

明 細 書

発明の名称：炭酸ガス固定方法及び炭酸ガス固定装置

技術分野

[0001] 本発明は、海水の電気分解によりアルカリ性溶液を生成し、炭酸ガスを海水に吸収させ、炭酸カルシウムに変換することで炭酸ガスを固定する炭酸ガス固定方法及びその装置に関する。

本願は、２０１０年８月３１日に日本に出願された特願２０１０－１９３８１６号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 地球温暖化の要因の１つとして炭酸ガスが挙げられ、又、経済の拡大に伴い炭酸ガスの排出量も増大している。従って、空気中の炭酸ガス濃度を地球規模で低減させることが強く求められている。

[0003] 従来、炭酸ガスの固定方法としては、アミン等のアルカリ性溶液により炭酸ガスを吸収し、加熱によって分離し回収する方法、或は多孔質の気体分離膜を用いて分離し回収した炭酸ガスを液化する等して深海洋、或は地中に貯溜する方法が提案されている。然し乍ら、上記の方法では環境に負担が掛る上に、海洋や地中に貯溜した炭酸ガスが再放出する懸念がある。

[0004] 又、他の炭酸ガスの固定方法として特許文献１に示される方法がある。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献１：特開２００３－３２６１５５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明は斯かる実情に鑑み、環境への負担が少なく、又は再放出の懸念がなく、炭酸ガスを固定する炭酸ガス固定方法及び炭酸ガス固定装置を提供する。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明は、海水を電解し、海水の電解により生成されたアノード電解水とカソード電解水とを分離し、前記アノード電解水にアルカリ材を投入してpHを調整し、前記カソード電解水に炭酸ガスを吹込み炭酸ガスを炭酸塩として固定し、pH調整後のアノード電解水と炭酸塩固定後のカソード電解水とを合流させ、海水と同等のpHとして放流する炭酸ガス固定方法に係る。
- [0008] この場合、前記アルカリ材は廃コンクリートであることが望ましい。
- [0009] 又、アノード側電極に溶解性金属である鉄を使用し、海水電解過程で鉄イオンをアノード電解水に溶解させることが望ましい。
- [0010] 又、本発明は、アノードとカソードとを有する電解槽と、電解槽の内部を、前記アノードを含むアノード側領域と前記カソードを含むカソード側領域とに仕切る隔膜と、前記アノード側領域で生成されたアノード電解水を貯溜する第1処理槽と、前記カソード側領域で生成されたカソード電解水を貯溜する第2処理槽と、前記アノード及びカソードに電力を供給する電源装置と、前記第1処理槽にアルカリ材を投入するアルカリ材投入装置と、前記第2処理槽に炭酸ガスを吹込む炭酸ガス吹込み装置とを具備し、前記第1処理槽からの排水と前記第2処理槽からの排水とを合流して放流する炭酸ガス固定装置に係る。
- [0011] この場合、前記電源装置は、太陽電池、燃料電池、風力発電機、波力発電機、海洋温度差発電装置、太陽熱発電装置の少なくとも1つを有することが望ましい。
- [0012] 又、前記電源装置は、前記カソード側で発生した水素ガスと前記アノード側で発生した酸素ガスを使用する燃料電池を含むことが望ましい。
- [0013] 又、前記アルカリ材投入装置から投入されるアルカリ材は廃コンクリートであることが望ましい。
- [0014] 又、前記アノードは、消耗電極としての鉄を含み、前記消耗電極は鉄イオンを溶解することが望ましい。

発明の効果

- [0015] 本発明の炭酸ガス固定方法では、海水を電解し、海水の電解により生成さ

れたアノード電解水とカソード電解水とを分離し、前記アノード電解水にアルカリ材を投入してpHを調整し、前記カソード電解水に炭酸ガスを吹込み炭酸ガスを炭酸塩として固定し、pH調整後のアノード電解水と炭酸塩固定後のカソード電解水とを合流させ、海水と同等のpHとして放流する。そのため、環境に負担を掛けることなく、炭酸ガスの固定が可能となる。

[0016] 又、本発明の炭酸ガス固定方法において、前記アルカリ材を廃コンクリートとすることにより、産業廃棄物の処理を併せて行うことができる。

[0017] 又、本発明の炭酸ガス固定方法において、アノード側電極に溶解性金属である鉄を使用することにより、海水電解過程で鉄イオンがアノード電解水に溶解され、植物プランクトンの栄養素である鉄イオンが海中に供給される。その結果、植物プランクトンの繁殖が促進され、植物プランクトンによる炭酸ガスの固定化が図れる。

[0018] 又、本発明の炭酸ガス固定装置によれば、アノードとカソードとを有する電解槽と、電解槽の内部を、前記アノードを含むアノード側領域と前記カソードを含むカソード側領域とに仕切る隔膜と、前記アノード側領域で生成されたアノード電解水を貯溜する第1処理槽と、前記カソード側領域で生成されたカソード電解水を貯溜する第2処理槽と、前記アノード及びカソードに電力を供給する電源装置と、前記第1処理槽にアルカリ材を投入するアルカリ材投入装置と、前記第2処理槽に炭酸ガスを吹込む炭酸ガス吹込み装置とを具備し、前記第1処理槽からの排水と前記第2処理槽からの排水とを合流して放流する。そのため、環境に負担を掛けることなく、炭酸ガスの固定が可能となる。

[0019] 又、本発明の炭酸ガス固定装置において、前記電源装置が、太陽電池、燃料電池、風力発電機、波力発電機、海洋温度差発電装置、太陽熱発電装置の少なくとも1つを有することにより、自然エネルギーを利用し、或は炭酸ガスの発生しないエネルギーを使用して電力が供給される。そのため、環境に負担を掛けることなく、炭酸ガスの固定が可能となる。

[0020] 又、本発明の炭酸ガス固定装置において、前記電源装置が、前記カソード

側で発生した水素ガスと前記アノード側で発生した酸素ガスを使用する燃料電池を含むことにより、海水電解に消費した電力の一部が再び海水電解に使用される。そのため、省エネルギー化が図れる。

[0021] 又、本発明の炭酸ガス固定装置において、前記アルカリ材投入装置から投入されるアルカリ材を廃コンクリートとすることにより、産業廃棄物である廃コンクリートの処理を併せて行うことができる。

[0022] 又、本発明の炭酸ガス固定装置において、前記アノードが消耗電極としての鉄を含む場合、前記消耗電極は鉄イオンを溶解するので、植物プランクトンの栄養素である鉄イオンが海中に供給される。その結果、植物プランクトンの繁殖が促進され、植物プランクトンによる炭酸ガスの固定化が図れるという優れた効果を発揮する。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]本発明の実施例の概念図である。

[図2]本実施例に於けるカソード電流密度と CaCO_3 及び $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の析出比率を示すグラフである。

[図3]本実施に於ける電解処理でのpHの変化を示す複式図である。

[図4]本発明の実施例に係る炭酸ガス固定装置を示す概略ブロック図である。

[図5]炭酸ガス固定装置に於ける物質収支を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、図面を参照しつつ本発明の実施例を説明する。

[0025] 先ず、図1に於いて、本発明の実施例の原理を説明する。

[0026] 図1中、1は電解槽、2は第1処理槽、3は第2処理槽を示している。

[0027] 電解槽1は、耐腐食性材料、例えばステンレス鋼製の電解処理容器4を有し、電解処理容器4は上流端に流入口5、下流端に流出口6を有する。流入口5から流入した海水7は、電解処理容器4の内部を一様に流れて流出口6から流出する。

[0028] 海水7の流れを形成する手段としては、種々の手段が採用される。例えば、電解処理容器4を水中に没し、海流を利用し、電解処理容器4の内部に海

水 7 を流通させてもよく、或は流入口 5 にスクリー等を設け、このスクリーをモータで回転する等して水流を形成してもよく、或は、ポンプ等により海水 7 を取水し、流入口 5 に供給してもよい。

[0029] 電解処理容器 4 の内部には、海水の流れ方向に沿って隔膜 8 が設けられている。隔膜 8 は電解処理容器 4 の内部を 2 つに仕切り、その結果、電解処理容器 4 内には隔膜 8 によって分離された海水 7 の流れが形成される。

[0030] 隔膜 8 には、電流を通し、分離された流れが混合しない様な、又は混合することを抑制する材質及び構造が用いられる。例えば、タイル状の素焼の板を敷き並べたもの、或は合成樹脂製の多孔質シート等が用いられる。

[0031] 隔膜 8 により電解処理容器 4 内部を仕切る場合、上下に仕切る、左右に仕切る、同心円状に仕切る等、種々の形態が考えられるが、以下は、電解処理容器 4 内部が隔膜 8 によって上下に仕切られた場合を説明する。

[0032] 電解処理容器 4 の上壁面に沿って＋電極（アノード） 9 を設け、下壁面に沿って－電極（カソード） 11 を設け、アノード 9、カソード 11 を電源装置 12 のそれぞれ＋極、－極に接続する。従って、隔膜 8 により電解処理容器 4 内が仕切られることで、電解処理容器 4 内にアノード側領域 9 a とカソード側領域 11 a が形成される。

[0033] 電源装置 12 には、太陽光発電、風力発電、波力発電、海洋温度差発電、太陽熱発電等自然エネルギーを利用した発電、或は燃料電池（後述）のいずれか、或はこれらの 2 以上からなる複合装置が用いられる。更に、発電所から電力の供給が受けられる場合は、夜間の余剰電力を利用してもよい。

[0034] アノード 9 としては、チタン等の不溶性金属の網目状或は多孔板のバケット（消耗電極収納容器）に溶解性金属を消耗電極材 13 として投入したものが用いられる。尚、投入する消耗電極材 13 としては鉄が好ましい。鉄は廃材として容易に入手し得るのみならず、溶解した鉄イオンは、植物プランクトンが繁殖する為の栄養素である。その結果、海水中に鉄イオンが供給されることで、植物プランクトンが繁殖し、植物プランクトンによる炭酸ガス固定化も期待できる。

[0035] カソード 11 には、チタンに白金メッキしたもの等が用いられる。又、カソード 11 の近傍、或はカソード 11 に対向して水素回収装置 14 が設けられ、水素回収装置 14 はカソード 11 側で発生した水素ガスを回収する。

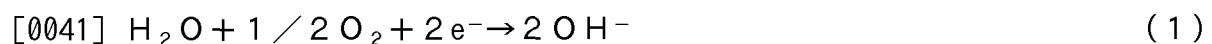
[0036] アノード 9 側を流通した海水は、第 1 処理槽 2 に導かれ、カソード 11 側を流通した海水は、第 2 処理槽 3 に導かれる。

[0037] 第 1 処理槽 2 は、廃コンクリート投入装置 15 を有しており、廃コンクリート投入装置 15 により、廃棄物であるコンクリートが第 1 処理槽 2 内に投入される。尚、投入する廃コンクリートは、粉砕され表面積が大きくなったものが好ましく、更に、砂、石等の骨材が除去されたものであれば、尚好ましい。

[0038] 第 2 処理槽 3 は、空気中から分離した炭酸ガス、或はプラントから排出される炭酸ガスを第 2 処理槽 3 内に吹込む炭酸ガス吹込み装置 16 を有している。尚、空気中に含まれる炭酸ガスを使用する目的で、空気を直接、第 2 処理槽 3 に吹込んでよい。

[0039] 以下、本実施例の作用について説明する。

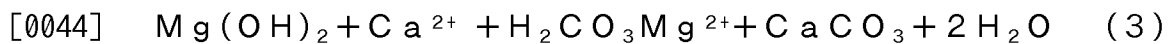
[0040] アノード 9、カソード 11 間に電圧を印加し、アノード 9、カソード 11 間に通電させることで、海水の電気分解が起り、カソード 11 側で主として下記 (1) 及び (2) 式の反応が起る。



[0042] 従って、 OH^- (水酸イオン) が発生する為、カソード側では海水 (以下カソード電解水 7b と称する。) の pH が上昇し、図 2 で示す様に、 CaCO_3 及び $\text{Mg}(\text{OH})_2$ が生成する。又、カソード 11 の単位面積当りの通電量をカソード電流密度 D_k (A/m^2) とすると、カソード電流密度 D_k と CaCO_3 及び $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の析出比率は、図 2 に示される様になる。すなわち、カソード電流密度 D_k が高くなると、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の析出比が大きくなり、又、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の析出は、カソード電流密度 D_k が 2 (A/m^2) を超えたところで、飽和状態となる。

尚、カソード電流密度 D_k が $2 \text{ (A/m}^2\text{)}$ 迄は、 CaCO_3 の析出は漸次減少し、 Mg(OH)_2 の析出は漸次増大する。そのため、カソード電流密度 D_k をコントロールすることで、 CaCO_3 及び Mg(OH)_2 の析出比率のコントロール、或は CaCO_3 及び Mg(OH)_2 の選択的な析出が可能となる。

[0043] 実際の電気分解では、カソード電流密度 D_k を低くすると、電気分解の速度が遅くなるので、効率的ではない。又、 Mg(OH)_2 を析出させた後、カソード電解水 7 b 中に Mg(OH)_2 を放置すると、以下の反応により、 Mg(OH)_2 が CaCO_3 に置き換わる反応があることが分っている。

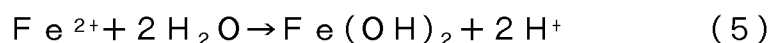


[0045] 従って、カソード電流密度 D_k を高く設定して、カソード電解水 7 b は、 Mg(OH)_2 を析出した状態で、第 2 処理槽 3 に貯溜される。第 2 処理槽 3 では、炭酸ガス吹込み装置 1 6 により炭酸ガスが吹込まれる。

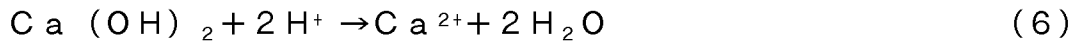
[0046] 海水に炭酸ガスが吹込まれることで、 CO_2 と H_2O から H_2CO_3 が生じ、この H_2CO_3 によって、上記 (3) 式の反応が誘引される。

[0047] その結果、第 2 処理槽 3 中で CaCO_3 が析出し、炭酸ガスが固定される。 CaCO_3 は pH 8.5 以上のアルカリ性溶液中で安定した物質である為、海中で溶解することはない。又、大気との炭酸平衡により、海水が酸性とならない場合、炭酸ガスは再放出されない。従って、 CaCO_3 が除去されたカソード電解水 7 b が第 2 処理槽 3 より放流される。

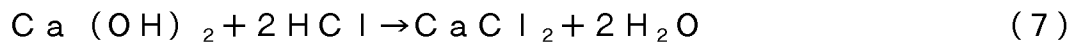
[0048] 次に、アノード 9 側に、消耗電極材 1 3 として鉄を用いた場合、以下の反応が起り、鉄が溶解する。更に、鉄イオンの加水分解により、水酸化第 1 鉄が生じると共に H^+ が生成するので、アノード 9 側の海水（以下アノード電解水 7 a と称する。）の pH が低下する。



[0050] 第 1 処理槽 2 に流入するアノード電解水 7 a は 2H^+ により酸性となっている。そこで、第 1 処理槽 2 に廃コンクリート (Ca(OH)_2) を投入すると、下式の通り廃コンクリートにより酸性海水が中和される。



[0051] 尚、アノード9に溶解性の金属を使用しない場合、或は高電流密度で海水の電気分解を行うと、塩素 Cl_2 が発生し、 Cl_2 の発生に伴い、 HCl 、 HClO が発生する。 HCl は強酸性であり、又、 HClO は生物に有害な物質である為、なるべくその発生を抑制する様な電流密度で電解を行う。然し上記した様に、アノード電解水7aには、廃コンクリート($\text{Ca}(\text{OH})_2$)が投入されるので、



の反応により HCl は中和される。

[0052] そして、第1処理槽2で中和処理された海水が第2処理槽3から流出される海水と合流して海中に放流される。この場合、アノード電解水7aに溶解させるコンクリートの量及びカソード電解水7bに吹込む炭酸ガスの量を制御することで、合流後の海水のpHを8.0程度に設定する。

[0053] 従って、本発明によれば、炭酸ガスの固定処理を連続的に行え、しかも固定処理過程で廃コンクリートを使用するので、産業廃棄物の処理を並行して行える。又、固定化した CaCO_3 は貝殻の主成分である等、自然界に広く存在するものであり、そのまま放置したとしても、環境への負担は少ない。又、電気分解の過程で溶解した鉄イオンは、植物プランクトンを繁殖させるので、更に炭酸ガスの固定化が促進される。

[0054] 上記海水電解の過程で、アノード9側には酸素ガスが発生し、カソード11側では水素ガスが発生する。酸素ガス及び水素ガスは電源装置12の1つである燃料電池に供給され、発電の燃料とされる。

[0055] 次に、図3を参照して、カソード電流密度 D_k の制御による、炭酸ガスの固定処理過程における、海水のpHの制御の一例を説明する。カソード電流密度 D_k を変化させることで、電解反応が変化し、カソード電流密度 D_k を増大させることで、電解反応が促進される。従って、カソード電流密度 D_k を制御することで、アノード9側及びカソード11側でのpHの制御が可能となる。

[0056] 先ず電解により、カソード電解水 7 b の pH を 10 ～ 11 程度とし、海水中の Ca^{2+} 及び Mg^{2+} を全て沈殿させる。この時アノード電解水 7 a の pH は 4 ～ 6 程度になるものと考えられる。又、後に投入するアルカリ分の溶解速度を上昇させる為、流出口 6 から流出したアノード電解水 7 a の一部を電解処理容器 4 のアノード 9 側へと戻し、アノード電解水 7 a の pH をなるべく下げる。

[0057] 又、炭酸塩の回収を行う為の CO_2 の吹込みによる第 2 処理槽 3 での pH の低下は 8.5 ～ 9.5 迄に抑え、 CaCO_3 として炭酸塩の回収を行う。ここで、放流する際の第 1 処理槽 2 と第 2 処理槽 3 からの混合水の pH を流入時と略同じ pH とする為、適量のアルカリ分をアノード電解液へ投入し、その pH を 6.5 ～ 7.5 迄上昇させる。従って、アノード電解水 7 a、カソード電解水 7 b を合流させた場合の pH は 8.0 ～ 8.2 となる。よって、海水を、その物理特性を変化させることなく放流しつつ、炭酸塩の固定を効率的に行うことができる。

[0058] 尚、上記実施例では、アノード電解水 7 a の中和剤として、廃コンクリートを使用した。中和剤は、火力発電所で発生した石炭灰等、アルカリ性を有する廃棄物であればよい。

[0059] 上記実施例では、電解槽 1 内に海水を流動させつつ海水電解を行ったが、流入口 5、流出口 6 にそれぞれ開閉弁を設け、海水電解を流入口 5、流出口 6 を閉じた状態で行い、電解処理後は電解槽 1 内の海水を入替えるバッチ式としてもよい。

[0060] 図 4 及び図 5 は、本発明の実施例に係る炭酸ガス固定装置の概略を示している。

[0061] 尚、図 4 中、図 1 中で示したものと同等のものには同符号を付してある。又、図 4 で示す実施例では、発電源として燃料電池 18 を示している。

[0062] この装置には、電解槽 1 の水素回収装置 14 側で発生する水素ガスを回収し、燃料電池 18 に供給する水素ガス回収ライン 21 が設けられると共に、電解槽 1 のアノード 9 側で発生する酸素ガスを回収し、燃料電池 18 に供給

する酸素ガス回収ライン 22 が設けられる。水素ガス回収ライン 21、酸素ガス回収ライン 22 はそれぞれガス流量調整ブロワ 23、24 を有しており、燃料電池 18 に供給する酸素ガス、水素ガスの流量を調整する。

[0063] 燃料電池 18 で発電された電力は、電源装置 12 で蓄電され、蓄電した電力の供給は、カソード 11 に於いて所定のカソード電流密度 D_k となる様に制御される。尚、燃料電池 18 の発電量で不足する電力は、太陽光発電による電力、或は風力発電、或は波力発電による電力、或は発電所からの電力によって補充される。

[0064] 電解槽 1 には海水供給ライン 25、廃コンクリート槽 26（第 1 処理槽 2 に相当）、及び吸収塔 27（第 2 処理槽 3 に相当）が接続され、吸収塔 27 には排ガス供給ライン 28（炭酸ガス吹込み装置 16 に相当）が接続される。

[0065] 廃コンクリート槽 26 にはアノード電解水 7a である酸性水が供給されると共に廃コンクリートが投入され、弱酸性水となる様に pH が調整されて排出される。

[0066] 吸収塔 27 には、 $CaCO_3$ 及び $Mg(OH)_2$ を含むカソード電解水 7b であるアルカリ水が供給される。又、吸収塔 27 には火力発電所、化学プラント等の各種プラントからの排気ガスが導入される。この排ガスには、 CO_2 の他に、 SO_x 、 NO_x が含まれており、吸収塔 27 で SO_x 、 NO_x が除去された後、 CO_2 がカソード電解液に供給される（吹込まれる）。吹込まれた CO_2 は、 $CaCO_3$ となって回収される（式（3）参照）。 CO_2 の吹込みで、一部中和されたカソード電解水 7b は、弱アルカリ水として吸収塔 27 より排出される。

[0067] 廃コンクリート槽 26 から排出された弱酸性水及び吸収塔 27 から排出された弱アルカリ水は合流された後、炭酸ガス固定装置から海洋に排出される。弱酸性水及び弱アルカリ水が合流されることで、排水の pH が調整され、その結果、最終的に炭酸ガス固定装置から放流される状態では、排水の pH が海水の pH と同等となり、環境に負荷を掛けることはない。

[0068] 尚、図4中、31は海水を電解槽1に送給するポンプ、32はカソード電解水7bを吸収塔27に送給するポンプ、33は廃コンクリート槽26から排水する為のポンプ、34は吸収塔27から排水する為のポンプをそれぞれ示している。

[0069] 本発明は、炭酸ガスを排出する種々の装置、プラントに実施可能である。例えば、本発明を船舶に実施した場合、排気ガスから炭酸ガスを除去し得るため、炭酸ガスを排出することなく、或は炭酸ガスの排出を低減して航行が可能となる。又、本発明を火力発電所の冷却水の排水系に設けた場合、図4で示すポンプ31は不要となり、又排水される冷却水は温度が高いため、電解反応が促進され、炭酸ガスの回収効率が增大する。

産業上の利用可能性

[0070] 本発明によれば、環境への負担が少なく、又は再放出の懸念がなく、炭酸ガスを固定する炭酸ガス固定方法及び炭酸ガス固定装置を提供することができる。

符号の説明

[0071] 1 電解槽、2 第1処理槽、3 第2処理槽、4 電解処理容器、5 流入口、7 海水、7a アノード電解水、7b カソード電解水、8 隔膜、9 アノード、9a アノード側領域、11 カソード、11a カソード側領域、12 電源装置、13 消耗電極材、14 水素回収装置、15 廃コンクリート投入装置、16 炭酸ガス吹込み装置、18 燃料電池、21 水素ガス回収ライン、22 酸素ガス回収ライン、26 廃コンクリート槽、27 吸収塔

請求の範囲

- [請求項1] 海水を電解し、海水の電解により生成されたアノード電解水とカソード電解水とを分離し、前記アノード電解水にアルカリ材を投入してpH調整し、前記カソード電解水に炭酸ガスを吹込み炭酸ガスを炭酸塩として固定し、pH調整後のアノード電解水と炭酸塩固定後のカソード電解水とを合流させ、海水と同等のpHとして放流する炭酸ガス固定方法。
- [請求項2] 前記アルカリ材は廃コンクリートである請求項1の炭酸ガス固定方法。
- [請求項3] アノード側電極に溶解性金属である鉄を使用し、海水電解過程で鉄イオンをアノード電解水に溶解させる請求項1の炭酸ガス固定方法。
- [請求項4] アノードとカソードとを有する電解槽と、この電解槽の内部を、前記アノードを含むアノード側領域と前記カソードを含むカソード側領域とに仕切る隔膜と、前記アノード側領域で生成されたアノード電解水を貯溜する第1処理槽と、前記カソード側領域で生成されたカソード電解水を貯溜する第2処理槽と、前記アノード及びカソードに電力を供給する電源装置と、前記第1処理槽にアルカリ材を投入するアルカリ材投入装置と、前記第2処理槽に炭酸ガスを吹込む炭酸ガス吹込み装置とを具備し、前記第1処理槽からの排水と前記第2処理槽からの排水とを合流して放流する炭酸ガス固定装置。
- [請求項5] 前記電源装置は、太陽電池、燃料電池、風力発電機、波力発電機、海洋温度差発電装置、太陽熱発電装置の少なくとも1つを有する請求項4の炭酸ガス固定装置。
- [請求項6] 前記電源装置は、前記カソード側で発生した水素ガスと前記アノード側で発生した酸素ガスを使用する燃料電池を含む請求項4の炭酸ガス固定装置。
- [請求項7] 前記アルカリ材投入装置から投入されるアルカリ材は廃コンクリートである請求項4の炭酸ガス固定装置。

[請求項8] 前記アノードは、消耗電極としての鉄を含み、前記消耗電極は鉄イオンを溶解する請求項4の炭酸ガス固定装置。