

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7619084号
(P7619084)

(45)発行日 令和7年1月22日(2025.1.22)

(24)登録日 令和7年1月14日(2025.1.14)

(51)国際特許分類		F I	
C 2 5 B	1/01 (2021.01)	C 2 5 B	1/01 Z
B 0 1 D	53/32 (2006.01)	B 0 1 D	53/32
B 0 1 D	53/04 (2006.01)	B 0 1 D	53/04
C 0 1 B	32/50 (2017.01)	C 0 1 B	32/50
C 2 5 B	9/23 (2021.01)	C 2 5 B	9/23
請求項の数 8 (全18頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2021-30389(P2021-30389)	(73)特許権者	000004260 株式会社デンソー 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(22)出願日	令和3年2月26日(2021.2.26)	(74)代理人	110001472 弁理士法人かいせい特許事務所
(65)公開番号	特開2022-131439(P2022-131439 A)	(72)発明者	小倉 隼太 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式 会社デンソー内
(43)公開日	令和4年9月7日(2022.9.7)	(72)発明者	梅田 紘章 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式 会社デンソー内
審査請求日	令和5年12月11日(2023.12.11)	審査官	伊藤 真明
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 二酸化炭素回収システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気化学反応によって二酸化炭素を含有する二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素を分離する二酸化炭素回収システムであって、

作用極（102）と対極（103）とを有するとともに、前記作用極と前記対極との間に電圧が印加されることで、前記対極から前記作用極に電子が供給され、前記作用極は電子が供給されることに伴って二酸化炭素と結合する電気化学セル（101）と、

前記電気化学セルが収容されるとともに、前記二酸化炭素含有ガスが導入される吸着部（100）と、

前記作用極と前記対極との間に電圧が印加された状態で、液体を前記吸着部内に供給する供給部（142、143）と、

前記作用極と前記対極との間に電圧が印加された状態で、前記供給部から供給された前記液体、および前記二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素が分離された後の二酸化炭素除去ガスを前記吸着部から排出する排出部（1b、144、145）と、を備え、

前記作用極は、電極基材（102a）と、二酸化炭素吸着材（102b）と、を有しており、

前記作用極と前記対極との間に電圧が印加されることで、前記対極から前記作用極に電子が供給され、前記二酸化炭素吸着材は電子が供給されることに伴って二酸化炭素と結合しており、

前記二酸化炭素吸着材は、被覆材（102c）に覆われている二酸化炭素回収システム。

10

20

【請求項 2】

さらに、前記作用極と前記対極との間に電圧を印加する電圧印加部（105）と、
前記電圧印加部、前記供給部および前記排出部の作動を制御する制御部（15）と、を
備え、

前記制御部は、前記作用極と前記対極との間に電圧を印加した状態で、前記供給部によ
って前記液体を前記吸着部に供給した後、前記排出部によって前記液体および前記二酸
化炭素除去ガスを前記吸着部から排出する請求項1に記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 3】

前記被覆材は、二酸化炭素を透過させることができる二酸化炭素透過性を有している請
求項1または2に記載の二酸化炭素回収システム。

10

【請求項 4】

前記被覆材は、イオン液体をゲル化したイオン液体ゲルである請求項1ないし3のいず
れか1つに記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 5】

さらに、二酸化炭素を前記二酸化炭素吸着材に吸着させる二酸化炭素吸着時に前記被覆
材の温度を上昇させるとともに、前記二酸化炭素吸着材から二酸化炭素を脱離させるに二
酸化炭素脱離時に前記被覆材の温度を下降させる温度調整部（107）を備える請求項4
に記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 6】

前記供給部は、前記吸着部の下方側に接続されるとともに、前記吸着部に前記液体を供
給する液体供給流路（142）を有しており、

20

前記排出部は、

前記吸着部の上方側に接続されるとともに、前記吸着部内の前記二酸化炭素除去ガスを
外部に排出するガス排出流路（1b）と、

前記吸着部の下方側に接続されるとともに、前記吸着部内の前記液体を外部に排出する
液体排出流路（144）と、を有している請求項1ないし5のいずれか1つに記載の二酸
化炭素回収システム。

【請求項 7】

前記供給部は、前記吸着部の上方側に接続されるとともに、前記吸着部に前記液体を供
給する液体供給流路（142）を有しており、

30

前記排出部は、

前記吸着部の上方側に接続されるとともに、前記吸着部内の前記二酸化炭素除去ガスを
外部に排出するガス排出流路（1b）と、

前記吸着部の上方側に接続されるとともに、前記吸着部内の前記液体を外部に排出する
液体排出流路（144）と、を有している請求項1ないし5のいずれか1つに記載の二酸
化炭素回収システム。

【請求項 8】

前記供給部は、前記吸着部の鉛直方向中央部に接続されるとともに、前記吸着部に前記
液体を供給する液体供給流路（142）と、

前記排出部は、

40

前記吸着部の鉛直方向中央部に接続されるとともに、前記吸着部内の前記二酸化炭素除
去ガスを外部に排出するガス排出流路（1b）と、

前記吸着部の鉛直方向中央部に接続されるとともに、前記吸着部内の前記液体を外部に
排出する液体排出流路（144）と、を有している請求項1ないし5のいずれか1つに記
載の二酸化炭素回収システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、二酸化炭素を含有する二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素を回収する二酸化
炭素回収システムに関する。

50

【背景技術】

【0002】

特許文献1では、電気化学反応によって二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素を分離するガス分離システムが提案されている。特許文献1のガス分離システムでは、電気化学セルの作用極に二酸化炭素を吸着可能な二酸化炭素吸着材が設けられている。二酸化炭素吸着材は電気活性種であり、作用極と対極の間の電位差を変化させることで、二酸化炭素吸着材による二酸化炭素の吸着と放出を切り替えることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

【文献】特表2018-533470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、上記特許文献1の構成では、二酸化炭素回収時に、作用極周りに存在する二酸化炭素以外のガス（例えば、窒素、酸素等）も一緒に回収される可能性がある。このため、回収される二酸化炭素の純度が低下するおそれがある。

【0005】

本発明は、上記点に鑑みて、回収される二酸化炭素の純度を向上させることができる二酸化炭素回収システムを提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成するため、請求項1に記載の二酸化炭素回収システムは、電気化学反応によって二酸化炭素を含有する二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素を分離する二酸化炭素回収システムにおいて、

作用極（102）と対極（103）とを有するとともに、作用極と対極との間に電圧が印加されることで、対極から作用極に電子が供給され、作用極は電子が供給されることに伴って二酸化炭素と結合する電気化学セル（101）と、

電気化学セルが収容されるとともに、二酸化炭素含有ガスが導入される吸着部（100）と、

30

作用極と対極との間に電圧が印加された状態で、液体を吸着部内に供給する供給部（142、143）と、

作用極と対極との間に電圧が印加された状態で、供給部から供給された液体、および二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素が分離された後の二酸化炭素除去ガスを吸着部から排出する排出部（1b、144、145）と、を備え、

作用極は、電極基材（102a）と、二酸化炭素吸着材（102b）と、を有しており、作用極と対極との間に電圧が印加されることで、対極から作用極に電子が供給され、二酸化炭素吸着材は電子が供給されることに伴って二酸化炭素と結合しており、二酸化炭素吸着材は、被覆材（102c）に覆われている。

【0007】

40

これによれば、供給部（142、143）および排出部（1b、144、145）を設けることで、吸着部（100）から液体とともに二酸化炭素除去ガスを排出することができる。その結果、吸着部（100）内の二酸化炭素の純度を高めることができるので、回収される二酸化炭素の純度を向上させることができる。

【0008】

なお、この欄および特許請求の範囲で記載した各手段の括弧内の符号は、後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係を示すものである。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1実施形態に係る二酸化炭素回収システムを示す全体構成図である。

50

【図 2】第 1 実施形態における二酸化炭素回収装置を示す説明図である。

【図 3】第 1 実施形態における電気化学セルを示す説明図である。

【図 4】第 1 実施形態における電気化学セルを示す断面図である。

【図 5】第 1 実施形態における作用極を示す説明図である。

【図 6】第 1 実施形態における作用極の表面周辺を拡大した断面図である。

【図 7】第 1 実施形態における吸着部を示す説明図である。

【図 8】第 1 実施形態に係る二酸化炭素回収システムの制御装置が実行した制御処理の結果の一例を示すタイムチャートである。

【図 9】第 1 実施形態における二酸化炭素回収装置の二酸化炭素吸着モードでの作動を説明するための説明図である。

10

【図 10】第 1 実施形態における二酸化炭素回収装置の二酸化炭素回収モードでの作動を説明するための説明図である。

【図 11】第 2 実施形態における吸着部を示す説明図である。

【図 12】第 3 実施形態における吸着部を示す説明図である。

【図 13】第 4 実施形態における二酸化炭素回収装置を示す説明図である。

【図 14】他の実施形態 (1) における電気化学セルを示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

以下、本発明の実施形態について図に基づいて説明する。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一もしくは均等である部分には、図中、同一符号を付してある。

20

【 0 0 1 1 】

(第 1 実施形態)

図 1 ~ 図 10 を用いて、本発明を実施するための第 1 実施形態を説明する。図 1 に示すように、本実施形態の二酸化炭素回収システム 1 は、圧縮機 11、二酸化炭素回収装置 10、流路切替弁 12、二酸化炭素利用装置 13、液体回路 14、制御装置 15 が設けられている。

【 0 0 1 2 】

圧縮機 11 は、二酸化炭素含有ガスを二酸化炭素回収装置 10 に圧送する。二酸化炭素含有ガスは、二酸化炭素と二酸化炭素以外のガスを含有する混合ガスであり、例えば大気や内燃機関の排気ガスを用いることができる。圧縮機 11 は、制御装置 15 から出力される制御電圧によって、回転数 (すなわち、圧送能力) が制御される。

30

【 0 0 1 3 】

二酸化炭素回収装置 10 は、二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素を分離して回収する装置である。二酸化炭素回収装置 10 は、二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素が回収された後の二酸化炭素除去ガス、あるいは二酸化炭素含有ガスから回収した二酸化炭素を排出する。二酸化炭素回収装置 10 の構成については、後で詳細に説明する。

【 0 0 1 4 】

流路切替弁 12 は、二酸化炭素回収装置 10 の排出ガスの流路を切り替える三方弁である。流路切替弁 12 は、二酸化炭素回収装置 10 から二酸化炭素除去ガスが排出される場合は、排出ガスの流路を大気側に切り替え、二酸化炭素回収装置 10 から二酸化炭素が排出される場合は、排出ガスの流路を二酸化炭素利用装置 13 側に切り替える。流路切替弁 12 は、制御装置 15 から出力される制御電圧によって、その作動が制御される。

40

【 0 0 1 5 】

二酸化炭素利用装置 13 は、二酸化炭素を利用する装置である。二酸化炭素利用装置 13 としては、例えば二酸化炭素を貯蔵する貯蔵タンクや二酸化炭素を燃料に変換する変換装置を用いることができる。変換装置は、二酸化炭素をメタン等の炭化水素燃料に変換する装置を用いることができる。炭化水素燃料は、常温常圧で気体の燃料であってもよく、常温常圧で液体の燃料であってもよい。

【 0 0 1 6 】

液体回路 14 は、液体を二酸化炭素回収装置 10 に循環させる。以下、液体回路 14 を

50

循環する液体を循環液体という。循環液体としては、二酸化炭素に対して非化学反応性および不溶性を有している液体を用いることができる。液体回路１４の構成については、後で詳細に説明する。

【００１７】

制御装置１５は、ＣＰＵ、ＲＯＭおよびＲＡＭ等を含む周知のマイクロコンピュータとその周辺回路から構成されている。制御装置１５は、ＲＯＭ内に記憶された制御プログラムに基づいて各種演算、処理を行い、各種制御対象機器の作動を制御する。制御装置１５は制御部の一例に相当する。

【００１８】

制御装置１５の出力側には、各種制御対象機器が接続されている。各種制御対象機器には、圧縮機１１、二酸化炭素回収装置１０、流路切替弁１２、液体回路１４の構成機器（すなわち、後述する液体供給ポンプ１４３および液体排出ポンプ１４５）等が含まれる。

10

【００１９】

次に、二酸化炭素回収装置１０について図２および図３を用いて説明する。図２に示すように、二酸化炭素回収装置１０は、吸着部１００と、電気化学セル１０１とを有している。吸着部１００は、電気化学セル１０１が収容される容器である。吸着部１００には、二酸化炭素含有ガスおよび循環液体が導入される。

【００２０】

吸着部１００には、ガス流入口１００ａ、ガス流出口１００ｂ、液体流入口１００ｃ、および液体流出口１００ｄが設けられている。ガス流入口１００ａは、二酸化炭素含有ガスを吸着部１００内に流入させる。ガス流出口１００ｂは、二酸化炭素除去ガスや二酸化炭素を吸着部１００内から流出させる。液体流入口１００ｃは、循環液体を吸着部１００内に流入させる。液体流出口１００ｄは、循環液体を吸着部１００から流出させる。

20

【００２１】

ガス流入口１００ａには、ガス供給流路１ａが接続されている。ガス供給流路１ａは、圧縮機１１の吐出口側とガス流入口１００ａとを接続して、圧縮機１１から吐出された二酸化炭素含有ガスを吸着部１００に供給する。

【００２２】

ガス流出口１００ｂには、ガス排出流路１ｂが接続されている。ガス排出流路１ｂは、ガス流出口１００ｂと流路切替弁１２の入口側とを接続して、吸着部１００内から排出された二酸化炭素除去ガスや二酸化炭素を流路切替弁１２の入口側へ導く。

30

【００２３】

図３に示すように、電気化学セル１０１は、作用極１０２、対極１０３、絶縁層１０４を有している。図３に示す例では、作用極１０２、対極１０３、絶縁層１０４をそれぞれ板状に構成している。なお、図３では、作用極１０２、対極１０３、絶縁層１０４を、それぞれ間隔を設けて図示しているが、実際はこれらの構成要素は接するように配置されている。

【００２４】

二酸化炭素回収装置１０は、電気化学反応によって二酸化炭素の吸着および脱離を行い、二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素を分離して回収する。二酸化炭素回収装置１０は、作用極１０２と対極１０３に所定の電圧を印加する電圧印加部である電源１０５を有しており、作用極１０２と対極１０３の電位差を変化させることができる。作用極１０２は負極であり、対極１０３は正極である。

40

【００２５】

電気化学セル１０１は、作用極１０２と対極１０３との間に電圧が印加されることで、対極１０３から作用極１０２に電子が供給され、作用極１０２（より詳細には、後述する二酸化炭素吸着材１０２ｂ）は電子が供給されることに伴って二酸化炭素と結合する。

【００２６】

電気化学セル１０１は、作用極１０２と対極１０３の電位差を変化させることで、作用極１０２に二酸化炭素を吸着させる二酸化炭素吸着モードと、作用極１０２から二酸化炭

50

素を回収する二酸化炭素回収モードを切り替えて作動することができる。二酸化炭素吸着モードは電気化学セル101を充電する充電モードであり、二酸化炭素回収モードは電気化学セル101を放電する放電モードである。

【0027】

二酸化炭素吸着モードでは、作用極102と対極103の間に第1の電圧V1が印加され、対極103から作用極102に電子が供給される。第1の電圧V1では、作用極電位<対極電位となっている。第1の電圧V1は、例えば0.5~2.0Vの範囲内とすることができる。

【0028】

二酸化炭素回収モードでは、作用極102と対極103の間に低い第2の電圧V2が印加され、作用極102から対極103に電子が供給される。第2の電圧V2は、第1の電圧V1より低い電圧であればよく、作用極電位と対極電位の大小関係は限定されない。つまり、二酸化炭素回収モードでは、作用極電位<対極電位でもよく、作用極電位=対極電位でもよく、作用極電位>対極電位でもよい。

【0029】

図4に示すように、作用極102には、作用極側基材102aと二酸化炭素吸着材102bが設けられている。図4では便宜上、二酸化炭素吸着材102bが作用極側基材102aの外側に位置するように図示しているが、実際は多孔質状の作用極側基材102aの内部に二酸化炭素吸着材102bが設けられている。なお、作用極側基材102aが電極基材の一例に相当している。

【0030】

作用極側基材102aは、二酸化炭素を通過させることができる多孔質状の導電性材料である。作用極側基材102aとしては、例えば炭素質材料や金属材料を用いることができる。作用極側基材102aを構成する炭素質材料としては、例えばカーボン紙、炭素布、不織炭素マット、多孔質ガス拡散層(GDL)等を用いることができる。作用極側基材102aを構成する金属材料としては、例えば金属(例えばAl、Ni等)をメッシュ状にした構造体を用いることができる。

【0031】

二酸化炭素吸着材102bは、レドックス活性を有しており、可逆的に酸化還元反応を起こすことが可能な電気活性種である。二酸化炭素吸着材102bは、還元状態で二酸化炭素を結合して吸着することができ、酸化状態で二酸化炭素を放出することができる。

【0032】

二酸化炭素吸着材102bは、二酸化炭素と結合する官能基を有している。二酸化炭素と結合する官能基は、電子の授受を行って二酸化炭素吸着サイトとなる。二酸化炭素と結合する官能基としては、電気陰性度が高い元素(F、O、N、Cl、S等)を含む官能基を挙げることができ、例えばケトン基(C=O)を用いることができる。

【0033】

さらに、本実施形態では、二酸化炭素吸着材102bは、循環液体に対して非親和性を有している。具体的には、二酸化炭素吸着材102bは、アミン系化合物を含んでいる。

【0034】

作用極側基材102aと二酸化炭素吸着材102bとの間には、作用極側バインダ102cが設けられている。作用極側バインダ102cは接着力を有しており、二酸化炭素吸着材102bを作用極側基材102aに保持している。

【0035】

作用極側バインダ102cは、導電性を有する導電性材料である。このため、作用極側基材102aと二酸化炭素吸着材102bとの間での電子の移動を確保できる。

【0036】

二酸化炭素吸着材102bは、作用極側バインダ102cの内部に保持された状態となっている。すなわち、二酸化炭素吸着材102bは、作用極側バインダ102cに覆われている。したがって、作用極側バインダ102cは被覆材の一例に相当する。作用極側バ

10

20

30

40

50

インダ 102c によって、二酸化炭素吸着材 102b を強固に保持することができる。

【0037】

本実施形態の作用極側バインダ 102c は、二酸化炭素を透過させることができる二酸化炭素透過性を有している。さらに、本実施形態の作用極側バインダ 102c は、二酸化炭素含有ガスに含まれる複数種類のガスのうち、二酸化炭素を選択的に透過させることができる二酸化炭素選択透過性を有している。これに加えて、本実施形態の作用極側バインダ 102c は、循環液体に対して非親和性を有している。

【0038】

図 5 に示すように、二酸化炭素含有ガスに含まれる二酸化炭素は作用極側バインダ 102c を透過し、作用極側バインダ 102c の内部に存在する二酸化炭素吸着材 102b に到達することができる。一方、二酸化炭素含有ガスに含まれる二酸化炭素以外のガス（窒素、酸素等）は、二酸化炭素選択透過性を有する作用極側バインダ 102c を透過できない。さらに、循環液体は、循環液体に対して非親和性を有する作用極側バインダ 102c の内部に浸透しない。

10

【0039】

作用極側バインダ 102c として、流動性を有さない非流動性物質を用いることができる。非流動性物質としては、ゲル状物質あるいは固体状物質を挙げることができる。ゲル状物質としては、例えばイオン液体ゲルを用いることができる。固体状物質としては、例えば固体電解質、あるいは導電性樹脂等を用いることができる。

【0040】

20

作用極側バインダ 102c として固体電解質を用いる場合には、二酸化炭素吸着材 102b との接触面積を増大させるために、高分子電解質等からなるアイオノマを用いることが望ましい。作用極側バインダ 102c として導電性樹脂を用いる場合には、導電性フィラーとして Ag 等を含有するエポキシ樹脂やポリテトラフルオロエチレン（PTFE）、ポリフッ化ビニリデン（PVDF）等のフッ素樹脂等を用いることができる。

【0041】

作用極側バインダ 102c の原材料は、流動性を有する液体状物質であってもよい。この場合には、作用極側バインダ 102c の原材料に二酸化炭素吸着材 102b を分散、混合させ、作用極側基材 102a に含浸、塗布等によって付着させればよい。その後、作用極側バインダ 102c の原材料を所定条件の下でゲル化あるいは固化させることができる。所定条件は、作用極側バインダ 102c の原材料をゲル化あるいは固化させることができる特定圧力、特定温度、特定時間等の条件とすることができる。

30

【0042】

図 6 に示すように、作用極側バインダ 102c は、作用極側基材 102a に形成された孔や凹凸の隙間に入り込み、そこで固定される。作用極側バインダ 102c は、作用極側基材 102a との間において、投錨効果によって機械的な結合力を発生させることができる。

【0043】

本実施形態では、作用極側バインダ 102c として、イオン液体をゲル化させたイオン液体ゲルを用いている。イオン液体ゲルは、高分子網目構造にイオン液体を保持したゲル状の構造体である。

40

【0044】

イオン液体ゲルとしては、特開 2015-25056 号公報に開示されている構造体を好適に用いることができる。この構造体は、2 種類の異なる高分子鎖からなる 3 次元網目構造にイオン液体が保持されている。3 次元網目構造は、縮合重合で形成される第 1 網目構造と、ラジカル重合で形成される第 2 網目構造を含んでいる。

【0045】

縮合重合させるモノマとして、テトラエトキシオルトシリケート（TEOS）を用いることができる。TEOS は、縮合重合の架橋剤としても機能する。

【0046】

50

ラジカル重合させるモノマとしては、N，N - ジメチルアクリルアミド（DMAAm）を用いることができる。ラジカル重合では、架橋剤としてN，N' - メチレンビスアクリルアミド（MBA）を用いることができ、開始剤として2，2' - アゾビス（イソブチロニトリル）（AIBN）を用いることができる。

【0047】

イオン液体ゲルを構成するイオン液体は、第1網目構造を構成するモノマと第2網目構造を構成するモノマの溶媒として機能する。そして、第1網目構造と第2網目構造が形成された後は、第1網目構造と第2網目構造が互いに絡み合い、これらの網目構造にイオン液体が包含される。

【0048】

イオン液体ゲルを構成するイオン液体としては、1 - エチル - 3 - メチルイミダゾリウムビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミド（[EMIM][Tf₂N]）、1 - ブチル - 3 - メチルイミダゾリウムビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミド（[BMIM][Tf₂N]）、1 - ブチル - 3 - メチルイミダゾリウムテトラフルオロボウ酸塩（[BMIM][BF₄]）等を用いることができる。

【0049】

図4に戻り、対極103は、作用極102と同様の構成を有しており、対極側基材103a、電気活性補助材103b、対極側バインダ103cが設けられている。

【0050】

対極側基材103aは、導電性材料であり、作用極側基材102aと同じ材料を用いてもよく、異なる材料を用いてもよい。対極側バインダ103cは、電気活性補助材103bを対極側基材103aに保持させることができ、かつ、導電性を有する材料であればよい。対極側バインダ103cは、作用極側バインダ102cと同じ材料を用いてもよく、異なる材料を用いてもよい。

【0051】

電気活性補助材103bは、二酸化炭素吸着材102bと酸化還元状態が逆になり、二酸化炭素吸着材102bとの間で電子の授受を行う補助的な電気活性種である。電気活性補助材103bとしては、例えば金属イオンの価数が変化することで、電子の授受を可能とする金属錯体を用いることができる。このような金属錯体としては、フェロセン、ニッケロセン、コバルトセン等のシクロペンタジエニル金属錯体、あるいはポルフィリン金属錯体等を挙げることができる。

【0052】

絶縁層104は、作用極102と対極103の間に配置されており、作用極102と対極103を分離している。絶縁層104は、作用極102と対極103の物理的な接触を防ぎ、電氣的短絡を抑制する。

【0053】

絶縁層104としては、セパレータ、あるいは空気等の気体層を用いることができる。本実施形態では、絶縁層104として多孔質体のセパレータを用いている。セパレータの材料は、セルロース膜やポリマ、ポリマとセラミックの複合材料等からなるセパレータを用いることができる。

【0054】

図4に示すように、作用極102と対極103の間には、イオン伝導性部材106が設けられている。イオン伝導性部材106は、絶縁層104を介して作用極側基材102aと対極側基材103aとの間に設けられている。

【0055】

イオン伝導性部材106は、作用極側基材102aの内部で二酸化炭素吸着材102bと接触している。イオン伝導性部材106は、イオン伝導性を有しており、二酸化炭素吸着材102bへの導電を促進する。イオン伝導性部材106に含まれるイオンは、二酸化炭素吸着材102bに含まれる二酸化炭素と結合する官能基と直接反応しない。

【0056】

10

20

30

40

50

イオン伝導性部材 106 は、流動性を有さない非流動性物質を好適に用いることができる。非流動性物質としては、ゲル状物質あるいは固体状物質を挙げることができる。イオン伝導性部材 106 は、作用極側バイнда 102c と同じ材料を用いてもよく、作用極側バイнда 102c と異なる材料を用いてもよい。

【0057】

次に、液体回路 14 について図 1 および図 7 を用いて説明する。図 1 に示すように、液体回路 14 は、液体タンク 141、液体供給流路 142、液体供給ポンプ 143、液体排出流路 144、および液体排出ポンプ 145 を有している。

【0058】

液体タンク 141 は、循環液体を貯留するタンクである。液体供給流路 142 は、液体タンク 141 の出口側と吸着部 100 の液体流入口 100c とを接続して、液体タンク 141 から吸着部 100 に循環液体を供給する流路である。

【0059】

液体供給ポンプ 143 は、液体供給流路 142 に設けられるとともに、液体タンク 141 から吸着部 100 へ循環液体を圧送するポンプである。液体供給ポンプ 143 は、制御装置 15 から出力される制御電圧によって、回転数（すなわち、圧送能力）が制御される。

【0060】

液体排出流路 144 は、吸着部 100 の液体流出口 100d と液体タンク 141 の入口側とを接続して、吸着部 100 から液体タンク 141 に循環液体を排出させる流路である。すなわち、液体排出流路 144 は、吸着部 100 内の循環液体を吸着部 100 の外部に排出する流路である。

【0061】

液体排出ポンプ 145 は、液体排出流路 144 に設けられるとともに、吸着部 100 から液体タンク 141 へ循環液体を圧送するポンプである。液体排出ポンプ 145 は、制御装置 15 から出力される制御電圧によって、回転数（すなわち、圧送能力）が制御される。

【0062】

図 7 に示すように、液体供給流路 142 および液体排出流路 144 の各々は、吸着部 100 の鉛直方向下方側に接続されている。本実施形態では、液体供給流路 142 および液体排出流路 144 の各々は、吸着部 100 の下端面（すなわち、底面）に接続されている。

【0063】

ガス供給流路 1a およびガス排出流路 1b の各々は、吸着部 100 の鉛直方向上方側に接続されている。本実施形態では、ガス供給流路 1a およびガス排出流路 1b の各々は、吸着部 100 の上端面に接続されている。

【0064】

次に、本実施形態の二酸化炭素回収システム 1 の作動について図 8 ~ 図 10 を用いて説明する。図 8 に示すように、二酸化炭素回収システム 1 は、二酸化炭素吸着モード、除去ガス排出モード、および二酸化炭素回収モードを実行可能に構成されている。二酸化炭素回収システム 1 は、二酸化炭素吸着モード、除去ガス排出モード、二酸化炭素回収モード、二酸化炭素吸着モード、除去ガス排出モード、二酸化炭素回収モード、... の順に切り替えて作動する。二酸化炭素回収システム 1 の作動は、制御装置 15 によって制御される。

【0065】

まず、二酸化炭素吸着モードについて説明する。図 9 に示すように、二酸化炭素吸着モードでは、圧縮機 11 が作動して吸着部 100 に二酸化炭素含有ガスが供給される。二酸化炭素吸着モードでは、作用極 102 と対極 103 の間に印加される電圧を第 1 の電圧 V1 とする。これにより、対極 103 の電気活性補助材 103b による電子供与と、作用極 102 の二酸化炭素吸着材 102b の電子求引を同時に実現できる。

【0066】

対極 103 の電気活性補助材 103b は電子を放出して酸化状態となり、対極 103 から作用極 102 に電子が供給される。作用極 102 の二酸化炭素吸着材 102b は、電子

10

20

30

40

50

を受け取って還元状態となる。

【 0 0 6 7 】

還元状態となった二酸化炭素吸着材 1 0 2 b は二酸化炭素の結合力が高くなり、二酸化炭素含有ガスに含まれる二酸化炭素を結合して吸着する。これにより、二酸化炭素回収装置 1 0 は、二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素を回収することができる。

【 0 0 6 8 】

次に、除去ガス排出モードについて説明する。図 8 に示すように、除去ガス排出モードは、液体供給モードおよび液体排出モードを有している。二酸化炭素回収システム 1 は、液体供給モードを実行した後、液体排出モードを実行する。

【 0 0 6 9 】

除去ガス排出モード（すなわち、液体供給モードおよび液体排出モードの双方）では、作用極 1 0 2 と対極 1 0 3 の間に第 1 の電圧 V 1 を印加し続ける。除去ガス排出モードでは、圧縮機 1 1 が作動停止し、吸着部 1 0 0 への二酸化炭素含有ガスの供給が停止する。

【 0 0 7 0 】

液体供給モードでは、液体供給ポンプ 1 4 3 が作動して、液体タンク 1 4 1 から循環液体が吸着部 1 0 0 へ供給される。このとき、吸着部 1 0 0 内の二酸化炭素は、二酸化炭素吸着材 1 0 2 b に吸着されたままの状態であり、循環液体に溶解したり、循環液体と化学反応を起こしたりすることはない。

【 0 0 7 1 】

液体排出モードでは、液体供給ポンプ 1 4 3 が作動停止し、吸着部 1 0 0 への循環液体の供給が停止する。さらに、液体排出モードでは、液体排出ポンプ 1 4 5 が作動して、循環液体が吸着部 1 0 0 から排出されて液体タンク 1 4 1 にて回収される。このとき、吸着部 1 0 0 から排出される循環液体の流れにより、二酸化炭素を含まない二酸化炭素除去ガスが吸着部 1 0 0 からガス排出流路 1 b に排出される。液体排出モードでは、流路切替弁 1 2 は、ガス排出流路 1 b を大気側に切り替えており、吸着部 1 0 0 から排出された二酸化炭素除去ガスは大気に排出される。

【 0 0 7 2 】

次に、二酸化炭素回収モードについて説明する。図 1 0 に示すように、二酸化炭素回収モードでは、液体排出ポンプ 1 4 5 が作動停止し、吸着部 1 0 0 からの循環液体の排出が停止する。二酸化炭素回収モードでは、作用極 1 0 2 と対極 1 0 3 の間に印加される電圧を第 2 の電圧 V 2 とする。これにより、作用極 1 0 2 の二酸化炭素吸着材 1 0 2 b による電子供与と、対極 1 0 3 の電気活性補助材 1 0 3 b の電子求引を同時に実現できる。

【 0 0 7 3 】

作用極 1 0 2 の二酸化炭素吸着材 1 0 2 b は、電子を放出して酸化状態となる。二酸化炭素吸着材 1 0 2 b は、二酸化炭素の結合力が低下し、二酸化炭素を脱離して放出する。対極 1 0 3 の電気活性補助材 1 0 3 b は、電子を受け取って還元状態となる。

【 0 0 7 4 】

二酸化炭素吸着材 1 0 2 b から放出された二酸化炭素は、吸着部 1 0 0 から排出される。流路切替弁 1 2 は、ガス排出流路 1 b を二酸化炭素利用装置 1 3 側に切り替えており、吸着部 1 0 0 から排出された二酸化炭素は二酸化炭素利用装置 1 3 に供給される。

【 0 0 7 5 】

本実施形態では、液体供給流路 1 4 2 および液体供給ポンプ 1 4 3 が、循環液体を吸着部 1 0 0 内に供給する供給部の一例に相当する。また、ガス排出流路 1 b、液体排出流路 1 4 4 および液体排出ポンプ 1 4 5 が、供給部から供給された循環液体および二酸化炭素除去ガスを吸着部 1 0 0 から排出する排出部の一例に相当する。

【 0 0 7 6 】

以上説明したように、本実施形態の二酸化炭素回収システム 1 は、供給部である液体供給流路 1 4 2 および液体供給ポンプ 1 4 3、並びに、排出部であるガス排出流路 1 b、液体排出流路 1 4 4 および液体排出ポンプ 1 4 5 を有している。そして、二酸化炭素回収システム 1 は、作用極 1 0 2 と対極 1 0 3 との間に電圧が印加された状態で、循環液体を吸

10

20

30

40

50

着部 100 内に供給した後、循環液体および二酸化炭素除去ガスを吸着部 100 から排出する除去ガス排出モードを実行可能に構成されている。

【0077】

これによれば、吸着部 100 から、循環液体とともに二酸化炭素除去ガスを排出することができる。その結果、吸着部 100 内の二酸化炭素の純度を高めることができるので、回収される二酸化炭素の純度を向上させることができる。

【0078】

また、本実施形態では、電気化学セル 101 における作用極 102 の二酸化炭素吸着材 102b は、作用極側バインダ 102c に覆われている。これにより、二酸化炭素吸着材 102b が作用極側基材 102a から剥離しにくくなり、電気化学セル 101 の二酸化炭素吸着量が経時的に低下することを抑制できる。

10

【0079】

また、本実施形態の作用極側バインダ 102c は、循環液体に対する非親和性を有している。このため、循環液体の存在下においても、循環液体が作用極側バインダ 102c に到達することを抑制できる。これにより、循環液体が二酸化炭素吸着材 102b と優先的に反応することを抑制でき、二酸化炭素吸着材 102b の二酸化炭素吸着量を増大させることができる。

【0080】

また、本実施形態では、作用極側バインダ 102c は、二酸化炭素透過性を有している。このため、二酸化炭素が作用極側バインダ 102c を透過して二酸化炭素吸着材 102b に到達することができる。この結果、二酸化炭素吸着材 102b が作用極側バインダ 102c に覆われている場合でも、二酸化炭素吸着材 102b による二酸化炭素の回収が可能となる。

20

【0081】

また、本実施形態では、作用極側バインダ 102c としてイオン液体ゲルを用いている。このため、作用極側バインダ 102c に、循環液体に対する非親和性や二酸化炭素透過性を容易に付与することが可能となる。さらに、作用極側バインダ 102c に、常温常圧における非揮発性を付与することも可能となる。

【0082】

また、本実施形態の二酸化炭素吸着材 102b は、循環液体に対する非親和性を有している。このため、循環液体が二酸化炭素吸着材 102b と優先的に反応することを抑制でき、二酸化炭素吸着材 102b の二酸化炭素吸着量を増大させることができる。

30

【0083】

また、本実施形態の二酸化炭素回収システム 1 では、液体供給流路 142 および液体排出流路 144 の各々を、吸着部 100 の鉛直方向下方側に接続している。また、ガス排出流路 1b を、吸着部 100 の鉛直方向上方側に接続している。これによれば、吸着部 100 内において液体と気体とが相分離しやすくなるので、気体である二酸化炭素除去ガスを吸着部 100 から容易に排出することが可能となる。

【0084】

(第2実施形態)

40

次に、本発明の第2実施形態について図11に基づいて説明する。本実施形態では、第1実施形態に対して、液体供給流路 142 および液体排出流路 144 の吸着部 100 への接続位置を変更している。

【0085】

図11に示すように、本実施形態の二酸化炭素回収システム 1 では、液体供給流路 142 および液体排出流路 144 の各々は、吸着部 100 の鉛直方向上方側に接続されている。本実施形態では、液体供給流路 142 および液体排出流路 144 の各々は、吸着部 100 の上端面に接続されている。

【0086】

以上説明したように、本実施形態の二酸化炭素回収システム 1 では、液体供給流路 14

50

2、液体排出流路144およびガス排出流路1bを、吸着部100の鉛直方向上方側に接続している。これによれば、吸着部100に循環液体を供給し易くとともに、吸着部100から気体である二酸化炭素除去ガスを排出し易くすることが可能となる。

【0087】

(第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態について図12に基づいて説明する。本実施形態では、第1実施形態に対して、ガス供給流路1a、ガス排出流路1b、液体供給流路142および液体排出流路144の吸着部100への接続位置を変更している。

【0088】

図12に示すように、本実施形態の二酸化炭素回収システム1では、ガス供給流路1a、ガス排出流路1b、液体供給流路142および液体排出流路144の各々は、吸着部100の鉛直方向中央部に接続されている。

10

【0089】

本実施形態では、吸着部100は、水平方向に延びる形状に形成されている。すなわち、二酸化炭素回収装置10は、吸着部100の長手方向が水平方向と平行となるように配置されている。ガス供給流路1aおよび液体供給流路142は、吸着部100の長手方向の一端側に接続されている。ガス排出流路1bおよび液体排出流路144は、吸着部100の長手方向の他端側に接続されている。

【0090】

以上説明したように、本実施形態の二酸化炭素回収システム1では、ガス供給流路1a、ガス排出流路1b、液体供給流路142および液体排出流路144の各々を、吸着部100の鉛直方向中央部に接続している。これによれば、二酸化炭素回収システム1の省スペース化を図ることができる。

20

【0091】

(第4実施形態)

次に、本発明の第4実施形態について図13に基づいて説明する。本実施形態では、第1実施形態に対して、二酸化炭素回収装置10の構成を変更している。

【0092】

図13に示すように、本実施形態の二酸化炭素回収システム1では、二酸化炭素回収装置10は、温度調整部107を有している。温度調整部107は、二酸化炭素を二酸化炭素吸着材102bに吸着させる二酸化炭素吸着時に、被覆材である作用極側バインダ102cの温度を上昇させる。また、温度調整部107は、二酸化炭素吸着材102bから二酸化炭素を脱離させるに二酸化炭素脱離時に作用極側バインダ102cの温度を下降させる。温度調整部107は、制御装置15から出力される制御電圧によって、その作動が制御される。

30

【0093】

ここで、本実施形態では、作用極側バインダ102cとして、イオン液体をゲル化したイオン液体ゲルを用いている。イオン液体は、高温において二酸化炭素の溶解性が上がり、低温において二酸化炭素の溶解性が下がる特性を有している。

【0094】

このため、本実施形態の二酸化炭素回収システム1によれば、二酸化炭素吸着時に、温度調整部107によって作用極側バインダ102cの温度を上昇させることで、作用極側バインダ102c内に二酸化炭素が溶けやすくなる。これにより、二酸化炭素吸着材102bへの二酸化炭素の吸着を促進できる。

40

【0095】

さらに、二酸化炭素脱離時に、温度調整部107によって作用極側バインダ102cの温度を低下させることで、作用極側バインダ102c内に二酸化炭素が溶け難くなる。これにより、二酸化炭素吸着材102bからの二酸化炭素の脱離を促進できる。

【0096】

(他の実施形態)

50

本発明は上述の実施形態に限定されることなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内で、以下のように種々変形可能である。また、上記各実施形態に開示された手段は、実施可能な範囲で適宜組み合わせてもよい。

【 0 0 9 7 】

(1) 上述した実施形態では、電気化学セル 1 0 1 の作用極 1 0 2、対極 1 0 3、絶縁層 1 0 4 をそれぞれ板状部材としたが、図 1 4 に示すように、作用極 1 0 2、対極 1 0 3、絶縁層 1 0 4 をそれぞれ円筒状部材としてもよい。この場合には、作用極 1 0 2 を最も内側に配置し、対極 1 0 3 を最も外側に配置し、作用極 1 0 2 と対極 1 0 3 の間に絶縁層 1 0 4 を配置すればよい。これにより、作用極 1 0 2 の内側に形成される空間を二酸化炭素含有ガスが通過するガス流路とすることができる。

10

【 0 0 9 8 】

(2) 上述した実施形態では、作用極側バインダ 1 0 2 c として、イオン液体をゲル化したイオン液体ゲルを用いた例について説明したが、作用極側バインダ 1 0 2 c はイオン液体ゲルに限定されない。例えば、作用極側バインダ 1 0 2 c として、イオン液体を用いてもよい。

【 0 0 9 9 】

(3) 上述した実施形態では、循環液体として、二酸化炭素に対して非化学反応性および不溶性を有している液体を用いたが、循環液体は、必ずしも二酸化炭素に対して非化学反応性および不溶性を有していなくてもよい。

【 0 1 0 0 】

20

例えば、循環液体として、水を用いてもよい。この場合、二酸化炭素吸着材 1 0 2 b および作用極側バインダ 1 0 2 c は、疎水性を有していてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 1 】

- 1 b ガス排出流路（排出部）
- 1 0 0 吸着部
- 1 4 2 液体供給流路（供給部）
- 1 4 3 液体供給ポンプ（供給部）
- 1 4 4 液体排出流路（排出部）
- 1 4 5 液体排出ポンプ（排出部）

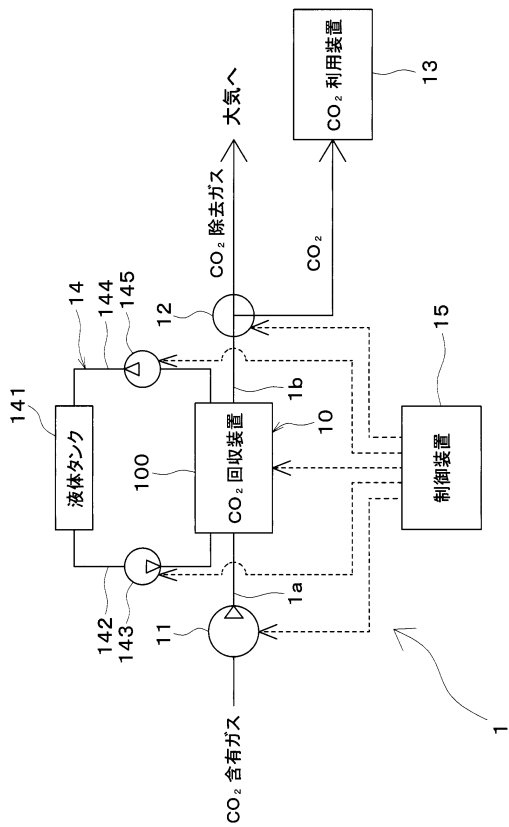
30

40

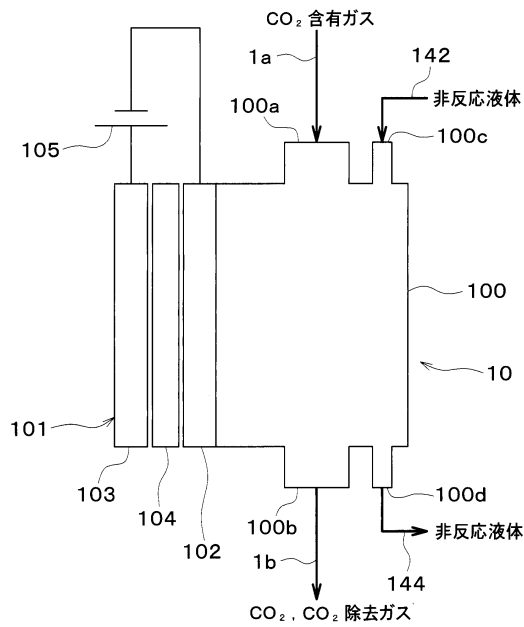
50

【図面】

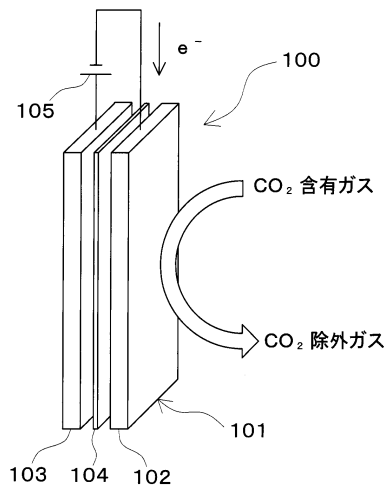
【図 1】



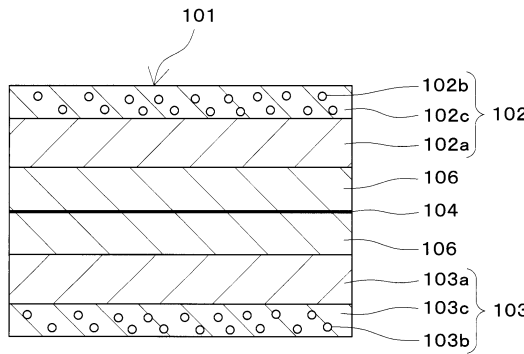
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

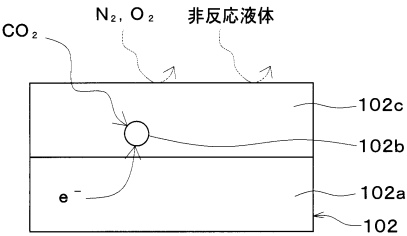
20

30

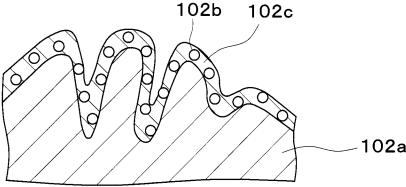
40

50

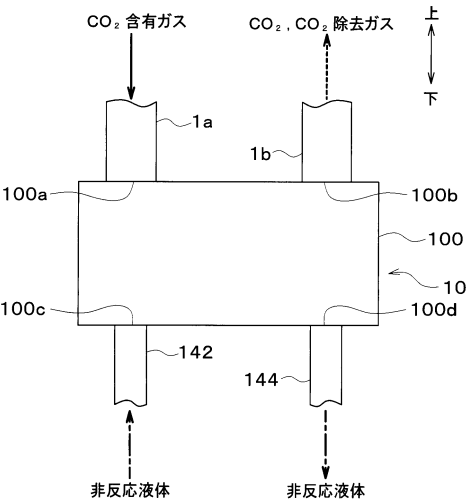
【図 5】



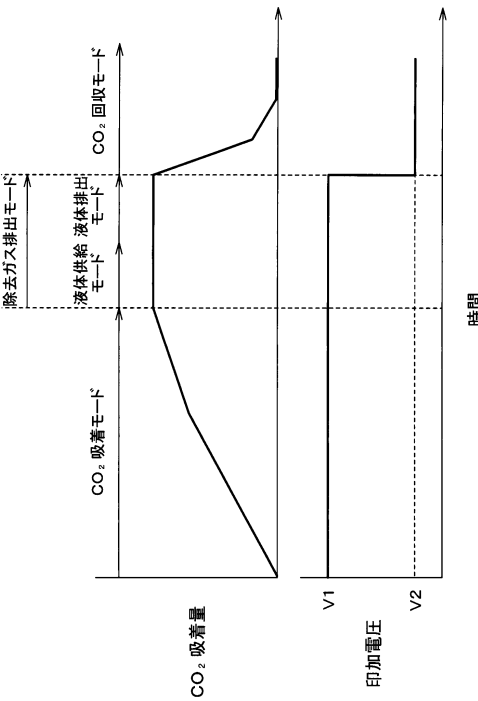
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

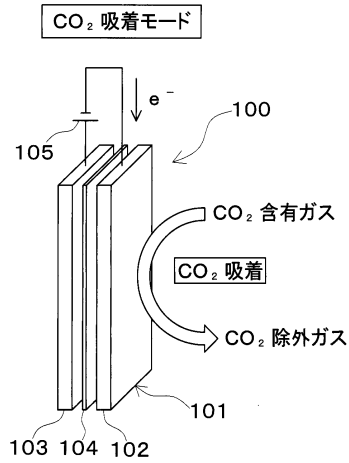
20

30

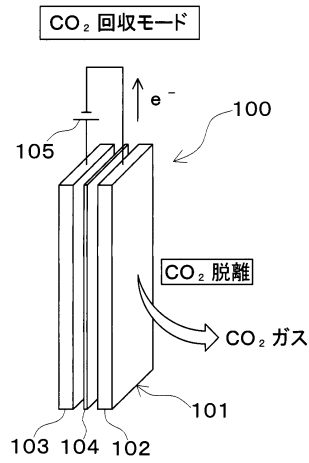
40

50

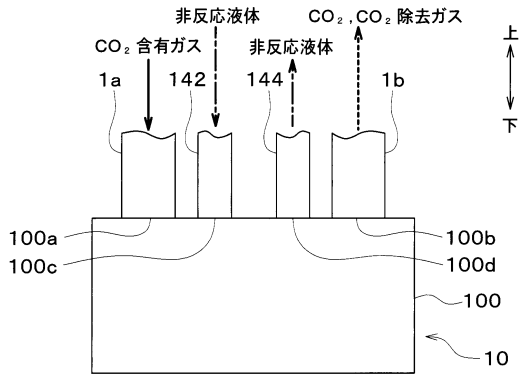
【図 9】



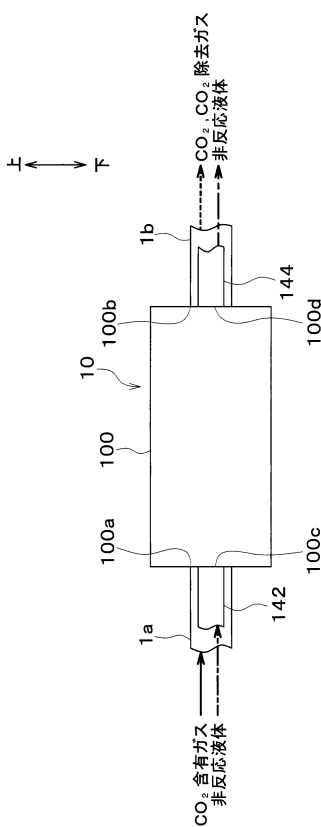
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

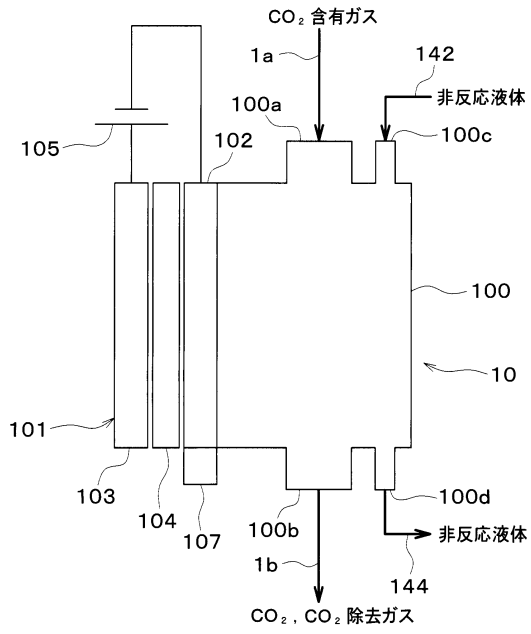
20

30

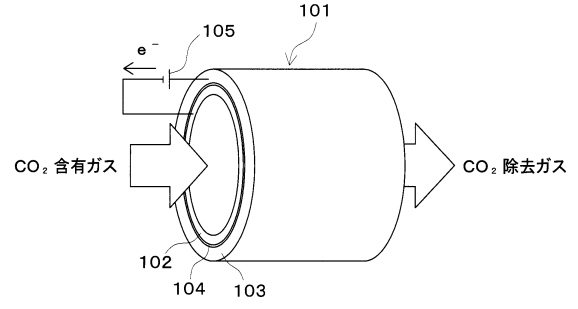
40

50

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

C 2 5 B 15/021 (2021.01)

C 2 5 B

15/021

(56)参考文献

特開 2 0 0 3 - 3 0 6 7 8 8 (J P , A)

特表 2 0 0 8 - 5 2 8 2 8 5 (J P , A)

特表 2 0 1 8 - 5 3 3 4 7 0 (J P , A)

特開 2 0 1 5 - 0 3 6 1 2 8 (J P , A)

国際公開第 2 0 1 2 / 1 4 4 1 8 9 (W O , A 1)

特開 2 0 1 8 - 1 5 3 1 7 3 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 9 / 0 0 3 0 4 8 5 (U S , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

C 2 5 B 1 / 0 0 - 1 5 / 0 8

B 0 1 D 5 3 / 0 0 - 5 3 / 9 6

B 0 1 J 2 0 / 0 0 - 2 0 / 3 4

C 0 1 B 3 2 / 0 0 - 3 2 / 9 9 1