形態 1 1 では、分岐配管 4 3 a， 4 3 b， 4 3 c， 4 3 d は不要となり、装置構成が簡素化される。

[0182] さらにまた、本実施の形態 1 1 では、エアポンプ 4 4 に対して、水処理ユニット 5 1 a， 5 1 b， 5 1 c， 5 1 d が直列に接続されているため、循環ガスの全量が全ての水処理ユニット 5 1 a， 5 1 b， 5 1 c， 5 1 d を順次通過することになり、水滴の形成効率が向上する。

[0183] なお、実施の形態 1 0、 1 1 において、水処理ユニットの台数は、処理槽 1 の寸法、又は必要とされる水処理能力などに応じて適宜設定することができる。

[0184] 実施の形態 1 2.

次に、図 2 6 はこの発明の実施の形態 1 2 による水処理装置の要部断面図である。実施の形態 1 2 では、実施の形態 8 の平板電極 2 の代わりに傾斜板 5 5 が用いられている。傾斜板 5 5 には、複数の細孔 5 5 a が設けられている。

[0185] 傾斜板 5 5 の上方には、傾斜板 5 5 に対して空隙 5 を介して、放電形成体

としての7本のワイヤ電極、即ち3本の高圧ワイヤ電極56a, 56b, 56cと、4本の接地ワイヤ電極57a, 57b, 57c, 57dとが配置されている。ワイヤ電極56a, 56b, 56c, 57a, 57b, 57c, 57dは、被処理水4の流下方向に互いに間隔をおいて配置されている。

[0186] また、ワイヤ電極56a, 56b, 56c, 57a, 57b, 57c, 57dは、傾斜板55の上面に対して等間隔をおいて配置されている。さらに、ワイヤ電極56a, 56b, 56c, 57a, 57b, 57c, 57dは、傾斜板55の幅方向（図26のX軸方向）に平行かつ水平に張られている。

[0187] さらにまた、高圧ワイヤ電極56a, 56b, 56cと接地ワイヤ電極57a, 57b, 57c, 57dとは、被処理水4の流下方向に交互に配置されている。高圧ワイヤ電極56a, 56b, 56cは、パルス電源7に接続されている。接地ワイヤ電極57a, 57b, 57c, 57dは、接地されている。

[0188] これにより、隣り合う電極、即ち電極56a, 57a、電極56a, 57b、電極56b, 57b、電極56b, 57c、電極56c, 57c、電極56c, 57dがそれぞれ対をなし、各対の電極間に放電58a, 58b, 58cを形成する。細孔55aは、傾斜板55のワイヤ電極56a, 56b, 56c, 57a, 57b, 57c, 57dに対向する領域全体に均等に設けられている。

[0189] 傾斜板55の下面には、裏板42が気密に固定されている。貯気室41は、全ての細孔55aに繋がっている。実施の形態12の水処理ユニット59は、傾斜板55と、高圧ワイヤ電極56a, 56b, 56cと、接地ワイヤ電極57a, 57b, 57c, 57dと、裏板42とを有している。

[0190] 本実施の形態12では、高圧ワイヤ電極56a, 56b, 56cと接地ワイヤ電極57a, 57b, 57c, 57dとの間に、放電58a, 58b, 58cが形成される。このとき、循環ガスが細孔55aから噴き出すことで、水滴13が形成され、水処理が行われる。他の構成及び動作は、実施の形

態 8 と同様である。

[0191] このような水処理装置及び水処理方法では、放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c を横切る方向に水滴 1 3 が跳ね上がる（ここでは、水滴 1 3 が跳ね上がる方向に対して直角の方向に放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c が形成される）。このため、例えば実施の形態 1（図 1）のように、ワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c と被処理水 4 の水面との間に放電 1 1 a, 1 1 b, 1 1 c が形成される場合と比較して、水滴 1 3 と放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c との接触確率が高くなり、水処理効率が向上する。

[0192] なお、本実施の形態 1 2 において、傾斜板 5 5 は電氣的に接地しても、接地しなくてもよい。傾斜板 5 5 を電氣的に接地した場合、高圧ワイヤ電極 5 6 a, 5 6 b, 5 6 c と傾斜板 5 5 上の被処理水 4 の水面との間にも放電が形成される。このため、放電領域を広くすることができ、水処理の速度が向上する。

[0193] 一方、傾斜板 5 5 を電氣的に接地しない場合、傾斜板 5 5 を絶縁体で形成することができる。傾斜板 5 5 をアルミナ等のセラミックで形成すれば、放電によるスパッタリング及び腐食を抑制でき、装置の長寿命化を図ることができる。また、傾斜板 5 5 を電氣的に接地しない場合には、傾斜板 5 5 の配置及び形状を、放電形成に関係なく決めることができるため、例えば空隙 5 の広さなどの設計の自由度が向上する。

[0194] また、実施の形態 1 2 を実施の形態 9 ～ 1 1 と適宜組み合わせてもよい。例えば、実施の形態 1 2 の装置において、ガスの循環流量を時間的に変化させて脈流としてもよい。また、実施の形態 1 2 の水処理ユニット 5 9 を実施の形態 1 0 又は 1 1 のように多段で配置してもよい。

[0195] さらに、水滴 1 3 が跳ね上がる方向は、必ずしも放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c の形成方向に対して直角でなくてもよく、放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c を横切る方向に水滴 1 3 が跳ね上がれば、水処理効率は向上する。

[0196] 実施の形態 1 3.

次に、図 2 7 はこの発明の実施の形態 1 3 による水処理装置の要部断面図

である。実施の形態 13 は、実施の形態 12 の接地ワイヤ電極 57a, 57b, 57c, 57d を接地平板電極 60a, 60b, 60c, 60d と置き換えたものである。接地平板電極 60a, 60b, 60c, 60d は、傾斜板 55 の上面に対して直角に配置されている。

[0197] 実施の形態 13 の水処理ユニット 61 は、傾斜板 55 と、高圧ワイヤ電極 56a, 56b, 56c と、接地平板電極 60a, 60b, 60c, 60d と、裏板 42 とを有している。他の構成及び動作は、実施の形態 12 と同様である。

[0198] このような水処理装置及び水処理方法では、接地平板電極 60a, 60b, 60c, 60d を用いたので、実施の形態 12 と比較して、放電 58a, 58b, 58c がより広い領域に形成される。このため、水滴 13 が放電 58a, 58b, 58c と接する時間が長くなり、水処理の速度が向上する。

[0199] なお、実施の形態 13 を実施の形態 9～11 と適宜組み合わせてもよい。例えば、実施の形態 13 の装置において、ガスの循環流量を時間的に変化させて脈流としてもよい。また、実施の形態 13 の水処理ユニット 61 を実施の形態 10 又は 11 のように多段で配置してもよい。

[0200] 実施の形態 14.

次に、図 28 はこの発明の実施の形態 14 による水処理装置の要部断面図である。実施の形態 14 は、実施の形態 12 の接地平板電極 60a, 60b, 60c, 60d の代わりに、平板を断面円弧状に湾曲させてなる接地円弧電極 62a, 62b, 62c を用いたものである。接地円弧電極 62a, 62b, 62c は、凹面側が傾斜板 55 の上面に空隙を介して対向するように配置されている。

[0201] 隣り合う接地円弧電極 62a, 62b, 62c は、互いに接続されている。高圧ワイヤ電極 56a, 56b, 56c は、接地円弧電極 62a, 62b, 62c と傾斜板 55 との間にそれぞれ配置されている。即ち、接地円弧電極 62a, 62b, 62c は、対応する高圧ワイヤ電極 56a, 56b, 56c を覆うように配置されている。傾斜板 55 は、金属からなり、接地され

ている。即ち、傾斜板 5 5 は、平板電極（接地電極）を兼ねている。

[0202] 実施の形態 1 4 の水処理ユニット 6 3 は、傾斜板 5 5 と、高圧ワイヤ電極 5 6 a, 5 6 b, 5 6 c と、接地円弧電極 6 2 a, 6 2 b, 6 2 c と、裏板 4 2 とを有している。他の構成及び動作は、実施の形態 1 2 と同様である。

[0203] このような水処理装置及び水処理方法では、接地円弧電極 6 2 a, 6 2 b, 6 2 c を用いたので、実施の形態 1 2 又は 1 3 と比較して、放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c がより広い領域に形成される。このため、水滴 1 3 が放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c と接する時間が長くなり、水処理の速度が向上する。

[0204] また、高圧ワイヤ電極 5 6 a, 5 6 b, 5 6 c を囲うように接地円弧電極 6 2 a, 6 2 b, 6 2 c が配置されているため、より均一な電界が形成される。このため、放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c が局所的に強くなることなく、アーキングが抑制され、均一で安定的な放電が形成される。

[0205] さらに、接地円弧電極 6 2 a, 6 2 b, 6 2 c が跳ね上がった水滴 1 3 を覆うように配置されているため、接地円弧電極 6 2 a, 6 2 b, 6 2 c に付着した水滴 1 3 の一部が、再び水滴 1 3 となって傾斜板 5 5 へ向けて落下する。また、接地円弧電極 6 2 a, 6 2 b, 6 2 c に付着した水滴 1 3 の他の一部は、表面張力により、接地円弧電極 6 2 a, 6 2 b, 6 2 c の内面に沿って流れる。このような動作を繰り返すことにより、被処理水 4 と放電 5 8 a, 5 8 b, 5 8 c との接触時間が長くなるのに加え、気液界面の面積が増加し、水処理が効率的に行われる。

[0206] なお、実施の形態 1 4 を実施の形態 9 ～ 1 1 と適宜組み合わせてもよい。例えば、実施の形態 1 4 の装置において、ガスの循環流量を時間的に変化させて脈流としてもよい。また、実施の形態 1 4 の水処理ユニット 6 3 を実施の形態 1 0 又は 1 1 のように多段で配置してもよい。

[0207] 実施の形態 1 5.

次に、図 2 9 はこの発明の実施の形態 1 5 による水処理装置の要部断面図である。傾斜板 5 5 の上方には、放電形成体であるメッシュ電極 6 4 が、空隙 5 a を介して傾斜板 5 5 と平行に配置されている。メッシュ電極 6 4 は、

パルス電源 7 に接続されている。傾斜板 5 5 は、金属からなり、接地されている。即ち、傾斜板 5 5 は、平板電極（接地電極）を兼ねている。

[0208] メッシュ電極 6 4 の上方には、放電形成体である上部平板電極 6 5 が、空隙 5 b を介して、メッシュ電極 6 4 と平行に配置されている。上部平板電極 6 5 は、接地されている。メッシュ電極 6 4 及び傾斜板 5 5 は、対をなして放電 6 6 a を形成する。メッシュ電極 6 4 及び上部平板電極 6 5 は、対をなして放電 6 6 b を形成する。

[0209] 実施の形態 1 5 の水処理ユニット 6 7 は、傾斜板 5 5 と、メッシュ電極 6 4 と、上部平板電極 6 5 と、裏板 4 2 とを有している。他の構成及び動作は、実施の形態 1 2 と同様である。

[0210] このような水処理装置及び水処理方法では、メッシュ電極 6 4 と傾斜板 5 5 との間に放電 6 6 a が形成され、メッシュ電極 6 4 と上部平板電極 6 5 との間に放電 6 6 b が形成される。また、傾斜板 5 5 上から跳ね上がった水滴 1 3 の一部は、メッシュ電極 6 4 を通過して上部平板電極 6 5 に衝突する。

[0211] このため、実施の形態 8 のようにワイヤ電極 6 a, 6 b, 6 c と平板電極 2 との間だけに放電 1 1 a, 1 1 b, 1 1 c が形成される場合と比べて、放電 6 6 a, 6 6 b の形成領域を拡張することができ、水処理の速度が向上する。

[0212] また、跳ね上がった水滴 1 3 の一部が上部平板電極 6 5 に衝突し、その一部は再び水滴 1 3 となって傾斜板 5 5 へ向けて落下する。また、上部平板電極 6 5 に衝突した水滴 1 3 の他の一部は、表面張力により、上部平板電極 6 5 に沿って流れる。このため、被処理水 4 と放電 6 6 a, 6 6 b の接触時間が向上することに加え、気液界面の面積が増加し、水処理が効率的に行われる。

[0213] なお、実施の形態 1 5 を実施の形態 9 ~ 1 1 と適宜組み合わせてもよい。例えば、実施の形態 1 5 の装置において、ガスの循環流量を時間的に変化させて脈流としてもよい。また、実施の形態 1 5 の水処理ユニット 6 7 を実施の形態 1 0 又は 1 1 のように多段で配置してもよい。

[0214] 実施の形態 16.

次に、図 30 はこの発明の実施の形態 16 による水処理装置の断面図、図 31 は図 30 の平板電極 2 のみを示す断面図、図 32 は図 30 の平板電極 2 を示す斜視図である。本実施の形態 16 は、平板電極 2 の形状が異なる点を除き、実施の形態 8 と同様である。

[0215] 平板電極 2 の上面には、他の部分よりも下がった複数（図 32 では 32 個）の凹部 72 が形成されている。平板電極 2 の上面に平行な凹部 72 の断面形状は、円形である。各凹部 72 の中央には、平板電極 2 を厚さ方向に貫通する細孔 73 が形成されている。その他の構成は実施の形態 8 と同様である。

[0216] 本発明の水処理装置では、水膜 70 が薄いほど高い水処理効率が得られる。これは、放電で生成された OH 及び O_3 などの酸化性粒子は、水膜 70 の表層において迅速に反応して有機物を分解するが、水膜 70 の深部への拡散に時間を要するためである。

[0217] 一方、水滴形成装置によって形成される水滴 13 の数が多いほど、高い水処理性能が得られる。これは、多数の水滴が形成されることにより、被処理水 4 の表面積が増加し、OH 及び O_3 などの酸化性粒子との反応頻度が向上し、また O_3 及び H_2O_2 の溶解が促進されるためである。

[0218] 実施の形態 8 において、水膜 70 が薄いと、水膜 70 の底部付近の有機物まで分解され易くなるが、細孔 2b からガスを噴出させても多くの水滴を形成することができない。逆に水膜 70 が厚いと、水滴は多数形成されるが水膜 70 の深部の有機物の分解が進まない。即ち、実施の形態 8 において、水膜 70 中の有機物の効率的な処理と、多数の水滴の形成とを両立させることがより好適である。

[0219] これに対して、本実施の形態 16 によれば、平板電極 2 の上面に凹部 72 が形成されており、かつ各凹部 72 の底部に細孔 73 が開口しているため、細孔 73 の近傍のみ水膜 70 が厚く、その他の領域では水膜 70 が薄くなる。これにより、水膜 70 中の有機物の効率的な処理と、多数の水滴の形成と

を両立できる。

[0220] なお、凹部 7 2 の形状は、必ずしも図 3 2 に示すように円柱形である必要はない。また、必ずしも細孔 7 3 と凹部 7 2 とを 1 : 1 で対応させる必要はない。例えば、図 3 3 に示すように、矩形の平板状（平板電極 2 の上面に平行な断面が長方形）の複数（図 3 3 では 4 個）の凹部 7 4 を平板電極 2 の上面に設け、各凹部 7 4 に 2 個以上（図 3 3 では 6 個）の細孔 7 3 を設けてもよい。図 3 3 において、凹部 7 4 は、長辺が被処理水 4 の流れに対して直角になるように配置されている。このような構成によれば、加工性が向上する。

[0221] また、図 3 4 に示すように、溝形状の複数（図 3 4 では 4 個）の凹部 7 5 を平板電極 2 の上面に設け、各凹部 7 5 に 2 個以上（図 3 4 では 9 個）の細孔 7 3 を設けてもよい。図 3 4 では、凹部 7 5 は、被処理水 4 の流れに対して直角な方向に互いに間隔をおいて、被処理水 4 の流れの方向に平行に配置されている。このような構成によれば、前述の水滴を効果的に形成できる効果に加えて、被処理水 4 が平板電極 2 の面上で偏りなく均一に流れる効果が得られる。

[0222] なお、形状の異なる複数種類の凹部を組み合わせてもよい。

また、平板電極 2 の上面に凹部を形成する構成は、他の実施の形態と適宜組み合わせてもよい。例えば、実施の形態 1 の平板電極 2 の超音波振動子 1 2 a, 1 2 b, 1 2 c が配置されている部分の上面に凹部を形成してもよい。この場合も、水膜 7 0 の厚みに応じた最適な周波数に合わせたときと比較すると、超音波振動子 1 2 a, 1 2 b, 1 2 c の上部の水膜 7 0 が厚いほど、より多くの水滴を生じさせることができる。

[0223] 実施の形態 1 7.

次に、図 3 5 はこの発明の実施の形態 1 7 による水処理装置の平板電極 2 を示す斜視図、図 3 6 は図 3 5 の平板電極 2 を示す分解斜視図である。本実施の形態 1 7 は、平板電極 2 の形成方法が実施の形態 1 6 と異なる。即ち、本実施の形態 1 7 では、平板電極 2 は、矩形の平板である下板 7 6 上に、矩

形の平板である上板 7 7 を重ね合わせることによって構成されている。

[0224] 下板 7 6 には、下板 7 6 を厚さ方向に貫通する複数（この例では 30 個）の細孔 7 3 が設けられている。この例では、下板 7 6 に 5 列の細孔列 7 3 a ～ 7 3 e が形成されている。各細孔列 7 3 a ～ 7 3 e では、6 個の細孔 7 3 が被処理水 4 の流れに対して直角に並べて配置されている。また、細孔列 7 3 a ～ 7 3 e は、被処理水 4 の流れの方向に互いに間隔をおいて配置されている。

[0225] 上板 7 7 には、平面形状がそれぞれ長方形である 5 個の貫通孔 7 7 a ～ 7 7 e が設けられている。貫通孔 7 7 a ～ 7 7 e は、被処理水 4 の流れの方向に互いに間隔をおいて配置されている。各貫通孔 7 7 a ～ 7 7 e は、長辺が被処理水 4 の流れの方向に直角となるように配置されている。

[0226] 各貫通孔 7 7 a ～ 7 7 e の開口面積は、各細孔 7 3 の開口面積よりも大きい。上板 7 7 を下板 7 6 に重ねた状態では、細孔 7 3 は、対応する貫通孔 7 7 a ～ 7 7 e 内に開口するように配置されている。これにより、各貫通孔 7 7 a ～ 7 7 e は、図 3 3 の凹部 7 4 と同様に機能する。他の構成は、実施の形態 1 6 と同様である。

[0227] 実施の形態 1 6 において、凹部 7 2, 7 4, 7 5 を形成するには、平板電極 2 に対して削り加工を施す必要がある。これに対して、本実施の形態 1 7 によれば、上板 7 7 及び下板 7 6 をそれぞれレーザー加工及び打ち抜き加工等で形成し、両者を貼り合わせることで平板電極 2 が形成できる。このため、平板電極 2 をより低コストで作成でき、平板電極 2 の大型化及び量産化が容易となる。

[0228] なお、下板 7 6 に対する上板 7 7 の固定方法は、例えば溶接、ろう付、又は接着などでよく、特に限定されない。

[0229] 実施の形態 1 8.

次に、図 3 7 はこの発明の実施の形態 1 8 による水処理装置の断面図である。本実施の形態 1 8 の水処理装置は、上部ユニット 9 0、下部ユニット 9 1、2 個の第 1 の中間ユニット（水処理ユニット）7 9 a, 7 9 b、及び 2

個の第2の中間ユニット（水処理ユニット）80a, 80bを有している。

[0230] 上部ユニット90は、水処理装置の最上部に配置されている。下部ユニット91は、水処理装置の最下部に配置されている。第1の中間ユニット79a, 79bと、第2の中間ユニット80a, 80bとは、上部ユニット90と下部ユニット91との間に、上下方向に交互に配置されている。

[0231] 具体的には、上部ユニット90の下に第1の中間ユニット79aが配置され、第1の中間ユニット79aの下に第2の中間ユニット80aが配置され、第2の中間ユニット80aの下に第1の中間ユニット79bが配置され、第1の中間ユニット79bの下に第2の中間ユニット80bが配置され、第2の中間ユニット80bの下に下部ユニット91が配置されている。

[0232] また、上下に隣接するユニットの処理槽1を構成する部分は、締結部材である複数のボルト87を用いて、気密を保ち、かつ電氣的に導通させて締結されている。図38に第1の中間ユニット79a, 79bの断面、図39に第2の中間ユニット80a, 80bの断面を示している。

[0233] 図38において、各第1の中間ユニット79a, 79bは、平板電極2、裏板42、分岐配管43a又は43c、ワイヤ電極6a, 6b, 6c、及び筐体83を有している。筐体83は、断面矩形のダクト状であり、平板電極2、裏板42及びワイヤ電極6a, 6b, 6cを囲んでいる。平板電極2は、筐体83の内部で、筐体83の側壁に固定されている。

[0234] 筐体83の側壁には、高圧線82を導入する導入端子81と、ガス循環配管43が貫通するフィードスルー89とが形成されている。ワイヤ電極6a, 6b, 6cは、それぞれが高圧線82に接続されている。高圧線82は、導入端子81を介して、筐体83の外部に通じている。

[0235] 筐体83の上端部には、上部フランジ83aが設けられている。筐体83の下端部には、下部フランジ83bが設けられている。また、平板電極2は、図38において右下がりに傾斜している。

[0236] 図39において、第2の中間ユニット80a, 80bは、平板電極2、裏板42、分岐配管43b又は43d、ワイヤ電極6a, 6b, 6c、及び筐

体 83 を有している。平板電極 2 は、図 39 において左下がりに傾斜している。第 2 の中間ユニット 80 a, 80 b は、平板電極 2 が左下がりとなっている点を除き、第 1 の中間ユニット 79 a, 79 b と同様である。即ち、第 2 の中間ユニット 80 a, 80 b の第 1 の中間ユニット 79 a, 79 b との相違点は、平板電極 2 の傾斜方向が反対である点だけである。

[0237] 上部ユニット 90 には、給水口 1 a、ガス排出口 1 b、及びガス吸入口 1 e が設けられている。上部ユニット 90 の筐体 84 は、第 1 の中間ユニット 79 a の筐体 83 の上部フランジ 83 a に締結されている。

[0238] 下部ユニット 91 には、排水口 1 c、及びガス供給口 1 d が設けられている。下部ユニット 91 の筐体 85 は、第 2 の中間ユニット 80 b の筐体 83 の下部フランジ 83 b に締結されている。

[0239] 第 1 の中間ユニット 79 a, 79 b 及び第 2 の中間ユニット 80 a, 80 b から引き出された高圧線 82 は、筐体 83 の外部において、ブスバー 88 にそれぞれ接続されている。ブスバー 88 は、パルス電源 7 の高電圧出力に接続されている。パルス電源 7 の接地側は、下部ユニット 91 に接続されている。

[0240] また、分岐配管 43 a, 43 b, 43 c, 43 d は、それぞれ継手 86 a, 86 b, 86 c, 86 d によって、ガス吸入口 1 e に対して並列に接続されている。また、ガス吸入口 1 e と継手 86 a との間には、エアポンプ 44 が配置されている。その他の構成及び動作は、実施の形態 10 と同様である。

[0241] 本実施の形態 18 によれば、第 1 の中間ユニット 79 a, 79 b、第 2 の中間ユニット 80 a, 80 b、上部ユニット 90 及び下部ユニット 91 をボルト 87 で接続するだけで、処理槽 1 を構成することができる。このため、処理槽 1 を一体の構成とする場合と比較して、製造と組立が容易になる。

[0242] また、第 1 の中間ユニット 79 a, 79 b 及び第 2 の中間ユニット 80 a, 80 b の数を任意に決めることができる。例えば、高濃度の有機物を含む被処理水 4、又は難分解性物質を含む被処理水 4 が処理対象となる場合には

、第1の中間ユニット79a、79b及び第2の中間ユニット80a、80bの数を増やすことで、高い処理効果が得られる。

[0243] 逆に、低濃度の有機物を含む被処理水4、又は難分解性物質を含まない被処理水4が処理対象となる場合には、第1の中間ユニット79a、79b及び第2の中間ユニット80a、80bの数を減らすことで、無効な放電電力の消費を抑えることができる。また、処理槽1を簡素化し小型化できることから、装置コスト及び運転コストを抑制することができる。

[0244] なお、実施の形態8～18において、循環ガスを形成するための装置はエアポンプ44に限定されるものではなく、例えばブロア又はコンプレッサ等であってもよい。

[0245] また、1つの処理槽内で異なる複数種類の水滴形成装置を組み合わせ使用してもよい。例えば、実施の形態1、3、5～7、8で示した水滴形成装置を適宜組み合わせ使用してもよい。

さらに、実施の形態12～15で示した放電形成体を実施の形態1、3、5～7で示した水滴形成装置と組み合わせてもよい。

[0246] さらにまた、この発明において水滴とは、気中に存在する液体状態の水分子の集合体を意味し、その粒径及び数密度は特に限定されるものではない。例えば、超音波振動子を用いる場合、水滴径は周波数に応じて変化するが、数マイクロメートルの霧状のものから、数ミリメートルの比較的大きな水滴まで形成可能である。

また、実施の形態5、6に示したガスを用いる方法、及び実施の形態7に示した跳上機構28を用いる方法では、0.1ミリメートルから数ミリメートルの水滴が形成される。水処理効率及び速度が最良となるよう、水滴形成方法、水滴径、及び数密度を決定することができる。

請求の範囲

- [請求項1] 水平面に対して傾斜して配置されており、上面に沿って被処理水が流される傾斜板と、
- 前記傾斜板を流れる前記被処理水が形成する水膜の上方に気体層を介して配置された放電形成体と、
- 前記水膜に動力を与えることで、前記被処理水の少なくとも一部を水滴として前記傾斜板の上方へ向けて噴射し、前記放電形成体が形成する放電に前記水滴を触れさせることで前記被処理水を処理する水滴形成装置と
- を備えている水処理装置。
- [請求項2] 前記放電形成体は、少なくとも一対の電極を有しており、前記電極間に電圧を印加して放電を形成する請求項1記載の水処理装置。
- [請求項3] 前記放電形成体と前記傾斜板との間に電圧を印加して放電を形成し、前記放電に前記水膜を触れさせることで前記被処理水を処理する請求項1又は請求項2に記載の水処理装置。
- [請求項4] 前記傾斜板と前記放電形成体とをそれぞれ有する複数の水処理ユニットが、上下方向に並べて配置されており、
- 最上段の前記水処理ユニットから最下段の前記水処理ユニットまで前記被処理水が連続して流下するように、前記傾斜板が水平面に対して交互に逆方向に傾斜している請求項1から請求項3までのいずれか1項に記載の水処理装置。
- [請求項5] 各前記水処理ユニットは、前記傾斜板及び前記放電形成体を囲む筐体をさらに有しており、
- 上下に隣接する前記水処理ユニットの前記筐体が互いに締結されている請求項4記載の水処理装置。
- [請求項6] 前記傾斜板の傾斜角度、前記被処理水の流量、及び放電電力のうちの少なくとも1つが調節可能になっている請求項1から請求項5までのいずれか1項に記載の水処理装置。

- [請求項7] 前記被処理水の水質を検出する水質計、及び
前記水質計からの情報に基づいて、前記傾斜板の傾斜角度、前記被処理水の流量、及び放電電力のうちの少なくとも1つを調節する集中制御ユニット
をさらに備えている請求項6に記載の水処理装置。
- [請求項8] 前記水滴形成装置は、超音波振動子である請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載の水処理装置。
- [請求項9] 前記水滴形成装置は超音波ホモジナイザである請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載の水処理装置。
- [請求項10] 前記水滴形成装置は、前記被処理水に接して前記被処理水を機械的に跳ね上げて水滴化する跳上機構である請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載の水処理装置。
- [請求項11] 前記水滴形成装置は、前記被処理水に対してガスを噴出することにより、前記被処理水を跳ね上がらせて水滴化するガス噴出装置である請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載の水処理装置。
- [請求項12] 前記傾斜板には、前記傾斜板を厚さ方向に貫通する細孔が設けられており、
前記水滴形成装置は、前記細孔内に上方へ向けてガスを噴出することにより、前記被処理水を跳ね上がらせて水滴化するガス噴出装置である請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載の水処理装置。
- [請求項13] 前記傾斜板及び前記放電形成体を収容する処理槽
をさらに備え、
前記傾斜板には、前記傾斜板を厚さ方向に貫通する細孔が設けられており、
前記水滴形成装置は、前記処理槽からガスを吸気し、吸気したガスを前記細孔内に上方へ向けて噴出させるガス循環装置である請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載の水処理装置。
- [請求項14] 前記傾斜板において、前記細孔を覆う前記水膜の厚さが、前記傾斜

板の前記細孔以外の領域を覆う前記水膜の厚さよりも厚い請求項 1 2
又は請求項 1 3 に記載の水処理装置。

[請求項15] 前記傾斜板は、前記細孔が設けられている下板と、前記下板上に重ね合わせられている上板とを有しており、
前記上板には、貫通孔が設けられており、
前記貫通孔の開口面積は、前記細孔の開口面積よりも大きく、
前記上板を前記下板に重ねた状態では、前記細孔は、前記貫通孔内に開口するように配置されている請求項 1 4 に記載の水処理装置。

[請求項16] 前記水滴を前記放電形成体に衝突させる請求項 1 から請求項 1 5 までのいずれか 1 項に記載の水処理装置。

[請求項17] 前記水滴形成装置を間欠的に動作させる請求項 1 から請求項 1 6 までのいずれか 1 項に記載の水処理装置。

[請求項18] 前記水滴形成装置を、前記放電の形成に同期して動作させる請求項 1 から請求項 1 7 までのいずれか 1 項に記載の水処理装置。

[請求項19] 水平面に対して傾斜して配置されている傾斜板の上面に沿って被処理水を流して、前記傾斜板上に水膜を形成しつつ、前記水膜の上方に気体層を介して配置された少なくとも一对の電極間に放電を形成し、前記水膜に動力を与えることで、前記被処理水の少なくとも一部を水滴として前記傾斜板の上方へ向けて噴射し、前記放電に前記水滴を触れさせて被処理水を処理する水処理方法。

[請求項20] 水平面に対して傾斜して配置されている傾斜板の上面に沿って被処理水を流して、前記傾斜板上に水膜を形成しつつ、前記水膜の上方に気体層を介して配置された電極と前記傾斜板との間に放電を形成し、前記放電に前記水膜を触れさせて前記被処理水を処理する水処理方法であって、前記水膜に動力を与えることで、前記被処理水の少なくとも一部を水滴として前記傾斜板の上方へ向けて噴射する水処理方法。