

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月3日(03.10.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/201669 A1

(51) 国際特許分類:

B01D 11/02 (2006.01) *B01D 53/14* (2006.01)
B02C 17/16 (2006.01) *C22B 3/02* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/012275

(22) 国際出願日: 2023年3月27日(27.03.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日揮グローバル株式会社 (JGC CORPORATION) [JP/JP]; 〒2206001 神奈川県横浜市西区みなとみらい二丁目3番1号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 左右田 賢三 (SAUDA, Kenzo); 〒2206001 神奈川県横浜市西区みなとみらい二丁目3番1号 日揮グローバル株式会社内 Kanagawa (JP).

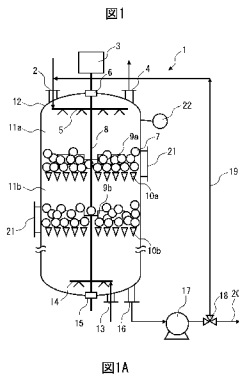
濃添 泰教 (NOZOE, Yasunori); 〒2206001 神奈川県横浜市西区みなとみらい二丁目3番1号 日揮グローバル株式会社内 Kanagawa (JP). 藤本 翔 (FUJIMOTO, Sho); 〒2206001 神奈川県横浜市西区みなとみらい二丁目3番1号 日揮グローバル株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 青木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目2番1号 虎ノ門ヒルズ森タワー 青和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: VERTICAL MULTISTAGE STIRRING SYSTEM AND CO₂ FIXING METHOD

(54) 発明の名称: 縦型多段攪拌システム及びCO₂固定化方法



(57) Abstract: Provided is system that can extract, with favorable efficiency, an alkaline earth metal from a solid material containing the alkaline earth metal into a liquid phase even under a low pressure, while reducing the installation surface area of the equipment associated with the extraction step, and that can reduce the costs associated with the starting materials, equipment, operation, etc. This vertical multistage stirring system comprises: a stirring device including a stirring container accommodating a plurality of stirring chambers disposed along the vertical direction, a plurality of stirring blades which are attached to a shaft extending along the vertical direction through the center of the plurality of stirring chambers, and at least one of which is positioned inside each of the plurality of stirring chambers, and a plurality of sieve plates disposed below each of the plurality of stirring chambers; and an abrasion medium disposed separately from the plurality of stirring blades inside each of the plurality of stirring chambers, wherein the openings in the sieve plates decrease from top to bottom.

(57) 要約: 抽出工程に係る設備の設置面積を削減しつつ、低圧であってもアルカリ土類金属含有固形物からアルカリ土類金属を液相に効率よく抽出することができ、原料、設備、操業などに係るコストを低減することができるシステムを提供する。縦方向に沿って配置された複数の攪拌室を収容する攪拌容器と、複数の攪拌室の中央を通して縦方向に沿って延びる軸に取り付けられた複数の攪拌翼であって、複数の攪拌室のそれぞれの内部に複数の攪拌翼のうち少なくとも1つが位置する、複数の攪拌翼と、複数の攪拌室のそれぞれの下部に配置された複数のふるい板とを備える攪拌装置、及び複数の攪拌室のそれぞれの内部に複数の攪拌翼とは別個に配置された摩滅媒体を含む、縦型多段攪拌システムであって、ふるい板の目開きが上から下に向かって減少している、縦型多段攪拌システム。

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：縦型多段攪拌システム及びCO₂固定化方法

技術分野

[0001] 本開示は、縦型多段攪拌システム及びCO₂固定化方法に関する。

背景技術

[0002] 鉱石、鉄鋼スラグ、廃コンクリート、建築廃材、石炭灰、セメントスラグなどのアルカリ土類金属を含む固形物からアルカリ土類金属を抽出する方法が知られている。

[0003] 特許文献1（特開2007-222713号公報）には、「鉄鋼スラグ等の鉄鋼産業副生成物からのマグネシウム及びカルシウム除去回収方法において、室温において、ギ酸もしくはクエン酸により溶解させて処理することを特徴とするマグネシウム及びカルシウム除去回収方法」が記載されている。

[0004] 特許文献2（国際公開第2014/007331号）には、「アルカリ金属及び/又はアルカリ土類金属を含む固形物から、前記アルカリ金属及び/又はアルカリ土類金属を抽出する方法であって、アミノ酸含有水溶液に前記固形物を添加して、前記アルカリ金属及び/又はアルカリ土類金属を前記アミノ酸含有水溶液に溶出させる溶出工程を含む方法」が記載されている。

[0005] 一方、大気中へのCO₂ガス排出量を低減することを目的としたCO₂固定化技術の一つとして、鉱石、石炭灰、海水、産業廃棄物などに含まれる、Mg、Caなどのアルカリ土類金属と、例えば工場、発電所などから排出されたCO₂ガスとを反応させてCO₂ガスを固定化することを含む、鉱物炭酸化（Mineral Carbonation）が知られている。

[0006] 特許文献3（特表2013-505124号公報）には、「鉱物炭酸化による二酸化炭素の固定に関する、含水マグネシウムシリケートの活性度を増大させる方法であって、該方法が該含水マグネシウムシリケートを急速に加熱する工程を含む、方法」が記載されている。

[0007] 特許文献4（特表2011-501726号公報）には、「二酸化炭素（

CO₂)を炭酸塩として固定するCO₂の固定又は結合方法であって、以下の工程：水と石炭灰又は石炭残渣との水溶液を調製する工程；CO₂を含有するガスを前記水溶液と接触させる工程；及び前記CO₂と前記水溶液を反応させて炭酸塩を生じさせ、それによって前記CO₂が固定又は結合される工程を含む方法」が記載されている。

[0008] 特許文献5（特開2020-175344号公報）には、「アルカリ土類金属を含むかん水からアルカリ土類金属酸化物を得る工程、及び前記アルカリ土類金属酸化物に二酸化炭素を含む気体を反応させる二酸化炭素反応工程、を含む二酸化炭素の固定化方法」が記載されている。

[0009] 特許文献6（特表2021-524805号公報）には、「二酸化炭素の回収、隔離および利用のための統合プロセスであって、a）水性液と活性化ケイ酸マグネシウム鉱物を含む粒子状固体とを含む水性スラリーを提供するステップと、b）溶解段階において、CO₂含有ガス流を、前記鉱物からマグネシウムを溶解させてマグネシウムイオン濃縮炭酸水性液とマグネシウム枯渇固体残渣とを含むスラリーを提供するために、前記水性スラリーと接触させるステップと、c）ステップb）からの前記マグネシウム枯渇固体残渣の少なくとも一部を、前記マグネシウム枯渇固体残渣を微細粒度分画と粗大粒度分画とに分離する粒度分級プロセスに付すステップと、d）ステップc）からの前記粗大粒度分画の少なくとも一部を、粒度縮小分画を提供するために、粒度縮小プロセスに付すステップと、e）ステップd）からの粒度縮小分画を含む水性スラリーを提供して、ステップb）を繰り返すステップであって、ここで、本ステップe）はステップc）からの微細粒度分画の使用を含まない、ステップと、f）沈殿段階において、ステップb）およびe）で溶解したマグネシウムイオンから炭酸マグネシウムを沈殿させるステップとを含む統合プロセス」が記載されている。

[0010] 特許文献7（国際公開第2013/131193号）には、二酸化炭素含有ガスから二酸化炭素を隔離する方法であって、前記二酸化炭素含有ガスを、アルカリ土類金属の少なくとも一部を炭酸化するための炭酸化ユニット内

のアルカリ土類金属含有材料を含む水性スラリーと接触させて、二酸化炭素枯渇ガスと、沈殿可能な炭酸塩を含みかつ沈殿したアルカリ土類金属炭酸塩を実質的に含まない炭酸塩含有スラリーとを生成すること；前記炭酸塩含有スラリーを前記炭酸化ユニットから取り出して、前記炭酸塩含有スラリーを前記沈殿可能な炭酸塩を含む水相と固相とに分離すること；及び前記水相を沈殿装置に供給し、前記沈殿装置内でアルカリ土類金属炭酸塩を沈殿させて、沈殿スラリーを生成することを含む方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0011] 特許文献1：特開2007-222713号公報
特許文献2：国際公開第2014/007331号
特許文献3：特表2013-505124号公報
特許文献4：特表2011-501726号公報
特許文献5：特開2020-175344号公報
特許文献6：特表2021-524805号公報
特許文献7：国際公開第2013/131193号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0012] 鉱石などの固形物からアルカリ土類金属を溶出させる酸源として、弱酸の水溶液を生成する CO_2 を用いる場合、固形物中のアルカリ土類金属を液相に大量に抽出することは難しい。そのため、アルカリ土類金属含有固形物を用いた CO_2 固定化には、アルカリ土類金属源として大量のアルカリ土類金属含有固形物を必要とする、 CO_2 固定化のスループットが小さい、大型の又は多段の反応容器を必要とする、などの課題がある。反応容器を多段として複数並べて設置する場合、設置面積が大きくなるため、設置スペースに制約のある工場ではこのようなレイアウトを採用することは難しい。
- [0013] 反応容器内の CO_2 ガスの圧力を高めて液相に溶解する CO_2 濃度を高める

ことにより、アルカリ土類金属の抽出量を増加させることはできる。しかし、 CO_2 ガスの圧力を高めるためには、耐圧反応容器及びポンプなどの CO_2 ガス昇圧装置が必要であり、操業中に反応容器内を高圧に維持するための電力に係る費用も CO_2 固定化量に伴って発生する。そのような高圧プロセスを一般的な工場に導入することは望ましくない。

[0014] 本開示は、抽出工程に係る設備の設置面積を削減しつつ、低圧であってもアルカリ土類金属含有固形物からアルカリ土類金属を液相に効率よく抽出することができ、原料、設備、操業などに係るコストを低減することができるシステムを提供する。また、本開示は、アルカリ土類金属含有固形物を用いた CO_2 固定化方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明者らは、アルカリ土類金属含有粒子及び水性媒体を含むスラリーと、 CO_2 ガスとを、摩滅媒体を用いて攪拌混合することにより、アルカリ土類金属含有粒子からアルカリ土類金属のイオンを液相中に効率よく抽出できることを見出した。そして、縦方向に沿って配置された複数の攪拌室を収容する攪拌容器を用い、複数の攪拌室のそれぞれの下部に、目開きが上から下に向かって減少するように複数のふるい板を配置し、複数の攪拌室のそれぞれの内部に摩滅媒体を投入し、攪拌容器の上部からスラリーを投入して抽出工程を行うことにより、抽出工程に係る設備の設置面積を小さくしても高効率でアルカリ土類金属イオンを液相中に抽出できることを見出した。

[0016] 本開示は以下の態様を包含する。

[態様 1]

縦方向に沿って配置された複数の攪拌室を収容する攪拌容器と、
前記攪拌容器の上部に設けられたスラリー供給口と、
前記攪拌容器の下部に設けられたスラリー排出口と、
前記複数の攪拌室の中央を通して前記縦方向に沿って延びる軸と、
前記軸の一端に取り付けられた攪拌機モーターと、
前記軸に取り付けられた複数の攪拌翼であって、前記複数の攪拌室のそれ

それぞれの内部に前記複数の攪拌翼のうち少なくとも1つが位置する、複数の攪拌翼と、

前記複数の攪拌室のそれぞれの下部に配置された複数のふるい板と
を備える攪拌装置、及び

前記複数の攪拌室のそれぞれの内部に前記複数の攪拌翼とは別個に配置された摩滅媒体
を含む、縦型多段攪拌システムであって、前記ふるい板の目開きが上から下
に向かって減少している、縦型多段攪拌システム。

[態様2]

前記ふるい板がウェッジワイヤースクリーンである、態様1に記載の縦型多段攪拌システム。

[態様3]

前記複数の攪拌翼がパドル型である、態様1又は2に記載の縦型多段攪拌システム。

[態様4]

前記複数の攪拌翼が、前記軸の回転方向に対して後方側が低くなるように傾斜している、態様1～3のいずれか一態様に記載の縦型多段攪拌システム。

[態様5]

前記摩滅媒体が球状である、態様1～4のいずれか一態様に記載の縦型多段攪拌システム。

[態様6]

前記摩滅媒体の平均粒径が0.3mm～20mmである、態様1～5のいずれか一態様に記載の縦型多段攪拌システム。

[態様7]

前記摩滅媒体のモース硬度が3以上である、態様1～6のいずれか一態様に記載の縦型多段攪拌システム。

[態様8]

前記攪拌容器は、前記攪拌容器の下部に気体供給口及び前記気体供給口と連通した気体分散ノズルを更に備える、態様 1 ～ 7 のいずれか一態様に記載の縦型多段攪拌システム。

[態様 9]

前記気体分散ノズルの開口部が下方に向いている、態様 8 に記載の縦型多段攪拌システム。

[態様 10]

態様 1 ～ 9 のいずれか一態様に記載の縦型多段攪拌システムを複数含み、前記複数の縦型多段攪拌システムが直列に接続されている、装置。

[態様 11]

縦方向に沿って配置された複数の攪拌室を収容する攪拌容器と、
前記攪拌容器の上部に設けられたスラリー供給口と、
前記攪拌容器の下部に設けられたスラリー排出口と、
前記攪拌容器の下部に設けられた気体供給口と、
前記複数の攪拌室の中央を通して前記縦方向に沿って延びる軸と、
前記軸の一端に取り付けられた攪拌機モーターと、
前記軸に取り付けられた複数の攪拌翼であって、前記複数の攪拌室のそれぞれの内部に前記複数の攪拌翼のうち少なくとも 1 つが位置する、複数の攪拌翼と、

前記複数の攪拌室のそれぞれの下部に配置された複数のふるい板と
を備える攪拌装置、及び

前記複数の攪拌室のそれぞれの内部に前記複数の攪拌翼とは別個に配置された摩滅媒体
を含む、縦型多段攪拌システムであって、前記ふるい板の目開きが上から下に向かって減少している、縦型多段攪拌システムを提供すること、

アルカリ土類金属含有粒子及び水性媒体を含むスラリーを前記スラリー供給口に供給すること、

CO₂ガスを前記気体供給口に供給すること、

前記スラリーと前記 CO_2 ガスとを前記複数の攪拌室のうち1つの攪拌室内で攪拌混合することにより、前記アルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属のイオンを液相中に抽出し、前記1つの攪拌室の下部に配置された前記ふるい板を通して前記アルカリ土類金属含有粒子を前記1つの攪拌室の下に位置する前記複数の攪拌室のうち別の攪拌室に移動させること、

前記アルカリ土類金属のイオンが前記液相中に抽出された混合物を前記スラリー排出口から取り出した後、固液分離して、前記アルカリ土類金属のイオンを含む液相と、抽出残渣を含む固相とを得ること、及び

前記液相からアルカリ土類金属炭酸塩を析出させて、前記アルカリ土類金属炭酸塩中に CO_2 を固定化することを含む CO_2 固定化方法。

[態様12]

前記 CO_2 ガスの供給源が、石炭発電所、石油発電所、天然ガス発電所、バイオマス発電所、石炭ボイラー、製錬設備、中和設備、及び焙焼設備からなる群より選ばれる少なくとも1つである、態様11に記載の CO_2 固定化方法。

[態様13]

原料として供給されるスラリーが、前記アルカリ土類金属含有粒子を0.5質量%～50質量%含む、態様11又は12に記載の CO_2 固定化方法。

[態様14]

前記スラリーの前記複数の攪拌室における滞留時間が、各攪拌室あたり15分～60分である、態様11～13のいずれか一態様に記載の CO_2 固定化方法。

発明の効果

[0017] 本開示によれば、抽出工程に係る設備の設置面積を削減しつつ、低圧であってもアルカリ土類金属含有粒子からアルカリ土類金属を液相に高効率で抽出することができ、原料、設備、操業などに係るコストを低減することができる縦型多段攪拌システムが提供される。本開示の縦型多段攪拌システムは

、 CO_2 固定化方法に有利に適用することができる。

[0018] なお、上述の記載は、本発明の全ての実施形態及び本発明に関する全ての利点を開示したものとはみなしてはならない。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]一実施形態の縦型多段攪拌システムの縦断面図（透視側面図）である。

[図1A]図1の実施形態の縦型多段攪拌システムから摩滅媒体を除いた攪拌装置の縦断面図（透視側面図）である。

[図2]一実施形態の攪拌翼の一部断面図を含む上面図である。点線で囲われた領域Zは攪拌翼の翼部のC-C'断面図を示す。

[図3A]一実施形態のウェッジワイヤスクリーンの一部断面図を含む上面図である。点線で囲われた領域XはウェッジワイヤスクリーンのA-A'断面図を示す。

[図3B]一実施形態のウェッジワイヤスクリーンの一部断面図を含む上面図である。点線で囲われた領域YはウェッジワイヤスクリーンのB-B'断面図を示す。

[図4]直列に接続された2つの縦型多段攪拌システムを含む装置の概略図である。

[図5] CO_2 固定化方法の概要を説明するフロー図である。

[図6] CO_2 固定化方法と組み合わせた有価金属の回収方法の概要を説明するフロー図である。

[図7]HPALプロセスの概要を説明するフロー図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の代表的な実施形態を例示する目的で、図面を参照しながらより詳細に説明するが、本発明はこれらの実施形態に限定されない。

[0021] 本開示において「摩滅」とは、粉碎とは異なり、アルカリ土類金属含有粒子の粒径を大幅に変化させずに、その粒子表面を薄く減少させることを意味する。いかなる理論に拘束される訳ではないが、攪拌中に摩滅媒体をアルカリ土類金属含有粒子と接触させることにより、アルカリ土類金属が抽出され

てアルカリ土類金属濃度が低くなったアルカリ土類金属含有粒子の表面層（アルカリ土類金属欠乏層）を薄く剥いて、アルカリ土類金属の含有量がより高い新鮮な粒子表面を露出させる、及び／又はアルカリ土類金属含有粒子の表面に析出したアルカリ土類金属塩、例えばアルカリ土類金属炭酸塩を掻き落として、アルカリ土類金属含有粒子の表面を再度露出させることができると考えられる。これらの作用により、アルカリ土類金属のイオンを液相に効率的に抽出することができると考えられる。攪拌中にアルカリ土類金属含有粒子が摩滅することにより微粒子が生成する場合があるが、アルカリ土類金属含有粒子の平均粒径は大きく変化しない。

[0022] [縦型多段攪拌システム]

一実施形態の縦型多段攪拌システムは、縦方向に沿って配置された複数の攪拌室を収容する攪拌容器と、攪拌容器の上部に設けられたスラリー供給口と、攪拌容器の下部に設けられたスラリー排出口と、複数の攪拌室の中央を通過して縦方向に沿って延びる軸と、軸の一端に取り付けられた攪拌機モーターと、軸に取り付けられた複数の攪拌翼であって、複数の攪拌室のそれぞれの内部に複数の攪拌翼のうち少なくとも1つが位置する、複数の攪拌翼と、複数の攪拌室のそれぞれの下部に配置された複数のふるい板とを備える攪拌装置を含む。

[0023] いかなる理論に拘束される訳ではないが、アルカリ土類金属含有粒子がカンラン石、蛇紋岩等の超苦土鉄鉱物である場合、 CO_2 ガスとアルカリ土類金属含有粒子との常温常圧反応は、 CO_2 ガスがアルカリ土類金属含有粒子を含むスラリーの液相に溶解して HCO_3^- イオンとなり、 HCO_3^- イオンが超苦土鉄鉱物である FeMgSiO_2 の粒界に侵入し、アルカリ土類金属と反応して可溶性の塩を生成し、可溶性の塩が液相に溶解することを含むと推定される。したがって、この反応を促進するための重要な因子は、少なくとも、 CO_2 ガスの液相への溶解、及び CO_2 ガスの溶解後に生成した HCO_3^- イオンとアルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属との接触機会であると考えられる。本開示の縦型多段攪拌システムは、縦方向に沿って配置された複

数の攪拌室を備えることから、各攪拌室（各段）ごとに、 CO_2 ガスと、液相及びアルカリ土類金属含有粒子を含むスラリーとの接触機会を確保することができる。特に、攪拌容器の下部から CO_2 ガスを供給した場合、 CO_2 ガスの攪拌容器内の滞留時間をより増加させることができ、かつ、スラリーと CO_2 ガスとが向流となるため、アルカリ土類金属濃度が低下したスラリーに高濃度の（新鮮な） CO_2 ガスを接触させることができる。そのため、 CO_2 ガスの液相への溶解を効率的に行い、 HCO_3^- イオンとアルカリ土類金属との接触機会を増やすことができ、結果として、アルカリ土類金属の液相への抽出効率を向上させることができる。

[0024] 図1に一実施形態の縦型多段攪拌システム1の縦断面図（透視側面図）を示す。図1Aは、図1の実施形態の縦型多段攪拌システム1から摩滅媒体7を除いた攪拌装置の縦断面図（透視側面図）である。

[0025] 縦型多段攪拌システム1を構成する攪拌装置は、攪拌容器12と、攪拌容器12の上部に設けられたスラリー供給口2と、攪拌容器12の下部に設けられたスラリー排出口16を備える。図1及び図1Aに示す実施形態では、攪拌容器12の上部には排ガス出口4が設けられている。排ガス出口4は、攪拌容器12の内圧が大気圧に維持されるよう常時開放されていてもよく、攪拌容器12の内圧が過度に上昇したときに攪拌容器12の内部にある CO_2 ガスを外部に排出するように、運転中開閉されてもよい。

[0026] 図1及び図1Aに示す実施形態では、スラリー供給口2はスラリー分散ノズル5と連通している。スラリー分散ノズル5を用いることで、スラリーを攪拌容器12の内部上方から分散させて供給して、アルカリ土類金属含有粒子と CO_2 ガスとの反応効率、及びスラリー中のアルカリ土類金属含有粒子の摩滅効率を高めることができる。

[0027] スラリー排出口16は、スラリーの排出又は循環を促進するためのスラリーポンプ17に接続されてもよい。図1及び図1Aに示す実施形態では、スラリーポンプ17の出口は、三方弁18を介して、スラリー循環ライン19及びスラリー排出ライン20に接続されている。一実施形態では、スラリー

循環ライン 19 はなく、スラリー排出口 16 はスラリー排出ライン 20 のみに接続されている。この実施形態では、スラリーポンプ 17 はあってもなくてもよく、三方弁 18 は二方弁に置き換えられる。

[0028] 図 1 及び図 1 A に示す実施形態では、攪拌容器 12 の下部に気体供給口 13 が設けられている。気体供給口 13 は攪拌容器 12 の内部に CO_2 ガスを導入できる限り、攪拌容器 12 のどの位置に設けられていてもよく、複数の気体供給口 13 が設けられていてもよい。攪拌容器 12 の下部に気体供給口 13 を設けることが好ましい。気体供給口 13 を攪拌容器 12 の下部に設けることにより、上方に移動する CO_2 ガスと、上から供給され下降するスラリーとを向流接触させることができる。これにより、 CO_2 ガスをスラリーの液相により効率的に吸収させて、アルカリ土類金属の抽出効率を高めることができる。

[0029] 図 1 及び図 1 A に示す実施形態では、攪拌容器 12 は、気体供給口 13 と連通した気体分散ノズル 14 を更に備える。気体分散ノズル 14 を用いることで、 CO_2 ガスを攪拌容器 12 の内部に分散させて供給して、アルカリ土類金属含有粒子と CO_2 ガスとの反応効率を高めることができる。図 1 及び図 1 A に示すように、気体分散ノズル 14 の開口部は下方に向いていることが好ましい。気体分散ノズル 14 の開口部が下方に向いていることにより、スラリーの堆積による気体分散ノズル 14 の開口部の詰まりを抑制又は防止することができる。

[0030] 攪拌容器 12 は、縦方向に沿って配置された複数の攪拌室 11 a、11 b を収容する。図 1 及び図 1 A では、攪拌容器 12 は 2 つの攪拌室 11 a、11 b を収容するように描かれているが、攪拌容器 12 は、3 つ、4 つ、又は 5 つ以上の攪拌室を収容してもよい。

[0031] 攪拌装置は、攪拌容器 12 の複数の攪拌室 11 a、11 b の中央を通して縦方向に延びる軸 8 と、軸 8 の一端に取り付けられた攪拌機モーター 3 と、軸 8 に取り付けられた複数の攪拌翼 9 a、9 b を備える。複数の攪拌翼 9 a、9 b のうち、攪拌翼 9 a は攪拌室 11 a の内部に位置し、攪拌翼 9 b は攪

拌室 11b の内部に位置する。軸 8 は、攪拌容器 12 の上部中央及び下部中央に取り付けられた軸受 6、15 により保持される。軸受 6、15 は、軸 8 と攪拌容器 12 との間を気密状態に保持してもよい。図 1 及び図 1A では、攪拌機モーター 3 は軸 8 の上端に取り付けられているが、軸 8 の下端に取り付けることもできる。

[0032] 複数の攪拌翼 9a、9b としては、例えば、パドル型攪拌翼、プロペラ型攪拌翼、又はディスク型攪拌翼を用いることができる。複数の攪拌翼 9a、9b はパドル型であることが好ましい。パドル型攪拌翼は、摩滅媒体 7 を低速で移動させることができる。そのため、摩滅媒体 7 の破損又は消耗を抑制することができ、スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子を過度に浮遊させずにスラリー中に沈降させた状態で摩滅媒体 7 との接触機会を増やし、アルカリ土類金属含有粒子をより効果的に摩滅させることができる。パドル型攪拌翼を低速回転させることにより、摩滅媒体 7 による攪拌翼 9a、9b の摩耗も抑制することができる。

[0033] 複数の攪拌翼 9a、9b は、軸 8 の回転方向に対して後方側が低くなるように傾斜していることが好ましい。このように攪拌翼 9a、9b が傾斜していることにより、攪拌翼 9a、9b の回転中に、攪拌翼 9a、9b に巻き込まれたスラリーがふるい板 10a、10b に向かって移動する。これにより、摩滅媒体 7 とふるい板 10a、10b の間に送り込まれるスラリーの量を増加させ、スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子の浮遊を抑制して、摩滅媒体 7 によるアルカリ土類金属含有粒子の摩滅を促進することができる。

[0034] 図 2 に一実施形態の攪拌翼 9 の一部断面図を含む上面図を示す。攪拌翼 9 は、4 枚の翼部 91 と、これらの翼部 91 を接続し、軸 8 を受容する孔を有する、円筒スリーブ形状のボス部 92 とを有する。翼部 91 は溶接によりボス部 92 に取り付けられている。軸 8 はボス部 92 に挿入され、ボス部 92 と軸 8 はピンとネジ又は溶接により固定される。図 2 に示す攪拌翼 9 はパドル型攪拌翼であり、具体的には傾斜パドル型攪拌翼である。点線で囲われた領域 Z は攪拌翼 9 の翼部 91 の C-C' 断面図を示す。翼部 91 は、軸 8 の

回転方向、すなわち攪拌翼の回転方向Rに対して翼部91の後方が低くなるように、水平面hに対して角度 α で傾斜している。摩滅媒体7の移動効率とアルカリ土類金属含有粒子の摩滅の促進効果とのバランスから、角度 α は45度～90度であることが好ましく、60度～75度であることがより好ましい。

[0035] 攪拌容器12の内部には、複数のふるい板10a、10bが配置されている。ふるい板10aは攪拌室11aの下部に配置され、ふるい板10bは攪拌室11bの下部に配置されている。図1及び図1Aでは、ふるい板10aは、攪拌容器12の上部及び側壁と一緒に攪拌室11aを画定し、ふるい板10bは、ふるい板10a及び攪拌容器12の側壁と一緒に攪拌室11bを画定する。ふるい板としては、例えば、ウェッジワイヤースクリーン、パンチングメタル、網目スクリーン、又は焼結スクリーンを用いることができる。

[0036] ふるい板10a、10bの目開きは、摩滅媒体7が通過せず、所定の粒径未満の粒子及びCO₂ガスが通過するように設定されており、上から下に向かって減少している。すなわち、ふるい板10aの目開きは、その下に位置するふるい板10bの目開きよりも大きい。これにより、攪拌室11a、11bのそれぞれにおけるスラリーの滞留時間を確保し、アルカリ土類金属含有粒子の摩滅及びアルカリ土類金属の液相への抽出を、攪拌室11a、11bのいずれにおいても効果的に行うことができる。

[0037] ふるい板10a、10bの目開きは、摩滅媒体7の平均粒径、スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子の平均粒径、攪拌室の数（段数）などに応じて適宜決定することができる。ふるい板10a、10bの目開きは、例えば、100 μ m（150メッシュ）～250 μ m（60メッシュ）とすることができ、好ましくは132 μ m（120メッシュ）～250 μ m（60メッシュ）、より好ましくは150 μ m（100メッシュ）～180 μ m（83メッシュ）である。

[0038] ふるい板10a、10bの目開きは、対象のふるい板の1つ上段の目開き

(μm) の80%~95%とすることが好ましく、80%~90%とすることがより好ましい。例えば、ふるい板10aの目開きを $180\mu\text{m}$ としたときに、ふるい板10bの目開きは、 $180\mu\text{m} \times 83\% \sim 88\% = 160\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ とすることが好ましい。

[0039] ふるい板10a、10bはウェッジワイヤースクリーンであることが好ましい。ウェッジワイヤースクリーンは、商品名ジョンソンスクリーン（ジョンソンスクリーンズジャパン株式会社）としても知られている。

[0040] 一実施形態のウェッジワイヤースクリーンの一部断面図を含む上面図を図3A及び図3Bに示す。ウェッジワイヤースクリーン（ふるい板）10は、ステンレス製などの細長い三角柱形状のウェッジ101の頂部を下方に、ウェッジ101の底面を上方に向けて平行に配置された複数のウェッジ101を含む。複数のウェッジ101は、それらの頂部と接触するようにウェッジ101の下方に配置された支持体102に固定されている。図3Aの点線で囲われた領域Xはウェッジワイヤースクリーン10のA-A'断面図を示す。図3Aに示すように、三角形断面を有する複数のウェッジ101が平行に配置され、ウェッジ101の上面（三角形の底面）の間に細長い複数の平行な隙間が形成される。図3Bの点線で囲われた領域Yはウェッジワイヤースクリーン10のB-B'断面図を示す。図3Bに示すように、複数のウェッジ101はそれらの下部（三角形の頂部）で支持体102に接触して固定されている。

[0041] アルカリ土類金属含有粒子を含むスラリーがウェッジワイヤースクリーン10に上から供給されると、ウェッジワイヤースクリーン10の隙間よりも小さい粒子はこれらの隙間を通過してウェッジワイヤースクリーン10の下に移動し、これらの隙間を通らなかった大きい粒子はウェッジワイヤースクリーン10の上に留まり、攪拌翼9a、9bによって移動させられる摩滅媒体7によって摩滅の作用を受ける。摩滅により粒径が小さくなったアルカリ土類金属含有粒子は、ウェッジワイヤースクリーン10の隙間を通過してウェッジワイヤースクリーン10の下に移動する。ウェッジワイヤースクリーン

ン 10 は、下方から気体又は洗浄液体を供給することによって、スラリーによる隙間の詰まりを容易に解消することができる。

[0042] 図 1 及び図 1 A に示すように、攪拌容器 12 は、攪拌容器 12 の内部を観察する、又は攪拌容器 12 の内部作業を可能にする点検口 21 を備えてもよい。点検口 21 は、攪拌容器 12 の側壁に設けることができ、攪拌室 11 a、11 b のそれぞれに対応する位置に設けることが好ましい。点検口 21 は、摩滅媒体 7、攪拌翼 9 a、9 b 又はふるい板 10 a、10 b の点検、洗浄、交換などを可能にする。

[0043] 図 1 及び図 1 A に示すように、攪拌容器 12 は、攪拌容器 12 の内圧を測定する圧力計 22 を備えてもよい。圧力計 22 は、攪拌容器 12 の上部に取り付けられることが好ましい。圧力計 22 が、スラリー若しくは CO_2 ガスの過剰供給、又はふるい板 10 a、10 b のスラリー詰まりに起因する攪拌容器 12 の内圧の上昇を検知したときに、必要に応じて、スラリー又は CO_2 ガスの供給速度を調整する、排ガス出口 4 から CO_2 ガスを排出する、あるいはスラリーポンプ 17 を作動させてスラリーを排出することにより、攪拌装置 12 の内圧を低下させることができる。圧力計 22 が攪拌容器 12 の内圧の異常な又は急激な上昇を検知した場合、警告装置（図示せず）を作動させてもよく、又はシステムを自動停止させてもよい。

[0044] 縦型多段攪拌システム 1 は、攪拌装置の複数の攪拌室 11 a、11 b のそれぞれの内部に複数の攪拌翼 9 a、9 b とは別個に配置された摩滅媒体 7 を含む。摩滅媒体 7 と攪拌翼 9 a、9 b とが別個に配置されていることにより、攪拌翼 9 a、9 b により摩滅媒体 7 を不規則に移動させることができ、これによりアルカリ土類金属含有粒子の摩滅効率を高めることができる。

[0045] 摩滅媒体 7 は、アルカリ土類金属含有粒子の表面を摩滅する能力を有するものであれば特に限定されない。摩滅媒体 7 の形状としては、例えば、ビーズ、ボール、ロッド、及びペブル（小石状）が挙げられる。アルカリ土類金属含有粒子の粉碎を抑制しつつ、アルカリ土類金属含有粒子を効果的に摩滅できることから、摩滅媒体 7 はビーズ、ボールなどの球状であることが好ま

しい。

[0046] 摩滅媒体 7 の平均粒径は、好ましくは 0.3 mm～20 mm、より好ましくは 0.5 mm～15 mm、更に好ましくは 1 mm～12 mm である。摩滅媒体 7 の平均粒径を上記範囲とすることにより、アルカリ土類金属含有粒子の摩滅効率を高めることができる。摩滅媒体 7 の平均粒径は、JIS Z 8801-1-1:2019 に準拠して決定されるふるい径である。

[0047] 摩滅媒体 7 のモース硬度は、アルカリ土類金属含有粒子の表面を摩滅できる程度であれば特に限定されない。一実施形態では、摩滅媒体 7 のモース硬度は 3 以上である。アルカリ土類金属含有粒子の粉砕を抑制して、後述する CO₂ 固定化における固液分離を容易にするため、摩滅媒体 7 のモース硬度は 9 以下であることが好ましい。例えば、アルカリ土類金属含有粒子が蛇紋岩（モース硬度 3～4）である場合、摩滅媒体 7 のモース硬度は 3 以上又は 4 以上、9 以下であることが好ましい。

[0048] 摩滅媒体 7 の材質としては、例えば、アルミナ、窒化ケイ素、ジルコニア、タングステン、炭化タングステン、及びステンレス鋼が挙げられる。摩滅媒体 7 は、アルミナを含むことが好ましい。

[0049] 複数の縦型多段攪拌システムが直列に接続されていてもよい。図 4 に直列に接続された 2 つの縦型多段攪拌システム 1 a、1 b を含む装置の概略図を示す。縦型多段攪拌システム 1 a、1 b は、三方弁 18、スラリー供給ライン 19 の一部、三方弁 23、及びスラリー供給ライン 24 を介して直列に接続されている。縦型多段攪拌システム 1 a のスラリー排出口から出たスラリーは、スラリーポンプによって三方弁 18 に送られる。三方弁 18 がスラリーポンプ及びスラリー排出ライン 20 a に対して開放し、スラリー循環ライン 19 に対して閉鎖している場合、スラリーは外部に排出されて次工程で使用する。三方弁 18 がスラリーポンプ及びスラリー循環ライン 19 に対して開放し、スラリー排出ライン 20 a に対して閉鎖しており、かつ三方弁 23 がスラリー循環ライン 19（実線及び点線）に対して開放し、スラリー供給ライン 24 に対して閉鎖している場合、スラリーは縦型多段攪拌システム

1 aのスラリー供給口から再度攪拌容器内に供給される。三方弁18がスラリーポンプ及びスラリー循環ライン19に対して開放し、スラリー排出ライン20aに対して閉鎖しており、かつ三方弁23がスラリー循環ライン19（実線）及びスラリー供給ライン24に対して開放し、スラリー循環ライン19（点線）に対して閉鎖している場合、スラリーは縦型多段攪拌システム1bのスラリー供給口から縦型多段攪拌システムの1bの攪拌容器に供給される。複数の縦型多段攪拌システム1a、1bを直列に接続することにより、縦型多段攪拌システム1bに処理済みスラリーを移送することができ、縦型多段攪拌システム1aでは新たなスラリーを処理することができる。縦型多段攪拌システムに関して本開示で説明する仕様及び運転条件が、複数の縦型多段攪拌システムのそれぞれにおいて異なるように設定することにより、粒径、アルカリ土類金属含有量などが異なる処理済みスラリーと新たなスラリーの両方をより効率的に処理することができる。図4に示すように、最下流の縦型多段攪拌システム1bのスラリー排出口は、二方弁25及び必要に応じてスラリーポンプ（不図示）を介してスラリー排出ライン20bに接続されてもよい。

[0050] [CO₂固定化方法]

図5にCO₂固定化方法の概要をフロー図で示す。本開示のフロー図において、四角で囲まれた部分は工程又は装置を示す。図5において、任意工程として、アルカリ土類金属含有原料に対して前処理を行うことにより、アルカリ土類金属含有粒子が得られる。アルカリ土類金属含有粒子に水性媒体を加えてスラリーを得る。スラリーを攪拌しながらCO₂ガスと混合することにより、アルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属のイオンが液相中に抽出される。その後、固液分離により、アルカリ土類金属のイオンを含む液相と、抽出残渣を含む固相とが得られる。液相からアルカリ土類金属炭酸塩を析出させて、アルカリ土類金属炭酸塩中にCO₂が固定化される。

[0051] 一実施形態のCO₂固定化方法は、

(1) 攪拌容器の下部に設けられた気体供給口を備える前記縦型多段攪拌シ

ステムを提供すること、

(2) アルカリ土類金属含有粒子及び水性媒体を含むスラリーをスラリー供給口に供給すること、

(3) CO_2 ガスを気体供給口に供給すること、

(4) スラリーと CO_2 ガスとを複数の攪拌室のうち1つの攪拌室内で攪拌混合することにより、アルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属のイオンを液相中に抽出し、1つの攪拌室の下部に配置されたふるい板を通してアルカリ土類金属含有粒子を1つの攪拌室の下に位置する複数の攪拌室のうち別の攪拌室に移動させること、

(5) アルカリ土類金属のイオンが液相中に抽出された混合物をスラリー排出口から取り出した後、固液分離して、アルカリ土類金属のイオンを含む液相と、抽出残渣を含む固相とを得ること、及び

(6) 液相からアルカリ土類金属炭酸塩を析出させて、アルカリ土類金属炭酸塩中に CO_2 を固定化することを含む。

[0052] アルカリ土類金属含有粒子は、アルカリ土類金属を含有するものであれば特に限定されない。本開示において「アルカリ土類金属」とは、周期表第2族元素を意味する。アルカリ土類金属は、Mg、Ca、Sr、及びBaからなる群より選ばれる少なくとも1種であることが好ましく、Mg及びCaからなる群より選ばれる少なくとも1種であることがより好ましく、Mgを含むことが更に好ましい。

[0053] アルカリ土類金属含有粒子としては、例えば、Mg含有鉱石、Mg含有スラグ、Ca含有スラグ、石炭灰、クリンカキルンダスト、廃コンクリート、コンクリートスラッジ、及びセメントの粒子が挙げられる。

[0054] 一実施形態では、アルカリ土類金属含有粒子はMg含有鉱石の粒子である。Mg含有鉱石としては、例えば、リモナイト (limonite) (MgO含有量0.5～5質量%)、スメクタイト (Smeectite) (MgO含有量5～15質量%)、及びサプロライト (Saprolite) (MgO含有量15～35質量%)

が挙げられる。Mg含有鉱石は、超苦鉄質岩（Ultramafic Rock）を含むことが好ましく、カンラン石（Olivine、組成式： $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_4$ ）及び蛇紋石（Serpentine、組成式： $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ）からなる群より選ばれる少なくとも1種の鉱物を含むことが好ましい。カンラン石及び蛇紋岩は高Mg含有鉱物であるため、CO₂固定化に必要なアルカリ土類金属含有粒子の使用量を低減することができる。

[0055] アルカリ土類金属含有粒子は、アルカリ土類金属含有原料を前処理することにより形成してもよい。アルカリ土類金属含有原料は、アルカリ土類金属含有粒子に関して説明した材料、例えば、Mg含有鉱石、Mg含有スラグ、Ca含有スラグ、石炭灰、クリンカキルダスト、廃コンクリート、コンクリートスラッジ、又はセメントであってよい。

[0056] 前処理としては、例えば、粉砕、及び熱処理が挙げられる。

[0057] 粉砕は、公知の粉砕装置を用いて行うことができる。粉砕によって、アルカリ土類金属含有粒子の平均粒径を減少させてその表面積を増加させる、又はアルカリ土類金属含有粒子の活性表面を露出させることができる。これらにより、アルカリ土類金属の抽出効率を高めることができる。粉砕は、アルカリ土類金属含有粒子が、後述する好適な平均粒径を有するような条件下で行うことができる。必要に応じて、粉砕後にアルカリ土類金属を篩などを用いて分級してもよい。

[0058] 熱処理は、公知の熱処理装置を用いて行うことができる。熱処理温度は、例えば、500℃～800℃、熱処理時間は1分～2時間とすることができる。アルカリ土類金属含有粒子は熱処理されていることが好ましい。アルカリ土類金属含有原料を熱処理することによって、アルカリ土類金属含有原料中の結晶水を除去し、アルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属を液相に溶出しやすい形態に活性化して、アルカリ土類金属の抽出効率を高めることができる。粒子径が小さいほど粒子内部まで熱が伝わりやすく、熱処理の効率が高まるため、熱処理は上記粉砕の後に行うことが好ましい。

[0059] 本開示では、粉砕装置、熱処理装置など、前処理に使用する装置を総称し

て前処理装置という。

[0060] アルカリ土類金属含有粒子の平均粒径は、攪拌容器 12 の容積、攪拌機モーター 3 の出力、攪拌翼 9 a、9 b の種類、摩滅媒体 7 のサイズなどに応じて適宜決定することができ、特に限定されない。アルカリ土類金属含有粒子の平均粒径は、例えば、 $10\ \mu\text{m} \sim 500\ \mu\text{m}$ 、 $20\ \mu\text{m} \sim 450\ \mu\text{m}$ 、又は $100\ \mu\text{m} \sim 400\ \mu\text{m}$ の範囲内とすることができる。アルカリ土類金属含有粒子の平均粒径を $10\ \mu\text{m}$ 以上とすることにより、 CO_2 固定化における固液分離を容易にすることができる。アルカリ土類金属含有粒子の平均粒径を $500\ \mu\text{m}$ 以下とすることにより、攪拌に必要な消費電力を過度に増加させることなく、アルカリ土類金属の抽出効率を高めることができる。本開示において、アルカリ土類金属含有粒子の平均粒径は、レーザー回折散乱法による 50% 累積体積平均径 D_{50} として定義される。

[0061] 水性媒体は、 CO_2 ガスを溶解させる能力を有し、一般に水である。水性媒体は、水に加えて、必要に応じてアルコール、エステルなどの水溶性有機溶媒を含んでもよい。水性媒体に、塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化アンモニウム、硫酸ナトリウム、硫酸マグネシウム、硫酸水素アンモニウム、炭酸水素ナトリウムなどの塩が溶解していてもよい。水性媒体中の水の含有量は、好ましくは 70 質量%以上、より好ましくは 80 質量%以上、更に好ましくは 90 質量%以上である。

[0062] スラリーは、水性媒体にアルカリ土類金属含有粒子を加えて混合することにより調製することができる。一実施形態では、原料として供給されるスラリーは、アルカリ土類金属含有粒子を 0.5 質量%~50 質量%含む。スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子の含有量が低いほど、固相（アルカリ土類金属含有粒子）に対する液相の割合が大きくなるためアルカリ土類金属の抽出効率は高まるが、抽出に大きな設備が必要となる。一方、スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子の含有量が高いほど、抽出に係る設備は小さくて済むが、アルカリ土類金属の抽出効率は低くなる。原料スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子の含有量を 0.5 質量%以上とすることにより、アルカ

リ土類金属の抽出に係る設備コストの増加を抑えることができる。原料スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子の含有量を50質量%以下とすることにより、アルカリ土類金属の抽出効率を高めることができる。一実施形態では、スラリーはCO₂ガス以外に外部から添加される酸を含まない。

[0063] スラリーをスラリー供給口2に供給することにより、攪拌容器12の内部上方からスラリーが供給される。スラリーはスラリー分散ノズル5を通して攪拌容器12内に供給されてもよい。スラリーの供給速度は、攪拌容器12の容積、攪拌室11a、11bの空間体積、攪拌室の数（段数）、スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子の含有量、アルカリ土類金属含有粒子の平均粒径、CO₂ガスの供給速度などのパラメータを考慮して適宜決定することができる。スラリーは攪拌容器12の内部で下方に向かって移動する。

[0064] CO₂ガスを気体供給口13に供給することにより、攪拌容器12の内部下方からCO₂ガスが供給される。CO₂ガスは気体分散ノズル14を通して攪拌容器12内に供給されてもよい。CO₂ガスは攪拌容器12の内部で上方に向かって移動するため、下降するスラリーと向流接触する。これにより、CO₂ガスをスラリーの液相により効率的に吸収させて、アルカリ土類金属の抽出効率を高めることができる。

[0065] CO₂ガスの供給源としては、例えば、石炭発電所、石油発電所、天然ガス発電所、バイオマス発電所、石炭ボイラー、製錬設備、中和設備、及び焙焼設備からなる群より選ばれる少なくとも1つが挙げられる。石炭発電所はCO₂ガス排出量が特に多いため、後述するCO₂固定化方法を用いることにより、CO₂ガス排出量を効果的に低減することができる。CO₂ガスの供給源としての焙焼設備は、後述する焙焼工程で使用されるものであってもよい。

[0066] CO₂ガスの供給速度は、CO₂の飽和溶解度、抽出効率、供給に必要な動力、空塔速度、圧力損失、気液流量比、攪拌室でのスラリー液面高さなどの設計因子を考慮して最適化することができる。CO₂ガスの供給速度は、スラリーの液相中のCO₂の溶解量が攪拌中の温度及び圧力において飽和するように決定することが好ましい。

- [0067] スラリーと CO_2 ガスとを複数の攪拌室11a、11bのうち1つの攪拌室11a内で攪拌混合することにより、アルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属のイオンを液相中に抽出する。攪拌混合により CO_2 ガスがスラリーの液相に溶解して液相のpHが低下する。これにより、アルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属の液相への溶解及びイオン化が促進される。
- [0068] スラリー中のアルカリ土類金属含有粒子は、攪拌混合中に摩滅媒体7により摩滅されて粒径が小さくなり、攪拌室11aの下部に配置されたふるい板10aを通して攪拌室11aの下に位置する別の攪拌室11bに移動する。スラリー中の液相も、アルカリ土類金属含有粒子に随伴して又は独立して、ふるい板10aを通して下に位置する別の攪拌室11bに移動する。その結果、攪拌室11bには粒径が小さくなったアルカリ土類金属含有粒子を含むスラリーが供給され、このスラリーも攪拌容器12の下部から上昇する CO_2 ガスと攪拌混合される。攪拌室が3つ以上の場合も同様に、より粒径が小さくなったアルカリ土類金属含有粒子を含むスラリーが下に位置する別の攪拌室に供給され、 CO_2 ガスとの攪拌混合に供される。このようにして、各攪拌室（各段）ごとに CO_2 ガスとアルカリ土類金属含有粒子との接触機会が確保され、攪拌容器の下部から CO_2 ガスを供給することにより CO_2 ガスの攪拌容器内の滞留時間が増加するため、アルカリ土類金属の液相への抽出効率を向上させることができる。
- [0069] 摩滅媒体7の使用量は、特に限定されないが、アルカリ土類金属の抽出効率及び攪拌に係る消費電力を考慮して、攪拌中に、摩滅媒体7が存在する容積部分に十分な量のアルカリ土類金属含有粒子が存在するように調整することが好ましい。摩滅媒体7の使用量は、例えば、攪拌室11a、11bの内部に配置された攪拌翼9a、9bの高さ以上とすることができる。
- [0070] 攪拌翼9a、9bの回転速度は、例えば10rpm～500rpm、又は20rpm～200rpmとすることができる。攪拌翼9a、9bの回転速度を上記範囲のように低速とすることにより、アルカリ土類金属含有粒子の粒径変化をゆっくりと行い、粒径が小さくなったアルカリ土類金属含有粒子

を含むスラリーを順次下の攪拌室に移動させることができる。これにより、攪拌室 11 a、11 b のそれぞれにおけるスラリーの滞留時間を確保し、アルカリ土類金属含有粒子の摩滅及びアルカリ土類金属の液相への抽出を、攪拌室 11 a、11 b のいずれにおいても効果的に行うことができる。また、攪拌翼 9 a、9 b の回転速度を上記範囲のように低速とすることにより、摩滅媒体 7 及び／又は攪拌翼 9 a、9 b の破損又は摩耗を抑制又は防止することができる。

[0071] 一実施形態では、水性媒体の凝固点以上、50℃以下の温度、好ましくは0℃～30℃で攪拌混合が行われる。スラリーに可溶性の物質、例えば塩化ナトリウムなどが含まれる場合、水性媒体の凝固点は0℃未満に低下する場合がある。攪拌混合を水性媒体の凝固点以上で行うことにより、攪拌を均一に行うことができ、攪拌混合に伴う消費電力の過度の増加を防ぐことができる。攪拌混合を50℃以下で行うことにより、水性媒体中に溶解するCO₂濃度を所望の範囲とすることができる。一実施形態では、攪拌は加熱せずに周囲温度で行われる。

[0072] 一実施形態では、大気圧以上、10MPaG（ゲージ圧）以下、好ましくは1.0MPaG（ゲージ圧）以下、より好ましくは0.5MPaG（ゲージ圧）以下の圧力雰囲気下で攪拌混合が行われる。一般に、CO₂圧力が高いほど、より多量のCO₂がスラリーの液相に溶解するため、アルカリ土類金属の抽出効率が高くなる。本開示では、10MPaG（ゲージ圧）以下、特に大気圧～1.0MPaG（ゲージ圧）の低圧雰囲気下であっても、アルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属のイオンを効率的に液相に抽出することができる。低圧条件とすることにより、アルカリ土類金属のイオンの抽出に係る消費電力を効果的に低減することができる。一実施形態では、攪拌は大気圧雰囲気下で行われる。

[0073] スラリーの攪拌室 11 a、11 b における滞留時間は、特に限定されないが、各攪拌室あたり15分～60分とすることができる。

[0074] 液相に抽出されたアルカリ土類金属のイオンは、アルカリ土類金属水酸化

物、アルカリ土類金属珪酸塩又はアルカリ土類金属珪酸複塩の形態で存在していてもよい。アルカリ土類金属水酸化物としては、 MgO 又は CaO が水和して生成する $Mg(OH)_2$ 及び $Ca(OH)_2$ が挙げられる。アルカリ土類金属珪酸塩としては、 Mg_2SiO_4 （苦土珪酸塩）及び Ca_2SiO_4 が挙げられる。アルカリ土類金属珪酸複塩としては、例えば、アルカリ土類金属と、アルカリ金属、 Mn 、 Fe 、 Co 、 Ni 、 Cu 、 Zn 、若しくは Al 、又はこれらの2種以上との珪酸塩が挙げられる。代表的なアルカリ土類金属珪酸複塩は $(Mg, Fe)SiO_4$ （苦鉄珪酸塩）である。

[0075] 一実施形態では、アルカリ土類金属のイオンは、アルカリ土類金属珪酸塩又はアルカリ土類金属珪酸複塩の形態で存在する。これらのアルカリ土類金属水酸化物、アルカリ土類金属珪酸塩、又はアルカリ土類金属珪酸複塩は、 CO_2 固定化の際に、アルカリ土類金属炭酸塩に変換される。

[0076] アルカリ土類金属のイオンが液相中に抽出された混合物をスラリー排出口16から取り出して固液分離する。固液分離の方法としては、例えば、濾過、プレス、沈降分離、及び遠心分離が挙げられる。固液分離を行うことにより、アルカリ土類金属のイオンを含む液相と、抽出残渣を含む固相とが得られる。

[0077] 固液分離は、一般的な固液分離装置を用いて行うことができる。固液分離装置としては、例えば、真空分離装置、遠心分離装置、多重円盤分離装置、ベルトプレス、スクリュープレス、ローラープレス、ロータリードラムスクリーン、ベルトスクリーン、振動スクリーン、シクナー、セラミックフィルター、プリーツフィルター及び多重板波動フィルターが挙げられる。

[0078] 次に、液相からアルカリ土類金属炭酸塩を析出させて、アルカリ土類金属炭酸塩中に CO_2 を固定化する。アルカリ土類金属炭酸塩の溶解度は温度が上がるにつれて低下する。したがって、アルカリ土類金属炭酸塩の析出は、液相の温度を上げることによって促進することができる。アルカリ土類金属炭酸塩の析出は、液相を空気でバブリングすることによって行うこともでき、液相を減圧条件下に置くことによって行うこともできる。

[0079] 析出装置としては、温度調節機構を備えた槽を用いることができる。析出装置は、析出したアルカリ土類金属塩を分離するための固液分離装置を更に備えていてもよい。

[0080] 析出時の液相の温度は、例えば、 20°C ～ 80°C とすることができる。析出時間は、例えば10分～100時間とすることができる。

[0081] 上記実施形態では、攪拌容器12の下部に設けられた気体供給口13に CO_2 ガスを供給したが、 CO_2 ガスをスラリーに随伴させてスラリー供給口2に供給することもでき、攪拌容器12の下部以外に設けられた1又は複数の気体供給口（不図示）に供給することもできる。

[0082] [有価金属の回収方法]

前記 CO_2 固定化方法と組み合わせて、有価金属を含むアルカリ土類金属含有原料から有価金属を回収することもできる。一実施形態の CO_2 を固定化し有価金属を回収する方法は、有価金属と、アルカリ土類金属とを含むアルカリ土類金属含有原料を前処理して、アルカリ土類金属含有粒子と有価金属含有残渣とを得ること；アルカリ土類金属含有粒子を用いて前記 CO_2 固定化方法を実施すること；及び有価金属含有残渣から有価金属を含有する製品、中間体又はそれらの両方を回収することを含む。

[0083] 図6に CO_2 固定化方法と組み合わせた有価金属の回収方法の概要をフロー図で示す。前処理工程において、出発原料から、アルカリ土類金属含有粒子と有価金属含有残渣とが製造され、これらはそれぞれ別の次工程に供給される。アルカリ土類金属含有粒子は CO_2 固定化に使用されて、アルカリ土類金属炭酸塩が生成する。 CO_2 固定化工程で、アルカリ土類金属のイオンが液相中に抽出された混合物を固液分離して得られる抽出残渣に有価金属が含まれる場合、当該抽出残渣も有価金属含有残渣として利用してもよい。これらの有価金属含有残渣は、有価金属回収工程において、有価金属含有製品、有価金属含有中間体又はそれらの両方として回収される。

[0084] 前処理では、出発原料からアルカリ土類金属含有粒子と有価金属含有残渣とを得る。

- [0085] 出発原料は、有価金属とアルカリ土類金属とを含む。出発原料の形態は特に限定されず、例えば、鉱石、溶液、スラリー、粉体、塊状物、又は成形体であってよい。粉体及び塊状物は、例えば、鉱石を粉砕することにより、あるいは溶液又はスラリーを乾燥させて粉砕することにより得ることができる。粉体又は塊状物は、自由水を蒸発除去することにより乾燥されたものであってもよい。成形体は、例えば、鉱石、粉体、又は塊状物を打錠成形することにより得ることができる。成形体に、前処理に使用される薬剤、例えば焙焼のための燃料などが混合されていてもよい。
- [0086] 有価金属は特に限定されないが、例えば、Ni、Co、Fe、Cu、及び白金族金属からなる群より選ばれる少なくとも1種である。本開示において「白金族金属」(Platinum Group Metal、PGM)とは、ルテニウム、ロジウム、パラジウム、オスミウム、イリジウム、及び白金の総称であり、これらのいずれか又は2種以上の組合せを意味する。有価金属は、金、銀、又はそれらの組合せを含んでもよい。
- [0087] 一実施形態では、出発原料は上記有価金属を含む鉱石である。そのような鉱石として、例えば、酸化ニッケル鉱石、硫化ニッケル鉱石、コバルト鉱石、鉄鉱石、銅鉱石、白金鉱石、及びこれらの鉱石のいずれか又は2種以上を浮遊選鉱して得られた金属精鉱が挙げられる。鉱石は、好ましくは酸化ニッケル鉱石である。酸化ニッケル鉱石としては、例えば、リモナイト(limonite) (MgO含有量0.5～5質量%)、スメクタイト(Smectite) (MgO含有量5～15質量%)、及びサプロライト(Saprolite) (MgO含有量15～35質量%)が挙げられる。
- [0088] アルカリ土類金属はMgを含むことが好ましい。
- [0089] 一実施形態では、出発原料は超苦鉄質岩(Ultramafic Rock)を含む。超苦鉄質岩は、カンラン石(Olivine、組成式： $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_4$)及び蛇紋石(Serpentine、組成式： $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)からなる群より選ばれる少なくとも1種の鉱物を含むことが好ましい。
- [0090] 前処理は、出発原料の化学組成又は化学的性質を変化させることにより、

アルカリ土類金属含有粒子と有価金属含有残渣とに分離可能にする工程を含む。そのような工程としては、例えば、酸化焙焼、硫酸化焙焼、及び塩変換・固液分離が挙げられる。

[0091] 酸化焙焼は、例えば、焙焼炉を用いて行うことができる。例示的な酸化焙焼法は以下の工程を含む。天然ガス、石油、石炭、硫黄、又はパイライト (Pyrite、 FeS_2) などの燃料を使用し、酸素、空気などを供給することにより酸素分圧を上昇させ、出発原料を $500^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ 程度に加熱することにより酸化分解する。アルカリ土類金属はアルカリ土類金属酸化物に変換されて、アルカリ土類金属含有粒子として回収される。例えば、カンラン石、蛇紋石のような高Mg含有鉱物は、酸化焙焼することによりMgOと SiO_2 に熱分解される。この熱分解物には、 Fe_2O_3 、 Mg_2SiO_4 、 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_4$ 、又はこれらの組合せも含まれる場合がある。有価金属も酸化物の形態で有価金属含有残渣として回収される。

[0092] 硫酸化焙焼は、例えば、ロータリーキルン、流動層式加熱炉、又は電気炉を用いて行うことができる。例示的な硫酸化焙焼は以下の工程を含む。還元促進剤として硫黄、又は硫化ナトリウム、硫化カルシウム、ピロタイト、パイライトなどの硫黄化合物と出発原料とを混合し、有価金属の還元域、例えばNiについては $400^\circ\text{C} \sim 680^\circ\text{C}$ 程度に加熱することにより、その有価金属を選択的に硫酸化する。硫酸化後、 H_2S ガスなどを用いて金属硫化物を形成した後、あるいは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH などのアルカリを用いてpHを調整することにより有価金属水酸化物を形成した後、固液分離することにより、アルカリ土類金属含有粒子と有価金属含有残渣とを分離することができる。別の例示的な硫酸化焙焼は、出発原料に濃硫酸を添加した後、酸化焙焼することにより有価金属を硫酸化することを含む。

[0093] 塩変換・固液分離は、例えば、温水、又は硫酸、塩酸、硝酸などの酸性水溶液を用いて行うことができる。例示的な方法は以下の工程を含む。出発原料を容器に入れ、温水、又は硫酸、塩酸、硝酸などの酸性水溶液を加えて、アルカリ土類金属及び有価金属をそれらの塩の形態で溶解させる。温水又酸

性水溶液の添加後、 H_2O_2 、 KMnO_4 などの酸化剤を添加して攪拌することにより、アルカリ土類金属又は有価金属の溶解を促進してもよい。溶解したアルカリ土類金属及び有価金属は、 H_2S ガスなどを用いて金属硫化物を形成した後、あるいは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH などのアルカリを用いてpHを調整することにより有価金属水酸化物を形成した後、固液分離することにより、アルカリ土類金属含有粒子と有価金属含有残渣とを分離することができる。

[0094] 前処理は酸化焙焼を含むことが好ましい。出発原料を酸化焙焼することにより得られるアルカリ土類金属酸化物と有価金属酸化物の混合物は、比重差分離などの分離工程で容易に分離することができる。

[0095] 酸化焙焼に硫黄、パイライトなどの硫黄成分を含む燃料を使用した場合、焙焼時に二酸化硫黄が生成する。そのため、前処理は二酸化硫黄の排ガス処理を含んでもよい。二酸化硫黄の排ガス処理設備として、一般的な硫酸プラントを使用することができる。二酸化硫黄の排ガス処理により生成する濃硫酸は、製品として、又は本開示の方法の有価金属回収、特に高圧酸浸出（HPAL）法を用いた有価金属回収において有効に利用することができる。

[0096] 前処理は分離工程を更に含んでもよい。分離方法としては、例えば、比重差分離、粒子径分離、及び化学組成分離が挙げられる。比重差分離は、化学組成により粒子の比重が異なる場合に、比重の違いを利用してこれらの粒子を分離する方法である。比重差分離は、例えば石炭の選炭技術で利用されている流動式比重差分離装置を用いて行うことができる。粒子径分離は、粒子の大きさにより粒子中に存在する有価金属の濃度が異なる場合、又は鉱物中の有価金属が微細な粒子の形態で存在する場合に、粒子径の大きさの違いを利用してこれらの粒子を分離する方法である。粒子径分離は、例えば、篩又は遠心分離機を用いて行うことができる。化学組成分離は、ウランなどの特殊な金属を含む粒子が存在する場合に、このような粒子を赤外線を用いてオンラインで分析し、空気鉄砲で当該粒子のみを選択的に吹き飛ばすことにより分離する方法である。

- [0097] 前処理は、好ましくは比重差分離によりアルカリ土類金属含有粒子と有価金属含有残渣とを分離することを含む。比重差分離装置において、例えば比重4を設定値とすると、 MgO 、 SiO_2 などの比重が小さい物質をアルカリ土類金属含有粒子として、 NiO 、 CoO 、 Fe_2O_3 などの有価金属を含む比重が大きい物質を有価金属含有残渣として分離することができる。
- [0098] 前処理によって得られるアルカリ土類金属含有粒子は、アルカリ土類金属に加えて、例えば、珪素、アルミニウム、又はこれらのうち2種以上の他の元素を含んでもよい。アルカリ土類金属及び他の元素は、アルカリ土類金属含有粒子中、酸化物、硫酸塩、珪酸塩、又はそれらの組合せの形態で存在していてもよい。一実施形態では、アルカリ土類金属含有粒子は、 MgO 、 SiO_2 及び Mg_2SiO_4 を含む。
- [0099] 有価金属含有残渣は、有価金属に加えて、例えば、珪素、アルミニウム、又はこれらのうち2種以上の元素を含んでもよい。有価金属は、有価金属含有残渣中、酸化物、塩化物、硫化物、又はそれらの組合せの形態で存在してもよい。一実施形態では、有価金属含有残渣は、 NiO 、 CoO 、及び Fe_2O_3 からなる群より選ばれる少なくとも1種を含む。
- [0100] アルカリ土類金属含有粒子を用いた CO_2 固定化は、 CO_2 固定化方法において説明したとおりである。アルカリ土類金属炭酸塩を析出させる際に、液相を加熱するための熱源として、前処理、例えば焙焼工程で生じた熱を再利用することもできる。前処理で生じた熱を再利用することにより、加熱に係る CO_2 排出を低減又はなくすることができる。
- [0101] 生成したアルカリ土類金属炭酸塩は、アルカリ土類金属炭酸塩の製品等として、又は本開示の方法の有価金属回収を高圧酸浸出（HPAL）法により行う場合に、HPAL処理の後工程となる1次中和、最終中和、テーリングダムのpH調整などのための中和剤として用いることができる。
- [0102] HPAL処理の後工程となる1次中和、最終中和などにおいて、 CO_2 固定化で生成した $MgCO_3$ を中和剤として用いることが有利である。中和剤として用いた $MgCO_3$ に含まれるMgは、 $MgSO_4$ の形態に変換されてテーリ

ングダム（ダム）の液相に存在する。Mg イオンについては海洋放出に関する規制が厳格ではないため、テーリングダムを低コストで処理することができる。これらの中和で再発生したCO₂ガスを収集して、上記CO₂固定化に再利用することもできる。

[0103] アルカリ土類金属炭酸塩から分離された液相を、他の設備の冷却水として、あるいはアルカリ土類金属含有粒子のスラリー化のための水又は水溶液として使用してもよい。

[0104] 有価金属回収では、有価金属含有残渣から有価金属含有製品、有価金属含有中間体又はそれらの両方が回収される。有価金属含有製品としては、例えば、硫酸ニッケル、硫酸コバルト、塩化コバルト、金属ニッケル、及び金属コバルトが挙げられる。有価金属含有中間体としては、例えば、硫化ニッケル硫化コバルト混合硫化物（Mixed Sulfide Precipitate、MSP）、及び水酸化ニッケル水酸化コバルト混合物（Mixed Hydroxide Precipitate、MHP）が挙げられる。硫酸ニッケル、硫酸コバルト、塩化コバルトなどの有価金属含有製品は、有価金属含有中間体を精製することにより製造することができる。金属ニッケル、金属コバルトなどの有価金属含有製品は、硫酸ニッケル、硫酸コバルト、塩化コバルトなどの有価金属含有製品を電解精錬することにより製造することができる。

[0105] 有価金属含有製品、有価金属含有中間体又はそれらの両方の回収方法としては、例えば、常圧酸浸出法、高压酸浸出（HPAL）法、塩素溶解法、アンモニア溶解法、及び電気炉溶解法が挙げられる。常圧酸浸出及び高压酸浸出は、例えば、常圧下又は高压下、好ましくは高温で、濃硫酸などの酸を有価金属含有残渣に添加することにより、有価金属をイオン化して液相に浸出させることを含む。塩素溶解法は、例えば、塩酸を有価金属含有残渣に添加することにより、有価金属塩化物を含有する水溶液を形成し、有価金属塩化物の形態で有価金属を回収するか、あるいは電解などにより有価金属塩化物を還元して有価金属を回収することを含む。アンモニア溶解法は、例えば、アンモニアを有価金属含有残渣に添加することにより、金属錯塩（例えばニ

ッケル錯塩)の形態で抽出することを含み、カロン法としても知られている。電気炉溶解法は、例えば、電気炉を用いて有価金属含有残渣を溶解させ、アルゴンと酸素の混合ガス流中、C、Si、Mn、Cr、P等を酸化除去して、有価金属単体又はそれらの合金を回収することを含む。

[0106] 一実施形態では、HPAL法により有価金属含有残渣から有価金属含有製品、有価金属含有中間体又はそれらの両方が回収される。HPAL法は、出発原料としてNi含有量が少ない酸化ニッケル鉱石を使用した場合でも、Ni、Coなどの有価金属を効率的に回収することができる。

[0107] 図7に、HPALプロセスの概要をフロー図で示す。図7に示すHPALプロセスでは、高温高圧下、オートクレーブなどの反応器内で、スラリーの形態の有価金属含有残渣に濃硫酸などの酸を添加することにより浸出スラリーを得る。有価金属含有残渣に含まれる有価金属は濃硫酸との反応でイオン化して浸出スラリーの液相に浸出される。その後、1次中和で浸出スラリーに中和剤を添加することによりpHを約1.5程度とする。このpH調整は、浸出スラリーに含まれるFe、Alなどの金属イオンを酸化物としてCCD内で析出させることを目的とする。次に、連続式向流型デカンテーション(Counter Current Decantation、CCD)により浸出スラリーは多段洗浄されて、浸出液と浸出残渣とに固液分離される。Feは浸出残渣中にヘマタイト(Fe_2O_3)の形態で取り出される。Fe、AlなどがCCDで分離された浸出液には、微量のCu、Znなどが含まれるため、浸出液のpH及び酸化還元電位を調整してこれらの元素を分離した後、浸出液のpHを5近辺に調整してNi及びCoを選択的に沈殿分離する。沈殿分離の際に H_2S ガスを用いると、硫化ニッケル硫化コバルト混合硫化物(Mixed Sulfide Precipitate、MSP)が有価金属含有中間体として得られる。沈殿分離の際にアルカリを用いると、水酸化ニッケル水酸化コバルト混合物(Mixed Hydroxide Precipitate、MHP)が有価金属含有中間体として得られる。これらの有価金属含有中間体を、固液分離装置で分離することにより有価金属含有製品を得ることができる。Ni、Co、及びその他の有価金属が除去された溶液には

、Mn、Mgなどが溶解している。そのため、海洋放出基準値に達するまでこれらのアルカリ土類金属を除去するために最終中和を行う。具体的には、最終中和で溶液に中和剤を添加することにより溶液のpHを約8.5～約9とする。これにより溶液に含まれるMn、Mgなどの金属イオンが酸化物として析出する。このHPALプロセスにおいて、HPAL処理用の酸の一部又は全部として、前処理に含まれる焙焼の排ガス処理により製造される濃硫酸を使用することができる。このHPALプロセスにおいて、CO₂固定化により生成するアルカリ土類金属炭酸塩を、1次中和、最終中和、及び／又はテーリングダムのpH調整のための中和剤として使用することができる。

[0108] 一実施形態では、有価金属回収にHPAL法を用いる。この実施形態では、CO₂固定化と非鉄金属製錬プロセスとを高度に統合することができる。前処理により得られる有価金属含有残渣はHPAL法の原料として利用することができる。CO₂固定化により生成するアルカリ土類金属炭酸塩は、HPAL処理の後工程となる1次中和、最終中和、テーリングダムのpH調整などのための中和剤として利用することができる。更に、焙焼に硫黄成分含有燃料を使用した場合は、硫酸プラントで製造される濃硫酸をHPAL処理用の酸として利用することができる。

[0109] 本開示のシステム及び方法は、CO₂固定化及び有価金属の回収に好適に使用することができる。

[0110] 本発明の基本的な原理から逸脱することなく、上記の実施形態及び実施例が様々に変更可能であることは当業者に明らかである。また、本発明の様々な改良及び変更が本発明の趣旨及び範囲から逸脱せずに実施できることも当業者には明らかである。

産業上の利用可能性

[0111] 本開示のシステム及び方法は、CO₂固定化及び有価金属の回収に有利に使用することができる。

符号の説明

[0112] 1、1a、1b 縦型多段攪拌システム

- 2 スラリー供給口
- 3 攪拌機モーター
- 4 排ガス出口
- 5 スラリー分散ノズル
- 6 軸受
- 7 摩滅媒体
- 8 軸
- 9、9 a、9 b 攪拌翼
- 9 1 翼部
- 9 2 ボス部
- 10、10 a、10 b ふるい板（ウェッジワイヤースクリーン）
- 10 1 ウェッジ
- 10 2 支持体
- 11 a、11 b 攪拌室
- 12 攪拌容器
- 13 気体供給口
- 14 気体分散ノズル
- 15 軸受
- 16 スラリー排出口
- 17 スラリーポンプ
- 18 三方弁
- 19 スラリー循環ライン
- 20、20 a、20 b スラリー排出ライン
- 21 点検口
- 22 圧力計
- 23 三方弁
- 24 スラリー供給ライン
- 25 二方弁

請求の範囲

- [請求項1] 縦方向に沿って配置された複数の攪拌室を収容する攪拌容器と、
前記攪拌容器の上部に設けられたスラリー供給口と、
前記攪拌容器の下部に設けられたスラリー排出口と、
前記複数の攪拌室の中央を通して前記縦方向に沿って延びる軸と、
前記軸の一端に取り付けられた攪拌機モーターと、
前記軸に取り付けられた複数の攪拌翼であって、前記複数の攪拌室のそれぞれの内部に前記複数の攪拌翼のうち少なくとも1つが位置する、複数の攪拌翼と、
前記複数の攪拌室のそれぞれの下部に配置された複数のふるい板とを備える攪拌装置、及び
前記複数の攪拌室のそれぞれの内部に前記複数の攪拌翼とは別個に配置された摩滅媒体を含む、縦型多段攪拌システムであって、前記ふるい板の目開きが上から下に向かって減少している、縦型多段攪拌システム。
- [請求項2] 前記ふるい板がウェッジワイヤースクリーンである、請求項1に記載の縦型多段攪拌システム。
- [請求項3] 前記複数の攪拌翼がパドル型である、請求項1又は2に記載の縦型多段攪拌システム。
- [請求項4] 前記複数の攪拌翼が、前記軸の回転方向に対して後方側が低くなるように傾斜している、請求項1～3のいずれか一項に記載の縦型多段攪拌システム。
- [請求項5] 前記摩滅媒体が球状である、請求項1～4のいずれか一項に記載の縦型多段攪拌システム。
- [請求項6] 前記摩滅媒体の平均粒径が0.3mm～20mmである、請求項1～5のいずれか一項に記載の縦型多段攪拌システム。
- [請求項7] 前記摩滅媒体のモース硬度が3以上である、請求項1～6のいずれか一項に記載の縦型多段攪拌システム。

- [請求項8] 前記攪拌容器は、前記攪拌容器の下部に気体供給口及び前記気体供給口と連通した気体分散ノズルを更に備える、請求項1～7のいずれか一項に記載の縦型多段攪拌システム。
- [請求項9] 前記気体分散ノズルの開口部が下方に向いている、請求項8に記載の縦型多段攪拌システム。
- [請求項10] 請求項1～9のいずれか一項に記載の縦型多段攪拌システムを複数含み、前記複数の縦型多段攪拌システムが直列に接続されている、装置。
- [請求項11] 縦方向に沿って配置された複数の攪拌室を収容する攪拌容器と、
前記攪拌容器の上部に設けられたスラリー供給口と、
前記攪拌容器の下部に設けられたスラリー排出口と、
前記攪拌容器の下部に設けられた気体供給口と、
前記複数の攪拌室の中央を通して前記縦方向に沿って延びる軸と、
前記軸の一端に取り付けられた攪拌機モーターと、
前記軸に取り付けられた複数の攪拌翼であって、前記複数の攪拌室のそれぞれの内部に前記複数の攪拌翼のうち少なくとも1つが位置する、複数の攪拌翼と、
前記複数の攪拌室のそれぞれの下部に配置された複数のふるい板とを備える攪拌装置、及び
前記複数の攪拌室のそれぞれの内部に前記複数の攪拌翼とは別個に配置された摩滅媒体を含む、縦型多段攪拌システムであって、前記ふるい板の目開きが上から下に向かって減少している、縦型多段攪拌システムを提供すること、
アルカリ土類金属含有粒子及び水性媒体を含むスラリーを前記スラリー供給口に供給すること、
CO₂ガスを前記気体供給口に供給すること、
前記スラリーと前記CO₂ガスとを前記複数の攪拌室のうち1つの

攪拌室内で攪拌混合することにより、前記アルカリ土類金属含有粒子中のアルカリ土類金属のイオンを液相中に抽出し、前記1つの攪拌室の下部に配置された前記ふるい板を通して前記アルカリ土類金属含有粒子を前記1つの攪拌室の下に位置する前記複数の攪拌室のうち別の攪拌室に移動させること、

前記アルカリ土類金属のイオンが前記液相中に抽出された混合物を前記スラリー排出口から取り出した後、固液分離して、前記アルカリ土類金属のイオンを含む液相と、抽出残渣を含む固相とを得ること、及び

前記液相からアルカリ土類金属炭酸塩を析出させて、前記アルカリ土類金属炭酸塩中に CO_2 を固定化することを含む CO_2 固定化方法。

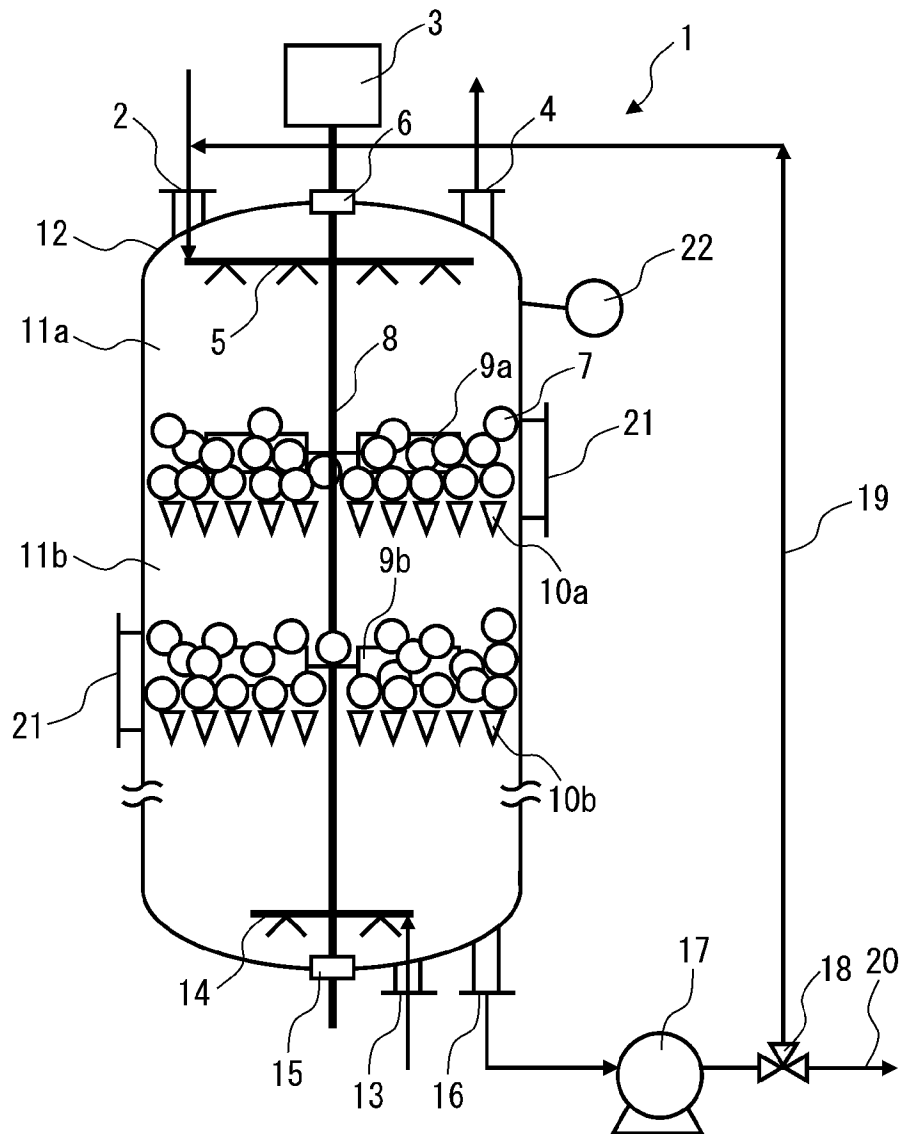
[請求項12] 前記 CO_2 ガスの供給源が、石炭発電所、石油発電所、天然ガス発電所、バイオマス発電所、石炭ボイラー、製錬設備、中和設備、及び焙焼設備からなる群より選ばれる少なくとも1つである、請求項11に記載の CO_2 固定化方法。

[請求項13] 原料として供給されるスラリーが、前記アルカリ土類金属含有粒子を0.5質量%～50質量%含む、請求項11又は12に記載の CO_2 固定化方法。

[請求項14] 前記スラリーの前記複数の攪拌室における滞留時間が、各攪拌室あたり15分～60分である、請求項11～13のいずれか一項に記載の CO_2 固定化方法。

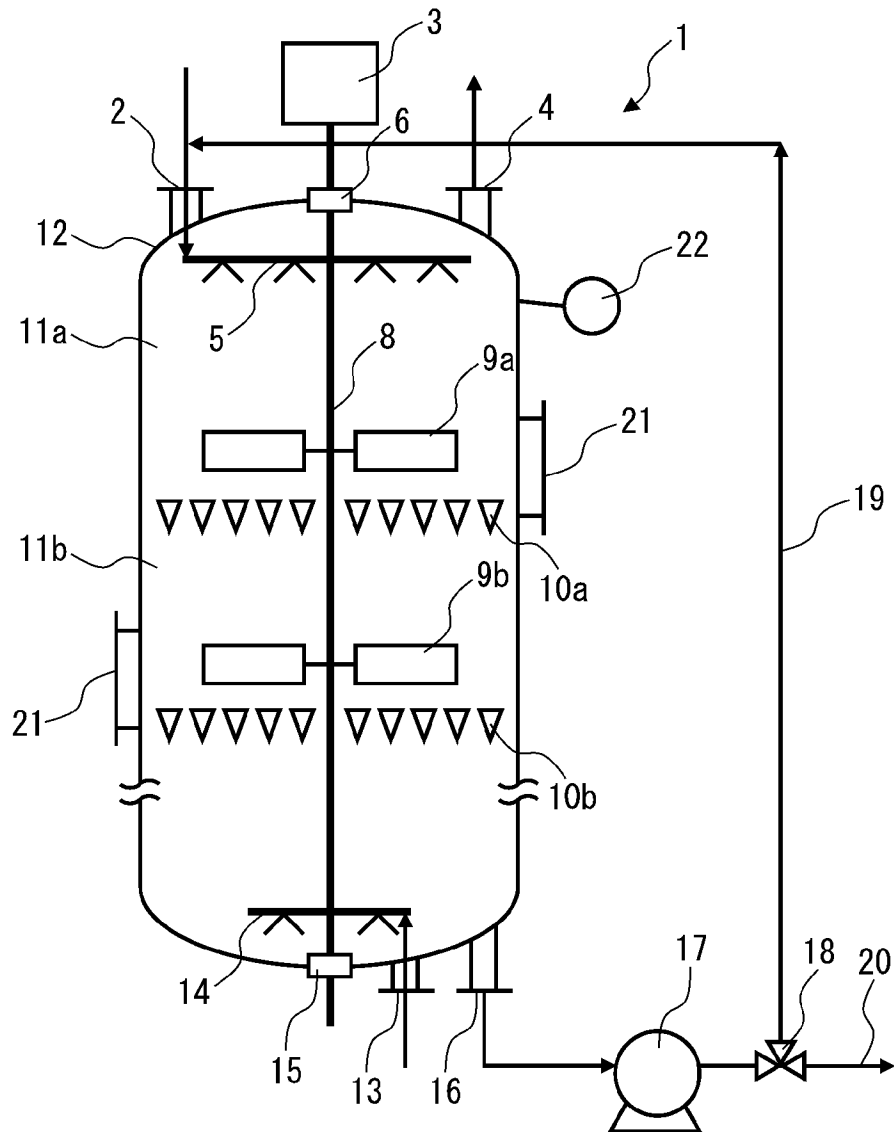
[図1]

図1



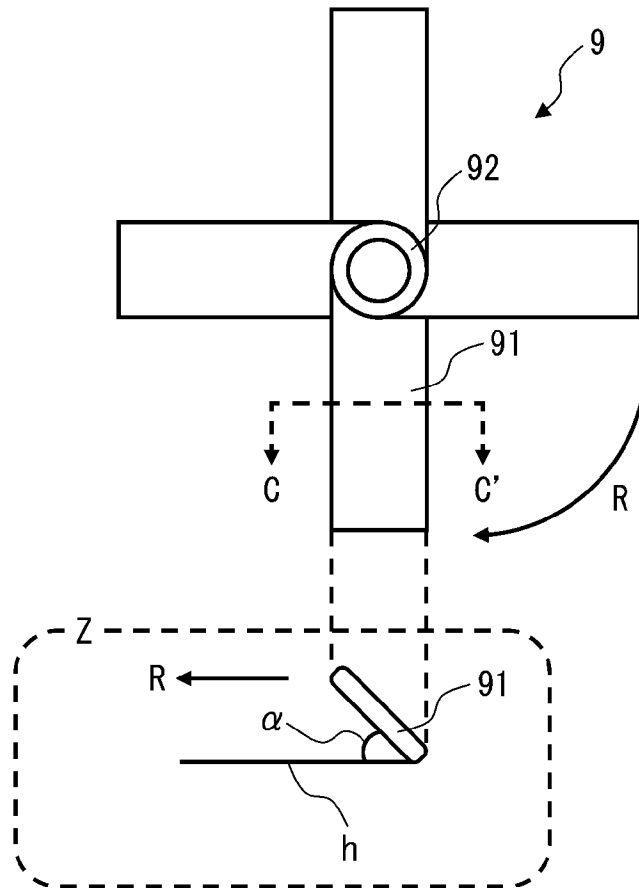
[図1A]

図1A



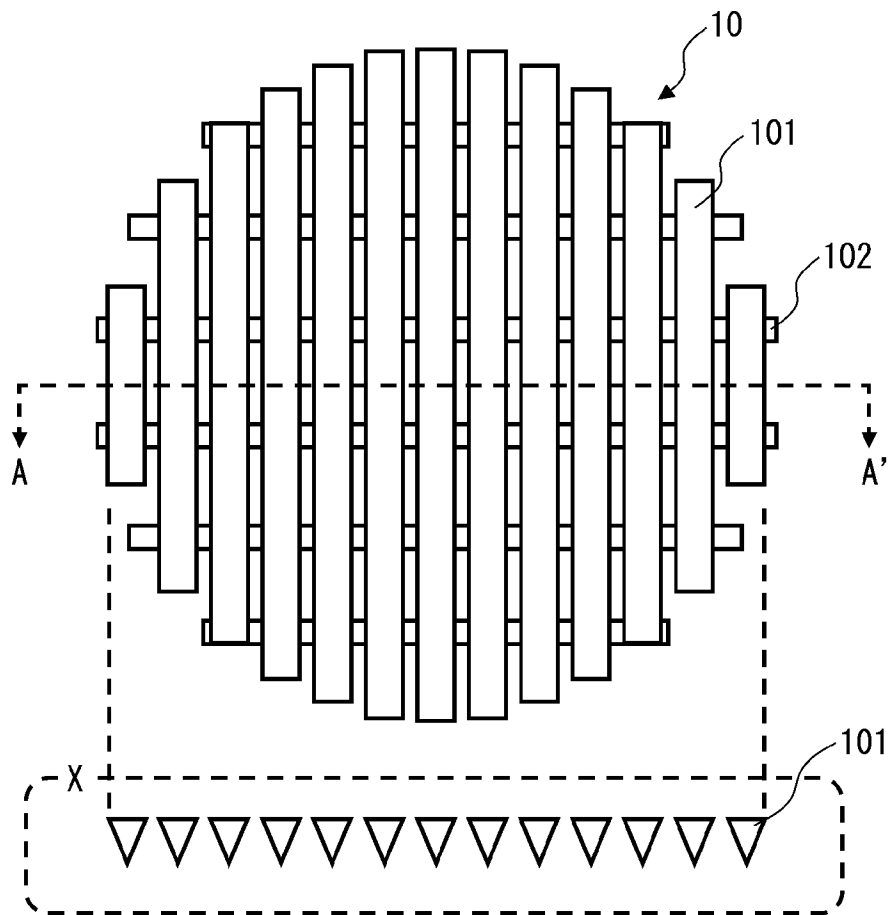
[図2]

図2



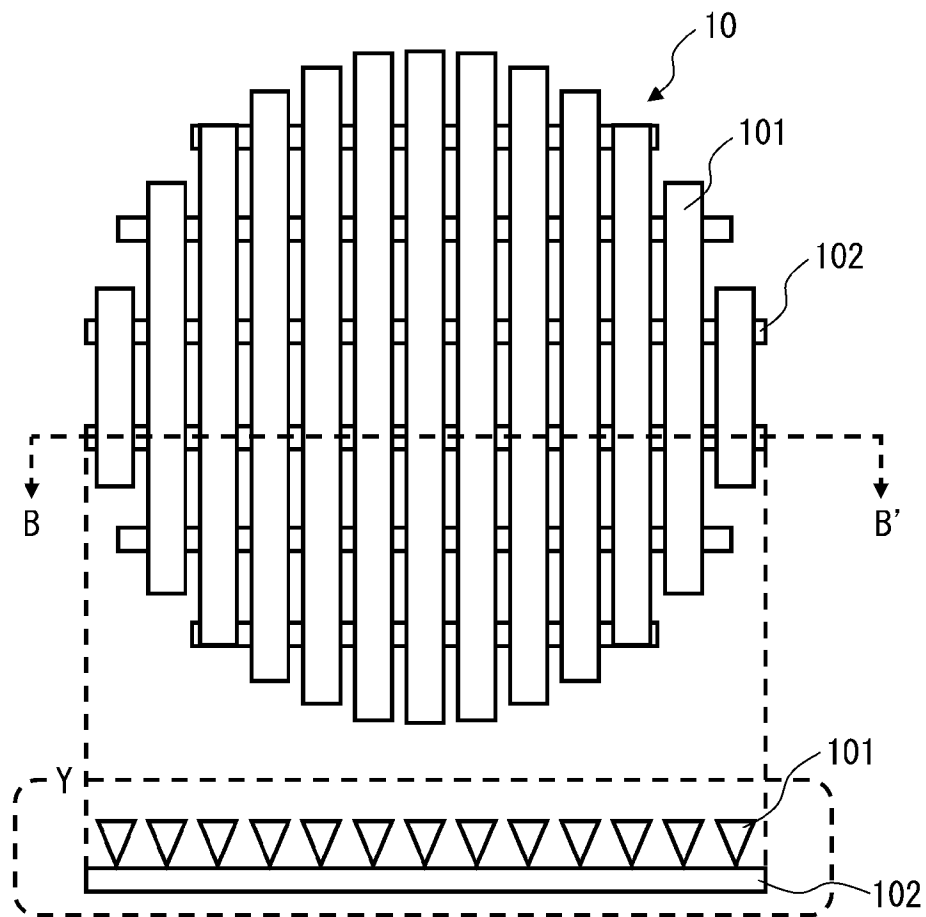
[図3A]

図3A



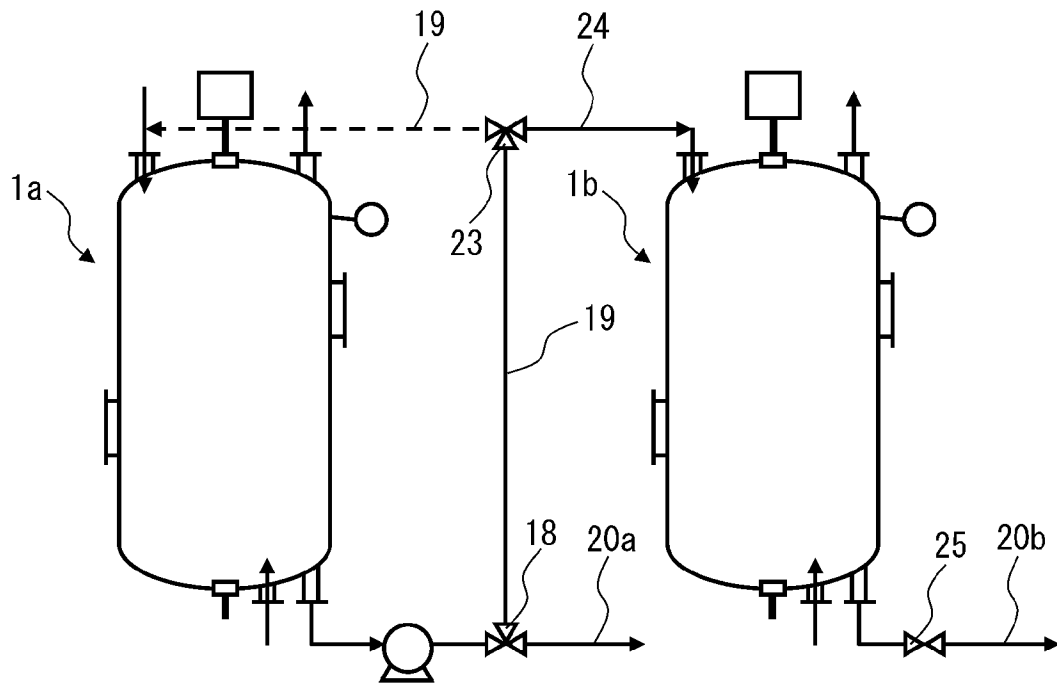
[図3B]

図3B



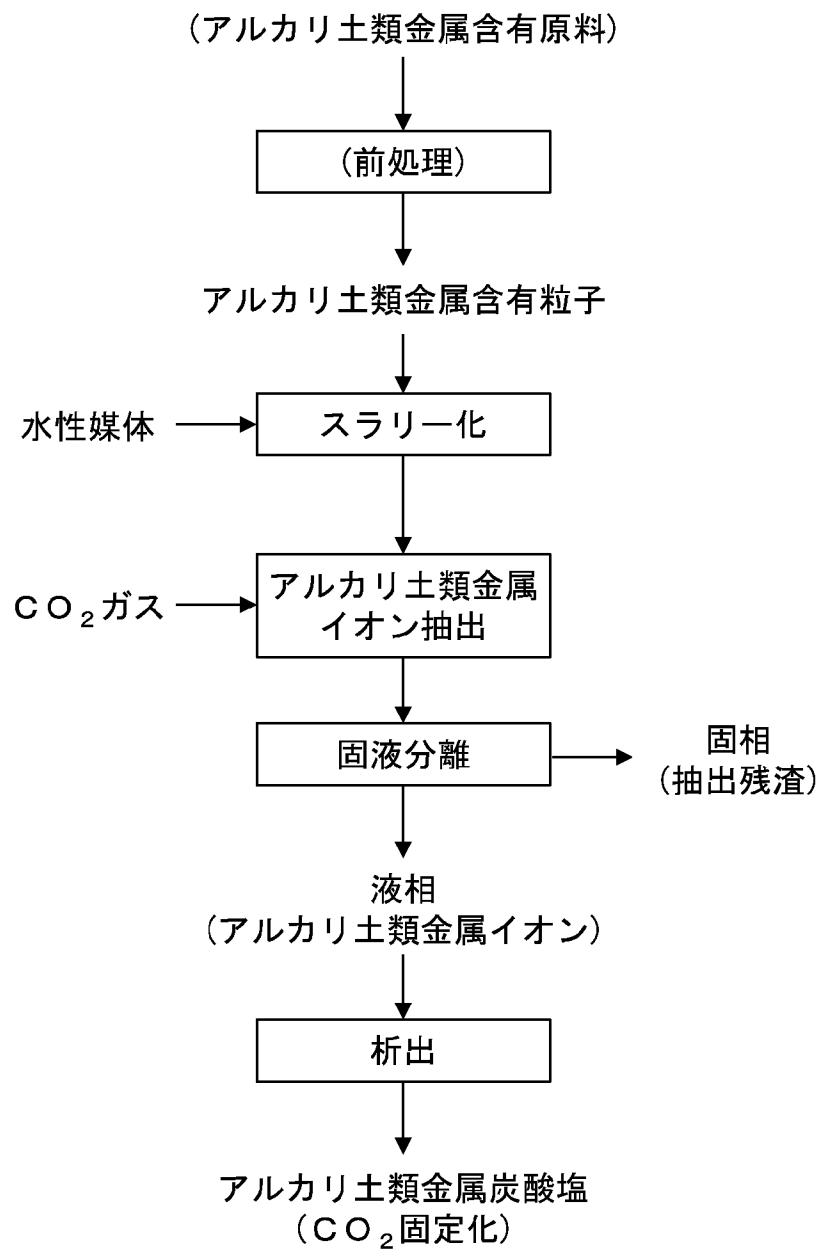
[図4]

図4



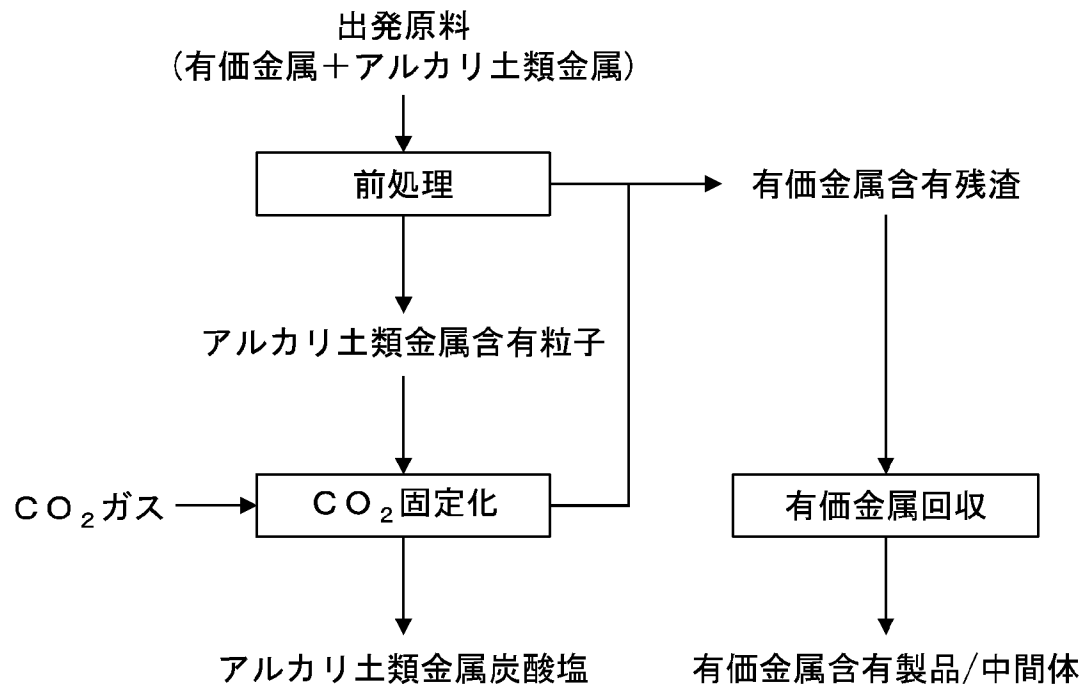
[図5]

図5



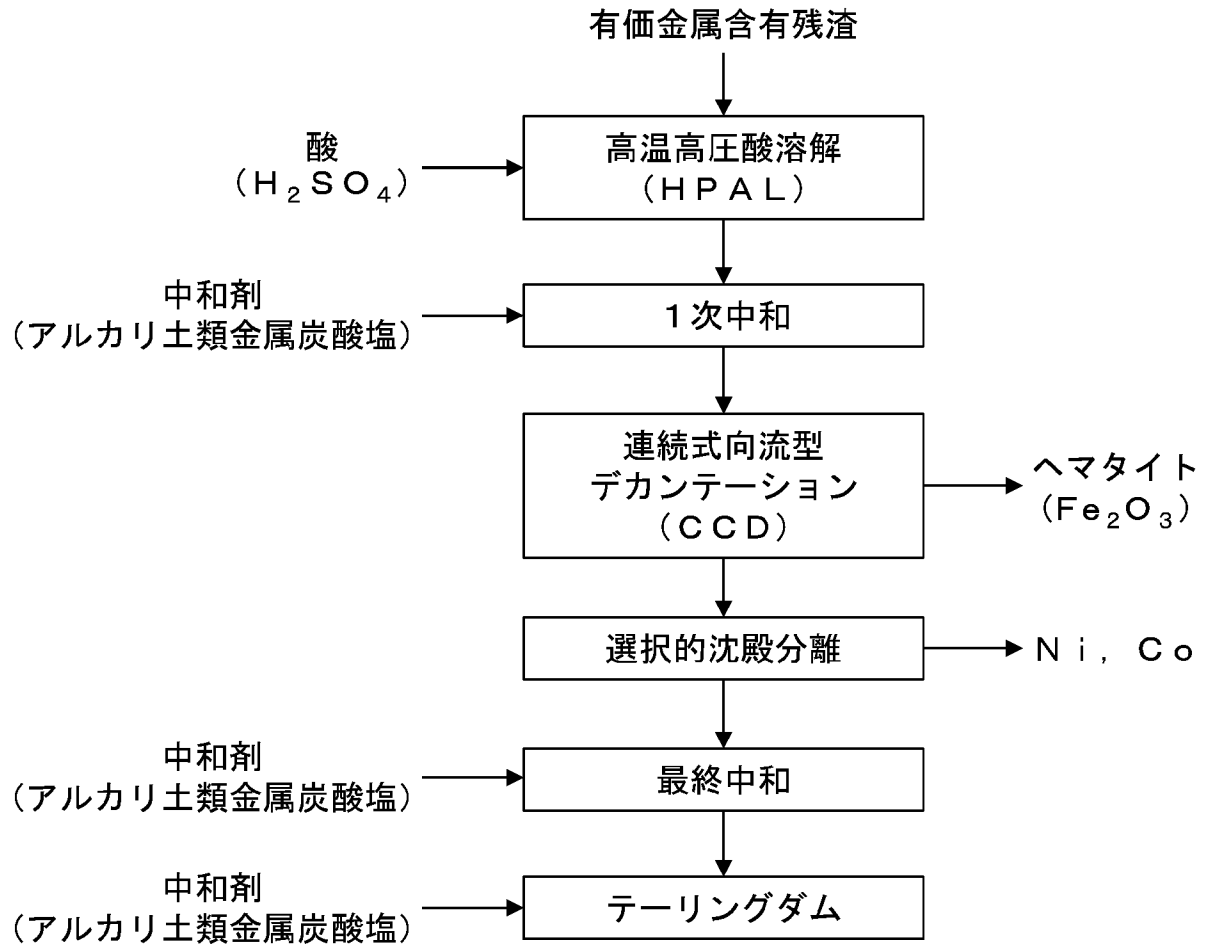
[図6]

図6



[図7]

図7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/012275

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B01D 11/02**(2006.01)i; **B02C 17/16**(2006.01)i; **B01D 53/14**(2006.01)i; **C22B 3/02**(2006.01)i

FI: B01D11/02 103; B01D53/14 200; C22B3/02; B02C17/16 B

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B01D11/02; B02C17/16; B01D53/14; C22B3/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 111054488 A (ANHUI ROOT INDUSTRIAL CO., LTD.) 24 April 2020 (2020-04-24) fig. 1	1-7, 10
A	JP 2-500960 A (EASTMAN KODAK COMPANY) 05 April 1990 (1990-04-05)	1-14
A	JP 2022-520927 A (OMYA INTERNATIONAL AG) 04 April 2022 (2022-04-04)	1-14
A	US 2005/0180910 A1 (PARK, Ah-Hyung) 18 August 2005 (2005-08-18)	8-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 May 2023

Date of mailing of the international search report

06 June 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/012275

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	111054488	A	24 April 2020	(Family: none)	
JP	2-500960	A	05 April 1990	US 4824939	A
				WO 1988/002650	A1
				EP 325614	A1
JP	2022-520927	A	04 April 2022	US 2022/0106194	A1
				WO 2020/165445	A1
				EP 3696145	A1
				EP 3924300	A1
				CN 113260593	A
				CA 3121602	A1
US	2005/0180910	A1	18 August 2005	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B01D 11/02(2006.01)i; B02C 17/16(2006.01)i; B01D 53/14(2006.01)i; C22B 3/02(2006.01)i FI: B01D11/02 103; B01D53/14 200; C22B3/02; B02C17/16 B														
B. 調査を行った分野														
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B01D11/02; B02C17/16; B01D53/14; C22B3/02														
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年													
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）														
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
X	CN 111054488 A (ANHUI ROOT INDUSTRIAL CO., LTD.) 24.04.2020 (2020 - 04 - 24) 図1	1-7, 10												
A	JP 2-500960 A (イーストマン コダック カンパニー) 05.04.1990 (1990 - 04 - 05)	1-14												
A	JP 2022-520927 A (オムヤ インターナショナル アクチエンゲゼルシャフト) 04.04.2022 (2022 - 04 - 04)	1-14												
A	US 2005/0180910 A1 (PARK Ah-Hyung) 18.08.2005 (2005 - 08 - 18)	8-14												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 19.05.2023	国際調査報告の発送日 06.06.2023													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 宮部 裕一 4Q 3840 電話番号 03-3581-1101 内線 3468													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/012275

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
CN	111054488	A	24.04.2020	(ファミリーなし)			
JP	2-500960	A	05.04.1990	US	4824939	A	
				WO	1988/002650	A1	
				EP	325614	A1	
JP	2022-520927	A	04.04.2022	US	2022/0106194	A1	
				WO	2020/165445	A1	
				EP	3696145	A1	
				EP	3924300	A1	
				CN	113260593	A	
				CA	3121602	A1	
US	2005/0180910	A1	18.08.2005	(ファミリーなし)			